

# 内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业开发区杭后工业园 区域气候可行性论证报告

航天新气象科技有限公司

2022 年 4 月



# 高新技术企业 证书

企业名称：航天新气象科技有限公司

证书编号：GR202032006463

发证时间：2020年12月2日

有效期：三年

批准机关：



## 编制单位及项目组织情况

航天新气象科技有限公司是经国家财政部批准，由江苏省无线电科学研究所有限公司、中国航天科工集团二院 23 所和商业航天基金共同设立的混合所有制高新技术企业。公司总员工 470 余人，技术人员占比 85%以上，其中博士 13 人，硕士 98 人，中高级职称 130 人。公司建有国家级博士后科研工作站、世界气象组织（WMO）南京区域培训中心实习基地、省级企业院士工作站和研究生工作站、江苏省电子气象仪器工程技术中心、省级协同创新中心等产学研平台，先后与浙江大学、华中科技大学、江南大学、南京信息工程大学、成都信息工程大学、中科院大气物理所和电子学研究所、中国气象局气象探测中心签订产学研或项目合作协议。

公司近几年承担或完成省部级以上研发项目 30 多项，包括国家重点研发计划、国家公益性行业专项、省重大成果转化项目等纵向项目 23 个，承担或参与涉密项目 35 个。公司自建了环境和电磁兼容试验室、长广溪气象观测试验场、北京云岗气象雷达测试场等测试试验条件，与福建、内蒙古、西藏气象局等共建了海洋、极寒、高原等外场试验场。截至 2021 年底，拥有有效专利 92 件，其中发明专利 62 件；软件著作权 15 件；参加国际标准制修订 2 项；牵头制订国家标准 9 项，参与 15 项；牵头制订行业标准 10 项，参与 15 项。

公司依托原有导航探空、气象雷达和系列化自动气象站等优势技术、产品基础上，近年来积极拓展天基、海基气象探测及专业服务领域，是国内唯一覆盖“空、天、地、海”多平台、全要素的综合性气象探测仪器装

备和专业服务提供商。公司新产品覆盖多类型气象传感器、全要素自动气象站和组网；全系列球载机载箭载导航探空系统；风廓线、云、雾和天气雷达；机场 AWOS 和风切变湍流探测系统；海洋水文和海气界面观测设备；雷电监测预警系统；临近空间观测装备及相关业务服务系统等，主要服务于气象、军事、机场、环保、海洋、应急减灾、生态、交通、电力、农林水文、智慧城市等行业；公司是国内规模最大、市场综合占有率最高的综合气象探测设备领军企业，产品部分出口亚洲、非洲、美洲等地区；在建的掩星星座，在未来 2-3 年内将有力支撑公司发展“全球观测、全球预报、全球服务”的综合能力。

公司抓住一带一路、互联网+物联网、智慧城市、生态建设等国家重点发展战略和机遇，利用混合所有制、军民融合等政策制度红利，在持续深耕气象、军事和机场三大传统市场、优化服务的基础上，进一步铸就软硬件一体化优势，加快拓展应急、环保、海洋、生态等行业及国际市场，在科技兴国、航天报国进程中做出更大贡献。

航天新气象科技有限公司接受内蒙古杭锦后旗自然资源局委托，开展内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业开发区杭后工业园区区域气候可行性论证报告编制工作。公司通过与内蒙古杭锦后旗气象局合作，组建了有丰富科研和业务经验的专业人员组成的项目组，人员组成如下：

#### 项目组负责人：

孙涵，航天新气象科技有限公司数字减灾研究院首席专家，二级正研，应用气象专业博士。



### 项目组成员：

冯民学，航天新气象科技有限公司数字减灾研究院特聘专家，正研级高级工程师，本科。

杨鑫，航天新气象科技有限公司数字减灾研究院特聘专家，高级工程师，本科。

冯利平，航天新气象科技有限公司数字减灾研究院特聘专家，教授，博士。

金红伟，航天新气象科技有限公司研究员级高级工程师，硕士。

花卫东，航天新气象科技有限公司研究员级高级工程师，本科。

周望，航天新气象科技有限公司高级工程师，本科。

蔡斌辉，航天新气象科技有限公司高级工程师，硕士。

李可，航天新气象科技有限公司高级工程师，硕士。

白杰，内蒙古杭锦后旗气象局局长，本科。

钟伟，内蒙古杭锦后旗气象局助理工程师，本科。

钟远茂，内蒙古杭锦后旗气象局工程师，本科。

胡晓旭，航天新气象科技有限公司工程师，本科。

徐敬争，航天新气象科技有限公司工程师，硕士。

张金喜，航天新气象科技有限公司工程师，硕士。

朱泽民，航天新气象科技有限公司工程师，硕士。

吕国杰，航天新气象科技有限公司工程师，硕士。

## 声 明

1.《内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业开发区杭后工业园区区域气候可行性论证报告》（简称本报告）是航天新气象科技有限公司受内蒙古杭锦后旗自然资源局委托而完成的技术成果，其使用权归双方共同所有，并受中华人民共和国知识产权法保护。

2.本报告中的所有气象资料及相关数据资料仅限于本论证区域使用，论证结论仅限于论证区域内符合已有规划的入驻项目使用。

3.本报告中的结论是基于标准气象观测资料、数值模拟资料、闪电定位资料、大气再分析数据、气象灾害综合风险普查等多源数据，按照国家或行业相关技术规范统计分析得出，超出规定值的气象风险是存在的。受数据年限、技术模式等多种因素影响，参数模拟推算存在一定的不确定性。

4.本报告中提出的气象防灾减灾措施和对策建议，仅供本论证区域的整体规划、建设项目的规划设计及运营维护参考使用，不能替代规划或建设项目的具体设计意见。

5.本报告自批准之日起有效期 10 年，即自 2022 年 5 月 1 日起至 2032 年 4 月 30 日止。期间若出现重大气象灾害并造成严重影响或者论证区域规划有重大调整的，须补充进行区域性气候可行性论证评估。

6.对本报告若有异议，应于收到本报告之日起 15 个工作日内向承担单位提出。

航天新气象科技有限公司

2022 年 3 月 31 日

# 目 录

<b>1 概述 .....</b>	<b>6</b>
1.1 项目来源 .....	6
1.2 工作目的 .....	9
1.3 编制依据 .....	9
1.3.1 政策法规 .....	9
1.3.2 标准规范 .....	10
1.3.3 其它 .....	11
1.4 术语 .....	12
<b>2 项目概况及特征 .....</b>	<b>14</b>
2.1 园区基本情况 .....	14
2.1.1 园区规模 .....	14
2.1.2 园区论证范围 .....	14
2.1.3 园区规划方案 .....	15
2.1.4 园区发展情况 .....	20
2.2 园区及其周边气象灾害历史事件 .....	22
2.3 企业座谈及现场调查 .....	23
2.3.1 企业座谈 .....	23
2.3.2 现场调查 .....	24
2.4 关键气象因子及高影响天气现象选择 .....	27
2.4.1 气象敏感度调查结果 .....	27
2.4.2 关键气象因子及高影响天气气候事件的选择 .....	29
<b>3 参证站确定及资料说明 .....</b>	<b>31</b>
3.1 资料内容和来源 .....	31
3.2 资料质量控制与均一性检查 .....	33
3.3 参证站选取原则 .....	35
3.4 参证气象站选取 .....	36
3.4.1 参证气象站比选 .....	36
3.4.2 参证气象站区域代表性 .....	43
3.4.3 参证气象站准确性 .....	58
<b>4 气候适宜性评价 .....</b>	<b>60</b>
4.1 大气环流特征 .....	60
4.1.1 春季大气环流特征 .....	60
4.1.2 夏季大气环流特征 .....	61
4.1.3 秋季大气环流特征 .....	63
4.1.4 冬季大气环流特征 .....	64

4.1.5 大气环流小结 .....	65
4.2 主要天气系统 .....	65
4.2.1 蒙古气旋 .....	65
4.2.2 蒙古冷高压 .....	66
4.2.3 河套气旋 .....	66
4.2.4 乌拉尔山高压脊 .....	67
4.2.5 西风槽 .....	67
4.2.6 暖湿切变 .....	67
4.2.7 西太平洋副热带高压 .....	68
4.3 区域气候特征 .....	68
4.3.1 气温 .....	70
4.3.2 降水 .....	76
4.3.3 风向风速 .....	80
4.3.4 气压 .....	87
4.3.5 日照 .....	91
4.3.6 相对湿度 .....	92
4.4 本章小结 .....	94
<b>5 高影响天气及气象灾害风险性评价 .....</b>	<b>96</b>
5.1 暴雨洪涝 .....	97
5.1.1 暴雨的气候特征 .....	97
5.1.2 暴雨洪涝区域特征 .....	103
5.1.3 暴雨洪涝淹没风险及影响 .....	105
5.1.4 暴雨洪涝灾害的危害与防御建议 .....	109
5.2 雷电 .....	111
5.2.1 雷暴气候特征 .....	111
5.2.2 闪电气候特征 .....	113
5.2.3 雷击防护建议 .....	122
5.3 风灾 .....	127
5.3.1 大风的气候特征 .....	128
5.3.2 大风的区域特征 .....	129
5.3.3 大风的影响及危害 .....	129
5.3.4 大风灾害防御建议 .....	131
5.4 沙尘 .....	132
5.4.1 沙尘天气的气候特征 .....	132
5.4.2 沙尘天气区域分布特征 .....	137
5.4.3 沙尘天气的影响及危害 .....	138
5.4.4 沙尘天气防御建议 .....	139
5.5 高温 .....	140
5.5.1 高温灾害特征分析 .....	140
5.5.2 高温灾害区域分布特征 .....	142
5.5.3 高温灾害的影响及危害 .....	143
5.5.4 高温灾害防御建议 .....	144
5.6 雹灾 .....	145

5.6.1 冰雹日数 .....	145
5.6.2 冰雹发生的区域分布特征 .....	146
5.6.3 冰雹灾害的危害及影响 .....	146
5.6.4 冰雹灾害的防御措施 .....	147
5.7 雪灾 .....	149
5.7.1 降雪的气候特征 .....	150
5.7.2 积雪的气候特征 .....	151
5.7.3 雪灾区域分布特征 .....	153
5.7.4 降雪和积雪的影响及危害 .....	154
5.7.5 雪灾防御建议 .....	154
5.8 低温冰冻 .....	155
5.8.1 低温灾害特征分析 .....	155
5.8.2 低温灾害区域分布特征 .....	157
5.8.3 低温灾害的影响及危害 .....	158
5.8.4 低温灾害的防御建议 .....	159
5.9 冻融 .....	160
5.9.1 冻土的气候特征 .....	160
5.9.2 冻土的区域分布特征 .....	164
5.9.3 冻土的影响及危害 .....	165
5.9.4 冻融的防御建议 .....	166
5.10 雾 .....	166
5.10.1 雾的气候特征 .....	167
5.10.2 雾的影响及危害 .....	169
5.10.3 雾的防御建议 .....	170
5.11 连阴雨 .....	170
5.11.1 连阴雨的气候特征 .....	171
5.11.2 连阴雨的影响及危害 .....	174
5.11.3 连阴雨的防御建议 .....	175
5.12 本章小结 .....	176
<b>6 工业园建设对局地气候影响 .....</b>	<b>180</b>
6.1 工业园建设对气温的影响 .....	180
6.2 工业园建设对降水的影响 .....	181
6.3 工业园建设对湿度的影响 .....	182
6.4 工业园建设对风场的可能影响 .....	183
6.5 总结 .....	184
<b>7 关键气象参数分析与推算 .....</b>	<b>185</b>
7.1 暴雨强度公式 .....	185
7.1.1 暴雨强度公式简介 .....	185
7.1.2 暴雨强度公式 .....	189
7.2 区域雷电环境评价 .....	196
7.2.1 评估模型 .....	197
7.2.2 评估方法 .....	197

7.2.3 结果分析.....	201
7.3 风速极值推算 .....	203
7.3.1 设计风速推算 .....	204
7.3.2 基本风压推算 .....	206
7.3.3 不同高度不同重现期平均最大风速推算 .....	207
7.4 最高、最低气温极值及室外空气计算参数推算 .....	208
7.4.1 不同重现期设计气温（高温）与极端最高气温的推算 .....	208
7.4.2 不同重现期设计气温（低温）与极端最低气温的推算 .....	210
7.5 降水极值推算 .....	212
7.6 雪压极值推算 .....	213
7.6.1 积雪密度 .....	213
7.6.2 设计雪压的概率计算 .....	213
7.7 设计冻土深度推算 .....	215
7.8 工业建筑采暖通风气象参数 .....	216
<b>8 结论与建议 .....</b>	<b>219</b>
8.1 主要结论 .....	219
8.1.1 项目概况与气候背景.....	219
8.1.2 关键气象参数推算结果 .....	221
8.1.3 高影响天气及气象灾害风险评价.....	222
8.1.4 综合评述.....	226
8.1.5 不确定性分析.....	227
8.2 建议措施.....	229
8.2.1 规划设计阶段.....	229
8.2.2 建设施工阶段.....	230
8.2.3 运营阶段.....	231
8.2.4 适用范围及建议.....	233
参考文献 .....	234
<b>附录 1 杭后工业园周边地区气象灾害调查 .....</b>	<b>235</b>
<b>附录 2 气象要素、高影响天气敏感度调查表 .....</b>	<b>246</b>
<b>附录 3 区域雷电灾害风险评估方法 .....</b>	<b>247</b>
附录 3.1 评估资料和流程 .....	247
(1) 资料.....	247
(2) 流程.....	248
附录 3.2 风险指标 .....	249
附录 3.3 评估方法 .....	250
(1) 子区域划分.....	250
(2) 风险计算方法.....	250
<b>附录 4 极值推算方及拟合适度检验方法 .....</b>	<b>253</b>
附录 4.1 极值 I 型分布 .....	253
附录 4.2 广义极值分布.....	254

附录 4.3 拟合适度检验.....	255
<b>附录 5 区域风险评估指标分级标准 .....</b>	<b>256</b>
雷电风险影响因素 .....	256
雷暴日 .....	256
雷击大地密度 .....	256
雷电流强度 .....	256
地域风险影响因素 .....	256
土壤电阻率 .....	256
地形地貌 .....	256
周边环境 .....	257
承灾体风险影响因素 .....	257
项目属性 .....	257
建筑物特征 .....	258
电气电子系统特征 .....	259

# 1 概述

## 1.1 项目来源

2020年7月17日内蒙古自治区人民政府办公厅关于印发《内蒙古自治区进一步深化工程建设项目审批制度改革实施方案的通知》(内政办发〔2020〕19号)。该方案指出：探索推行“区域评估”，认真贯彻落实《优化营商环境条例》，在依法设立的各类开发区（包括经济技术开发区、高新技术产业开发区、综合保税区、工业园区、物流园区等）、新区和其他有条件的区域探索推行区域评估。由政府根据区域条件对环境影响评价、节能评价、地震安全性评价、地质灾害危险性评估、压覆重要矿产资源评估、文物保护评估、水资源论证、水土保持方案论证、气候可行性论证等专项评估评价事项进行选择区域评估，评估结果供区域内项目共享、免费使用，评估评价的结论由区域管理机构或各行业主管部门向特定区域内的建设主体通告。

2021年12月15日，内蒙古自治区政务服务局、自然资源厅、工业和信息化厅联合印发《内蒙古自治区关于开展区域评估成果互认共享工作的指导意见》（内政服发〔2021〕102号），要求自治区发展改革委、财政厅、生态环境厅、住房城乡建设厅、水利厅、商务厅、文物局、地震局、气象局以及盟市各相关业务主管部门，按照2021年7月1日召开的自治区政府区域评估工作专题会议要求，在《内蒙古自治区开发区审核公告目录》中公告的各类开发区（包括经济技术开发区、高新技术产业开发区、综合保税区、工业园区、物流园区等）（以下简称“开发区”）推行区域评估。将地质灾害危险性评估、气候可行性论证、地震安全性评价、文物保护评估、压覆重要矿产资源



评估、环境影响评价、水资源论证、水土保持方案论证、洪水影响评价等 9 项评估评价事项纳入区域评估事项清单范围，将评估评价结果纳入区域评估成果共享给市场主体免费使用。在项目审批时简化申请材料或不再进行评估评价，逐步解决目前建设项目评估评价手续多、时间长等问题，进一步提高审批效率、减轻企业负担、节约社会资源，加快建设项目落地实施。

2022 年 2 月 25 日，内蒙古自治区工业和信息化厅印发实施《内蒙古自治区开发区审核公告目录》（内工信发〔2022〕34 号）的通知和《内蒙古自治区开发区优化调整实施方案》，巴彦淖尔市按照建设现代农业合作示范区、河套绿色有机高端农畜产品生产加工服务输出基地、国家骨干冷链物流基地和进口资源深加工基地的产业定位优化整合，将杭后、五原、磴口工业园区整合形成以河套农畜产品生产加工为主的开发区，其中杭后工业园主导产业是农畜产品加工、装备制造。

根据上述精神，内蒙古杭锦后旗自然资源局委托航天新气象科技有限公司开展杭后工业园气候可行性论证工作。公司根据任务要求与杭锦后旗气象局合作成立了项目编制工作组，搜集了评价区域相关气象资料，并进行现场踏勘调研，按照工业园性质、规模、建设内容、发展规划等要求确定气候可行性论证的重点、范围、技术路线等形成工作方案。在此基础上，参照中国气象局印发的《区域性气候可行性论证技术指南》的要求，编制了该项目的技术大纲，并完成《内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业开发区杭后工业园区区域气候可行性论证报告》。



图 1.1-1 杭后工业园区位图

## 区位分析图

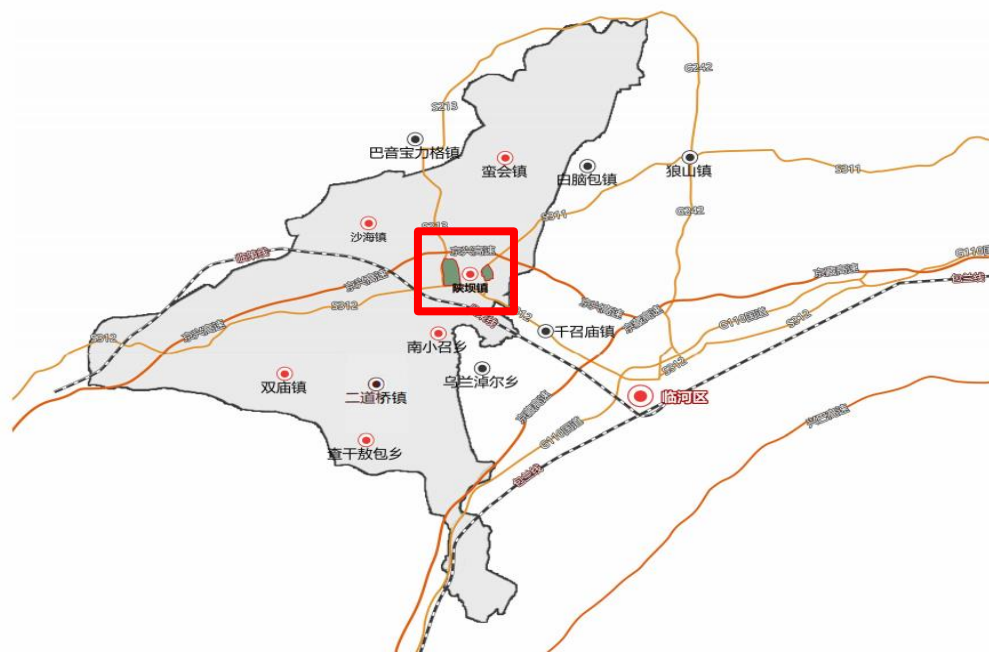


图 1.1-2 杭后工业园区位图

## 1.2 工作目的

随着经济社会发展，全球气候变暖加剧，极端气候事件多发频发，气象灾害及其引发的次生、衍生灾害对人民生命财产和经济社会发展造成严重影响。内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业开发区杭后工业园的规划设计、建设和运营对天气气候，特别是灾害性天气的敏感度和脆弱性加大，因此开展工业园气候适宜性和风险性论证工作势在必行。气候可行性论证工作能够从源头上有效避免或减轻工业园的规划设计和建设遭受极端气象灾害的不利影响，对于其规划设计、建设和运营意义重大。

本报告以工业园周边国家级气象站以及区域自动气象站等观测资料为基础，结合闪电定位资料、历史灾情资料、卫星遥感数据和现场测试数据对工业园所在区域的气候条件开展论证分析，从气象防灾减灾、气候资源利用的角度对工业园规划、建设及运营给予科学的指导意见，以达到趋利避害之目的。

## 1.3 编制依据

### 1.3.1 政策法规

- (1) 《中华人民共和国气象法》；
- (2) 《气象灾害防御条例》；
- (3) 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于深入推进审批服务便民化的指导意见》；
- (4) 《国务院关于印发清理规范投资项目报建审批事项实施方案的通知》（国发〔2016〕29号）；
- (5) 《气象设施和气象探测环境保护条例》；
- (6) 《气候可行性论证管理办法》；

- (7) 《气象信息服务管理办法》；
- (8) 《内蒙古自治区气象条例》；
- (9) 《内蒙古自治区气象灾害防御条例》；
- (10) 《内蒙古自治区气候资源保护和利用条例》；
- (11) 《关于印发实施<内蒙古自治区开发区审核公告目录>的通知》（内工信发〔2022〕34号）。

### 1.3.2 标准规范

- (1) 中国气象局预报与网络司，区域性气候可行性论证技术指南；
- (2) QX/T 469-2018 气候可行性论证规范 总则；
- (3) QX/T 423-2018 气候可行性论证规范 报告编制；
- (4) QX/T 426-2018 气候可行性论证规范 资料收集；
- (5) QX/T 436-2018 气候可行性论证规范 抗风参数计算；
- (6) QX/T 437-2018 气候可行性论证规范 城市通风廊道；
- (7) QX/T 449-2018 气候可行性论证规范 现场观测；
- (8) QX/T 457-2018 气候可行性论证规范 气象观测资料加工处理；
- (9) QX/T 497-2019 气候可行性论证规范 数值模拟与再分析资料应用；
- (10) QX/T 529-2019 气候可行性论证规范 极值概率统计分析；
- (11) QX/T 85-2018 雷电灾害风险评估技术规范；
- (12) DB15/T 2040-2020 城市暴雨强度公式编制技术规范；
- (13) GB/T 35221-2017 地面气象观测规范 总则；
- (14) GB 21714.2-2015/IEC62305-2:2010 雷电防护第2部分：风险管理；
- (15) GB 31221-2014 气象探测环境保护规范 地面气象观测站；

- (16) GB/T 33669-2017 极端降水监测指标;
- (17) GB/T 34293-2017 极端低温和降温监测指标;
- (18) GB 50009-2012 建筑结构荷载规范;
- (19) GB 50014-2021 室外排水设计规范;
- (20) GB 50019-2015 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范;
- (21) GB/T 20480-2006 沙尘暴天气等级;
- (22) QX/T 118-2010 地面气象观测资料质量控制;
- (23) QX/T 242-2014 城市总体规划气候可行性论证技术规范;
- (24) QX/T 405-2017 雷电灾害风险区划技术指南。

### 1.3.3 其它

- (1)《内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业工业园区杭锦后旗工业园区国土空间规划（2022-2035）》
- (2)《内蒙古巴彦淖尔河套农畜产业工业园区杭锦后旗工业园一国土空间规划产业发展专题研究》（2022.02）
- (3)《内蒙古杭锦后旗工业园区气候可行性论证》技术服务合同（合同号：SCB220317-005）
- (4)《内蒙古气象灾害调查与风险评估技术细则（灾害调查类-第3版）》（内气普领发[2021]9号）
- (5)《内蒙古气象灾害调查与风险评估技术细则（评估与区划类）》（内气普领发[2021]17号）

## 1.4 术语

(1) 参证气象站：气象分析计算所参照具有长年代气象数据的国家气象观测站。

(2) 关键气象因子：与园区项目建设和运营具有制约性关系，并可直接测量的大气状态参量。

(3) 基本风速：开阔平坦地貌条件下，地面上 10m 高度处，50 年重现期的 10min 平均年最大风速。

(4) 设计风速：在基本风速基础上，考虑局部地表粗糙度影响，项目所在地地面上 10m 高度处 50 年重现期的 10min 平均年最大风速。

(5) 基本雪压：雪荷载的基准压力，一般按当地空旷平坦地面上积雪自重的观测数据，经概率统计得出 50 年一遇最大值确定。

(6) 基本气温：根据参证气象站历年记录所得的最高温度月的月平均最高气温值和最低温度月的月平均最低气温，经极值概率分布曲线拟合确定设计频率的最高、最低气温。

(7) 冬季空气调节室外计算温度：近 30 年不保证 1d 的日平均温度。

(8) 夏季空气调节室外计算日平均温度：近 30 年平均不保证 5d 的日平均温度。

(9) 冬季通风室外计算温度：累年（近 30 年）最冷月平均温度。

(10) 夏季通风室外计算温度：累年（近 30 年）最热月 14 时的月平均温度的平均值。

(11) 冬季空气调节室外计算相对湿度：近 30 年最冷月平均相对湿度。

(12) 夏季通风室外计算相对湿度：累年（近 30 年）最热月 14 时的月平

均相对湿度的平均值。

(13) 暴雨强度公式：短历时暴雨过程中降雨强度—降雨历时—重现期三者间函数关系的数学表达式。

(14) 暴雨日数：指 24 小时（20 时-20 时）降雨量 $\geq 50\text{mm}$  的日数。

(15) 最大日降水量：指一年中出现的一日最大降水量。

(16) 雷击风险评估：根据项目所在地雷电活动时空分布特征及其危害特征，结合现场情况进行分析，对雷电可能导致的人员伤亡、财产损失程度与危害范围等方面的综合风险计算。

(17) 回击：地闪通道中电荷快速被中和的过程，通常伴随大电流、强电磁辐射和强烈发光现象。

(18) 地闪密度：单位面积、时间的平均地闪次数,单位： $\text{次}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

(19) 雷电流绕击：当雷电流强度小于一定数值时，有可能绕过防直击雷装置直接击中被保护物。

(20) 雷电流反击：当雷电流强度大于一定数值时，有可能造成防雷装置无法快速泄放雷电流，出现雷电流过高而对与大地连接的其他金属物品发生放电（又叫闪络）的现象。

(21) 高影响天气：直接影响项目建设和运营的天气。

(22) 大风：瞬时风速达到或超过  $17.2\text{m/s}$  的风。

## 2 项目概况及特征

### 2.1 园区基本情况

#### 2.1.1 园区规模

杭后工业园位于旗政府所在地陕坝镇。按照“一区、两片”的规划布局，力图将其建设成为功能布局合理、投资环境优越的经济工业园区。一区：指杭后工业园；两片：指位于陕坝镇东北部和西北部的两个工业片区。其中东片区（原河套食品工业园）位于城区东北部，以河套酒业集团为主，分布有内蒙古屯河河套公司、内蒙古伊利陕坝分公司等企业；西片区（原大后套食品工业园）位于城区西北，陕青公路西侧，园区发展已初具规模，各项基础设施正逐步完善。

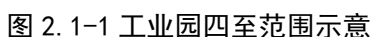
现杭后工业园主导产业为**农畜产品精深加工**和**农资机械装备制造**。其中，农畜产品精深加工产业重点发展：酒类酿造、保鲜乳品、肉类加工、蕃茄果蔬、籽类炒货、高筋面粉、饲料、木材家具；农资机械装备制造产业重点发展：有机肥、地膜、农机制造。现已入驻河套酒业、伊利集团、旭一牧业、华恒生物、中粮屯河、河套番茄、亘恒食品、大博金田、青园农资等企业，其中规模以上企业 9 户。

#### 2.1.2 园区论证范围

本次论证范围包含杭后工业园的东片区和西片区，区块总面积 [REDACTED] 公顷，园区内稳定耕地 [REDACTED] 公顷、永久基本农田 [REDACTED] 公顷，核准面积 [REDACTED] 公顷。其中：



### 杭后工业园四至范围形状图（规划）



### （1）产业发展定位

15

**一是自治区绿色农畜产品生产加工基地。**依托杭锦后旗农畜产品资源优势，生产无公害农畜产品、绿色食品，发挥河套酒业、伊利乳业、旭一牧业等龙头企业引领作用，加快发展农畜产品深加工业，创立优质产品品牌，提高市场知名度，打造河套地区绿色农畜产品加工输出基地。

**二是区域农机装备制造现代产业基地。**依托园区农机资源，产业规模优势和区域市场需求导向，以农机制造为突破口，打造区域农机装备制造现代产业基地。

**三是区域新兴循环经济示范基地。**依托园区现有产业基础，推进杭锦后旗种植业、养殖业、农畜产品加工业、生物质能源、饲料、有机肥等的全产业链建设，树立地区循环经济典范。

## **（2）产业发展目标**

**总体目标。**到 2035 年，工业园形成农畜产品精深加工、绿色食品加工、资源循环利用相互衔接的产业链，使园区成为以绿色农畜产品加工为主导，以农机装备制造为依托，以现代物流和电子商务为辅助，以农畜产品衍生新兴产业为培育点的环境友好型和资源节约型绿色加工示范园区

**经济目标。**根据杭后工业园实际情况与未来工业发展态势，预测工业产值近期年增长约为 10%。远期为 8%，据此，对杭后工业园未来的产业发展规模进行了预测，确定产业具体目标：

到 2025 年，入园企业达 ■■■■，力争产值实现 ■■■■，农畜产品加工产业总量占经济园区经济总量 70%以上。

到 2035 年，入园企业达 ■■■■，力争产值实现 ■■■■，农畜产品加工产业总量占经济园区经济总量 75%以上。

**近期发展目标。**重点落实管控要素，强化发展基础建设，为全面发展打基础、做准备。生态环境质量得到改善，绿色生产生活方式初步建立。新旧动能转换和集约化发展初见成效，协同发展平台有序推进，现代化产业体系初步建立。

**远期发展目标。**巩固强化管控要求，综合全面快速提升，为定位实现创支撑、塑影响。融入区域一体化发展体系与格局中，产业结构优化全面提升，经济发展成绩显著。

**远景发展目标。**按照党中央对实现第二个百年奋斗目标的战略安排和基本实现社会主义现代化的远景目标，到 2035 年杭锦后旗综合经济实力和绿色发展水平将大幅跃升，经济总量和城乡居民人均收入将再迈上新的大台阶；新型工业化、信息化、城镇化、农牧业现代化深度融合发展，科技创新支撑绿色高质量发展能力进一步增强，“生态优先，绿色发展”的现代产业体系全面形成。

### **（3）产业发展思路**

全面贯彻落实党的十九大精神，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，以推进供给侧结构性改革为主线，坚持市场主导与政策引导相结合、技术改造与技术创新相结合、增资扩产与提质增效相结合，提高企业数字化、网络化、智能化、绿色化水平，推动产品升级换代，增强企业核心竞争力，促进产业转型升级，为地区经济持续稳定增长做出贡献。

#### **1) 做大“乳、酸、酒”龙头产业**

“河套”品牌代表着内蒙古的形象，传递着巴彦淖尔人的感情，承载着杭锦后旗的民生，要持续支持河套酒业实现“百亿梦想”，围绕“第三次创业”，努力建设“中国北方浓香型白酒生产基地”，同时做大奶酒产业。以生态乳业园区建

设为抓手，深入调整优化产业结构，引进乳品加工企业，扶持民族奶制品发展，促进鲜奶就地转化增值。

## 2) 大力发展循环经济

提高资源循环利用效率依托本地资源优势，在发展中走农业产业化道路，深入挖掘以农业为基础的食品工业、纺织工业、农业机械加工等产业，逐步形成了农业加工产业链，畜禽产品加工产业链，新能源产业链以及农贸物流，并使相关产业向规模化、产业化、系列化延伸，从而建立起了适应循环经济发展的产业体系和循环经济发展机制，实现了经济快速发展与环境持续改善的良性循环。

## (4) 基础设施建设方案

**排水规划：**根据《城市排水工程规划规范》，城市污水量应根据城市综合用水量乘以城市污水排放系数确定。城市污水排放系数宜为 0.70~0.90，本规划取 0.85。按照给水工程规划的供水规模，规划范围最高日用水量为 7.40 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ，给水日变化系数为 1.6，则规划区污水量（平均日）为 3.93 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ，即规划区近期污水规模为 3.93 $\text{m}^3/\text{d}$ 。杭后工业园各企业污废水须根据《污水综合排放标准》自处理达标后排入城市污水管道系统，最终排致污水处理厂，经处理水质达标后排放至清机排干。

考虑工业园区地形较平坦、当地冻土埋深较浅、地下水位较高等因素，依据陕坝镇总体规划，规划工业园区雨水系统分为I和II两个雨水分区，分别设置两座雨水提升泵站，雨水分区范围和雨水泵站位置见雨水工程规划图。东侧工业园区雨水排入园子渠，西侧工业园区雨水排入清机排干。雨水管网布置及雨水出口位置详见雨水工程规划图。

**环境保护工程：**控制园区各建设项目大气污染物排放，保护规划区的大气环境质量符合《环境空气质量标准》（GB3095-1996）二级标准。控制园区污水处理厂尾水的排放，经处理后出水水质指标必须按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 B 排放标准。保护规划区地表水、地下水现状使用功能。控制园区各建设项目固体废弃物排放，实现园区产业链间的循环经济，保护周围土壤、植被、地下水、大气环境质量不受污染。控制园区各建设项目噪声排放，使排放的噪声符合《声环境质量标准（GB3096-2008）》III类标准。以不降低生态环境质量现状为目标，控制基地及其周围的土地和植被破坏在最小范围、最小程度，不因项目的开发建设活动使评价区生态系统发生改变，不造成大的水土流失。

### （5）综合防灾工程

**抗震规划：**根据国家地震局 2016 年 6 月 1 日新颁发的《中国地震参数区划图》，陕坝镇地震抗震设防烈度为 8 度，重要工程、生命线工程按 9 度设防。

**避震疏散规划：**由于地震的随机性和突发性，因此避震疏散采取以“临震避难为主，震前疏散为辅”的原则进行，避震疏散场地服务半径为 0.5~1.0km，主要是利用绿地、广场、停车场及 5 级以上防空地下室等，保证人均疏散场地不小于 3 m<sup>2</sup>，以达到避震疏散目的。园区道路和厂区道路均要达到避震疏散要求，保证园区内部疏散通道及对外疏散通道的畅通。

**防洪规划：**规划确定园区防洪标准为 50 年一遇。

**消防规划：**规划在工业园区内规划范围内部不设消防站，与主城区共用消防站，设于北环路北侧，消防站占地 3000 m<sup>2</sup> 左右，配有 4~5 辆消防车，并配备监视和通讯报警设备园区规划 1 处一级消防站用地，占地面积为 0.77 公

顷，位于西环路和纬三街交叉口。规划采用室外地下式消火栓。

**人防规划：**合理选定重要目标，并根据防护类型，加强基础建设。在重要经济目标单位完善方案计划体制，构建指挥通信平台，落实抢险救援队伍。根据防护的需要，配备必要的防护装备和器材。根据重要目标的不同特点，采取疏散转移、伪装、隐蔽、加固等措施，不断提高重要经济目标的防护能力。

## 2.1.4 园区发展情况

### （1）空间布局

杭后工业园规划形成“两轴、四片区”总体空间功能结构。

**两轴：**由河酒路和经三路形成的 2 条工业区发展轴，两条轴加深了东西片区之间的联系，同时，也使东西片区内各功能区串联，形成生产、生态融为一体的开发格局。

**四片区：**规划形成产业发展区、行政管理区、生活休闲区、宜居生活区。四大片区集聚生活居住、行政办公、商业商务、产业服务和生态休闲等功能，形成联动发展、协同共生的功能组团。

### （2）发展现状

杭锦后旗位于巴彦淖尔市中西部，东与市政府所在地临河区毗邻，地处呼包鄂经济圈边缘和呼包兰经济带上。呼包鄂经济圈和呼包兰经济带是自治区和我国西部重要的经济发展中心地带，有着众多重要的城市和雄厚的经济基础。在国际经济一体化的重心不断向亚太转移的趋势下，呼包鄂经济圈和呼包兰经济带将成为中国重要的区域性经济增长区，成为拉动中国西部地区经济发展的一个发动机。该经济圈和经济带完善功能和产业结构调整给杭锦后旗的发展带来了良好的契机。

目前，杭后工业园以农畜产品精深加工、农资机械装备制造为主导产业，现已形成酒类酿造、保鲜乳品、肉类加工、蕃茄果蔬、籽类炒货、产品包装、机械制造、家居建材、服饰纺织、商贸服务等十类产业，其中绿色农畜产品加工业作为园区支柱产业最为迅速。

表 2.1-1 杭后工业园主要企业情况表

序号	企业名称	序号	企业名称
1	内蒙古河套酒业集团股份有限公司	23	巴彦淖尔华恒生物科技有限公司
2	内蒙古御膳春酒业有限责任公司	24	杭锦后旗物流农贸有限公司(蒙玉)
3	内蒙古百吉纳奶酒股份有限公司	25	杭锦后旗兴达粮油有限公司
4	河套纯净水公司	26	杭锦后旗长盛机械有限公司
5	内蒙古屯河河套番茄制品有限责任公司	27	杭锦后旗恒峰机械公司
6	中粮屯河（杭锦后旗）番茄制品公司	28	杭锦后旗福满峰农机有限公司(商业)
7	巴彦淖尔伊利乳业有限责任公司	29	巴彦淖尔市博阳农机有限责任公司(商业)
8	内蒙古隆鑫科技包装有限责任公司	30	杭锦后旗一宽商贸有限责任公司（葵花仁）
9	河套润通环保包装有限责任公司	31	大好大商贸公司
10	内蒙古鸿旺食品有限公司（燕山食品）	32	锦宝建筑公司
11	内蒙古亘恒食品股份有限公司	33	立东液化气站
12	内蒙古河套酒业集团平安物流公司	34	河套中宝环保包装有限公司
13	内蒙古金粮食品有限公司	35	内蒙古米真绒毛纺织有限责任公司
14	巴彦淖尔天赐木业有限责任公司	36	内蒙古河套木业有限责任公司
15	内蒙古特米尔热电有限责任公司	37	内蒙古瑞兴食品有限责任公司
16	内蒙古河套包装有限责任公司	38	内蒙古乌拉美羊业有限责任公司
17	内蒙古锦俊制衣有限责任公司	39	盛华安泰有限公司
18	内蒙古青园农资科技有限公司	40	巴彦淖尔市盛华生物有限责任公司
19	内蒙古旭一牧业有限公司（屠宰）	41	恒德果仁食品公司
20	内蒙古旭一生物饲料有限公司	42	河套向日葵加工仓储园
21	内蒙古大博金田机械有限公司	43	杭锦后旗工业园区标准化厂房
22	杭锦后旗牧蓉食品加工有限公司		

## 2.2 园区及其周边气象灾害历史事件

对杭后工业园及其周边地区的气象灾害历史事件进行了调查(详见附录 1)。工业园所在气候区暴雨、大风、雷电、冰雹、霜冻、低温冷害天气多发,造成的损失严重。以下举几个代表性灾害记录:

(1) 1967 年 11 月 21 日至 28 日降雪量达 21.9 毫米,积雪期长达 99 天(1967 年 11 月 21 日-1968 年 2 月 28 日)。12 月平均气温为 $-21^{\circ}\text{C}$ ,比多年本月平均气温低  $11.5^{\circ}\text{C}$ ,全旗 80%以上约 216.1 公顷果树冻死。

(2) 2003 年 3 月 14~16 日降雪量达 4.5 毫米,雪灾影响头道桥、红星、团结、四支、沙海、蛮会,受灾人口 21000 人,大棚损坏 13 座,直接经济损失 675.4 万元。

(3) 2009 年 8 月 17 日雷雨大风冰雹,造成玉米、葵花成片倒伏,番茄、籽瓜也受到了严重损伤。农作物受灾面积 7600.8 公顷,成灾面积 6080.7 公顷,绝收面积 3353.7 公顷,直接经济损失 8677.2 万元。

(4) 2010 年 6 月 12 日,蛮会镇华西村 11 社下午 15 时 30 分左右发生一起雷电灾害,造成 1 人死亡。

(5) 2012 年 6 月 25 日,暴雨造成 8 个镇、107 个村、1041 个村民小组、167200 人、50063 户人口受灾,农作物受灾面积 70400.0 公顷,其中,成灾面积 54808.6 公顷,绝收 13268.9 公顷。

(6) 2019 年 5 月 11 日午后头道桥镇新丰村 1、3、4 社,二道桥镇甲一、庆丰、太阳升部分社出现黄豆大小冰雹,果树、番茄、青椒等遭受雹灾袭击。造成二道桥镇甲一村 1、4、5、6、7 社,庆丰村 2、3、4、7 社,太阳升村 7、8、9 社,永增村 7 社遭受冰雹、大风、沙尘暴灾害性天气袭击,导致约 106.7



公顷青椒、番茄等作物受灾严重，庆丰 6 社设施农业 4 座大棚棚膜被大风刮烂，钢架移位受损严重。

(7) 2020 年 4 月 21 日，冻害造成太阳庙农场、沙海镇、头道桥镇、二道桥镇、三道桥镇、陕坝镇、蒙海镇等 7 个乡镇、15 个村、89 个社、3026 户、9120 人受灾。其中西甜瓜、番茄受灾面积 351 公顷，成灾 209 公顷，经济损失 1137.2 万元；果树受灾面积 347 公顷，成灾 293 公顷，经济损失 3078.8 万元；共计损失达 4216 万元。

(8) 2020 年 7 月 11 日，风雹灾情造成头道桥镇、二道桥镇、三道桥镇、双庙镇、沙海镇、陕坝镇 6 个镇 44 个村、236 个村民小组、6290 户，18904 人受灾。其中小麦受灾 508.9 公顷，葵花受灾 1265.7 公顷，玉米受灾 175 公顷，西瓜、蜜瓜受灾 29.3 公顷、西葫芦受灾 24.2 公顷，番茄、青椒受灾 89.3 公顷，此次灾情造成农作物总受灾面积 2092.4 公顷，成灾 697.5 公顷，经济损失 567.5 万元。

(9) 2021 年 6 月 28 日 19 时-20 时出现阵性大风、降雨天气，最大降水出现在沙海镇 4.5 毫米，极大风速出现在蛮会镇达 25.1m/s（10 级）。灾情造成二道桥镇、沙海镇、双庙镇、团结镇 4 个镇 33 个村、204 个（社）村民小组、3018 户、8007 人受灾。农作物受灾 1788.2 公顷，成灾 596.1 公顷，受灾农作物主要有小麦、葵花、玉米、青椒等，直接经济损失为 496.5 万元。

## 2.3 企业座谈及现场调查

### 2.3.1 企业座谈

项目组成员与工业园的 10 家代表性企业技术人员进行了座谈咨询，了解

企业在日常生产过程中对气象要素或高影响天气的敏感程度，以及对企业的敏感工序，企业名称及气象敏感要素的影响见表 2.3-1。

表 2.3-1 杭后工业园走访座谈结果一览表

园区	序号	企业名称	敏感要素	敏感工序	危害
杭后工业园	1	内蒙古河套酒业集团股份有限公司	暴雨、雷电、高温、沙尘暴	易爆、酿酒车间、酒库、污水处理厂	高温及雷电条件下，储酒易发生爆炸；暴雨、暴雪、沙尘暴影响运输和人员出行。
	2	内蒙古屯河河套番茄制品有限责任公司	气温、降水、雷电、冰雹、暴雪、沙尘暴	生产设备、原料产量、	气温、降水、冰雹影响番茄产量和质量，暴雪、沙尘暴影响运输和厂房安全，雷电易影响生产设备。
	3	巴彦淖尔伊利乳业有限公司	风向风速、气温、降水、暴雨、雷电、冰雹、暴雪、沙尘暴	配电、罐装、污水处理设施，产品和原料储存	大风、冰雹、暴雪影响厂房，西风会将上游热电厂的煤灰吹来从而影响产品罐装质量，大风、降雪会影响产品运输及人员出行。
	4	内蒙古亘恒食品股份有限公司	相对湿度、降水、雷电	生产设备、原料产品的储存	厂内电气设备及电线较多，主要影响室内业务系统安全；原料产品易受降水和相对湿度影响导致发霉变质
	5	内蒙古特米尔热电有限责任公司	暴雨、大风、暴雪、沙尘暴、冰雹、雷电	道路运输	主要影响人员出行及产品储存和运输
	6	内蒙古青园农资科技有限公司	气温、降水、暴雪、沙尘暴、	生产过程，设备运行	高温对产品生产有影响轻则减产，重则停产，暴雪、沙尘暴影响出行及和运输
	7	内蒙古旭一牧业有限公司（屠宰）	暴雨、暴雪、沙尘暴、冰雹、雷电	房顶、运输	主要影响人员出行及产品储存和运输，雷电易影响生产设备。
	8	内蒙古旭一生物饲料有限公司	暴雨、暴雪、沙尘暴、冰雹、雷电	运输、生产、储存	主要影响产品的储存及运输，其次气温对工人工作环境影响，雷电易影响生产设备和储存安全。
	9	内蒙古大博金田机械有限公司	无	全厂房内生产	
	10	巴彦淖尔华恒生物科技有限公司	风向风速、相对湿度、气温、降水、暴雨、雷电、冰雹、暴雪、沙尘暴	产品生产反应条件，生产设备运行，道路运输	产品生产反应过程对温度敏感，过高过低均影响产量，且生产设备运行对气温也有要求，暴雪、沙尘暴影响运输和厂房安全，雷电易影响生产设备。

### 2.3.2 现场调查

项目组派员组成现场踏勘小组，完成了项目踏勘、调查和工业园资料收集工作。



图 2.3-1 工业园现场踏勘调查图





巴彦淖尔伊利乳业有限责任公司



内蒙古旭一生物饲料有限公司



内蒙古青园农资科技有限公司



内蒙古河套酒业集团股份有限公司



内蒙古大博金田机械有限公司



内蒙古亘恒食品股份有限公司



内蒙古旭一牧业有限公司（屠宰）



内蒙古特米尔热电有限责任公司

图 2.3-2 工业园现场踏勘航拍图

## 2.4 关键气象因子及高影响天气现象选择

### 2.4.1 气象敏感度调查结果

为了进一步了解工业园内现有企业对气象要素及高影响天气的敏感程度，特针对工业园内 10 家重点或对气象敏感的企业及园区公共设施进行了问卷调查（结果见附录 2），被调查的 10 家企业主要涉及食品制造产业、农副产品加工、农机制造产业、农产品配套制造等行业。其调查结果如下：

表 2.4-1 工业园气象敏感度调查统计结果一览表（%）

统计结果	气象要素					
	风向	风速	气压	相对	气温	降水
高影响	50.00	33.33	0	0	33.33	0
中影响	0	0	0	50.00	33.33	57.14
低影响	50.00	66.67	0	50.00	33.33	42.86

统计结果	高影响天气								
	暴雨	大风	暴雪	雷击	高温	低温冰冻	冰雹	逆温	沙尘暴
高影响	57.14	0	0	11.11	16.67	33.33	16.67	0	0
中影响	28.57	75.00	44.44	55.56	50.00	0	66.67	0	50.00
低影响	14.29	25.00	55.56	33.33	33.33	66.67	16.67	100.00	50.00

### （1）对气象要素敏感程度

此次调查主要针对风向、风速、气温、气压、相对湿度、降水 6 个要素进行。结果表明（见图 2.4-1）：被调查的 10 家企业及园区公共设施对气象要素敏感度由高到低排序依次为风向、风速、气温、相对湿度、降水、气压。

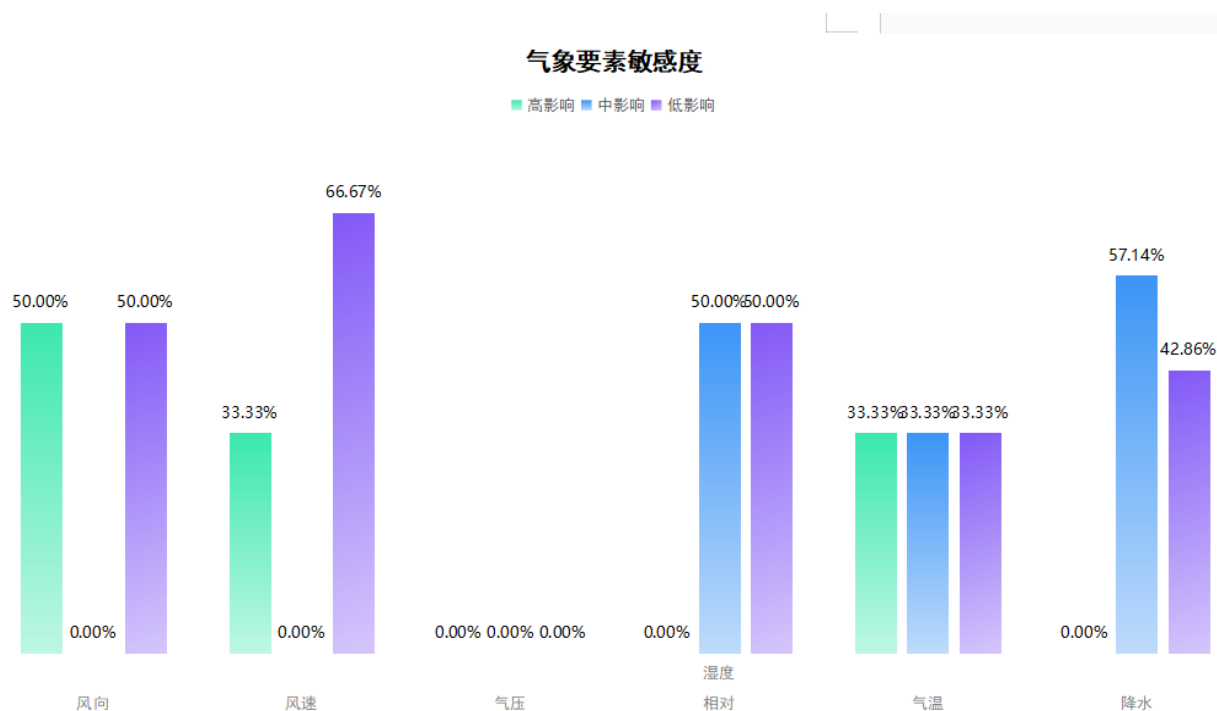


图 2.4-1 工业园敏感度调查 (%)

### （2）对高影响天气敏感程度

此次调查主要针对暴雨洪涝、大风、暴雪、雷击闪电、高温、低温冰冻、冰雹、沙尘暴、冻融、逆温 10 种高影响天气进行，结果表明（见图 2.4-2）：被调查的 10 家企业及园区公共设施对高影响天气敏感度由高到低排序依次为暴雨、雷击闪电、高温、低温冰冻、冰雹、大风、沙尘暴、暴雪、冻融、逆温。

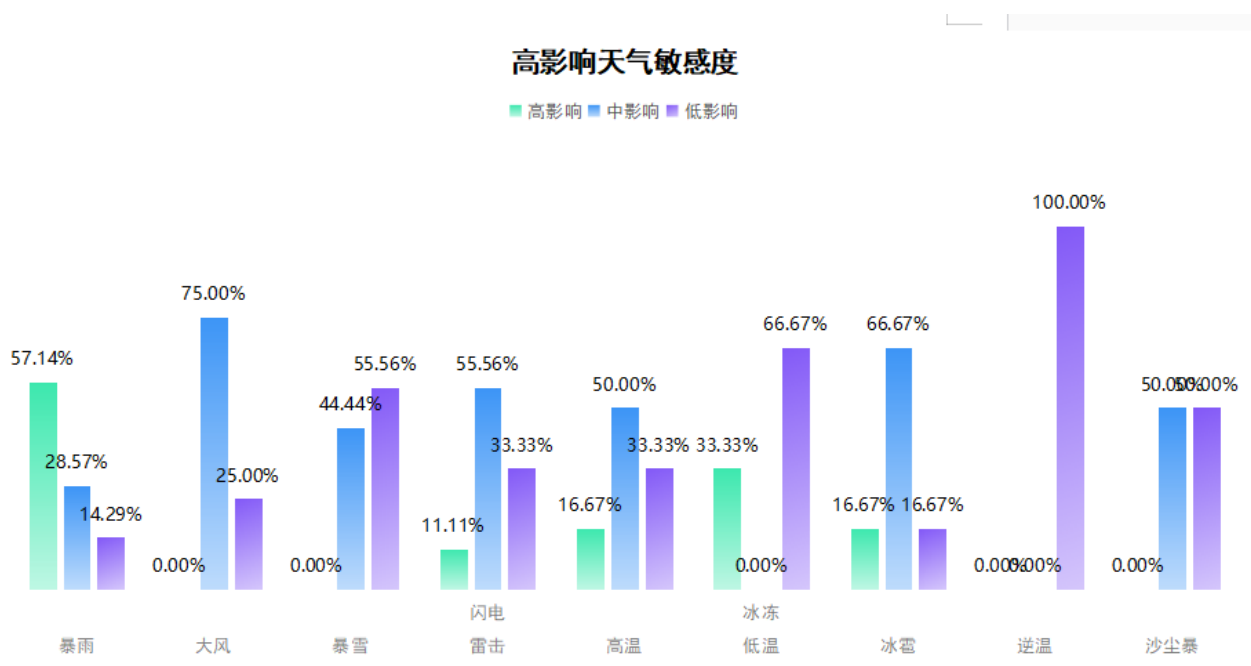


图 2.4-2 工业园高影响天气敏感度调查 (%)

## 2.4.2 关键气象因子及高影响天气气候事件的选择

1963-2020 年历史气象灾情信息统计，杭锦后旗出现的主要气象灾害为冰雹、霜冻、雪灾、短时强降水、大风沙尘等，其中，冰雹出现了 82 次，低温霜冻为 21 次，雪灾 8 次，洪水 5 次。结合上述工业园周边气候灾害历史事件以及工业园对气象要素及高影响天气的敏感程度调查情况，可以得出工业园区气候可行性论证的关键气象因子及高影响天气现象选择主要考虑以下各方面：

(1) 工业园内的企业对降水和暴雨洪涝的敏感度较高，因此需在报告中对暴雨极值的空间分布特征进行分析，了解当地的暴雨特点，并进行暴雨强度公式的编制，为当地室外排水设计提供依据；

(2) 工业园内的企业对雷击闪电的敏感度较高，因此需在报告中针对论证区域进行雷击风险评估，对易发生雷击风险的时段、地点进行风险评估，并有针对性的提出建议措施；

(3) 工业园对气象要素敏感度较高的有气温，尤其是高温，因此需要进行极端最高气温、极端最低气温和设计最高气温、设计最低气温等参数的推算与分析。

(4) 工业园内的企业对冰雹的敏感度较高，因此需要在报告中分析冰雹危险性空间分布特征，并分析冰雹给园区内企业带来的影响及危害。

(5) 工业园内的企业设备仪器对大风沙尘天气较为敏感，此外大风沙尘天气对于户外工程建设影响较大，因此需在报告中对最大风速的空间分布特征进行分析，了解当地的大风特点，并进行设计风速、风荷载等参数的推算与分析，为工业园建筑物设计和建设提供抗风参数，并有针对性的提出建议措施。

(6) 根据现场踏勘情况，工业园内企业建筑物屋顶面积较大，对暴雪和雪荷载敏感度较高，因此在报告中需对暴雪危险性空间分布特征进行分析，根据当地降雪特点进行雪压极值推算，并提出有针对性的建议措施。



### 3 参证站确定及资料说明

#### 3.1 资料内容和来源

报告中涉及的气压、气温、降水、风速、风向、相对湿度、日照等地面气象站观测资料来源于内蒙古自治区气象信息中心，均从经过国家、区及盟市三级审核后的信息化资料库中提取。报告中所用资料涉及以下七类：

（1）地面气象站资料：杭锦后旗、临河、磴口、乌拉特后旗国家级气象站（以下分别简称“杭锦后旗气象站”、“临河气象站”、“磴口气象站”、“乌拉特后旗气象站”）和二道桥镇、三道桥镇、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇、星光村6个区域骨干自动气象站的地面观测资料，所用资料情况见表3.1-1所示。

国家气象站主要用于参证气象站选取、气候背景、高影响天气现象、关键气象参数分析及推算，涉及气压、气温、降水、风、相对湿度、日照、雷暴、冰雹、冻融、积雪、沙尘等气象要素及天气现象。区域自动气象站资料主要用于参证站比选及代表性分析。暴雨强度公式编制使用杭锦后旗气象站建站以来的自记纸及自动站分钟雨量数据。

表 3.1-1 报告各专题使用气象资料情况一览表

分析项目	要素	资料时段
参证站分析	气温、降水、风向、风速	1991-2020 年
气候背景年际、年变化	气压、气温、降水、风速、风向、相对湿度、日照	1991-2020 年
气候背景日变化	气压、气温、降水、风速、风向、相对湿度、日照	2011-2020 年
气候背景极值分析	最高气温	1954-2020 年
	最低气温	1954-2020 年
	气压	1980-2020 年
	最大风速	1971-2020 年
	极端降水	1954-2020 年
	极大风速	1957-2020 年
关键气象参数分析	风速、气温、降水	1954-2020 年
	积雪深度	1954-2020 年
暴雨强度公式	杭锦后旗气象站逐分钟雨量资料	1954-2013 年
区域雷电灾害风险评估	雷暴	1954-2020 年
	闪电定位、大气电场资料	2014-2020 年
	雷电灾情资料	1954-2020 年
暖通参数	气压、气温、风速、风向、相对湿度、日照	1991-2020 年
高影响天气	暴雨、大风、沙尘天气	1954-2020 年
	积雪、极端高温、极端低温、冰雹	1954-2020 年
	雷暴	1954-2020 年
	闪电	1954-2020 年
	冻融	1954-2020 年

(2) 气象灾害资料(1954-2020 年)：选取对杭后工业园建设和维护运营影响较大的气象灾害，主要包括：暴雨、雷电、大风、沙尘、雪灾、极端高温、极端低温冰冻、冰雹、冻融等，灾情资料主要来源于内蒙古自治区气象信息中心的信息化资料以及气象年、月报表，另一部分“中国气象灾害大典(内蒙古卷)”、“内蒙古灾情直报系统”、“杭锦后旗地方志”、“内蒙古气象灾害风险普查成果”以及民政和农业等相关部门的灾情报告。

(3) 闪电定位仪资料：选取全区 56 站 ADTD 型地闪定位系统 2014-2021 年的闪电资料，探测仪通过测量云地闪回击电流辐射的强电磁脉冲，采用磁定向和时差联合法对地闪进行定位，包含每次地闪发生的具体日期、时间、经度、

纬度、回击电流幅值等参数，主要用于关键气象参数分析中的雷击风险评估和高影响天气中的闪电分析。闪电地闪资料来源于内蒙古 ADTD 闪电定位仪雷电监测定位系统，探测范围覆盖整个内蒙古区域。

(4) CLDAS 数据集：中国气象局陆面数据同化系统 (CLDAS: CMA Land Data Assimilation System) 的大气驱动产品，其时间范围为 2008 年 1 月 1 日-2019 年 12 月 31 日，时间分辨率为逐小时，空间范围为 (0-65°N, 60-160°E)，空间分辨率为 0.05°×0.05°。该数据集利用多种来源地面、卫星等观测资料，采用多重网格变分同化 (STMAS)、最优插值 (OI)、概率密度函数匹配 (CDF)、物理反演、地形校正等技术研制而成，在中国区域质量优于国际同类产品，且时空分辨率更高。数据来源于中国气象局信息中心。

(5) 均一化气象资料：杭锦后旗气象站在 2005 年 1 月迁站到新址，气象要素尤其是风速发生了跳跃式变化。平均气温、最高气温、最低气温、平均风速资料使用国家气象信息中心提供的 1954-2020 年的均一化数据。

(6) 气象台站历史沿革资料：巴彦淖尔市气象台站史概况，内蒙古气象灾害普查中台站信息，杭锦后旗地面气象观测站探测环境调查评估报告书。资料来源于杭锦后旗气象局、内蒙古气象灾害普查技术组。

(7) 园区基本资料：园区总体规划、园区内公共设施情况及生态环境资料、开发情况、入驻企业资料、论证范围等资料，来源于杭锦后旗自然资源局和杭后工业园管理委员会。

### 3.2 资料质量控制与均一性检查

报告所用国家气象站观测资料均经过内蒙古自治区气象信息中心数据质量

控制和均一性检验。数据质量控制通常将范围值检查、内部一致性检查、时变检查、持续性检查和空间一致性检查综合应用；对气温、降水和相对湿度的均一性检验，主要采用标准正态检验（SNHT）、累积方差检验、二相回归（TPR）等非参数方法。

**范围值检查：**气候极值检查是检查各要素值是否超过历史上出现过的最大值和最小值。选取全国自动站经度、纬度、拔海高度以及自动站数据为样本，建立多元线性回归方程，推求出各要素极值随时间（月份）、经度、纬度、拔海高度的多元线性方程，然后利用该方程，计算出任意地理位置的各气象要素极值。

**内部一致性检查：**气压、相对湿度和气温等气象观测要素相互之间关系密切，其变化规律具有一致性。根据该特性，就可对相关数据是否保持这种内部关系来检查其是否发生异常，以确定数据质量。

**时变检查：**大气中的气温、相对湿度等气象观测数据与时间显著相关，具有良好的时间一致性，将此类数据与其时间上前、后的测值相比较，来判断其数据是否发生异常。

**持续性检查：**在一段时间内（如一天），许多气象要素值会随着时间、地域的变化出现波动。如果某要素值没有发生变化有可能观测仪器或传输设备出现故障。

**空间一致性检查：**气象要素分布的地理空间具有相关性，空间距离较近的气象站点比距离较远的站点其特征值具有更大的相似性。这是空间插值的理论依据之一，也是空间一致性检查的理论基础。根据插值原理，对于被检站被检时次的某个要素（如气温），可用邻近参考站的数据来估计被检站数据，再根据实测值与估计值差值大小，确定数据质量控制码。

### 3.3 参证站选取原则

#### (1) 准确性

一般来说，标准的国家气象站的观测资料准确性比较高。国家级气象站在基础建设、观测仪器选型和安装、观测方法和观测管理等方面，均按照中国气象局制定的《地面气象观测规范》执行，其观测资料均经过当地气象台站初算、复算、初审，再经地市气象局和省级气象局审核后才进入数据库和上报中国气象局，其观测资料具有很高的可靠性。

#### (2) 代表性

参证气象站的代表性是指参证气象站历史资料序列是否能够达到 30 年，并且对项目所在地的区域气候特征具有一定的代表性。考察参证气象站的区域气候代表性，应从各个拟选气象站与项目所在地之间的距离、相对关系、地形、下垫面特征以及区域气候特点等方面进行综合分析。一般应选择与项目所在地距离较近，地理条件（地理位置、地形、地貌和海拔高度）较为相近的气象站作为参证气象站，参证气象站与项目所在地之间最好没有高大山体阻隔；参证气象站应与项目所在地处于同一气候区，平均气候状况相似，部分敏感的气象要素产生的差异主要来自各站地理条件的影响，如气压主要受海拔高度影响，风主要受局地地形影响，因此，一个参证气象站可能难以在所有要素方面均对项目所在地具有代表性，可根据当地气象站分布情况和针对项目关注的敏感气象要素的代表性，选取参证气象站。

#### (3) 比较性

参证气象站资料系列的比较性主要是指气象要素历史序列可以较好地表征当地各个历史时期气候背景的变化特征，尽可能消除局部观测环境、观测仪器设备和观测方法等的影响。因此，应对气象台站历史沿革（包括观测场的变迁、观测仪器设备的更替、观测环境变化，以及观测项目、观测高度等变化）情况进行考证和说明，一般应选择观测场址一直保持不变或变迁次数较少的国

家气象站。气象资料的一致性可通过气象要素逐年变化，多站多要素历史序列对比或相关分析等方法进行定性分析审查，必要时，可通过平行观测资料对比分析或通过统计检验等技术方法进行资料系列的比较性订正。

### 3.4 参证气象站选取

研究表明：相距不远的气象观测站处于大致相同的环流背景下，它们的平均气温、降水量等气象要素的年际变化，受到共同环流背景的制约，也就是说“从理论上讲，在同一时段，在相同天气型或其他相同条件下，不同地点之间局地气候的差异，应具备相对的稳定性”。因此，参证气象站的选取从观测站距离项目区的距离远近、下垫面特征、测站资料的均一性等方面进行甄选。

气象台站常因观测环境条件变化或其他原因而进行迁移。由于台站迁移，其观测记录序列将受到影响，影响程度由迁址距离、海拔高度、站址地形及周围环境条件决定。如果台站迁移后两地的地形、环境条件差异不大，且水平距离不超过 50km、海拔高度差在 100m 以内，其迁址后观测记录一般不会出现不连续现象。

#### 3.4.1 参证气象站比选

参证气象站的选取原则主要依据资料序列的代表性、准确性和比较性三个方面，按照自然地理条件接近、下垫面条件相似、气象观测资料对于园区或区域具有较好代表性等原则进行选取。先选取与项目所在地直线距离较近的多个气象站，然后根据同步观测气温、降水、风速等数据进行相关性及其风向的一致性对比分析，综合气象站的实测序列长度、观测环境状况、迁站情况等确定参证气象站。

##### （1）杭后工业园周边气象站情况

杭后工业园有两个区域，且两个区域相距约 3 公里左右。杭锦后旗国家气象站位于两个园区之间偏南位置，距离园区最近，约为 3~6 公里左右。园区周

边共有杭锦后旗、临河、磴口、乌拉特后旗 4 个国家气象站和二道桥镇、三道桥镇、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇、星光村 6 个区域骨干自动气象站，共计 10 个气象观测站（见图 3.4-1）。

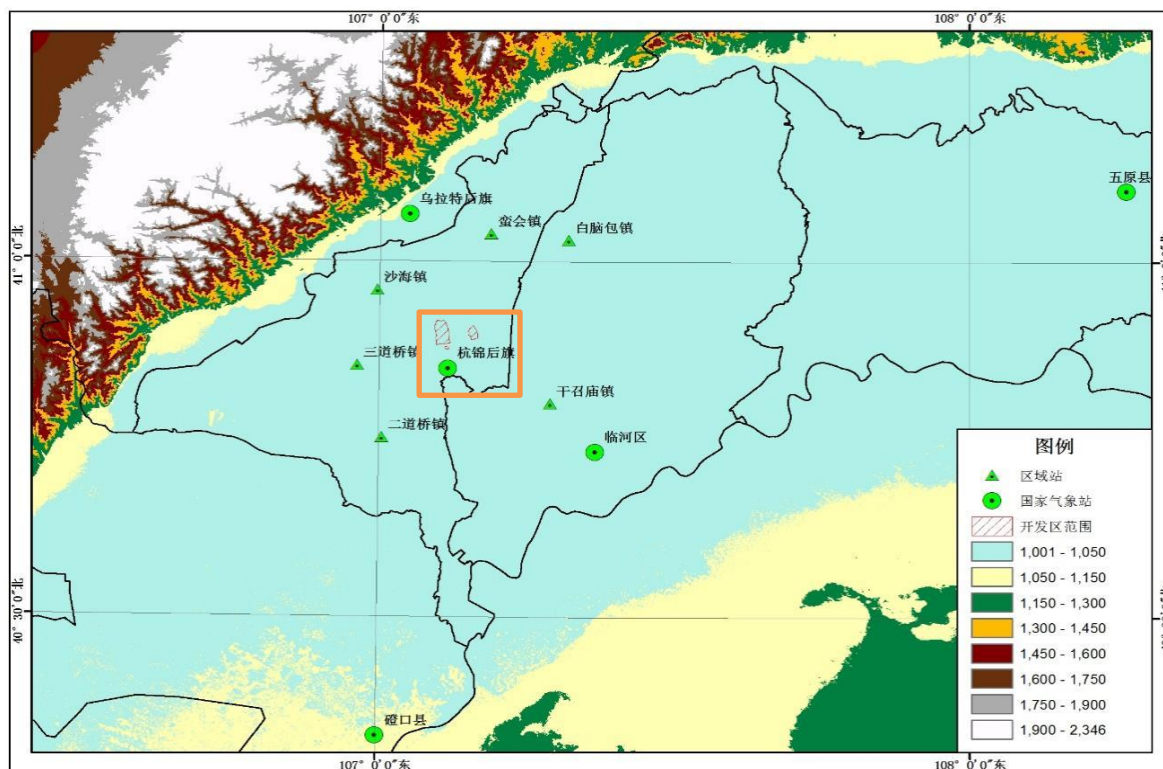


图 3.4-1 杭后工业园周边国家气象站点、骨干区域气象站点及地形分布图

表 3.4-1 分析表明：距离杭锦后旗工业区直线距离最近的国家气象站为杭锦后旗气象站，与该西园区南界相距约 3.9 公里，最近的骨干区域气象站为沙海镇区域站，距该园区南界约 9.8 公里。杭锦后旗气象站距离东工业园南界为 5.9 公里，最近的骨干区域气象站为蛮会镇区域站，距该园区南界约 14.7 公里。杭锦后旗气象站始建于 1954 年 1 月，2005 年 1 月由于城市规划的原因发生过 1 次迁站，由陕坝镇郊外东北（ $40^{\circ} 58' N, 107^{\circ} 10' E, 1056.7m$ ）迁至陕坝镇南郊外（ $40^{\circ} 51' N, 107^{\circ} 07' E, 1024.0m$ ），向西南迁 3.4 千米；迁站原因为原观测站东墙外建起大型热电厂，探测环境恶化。迁站后海拔降低了 32.7 m，但迁站后观测环境更具代表性；二道桥镇、三道桥镇、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇、

星光村 6 个区域骨干气象站于 2017 年 6 月启用，观测项目包括气温、气压、风速、风向、相对湿度、降水 6 个要素，2018 年至今有完整观测记录。杭锦后旗气象站地形地貌与杭后工业园基本一致，且与项目所在地之间距离最近，因此可考虑将杭锦后旗国家气象站作为该工业园的拟选参证气象站。

## （2）确定备选气象站

为保证资料的准确性及完整性，参证气象站选取时，宜首先考虑国家气象站。鉴于杭后工业园两个区块位置的实际，选取了工业园区附近的临河、磴口、乌拉特后旗 3 个国家气象站与周边的二道桥镇、三道桥镇、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇、星光村 6 个骨干区域气象站与杭锦后旗气象站的观测数据进行对比及相关性分析，进一步论证其作为参证气象站的科学性。气象站基本信息见表 3.4-1。

表3.4-1 杭后工业园周边气象站基本信息

站名	类别	建站时间	迁站次数（次）	海拔高度（m）	距东工业园（km）	距西工业园（km）	地貌相似度
杭锦后旗	一般站	1954.01	1（200501）	1024.0	5.9	3.9	一致
临河	基本站	1956.11	3（196506, 198001, 201001）	1041.1	25.1	27.3	基本一致
磴口	一般站	1954.01	1（196003）	1055.3	63.6	62.0	基本一致
乌拉特后旗	一般站	1974.01	2 （198612, 200612）	1035.3	19.9	17.3	较差
二道桥镇	骨干区域气象站	2017.06	0	1033.0	20.0	16.6	基本一致
三道桥镇	骨干区域气象站	2017.05	0	1035.0	16.7	12.3	基本一致
蛮会镇	骨干区域气象站	2017.06	0	1028.0	14.7	15.4	基本一致
沙海镇	骨干区域气象站	2017.09	0	1029.0	14.8	9.8	基本一致
白脑包镇	骨干区域气象站	2017.09	0	1023	18.7	21.4	基本一致
星光村	骨干区域气象站	2017.09	0	1034	28.3	32.2	基本一致



### (3) 园区拟选气象站与备选气象站各气象要素一致性分析

拟选取杭锦后旗气象站作为评价区参证气象站。下面将从近三十年（1991-2020 年）来气温、降水量、风、日照等方面对以上四个国家气象站进行对比论证（表 3.4-2）。

表 3.4-2 近 30 年杭后工业园周边 4 个国家气象站的基本气象要素统计

站名	东经	北纬	海拔高度 (m)	年平均气温 (°C)	年平均最高气温 (°C)	年平均最低气温 (°C)	总降水量 (mm)	平均风速 (m/s)	最大风速 (m/s)	日照时数 (h)
杭锦后旗	10700	4020	1055.3	8.3	15.3	2.0	143.4	2.2		3209.1
临河	10722	4044	1041.1	8.9	15.6	3.1	145.0	2.0		3119.8
磴口	10700	4020	1055.3	9.4	16.2	3.4	148.5	2.5		3240.3
乌拉特后旗	10703	4104	1035.3	6.7	13.2	0.5	144.6	3.9		3206.8

#### 1) 气温对比分析

近 30 年来杭后工业园周边的四个站年平均气温变化趋势基本一致，呈一致升高趋势。表现为北部的乌拉特后旗气象站气温最低，南部磴口气象站温度最高，杭锦后旗气象站温度居中。其中，乌拉特特后期气象站在 2006 年 1 月迁站后气温的波动性较大，呈显著升高趋势，杭锦后旗气象站气温变化趋势较为稳定（图 3.4-2）。

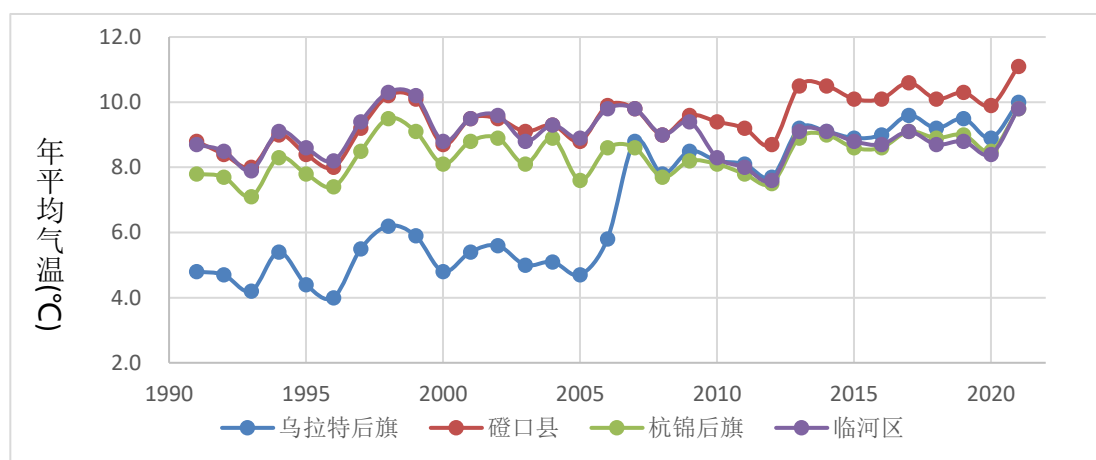


图 3.4-2 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年平均气温对比图

近 30 年来 4 站年平均最高气温变化趋势较为一致，呈一致升高趋势，年平均最高气温为  $13.2\sim 16.2^{\circ}\text{C}$  之间，呈现为南部的磴口气象站年平均最高气温最高，北部的乌拉特后旗气象站最低，杭锦后旗气象站居中，乌拉特后旗气象站在 2006 年迁站后最高气温明显升高。

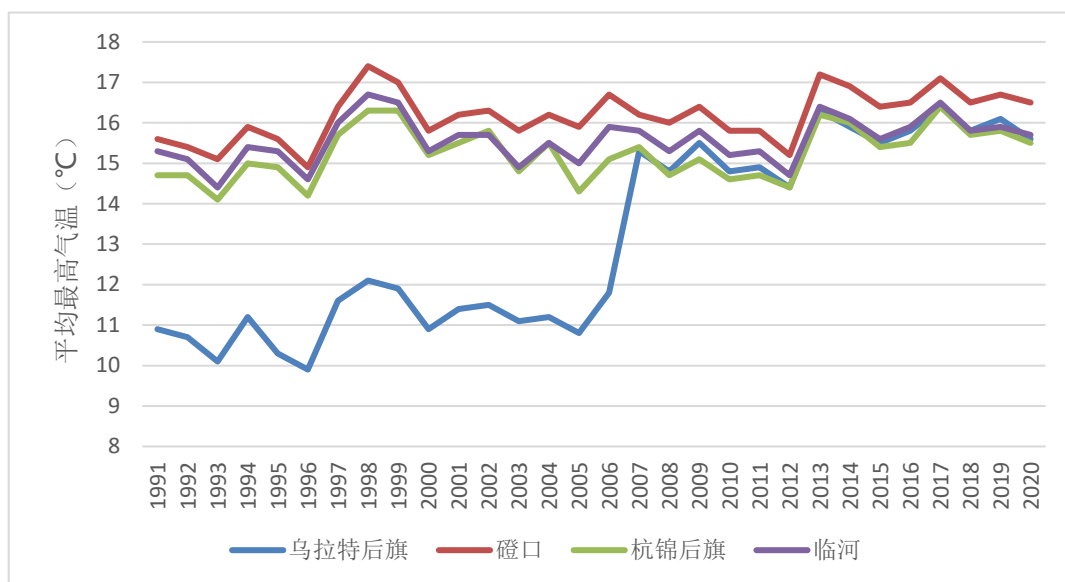


图 3.4-3 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年平均最高气温对比图

近 30 年来 4 站年平均最低气温变化趋势略有差异，年平均最低气温为  $-0.5\sim 3.4^{\circ}\text{C}$  之间，体现为杭锦后旗与磴口站变化趋势基本一致，均为略增加趋势，乌拉特后旗在 2006 年迁站后最低气温大幅升高，而临河气象站在 2010 年 1 月迁站后，最低气温显著降低。

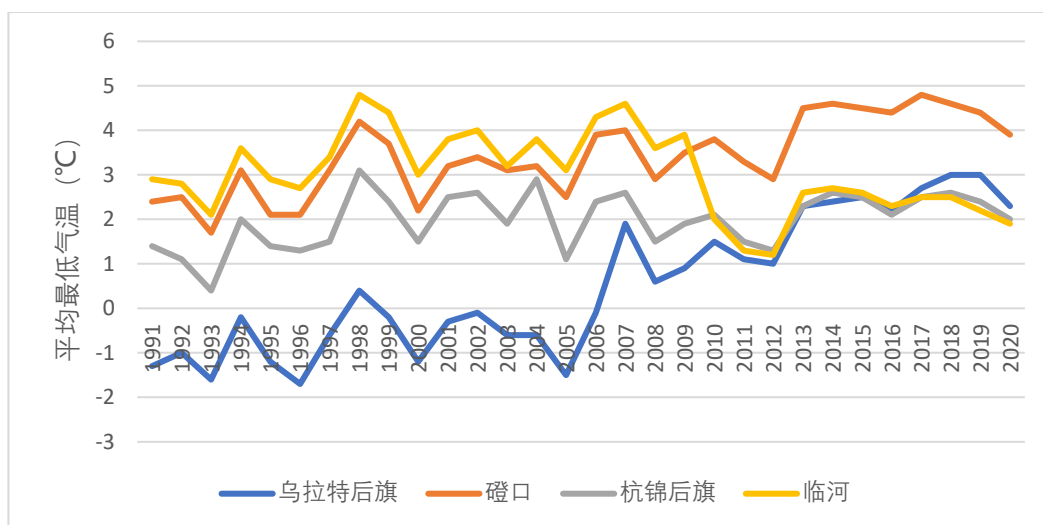


图 3.4-4 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年平均最低气温对比图

## 2) 降水量的对比分析

近 30 年来 4 站年总降水量在 143.4~148.5mm 之间，除乌拉特后旗降水量为略增加趋势外，其余三个站降水量均为一致的减少趋势。杭锦后旗降水量的变化与距离最近的临河站波动趋势相近。

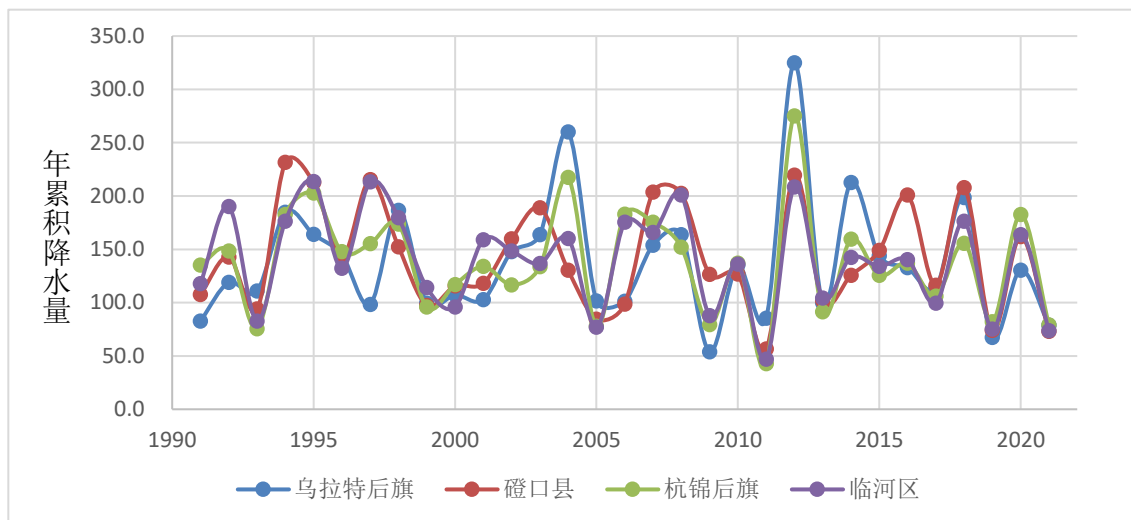


图 3.4-5 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年降水量对比图

## 3) 风的对比分析

近 30 年来 4 站年平均风速在 2.0~3.9m/s 之间，除乌拉特后旗外，其余三个站年平均风速一致性较好，乌拉特后旗站在 2006 年迁站后，海拔高度明显降低，致使平均风速显著下降。临河站在 2010 年迁站后平均风速小幅增大，杭锦后旗在 2005 年迁站后，海拔高度仅降低了 32 米，对平均风速影响不太明显，与近 30 年没有迁过站的磴口县平均风速趋势基本一致，其连续性较好。

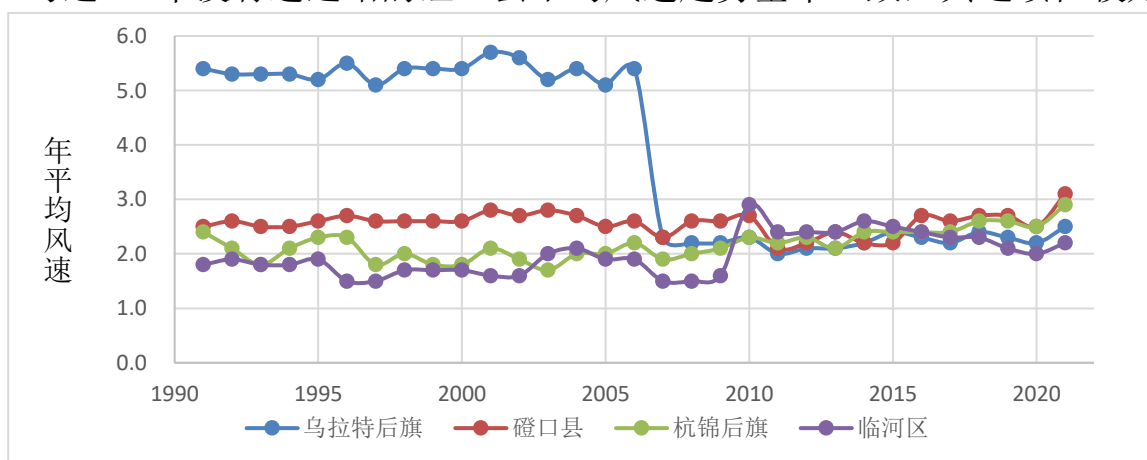


图 3.4-6 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年平均风速对比图

近 30 年来 4 站年最大风速在 15.3~29.0m/s 之间，总体变化趋势与年平均风速基本相近，但年际间的波动幅度明显增大。杭锦后旗最大风速变化与近 30 年没有迁过站的磴口气象站波动趋势基本一致。

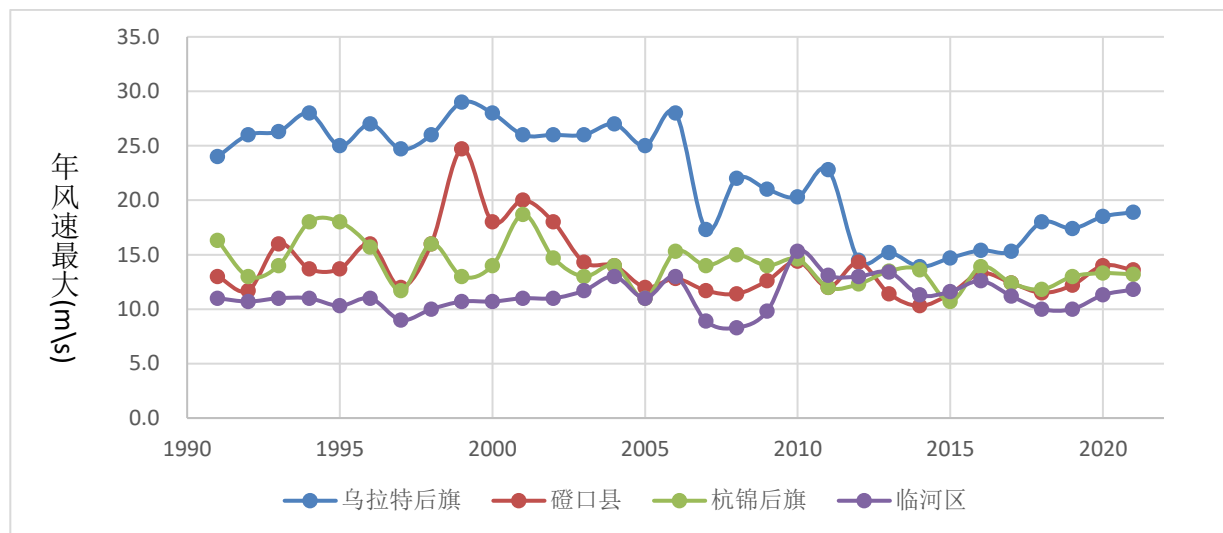


图 3.4-7 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年最大风速对比图

#### 4) 日照的对比分析

近 30 年来站年日照时数在 3119.8~3240.3 小时之间，临河气象站年日照时数最少，磴口气象站最多。杭锦后旗气象站位于中间。4 个站总体变化趋势相近，台站迁站前后对日照时数影响不明显。

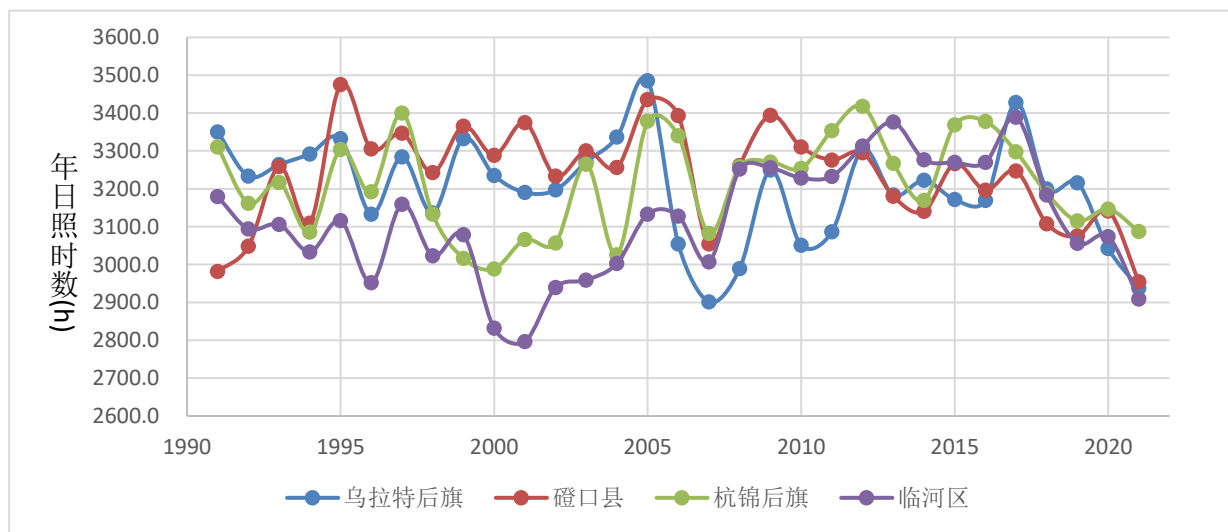


图 3.4-8 近 30 年杭后工业园周边 4 个气象站年日照时数对比图

综上所述，近 30 年来杭后工业园周边杭锦后旗、临河、磴口 3 个站的气

候特征较为相似，但局地小气候略有差异。杭锦后旗气象站气温和日照变化趋势相对稳定。乌拉特后旗气象站气温变化波动较大，尤其是最高温度和最低温度方面，波动性更大；降水量 3 站减少趋势一致，但局地波动幅度较大；临河和乌拉特后旗 2 个站平均风速和最大风速受迁站等局地环境影响较大，迁站后风速呈跳跃式增大。但杭锦后旗气象站在 2005 年迁站后，最低温度、风速与未发生过迁站的磴口气象站变化趋势最为一致，且杭后工业园距离杭锦后旗观测站仅仅 3 公里左右，且整个论证区域地势平坦，气象站地理位置和下垫面条件能代表园区整体气候状况。敏感气象要素产生的差异主要来自局地地形、地貌的影响，从气候成因和气候影响机理角度来看，杭锦后旗气象站能够较好地反映杭后工业园一带的气候状况，具有较好的区域一致性。

### 3.4.2 参证气象站区域代表性

代表性——观测记录不仅要反映测点的气象状况，而且要反映测点周围一定范围内的平均气象状况。杭后工业园是两个区块，为进一步论证参证站的区域代表性，选取了杭后工业园周边数据可用性较好的 6 个区域站：二道桥镇、三道桥镇、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇、星光村（图 3.4-1）。将 2019-2021 年杭锦后旗气象站与 6 个区域站的基本气象要素进行相关性分析，以确定参证气象站的区域代表性。

杭后工业园周边的区域气象站从 2019 年有完整的气象观测记录，2019-2021 年各气象站日值资料的完整率见表 3.4-3。杭锦后旗气象站气象要素的完整率达 99.9%以上，观测记录的完整率较高，其中降水量的完整率达到 100%；区域内区域站气象要素观测完整率除降水为 88.5%以外，其余要素均达到 96%以上，有个别缺测记录。区域自动站降水量的观测时段为 5-9 月，冬季没有固态降水观测，因此，降水量的分析以 5-9 月为主。

表3.4-3 杭后工业园周边气象站基本气象要素完整率统计 (%) (2019—2021年)

观测站	日降水量 (mm)	日平均气温 (℃)	日最低气温 (℃)	日最高气温 (℃)	日平均风速 (m/s)	日最大风速 (m/s)
杭锦后旗	100	99.9	99.9	99.9	99.8	99.9
二道桥	88.6	98.3	99.0	99.0	98.1	99.0
三道桥	88.5	97.2	98.2	98.2	97.2	98.2
蛮会镇	88.5	98.4	99.0	99.0	98.4	99.0
沙海镇	88.5	96.5	97.3	97.3	96.5	97.3
白脑包镇	88.5	98.1	98.9	98.9	98.1	98.9
星光村	88.5	98.1	98.9	98.9	98.1	98.9

### ① 气温的相关性分析

如表 3.4-4 所示, 2019-2021 年杭锦后旗国家气象站与周边 6 个区域气象站的平均气温、平均最高气温和平均最低气温的相关系数达 0.96 以上, 均通过了  $\alpha=0.001$  的显著性检验, 相关性极高, 且杭锦后旗国家气象站与园区周边的 6 个区域气象观测站平均气温、平均最高气温及平均最低气温变化趋势基本一致。从图 3.4-9~图 3.4-12 杭锦后旗气象站与 6 个区域气象站 2017-2021 年日平均气温、日最高气温和日最低气温的散点图上可以看出, 杭锦后旗气象站与 6 个区域站的平均气温相关最为紧密, 与平均最低气温相关性略低于平均气温和最高气温, 但仍达到显著相关。就气温而言, 杭锦后旗气象站可以代表区域气候状态。

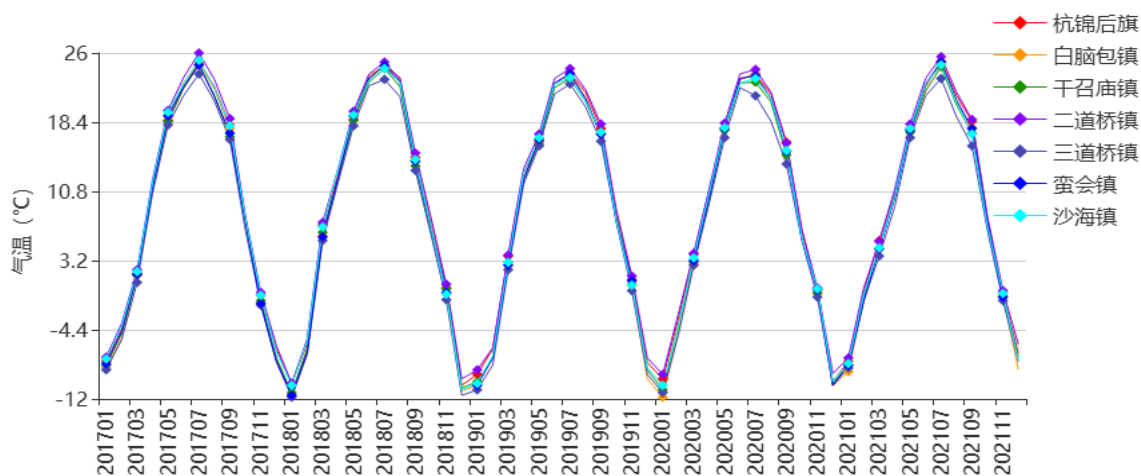
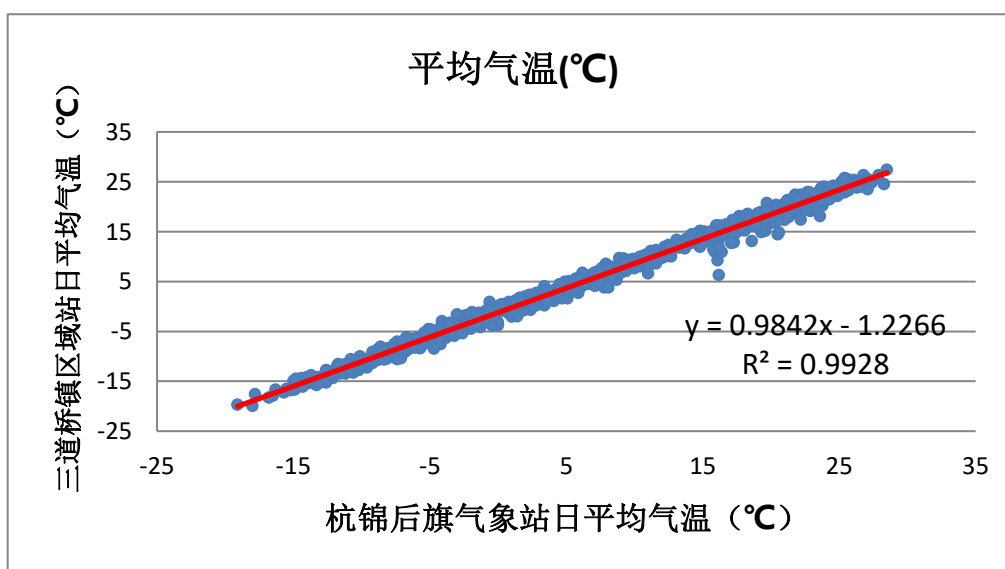
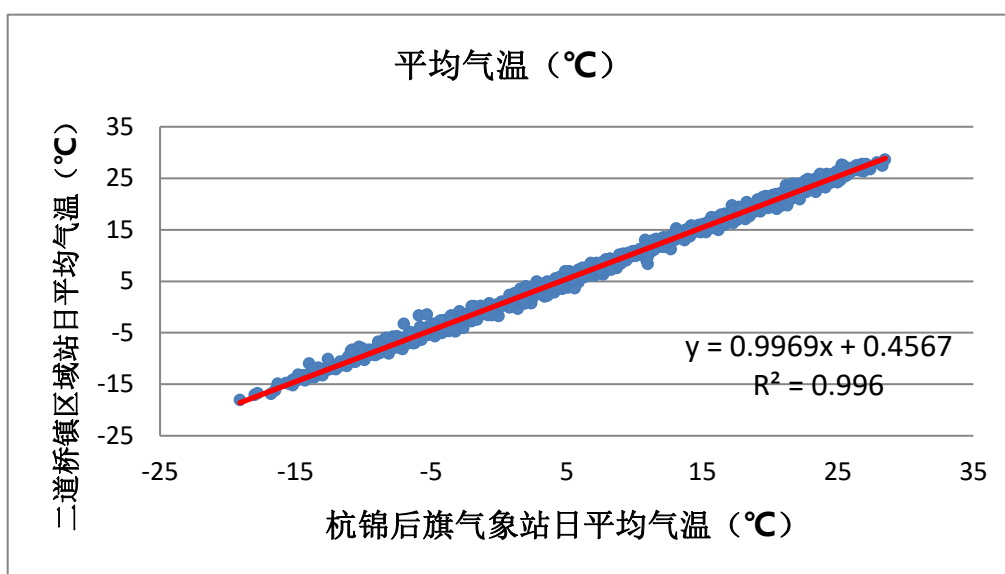
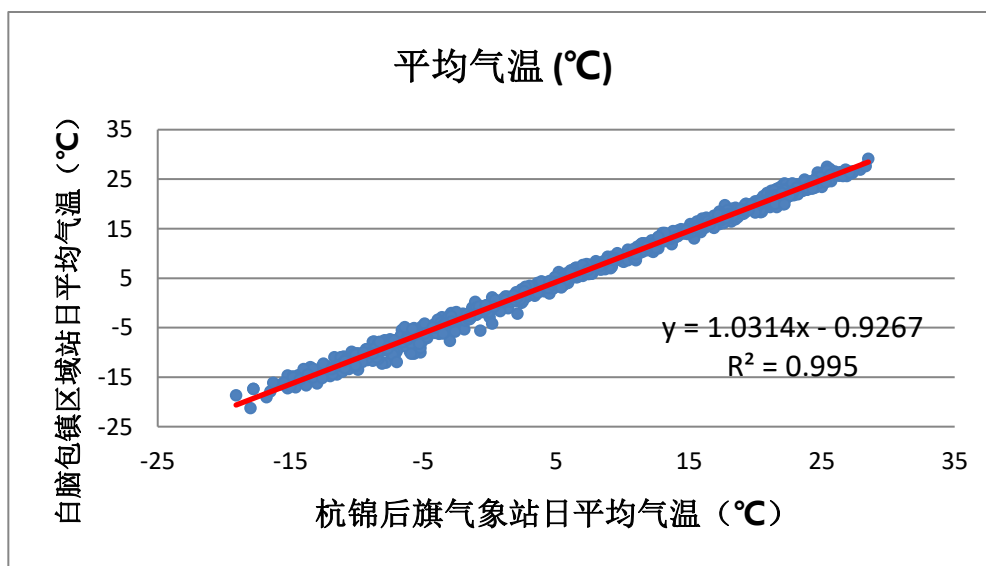
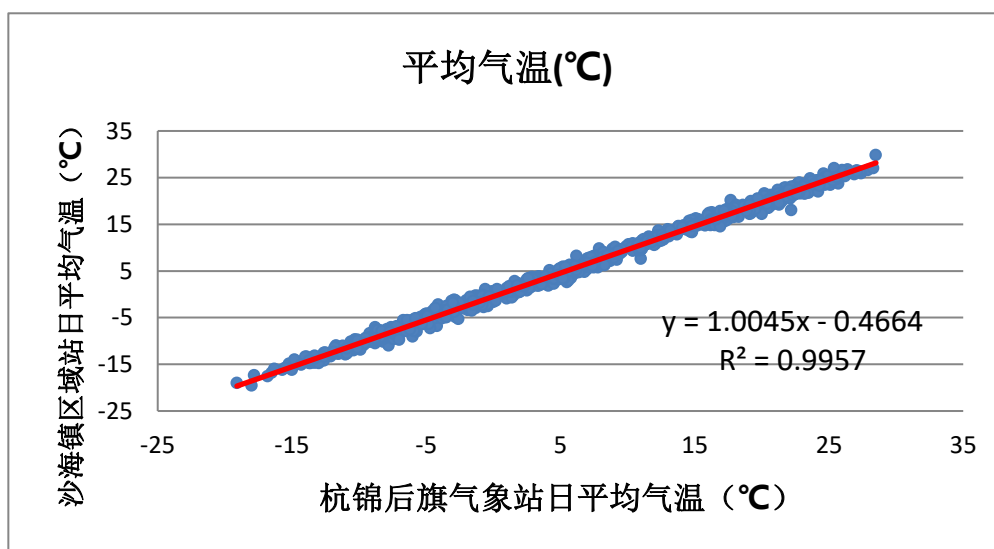
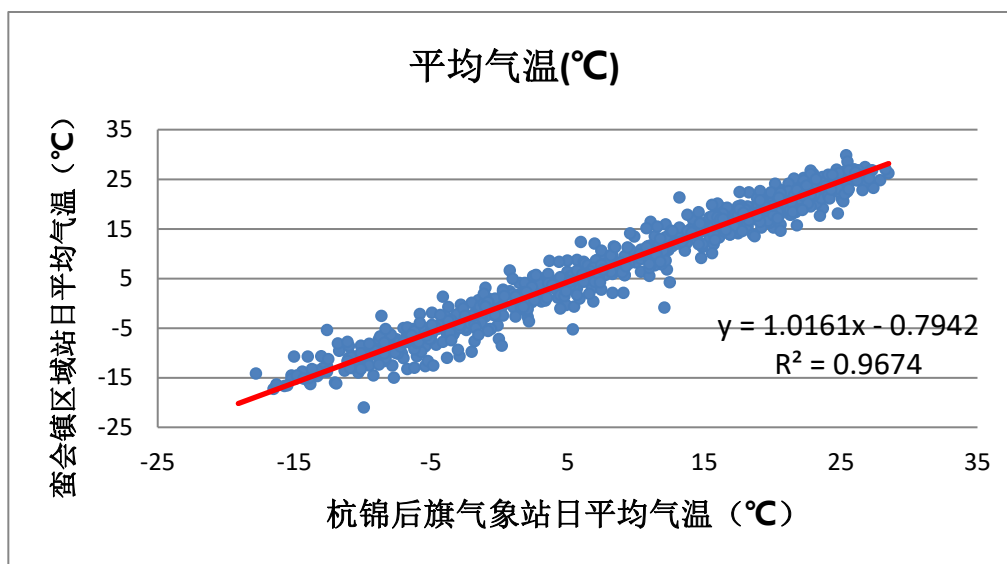


图 3.4-9 杭后工业园及周边气象站逐月平均气温变化 (°C, 2017-2021 年)

表3.4-4 杭锦后旗气象站与园区周边6个区域气象站气温的相关系数

区域气象观测站	平均气温	平均最高气温	平均最低气温
二道桥	0.998	0.996	0.991
三道桥	0.996	0.997	0.988
蛮会镇	0.984	0.974	0.967
沙海镇	0.998	0.997	0.993
白脑包镇	0.997	0.998	0.981
星光村	0.997	0.997	0.989







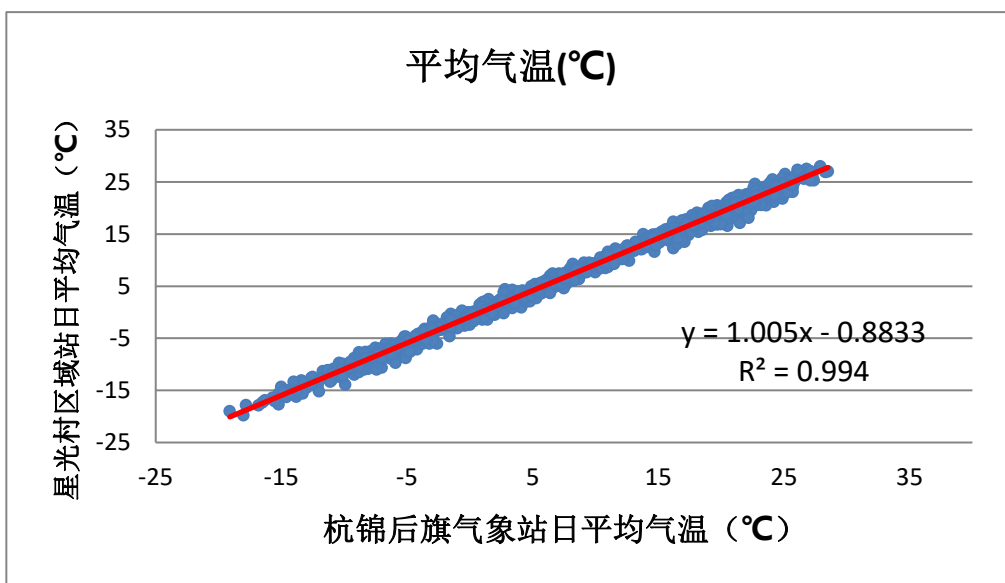
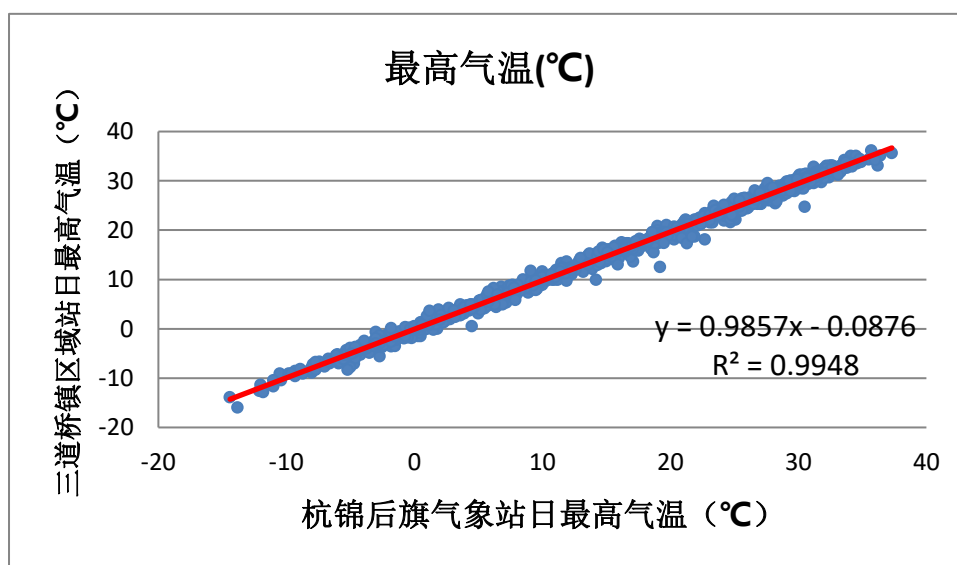
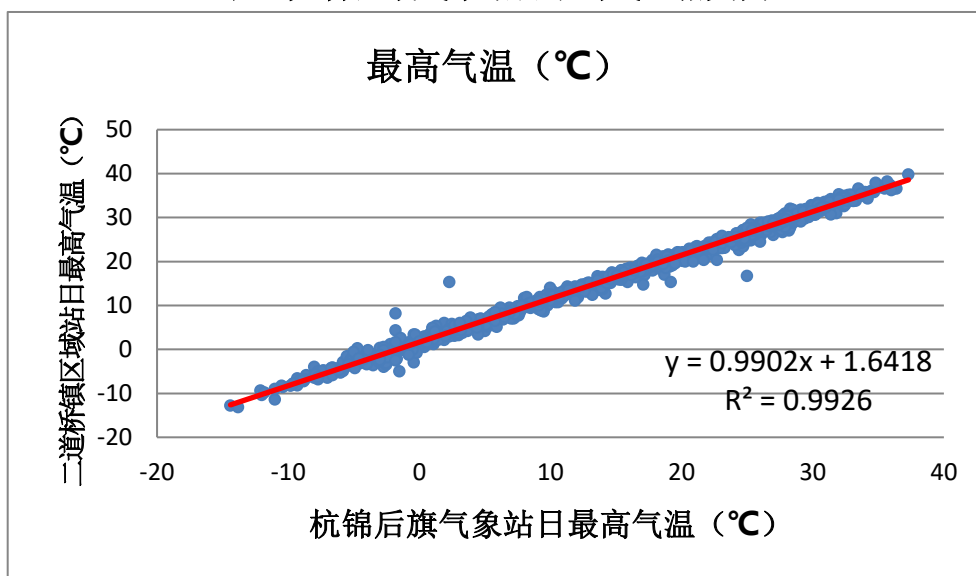
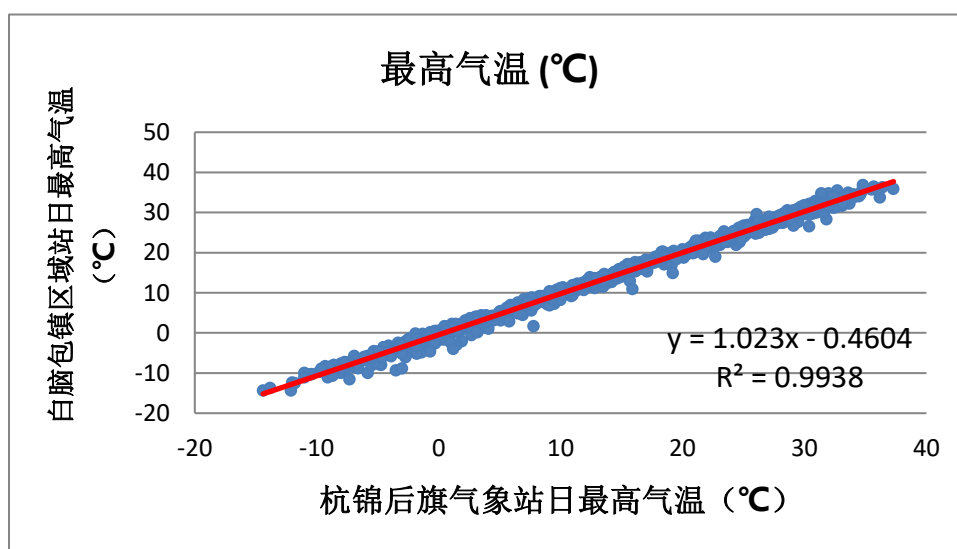
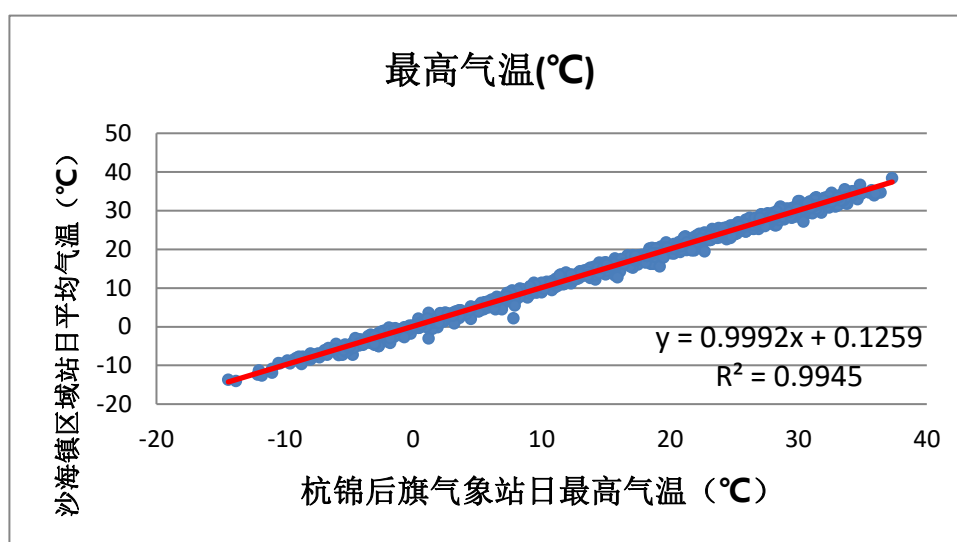
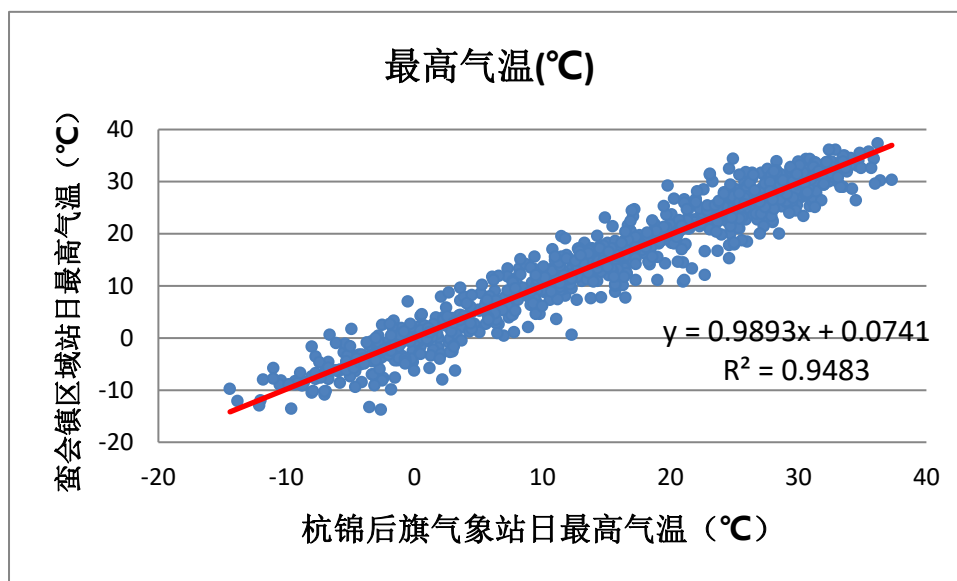


图 3.4-10 2019-2021 年杭锦后旗气象站与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站日平均气温相关图





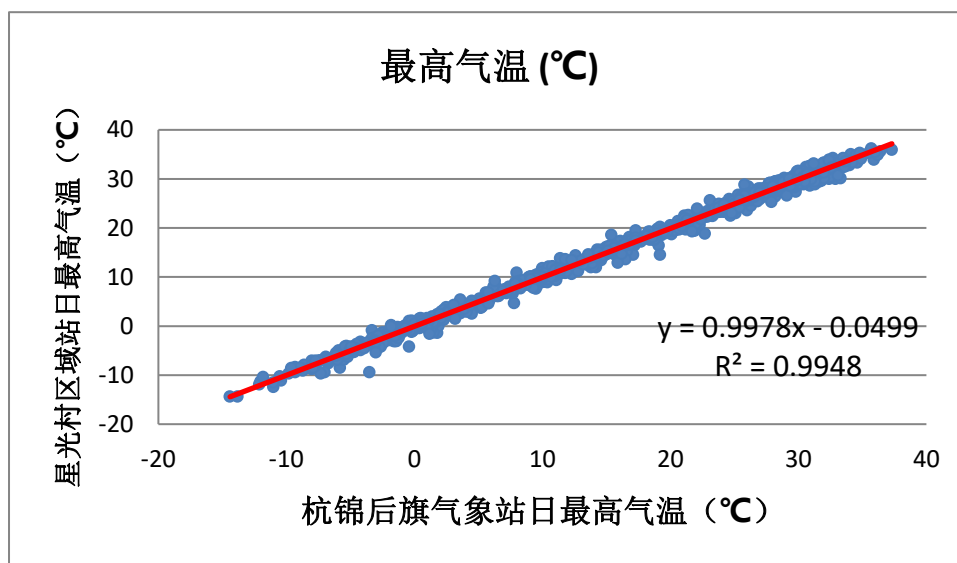
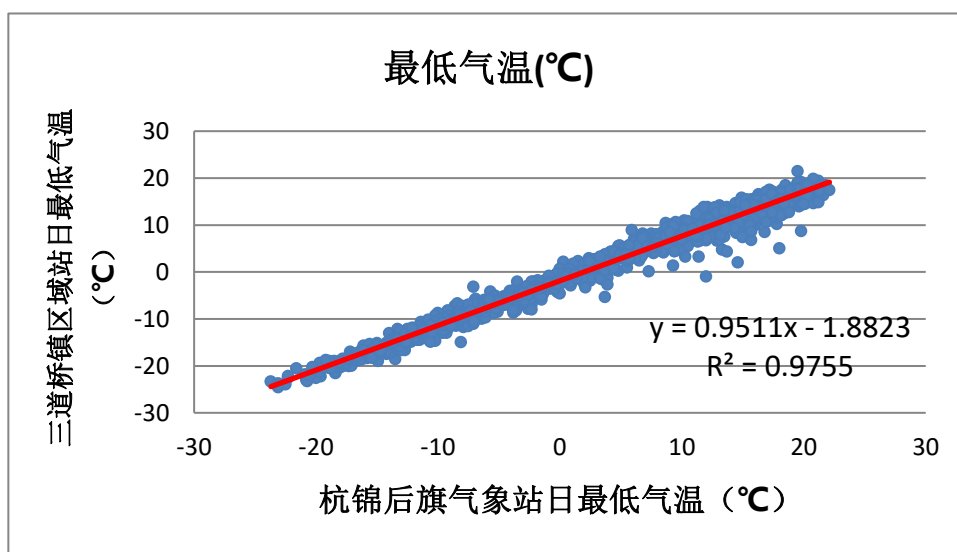
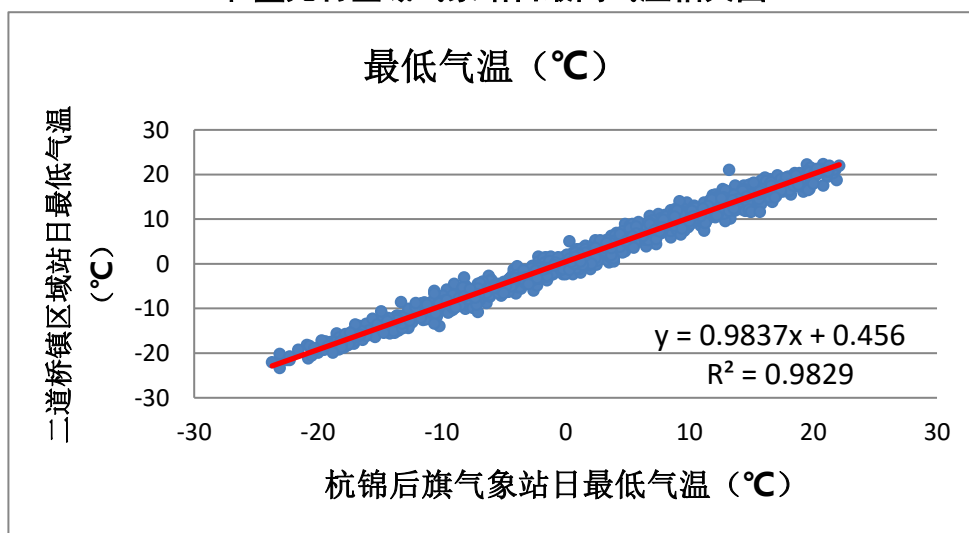
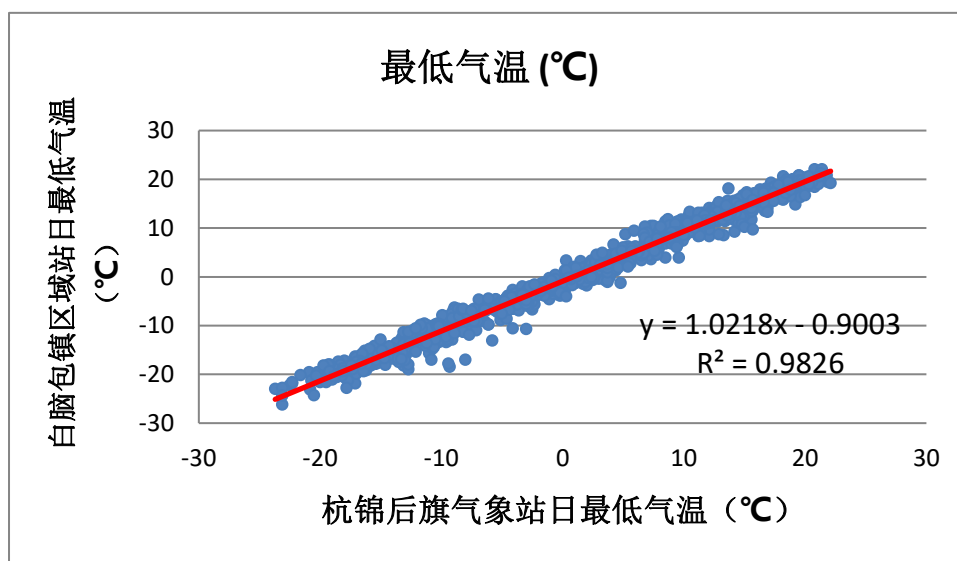
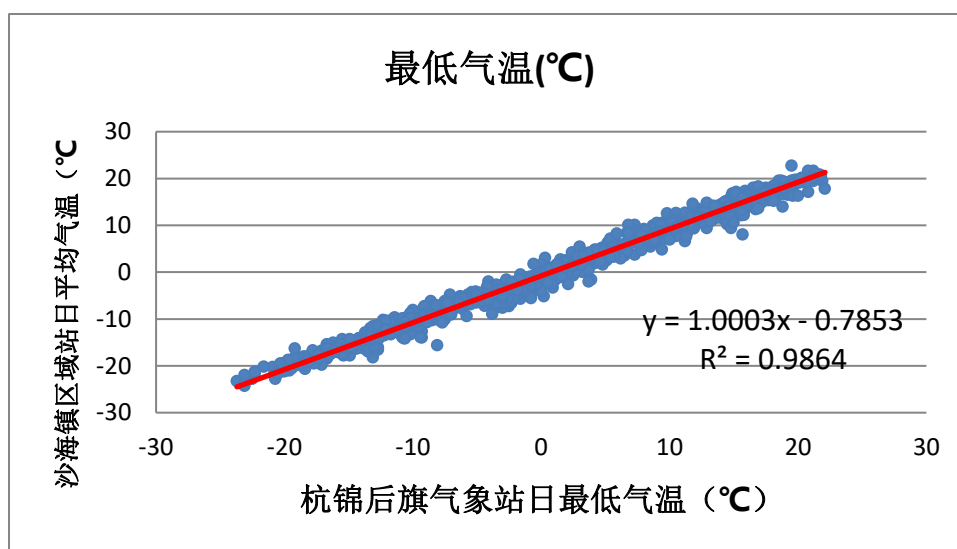
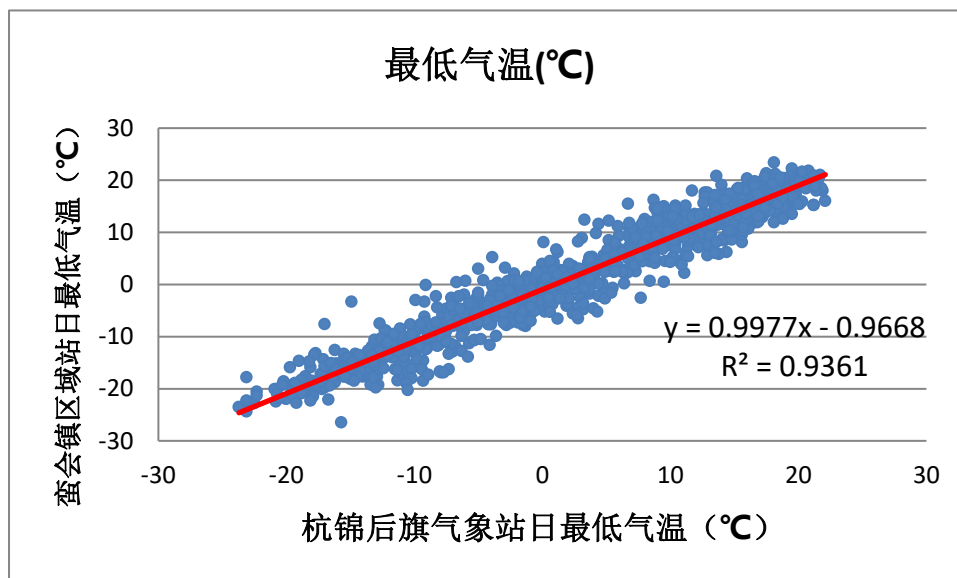


图 3.4-11 2019-2021 年杭锦后旗气象站与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站日最高气温相关图





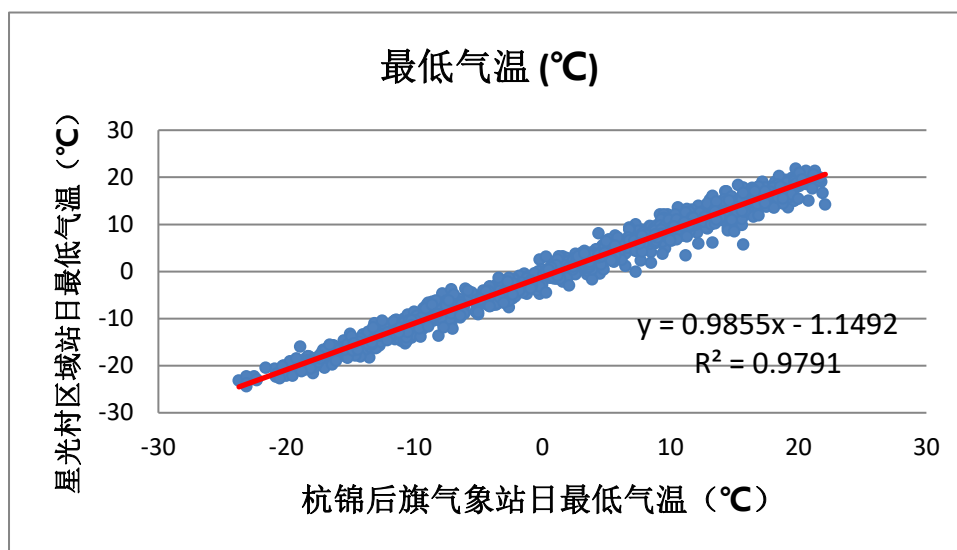


图 3.4-12 2019-2021 年杭锦后旗气象站与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站日最低气温相关图

## ② 风的相关性分析

如表 3.4-13 所示，2019-2021 年杭锦后旗国家气象站与园区周边的 5 个区域气象站平均风速相关系数均达 0.7 以上（除蛮汉镇以外，蛮汉镇临近阴山山脉，受局地地形影响较大，风速及风向局地特征明显）均通过了  $\alpha = 0.001$  的显著性检验，达到显著相关水平，且杭锦后旗国家气象站与园区 5 个区域气象站的变化趋势也基本一致，风速最大期均出现在 4-5 月份，风速最小期出现在 7-8 月份。杭锦后旗气象站与园区最近的三道桥区域站和二道桥区域站风速的相关性更好。

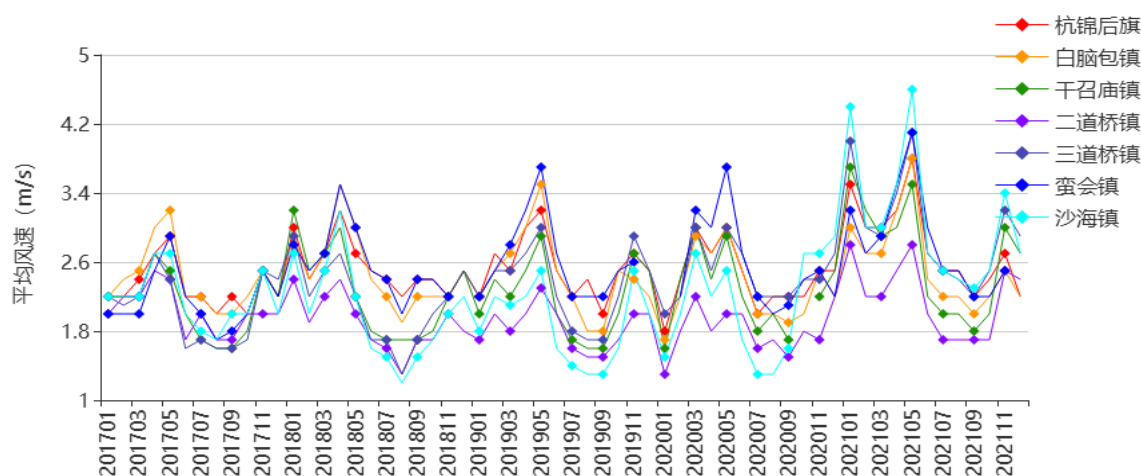
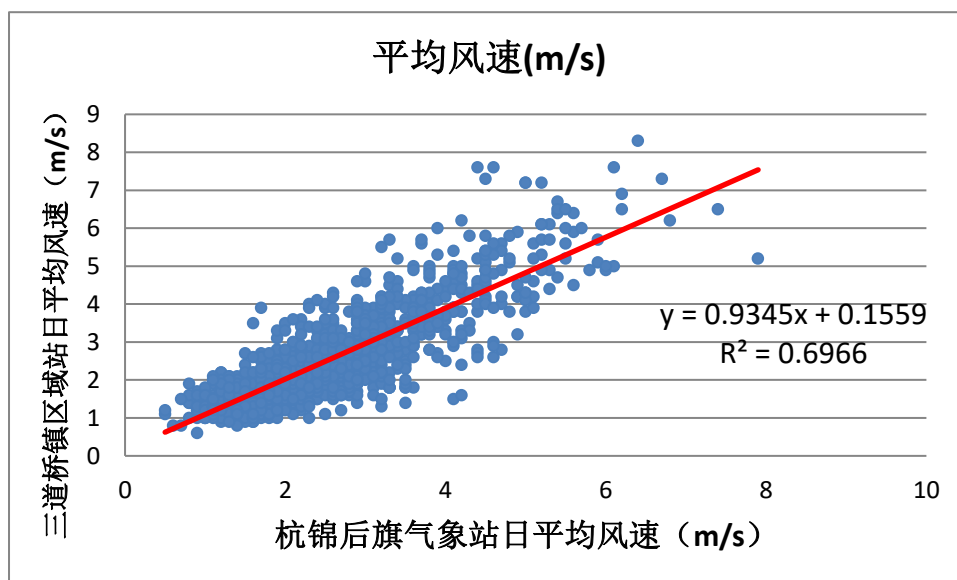
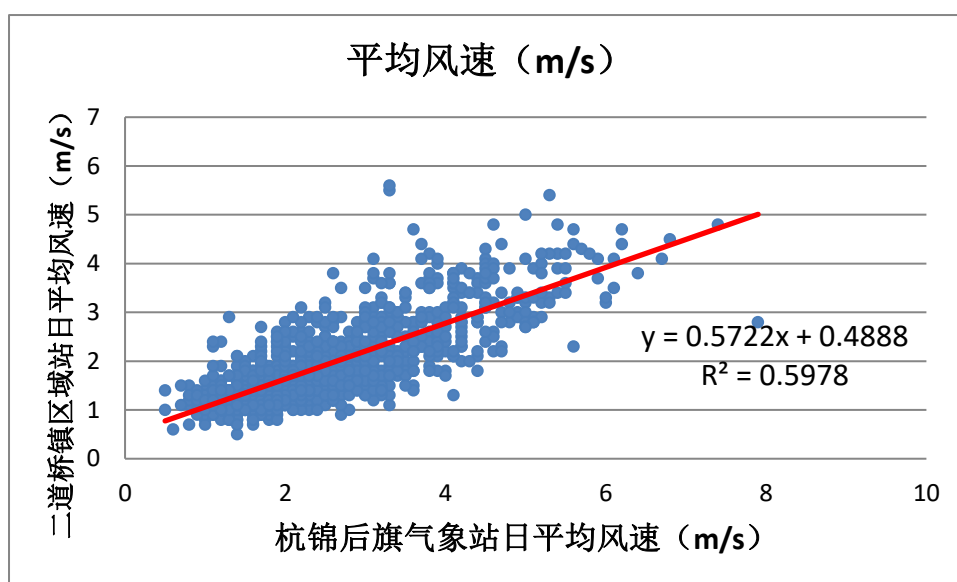
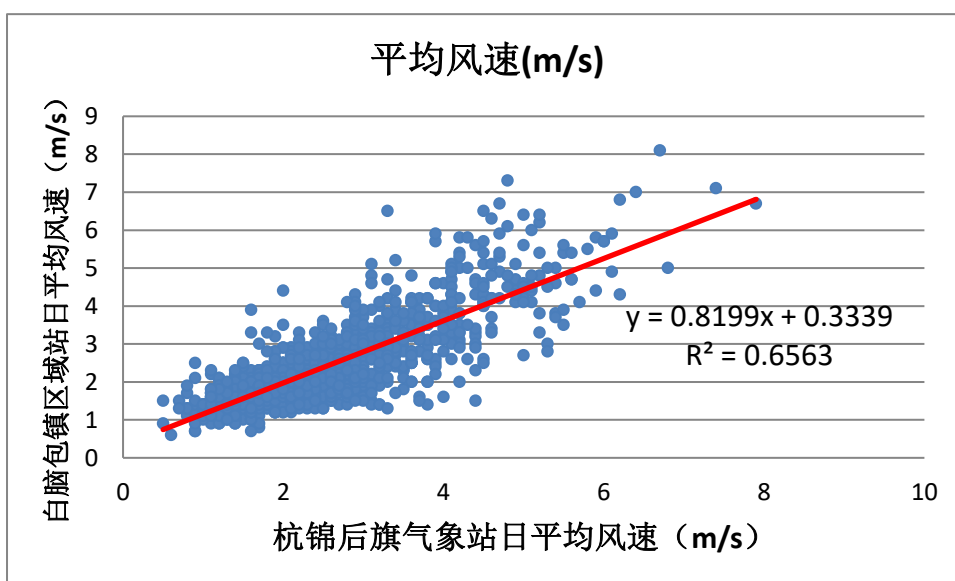
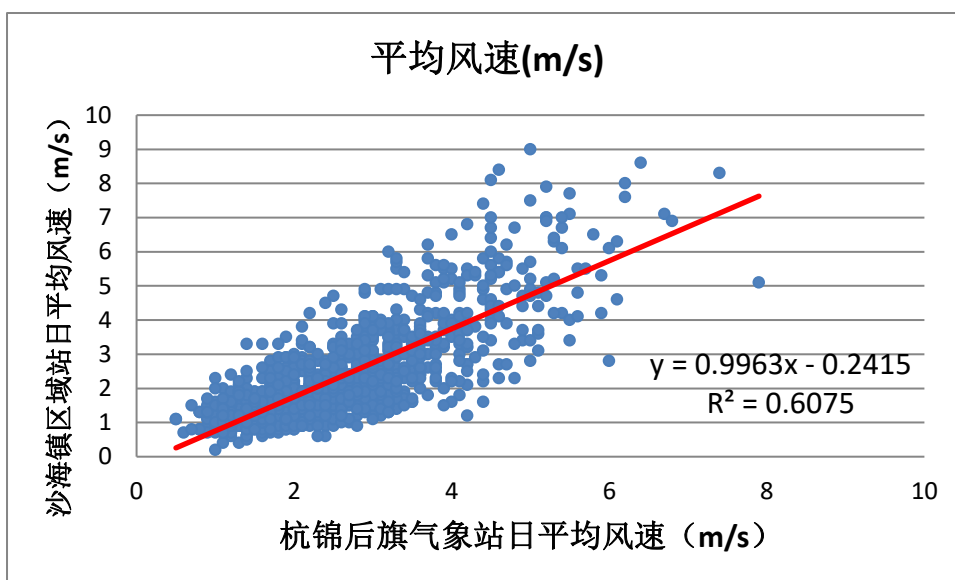
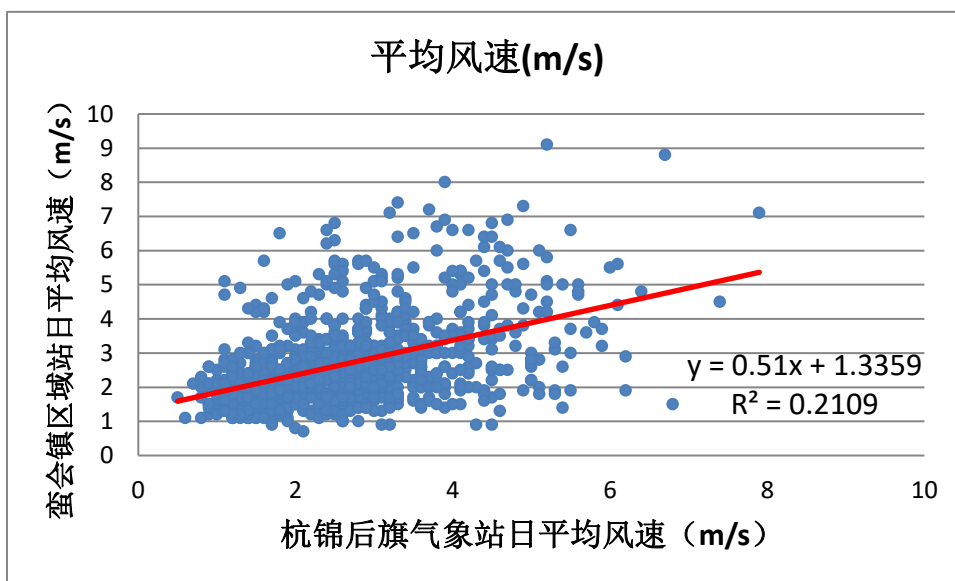


图 3.4-13 杭后工业园及周边气象站逐月平均风速变化 (m/s, 2017-2021 年)

表3.4-5 杭锦后旗气象站与园区6个区域气象站平均风速相关系数

区域气象观测站	二道桥	三道桥	蛮会镇	沙海镇	白脑包镇	星光村
平均风速	0.773	0.835	0.459	0.779	0.811	0.826





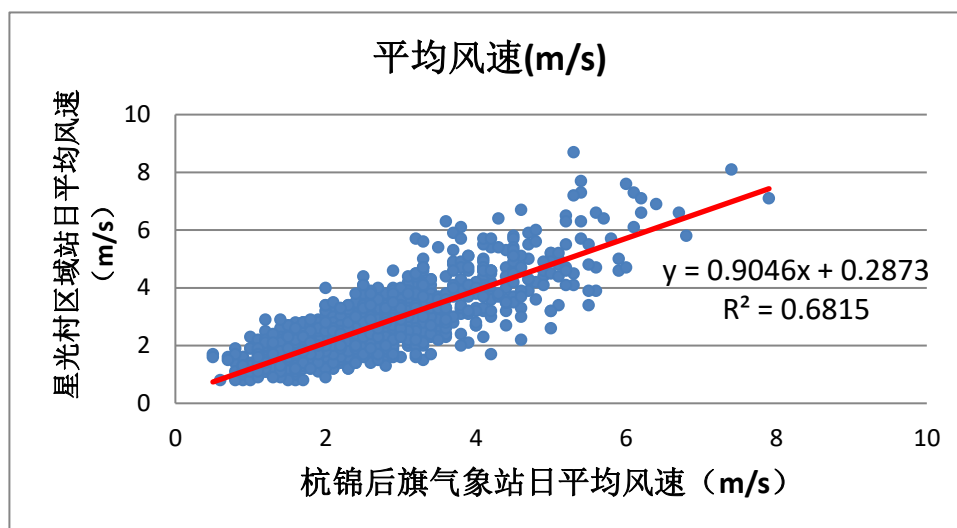


图 3.4-14 2019-2021 年杭锦后旗气象站与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站日平均风速相关图

通过比较杭锦后旗气象站与园区周边 6 个区域气象站风向频率玫瑰图 3.4-15 可以看出，6 个区域气象站的主导风向位于 NE-NNE 方向，杭锦后旗气象站多年主导风向为 NNE，与区域站的风向基本一致，综合考虑风速和风向情况，选取杭锦后旗气象站的代表性较好。

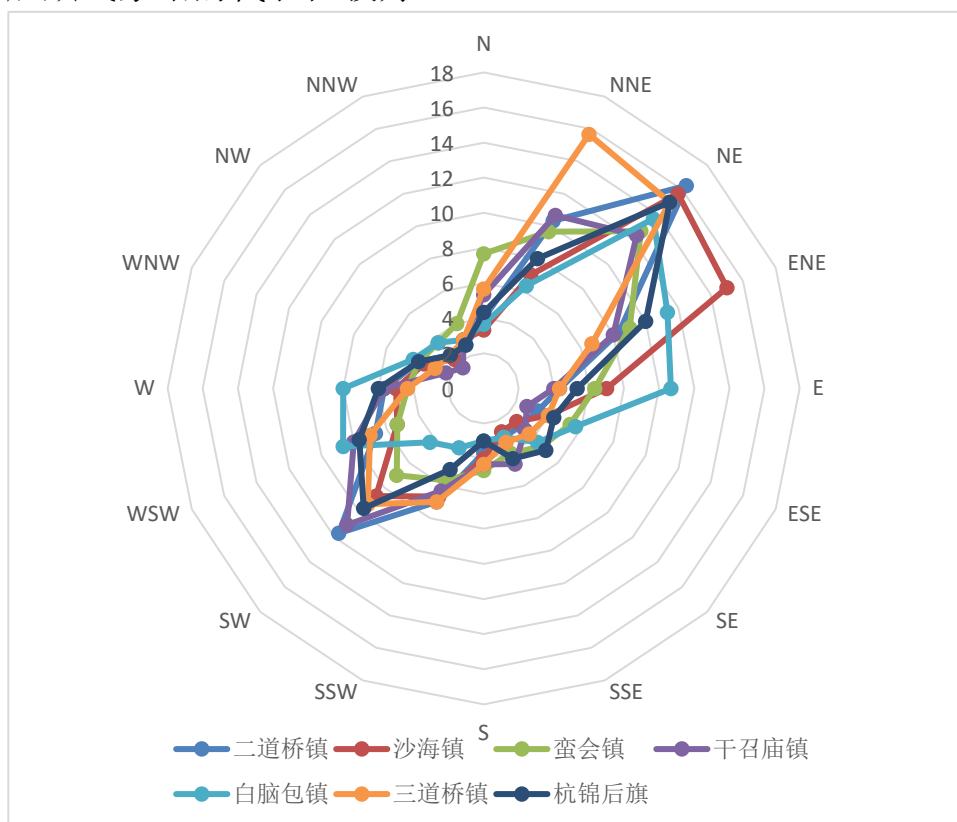


图 3.4-15 2019-2021 年杭锦后期气象站与与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站风向频率玫瑰图



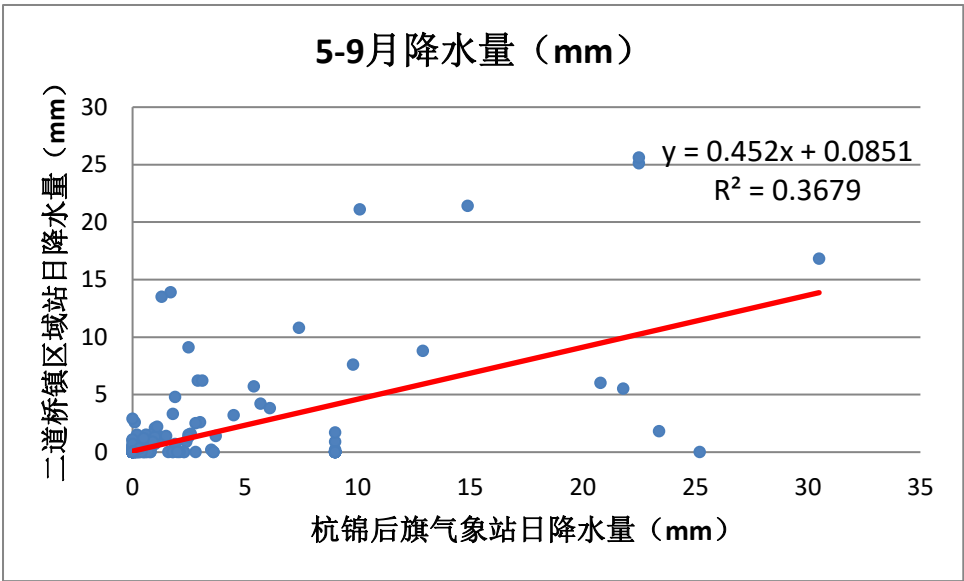
③ 降水量的相关性分析

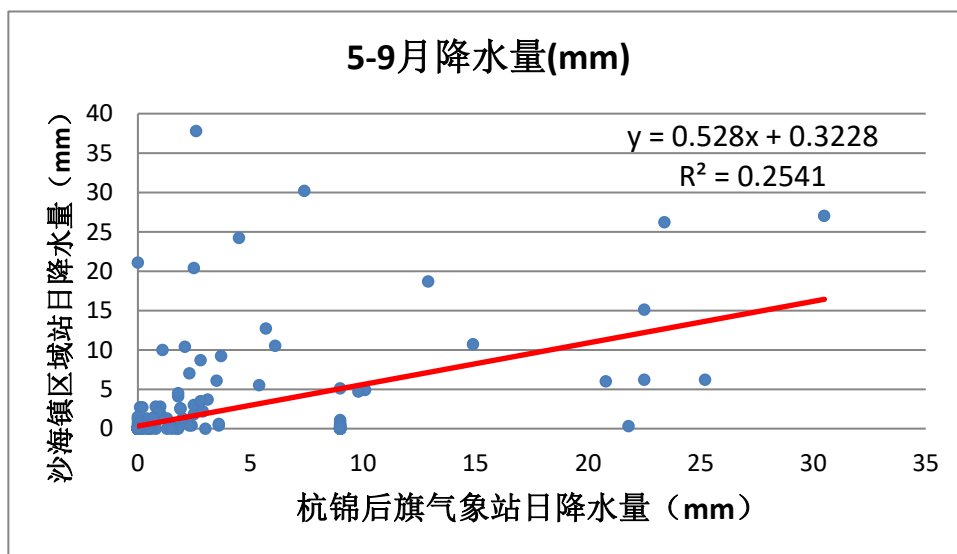
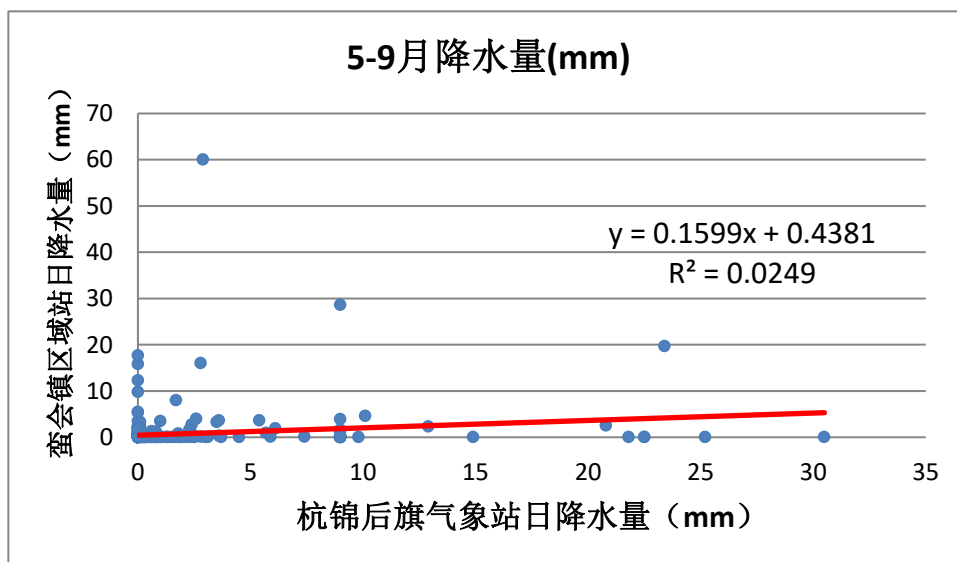
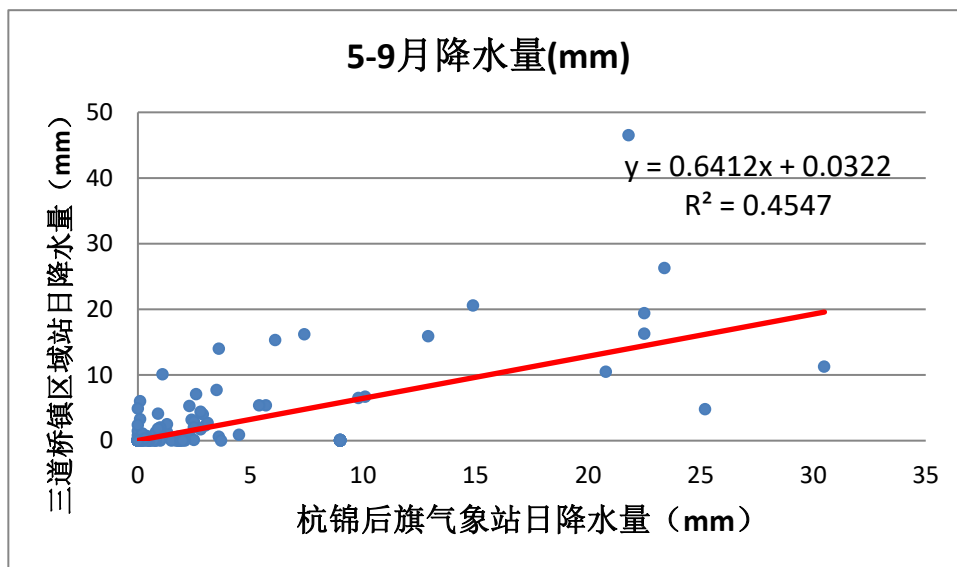
区域气象站冬季不观测降水，即冬季没有固态降水的观测。从 2019-2021 年 5-9 月逐日降水量统计分析（表 3.4-6），杭锦后旗气象站与园区周边 5 个区域气象站降水量相关系数均在 0.5 以上(蛮会镇除外)，通过了  $\alpha = 0.005$  的显著性检验。降水的局地性较强，区域站之间以及与杭锦后旗国家站降水量变化存在差异性。2019-2021 年杭锦后旗站降水最多期出现在 7 月、8 月份，与 5 个区域站变化趋势相似，而蛮会镇区域站总降水量较少，与杭锦后旗站存在差异性（图 3.4-16）。

表3. 4-6 杭锦后旗气象站与6个区域气象站降水相关系数

区域气象站	二道桥	三道桥	蛮会镇	沙海镇	白脑包镇	星光村
相关系数	0.607	0.674	0.458	0.504	0.573	0.682

从图 3.4-17 杭锦后旗国家站与园区内 6 个区域自动站 2019-2021 年日降水量散点分布图上可以看出，杭锦后旗境内的日降水量主要集中在 10mm 以下，且在 10mm 以下杭锦后期站与区域站间的降水量关联性较强，日降水量超过 10mm 以上，降水的局地性凸显，分布较为分散。但杭锦后旗站与区域站降水量总的关联性较好，达到显著性标准。





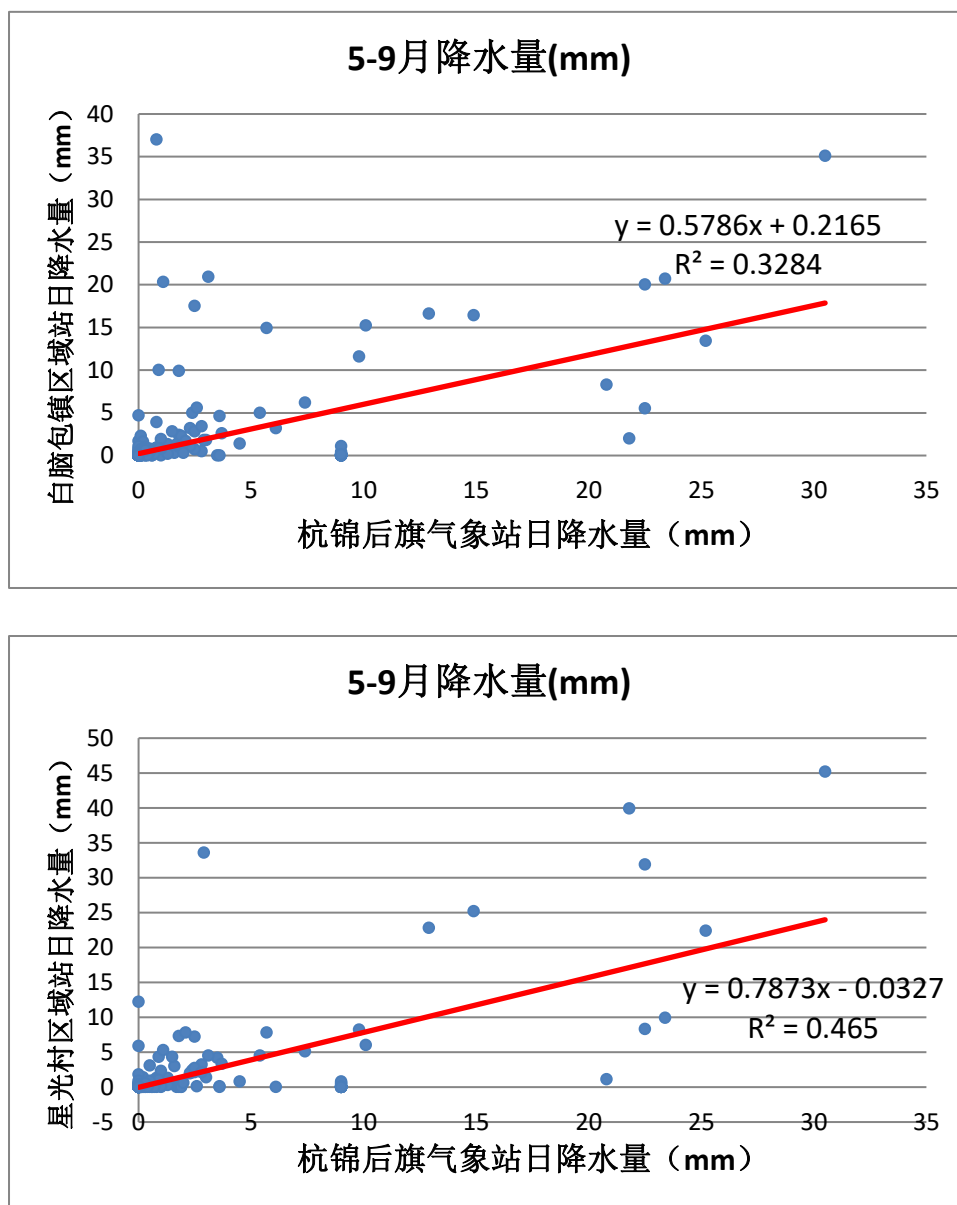


图 3.4-16 2019-2021 年杭锦后旗气象站与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站日降水量相关图

总之，从以上分析可以看出，按照参证气象站选取原则和方法，对园区所在地的地形特点和国家气象站分布空间格局进行了对比分析，同时以与二道桥、三道桥、蛮会镇、沙海镇、白脑包镇和星光村区域气象站区域站等作为园区场址周边气象观测站，对比分析了杭锦后旗气象站与区域内气象站各气象要素的相关性和一致性，综合考虑气象站与园区区域的自然地理位置、相对距离、下垫面条件以及数据质量以及与园区最近区域站气象要素的紧密性等，拟选定杭锦后旗气象站作为

参证站，用该站长期气象观测资料来代表杭后工业园的气候状况。

### 3.4.3 参证气象站准确性

杭锦后旗气象站是国家基本气象站，始建于 1954 年 1 月，2005 年 1 月由于城市规划的原因发生过 1 次迁站，从由陕坝镇郊外东北（ $40^{\circ} 58' N, 107^{\circ} 10' E, 1056.7m$ ）迁至陕坝镇南郊外（ $40^{\circ} 51' N, 107^{\circ} 07' E, 1024.0m$ ），向西南迁 3.4km；迁站原因为原观测站东墙外建起大型热电厂，探测环境恶化。迁站后海拔降低 32.7 m，但迁站后观测环境更具代表性；2005 年迁站前后进行了两年对比观测，观测资料完全符合国家相关规定，是全国气候分析和天气预报的需要所设置的地面气象观测站，杭锦后旗气象站的观测人员，均是经过专业培训的专职人员，严格按照相关标准和规定进行观测、记录 and 数据处理，且历史资料均经过气象部门严格、规范审核，其准确性可以满足规范规定和项目要求。

杭锦后旗气象站观测场的建设按照 GB/T 35221-2017《地面气象观测规范总则》的规定，为  $25m \times 25m$  的平坦场地，杭锦后旗气象站观测场的周边环境保持较好（图 3.4-17），周边植被以杂树和灌木为主，土壤为粘壤土及基本农田。站址地处无超高建筑物，没有对气象探测有影响的源体，气象探测环境总体满足要求，气象探测环境综合评分 80.7 分，满足《气象设施和气象探测环境保护条例》的要求。



图 3.4-17 杭锦后旗气象观测站探测环境航拍图

杭锦后旗气象站观测仪器的基本技术性能以及在观测场的布置位置均满足要求。从风观测来看（表 3.4-7），测风仪器主要有 3 次改变，一是 1954-2005 年期间采用的早期的 EN 型电接风向风速仪，二是 2006 启用 ZQZ-C II 型自动气象站，风向风速传感器为 ECO-1 型，三是 2014 年以来采用的 DZZ5 型自动气象站，测风仪采用 EL12-2C（风向）、EL15-1C（风速），仪器技术性能均满足标准要求。

表 3.4-7 杭锦后旗气象站观测仪器（风）的变更情况

时段	观测仪器距地高度 (米)	仪器类型	地址
1954-2005	10.5	EN 型测风数据处理仪	陕坝镇城区
2006-2013	10.5	ECO-1 型风传感器	陕坝镇郊外
2014-至今	10.5	EL12-2C、EL15-1C	陕坝镇南郊外

综上，杭锦后期气象站与周边地理环境、下垫面条件相似，能反映园区周围一定范围内（包括论证区域）的平均气象状况；观测场建设，场地大小尺寸及观测外部环境满足国家探测标准要求；观测仪器的基本技术性能及在观测场的布置位置等方面均满足标准要求，因此，杭锦后旗气象站作为论证区的参证站，用该站长期气象资料来代表杭后工业园的气候背景十分科学合理。

## 4 气候适宜性评价

影响区域气候形成的主要因素为：太阳辐射、大气环流、地面状况及人类活动等<sup>[1]</sup>。太阳辐射在地球上随纬度、季节变化是导致不同地区气候差异及各地气候季节交替、气候带形成的根本原因；大气环流是影响气候形成的主要因素，大气环流能促进高低纬度之间、海陆之间热量和水汽的输送及交换，调节全球热量及水分的分布，形成不同地区独特的气候特征；地面状况是大气直接的热源及水源，直接影响着大气中水热状况等，如海陆分布对气候的影响、山脉等地势对气候的影响等，地面对气候影响机制更为复杂多样；人类活动通过改变大气成分、改变地面状况、水汽含量等，直接或间接地影响着局地气候与气候变化。

### 4.1 大气环流特征

#### 4.1.1 春季大气环流特征

春季是北半球冬季和夏季环流相互转变、替代的过渡时期。入春以后，亚洲上空环流较为平直，东亚大槽的平均位置逐渐西退，原在贝加尔湖一带的反气旋性环流迅速减弱，气旋性环流逐渐增强。从春季500hPa高度场平均图上可以看出（图4.1-1），亚洲大陆东岸为一宽广的低压槽，亚欧大陆中南部为弱高压脊，内蒙古地区上空以纬向环流为主。入春后西太平洋副热带高压开始北抬，脊线由15°N北抬到20°N附近；相应地北支锋区由冬季的40°N北抬到45°N附近，在此锋区上多移动性槽、脊活动。对应的850hPa风场图上可以看出（图4.1-2），内蒙古上空有较强的西北气流控制，多寒潮大风等天气过程。

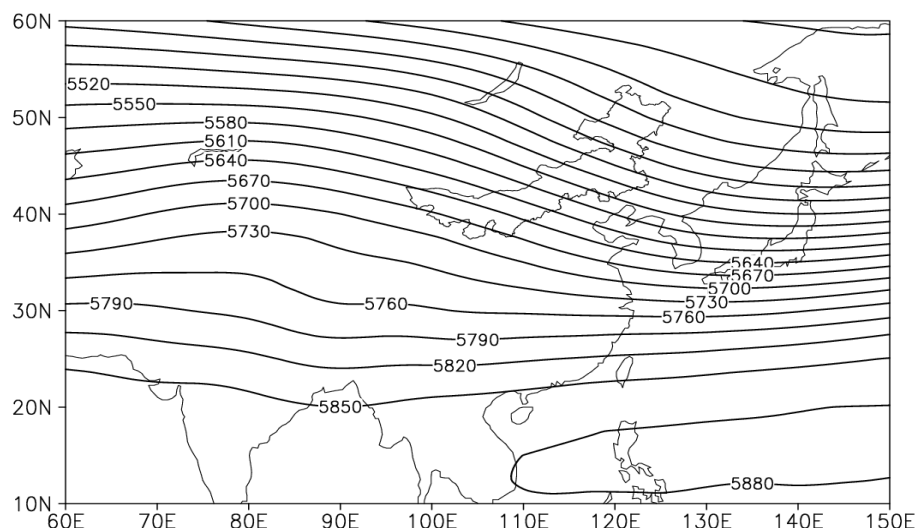


图 4.1-1 1990—2019 年杭锦后旗所在区域春季 500hPa 平均位势高度场

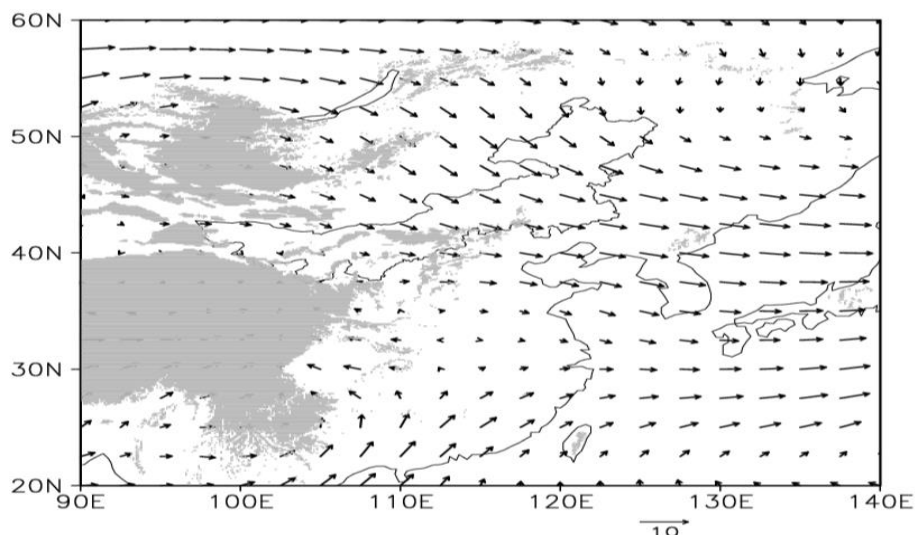


图 4.1-2 1990—2019 年杭锦后旗所在区域春季 850hPa 平均风场

在上述环流的控制下，杭后工业园所处区域春季受亚洲中纬度平直锋区上槽脊活动的影响，天气多变，降水少，多大风、沙尘、寒潮天气。

#### 4.1.2 夏季大气环流特征

从北半球夏季500hPa位势高度场平均图上可以看出（图4.1-3），欧亚地区为“两脊一槽”型，其槽脊强度均较春季弱。850hPa风场上也可以看出（图4.1-4），中高纬偏北风气流强度明显减弱，来自海洋的偏南风气流明显加强。初夏青藏高

原东部、南部热源作用明显加强，西风带急流向北移到40~45°N，西太平洋副热带高压脊线于6月中、下旬北跳到25°N以北，7月中旬到8月上旬，西太平洋副热带高压出现第二次北跳，脊线在30~35°N附近摆动。由于副高的强弱、进退以及范围、轴向位置的差异，常导致西风带上槽、涡、切变线的结合部位及台风的路径的不同，在内蒙古地区可出现区域性局部地区的大到暴雨天气过程。

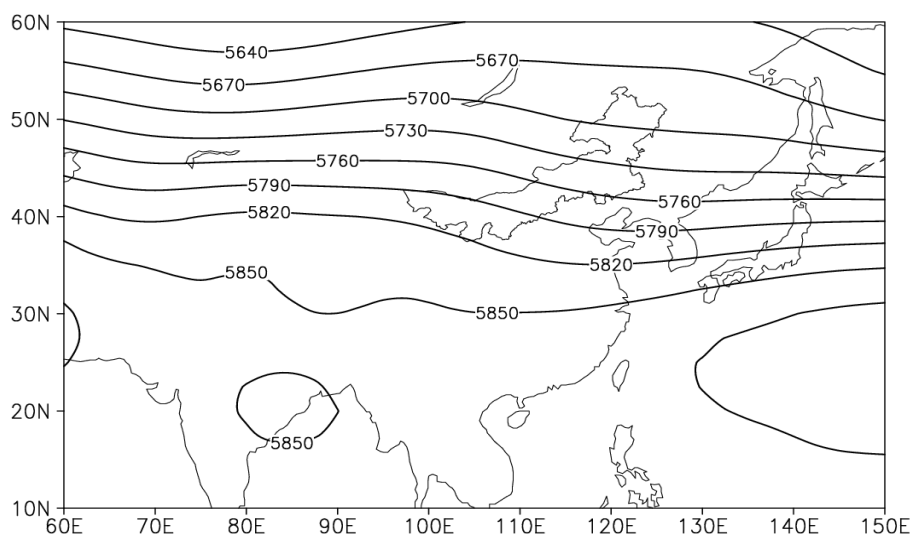


图 4.1-3 1990—2019 年杭锦后旗所在区域夏季 500hPa 平均位势高度场

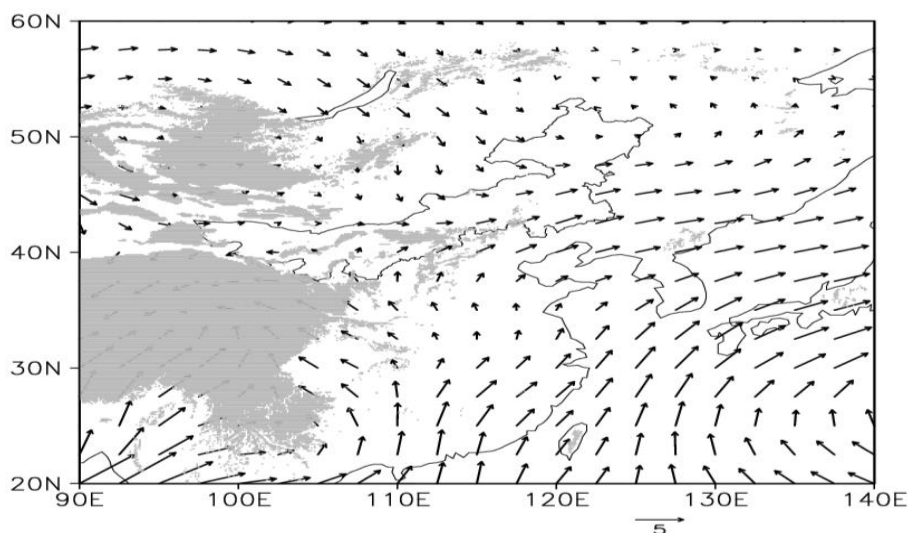


图 4.1-4 1990—2019 年杭锦后旗所在区域夏季 850hPa 平均风场

在上述环流的控制下，杭后工业园所在区域主要副热带高压以及冷、暖切变和西来低槽等的影响，夏季高温、降水集中，地面盛行西南风。易出现暴雨、



冰雹、雷雨大风等灾害性天气。

### 4.1.3 秋季大气环流特征

秋季欧亚高空500hPa高度场与春季较为相似（图4.1-5）。亚欧大陆东部有低压槽形成发展，西太平洋副热带高压亦开始东退南撤。一般在9月中旬副高脊线可南撤到20~25°N之间，到10月中旬脊线已回到15°N附近。由于内蒙古自治区正处于贝加尔湖高压脊前的西北气流控制下，秋季降水比夏季显著减少，但秋季暖湿气流较春季略强，且冷空气活动开始增多，使得秋季降水多于春季。由于东亚沿岸的平均低槽在130°E附近建立，亚洲中纬度环流较平直，西风急流在40°N附近摆动，冷暖空气活动频繁且势均力敌，致使内蒙古地区极易出现各种类型的灾害性天气。对应850hPa平均风场图上可以看出（图4.1-6），内蒙古上空由西北气流控制，冷空气活动逐渐增强。

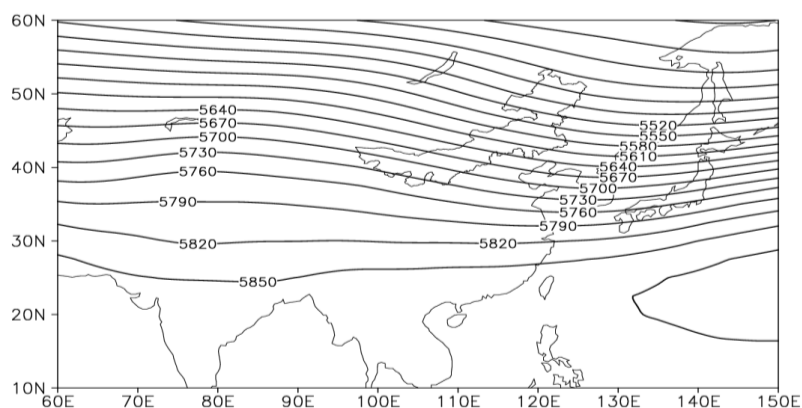


图 4.1-5 1990—2019 年杭锦后旗所在区域秋季 500hPa 平均位势高度场

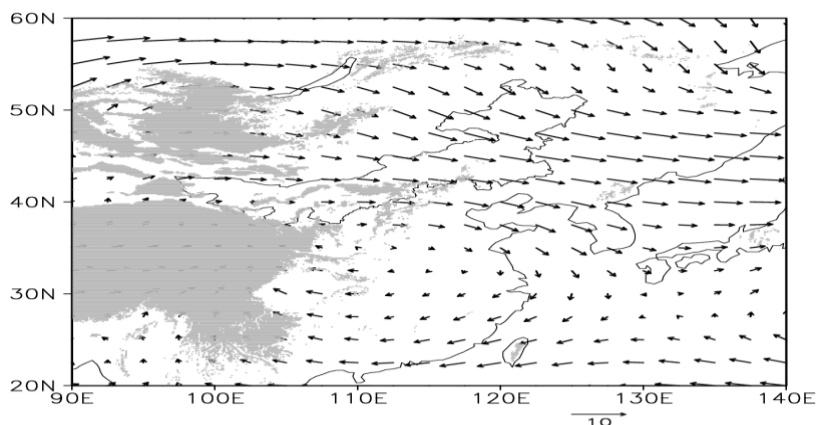


图4.1-6 1990—2019年杭锦后旗所在区域秋季850hPa平均风场

工业园所在区域在这种过渡型环流的控制下，秋季气温下降快，霜冻来临早，雨季一般在 9 月下旬结束，之后宜出现晴朗少云、凉爽宜人的天气形势。

#### 4.1.4 冬季大气环流特征

冬季欧亚上空盛行“两槽一脊”环流型（图4.1-7），其槽脊位相与夏季基本相反，处于平均槽脊的位置。从乌拉尔山到蒙古西部山地为平均高脊所在地，欧洲大陆和亚洲东岸为平均低槽的位置。冬季蒙古冷高压是一年中强度最强的季节，内蒙古上空受蒙古高压控制，盛行强劲的西北风（图4.1-8）。当蒙古地面冷高压强大而稳定，内蒙古地区易出现强寒潮天气。当高空有发展性低槽东移或东南下时，地面相应会有气旋生成，可诱导一次新的蒙古强冷高压和东亚大槽的重建过程，在内蒙古地区造成寒潮天气过程。

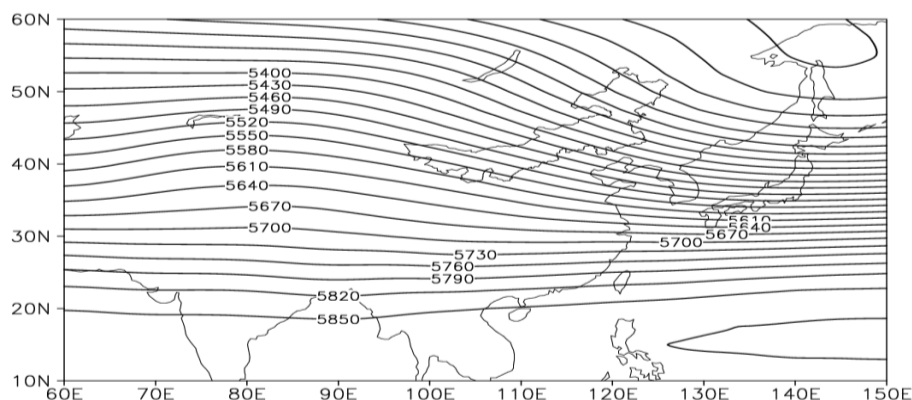


图 4.1-7 1990—2019 年杭锦后旗所在区域冬季 500hPa 平均位势高度场

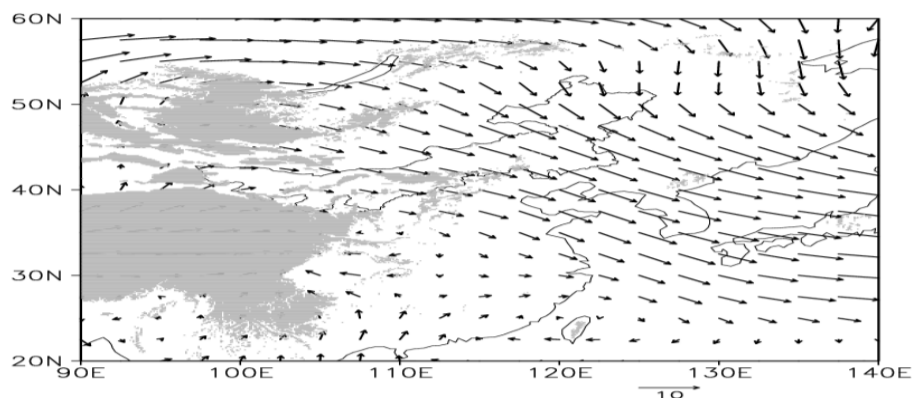


图 4.1-8 1990—2019 年杭锦后旗所在区域冬季 850hPa 平均风场

寒潮是杭后工业园所在区域冬季主要的天气过程，天气晴朗，降温、大风是冬季的主要天气现象，但有时也会出现大风沙尘天气。

#### 4.1.5 大气环流小结

杭后工业园所在的区域春季天气多变，降水少，多风沙天气；夏季雨水相对集中，地面盛行西南风，易出现暴雨、冰雹、雷雨大风等灾害性天气；秋季气温下降快，霜冻来临较早，雨季一般在 9 月下旬结束；冬季受西北气流控制常出现降温、大风天气。

### 4.2 主要天气系统

杭锦后旗属温带大陆性季风气候区，四季分明，影响杭锦后旗天气变化的系统主要有蒙古气旋、蒙古冷高压、河套气旋和西太平洋副热带高压等。

#### 4.2.1 蒙古气旋

蒙古气旋是指在蒙古国产生且有地面冷、暖锋的锋面气旋。蒙古气旋形成地区为  $43^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ， $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ，具有很强的斜压性，一般有一条或一条以上的闭合等压线。蒙古气旋是东亚出现频率最高、影响范围最大、产生的天气种类最多的气旋，对内蒙古、我国北方以及西太平洋地区都具有重要的影响。蒙古气旋一年四季均可出现，但以冬半年最多，造成的危害也最为严重。

蒙古气旋对内蒙古的影响较为明显，冬半年的蒙古气旋造成的天气多以大风、降温、沙尘、降雪为主，其中，内蒙古中西部，以大风降温天气为主。蒙古气旋是导致沙尘暴发生的重要天气系统，由此引发的沙尘暴过程具有强度大、影响范围广、维持时间长等特点。蒙古气旋以 4 月、5 月最多，3 月次之，12 月最少。强度也以 4 月、5 月最强。蒙古气旋对杭后工业园的影响非常明显，冬季可造成大风、降温、降雪等，春季将造成大范围大风、沙尘，如果有充沛的

水汽，可造成杭后工业园暴雪、大到暴雨等天气。

#### 4.2.2 蒙古冷高压

冬半年（10月～翌年5月）东亚中高纬度经常维持着一个高压带，而冷性高压（具有两条以上闭合等压线，高空配合有冷槽或锋区者）以蒙古地区为最多，习惯上称为蒙古冷高压。

蒙古冷高压有冷空气堆积增强和减弱的变化，当蒙古冷高压加强并向南或东南方向移动时，可造成内蒙古大风、沙尘、降温、降水、寒潮等天气。冷高压以12月、1月最强，5月最弱。冷高压平均持续5天左右，最长可持续12天左右，最短仅为2-3天。当蒙古冷高压加强并向南或东南方向移动时，可造成杭后工业园所属区域大风、沙尘、降温、降水、寒潮等天气。

#### 4.2.3 河套气旋

河套气旋也称黄河气旋，产生于 $38^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ ， $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 之间，有时虽然没有闭合等压线，但有倒槽及冷暖锋配合，是影响内蒙古降水的重要天气系统之一。

河套气旋对内蒙古的影响主要以降水天气为主，夏季也可出现短时大风天气。河套气旋出现时，巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、乌兰察布市可以产生降水天气；当气旋项东北移动时，锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市出现降水天气。河套气旋对内蒙古天气影响很大，特别是夏季与副热带高压配合，常出现大雨、暴雨，甚至局地强风天气。

河套气旋全年均可出现，以6-9月为最多，其路径沿黄河东移渤海湾或黄海北部，或偏北移动进入松辽平原。在河套气旋的形成、发展、持续甚至消退期，杭后工业园所属区域均可伴随暴雨、冰雹、雷暴、短时大风，甚至龙卷等强对流天气。

#### 4.2.4 乌拉尔山高压脊

在 500hPa 图上，高压脊进入  $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ ， $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$  范围内，而且高压脊的特征符合下列条件之一者，定义为乌拉尔山高压脊。

(1) 特征线：5 月 16 日后、10 月 16 日前用 564 线 10 月 17 日至翌年 5 月 15 日用 544 线、振幅 $\geq 10$  个纬距；脊线半波长 $\geq 15$  个经距，脊线上有 5 条或 5 条以上等高线通过；

(2) 特征线振幅 $\geq 10$  个纬距；脊线半波长 $\geq 15$  个经距，并有高压中心配合。

乌拉尔山高脊的形成是极地强冷空气向内蒙古爆发的前兆，大多数寒潮的爆发与前期乌拉尔山高脊的形成有关。乌拉尔山阻塞高压次数和天数最高约为 12 月，最少月为 10 月。3-5 月是乌拉尔山高压脊最活跃的季节。

#### 4.2.5 西风槽

指的是沿  $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$  纬度带，经河西走廊东移的西风带短波槽。

西风槽经河西走廊东移到内蒙古，带来降水天气，夏季东移过程中与下游的副热带高压相互作用，形成内蒙古大雨、暴雨天气，西风槽造成的大雨、暴雨，多为混合型降雨，即在连续性雨区中，间有雷雨、大雨、暴雨中心等。

#### 4.2.6 暖湿切变

生成或移入沿  $33^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ ， $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$  地区，位于西太平洋副热带高压西部（或西北部）边缘，由偏南风（西南风、南风）与偏东风（东北风、东风、东南风）构成的风场切变线。在高度场上则表现为副高脊边缘向东凹入的槽。

内蒙古很多的局地性大雨、暴雨、雷暴等剧烈发展的天气往往都与暖湿切边有关。暖湿切边带来的暴雨来势迅猛、对流强烈，是典型的强对流暴雨，并伴有雷暴活动突发性很强。爆发及小时候，暴雨停止，雨过天晴。暖湿切边带来的暴雨运行范围小，强度大，属于中小尺度雨区（带）。

### 4.2.7 西太平洋副热带高压

在南北半球的副热带地区，存在着很多副热带高压带，由于海陆的影响，常断裂成若干个高压单体，这些单体统称为副热带高压。而对我国天气气候有重要影响的副热带高压是指在北半球出现在西北太平洋上的高压单体，即西太平洋副热带高压。大约在每年的7月上中旬，西太平洋副热带高压北跳，副高外围开始影响杭后工业园所在区域，当副热带高压外围的西南暖湿气流与北方南下的冷空气相遇时，常会造成杭后工业园的阴雨天气。7月底到8月中上旬，西太平洋副热带高压再次北跳，副高脊线的位置位于 $30^{\circ}\text{N}$ 附近，直接影响到内蒙古中西部地区，副高外围影响区域配合中纬度南下的冷空气会造成大范围的阴雨天气。西太平洋副高对杭后工业园的影响主要集中在夏半年7月、8月，这种影响一方面表现在西太平洋副高本身，另一方面还表现在西太平洋副高与其周围天气系统间的相互作用。在西太平洋高压控制下的地区，有强烈的下沉逆温，造成晴空万里的稳定天气，时间长了可能出现大范围干旱。西太平洋副高是夏季向杭后工业园所在区域输送水汽的重要系统，水汽来源主要依靠西南气流从孟加拉湾输送而来。而西太平洋副高的位置、强度和活动，是影响杭后工业园区区域夏季降水的最主要的因子。

## 4.3 区域气候特征

本章对杭锦后旗气象站各气象要素及天气现象的多年平均统计采用的是1991-2020年资料；对气象要素的日变化平均统计采用的是近10年2011-2020年资料；对气象要素极值统计采用的是建站以来有相应资料的数据。最大风速自1976年开始有记录，极大风速自1957年开始有记录。气温、降水、风速和气压的空间分布利用了中国气象局陆面数据同化系统CLDAS—V2.0大气驱动场产品中2011-2020年逐小时格点数据及杭锦后旗16个区域自动气象站2011-

2020 年的日值数据，采用 ArcGIS 的 IDW 插值方法处理为 1 公里分辨率的空间分布数据。本章所用杭锦后旗气象站观测资料均经过内蒙古自治区气象信息中心数据质量控制和均一性检验。

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗气象站的累年平均气温为 8.2℃，累年平均降水量为 144.5mm，累年平均风速为 2.1m/s；累年平均气压为 898.2hPa；累年平均相对湿度为 49.2%；累年平均日照时数为 3216.2 小时；

杭锦后旗气象站自有气象记录以来，极端最高气温为 38.4℃，出现在 1999 年 7 月 29 日，极端最低气温为-33.0℃，出现在 1971 年 1 月 21 日，年降水量最多为 275mm，出现在 2012 年，最少为 42.7mm，出现在 2011 年；年最大风速 19.0m/s，出现在 1977 年 4 月 15 日；年极大风速 30.0m/s，出现在 1977 年 4 月 15 日；年极端最高气压为 925.8hPa（1981 年 12 月 1 日），年极端最低气压为 876.3hPa（2012 年 4 月 22 日）。

表 4.3-1 杭锦后旗主要气候特征值

气候要素		值	单位	出现时间
气压	年平均气压	898.2	hPa	/
	年平均最高气压	900.6	hPa	/
	年平均最低气压	895.4	hPa	/
	极端最高气压	925.8	hPa	1981 年 12 月 1 日
	极端最低气压	876.3	hPa	2012 年 4 月 22 日
气温	年平均气温	8.2	℃	/
	年平均最高气温	15.2	℃	/
	年平均最低气温	1.9	℃	/
	极端最高气温	38.4	℃	1999 年 7 月 29 日
	极端最低气温	-33.0	℃	1971 年 1 月 21 日
降水	年降水量	144.5	mm	/
	年最多降水量	275	mm	2012 年
	年最少降水量	42.7	mm	2011 年
	年平均降水日数	35.3	d	/
	最大日降水量	77.5	mm	1975 年 8 月 5 日
风	年平均风速	2.1	m/s	/

	最多风向及频率	12.3/NE	/%	/
	年最大风速	25.5	m/s	1971年3月30日
	年最大风速对应的风向	W	/	/
	年次大风速	18.7	m/s	1979年2月20日、 2001年3月23日
	年次大风速对应的风向	NNE/ W	/	/
	年极大风速	30.0	m/s	1977年4月15日
	年极大风速对应的风向	WNW	/	/
相对湿度	年平均相对湿度	49.2	%	/
日照	年日照时数	3216.2	小时	/
	年最多日照时数	3483.3	小时	1986年
	年最少日照时数	2967.1	小时	1973年
地面温度	年平均地面温度	11.1	℃	/
	年平均最高地面温度	33.9	℃	/
	年平均最低地面温度	-1.6	℃	/
	极端最高地面温度	71.0	℃	1999年7月18日
	极端最低地面温度	-40.5	℃	1968年1月14日

4.3.1 气温

(1) 空间分布特征

2011-2020 年按杭锦后旗年平均气温呈东、西两端低，中部高的分布，杭后工业园处于气温较低区域，年平均气温在 8.7~8.8℃之间。

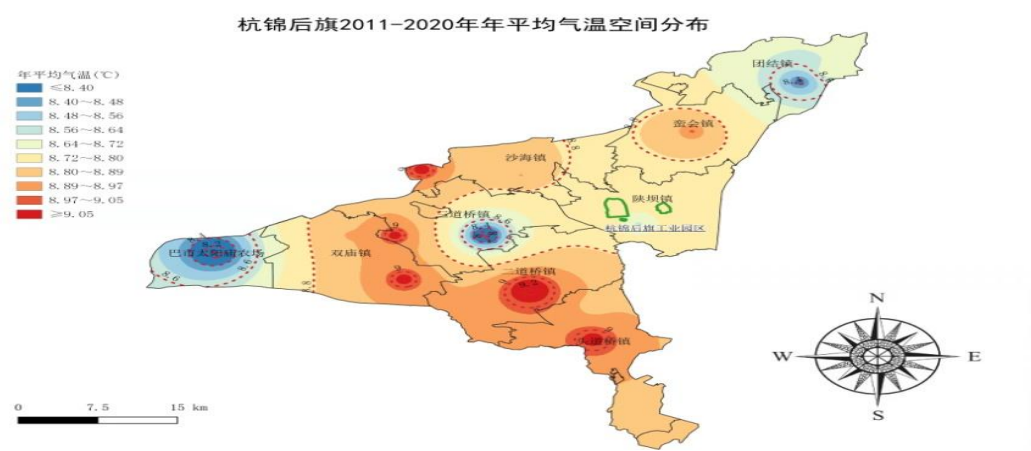


图 4.3-1 2011-2020 年杭锦后旗年平均气温空间分布图

(2) 年际变化



## 1) 平均气温

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗气象站累年平均气温、平均最高气温及平均最低气温分别为 8.2℃、15.2℃、1.9℃，其中年平均气温在 7℃（1993 年）～9.3℃（1998 年）之间，年平均最高气温在 14.1℃（1993 年、1996 年）～16.4℃（2017 年）之间，年平均最低气温在 0.4℃（1993 年）～3℃（1998 年）之间。年平均最高及平均最低气温年际变化均有上升趋势。

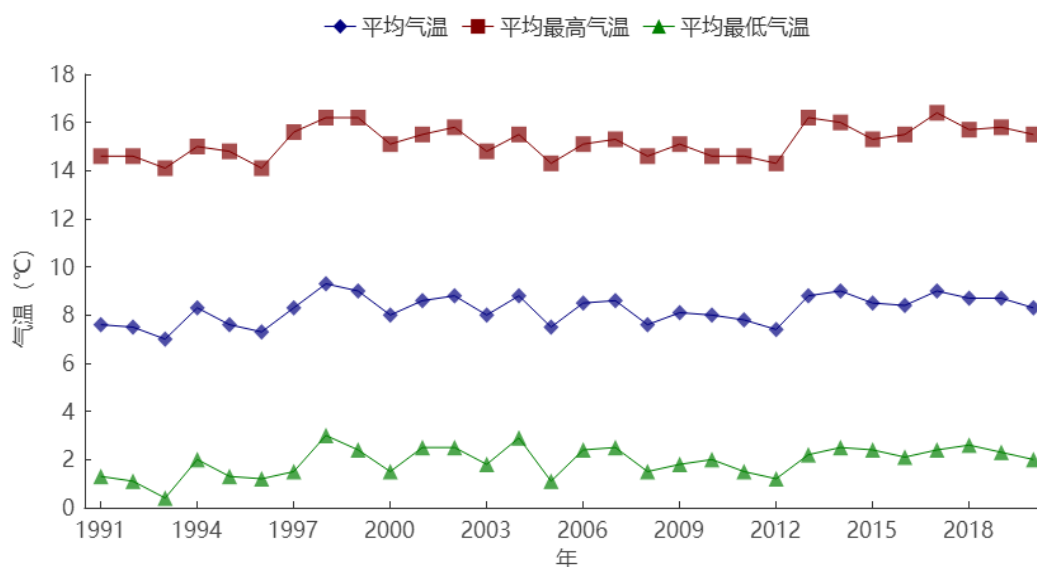


图 4.3-2 1991-2020 年杭锦后旗平均气温、平均最高、平均最低气温年际变化

## 2) 极端气温

从图中可见，1954-2020 年，参证站年极端最高气温在 33.0℃（1956 年）～38.4℃（1999 年）之间，有明显上升的趋势。年极端最高气温在 37℃ 以上的年份有 10 年，其中 38℃ 以上 1 年。

从图中可见，1954-2020 年，年极端最低气温在 -33.0℃（1971 年）～-18.2℃（2015 年）之间，年极端最低气温 -25℃ 以下的年份有 20 年（有 11 年出现在 1971 年之前），在 -30℃ 以下的年份有 3 年（1967、1968 和 1971

年)。近 10 年的年最低气温在 $-25.5^{\circ}\text{C}\sim-18.2^{\circ}\text{C}$ 之间,近 10 年年极端最低气温 $-25^{\circ}\text{C}$ 以下的年份有 2 年,分别为 $-25.2^{\circ}\text{C}$ (2011 年)和 $-25.8^{\circ}\text{C}$ (2018 年),极端最低气温有明显上升的趋势。

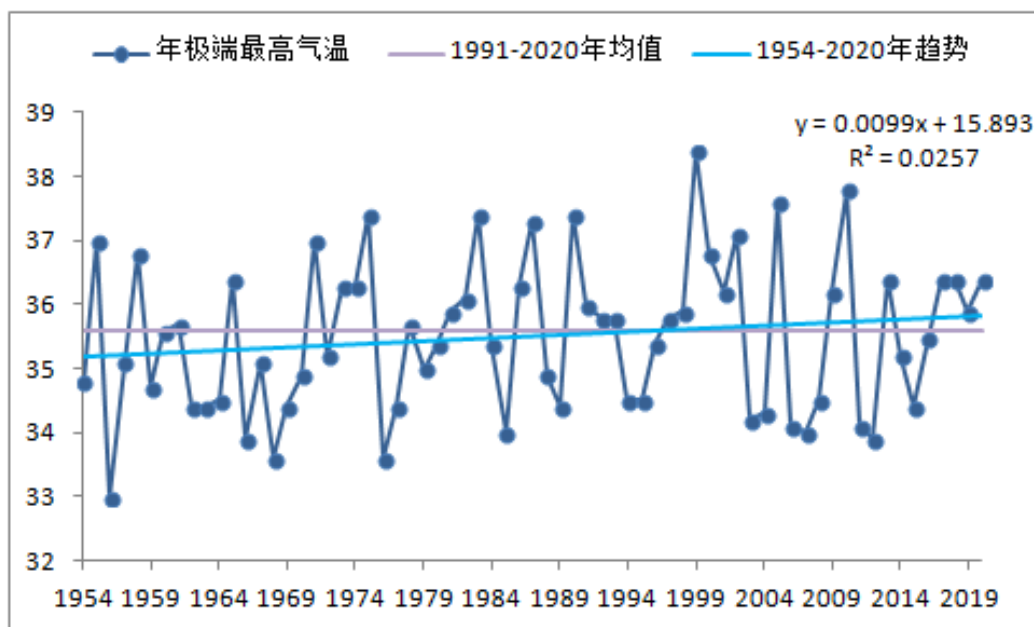


图 4.3-3 1954-2020 年杭锦后旗极端最高气温年际变化

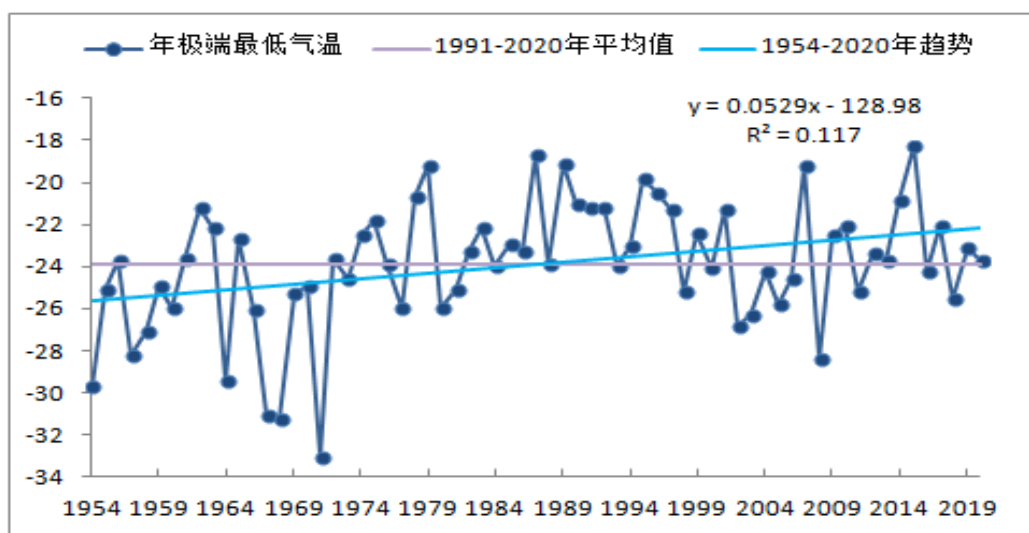


图 4.3-4 1954-2020 年杭锦后旗极端最低气温年际变化

### (3) 月际变化

#### 1) 平均气温

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗平均气温、平均最高气温、平均最低气温月变化分别在 $-10.1\sim 23.9^{\circ}\text{C}$ 、 $-3.1\sim 30.2^{\circ}\text{C}$ 、 $-15.6\sim 17.4^{\circ}\text{C}$ 之间，最高值均出现在 7 月，最低值均出现在 1 月。

表 4.3-2 1991-2020 年杭锦后旗月平均气温、平均最高气温、平均最低气温统计表（单位： $^{\circ}\text{C}$ ）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均	-10.1	-5.2	2.3	10.8	17.4	22.1	23.9	21.6	15.9	8.3	-0.3	-7.7	8.2
平均最高	-3.1	2.4	9.8	18.4	24.6	28.7	30.2	28.3	23.6	15.8	5.7	-1.6	15.2
平均最低	-15.6	-11.3	-3.9	3.1	9.6	14.8	17.4	15.4	9.3	2.3	-4.8	-12.6	1.9

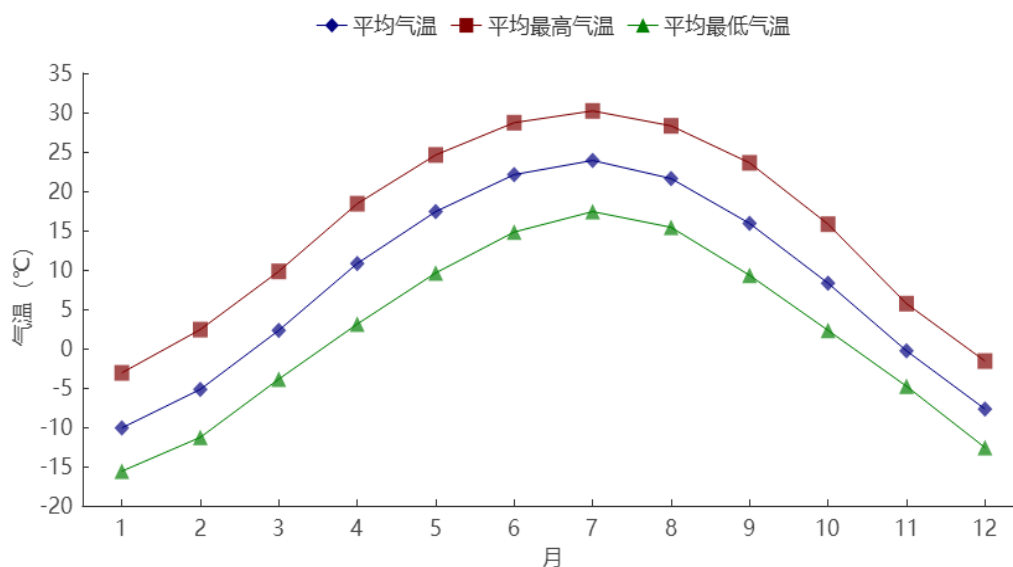


图 4.3-5 1991-2020 年杭锦后旗平均气温、平均最高、平均最低气温月际变化

## 2) 极端气温

由表可见，杭锦后旗气象站建站至今（1954-2020 年）的各月极端最高气温值在 $12.0\sim 38.4^{\circ}\text{C}$ 之间，最大值 $38.4^{\circ}\text{C}$ 出现在 1999 年 7 月 29 日；各月极端最低气温值在 $-33.0\sim 9.0^{\circ}\text{C}$ 之间，最小值 $-33.0^{\circ}\text{C}$ 出现在 1971 年 1 月 21 日。

表 4.3-3 1954-2020 年杭锦后旗站各月极端气温 (°C)

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年极值
杭锦 后旗	极端 最高	12.8	15.8	24.1	33.5	36.4	37.5	38.4	37.4	35.9	29.3	19.5	12	38.4
	极端 最低	-33	-31.2	-20.8	-11.1	-4.6	5	9	4.9	-3	-9.6	-22.7	-31.1	-33.0

1954-2020 年杭锦后旗各月极端最高气温在 12.0~38.4℃之间,最大值为 38.4℃。年内极端最高气温一般出现在 6~8 月,以 7 月出现最多,有个别年份出现在 5 月(2018 年 5 月 14 日)和 9 月(1998 年 9 月 8 日)。67 年中,有 16 年极端最高气温出现在 6 月,有 39 年极端最高气温出现在 7 月,有 10 年极端最高气温出现在 8 月。

1954-2020 年杭锦后旗气象站各月极端最低气温在-33.0~9.0℃之间,年内极端最低气温均现在 12 月至次年 2 月,以 1 月份出现最多,67 年中有 15 极端最低气温出现在 12 月,有 41 年出现在 1 月,有 11 年出现在 2 月。

#### (4) 日变化

近 10 年(2011-2020 年)杭锦后旗气象站小时平均气温呈单峰型变化。每天 6:00 时为一天气温的最低值,为 3.4℃;随后气温逐渐升高,到 15:00、16:00 时达到峰值 14.6℃;之后开始下降,直至次日 6:00 时。

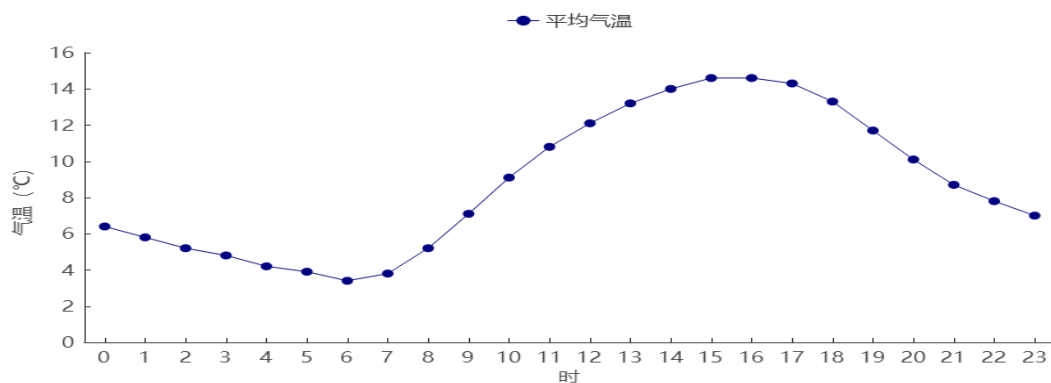


图 4.3-6 2011~2020 年杭锦后旗站平均气温日变化

### (5) 关键温度出现和结束日期

1961—2020 春季日最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ 最早结束日期在 3 月 8 日（1997 年、2018 年）~4 月 24 日（1980 年）之间变化。平均值为 4 月 2 日， $-5^{\circ}\text{C}$ 结束日期呈波动提早趋势。

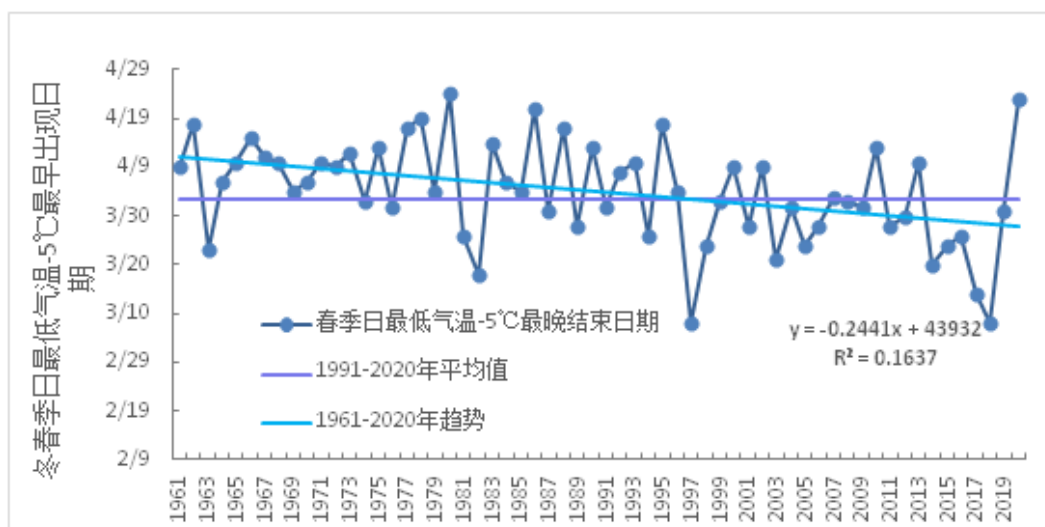


图 4.3-7 杭锦后旗站春季日最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ 最晚结束日期变化

杭锦后旗 1961—2020 年的年秋冬季日最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ 最早出现日期在 10 月 8 日（1981 年）~11 月 28 日（1994 年）之间变化。平均值为 11 月 3 日， $-5^{\circ}\text{C}$ 呈波动推迟出现的趋势。

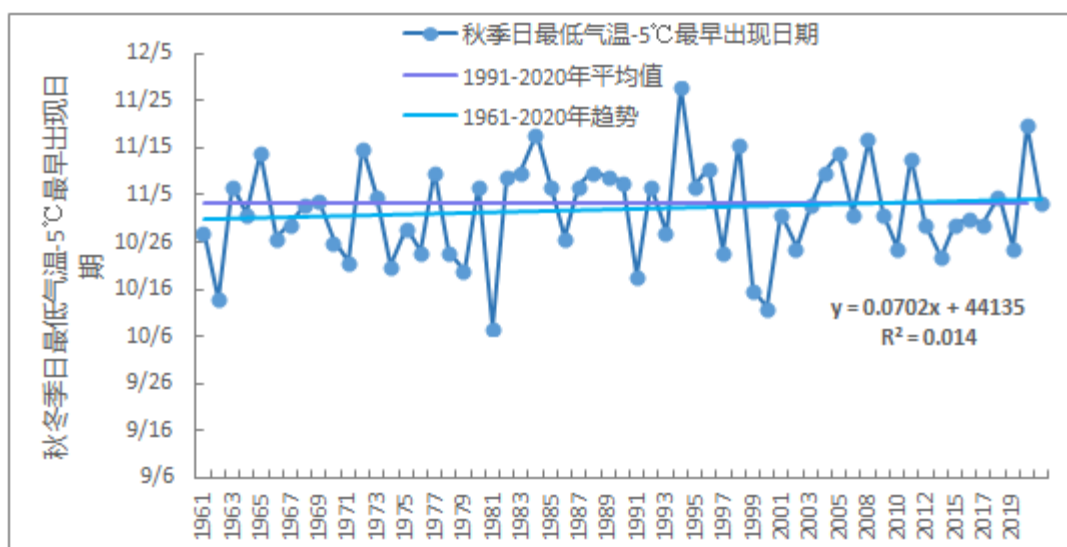


图 4.3-8 杭锦后旗站秋季日最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ 最早出现日期变化

### 4.3.2 降水

#### (1) 降水量空间分布特征

2011-2020 年杭锦后旗年平均降水量空间分布中东部偏大、西部和南部偏少的特征，最少值在杭锦后旗西部，在 45mm 以下；最大值在中部，杭后工业园处在降水量大值中心，中心值达到 120mm 以上（近 10 年平均为 136.6mm）。

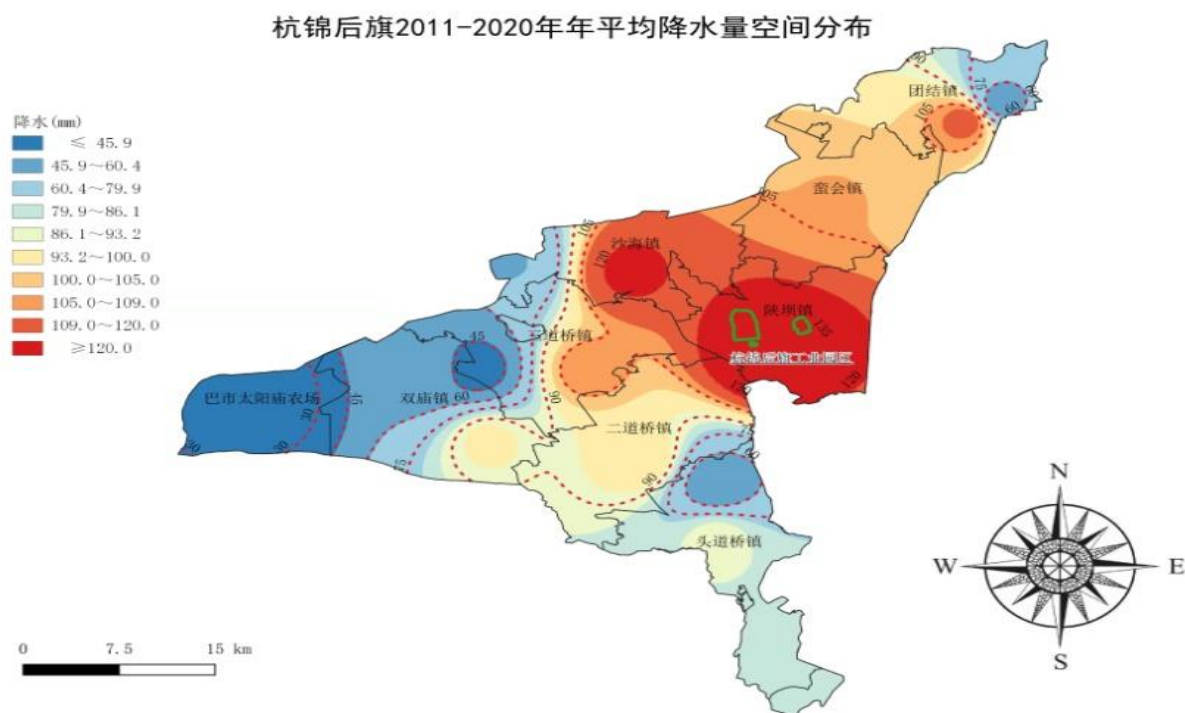


图 4.3-9 2011-2020 年杭锦后旗年平均降水量空间分布图

#### (2) 降水量年际变化

杭锦后旗近 30 年（1991-2020 年）累年平均降水量为 144.5mm，降水量在 42.7mm（2011 年）~275.0mm（2012 年）之间变化。从年际变化来看，年降水量整体呈波动性减少趋势，尤其近 10 年，降水波动幅度更大，年降水最大值和最小值均出现在近 10 年，说明近年来极端天气更加频繁。

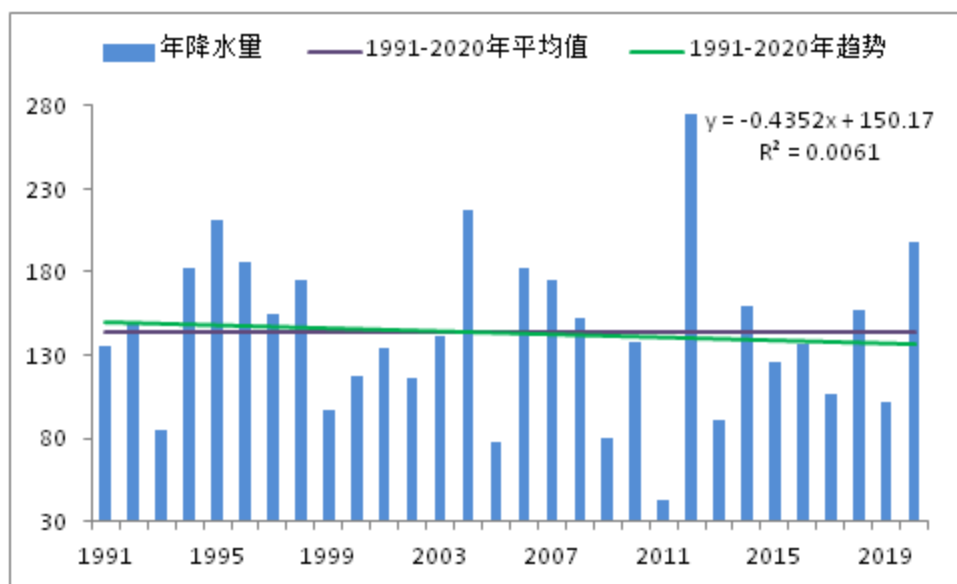


图 4.3-10 1991-2020 年杭锦后旗站降水量年际变化

### (3) 降水量月际变化

杭锦后旗近 30 年各月平均降水量在 0.6mm (1 月)~32.2mm (8 月) 之间。降水主要集中在 5~9 月在 12.1~24.0mm 之间, 占全年降水量的 87.7%。四季中, 冬季 (12~2 月) 降水量最少, 各月在 0.6~1.3mm 之间; 春季 (3~5 月) 各月在 3.4~12.1mm 之间, 占全年降水量的 13.9%; 秋季 (9~11 月) 各月在 24.0~1.9mm 之间, 占全年降水量的 21.4%, 夏季 (6~8 月) 各月在 25.6~32.2mm 之间, 占全年降水量的 62.7 %。

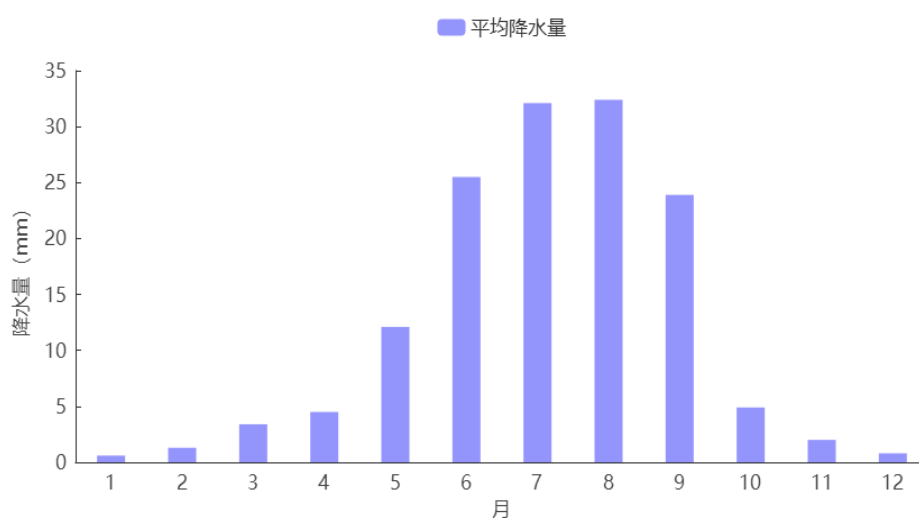


图 4.3-11 1991-2020 年杭锦后旗站降水量月际变化

#### (4) 降水日数年际变化

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗年平均降水日数为 35.3 天，变化幅度在 24 天（2005 年、2009 年）~45 天（1992 年、1998 年）之间； $\geq 5\text{mm}$  平均降水日数为 8 天，变化幅度在 2 天（2011 年）~13 天（2012 年）之间，呈不明显波动减少趋势。

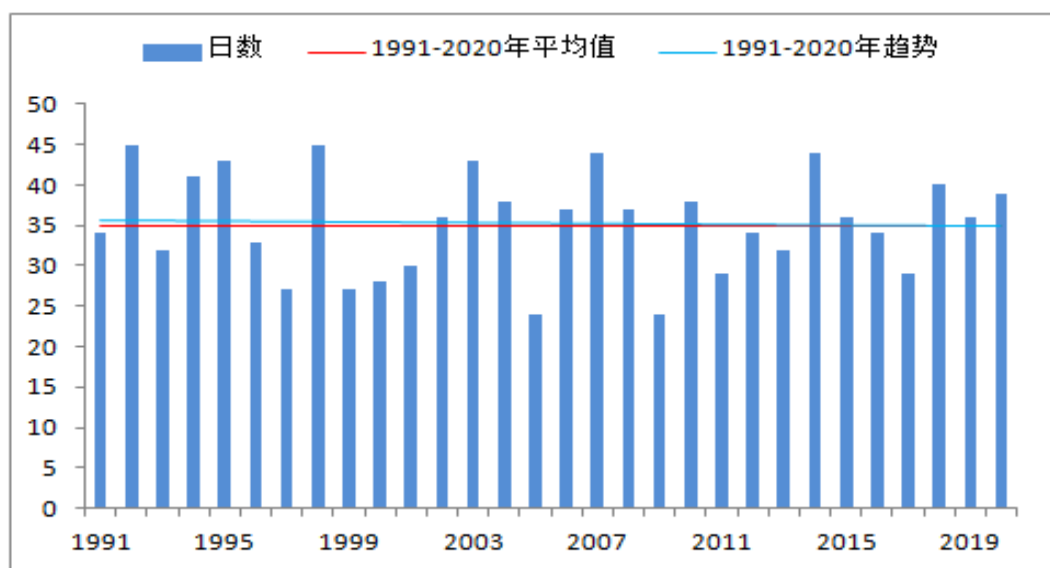


图 4.3-12 1991-2020 年杭锦后旗站降水日数年际变化

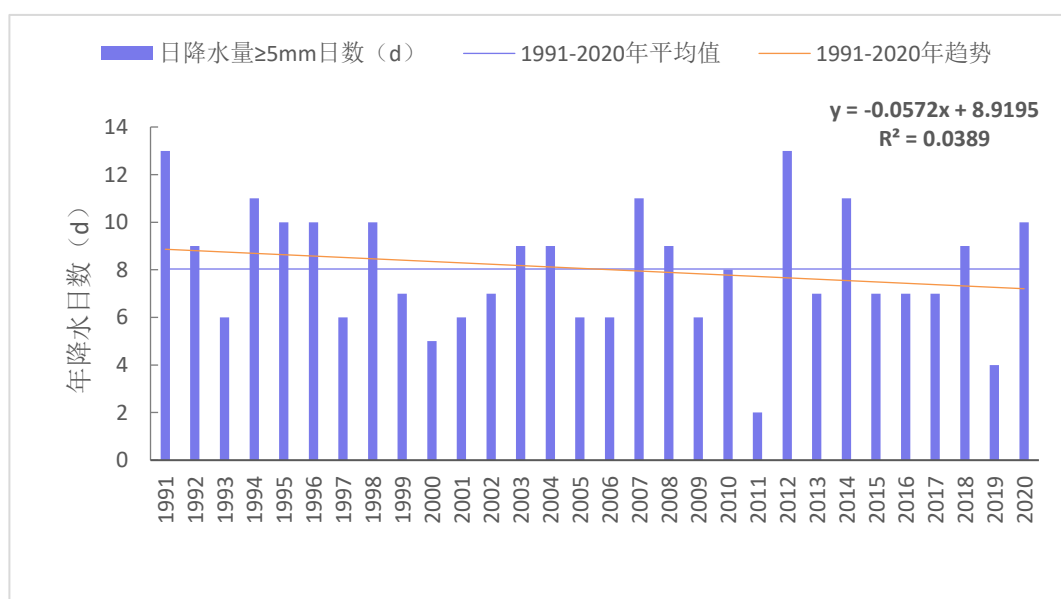


图 4.3-13 1991-2020 年杭锦后旗 $\geq 5\text{mm}$  降水日数年际变化



### (5) 降水日数月际变化

杭锦后旗气象站各月平均降水日数在 0.7 天（2 月）～7 天（8 月）之间变化。从季节分布看，冬季（12～2 月）降水日数最少，各月在 0.7～0.8 天之间；其次是春季（3～5 月），各月在 1.4～3.5 天之间；秋季（9～11 月）各月在 0.9～4.8 天之间；夏季（6～8 月）各月在 5.3～7.0 天之间。

杭锦后旗气象站各月 $\geq 5\text{mm}$  平均降水日数为 0 天（1 月）～4.5 天（8 月）之间变化，从季节分布看，冬季各月在 0 天（12 月）～0.2 天（次年 2 月）之间；春季各月在 0.5 天（3 月）～2.2 天（5 月）之间，秋季各月在 0.3 天（9 月）～3.5 天（11 月）之间，夏季各月在 3.1 天（9 月）～4.5 天（11 月）之间。

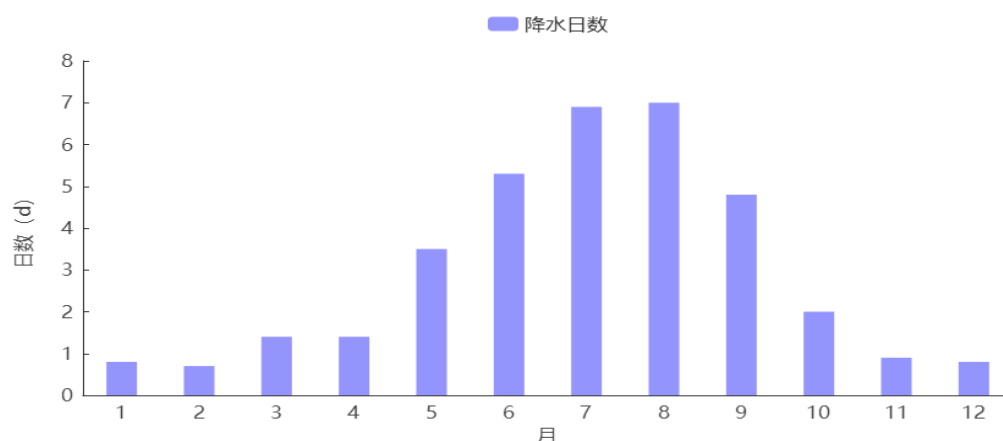


图 4.3-14 1991-2020 年杭锦后旗降水日数月际变化

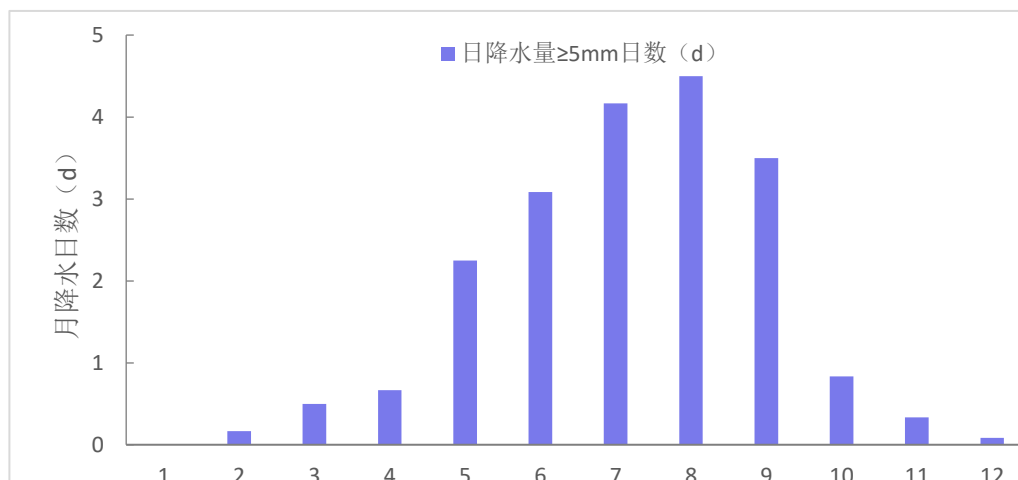


图 4.3-15 1991-2020 年杭锦后旗 $\geq 5\text{mm}$  降水日数月际变化

### 4.3.3 风向风速

#### (1) 风速空间分布特征

2011-2020 年杭锦后旗平均风速空间分布呈东部和中西部小、西部和中东部大的特征，杭后工业园位于杭锦后旗中东部偏南，平均风速在 2.2m/s 左右。

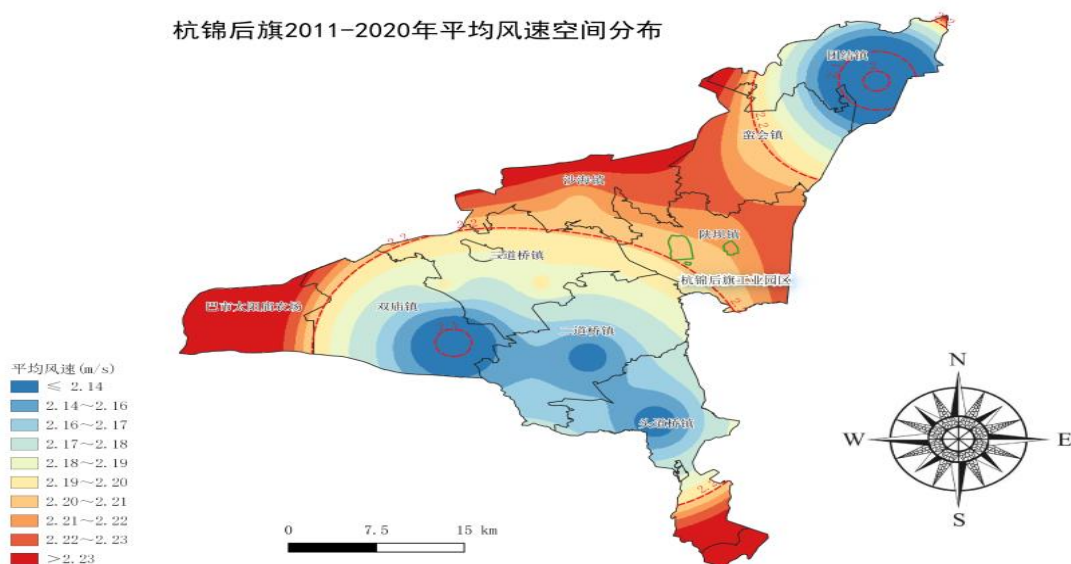


图 4.3-16 2011-2020 年杭锦后旗年平均风速空间分布

#### (2) 风速年际变化

##### 1) 平均风速

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗年平均风速为 2.1m/s，在 1.7~2.6m/s 之间变化，风速年际变化呈上升趋势。其中 2018 年、2019 年平均风速最大，为 2.6m/s；2003 年平均风速最小。30 年中，年平均风速 $\geq 2.4$  m/s 的有 8 年，其中有 7 年出现在近 10 年，风速整体呈上升趋势，但不明显（每 10 年上升 0.1m/s）。

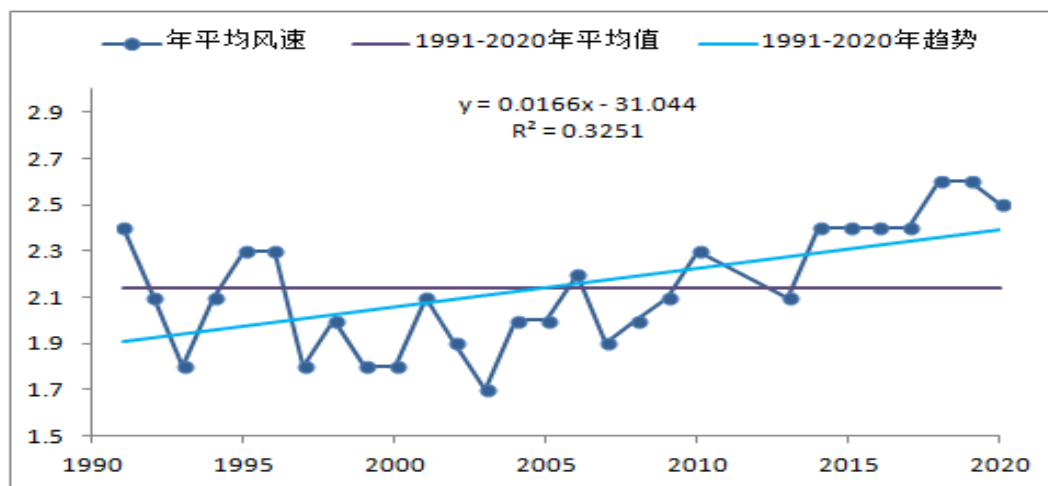


图 4.3-17 1991-2020 年杭锦后旗站平均风速年际变化

## 2) 最大风速

从表和图中可以看出，杭锦后旗 1976-2020 年的年最大风速（10min 平均最大风速）在 10.7m/s（2015 年）~19.0m/s（1977 年）之间变化。1976-2020 年以来最大风速的最大值为 19.0m/s（西风），出现在 1977 年 4 月 15 日，年最大风速以春季出现频次最多。最大风速对应的风向以 W 向（西风）的风居多。1976 年以来，年最大风速呈波动减小趋势，其原因可能是由于城市建设，气象探测环境逐渐受到周围高层建筑的影响，使得最大风速的观测值有所减小。具体原因尚需随着观测年代的延长及观测技术的提高进一步分析。

表 4.3-4 杭锦后旗气象站历年最大风速(1976-2020 年)

年份	10min 平均最大 风速 (m/s)	风向	时间（月 日）	年份	10min 平均最大 风速 (m/s)	风向	时间（月日）
1976	15	W/WSW	1217/1218	1999	13	WSW/WNW	0124/0404
1977	19	W	415	2000	14	W/WNW	0419/0420
1978	17	W	725	2001	18.7	W	323
1979	18.7	NNE	220	2002	14.6	WNW	320
1980	17	W/W/WNW	0417/0418/0 504	2003	13	WSW/W	0410/0411
1981	17.7	WNW	508	2004	14	W/WSW	0327/0331

1982	18	NNW	501	2005	11	WSW/NE/WN W/WNW/W/W/ NNE	0221/0310/0416 /0418/0526/060 5/0612
1983	17	W/W	0405/0724	2006	15.3	WSW	416
1984	15.3	WNW	719	2007	14	W/WNW	0330/0515
1985	15.3	WNW	326	2008	15	NW	301
1986	14.6	WNW	310	2009	14	WNW/W	0423/1018
1987	14	NNE	319	2010	14.6	WNW	319
1988	13.3	W	411	2011	12	NW	425
1989	16	SSE	703	2012	12.3	WSW	1127
1990	15	WSW/NNE	0406/1210	2013	13.5	W	423
1991	16.2	WNW	1129	2014	13.6	WNW	527
1992	13	NW/NNW/ W	0429/0813/0 927	2015	10.6	WNW/NW/W	0221/0517/0930
1993	14	W	428	2016	13.8	WNW	714
1994	18	WNW	810	2017	12.3	WNW	505
1995	18	W	310	2018	11.8	WNW	1202
1996	15.6	W	1205	2019	13	W	511
1997	11.6	NNE	606	2020	13.3	WSW	1020
1998	16	NW	415				

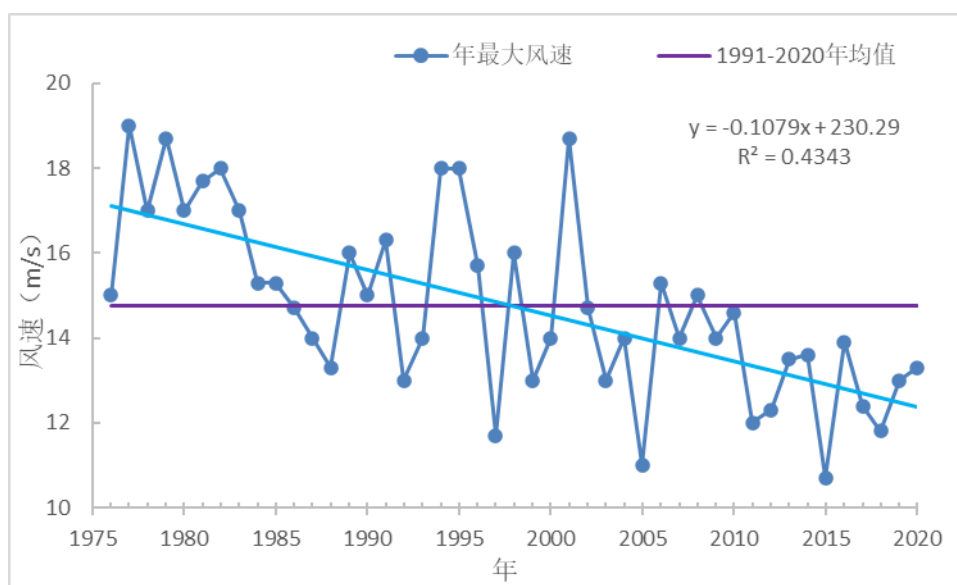


图 4.3-18 1976-2020 年杭锦后旗最大风速年际变化

### 3) 极大风速

杭锦后旗气象站自 1957 年开始，有极大风速（2min 平均最大风速）的观测。从表和图中可以看出，1957~2020 年间有记录的 64 年中，极大风速的最大值为 30.0m/s（WNW），出现在 1977 年 4 月 15 日，次大值为 29.2m/s（W），

出现在 1980 年 04 月 17 日。极大风速以春季（3~5 月）出现频率最多（出现 18 年，占有记录年份的 52.9%），夏季、秋季各出现 6 年（各占 17.6%），冬季出现 5 年（占 17.7%），W 向风为主导风向。

表 4.3-5 杭锦后旗气象站历年极大风速(1957-2020 年)

年份	极大风速 (m/s)	风向	时间(月 日)	年份	极大风速 (m/s)	风向	时间(月 日)
1957		SW	0715	1976		NW	0514
1958		WNW	0221	1977		WNW	0415
1959		WSW	0412	1978		WSW	0725
1960		W	0531	1979		W	0106
1963		W	1110	1980		W	0417
1964		WSW	1119	1981		SSE	0619
1965		WNW	1213	2010		NW/WNW	0319/1110
1966		NW	0201	2011		WNW	0504
1967		WSW	0614	2012		WSW	1127
1968		NW	0511	2013		WNW	0423
1969		NW	0514	2014		NNW	0527
1970		NW	0315	2015		W	0930
1971		W	0426	2016		NW	0714
1972		NNE	0329	2017		N	0807
1973		NW	0518	2018		W	1202
1974		W	0510	2019		WSW	0511
1975		WNW	0412	2020		WSW	1020

### (3) 风速月际变化

杭锦后旗气象站逐月平均风速均在 1.7m/s 以上。平均风速 4 月最大，为 2.8m/s；1 月、8 月、9 月最小，为 1.7m/s。从季节上看，春季风速较大，夏季、秋季、冬季风速较小。

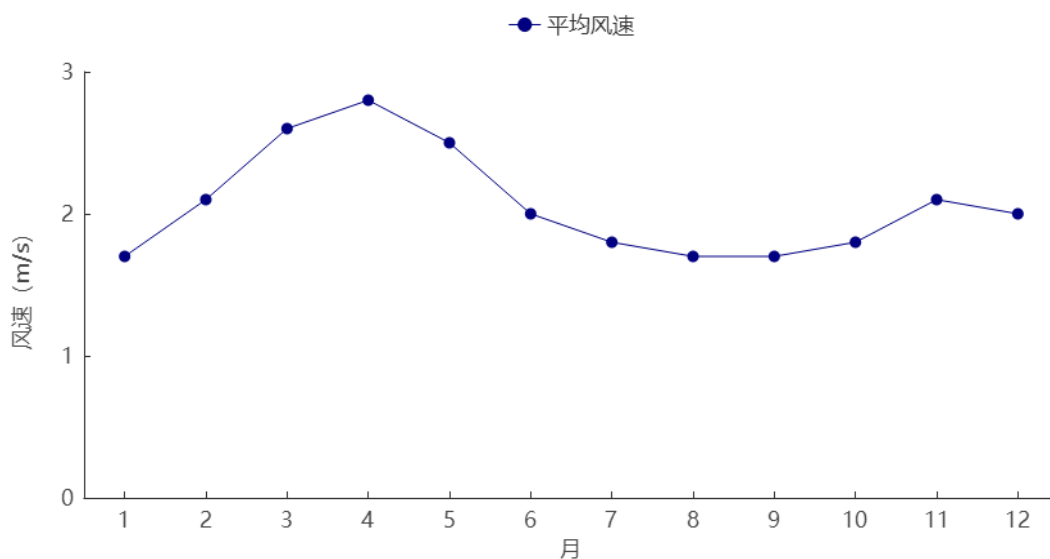


图 4.3-19 1991-2020 年杭锦后旗站平均风速月际变化

#### (4) 风速日变化

从图可知，杭锦后旗气象站近 10 年（2011-2020 年）风速日变化特征为白天风速大、夜间风速小的特点。风速日变化在 1.8m/s（2、3、4、5、6、7 时）~3.1m/s（15、16 时）之间。其中 19:00 时~次日 9:00 时是全天风速相对较小的时段，10:00~18:00 时是全天风速相对较大的时段。

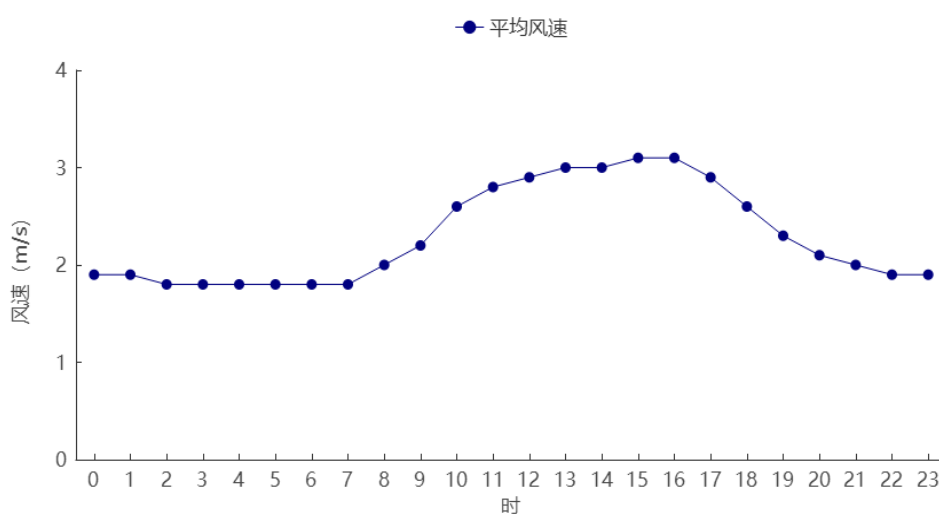


图 4.3-20 2011-2020 年杭锦后旗站平均风速日变化

### (5) 风向频率年及季节变化

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗累年最多风向为 NE 风，风向频率为 12.3%，次多风向为 NNE，风向频率为 9.8%。最多风向：1 月、2 月、3 月、4 月、6 月、7 月、8 月、9 月、10 月、11 月最多风向为 NE 风，5 月最多风向为 NNE 风，12 月最多风向为 SW 风；次多风向：1 月、11 月风向为 SW 风，2 月、3 月、4 月、6 月、7 月、8 月、9 月、10 月风向为 NNE 风，5 月风向为 NE 风，12 月风向为 WSW 风，四季出现频率最高的均是 NE 风向，分别为 11.9%、13.6%、11.9%和 11.8%。

表 4.3-6 1991-2020 年杭锦后旗站各月最多、次多风向及频率(%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
最多风向	NE	NE	NE	NE	NNE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	SW	NE
风频 (%)	12.2	13.0	13.9	12.2	9.7	11.8	13.4	15.5	13.1	11.1	11.6	11.2	12.3
次多风向	SW	NNE	NNE	NNE	NE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	SW	WSW	NNE
风频 (%)	8.5	10.6	10.4	9.7	9.5	9.6	10.8	11.4	11.6	9.5	11.1	10.7	9.8

表 4.3-7 1991-2020 年杭锦后旗站四季及年各风向频率(%)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
春	5.2	9.9	11.9	7.1	4.1	3.1	3.0	3.1	3.7	6.4	9.1	8.1	7.2	4.8	2.8	2.5	7.8
夏	5.2	10.6	13.6	9.5	6.5	4.1	4.2	4.0	4.3	5.1	6.0	3.8	3.3	2.5	2.3	2.6	12.7
秋	4.0	10.1	11.9	7.3	4.0	3.5	3.0	3.0	3.5	6.0	8.3	8.3	5.5	3.0	1.8	2.0	15.8
冬	3.0	8.6	11.8	8.2	4.1	2.7	2.4	2.6	3.0	5.0	9.0	9.1	5.3	2.8	1.8	1.7	17.6
年	4.3	9.8	12.3	8.0	4.7	3.4	3.1	3.2	3.6	5.6	8.1	7.4	5.3	3.3	2.2	2.2	13.5

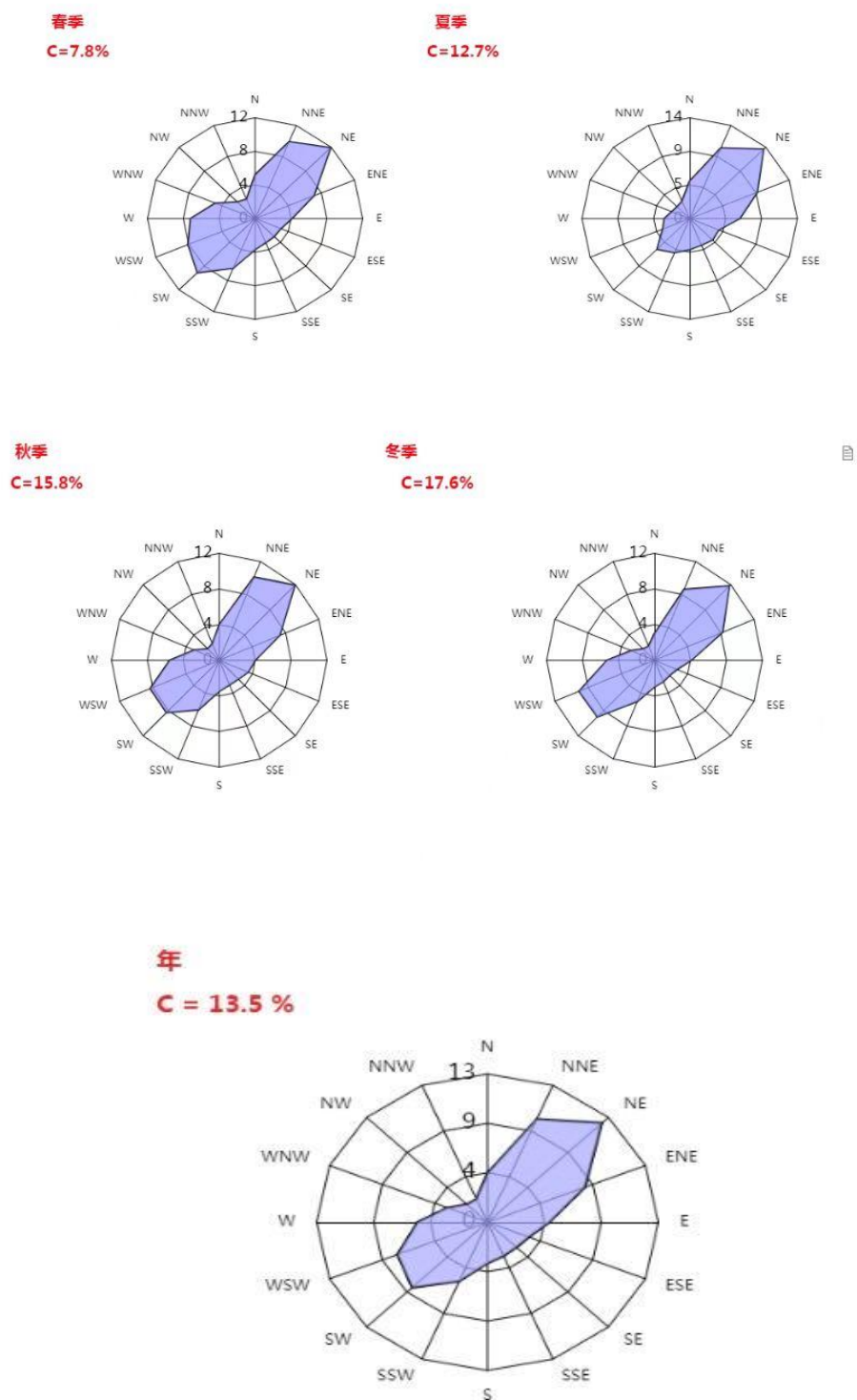


图 4.3-21 1991-2020 年杭锦后旗气象站四季及年各风向频率(%)



### 4.3.4 气压

#### (1) 气压空间分布特征

2011-2020 年杭锦后旗平均气压 897.4~899.3 之间，空间分布总体呈西高东南低得特征，但差异不大，杭后工业园平均气压约为 898hPa。

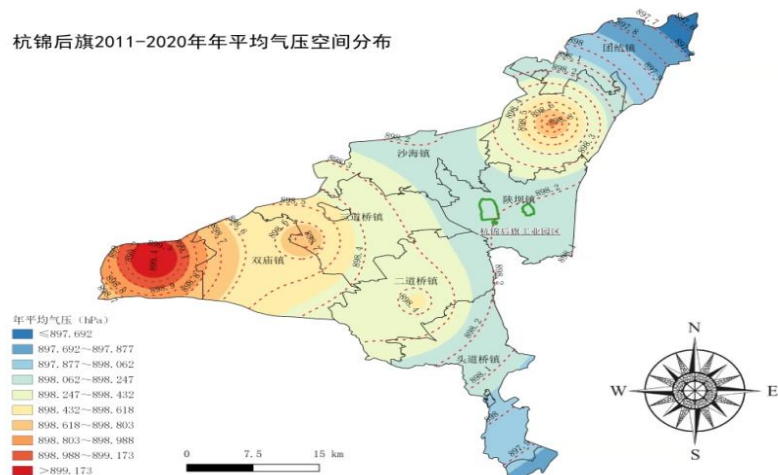


图 4.3-22 1991-2020 年杭锦后旗年平均气压空间分布

#### (2) 年际变化

##### 1) 平均气压

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗年平均气压 898.2hPa，年平均最高和最低气压分别为 900.6hPa 和 895.4hPa。杭锦后旗年平均气压、年最高气压、年最低气压均有下降趋势。

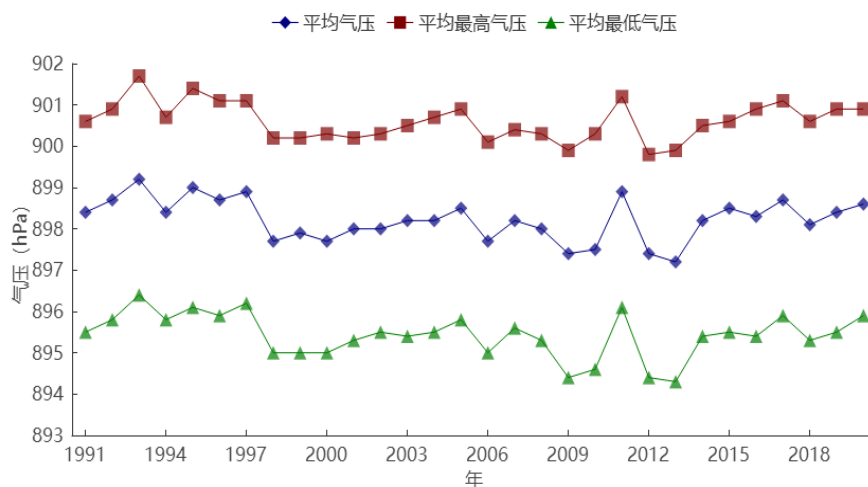


图 4.3-23 1991-2020 年杭锦后旗站平均气压、平均最高、平均最低气压年际变化

## 2) 极端气压

杭锦后旗气象站自 1980 年开始有极端气压的资料，1980-2020 年的极端最高气压出现在 1981 年，为 925.7hPa；极端最低气压出现在 2012 年，为 876.3hPa。

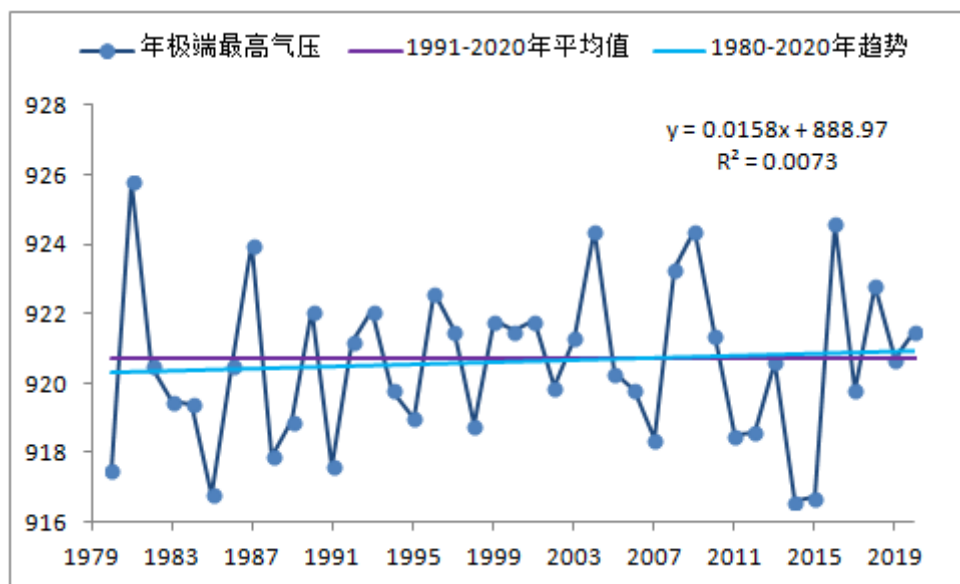


图 4.3-24 1991-2020 年杭锦后旗站极端最高气压年际变化

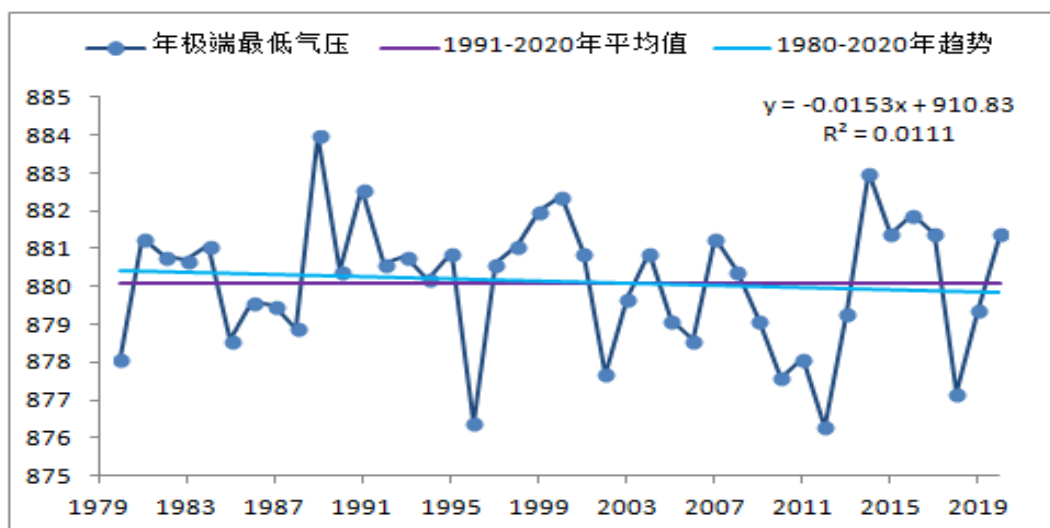


图 4.3-25 1991-2020 年杭锦后旗站极端最低气压年际变化

## (3) 月际变化

## 1) 平均气压

近 30 年（1991-2020 年）杭锦后旗气象站的平均气压月变化在 889.7hPa（7 月）~905.2hPa（12 月）之间, 呈“U”型变化特征。平均最高气压变化在 891.2hPa（7 月）~908.3hPa（12 月）之间；平均最低气压变化在 887.5hPa（7 月）~902.5hPa（12 月）之间；整体看来，一年之中，冬季气压较高，夏季气压较低，春、秋季气压近似。

表 4.3-8 近 30 年杭锦后旗站月平均气压、平均最高气压、平均最低气压（单位：hPa）

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
杭锦后旗	平均	904.5	902.1	899.4	896.3	893.9	890.5	889.7	893.1	898.1	902.4	903.4	905.2	898.2
	平均最高	907.3	904.8	902.3	899.1	896.4	892.4	891.2	894.7	899.9	904.7	906.2	908.3	900.6
	平均最低	902	899.1	895.9	892.6	890.6	888	887.5	891	895.6	899.8	900.6	902.5	895.4

平均最高气压和平均最低气压的月变化特征与平均气压的月变化特征基本一致。气压有随季节变化的特性，冬季一般受冷高压或冷高压前伸的高压脊控制，气压较高。而夏季往往受到气旋性天气系统的影响，气压常出现低值。

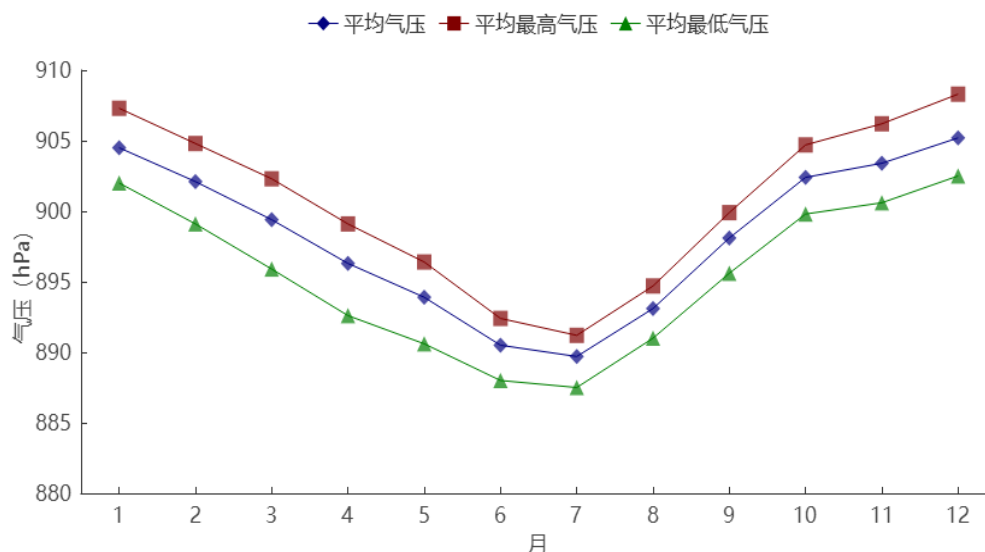


图 4.3-26 近 30 年杭锦后旗站平均气压、平均最高、平均最低气压月际变化

## 2) 极端最高气压

杭锦后旗气象站自 1980 年开始有极端最高气压的资料，各月极端最高气压值在 899~925.7hPa 之间，最大值 925.7hPa 出现在 1981 年 12 月 1 日。气压的月变化特征是冬季高，夏季低。

杭锦后旗气象站自 1980 年开始有极端最低气压的资料，各月极端最低气压值在 876.2~887.7hPa 之间，最小值出现在 2012 年 4 月 22 日。

表 4.3-9 1980-2020 年杭锦后旗站各月极端气压 (hPa)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年极值
杭锦后旗 极端最高	924.5	922.5	921.4	917.7	915	905.7	899	906.4	913.5	918.7	924.4	925.7	925.7
杭锦后旗 极端最低	885.2	877.5	876.4	876.2	877.2	878.5	879.4	880.7	884.2	887.7	886	886.2	876.2

## (4) 日变化

杭锦后旗气象站近 10 年 (2011-2020 年) 平均气压的日变化曲线, 地面气压呈 “W” 型日变化特征, 气压从 5:00 时开始逐渐升高, 到 10:00 时达到峰值 899.4hPa; 之后开始下降, 最低值出现在 17:00 时, 为 896.9hPa; 之后又开始缓慢升高, 在 23:00 时达到次高值 898.6hPa, 随后开始下降, 直至 5:00 时。

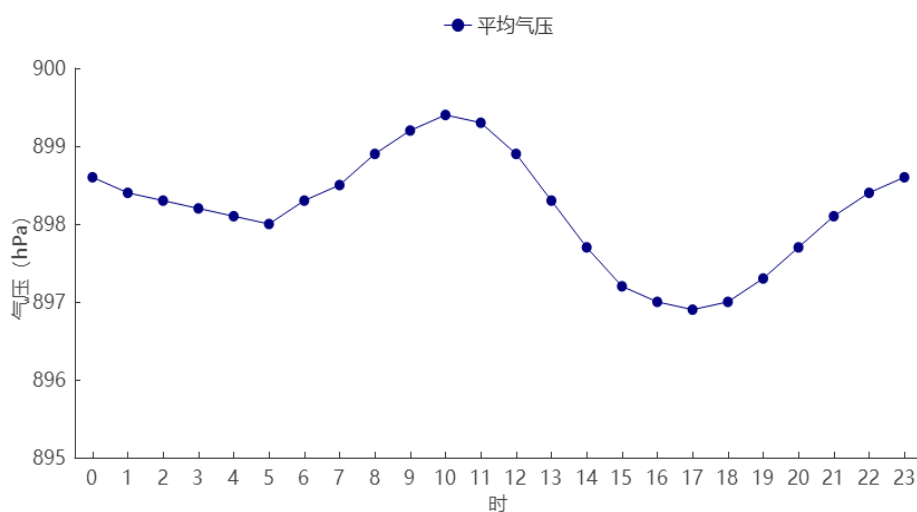


图 4.3-27 2011-2020 年杭锦后旗站平均气压日变化

### 4.3.5 日照

#### (1) 年际变化

1991-2020 年杭锦后旗气象站累年平均日照时数为 3216.2 小时，其中年日照最高出现在 2012 年，为 3417.5 小时；最低出现在 2000 年，为 2988.8 小时。

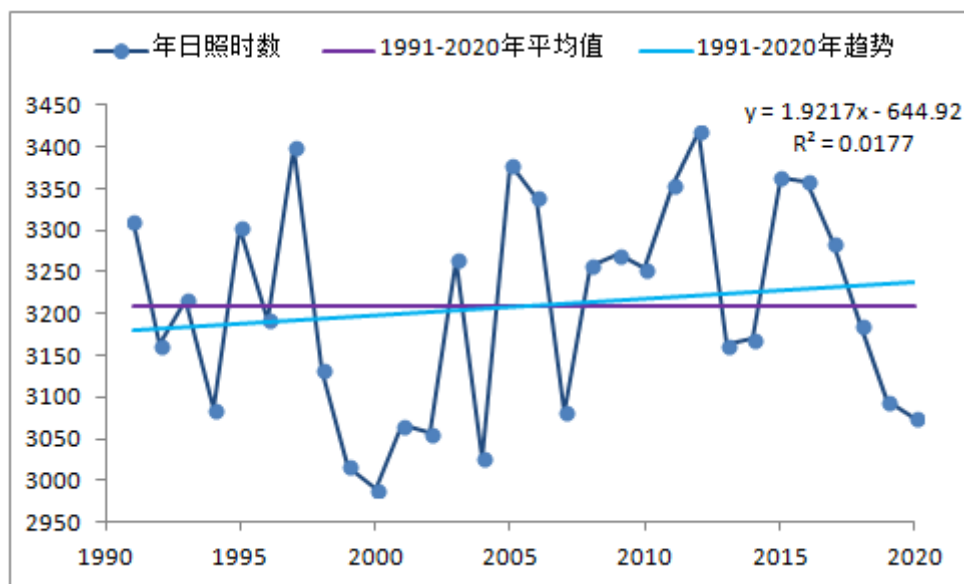


图 4.3-28 1991-2020 年杭锦后旗站日照年际变化

#### (2) 月际变化

1991-2020 年杭锦后旗气象站日照的月变化在 216.4 小时（12 月）～324.0 小时（5 月）之间。总体看来，月平均日照时数，1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、6 月、7 月、8 月、9 月、10 月、11 月、12 月在 140 小时以上，冬季明显偏小，5 月、6 月全年最高，在 300 小时以上。主要由于夏季白天时间较长，且受副热带高压控制出现晴热高温天气较多。

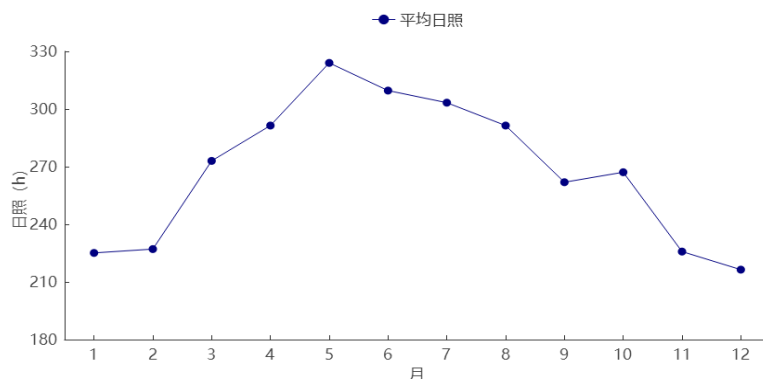


图 4.3-29 1991-2020 年杭锦后旗站日照月际变化

### 4.3.6 相对湿度

#### (1) 年际变化

1991-2020 年杭锦后旗气象站累年平均相对湿度为 49.2%，其中年平均相对湿度最高出现在 2007 年，为 55.0%；最低出现在 2017 年、2018 年，为 44.1%。年平均相对湿度有明显减少的趋势，尤其近 10 年，减少更加明显。

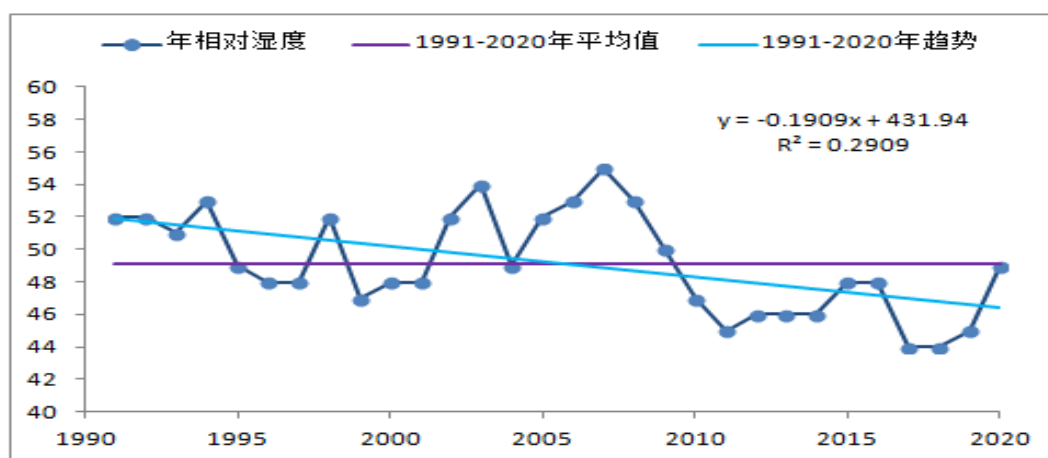


图 4.3-30 1991-2020 年杭锦后旗站平均相对湿度年际变化

杭锦后旗气象站从 1981 年开始有完整最小相对湿度记录以来，1981-2020 年呈不显著的波动增加趋势。

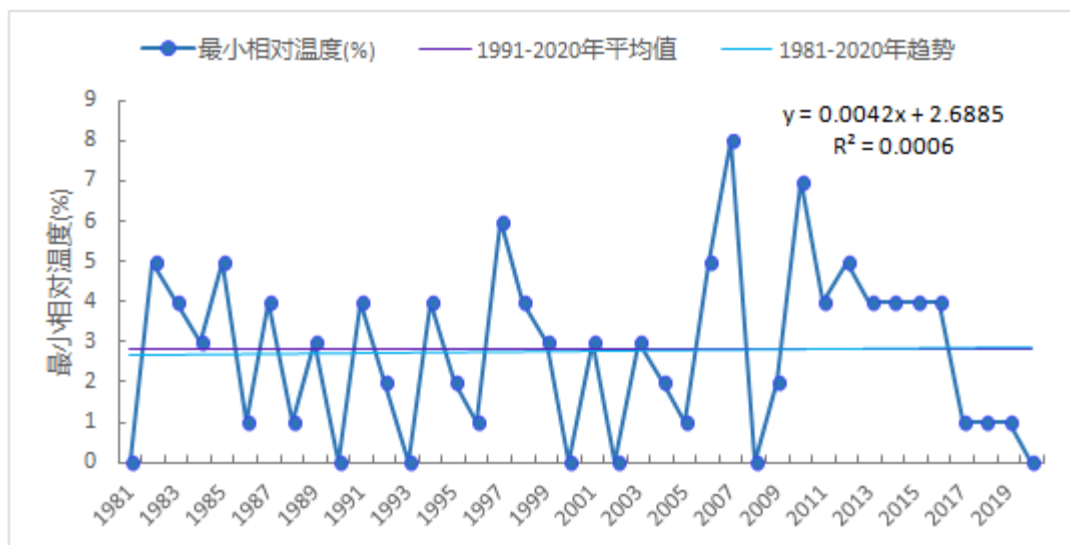


图 4.3-31 1981-2020 年杭锦后旗站最小相对湿度年际变化

## (2) 月际变化

杭锦后旗气象站平均相对湿度（1991-2020 年）的月变化在 31.5%（4 月）~61.1%（8 月）之间，期间 2 月~6 月相对湿度较小，在 31.8%~46.5% 之间；7 月~12 月及 1 月相对湿度较大，在 53.0%~61.1% 之间。

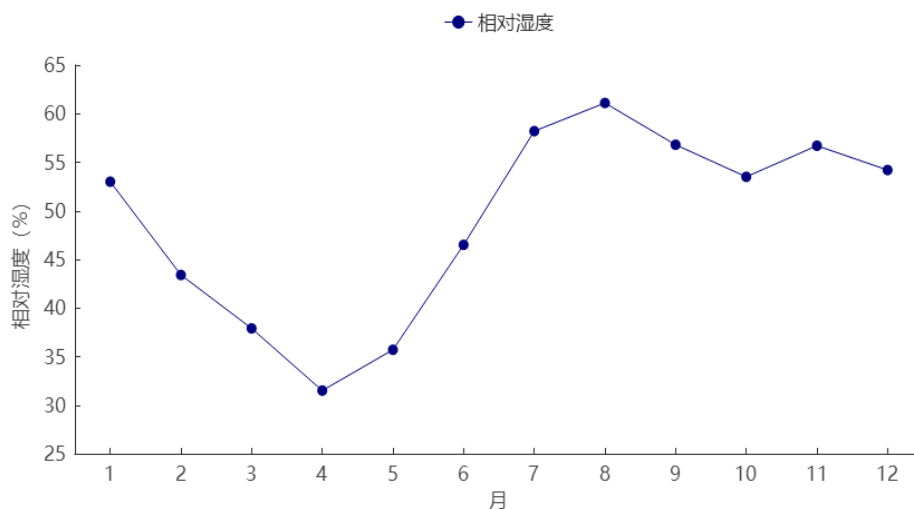


图 4.3-32 1991-2020 年杭锦后旗站平均相对湿度月际变化

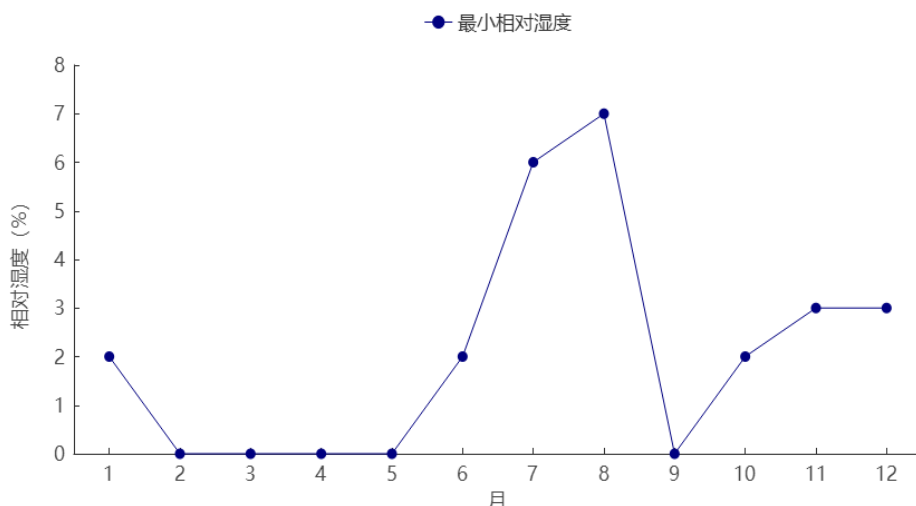


图 4.3-33 1991-2020 年杭锦后旗站最小相对湿度月际变化

### (3) 日变化

近 10 年(2011-2020 年)杭锦后旗气象站相对湿度日变化呈“U”型变化。每天 6:00 时为一天相对湿度的最高值，为 60.9%；随后逐渐减小，到 16:00 时达到谷底，为 28.5%；之后再次开始上升，直至次日 6:00 时。

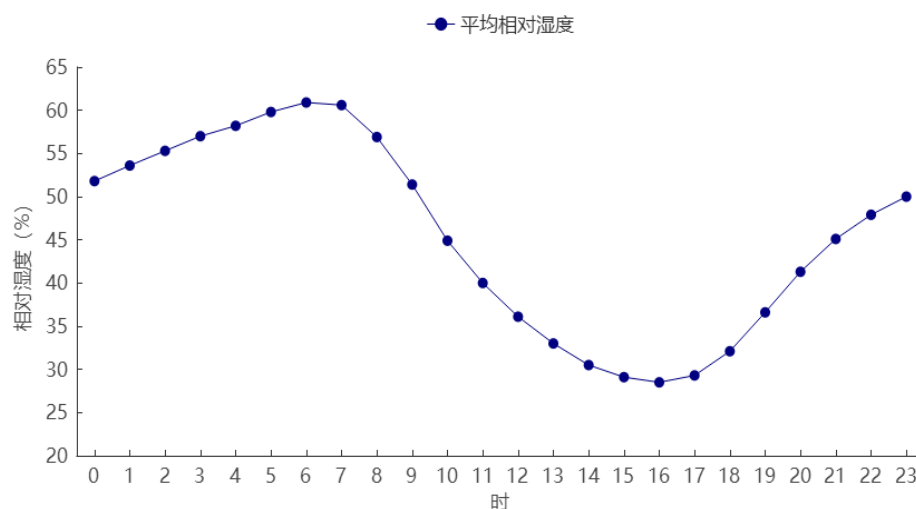


图 4.3-34 2011-2020 年杭锦后旗站平均相对湿度日变化

## 4.4 本章小结

(1) 杭后工业园所属区域位于内蒙古巴彦淖尔市中部，属温带大陆性季风气候区，四季分明，春季天气多变，降水少，多大风、沙尘、寒潮天气等



灾害性天气；夏季高温、降水集中，地面盛行西南风，易出现暴雨、冰雹、雷雨大风等气象灾害；秋季气温下降快，冷空气活动逐渐增强，霜冻来临早，降水比夏季显著减少但多于春季，雨季一般在9月下旬结束；冬季在西北气流控制下，易出现寒潮天气，降温、大风是冬季的主要天气现象，有时也会出现大风沙尘天气。

(2) 参证站杭锦后旗气象站多年平均气温为  $8.2^{\circ}\text{C}$ ，平均最高气温为  $15.2^{\circ}\text{C}$ ，平均最低气温为  $1.9^{\circ}\text{C}$ ；年平均降水量为  $144.5\text{mm}$ ，年平均降水日数为  $35.3$  天；年平均风速为  $2.1\text{m/s}$ ，全年最多风向为 NE（频率为  $12.3\%$ ）；年平均气压为  $898.2\text{hPa}$ ，年平均日照时数为  $3216.2\text{h}$ ，年平均相对湿度为  $49.2\%$ 。

(3) 杭锦后旗属于干燥地区，相对湿度总体较小，2月~6月相对湿度在  $31.8\%\sim 46.5\%$  之间，7月~12月及1月相对湿度  $53.0\%\sim 61.1\%$  之间。杭锦后旗相对湿度对于农畜产品加工、存储来说，在比较安全的范围内。但是，要注意特殊年份下连阴雨天气导致的相对湿度短期内增大，从而对农畜产品存储产生的不利影响。

(4) 杭锦后旗气温整体呈东、西两端低，中部高的分布特征；降水量中东部偏大、西部和南部偏小，杭后工业园处于降水大值区；风速空间分布为东部和中西部小、西部和中东部大；平均气压空间差异不大，杭后工业园平均气压约为  $898\text{hPa}$ 。

总之，杭后工业园所在区域气候条件适宜于园区主导产业—农畜产品精深加工、仓储及农机装备制造产业的发展。但该区域春季多大风、沙尘、寒潮等灾害性天气，夏季会有高温、暴雨、冰雹、雷雨大风等气象灾害，秋季霜冻来临早，冬季易出现寒潮、降温、大风沙尘等灾害天气。所以，园区的建设和运营都要充分考虑上述气象灾害的综合影响，根据关键气象参数的极值推算结果、高影响天气和气象灾害风险评估结论及防御建议，做好园区建设和运营。

## 5 高影响天气及气象灾害风险性评价

气象灾害是指由大气对人类的生命财产和国民经济建设及国防建设等造成的直接和间接损害，它是自然灾害中的原生态灾害之一。风险性是指某一特定环境下，在某一特定时段内损失发生的可能性。气候风险是指受极端天气气候事件及气象灾害等对园区产业造成的不利影响，危害企业正常生产与运维的灾害性事件。气候风险是由客观存在的自然现象所引起的，是有其规律性的。利用系统工程方法对将来或现有系统因受外动力作用和影响下可能存在的危险性及后果进行综合评估和预测，通过科学系统的安全评价估算，为评估系统的总体安全性及制定有效的预防和防御措施提供科学依据，最大限度地降低风险事故发生的概率，减少损失的程度。

全球气候发生变化所引发的极端天气出现的几率越来越高。气候变化对各地的水文循环产生了明显的影响，引起水资源在空间与时间上分配模式的变化，导致洪涝、干旱及暴雨、强降雪等极端气候出现的几率显著增加，对园区内项目的建筑材料、运行及设计等都产生了较大影响。在全球气候呈现出逐渐变暖的背景下，各种极端气候发生率更加频繁，如持续性干旱、高温或持续洪水、暴雨、雷电将会对园区的正常功能产生不利影响，对周边群众的生命与财产及生态环境都产生直接的、重大的影响。

本报告根据杭后工业园所在区域气象灾害的严重性，结合前期实地踏勘调研、历史灾情统计信息以及项目建设及运行维护中对气象因子或天气现象的敏感程度，就暴雨洪涝、雷电、大风、沙尘、极端低温、极端高温、冰雹、冻融、连阴雨等高影响天气气候事件进行分析研究，科学评估高影响天气气候事件发生频率、年际变化、可能对园区企业安全及运维的影响，提出预防及降低气候风险、减轻气象灾害影响的对策和防御建议。

## 5.1 暴雨洪涝

根据国家标准《降水量等级（GB/T 28592-2012）》，将日降水量 $\geq 50\text{mm}$ 定义为暴雨日。其中暴雨为 $50\text{mm} \leq \text{日降水量} \leq 99.9\text{mm}$ ，大暴雨为 $100\text{mm} \leq \text{日降水量} \leq 249.9\text{mm}$ ，特大暴雨为日降水量 $\geq 250\text{mm}$ 。内蒙古暴雨洪涝灾害通常是局部性、短时性的，但影响较大，是仅次于旱灾的气象灾害，也是影响工程建设和运营生产的重要气象因子。暴雨和洪水的发生概率日益增高的趋势给工业园区的防洪能力带来压力。同时也对园区的地面下水、排水管网、施工场所防汛能力有了更高的要求。为避免暴雨洪水和大范围积水等引发危险和灾害，了解和评价暴雨洪涝发生风险十分必要。

### 5.1.1 暴雨的气候特征

表征暴雨气候特征的气象要素主要有：暴雨日数、最大日降水量、最大 1h 降水量、最长连续降水日数及最大连续降水量等，是引发洪灾或内涝的主要气象因素。

#### (1) 暴雨日数

年际变化：日降水量 $\geq 50\text{mm}$  以上量级的暴雨日数杭锦后旗气象站在 1954-2021 年的 68 年间共有 5 年出现 6 次暴雨过程，累年平均暴雨日数为 0.1 天。暴雨日数最多为 2 天（2012 年），出现 1 天的有 4 年，暴雨年出现概率仅 7.4%。从雨量等级上看，最大日降水量 77.5mm（出现在 1975 年 8 月 5 日），未出现大暴雨以上的暴雨日。

年变化：从逐月变化来看，历次暴雨均发生在 6~9 月之间，其中 7~8 月份出现次数最多。

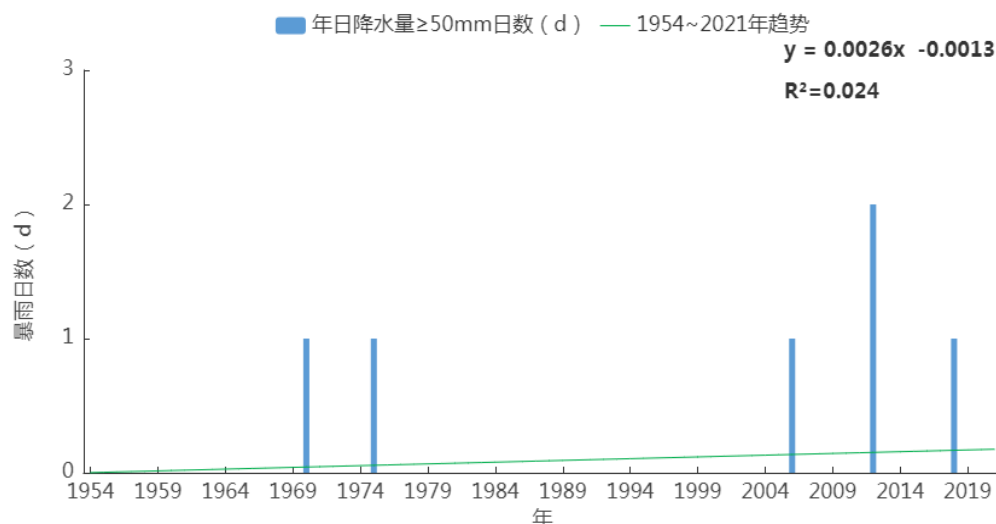


图 5.1-1 1954-2021 年杭锦后旗站年暴雨日数逐年变化图（单位：d）

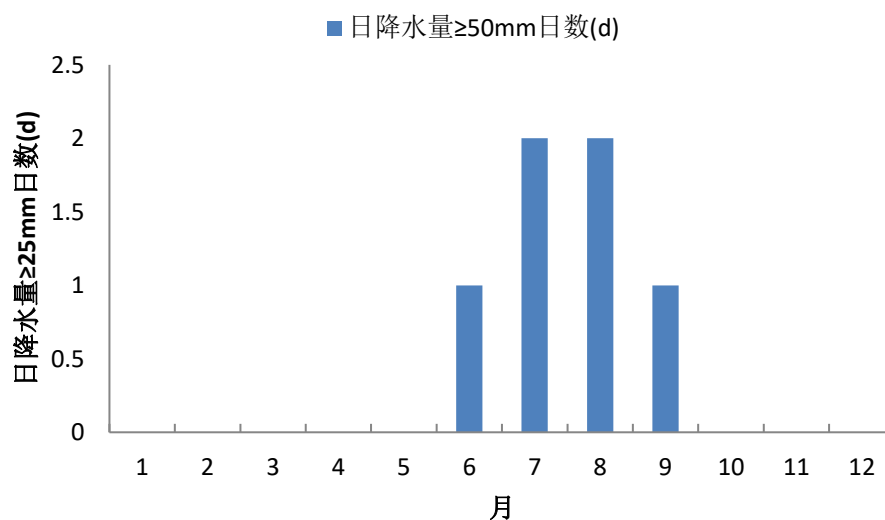


图 5.1-1 1954-2021 年杭锦后旗站平均暴雨日数逐月变化图（单位：d）

## (2) 最长连续降水日数及最大连续降水量

1954-2021 年杭锦后旗气象站最长连续降水日数在 1 天（2021 年）~6 天（1968 年、1977 年、1993 年）之间，累年平均 3.5 天。有 13 年最长连续降水日数在 5 天以上，占年总数的 19.1%；最长连续降水量在 2.7mm（1982 年）~104mm（2012 年）之间，超出 50mm 降水量的有 8 年，占年总数的 11.8%。最

长连续降水日数有减少的趋势。

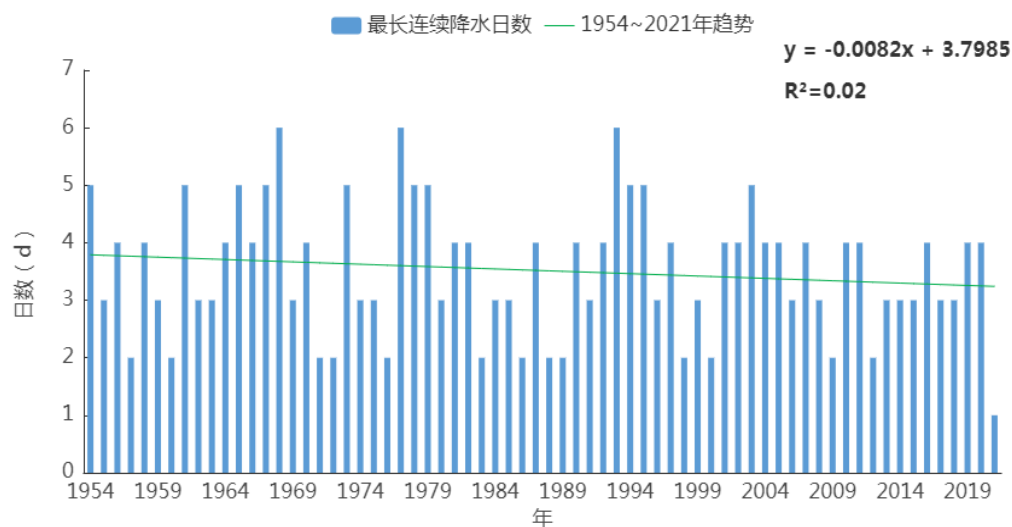


图 5.1-2 1954-2021 年杭锦后旗站最长连续降水日数的年际变化

年最大连续降水量呈现出年际变化波动大的特点，最大连续降水量在 10.3mm（1986 年）~104mm（2012 年）之间，累年平均 35.0mm，对应的降水持续日数 2.4 天，超出 50mm 降水量的年份有 13 年。最大连续降水量略呈上升趋势（变率为 0.19mm/10a）。

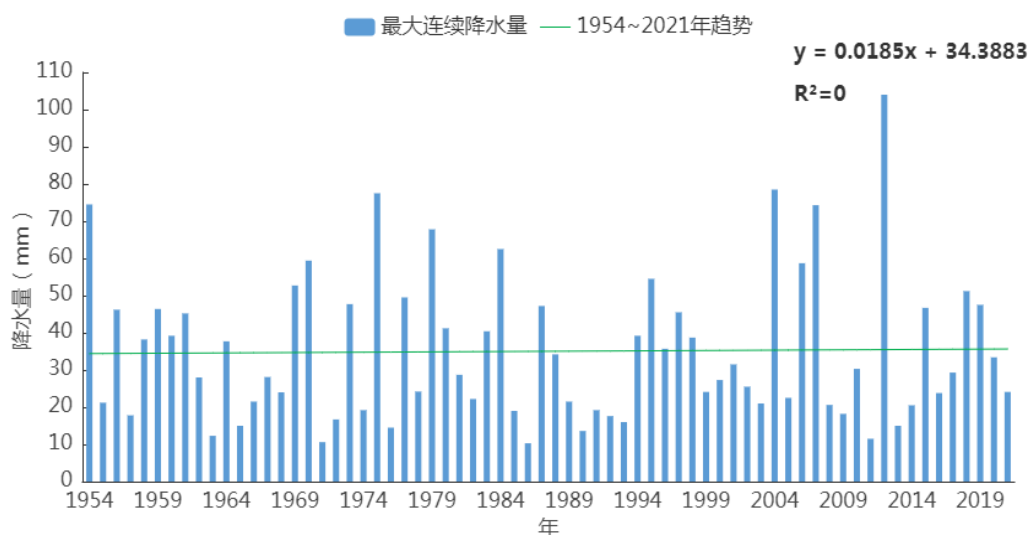


图 5.1-3 1954-2021 年杭锦后旗站最大连续降水量的年际变化

表 5.1-1 杭锦后旗气象站 1954-2021 年最长连续降水日数及最大连续降水量一览表

年	最长连续降水日数			最大连续降水量		
	最长连续降水 日数 (天)	最长连续降水 量 (mm)	最长连续降水 止日	最大连续降水 量 (mm)	最大连续降水 日数 (天)	最大连续降水 止日
1954	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1955	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1956	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1957	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1958	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1959	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1960	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1961	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1962	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1963	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1964	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1965	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1966	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1967	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1968	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1969	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1970	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1971	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1972	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1973	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1974	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1975	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1976	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1977	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1978	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1979	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1980	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1981	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1982	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1983	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1984	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1985	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1986	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1987	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日
1988	1	1.0	12月1日	1.0	1	12月1日

1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004									
2005									
2006									
2007									
2008									
2009									
2010									
2011									
2012									
2013									
2014									
2015									
2016									
2017									
2018									
2019									
2020									
2021									

### (3) 最大日降水量

1954-2021 年杭锦后旗累年平均最大日降水量为 28.2mm，年际变化在 10mm（1986 年）~77.5mm（1975 年 8 月 5 日）之间，年际间变化大，波动特征明显，最大值与最小值之间相差约 7.8 倍。最大日降水量日数以 0.43mm/10a 的

速率增多。

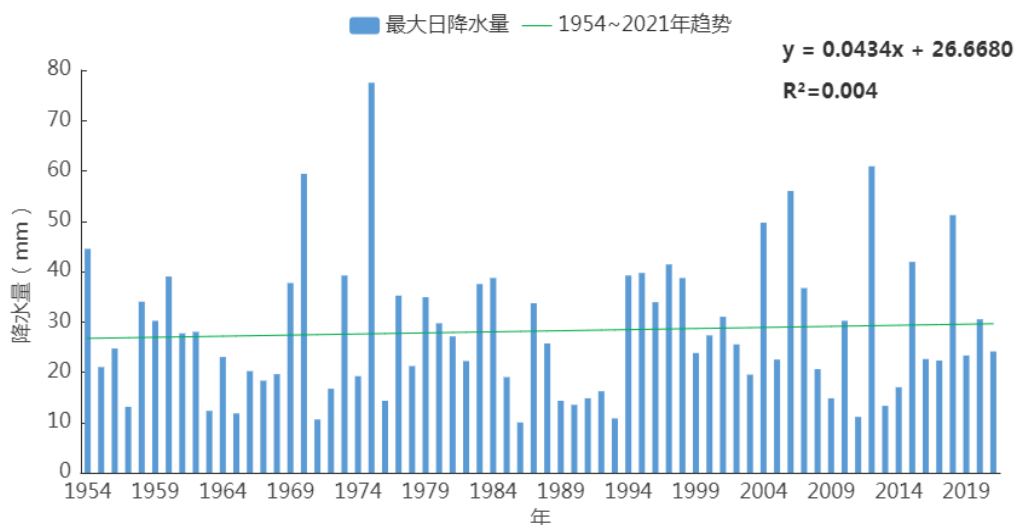


图 5.1-4 1954-2021 年杭锦后旗站最大日降水量年际变化

#### (4) 最大 1h 降水量

按小时降水量划分降水等级，当小时降水量 $\geq 10\text{mm}$ 时为暴雨量级；小时降水量 $\geq 20\text{mm}$ 时为大暴雨量级；小时降水量 $\geq 50\text{mm}$ 时为特大暴雨量级。

根据杭锦后旗气象站 30 年（1955-1979 年，2016-2020 年）最大 1h 降水量统计，达到暴雨量级（ $20\text{mm} > \text{小时降水量} \geq 10\text{mm}$ ）的年份有 15 年，占总年数的 50%，小时降水量 $\geq 20\text{mm}$ 时大暴雨量级的年份有 7 年，占总年数的 23.3%，73%的年份小时最大降水量大于  $10\text{mm}$ ，达到了暴雨量级，最大 1h 降水量达  $33.8\text{mm}$ （1970 年），未出现特大暴雨量级。最近的 2018 年 9 月 1 日最大 1h 降水量  $28.6\text{mm}$ ，造成洪涝灾害。

由此可以看出，杭锦后旗年暴雨日虽然不多，但 1 小时降水造成的暴雨灾害较多，最大雨日多。在多雨月，一日乃至数小时的最大降水量在年降水量中占有相当大的比重。杭锦后旗气象站历年日最大降水量占全年降水量平均为 19.8%，最大比例达到 37.9 %（1975 年），说明短时强降水天气多。



### 5.1.2 暴雨洪涝区域特征

杭锦后旗周边气象站资料显示，杭锦后旗周边气象站暴雨日数、最长连续降水日数，除了乌拉特后旗累年平均最长连续降水日数高于其他台站外，其余要素基本一致，最多相差 1 天；最大连续降水量和最大日降水量平均雨量以磴口县最大，其他站点一致性较好；最大连续降水量周边台站最大值在 136.1~146mm，均超过杭锦后旗 30~40 mm；最大日降水量周边台站最大值也都超过杭锦后旗，临河、乌拉特后旗、磴口分别超出 35.9mm、41.5mm 和 57.8mm。

表 5.1-2 杭锦后旗气象站与周边台站暴雨洪涝相关气候要素对比

气候要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
暴雨日数(d)	累年平均	■	■	■	■
	最多日数	■■■	■■■	■■■	■■■
最长连续降水日数(d)	累年平均	■	■	■	■
	最长天数	■	■	■	■
最大连续降水量(mm)	累年平均	■	■	■	■
	最大雨量	■■■	■■■	■■■	■■■
最大日降水量(mm)	累年平均	■	■	■	■
	最大值	■■■	■■■	■■■	■■■

从图 5.1-6 和图 5.1-7 杭锦后旗及周边气象站近 6 年的年平均日最大降水量和日最大降水量分布图上看，磴口县年平均日最大降水量和日最大降水量最大，分别为 43.0mm 和 103.6mm，乌拉特后旗平均日最大降水量次之，临河最少，为 24.3mm；日最大降水量次少的是白脑包镇区域气象站，最少的是沙海镇 37.8mm，其余各站相差不大。

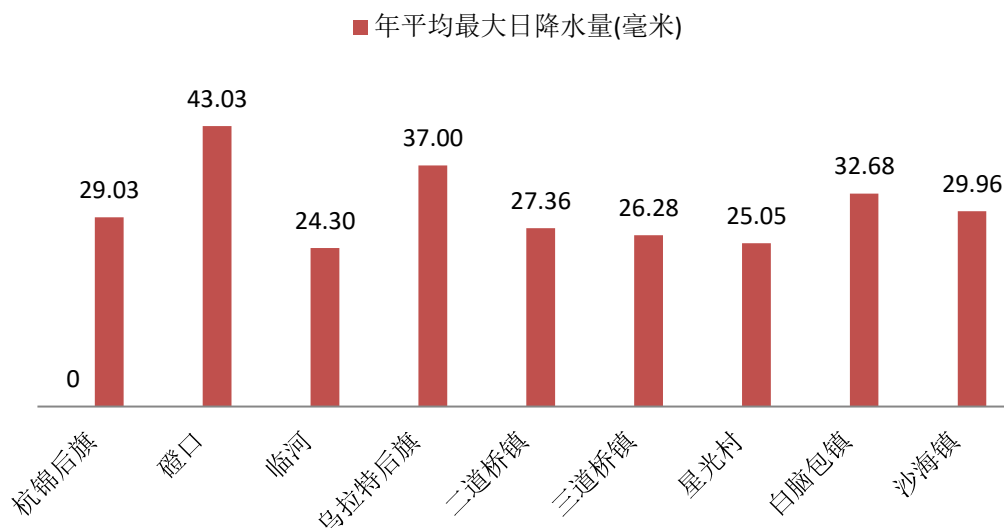


图 5.1-6 2016-2021 年杭锦后旗气象站和周边气象站最大日降水量

暴雨发生的区域差异较大，平均日最大降水量最大值（磴口县）与最小值（临河）相差 18.7mm，日最大降水量最大值（磴口）与最小值（沙海镇）相差 65.8mm。总体上，北部的乌拉特后旗气象站和南部磴口气象站发生暴雨的概率和强度大于杭锦后旗，及周边的其他地区，特别是磴口县和白脑包镇气象站距杭后工业园较近，对园区威胁较大。由于杭后工业园位于地形平坦、地下水位较高的地区，暴雨山洪致灾危险性较小，但小时强降水出现的概率较高，发生城镇内涝的可能性较大。

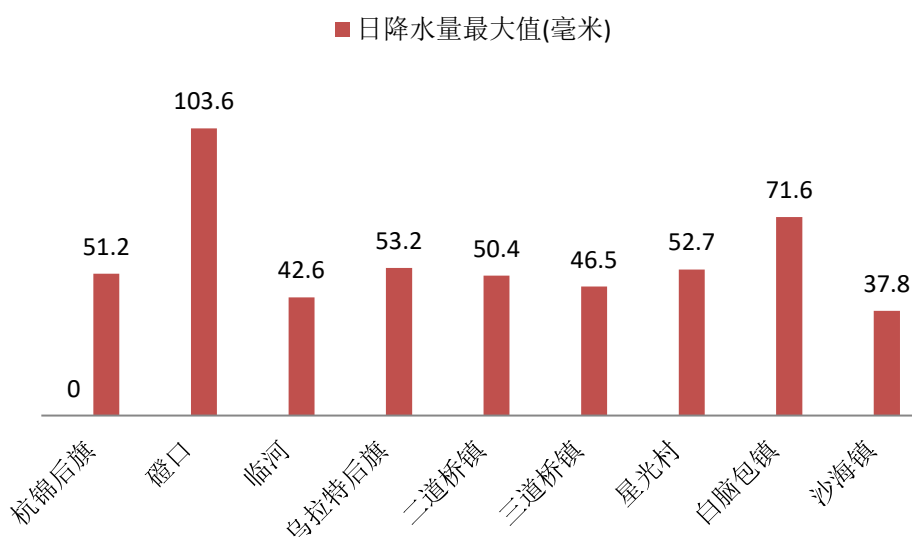


图 5.1-7 2016-2021 年杭锦后旗气象站和周边气象站最大日降水量

### 5.1.3 暴雨洪涝淹没风险及影响

杭后工业园位于乌加河流域。乌加河属乌梁素海水系，地处内蒙古自治区巴彦淖尔市河套平原北侧，狼山山地南麓，西起太阳庙海子，沿狼山南麓向东，至洪圪卜扬水站流入乌梁素海，河长 206 千米。

乌加河原系黄河古道，因风沙入侵和狼山洪积、淤积及地面抬升，河床抬高淤断，主流南移，现已成乌梁素海退水渠。黄河三盛公水库建成后乌加河成为排水渠道，也称总排干渠。乌加河除接纳灌区退水外，也是狼山诸河洪水的行洪通道。

图 5.1-8 给出了杭后工业园所在流域水系和高程分布情况，由图可见整体上流域海拔呈北高南低的分布形势，流域沟渠密布，其中狼山上冲沟较为发育，山洪沟顺着山势，冲击而下。狼山南麓为河套平原，地势平坦，阡陌相连，灌溉沟渠纵横交错，为广袤的“塞外粮仓”河套地区防洪干旱提供了重要保障。杭后工业园分为两个片区，分别为陕坝镇西北片区和陕坝镇东北片区，分别位于杭锦后旗陕坝镇城区外东西两侧。在杭后工业园周边分别有东部的沙壕渠、南部的大南渠、西部的南园排干渠以及两片区之间的团永支沟和与园子渠，城区外多为基本农田。

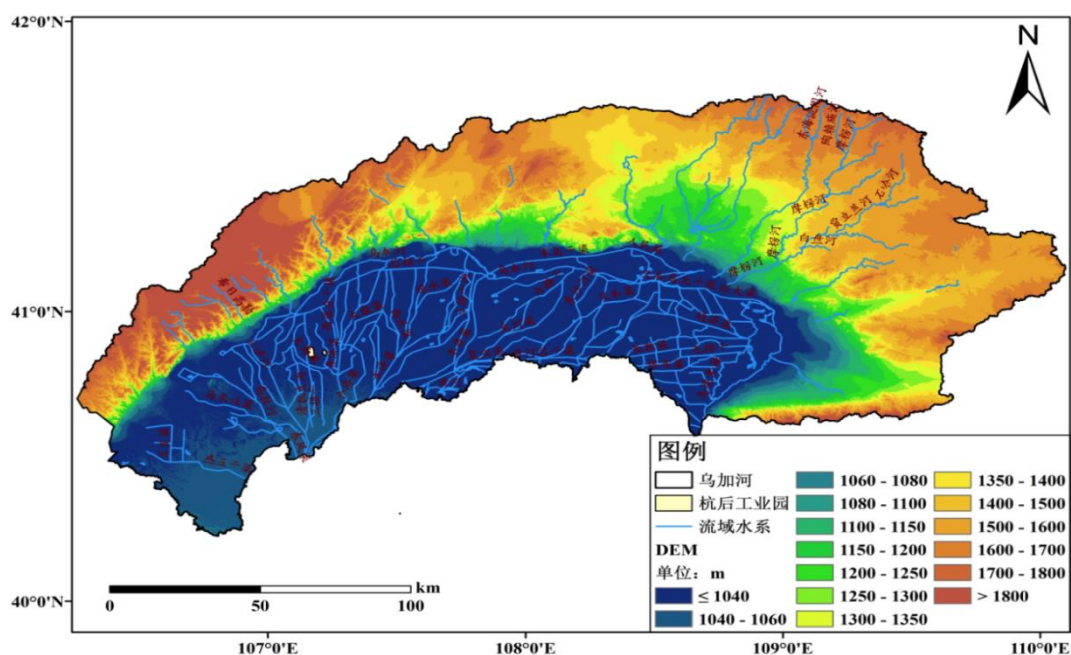


图 5.1-8 杭后工业园所在流域水系和高程分布图

虽然流域内干渠密布，但近些年来受短时强降水影响，区域内仍易遭受局地洪涝灾害。如 2012 年 6 月 25-28 日，持续大到暴雨造成巴彦淖尔市农田大面积受灾、绝收，其中小麦、玉米、葵花和瓜菜类农作物受灾尤为严重<sup>[1]</sup>；2012 年 7 月 20-28 日出现连续暴雨天气，是河套地区多地农作物受灾，数十人伤亡，大量房屋出现倒塌，经济损失超过 10 亿元<sup>[2]</sup>。张智和蔡敏<sup>[3]</sup>研究发现：河套地区暴雨具有雨日少、雨量大，局地性暴雨多、区域性暴雨少的特点，加之境内多为丘陵山区、黄土高原和沙漠地带，极易引发洪涝和河水泛滥。可见应对区域暴雨洪涝灾害加以重视。本报告利用水文模型 FloodArea 模拟了乌加河 T 年一遇暴雨洪涝淹没情况。

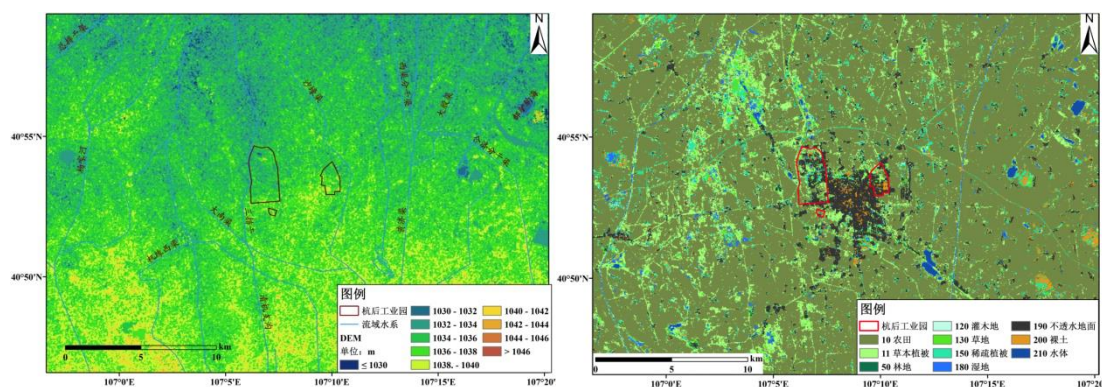


图 5.1-9 乌加河流域高程和水系分布以及园区周边土地利用类型

## (1) 技术方法

### ①淹没风险评估前期数据准备

提取流域的地形高程（简称 DEM）和地表粗糙度（简称 **manning** 系数）。选择乌加河流域内的杭锦后旗、乌拉特后旗、乌拉特中旗、五原和大余太 5 个国家站逐小时和逐日降水数据，建立乌加河流域逐时和逐日面雨量序列。

### ②建立流域的致洪面雨量序列

将乌加河流域的逐日面雨量序列输入到 MuDFiT 软件中，选择 POT 极值

[1]刘艳丽, 惠东薇, 白洁, 等. 2013. 2012 年 6 月下旬暴雨天气对巴彦淖尔市农业的影响[J]. 现代农业科技, 2: 243-244.

[2] 钟远茂. 2012 年 7 月下旬河套地区一次暴雨天气过程分析[J]. 北京农业, 2015 年 5 月下旬刊.

[3] 张智,蔡敏.2014. 河套地区暴雨的地域性特点及灾情分析[J]. 灾害学, 29( 1) : 81-86.

方法得到的降水极值结果，从而建立流域的致洪面雨量序列，即得到该流域的洪水历史个例。

### ③确定流域不同重现期（T 年一遇）的致洪面雨量

利用 MuDFiT 软件，对乌加河流域的致洪面雨量序列进行拟合优度检验，确定 Frechet（弗雷歇极值分布）拟合函数的 KSSatistic 数值最小，为最优拟合函数。按照表 5.1-3 中 T 年一遇所对应的概率值，得到乌加河流域在不同重现期（5 年、10 年、20 年、50 年和 100 年一遇）下的致洪面雨量。从 T 年一遇极端降水量上来看，流域极端强降水差异大，极端降水出现几率较高。

表 5.1-3 最优函数计算不同重现期下的致洪面雨量

重现期	5 年一遇	10 年一遇	20 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
拟合分布函数概率	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99
Frechet (mm)	70.9	85.0	105.6	148.7	200.1

### ④确定流域的小时雨型分布

根据乌加河流域的致洪面雨量序列中历史个例和逐时面雨量序列，计算每个历史个例前一天 21 时至当日 20 时的逐时降水概率，确定该流域 24 个小时的逐时降水雨型分布。

### ⑤模拟流域不同重现期洪水淹没

将乌加河流域不同重现期的致洪面雨量、小时雨型分布、DEM 和 manning 系数输入到 FloodArea 淹没模型中进行淹没模拟，得到该流域在不同重现期（5 年、20 年、50 年和 100 年一遇）下的洪水淹没深度。

### ⑥绘制研究流域的暴雨洪涝淹没风险评估图

计算乌加河流域在不同重现期的最大洪水淹没深度，一般以洪水可能淹没承灾体的淹没深度进行风险等级划分，由于乌加河属于中小河流，因此按照中



小河流洪水灾害风险等级划分标准：低风险（0.1~0.5m）、中风险（0.5~1.0m）、高风险（1.0~2.0m）、特高风险（2.0~4.0m）和极高风险（>4.0m），绘制不同重现期（5年、20年、50年和100年一遇）下乌加河流域暴雨洪涝淹没风险评估图。

## （2）流域暴雨洪涝淹没风险评估

利用 FloodArea 淹没模型模拟了乌加河流域重现期 5 年一遇、20 年一遇、50 年一遇和 100 年的极端降水最大淹没水深（图 5.1-10）。乌加河干流距离杭后工业园较远，T 年一遇暴雨洪涝对园区的影响较小。杭后工业园主要受狼山上汇集下来的雨水冲击，以及由于流域南部区域地势平坦，强降水造成局部地区汇水形成的内涝为主。从园区周边地区 T 年一遇的暴雨洪涝最大淹没深度特征上来看，园区周边易受极端强降水的影响，淹没较为分散，但大部地区最大淹没水深低于 1m，以中低风险为主。

具体来看，5 年一遇降水情况下，园区和周边地区大部分区域淹没深度较小，淹没深度在 0.5m 以下，属于低风险，园区内局部低洼处，淹没水深可能超过 0.5m，达到中风险。20 年一遇强降水情景下，区域中低风险淹没区域和淹没水深增加，局部地区可能达到高风险。工业园内，部分中风险地区转变成高风险。当极端强降水达到 50 年一遇时，区域一方面淹没范围继续增大，另一方面中高风险区域增加，可能对园区企业产生一定的影响。100 年一遇极端强降水与 50 年一遇淹没范围相似，但淹没水深增加，尤其是园区内中高风险区域，增加明显，其次是园区局部地区最大淹没水深可能达到 2m，达到特高风险，此时应做好防洪抗灾救险。

综上所述，由于乌加河干流距离杭后工业园距离较远，可能影响不大；但

由于流域南部地势较低且平坦，当极端强降水较大时，从狼山上汇流下来的洪水可能对下游地区造成内涝灾害。杭后工业园周边建有多条排洪渠，应当充分发挥干渠、支沟的防洪排水能力，减轻极端强降水造成的区域洪涝灾害。

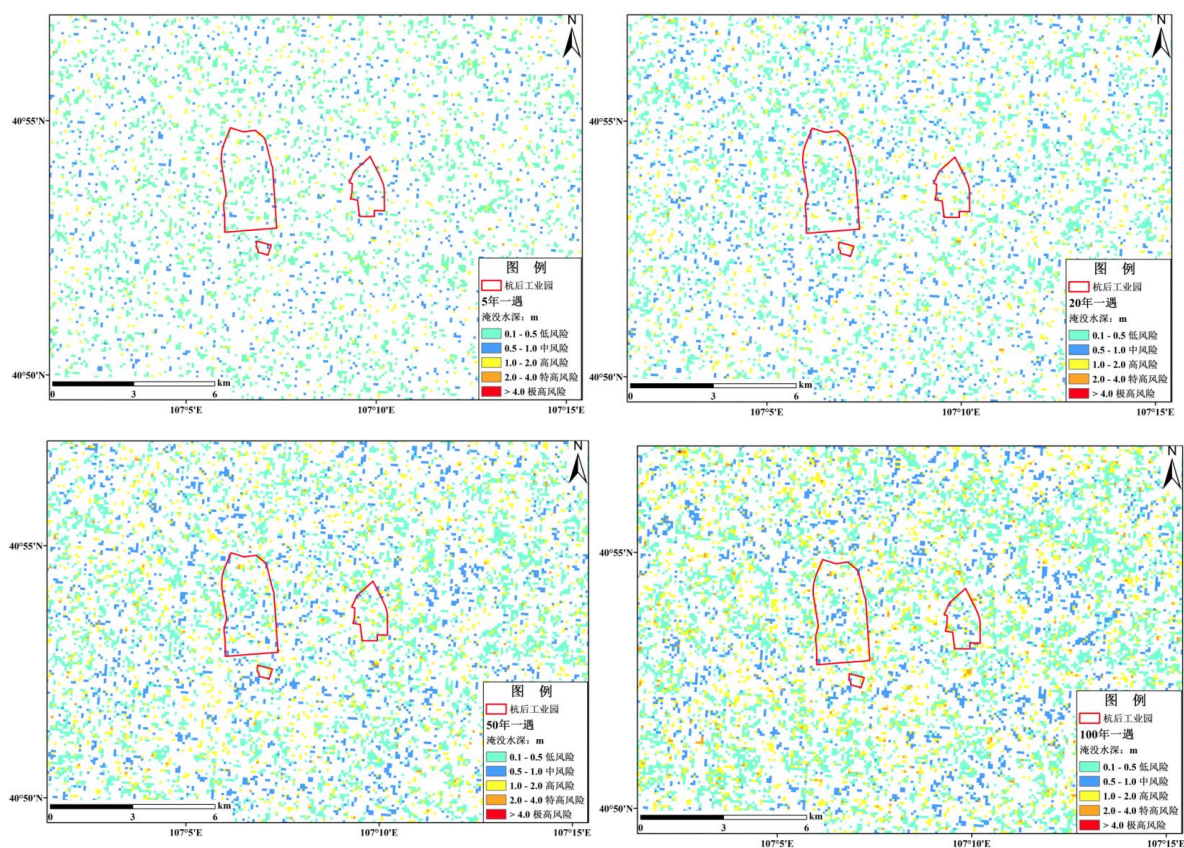


图 5.1-10 乌加河流域 5、20、50 和 100 年一遇暴雨洪涝灾害最大淹没水深(米)和淹没风险评估图

#### 5.1.4 暴雨洪涝灾害的危害与防御建议

根据参证站和周边气象站暴雨特征和暴雨洪涝淹没风险分析，杭后工业园所在地区尽管暴雨日数和区域性暴雨少，但短时强降水和局地性暴雨多，并且暴雨日数和最大日降水量呈现增加的趋势，暴雨致灾风险依然较大；与周边气象站比较，杭锦后旗暴雨强度在区域范围内处于中等位置，周边地区暴雨对杭后工业园构成一定威胁。杭后工业园位于乌加河流域，虽与干流距离较远，但易受狼山雨水汇集的冲击，加之流域南部区域地势平坦，植被相对稀疏，园区周边受极端强降水影响时，极易形成径流，引发洪涝和河水泛滥。尽管淹没深

度较浅，但在园区及周边地区常形成内涝，长期滞留的水分不仅影响建筑物的安全，特别是仓储、库房及简易建筑物的安全，也影响食品加工原料的储存环境，导致霉变甚至浸泡腐烂，同时破坏农作物生长环境，导致生产原料减产和品质下降。因此，加强园区防洪排涝至关重要。

鉴于杭后工业园暴雨洪涝灾害的发生风险和产业特点，重点应采取以下防御措施：

### **(1) 规划建设期：**

1) 要综合考虑降水、地形地貌、地质特征和建筑特点及生产工艺等因素，科学设计、合理规划，制订切实可行的防排水系统建设方案。在园区的排水设计中根据杭锦后旗气象站短时雨量大，局地性暴雨多，易形成内涝的降水特征及暴雨强度公式、暴雨雨型等参数进行室外排水管网设计，因地势平坦，积水不易排出的实际情况，在防排水系统建设和配备符合国家标准规定的前提下，适当提高排水排涝设计标准。按照50年一遇防洪标准，防洪工程建议采用能够抵御日最大降水量67mm的标准设计。要充分利用和提高园区周边干渠、支沟等的防洪排水能力，减轻极端强降水造成的区域洪涝灾害威胁；在园区地势较低区域铺设相应的排水管道，减轻园区积水问题。

2) 园区内低洼应进行填平作业或建设人工景观区，注重“海绵园区”建设，道路、停车场等多采用透水材料铺装，注重绿化带建设，增强园区雨水收集、涵养能力。

### **(2) 运营期：**

1) 在每年汛期（6～8月）来临前，开展汛期安全专项安全检查和隐患排查工作，对园区重点区域、防排水设施等重点环节的隐患排查治理，干渠、支沟等要采取定期巡查和清淤工作，防止沟道淤积、渗漏、倒灌或漫流。园区补充排水、发电、清障等必要的应急救援装备物资，遇有突发事件，要做到响应迅速、处置有力，最大限度减小洪涝损失。

2) 汛期要主动与气象、防汛等部门联系，建立灾害性天气预警和预防机制。



密切关注气象部门关于灾害性天气的预警预报信息和暴雨预警信号，掌握可能危及园区安全生产的暴雨洪水灾害信息，尤其是强降雨的预计发生时间、持续时间、影响范围和强度等，一旦发现险情，及时启动相应的应急机制及预案，服从防汛指挥部门的统一安排，及时抢险救灾。

3) 加强汛期调度和值班工作。安排专人负责区域范围以及可能影响园区安全的重点部位进行巡视检查，特别是接到暴雨灾害预警信息和警报后，必须派专人实施24小时不间断关注雨情和洪涝水位情况。

4) 地处园区地势较低的企业厂房，特别是存放农畜产品加工原料的库房，要准备沙袋、挡水板等物品，或砌好防水门槛，设置挡水土坝，以防止洪水进入室内。一旦室外积水漫入室内，应立即切断电源，防止积水带电伤人；同时要及时排水，开启除湿设备，减少湿度，防止生产原料霉变腐烂。

总之，预防河套地区暴雨洪来灾害根本上还是要加快灌区排水通畅建设，完善或更新老旧水利设施。同时，园区还应关注洪涝灾害过后可能出现的高温高湿、病虫害流行等次生灾害可能对园区企业的影响。

## 5.2 雷电

### 5.2.1 雷暴气候特征

杭锦后旗气象站 1954–2013 年的地面观测资料(2013 年后没有观测记录)，累年平均雷暴日数为 20.3 天，年雷暴日数在 5 天(2009 年)~35 天(1973 年)之间变化，年日数变化呈减少趋势。20 世纪 60 年代平均雷暴日数为 26.0d，70 年代平均雷暴日数为 22.2d，80 年代平均为 20.7d，90 年代平均为 17.8d，21 世纪初为 15.2d。20 世纪 60-80 年代均高于平均值，20 世纪 90 年代及 21 世纪初低于平均值，其中 21 世纪初平均雷暴日数最低。

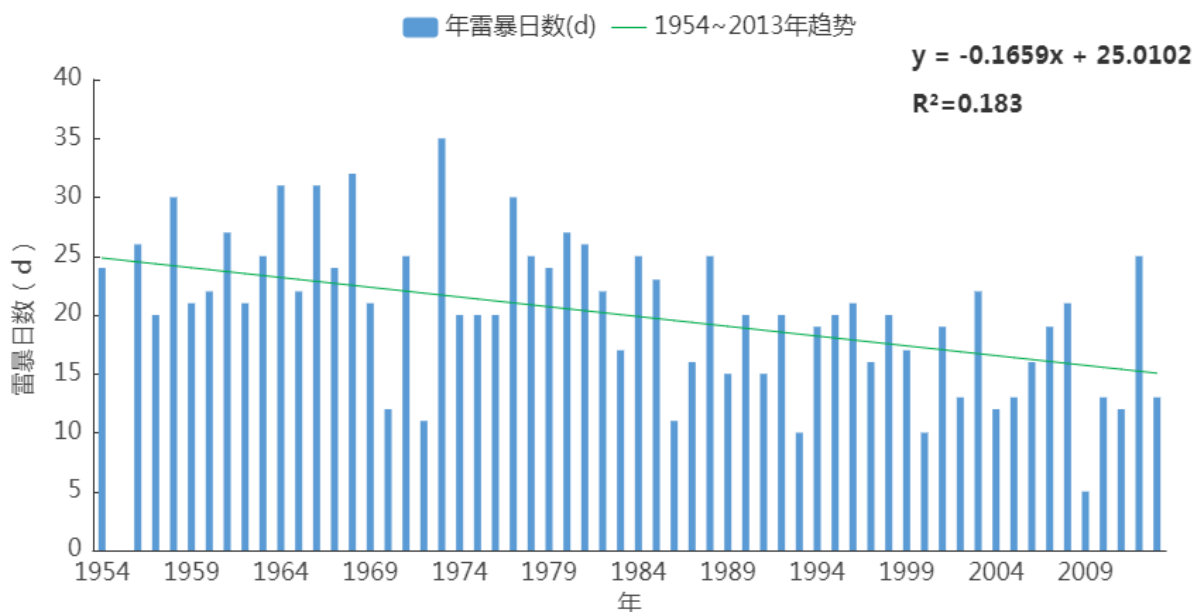


图 5.2-1 1954-2013 年杭锦后旗站年雷暴日数逐年变化图（单位：d）

雷暴主要出现在夏季，7 月雷暴日数最多，为 6.3 天，1-3 月、11 月和 12 月没有雷暴发生，发生在 6-9 月的雷暴占全年雷暴发生日数的 89.60%，7 月是高发时段，占全年雷暴发生的 31.19%；其次为 8 月（5.4d/月）和 6 月（3.9d/月），雷暴日数分别占总雷暴日数的 27.1%和 19.6%。

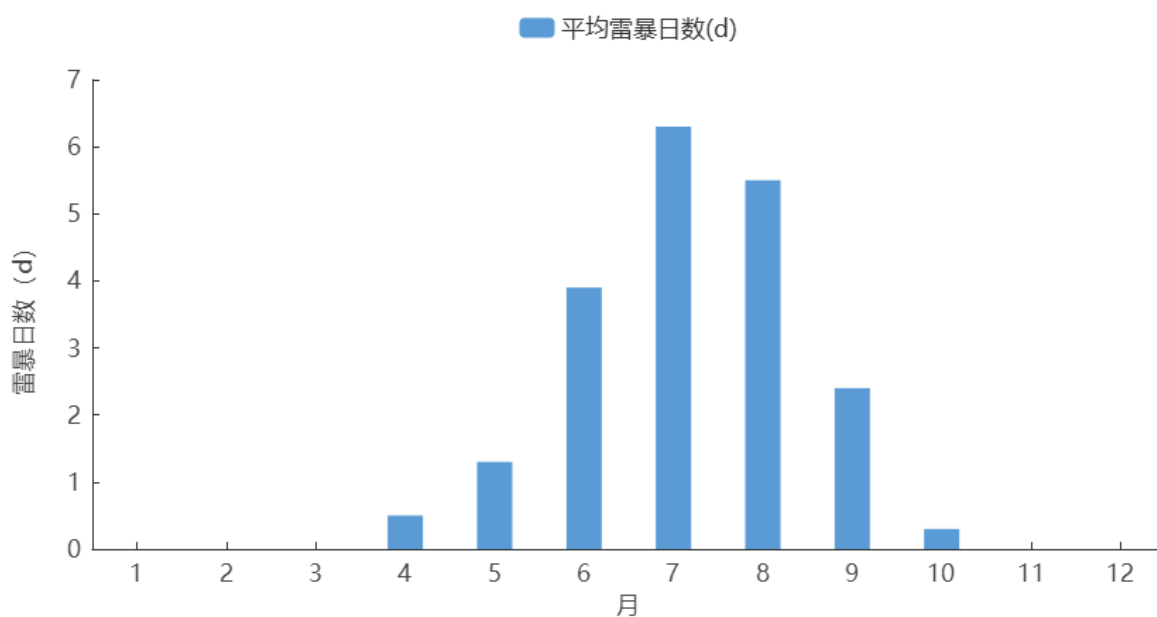


图 5.2-2 1954-2013 年杭锦后旗站平均雷暴日数逐月变化图（单位：d）

## 5.2.2 闪电气候特征

### (1) 闪电日数

1954-2013 年，杭锦后旗累年平均闪电日数为 6.7 天，年际变化在 0 天（17 年）~23 天（1964 年）之间。闪电日数以 3.08d/10a 的速率减少。

闪电主要发生在 6-9 月，7 月闪电日数最多，为 2.0 天，1-3 月、11 月和 12 月没有闪电发生。

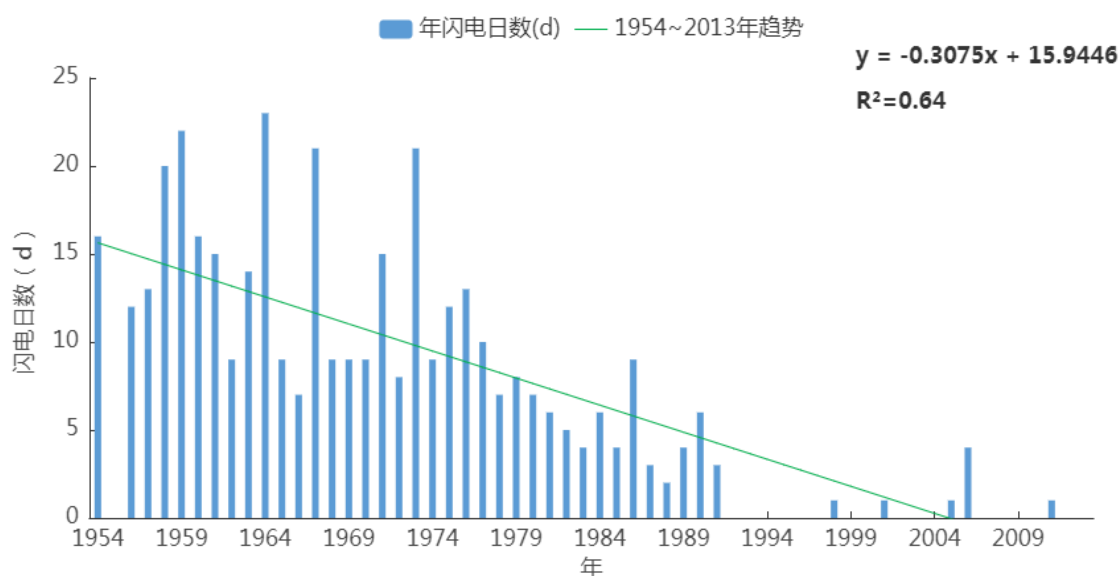


图 5.2-3 1954-2013 年杭锦后旗站年闪电日数逐年变化图（单位：d）

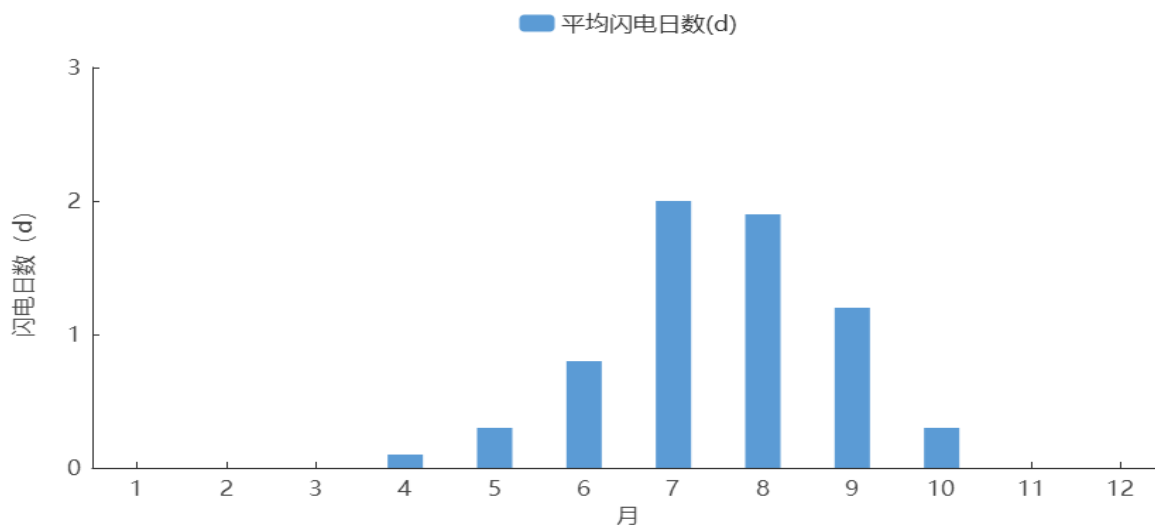


图 5.2-4 1954-2013 年杭锦后旗站平均闪电日数逐月变化图（单位：d）

表 5.2-1 杭锦后旗 1961-2013 年各月平均雷暴日数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均日数(d)	0.0	0.0	0.0	0.4	1.3	3.9	6.2	5.4	2.4	0.3	0.0	0.0
百分比(%)	0.0	0.0	0.0	2.0	6.5	19.6	31.2	27.1	12.1	1.5	0.0	0.0

## (2)地闪频次时空分布特征

杭后工业园周边地闪发生月份分布图如下，园区 10km 范围内雷电活动主要活跃在 5-10 月，月发生闪电次数均值 34.8 次，其中 8 月雷电活动最频繁，共发生闪电 103 次。

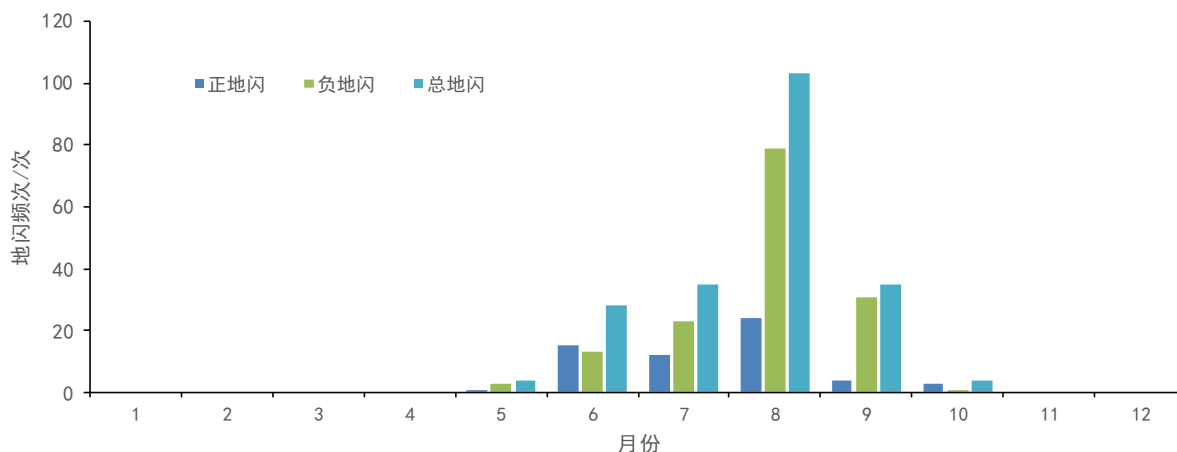


图 5.2-5 杭后工业园周边 10km 范围地闪月分布图

杭后工业园周边地闪发生时段分布图如下，园区 10km 范围内闪电发生时段主要集中在凌晨和午后至晚上，其中 4 时雷电活动最强，5 时次之。

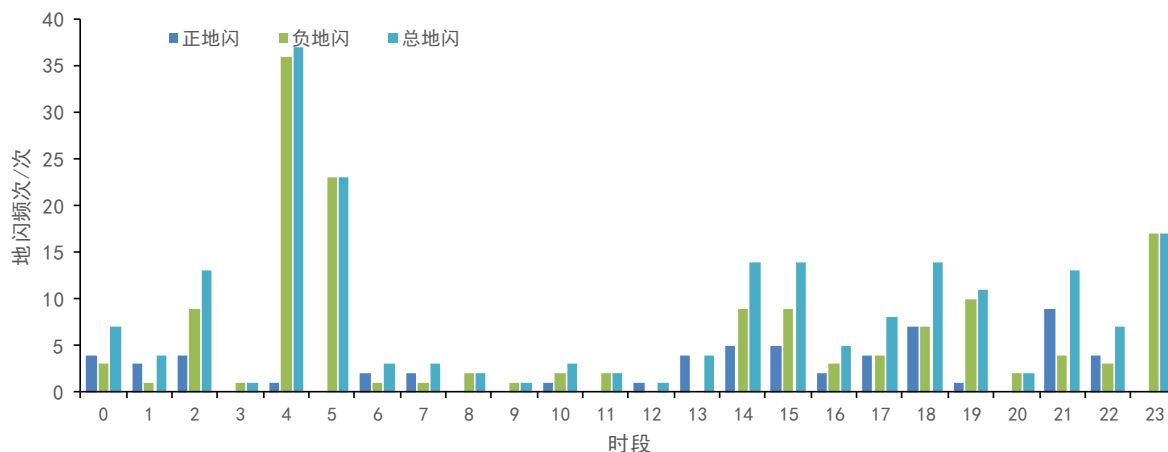


图 5.2-6 杭后工业园周边 10km 范围地闪时段分布图

2014-2021 年内蒙古杭后工业园 10km 范围内共发生闪电 209 次，其中正闪电 59 次，占 28.23%；负闪电 150 次，占 71.77%。最大正地闪出现在 2017 年 6 月 21 日 16 时 06 分 56 秒，闪电电流强度为 210.1kA，陡度为 19.6kA/ $\mu$ s；最大负地闪出现在 2019 年 8 月 2 日 6 时 15 分 47 秒，闪电电流强度为-158.1kA，陡度为-33.7kA/ $\mu$ s。

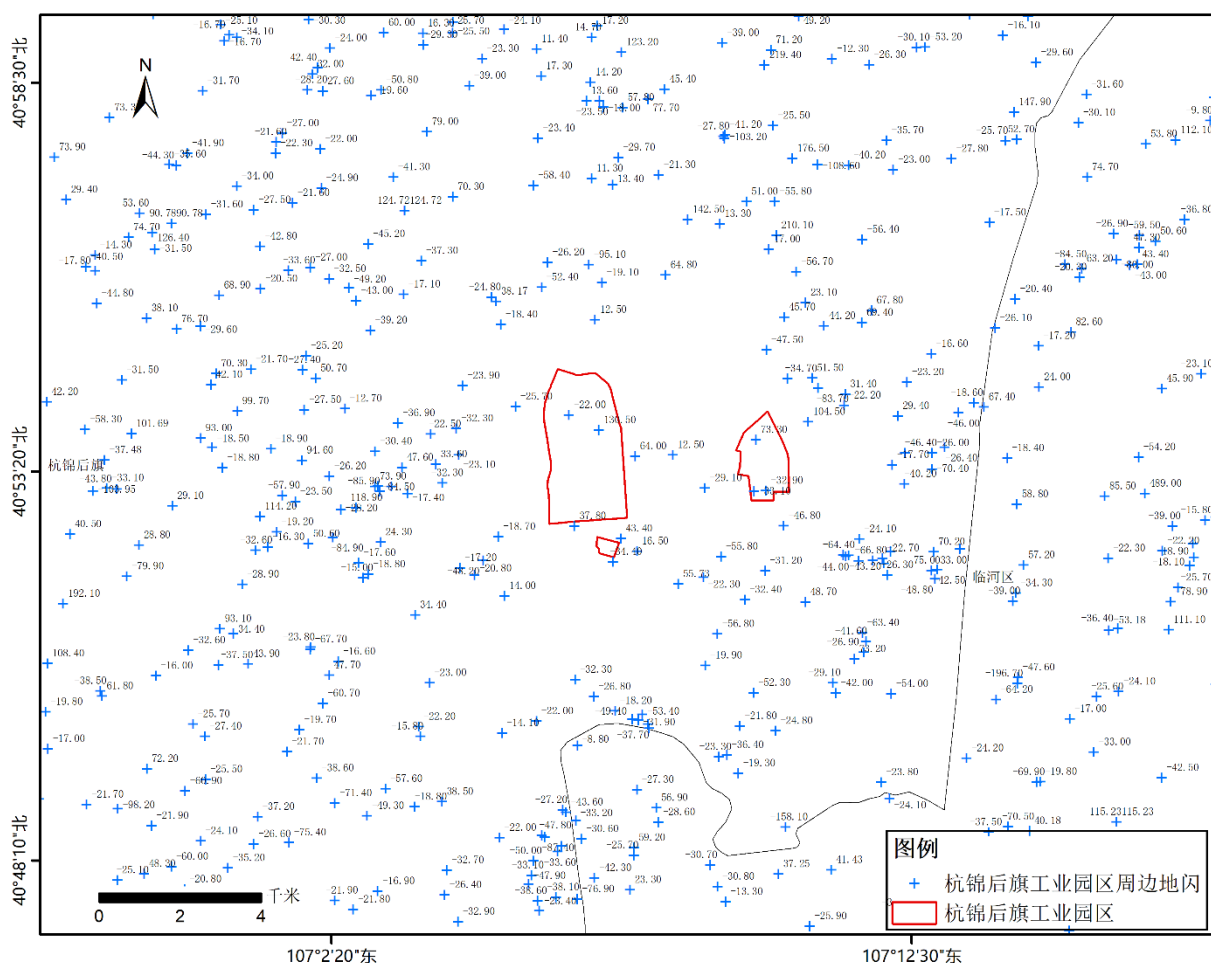


图 5.2-7 杭后工业园周边闪电发生情况

杭后工业园周边近 8 年的地闪密度分布状况如下图 5.2-7，园区地闪密度平均值为 0.63 次/ $\text{km}^2$ ，最大地闪密度为 6.0 次/ $\text{km}^2$ ；距离园区从 5km 到 10km 范围其地闪密度逐渐增大（见表 5.2-2）。

表 5.2-2 距园区不同距离处的地闪密度平均值

距离 (km)	地闪密度 (个 /km <sup>2</sup> )	距离 (km)	地闪密度 (个 /km <sup>2</sup> )	距离 (km)	地闪密度 (个 /km <sup>2</sup> )
5	0.48	7	0.63	9	0.66
6	0.58	8	0.68	10	0.66

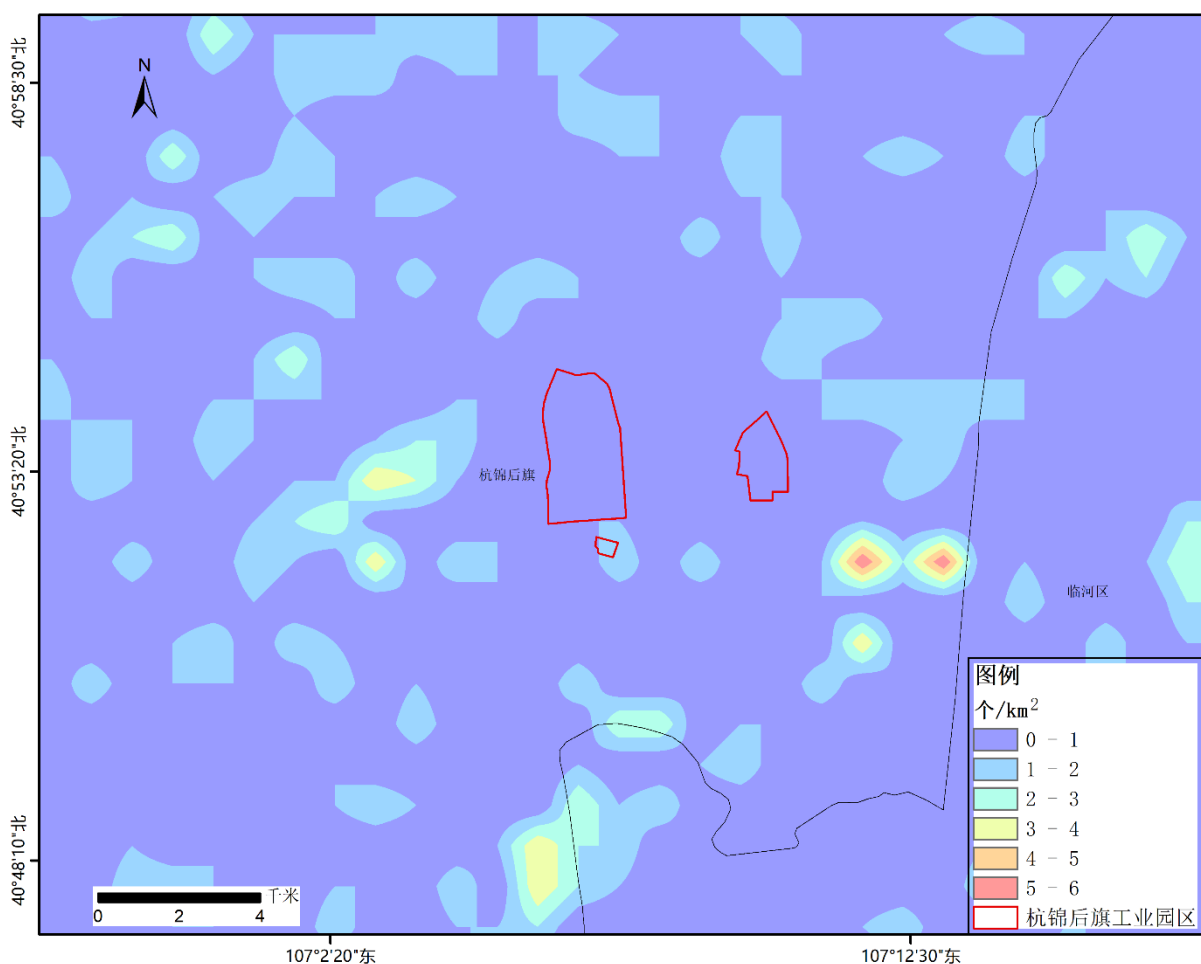


图 5.2-8 杭后工业园周边地闪密度分布图

根据杭锦后旗气象站观测的 1961-2013 年雷暴日数据（见表 5.2-3）可知，当地年均雷暴日数为 19.9d，按照 GB50057-2010 雷击大地密度  $N_g=0.1 \times T_d$ ，可得该地区雷击大地密度为  $1.99 \text{ 次} \cdot \text{km}^{-2}$ 。利用历史雷暴日数据依据公式计算所得的雷击大地密度比起闪电监测系统统计数据  $0.63 \text{ 次}/\text{km}^2$  要大，当用两种方法计算得到雷击大地密度数据时，为了进一步确保雷击安全，我们建议取较大值

作为防雷装置设计依据。

表 5.2-3 1961-2013 年杭锦后旗气象站年雷暴日统计表

年份	雷暴日数 (d)	年份	雷暴日数 (d)	年份	雷暴日数 (d)
1961	1	1979	1	1997	1
1962	1	1980	1	1998	1
1963	1	1981	1	1999	1
1964	1	1982	1	2000	1
1965	1	1983	1	2001	1
1966	1	1984	1	2002	1
1967	1	1985	1	2003	1
1968	1	1986	1	2004	1
1969	1	1987	1	2005	1
1970	1	1988	1	2006	1
1971	1	1989	1	2007	1
1972	1	1990	1	2008	1
1973	1	1991	1	2009	1
1974	1	1992	1	2010	1
1975	1	1993	1	2011	1
1976	1	1994	1	2012	1
1977	1	1995	1	2013	1
1978	1	1996	1	平均	1

### (3)地闪强度分布特征

#### a.雷电流强度的概率分布

据雷电定位系统监测地闪数据分析，杭后工业园 10km 范围正地闪电流强度主要集中在 10~125kA，其累积概率为 93.22%；负地闪电流强度主要集中在 5~70kA，其累积概率为 92.67%。

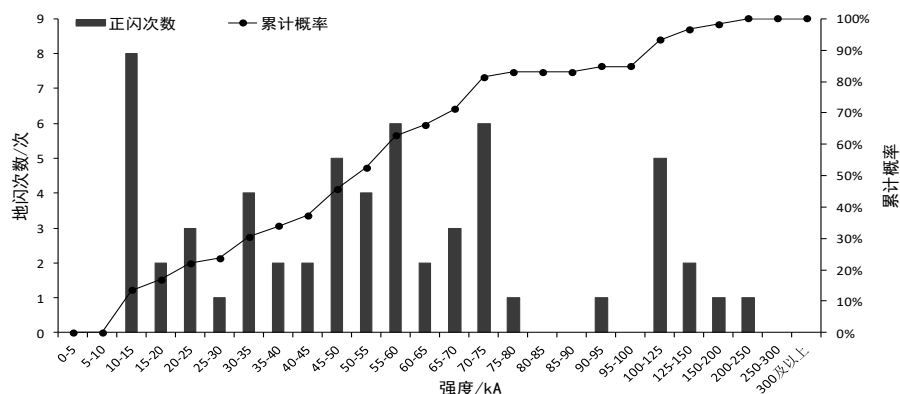


图 5.2-9 杭后工业园周边正地闪电流强度分布图

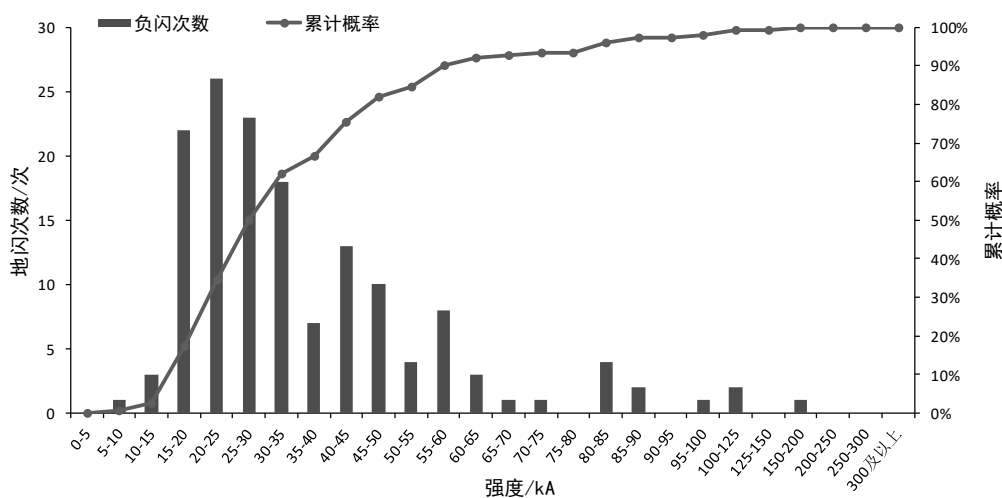


图 5.2-10 杭后工业园周边负地闪电流强度分布图

关于雷电流强度分布主要依靠雷电流累积概率公式推导得出，在 IEEE 推荐的雷电流累积概率分布公式基础上结合杭后工业园近 8 年闪电定位系统监测到的所有地闪回击数据，拟合了雷电流累积概率公式。

$$P_{\text{总地闪}}(> I_p) = \frac{1}{1 + \left( \frac{I_p}{34.8196} \right)^{2.7333}}$$

式中， $P$  为雷电流幅值大于  $I_p$  的累积概率， $I_p$  为雷电流幅值（kA）。



表 5.2-4 雷电流强度累积概率分布

雷电流强度 (kA)	雷电流累积率 (%)	雷电流强度 (kA)	雷电流累积率 (%)	雷电流强度 (kA)	雷电流累积率 (%)
>0	100.00	>70	12.91	>140	2.18
>10	96.80	>80	9.33	>150	1.81
>20	81.99	>90	6.94	>160	1.52
>30	60.04	>100	5.30	>170	1.29
>40	40.63	>110	4.13	>180	1.11
>50	27.11	>120	3.29	>190	0.96
>60	18.43	>130	2.66	>200	0.83

### b.雷电流强度的空间分布

杭后工业园周边近 8 年的地闪强度分布状况如下图 5.2-11，园区 10km 范围地闪强度平均值分别为 28.76kA/km<sup>2</sup>，属弱地闪强度等级；距离园区从 5km 到 10km 范围其地闪强度的幅值也逐渐增大（见表 5.2-5）。

表 5.2-5 距园区不同距离处的地闪强度平均值

距离 (km)	地闪强度 (kA/km <sup>2</sup> )	距离 (km)	地闪强度 (kA /km <sup>2</sup> )	距离 (km)	地闪强度 (kA /km <sup>2</sup> )
5	21.09	7	27.58	9	29.50
6	23.52	8	29.36	10	28.69

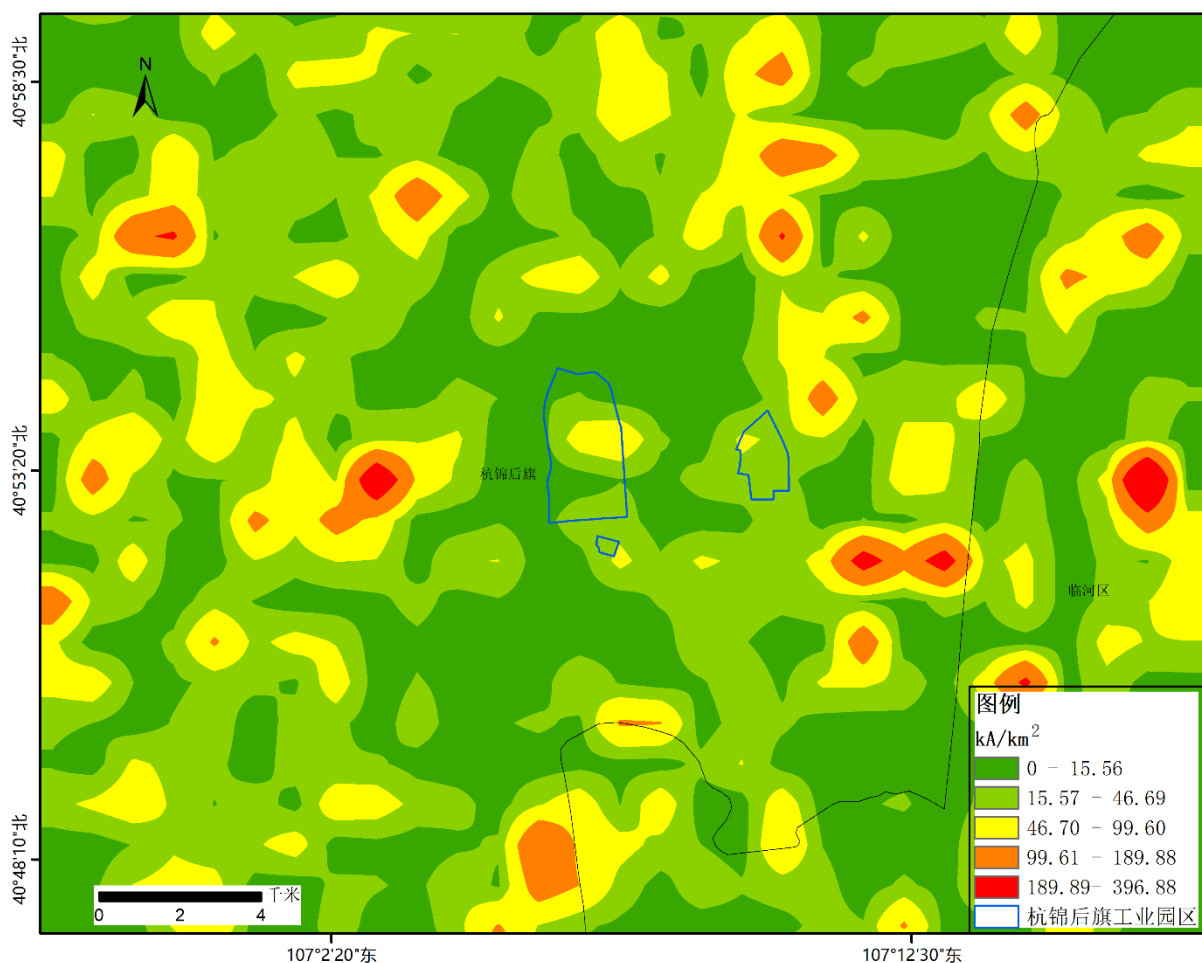


图 5.2-11 杭后工业园周边地闪强度分布图

#### (4) 雷电流陡度分析

雷电流随时间上升的变化率称为雷电流的陡度，雷电流陡度对过电压有直接影响。雷电流的强度是指脉冲电流所达到的最高值，波头是指电流上升到幅值的时间，波长（波尾）是指脉冲电流的持续时间。强度和波头共同决定雷电流的陡度。这一物理量类似于用降水量和降水时间表征雨强。

##### a. 逐月雷电流陡度分析

杭后工业园 10km 范围近 8 年各月累计正负地闪次数在 0~79 次之间，正地闪 8 月次数最多，负地闪同样 8 月次数最多。5-10 月各月正地闪平均陡度在 2.53~23.00kA/μs 之间，5 月的平均陡度最大；5-10 月各月负地闪平均陡度在

2.22~13.50kA/ $\mu$ s 之间，10 月的平均陡度最大。

表 5.2-6 杭后工业园 2014-2021 年雷电流陡度逐月统计

月份	正地闪累计次数(次)	正地闪平均陡度(kA/ $\mu$ s)	负地闪累计次数(次)	负地闪平均陡度(kA/ $\mu$ s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1	23.00	3	6.10
6	15	7.63	13	3.96
7	12	5.92	23	2.94
8	24	8.76	79	9.71
9	4	7.93	31	2.22
10	3	2.53	1	13.50
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0

### b.逐时雷电流陡度分析

杭后工业园 10km 范围近 8 年各时段累计正负地闪次数在 0-36 次之间，正地闪在 21:00~22:00 时地闪次数最多，负地闪在 4:00~5:00 时地闪次数最多。正地闪日平均陡度在 0~47.85kA/ $\mu$ s 之间，下午 16:00~17:00 时的平均陡度最大；负地闪日平均陡度在 0~33.70kA/ $\mu$ s 之间，早晨 6:00~7:00 时最大。

表 5.2-7 杭后工业园 2014-2021 年雷电流陡度逐时统计

时段	正地闪累计次数(次)	正地闪平均陡度(kA/ $\mu$ s)	负地闪累计次数(次)	负地闪平均陡度(kA/ $\mu$ s)
0-1	4	9.63	3	13.33
1-2	3	2.53	1	13.50
2-3	4	0.00	9	20.04
3-4	0	0	1	0.10
4-5	1	0.10	36	3.82
5-6	0	0	23	16.80
6-7	2	13.30	1	33.70
7-8	2	8.85	1	0.10
8-9	0	0	2	14.95
9-10	0	0	1	0.10
10-11	1	0.20	2	0.10
11-12	0	0	2	5.45
12-13	1	8.90	0	0
13-14	4	11.50	0	0
14-15	5	10.90	9	1.89
15-16	5	6.50	9	6.10
16-17	2	47.85	3	2.60
17-18	4	5.58	4	0.08
18-19	7	5.83	7	6.17
19-20	1	0.20	10	0.09
20-21	0	0	2	0.10
21-22	9	4.90	4	4.95
22-23	4	5.55	3	2.83
23-24	0	0	17	0.10

### 5.2.3 雷击防护建议

#### (1) 雷电防护装置设计建议

1) 根据闪电定位系统监测到的数据显示杭后工业园历史地闪回击平均密度为0.63次/km<sup>2</sup>，依据杭锦后旗气象站1961-2013年平均雷暴日数据计算，其雷击大地密度为1.99次·km<sup>-2</sup>。该园区在设计防雷装置时，建议取1.99次·km<sup>-2</sup>为设计依据。

2) 该园区区域雷击风险等级属于中等风险,产生雷击灾害事故的可能性较大。该园区内的建筑物按照GB50057-2010中的规定进行防雷设计,部分易燃易爆场所防雷设计应按照一类设计;建筑物单体的雷击人身伤亡损失风险、雷击公共服务损失风险及雷击经济损失等风险建议进一步对各建筑物单体进行雷击风险评估。

以内蒙古河套酒业集团股份有限公司为例,其生产设施的防雷等级分类应符合GB 50057-2010第3章的规定,生产设施防雷接闪器保护范围的计算应符合GB 50057-2010附录D的规定,防接触电压和跨步电压的措施应符合GB 50057-2010的第4.5.6条规定。

①原料库的外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.3节第二类防雷建筑物防雷措施的规定,粮食露天堆场的防雷措施应符合GB50057-2010中4.5.5条的规定。

②粉碎车间为20区爆炸危险场所的建筑物,其外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.2节第一类防雷建筑物防雷措施的规定。粉碎车间应在出入口处设置静电扶手,单独防静电接地的接地电阻不应大于 $100\Omega$ 。

③酿酒车间的外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.3节第二类防雷建筑物防雷措施的规定。输送酒精、酒精度大于或等于38%vol白酒的管道宜采用金属材质的管道,采用法兰盘作为管道连接方式时,过渡电阻不应大于 $0.03\Omega$ ,若过渡电阻大于 $0.03\Omega$ ,应用金属线跨接。对有不少于5根螺栓连接的法兰盘,在非腐蚀环境下可不跨接。

④露天地上储酒罐、酒精库、酒精存储罐外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.2节第一类防雷建筑物防雷措施的规定。

⑤包装车间的外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.3节第二类防雷建筑物防雷措施的规定。

⑥泵房、空压机房、锅炉房、沼气压缩机房的外部防雷装置设计应符合GB 50057-2010的第4.3节第二类防雷建筑物防雷措施的规定。

⑦室外沼气罐应按照GB 50057-2010的第4.2节第一类防雷建（构）筑物的防雷措施进行设计。

3) 园区低压配电系统及信号系统应按照《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010和《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB 50343-2014安装SPD，抑制雷电过电压。安装和选择各级SPD应实现能量配合、逐级限压的目的，并在防雷区分界处作等电位连接。

4) 按照国家相关法律法规的要求，园区内如有下列建设工程、场所和大型项目的雷电防护装置应当由气象主管机构进行设计审核和竣工验收：

①油库、气库、弹药库、化学品仓库和烟花爆竹、石化等易燃易爆建设工程和场所；

②矿区、旅游景点或者投入使用的建（构）筑物、设施等需要单独安装雷电防护装置的场所。

## **（2）在建项目施工期间的雷电防护安全建议**

1) 该园区所在地夏季的5~10月为雷电活动的高发期，建议合理安排工期，接收雷电预警信息，进行高空作业和弱电系统设备的安装、调试应避开雷暴高发期和时段，可将潜在的雷击危险降至最低。

2) 施工现场办公板房、宿舍板房等应有直击雷防护设施，防雷接地电阻应不大于 $10\Omega$ 。设于施工现场的交流电源工作接地、各类施工机械电气保护接地、

防雷接地应共用接地装置，接地电阻应不大于 $4\Omega$ ，可利用基础接地装置作为此共用接地装置。

3)可利用塔吊等作为施工作业区直击雷防护的接闪装置，但必须保证塔吊的接地可靠，塔吊可直接连接在预留电气接地端子上，每台塔吊连接点不少于两处，连接线应采用 $-40\text{mm}\times 4\text{mm}$ 热镀锌扁钢或 $\Phi 12$ 热镀锌圆钢。塔吊等机械设备，操作人员乘坐室应采取直击雷防护措施，可设置 $1\sim 3\text{m}$ 的避雷针，避雷针与金属箱体应进行等电位连接。

4)大型钢模板和设备就位后应及时与预留的接地端子等电位连接；施工过程中使用的金属脚手架、临时支撑就位后，应及时与预留接地端子等电位连接。施工现场临时用电主干线应采用屏蔽电缆，屏蔽层两端应做等电位连接和接地处理。

5)确保施工人员宿舍、食堂、厕所、淋浴间等临时设施防雷装置符合标准，施工现场临时用电和职工生活用电，应有漏电、短路保护、浪涌保护装置的。室外用电设备和电箱要做好防雨淋措施，室外用电线路全部断电，同时要做好现场高耸金属部件、空旷地区搭设的钢结构操作棚的防雷接地。

### (3) 项目运行后的防雷装置检测与维护

1) 防雷装置应按《建筑物防雷装置检测技术规范》(GB/T21431-2015)的要求，由具有检测资质的机构每年检测一次，具有爆炸和火灾危险环境的防雷建筑物每半年检测一次。

2) 加强园区人员的防雷安全知识培训，提高防雷减灾意识，建立雷击事故处理应急预案。

3) 防雷装置的维护应符合下列要求：

①检查接闪杆、接闪带（网、线）、杆塔和引下线的腐蚀情况及机械损

伤、松动等，若有损伤，应及时修复，特别是在断接卡或接地测试点处，应进行电气连续性测量；

②测试接地装置的接地电阻值，若测试值大于规定值，应检查接地装置和土壤条件，找出变化原因，采取有效的整改措施；

③检测内部防雷装置和设备（金属外壳、机架）等电位连接的电气连续性，若发现连接处松动或断路，应及时修复；

④检查各类电涌保护器的运行情况，若发现接触不良、漏电、发热、积尘过多等，应及时处理。

#### **（4）加强雷电监测预警和应急管理**

1）按照规范要求应加强易燃易爆、人员密集场所的雷电监测预警，提前获取雷电预警信息，让作业区人员提前规避雷击危险；提前采取主动的防御措施、降低雷击事故风险提供决策依据。

2）建立一套适用的防雷安全工作方案和防雷安全应急预案对所属防雷装置进行管理维护和发生雷击后的应急管理。

3）按照规范要求应加强易燃易爆、人员密集场所的雷电监测预警，基于大气电场仪结合雷达、闪电定位资料，开展校区精细化专项雷电预警服务，提前发布雷电预警信息，让校区人员提前规避雷击危险；为管理部门提前采取主动的防御措施、降低雷击事故风险提供决策依据。

4）大气电场雷电预警服务系统能够面向易燃易爆、人员密集场所服务需求开展精细化服务。系统采用 ORACLE 数据库建立了以大气电场为核心、雷达强回波和闪电定位为辅助的基础实时数据库，建立按地区、时间、电场强度、雷达回波强度等维度的雷电发生概率统计、雷电过程电场回放分析功能，并实现预警算法的自学自纠预警产品空间分辨率可调（1-5km），预警区域和重点关注



区域可自由设置，实现了雷电活动的自动循环预警，且提供了人机交互功能。

### **(5) 遭到雷击时急救措施**

1) 人体在遭到雷击后一般会出现昏迷、假死等症状，应立即采取抢救措施，首先须马上进行人工呼吸，其次要对伤者进行心脏按摩并向 120 求助。

2) 人被雷击中后，身上是不带电的，因为雷电电流击中人后已经通过人体泄放到大地上，所以接触受伤者进行抢救是没有危险的。受伤者被雷电的电火花烧伤只是表面现象，最危险的是对心脏和呼吸系统的伤害。

### **(6) 雷击事故处置方法**

1) 发生雷击事故后，岗位人员要沉着、镇静，不要惊慌，应迅速安排人员保护现场。

2) 发生雷击事故后，应及时通知当地防雷主管机构，并由防雷主管机构组织相关部门进行雷电灾害调查并进行雷灾事故鉴定。

3) 雷击事故发生后，要组织人员对邻近的设备管线的防雷设施进行仔细检查，避免雷击频繁发生。

## **5.3 风灾**

大风是由不同的天气系统产生，杭后工业园所在区域的大风类型主要有：与冷空气相联系的冷锋后部偏北大风和低压大风及与强对流天气相关的雷雨冰雹大风。

不同类型的大风造成的灾害特点不尽相同：冷空气引起的大风往往持续时间比较长，影响范围也较广，当前期植被覆盖率较差时，还会引起沙尘天气；强对流大风多发生在夏季，持续时间较短，瞬时风速大，局地性强，偶尔还会伴有龙卷风、冰雹等出现。

### 5.3.1 大风的气候特征

#### (1) 年际变化

大风是指瞬时风速达到或超过 17.2m/s（目测风力达到或超过 8 级）的风。1954-2021 年杭锦后旗气象站年平均大风日数为 16.7 天，历年大风日数在 0 天（2017 年）~47 天（1976 年）之间变化，大风日数年际变化具有波动性，1954-1975 年大风日数呈现增加趋势，1975 年以后大风日数在波动中明显减少，总体上年大风日数变化呈减少趋势，减少速率为 2.8d/10a。

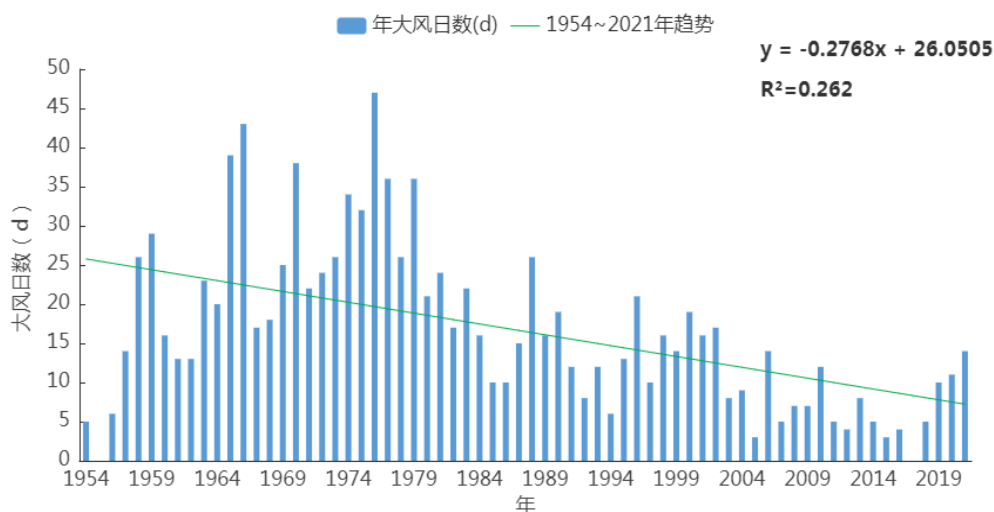


图 5.3-1 1954-2021 年杭锦后旗站年大风日数逐年变化图（单位：d）

#### (2) 年变化

从大风日数的逐月分布来看，杭锦后旗气象站全年各月均有大风发生，其中 4~5 月相对较多，月平均大风日数在 3 天以上，3 月次之，月平均大风日数达到 2 天；8~10 月发生大风的频次较少，每月均值不足 1 天。由此看出，杭锦后旗大风天气具有春季最多，冬季次之，夏季和初秋少的季节性变化特征。

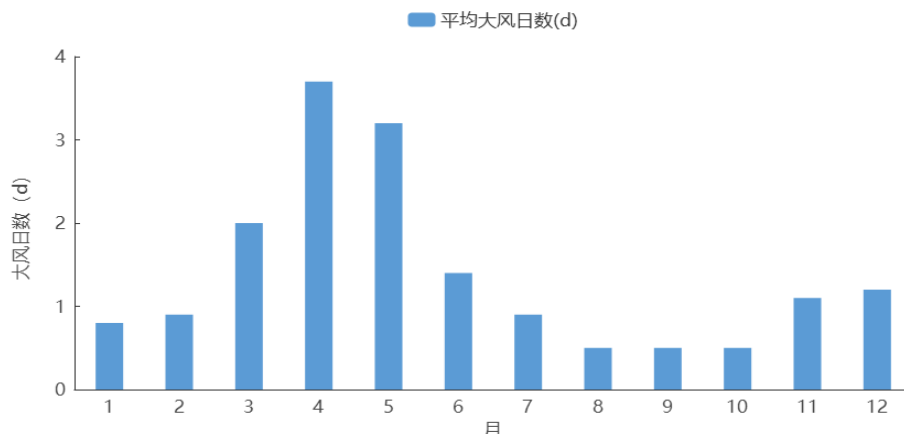


图 5.3-2 1954-2021 年杭锦后旗站平均大风日数逐月变化图 (单位: d)

### 5.3.2 大风的区域特征

从周边台站大风出现情况看，工业园北部的乌拉特后旗气象站大风日数最多，南部的磴口气象站次之，最多大风日分别为 131 天和 61 天，均超过杭锦后旗气象站，临河大风日数最少。大风日数最大值出现的年份分布在上世纪 50-70 年代。但杭后工业园发生大风灾害的风险仍然较高，需防范大风带来的不利影响。

表 5.3-1 杭锦后旗气象站与周边台站大风日数比较

要素	杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
平均大风日数(d)	16.7	6.2	11.9	71.3
最多大风日数(d)	47 (1976)	31 (1979)	61 (1955)	131 (1987)

### 5.3.3 大风的影响及危害

杭后工业园受大风影响较大，冬春季的大风一般由冷空气引起，持续时间比较长，影响范围较广，常伴有沙尘天气；夏秋季是强对流天气引发大风，持续时间较短，瞬时风速大，局地性强，偶尔会伴有冰雹等出现。大风对工业园内的加工业、制造业等都有一定程度的影响。如 2009 年 8 月 17 日大风造成玉米、葵花成片倒伏，番茄、籽瓜也受到了严重损伤，导致农产品加工企业生产原料

减产，品质下降。农作物受灾面积 7600.8 公顷，成灾面积 6080.7 公顷，绝收面积 3353.7 公顷，直接经济损失 8677.2 万元。

### （1）规划建设期

首先影响园区内各企业和工程设施的布局及建筑设计标准的选择。在建设阶段影响施工进度和安全，大风可使园区内搭建的临时工棚、围墙、建筑施工中的吊机、电梯、脚手架等受损或倒塌，造成财产损失和人员伤亡；大风会增加建筑高空作业的风险性，风力过大可造成工程停工或延期；大风还会吹散堆积在室外的砂石等建筑材料引起粉尘污染。

### （2）运营阶段

1) 影响园区供电线路：大风可能刮断线路甚至吹翻线路铁塔，吹起供配电系统的线路使其发生碰撞，或者吹起其他金属导体搭接在线路之间而形成短路；大风会引起导线摆动，引起放电，造成弧光接地或短路；大风还可吹进控制室、保护柜等设施内造成杂物短路，引起保护误动；大风常引起外部输电线路倒杆，造成短路、接地、开关误跳等，引发停电事故。总之，大风导致园区内企业停产，造成经济损失的事件时有发生。

2) 影响生产生活设施：园区内的建筑物、仓储设施、路灯、路牌、广告牌、绿化植物等在大风中易被刮倒或刮断，造成经济损失和人员伤害；在建筑密集区，风速通道较小，大风通过成排高层建筑之间的区域时，易产生狭管效应，使局地风速增大，严重时不仅能毁坏建筑物，甚至导致车辆失控，影响交通物流运输。

3) 影响生活和大气环境：大风可刮起地面沙尘，使空气质量恶化，影响居民出行和环境。

### 5.3.4 大风灾害防御建议

#### (1) 规划建设期

在园区项目的设计规划中，要充分考虑工业园所在区域大风的强度和主导风向，结合建筑物的抗风能力要求，布局工程设施，合理规划用地。杭锦后旗大风天气较多，特别是冬春季，年最大风速 19.0m/s，年极大风速可达 30.0m/s，大风的主导风向是 NNE，建议提高园区内各类建筑、设施和车辆的防风抗风能力标准，门窗开启方向尽量与主导风向垂直，尽可能规避大风引发的灾害。食品加工企业尽量布局在上风方向，确保生产环境不被污染。

在项目建设阶段，塔吊、高大模板、施工升降机等危险源需加固和重点防范，严格落实安管人员定时检查巡查制度；密切关注气象部门发布的大风预警，提前做好防范措施；发生大风天气时，遮盖建筑物资，不得进行露天攀登与悬空高处作业，不得进行塔吊顶升、安装、拆卸作业，正在作业时如果遇到突发大风，必须立即停止作业；在建设高层建筑阶段，为减小狭管效应带来的影响，应做好抗风安全措施，以防人员伤亡。

#### (2) 运营期

1) 大风来临时，停止园区内露天活动，居民和工作人员要尽量减少外出，必须外出时不要在悬挂的广告牌、临时搭建筑物下面逗留、避风。正在行驶的交通运输车辆应及时驶入隐蔽处。

2) 工业园所在区域气候干燥，尤其在冬季春两季，发生火灾的风险较高，大风天气会加剧火灾风险，助推火势蔓延，因此要增强防火意识，采取严格防范措施，严谨露天动火，及时清理易燃物品，以防引发火灾。同时也要防范大风刮断电线等引发的火灾。

3) 工业园所在区域春季大风常伴随沙尘天气，夏季大风常伴随雷暴天气，对于占园区 70% 多的农畜产品加工企业应结合防沙尘或防雷暴措施，采取综合预防的方法。除了及时关闭厂房、库房门窗外，要加强密封管理，及除尘设备的配置，并及时启用；大风雷暴发生时，要兼顾雨水的防御，避免原料、产品受湿受潮。

4) 建立责任制，定期对工业园区区域内建筑物和设施的防风安全隐患进行排查，及时加固或者拆除易被大风吹动的各类设施、搭建物等，大风过后，也应该检查建筑物，特别是临时设施、设备的坚固情况，包括支架、脚手架、起重设备、临时用电工程和临时房屋等设施有无损坏，出现危险要及时采取警戒隔离措施，避免高处坠物伤人等事件发生。

## 5.4 沙尘

沙尘天气是一种风与沙相互作用的灾害性天气现象。沙尘往往伴随着大风天气，沙尘天气的形成须具备三个条件，即丰富的沙尘源、大风和不稳定的大气状态。大风沙尘天气因能见度降低影响园区作业和交通安全。

### 5.4.1 沙尘天气的气候特征

沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴。沙尘天气主要发生在冬春季节，由于干旱半干旱地区冬春季节降水比较少，地表异常干燥松散，抗风蚀能力很弱，在有 大风刮过时，就会将大量沙尘卷入空中，形成沙尘天气。

#### (1) 浮尘

浮尘指当天气条件为无风或平均风速 $\leq 3.0\text{m/s}$  时，尘土、细沙浮游在空气中，使水平能见度小于 10 公里的天气现象。浮尘出现时远方物体呈土黄色，太

阳呈苍白色或淡黄色。浮尘是由于沙尘暴或扬沙天气过后，尘土、细沙在风力较小的情况下沉降造成的。

### 1) 年际变化

杭锦后旗气象站 1954-2020 年平均每年有 6.9 天出现浮尘天气过程，出现最多一年是 1955 年，为 60 天，有 12 年未出现，年际变化差异显著。近 67 年浮尘年日数变化呈显著减少趋势，出现 10 次以上浮尘天气的年份有 15 年，除了 2018 年外，其他年份均出现在上世纪 50—70 年代，80 年代后显著减少或未出现，但 2018 年浮尘日数突然出现达 20 天，说明近年极端事件增多。

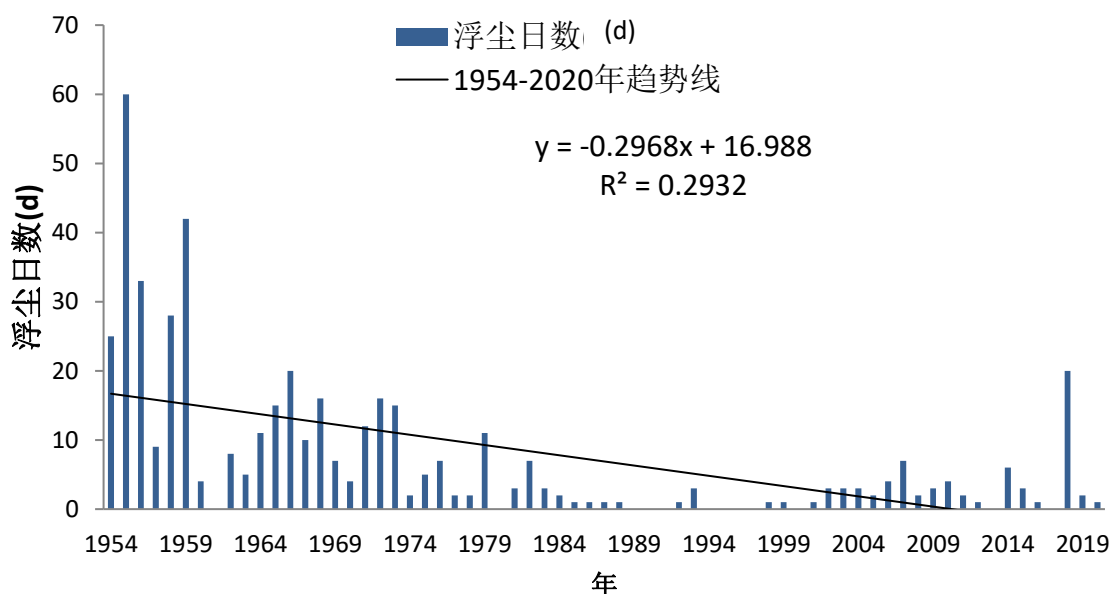


图 5.4-1 1954-2020 年杭锦后旗气象站年浮尘日数逐年变化图

### 2) 年变化

从杭锦后旗气象站浮尘天气年变化可以看出，全年都有浮尘天气出现，但主要集中在春季（3~5 月），占年总日数的 62.0%，其中在 4 月出现频率最高，浮尘天气平均出现日数达 3 天，占年总日数的 24.2%，初夏的 6 月份也较多，

出现浮尘天气的平均日数为 1.1 天。

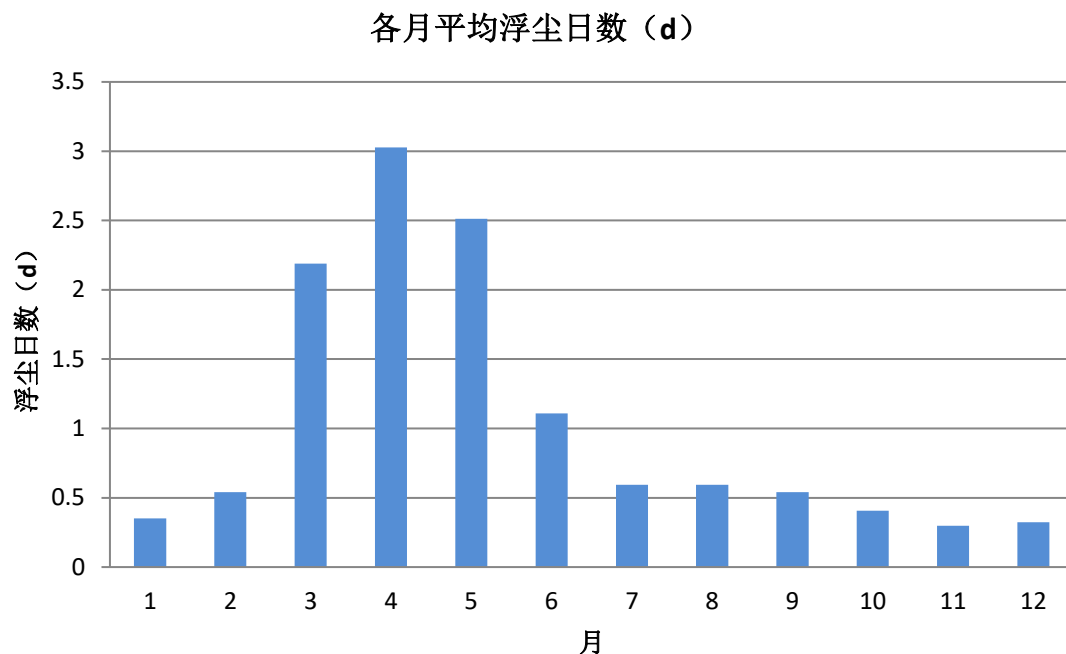


图 5.4-2 1954-2020 年杭锦后旗气象站平均浮尘日数逐月变化

## (2) 扬沙

扬沙指风将地面尘沙吹起，使空气变混浊，水平能见度在 1~10 公里以内的天气现象。出现扬沙时，能见度明显下降，天空浑浊，一片黄色。

### 1) 年际变化

杭锦后旗气象站 1954-2020 年平均每年出现 23 天扬沙天气，年际变化在 0 天（1997 年）~87 天（1955 年）之间，年际波动显著。从扬沙天气过程年际变化看，近 67 年扬沙日数变化总体呈明显的下降趋势，1981 年之前有 27 年年平均扬沙日数超出 20 天，占总年数的 40.3%，之后年扬沙日数平均为 7.6 天，明显减少，最少时段是上世纪 90 年代。



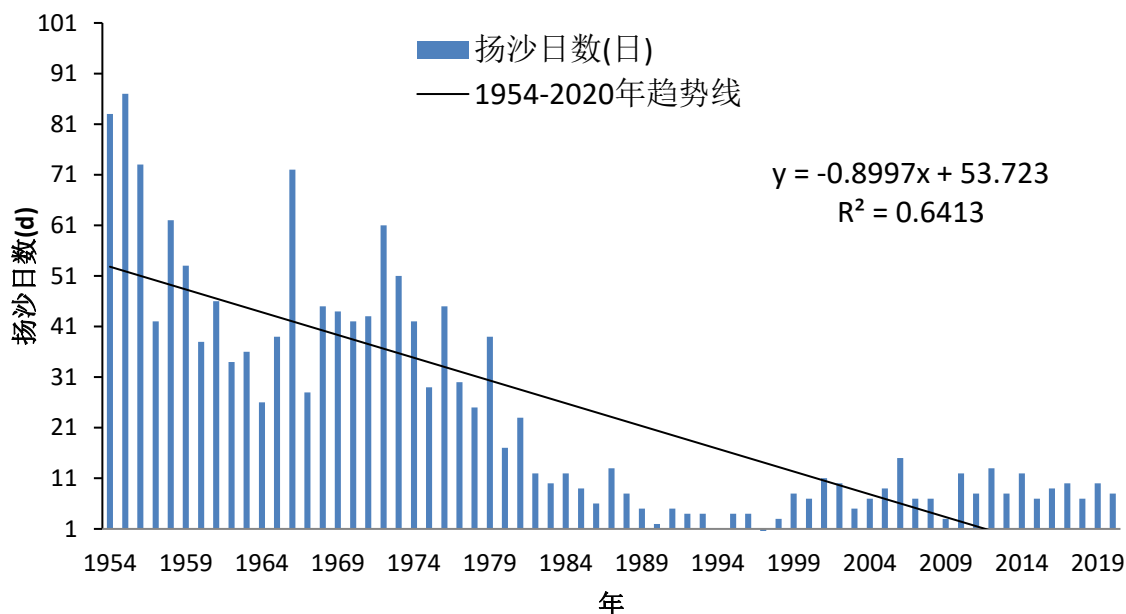


图 5.4-3 1954-2020 年杭锦后旗气象站年扬沙日数逐年变化图

## 2) 年变化

近 67 年杭锦后旗气象站扬沙日数年变化显示，扬沙天气过程全年都会发生，但主要集中在春季（3~5 月），占年总发生日数的 51.0%，其中 5 月发生最多，平均为 4.5 天，占年总日数的 19.4%。8 月扬沙日数最少，平均为 0.4 天，11~12 月和次年 1~2 月发生扬沙天气过程占年总日数的 27.5%。

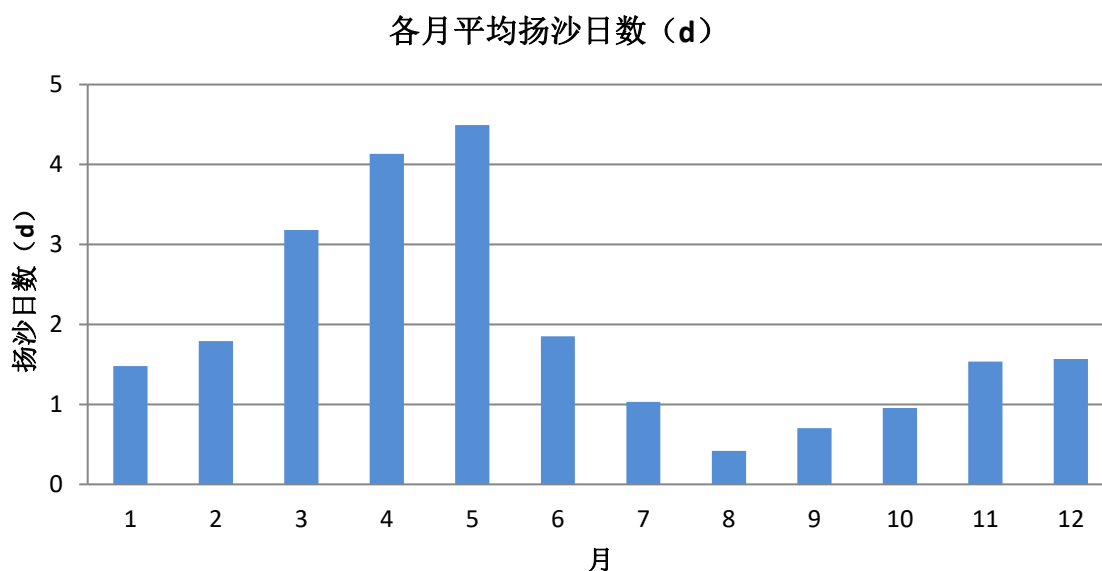


图 5.4-4 1954-2020 年杭锦后旗气象站平均扬沙日数逐月变化

### (3) 沙尘暴

沙尘暴指大风扬起地面的沙尘，使空气浑浊，水平能见度小于 1 公里的天气现象。

#### 1) 年际变化

1954-2021 年杭锦后旗气象站累年平均沙尘暴日数为 3.3 天，1954 年沙尘暴日数最多，为 22 天，67 年间有 45 年出现了沙尘暴天气，发生率达 67.2%。沙尘暴年日数变化波动较大，总体呈下降趋势，下降速率为 1.18d/10a。上世纪 80 年代后不仅年发生频率明显减少，年发生次数除了 2017 年外也在减少。

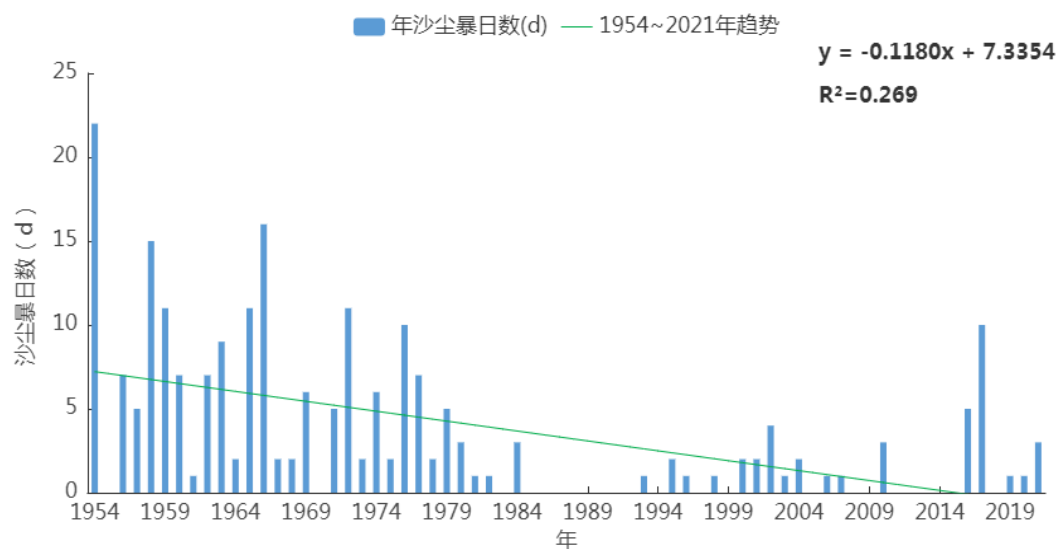


图 5.4-5 1954-2021 年杭锦后旗站年沙尘暴日数逐年变化图（单位：d）

#### 2) 年变化

近 67 年杭锦后旗沙尘暴年变化特征显示，除了 9 月份未出现过沙尘暴天气外，沙尘暴主要发生在春季（3~5 月），发生次数占年平均的 52.9%，其中 3 月的发生日数最多，占年总日数的 20.6%。冬季沙尘暴发生次数仅小于春季。其他月份沙尘暴出现较少。

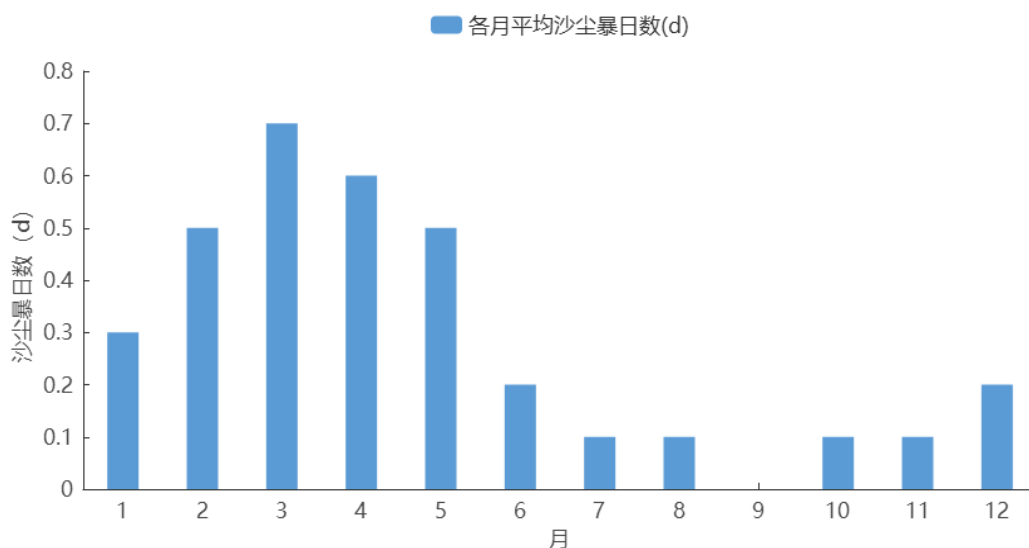


图 5.4-6 1954-2021 年杭锦后旗站平均沙尘暴日数逐月变化 (单位: d)

### 5.4.2 沙尘天气区域分布特征

表 5.4-1 杭锦后旗气象站与周边气象站沙尘天气比较

气候要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
沙尘暴日数(d)	年平均日数	3.3	7.9	10.4	11.3
	最多日数	22(1954)	53(1960)	55(1973)	25(2007)
扬沙日数(d)	年平均日数	23	24.2	31.9	29
	最多日数	87(1955)	80(1966)	101(1966)	35(1987)
浮尘日数(d)	年平均日数	6.9	6.1	5.9	8.3
	最多日数	60(1955)	85(2016)	73(2016)	90(2016)

\*乌拉特后旗统计资料年限 1974-2020 年。

杭锦后旗气象站及临近气象站沙尘天气年平均出现日数在 33.2~48.6 天之间变化,其中以乌拉特后旗最多(48.6 天),其次是磴口县(48.2 天),杭锦后旗最少(33.2 天)。沙尘暴年均日数最多的是乌拉特后旗,日数最大的是磴口县,杭锦后旗二者均最小;扬沙天气年平均日数磴口出现最多,乌拉特后旗最少,杭锦后旗和临河相差不大;浮尘年平均日数和最多日数均以乌拉特后旗最大,杭锦后旗浮尘最多日数最小。总体区域上发生沙尘灾害的风险较高,其中乌拉特后旗和磴口县沙尘天气较多,风险高于临河和杭锦后旗,因磴口县距杭后工业园较近,沙尘天气对园区造成威胁的可能性较大。

### 5.4.3 沙尘天气的影响及危害

出现沙尘天气时，特别是出现沙尘暴甚至强沙尘暴时，不仅易造成建筑物倒塌、农业减产、交通受阻，使空气质量明显下降，危害人们的健康，而且会造成人畜死亡、严重影响正常的生产生活。

沙尘天气对工业园的危害有以下几方面：

（1）对建筑物和生产设施的影响：发生大风沙尘天气时，强风可以将大树被连根拔起，房屋、仓储设施屋顶、轻质彩钢板等可被风吹飞损害；大风中裹挟的沙砾受阻堆积，会造成户外输电线路、露天设备等被压埋影响设备使用功效；飞落物或堆积物触碰电杆或使户外变压器受到强风拉扯变形等造成断电、短路，甚至引发火灾等严重危害。

（2）对生产和生活环境的影响：沙尘天气使空气质量下降，影响人们健康及生产生活的环境。弥漫的黄沙会影响农畜产品加工业的生产环境，使加工车间空气质量达不到食品生产卫生标准，污染食品或被迫停产，导致食品加工企业的原材料质量下降；摧毁园区内木材加工、农机制造企业的露天作业设施，恶化环境，被迫停产；影响生物制药等对仪器和环境卫生质量要求较高的企业，使精密仪器的使用和生产收到影响，从而降低生产效率及产品质量；沙尘天气可造成水源的污染，沙尘随风漂落后，常含有一些有害物质破坏水质，直接威胁整个园区用水安全，尤其对水质要求较高的食品加工、生物医药等生产、加工企业。

（3）对交通安全和人员健康的影响：弥漫的黄沙降低通往园区的各个道路交通的能见度，沙尘过境后常有流沙掩埋公路、铁路，使汽车、火车停运，严重影响各类原材料和能源的运输；沙尘天气发生时，空气中尘埃物包括有毒化学物质、病菌、煤尘等污染物浓度增高，可透过防护物进入到口、鼻、眼、耳中，如若得不到及时清理将造成器官损害或导致病菌侵入，引发各种疾病。

## 5.4.4 沙尘天气防御建议

### （1）规划建设期

1) 根据当地气候特点，掌握风沙运动规律和工程建设条件，对园区进行合理规划设计，园区在规划建设过程中首先要做好园区内的绿化，保护园区内的天然植被，园区周边一定范围内的植被也需要做好防护，增加地表植被覆盖，防止水土流失及沙化；食品加工、生物制药、精密仪器生产车间、厂房设计时需要提高密封标准。杭后工业园所在地区沙尘天气发生时风向多为西北风，农资机械装备制造、木业加工等企业要布局在园区的东南方向，农畜产品加工，尤其是食品加工和生物科技企业最好布局建设在西北方向，避免或减少沙尘危害。

2) 园区内需要防尘的区域，建设时要配备防尘设施，可采取通风防尘、湿式作业、喷雾洒水等方式做好防尘工作，以保证作业安全和食品加工、精密仪器生产和使用中不被污染。

### （2）运营期

1) 实时关注天气预报，特别是在春季要及时获得沙尘天气的预报或警报信息，及时对各类露天设备进行维护和遮盖，关闭各工作场所的门窗，做好密封防尘工作，一旦沙尘进入室内，影响工作环境，食品加工和生物科技企业要及时停产；同时对沙尘引发的低能见度天气进行交通管制。

2) 出现沙尘天气时，出门要做好防护措施，如：佩戴口罩、防风眼镜、帽子与丝巾等，避免身体部位暴露在沙尘之中。减少出门，远离临时或简易建筑，吹落的电线等，避免发生意外；沙尘天气过后，检查水源，及时清理净化；各类房间、工作室也要及时清理灰尘，以免室内尘土飞扬，吸入呼吸道。

3) 加强园区生态环境的保护，减轻人为因素对环境的破坏，如：污水排放，植被破坏等，保护和恢复林草植被，防止土地进一步沙化；加强沙尘暴的发生、危害与人类活动的关系的科普宣传，使园区工作人员认识到环境破坏的危害，

自觉的保护生存环境。

## 5.5 高温

根据《内蒙古地区极端高温、低温和降雨标准》(DB15/T 933—2015), 日最高气温大于或等于 35℃ 定义为“高温日”。

### 5.5.1 高温灾害特征分析

在全球气候变暖的环境下, 高温热浪已经成为气候变暖导致的主要极端气候事件之一。近年来, 伴随快速发展的城市化进程引起的更加显著的热岛效应, 使得全球范围内的酷热天气日益频繁, 高温热浪事件层出不穷, 正逐渐成为一种严重危害广大人民身体健康的气象灾害。

#### (1) 日最高气温≥35℃日数

1954-2021 年杭锦后旗气象站年高温日数多年平均为 1.7 天, 且年际差异较大, 1997 年、1999 年高温日数最多, 为 7 天, 有 26 年未出现 35℃ 以上的高温天气。高温日数呈明显增加趋势。

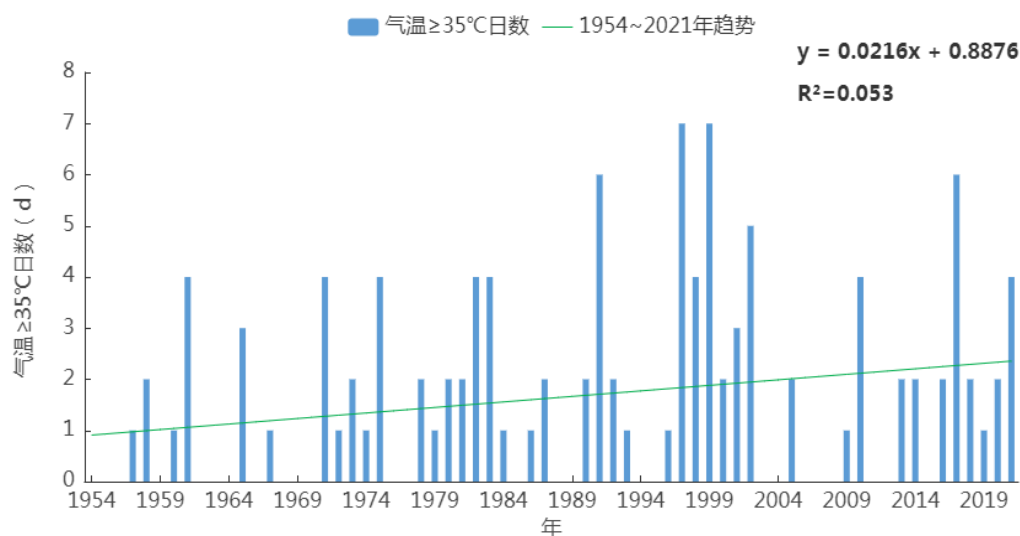


图 5.5-1 1954-2021 年杭锦后旗站气温≥35℃日数逐年变化图 (单位: d)

年变化特征表现为: 高温天气发生在 5~8 月, 其中 7 月最多, 平均为 1.0

天，占全年平均高温日数的 58.8%，6 月和 8 月，分别为 0.4 天和 0.2 天。

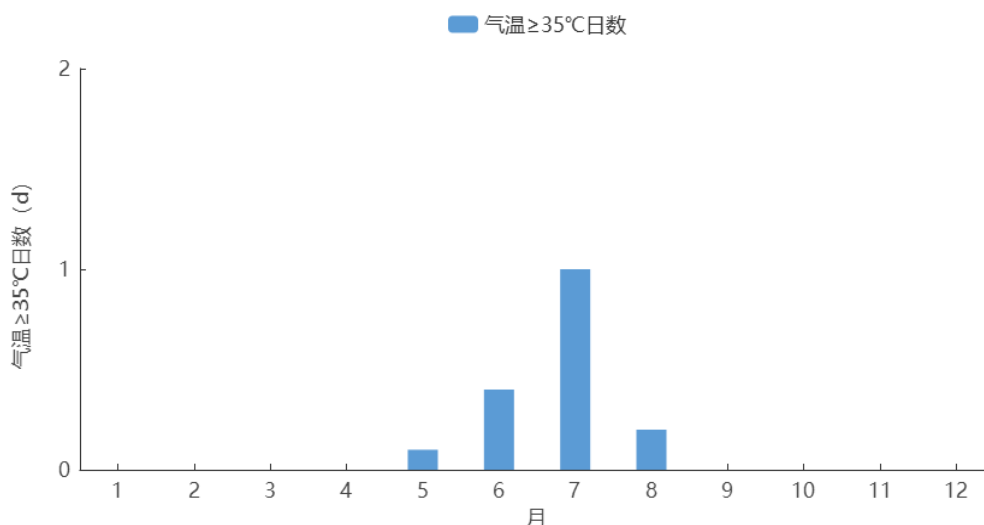


图 5.5-2 1954-2021 年杭锦后旗站气温  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  日数逐月变化 (单位: d)

## (2) 日最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 日数

1954-2021 年杭锦后旗气象站  $\geq 37^{\circ}\text{C}$  的年高温日数多年平均为 0.18 天，有 9 年出现过 12 次，其中 1999 年  $\geq 37^{\circ}\text{C}$  高温日数最多，为 3 天，年出现概率 13.2%，日数出现概率 13.6%。最高温度出现在 1999 年 7 月 29 日，高达  $38.4^{\circ}\text{C}$ 。

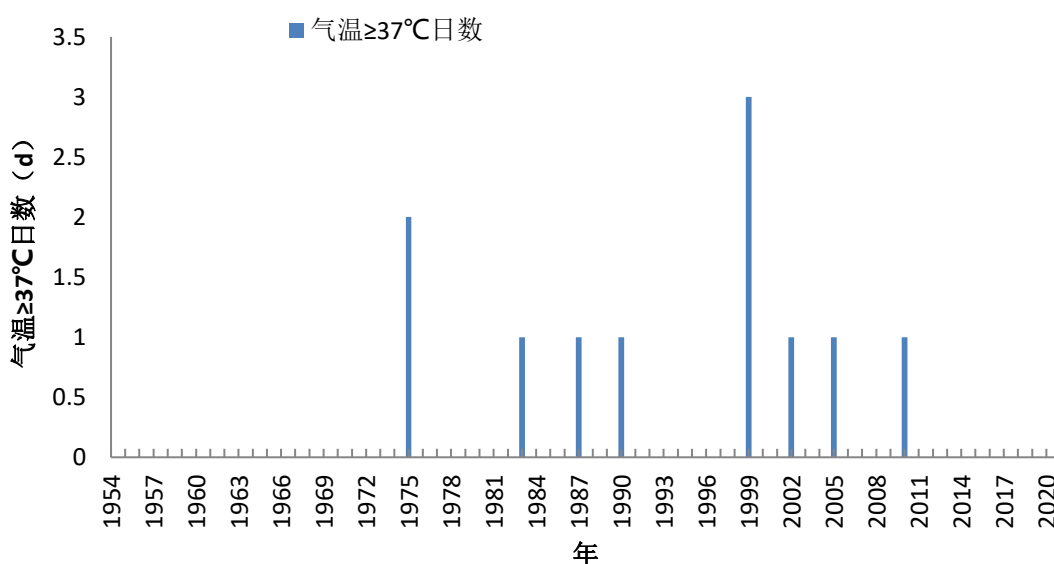


图 5.5-3 1954-2021 年杭锦后旗站气温  $\geq 37^{\circ}\text{C}$  日数逐月变化 (单位: d)

年变化特征表现为:  $\geq 37^{\circ}\text{C}$  的高温天气集中发生在 6~8 月，其中 7 月最多，

为 0.58 天，占全年平均出现日数的 58.3%，6 月和 8 月，分别为 0.17 天和 0.25 天。

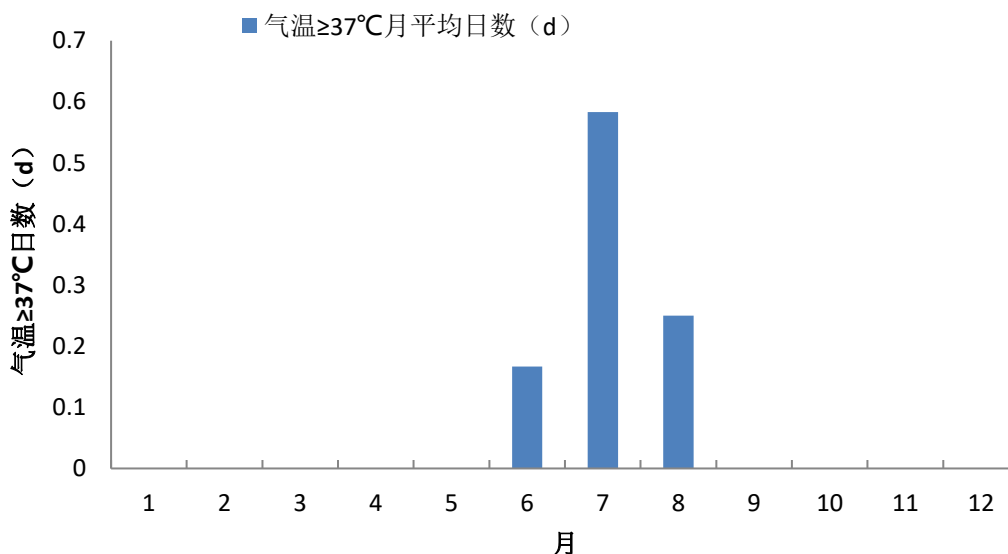


图 5.5-4 1954-2021 年杭锦后旗站气温  $\geq 37^{\circ}\text{C}$  日数逐月变化 (单位: d)

### 5.5.2 高温灾害区域分布特征

杭后工业园周边 4 个气象站中磴口县高温日数最多，年均为 5.3 天，最多为 18 天，出现在 2005 年， $\geq 37^{\circ}\text{C}$  的高温日数年均为 0.84 天，最多为 6 天，出现在 2021 年， $\geq 37^{\circ}\text{C}$  高温日数年占总年数的 39.7%，极端最高温度达到  $40.5^{\circ}\text{C}$  的高温日数，出现在 2021 年 7 月 9 日，次高值为  $40.1^{\circ}\text{C}$ （2005 年 6 月 22 日）；乌拉特后旗气象站高温日数最少，年均仅为 0.8 天， $\geq 37^{\circ}\text{C}$  的高温日数年出现概率 8%，极端最高温度  $38.0^{\circ}\text{C}$ ；杭锦后旗高温天气多于乌拉特后旗， $\geq 37^{\circ}\text{C}$  的高温日数年平均 0.18 天，最多日数 3 天，出现概率 13.2%，极端最高温度  $38.4^{\circ}\text{C}$ ，出现在 1999 年 7 月 29 日；临河高温日数发生概率居第二位，极端最高温度  $39.4^{\circ}\text{C}$  略低于磴口  $40.5^{\circ}\text{C}$ 。高于  $39^{\circ}\text{C}$  的高温天气磴口出现 5 次，临河出现 3 次，杭锦后旗和乌拉特后旗未出现。通过上述分析可以看出，高温灾害发生风险由北向南逐渐增大，风险排序是：磴口县 > 临河区 > 杭锦后旗 > 乌拉特后旗，杭后工业园处于风险相对较低的区域。



表 5.5-1 杭锦后旗气象站与周边台站高温天气对比

要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
≥35℃ 高温 日数(d)	年平均日数	1.7	3.6	5.3	0.8
	最多日数	7	13	18	7
	最多日数出现 年	1997、1999	2010	2005	2010、 2016、2017
≥37℃ 高温 日数(d)	平均日数	0.18	0.46	0.84	0.08
	最多日数	3（1999）	4(1999)	6(2021)	1(4 年)
	年出现概率%	13.2	27.9	39.7	8.0
极端最高温度/℃		38.4	39.4	40.5	38.0
出现日期		1999.7.29	1999.7.29	2021.7.9	2009.7.25

### 5.5.3 高温灾害的影响及危害

杭后工业园目前运营的企业项目主要是农畜产品加工和农资机械装备制造，高温天气对不同类型企业项目影响不同。

在园区规划建设阶段，由于园区年高温天气较多，年际波动大强度大，且呈增加趋势，近年曾出现过 38.4℃ 的极端高温天气（1999 年 7 月 29 日），对园区内各类工程建设项目的施工进度有一定影响。高温天气会引起园区内施工人员身体不适，工作状态不佳，影响施工进度和工程质量。

在园区运维阶段，高温天气会导致园区内农资机械装备制造企业的生产设备、电气设备失灵，对设备的正常运行产生巨大危害；高温炎热天气会使火灾事故发生的可能性增加，包括电气火灾、泄漏火灾、仓库货物自燃火灾等；高温炎热天气会使农畜产品加工区生产车间、仓库车间内温度过高，增加农畜产品出现发霉、腐烂等情况的可能性，造成严重损失；高温天气会使人体感到不适，工作效率降低，易使工作人员中暑、患肠道疾病和心脑血管等病症的发病率增多，或增加室内降温成本。

### 5.5.4 高温灾害防御建议

#### (1) 规划建设期

在园区规划阶段，参考气象部门对该区域极端高温天气分析结果，按照《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）中对温度作用的要求，将极端高温因素纳入园区设计要点之一，从结构设计到选材、从项目施工到验收等环节，均需进行针对性的严格的监督和管理的工作，确保相关设计符合国家现行有关标准要求。

在园区建设阶段，工程项目施工应充分考虑高温天气影响，在电气设备、货运仓库、锅炉机房等易受高温影响场所安装降温通风设备。按照《混凝土结构工程施工规范》（GB50666-2011）规定，在日平均气温  $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$  时，合理安排混凝土施工期，当日平均气温达到  $30^{\circ}\text{C}$  及以上，应按照高温施工要求采取措施。根据《露天建筑施工现场不利气象条件与安全防范》（QX/T 154-2012）中的规定，关注气象部门高温天气预报预警，在高温天气期间合理安排技术人员作息时间，尽量避开中午高温时间作业，工作场所要准备必要的饮料和防暑药品。户外工作中工作人员若感到不适，应迅速结束劳动，转移到阴凉处休息。

#### (2) 运营期

在园区运维阶段，企业要定期组织检查，加强对易燃易爆、电气设备操作间等重点场所的巡查，尤其是室外大型高危装置和管网的降温措施，及时消除隐患。夏季要密切关注气象部门发布的高温天气预报预警，及时采取高温天气应对措施。出现高温天气时，根据工作人员的环境温度采取必要的防暑降温措施，当日最高气温  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ，适当调整作息时间，避开高温时段工作。生产车间、密闭仓库要保持通风降温设备正常状态，生产原料和产品货物要分类贮存，避免常温保鲜、冷链产品造成损失。严格遵守与各行业相关的电力安装规定及使用规范，在夏季用电高峰时期做好电器设备的合理调度及维护，加大电器及电线线路的安全检查工作，安装备用电源，并做好相关防护措施。

## 5.6 雹灾

冰雹灾害是由强对流天气系统引起的一种剧烈的气象灾害，它出现的范围虽然较小，时间也比较短促，但来势猛、强度大，并常常伴随着狂风、强降水、剧烈的降温和强雷电现象等阵发性灾害性天气过程。

### 5.6.1 冰雹日数

#### (1) 年际变化

杭锦后旗气象站建站以来(1954-2021 年)发生冰雹的年平均日数为 0.7 天，最多为 3 天，其中有 28 年发生了冰雹天气，发生率为 41.2%，冰雹年平均日数呈现明显下降趋势，发生频率主要集中在 1986 年之前，之后的 30 多年间仅有 6 年出现冰雹天气，平均日数相对较低。

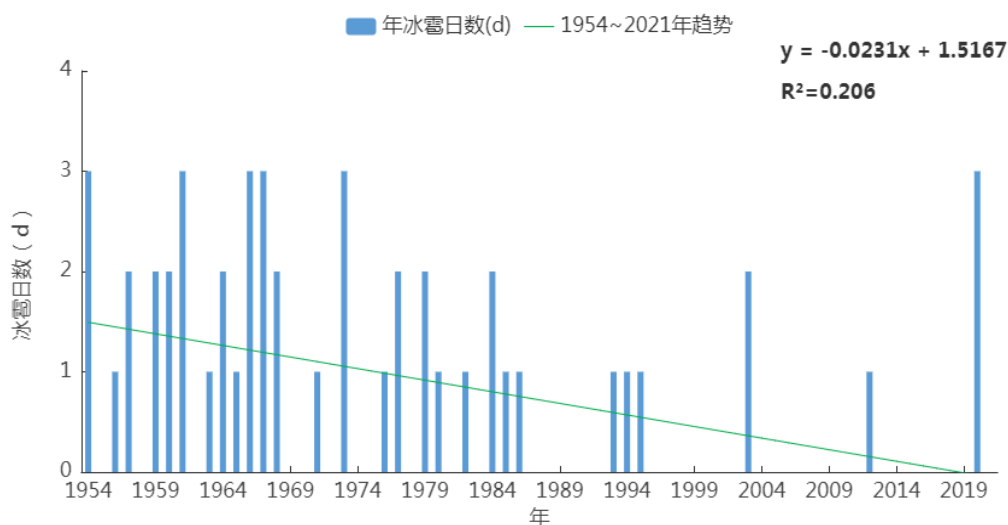


图 5.6-1 1954-2021 年杭锦后旗站年冰雹日数逐年变化图（单位：d）

#### (2) 冰雹日数年变化

根据杭锦后旗气象站 68 年（1954-2021 年）冰雹日数资料统计，冰雹天气主要发生在 4~9 月，尤以 9 月最为集中，累年平均日数为 0.2 天，其余各月相差不大，累年平均日数为 0.1 天。

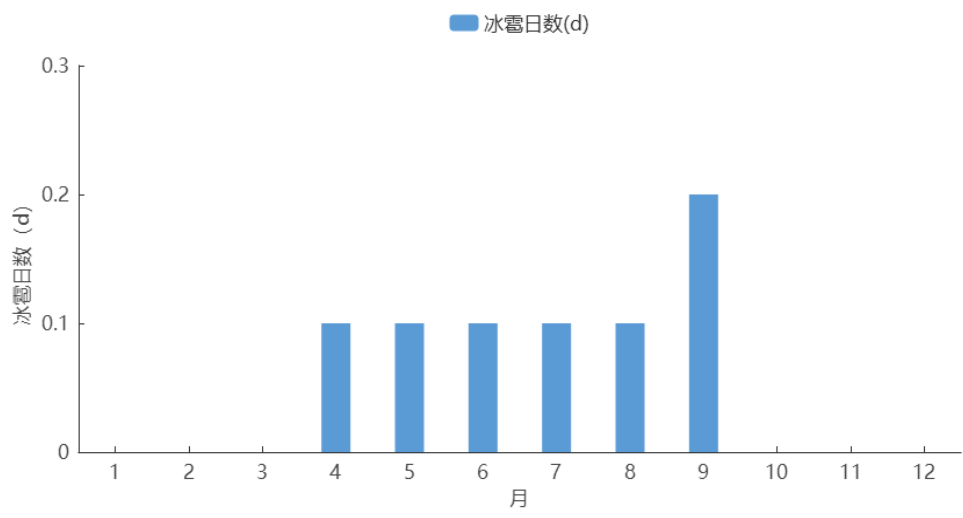


图 5.6-2 1954-2021 年杭锦后旗站平均冰雹日数逐月变化图（单位：d）

5.6.2 冰雹发生的区域分布特征

从表 5.6-1 可以看出，冰雹年发生频率磴口县最小，杭锦后旗次之，乌拉特后旗最高，发生频率最大差异 17.4%；冰雹年最多日数出现磴口县，为 5 天（1965 年），周边三个气象站均大于杭锦后旗。总体上距工业园较近的杭锦后旗、临河、磴口冰雹发生风险小于乌拉特后旗，风险较低。

表 5.6-1 杭锦后旗气象站与周边气象站冰雹天气对比

要素	杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
年平均日数(d)	0.7	0.7	0.6	0.9
最多日数(d)	3（6 年）	4（1987）	5（1965）	4(1975、1985)
发生频率(%)	41.2	46.9	35.8	53.2

5.6.3 冰雹灾害的危害及影响

每年的 4~9 月是杭锦后旗的降雹盛期，也是发生冰雹灾害次数较多的时期，常给农林、通讯、建筑等行业带来不利影响，雹灾严重时，还会对人民生命财产造成巨大损失。冰雹灾害主要影响园区内的建筑物、物资储存和运输、

人员出行及安全等。

(1) 对园区内农资机械装备制造业的影响：影响露天料场的正常生产加工，及原材料的储存和运输，当原材料储存库房密封性不好或者抵抗击打能力较弱时，可能会造成有毒气体或废料泄露，污染环境，甚至造成人员伤害。

(2) 对园区内食品加工业和生物科技的影响：一方面影响农畜产品加工原材料的供给，冰雹天气出现时，往往伴随大风，来势猛、强度大，常在地面造成积水，此时当地农作物多处于生长发育期和收获阶段，极易造成作物机械损伤、折断倒伏和果实的直接伤害，特别是影响加工用番茄和脱水蔬菜等的产量和品质，使商品率下降，原材料供给不足和品质差，进而影响产品品质，降低商品价格，同时农田积水加上低温减缓作物生长，造成减产，严重影响食品加工业。另一方面影响企业厂房设施，仓储库房，严重雹灾可毁坏建筑物，尤其是临时存放加工原料的简易库房等。

(3) 对园区内各企业机械设备的影响：冰雹发生时常伴有雷电出现，可对室外作业机器造成干扰，尤其是发电系统和电气设备，易造成雷击、短路等现象，严重降低生产效率。

(4) 对园区内环境设施、植被的影响：严重冰雹容易破坏建筑外观，损坏公共服务或交通设施，破坏室外美化绿植，影响人员出行等。

#### 5.6.4 冰雹灾害的防御措施

为避免园区因冰雹灾害产生不必要损失，做好应对冰雹灾害对园区内各项产业、建筑以及工程设施的防御措施尤为重要，园区建设发展的不同阶段防御冰雹灾害的措施有所差异。

## （1）规划建设期

1) 考察调研工业园是否处于冰雹多发区或冰雹带上，周边是否有防雷点或防雷设施，结合园区建筑结构和产业特点，确定是否有必要建立防雷点。评估农产品加工企业原材料受冰雹危害的风险，合理规划企业规模，制订规避风险预案。根据园区雹灾发生风险和不同建筑物的材料、结构特点，选择不同抵抗重物打击能力的建筑材料和适宜的结构，减小冰雹灾害风险。

2) 制订应对冰雹灾害对园区内建筑以及工程设施的防御措施，做好基础设施建设，实施基础设施建设从“有效缓解”转向“基本适应”；制订冰雹灾害应急预案，开展应急队伍建设，做好应急人员、物资和设备管理，及演练，确保事故灾害发生后，能够第一时间启动预案，开展抢险救援工作，最大限度减少财产损失。

3) 园区建设中要考虑区域冰雹发生特点，注重厂房屋顶、仓储建筑材料、结构的选择。建议杭后工业园屋顶以混凝土结构最佳，钢结构厂房需进行载荷计算，同时考虑施工机具重量、维护设备重量、运维人员体重及极大值冰雹击打的载荷，载荷不够的屋顶需进行加固，并要具备抗冰雹冲击力。

4) 建立户外作业突发事件应急避灾设施，发生突发性灾害性天气时，为园区内从事户外作业人员提供避灾场所或者防护护具，并为可能受冰雹灾害影响的室外作业设备和作业人员购买保险。

## （2）运营期

1) 建立多部门合作的气象灾害灾情收集共享系统，做好冰雹天气的防御工作。针对极端气候、恶劣天气和突发险情，及时启动冰雹等强对流天气应急预案，增强安全意识，降低因冰雹灾害造成的财产损失和人员伤亡。

2) 关注气象部门发布的冰雹预报预警相关信息，及时对暴露在空气中的易

损坏外部设施和线路进行遮挡、保护，并叫停其他作业设施，或者提前在易损坏或者暴露在室外的机器安装保护措施装置，避免因冰雹灾害造成管道或者线路中断或仪器故障，从而造成停产停业，减小损失。

3) 根据天气预报，及时收藏、保护农畜产品加工原料，清理库房周边杂物，疏通排水渠，防止积水。定期开展突发灾害性天气应急演练，锻炼园区内各部门团结协作、应对突发事件的能力，尽最大可能降低因冰雹灾害性天气造成的园区人员生命财产损失。

4) 在降雹来临前，告知产源地农户对容易受到冰雹损害的农作物搭建减灾棚或者其他防护设施，减少因冰雹击打造成的农作物品质降低，进而引发的原材料价格上涨。冰雹发生后，积极与防雹点或气象管理部门联系，了解冰雹发生和防雹专业情况，及损失情况，协助抗灾，并及时调整生产计划。

## 5.7 雪灾

雪是大气中的水蒸汽直接凝华或水滴直接凝固而成。降雪是我国北方冬半年常见的天气现象，根据国家标准《降水量等级》（GB/T 28592—2012）的规定，降雪分为微量降雪（零星小雪）、小雪、中雪、大雪、暴雪、大暴雪、特大暴雪共7个等级。降雪达到一定量级并伴有零度以下的低温时，常形成积雪。据地面气象观测规范规定，当雪（包括霰、米雪、冰粒）覆盖地面达到气象站四周能见面积一半以上称为积雪。一般说来，冬季降雪和积雪在一定范围内有利于农业生产和改善空气环境，但是对交通、农业和仓储设施等也存在一定的影响和危害。

积雪深度和降雪量是两个完全不同的概念。积雪深度是指从积雪面到地面的垂直深度，以 cm 为单位，是一个可以随着积雪的加深不断累积变化的数值。

由于每次降雪的含水量和温度条件不同，积雪深度也不相同。降雪量与积雪深度具有一定的对应关系，我国常年冬季积雪深度变化值和相应降雪量的比值平均为 0.7cm/mm，即平均 1mm 的降雪量对应积雪深度增加 0.7cm。一般而言，在北方地区 1mm 降雪可形成的积雪深度有 0.8~1cm，在南方地区积雪深度有 0.6~0.8cm。

### 5.7.1 降雪的气候特征

1954-2021 年，杭锦后旗累年平均降雪日数为 9.4 天，年际变化在 1 天(2013 年)~22 天（1964 年）之间。降雪日数以 0.61d/10a 的速率减少。该地除 5-9 月外，其余各月均可能出现降雪，但降雪天气主要出现在 11 月至次年 3 月，1 月降雪天气出现最多（占比为 22.7%），2 月略少。

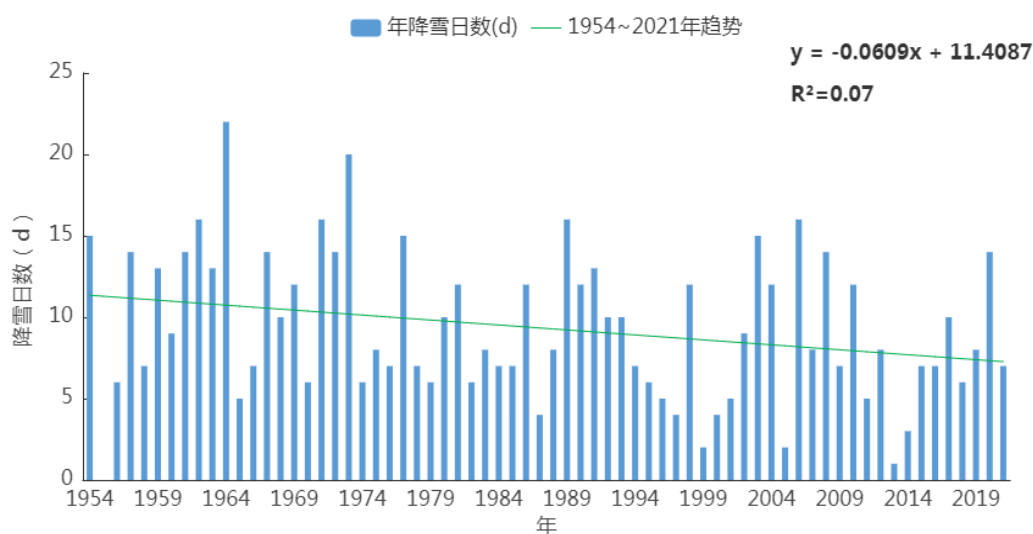


图 5.7-1 1954-2021 年杭锦后旗站年降雪日数逐年变化图（单位：d）



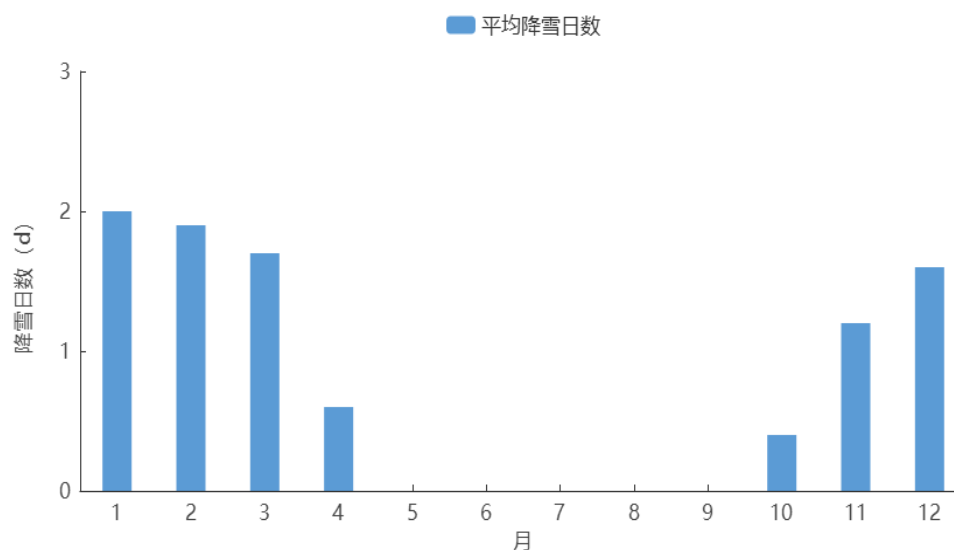


图 5.7-2 1954-2021 年杭锦后旗站平均降雪日数逐月变化(单位: d)

## 5.7.2 积雪的气候特征

### (1) 积雪日数

1954-2020 杭锦后旗气象站年平均积雪日数为 11.2 天, 历年积雪日数在 0 天 (1958 年、1976 年、1999 年、2013 年) ~59 天 (1968 年) 之间变化, 年际间波动较大, 上世纪 60 年代和本世纪初积雪日数出现高发期, 整体上积雪日数呈减少的趋势。

积雪的发生一般在 11 月至次年 4 月, 主要集中在 12 月至次年 2 月, 积雪天气最多出现在 1 月 (年占比 36.4%), 5-10 月无积雪现象。

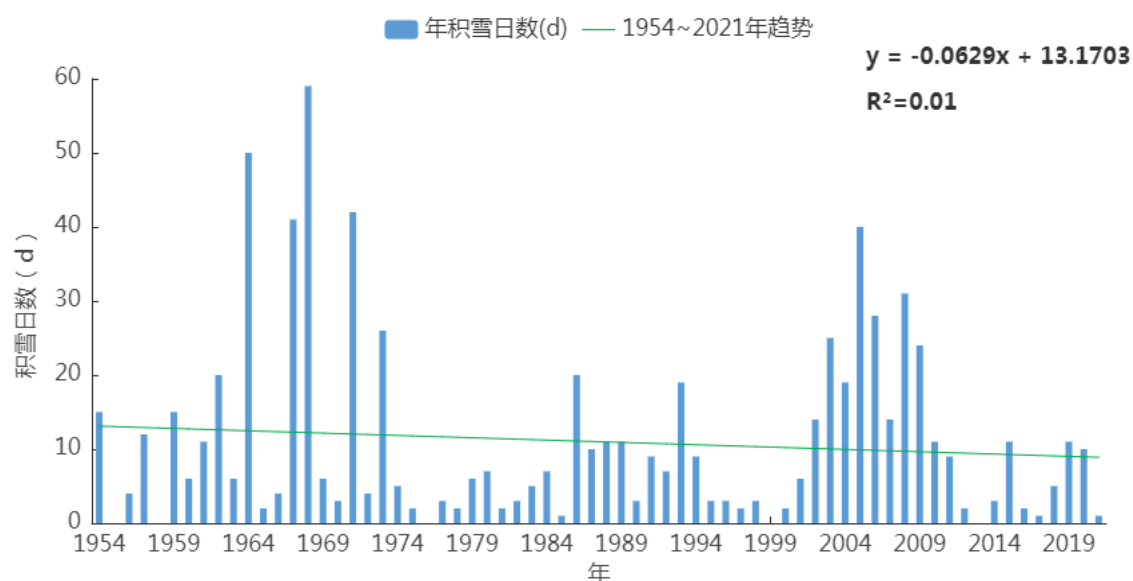


图 5.7-3 1954-2021 年杭锦后旗站年积雪日数逐年变化图（单位：d）

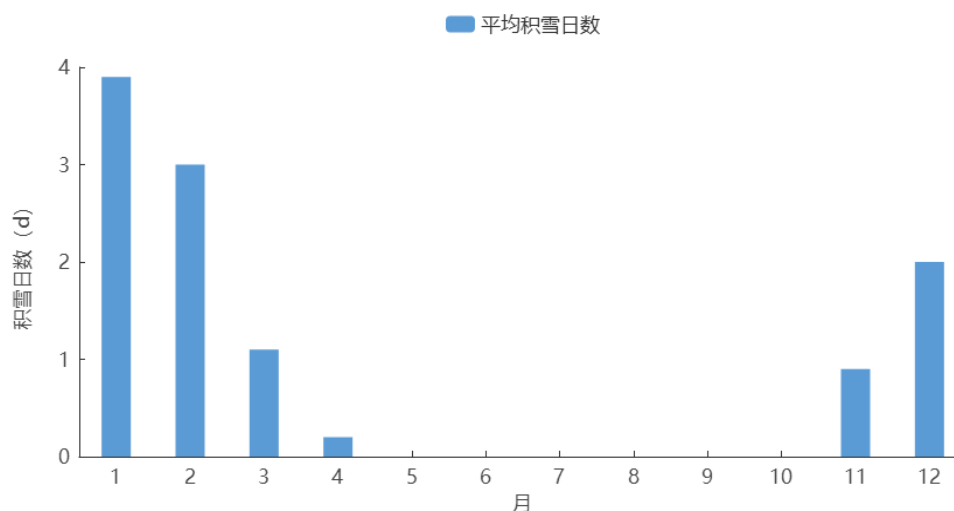


图 5.7-4 1954-2021 年杭锦后旗站平均积雪日数逐月变化(单位：d)

积雪日数是随降雪日数变化而变化的，降雪日数和积雪日数总体表现出同步缓慢下降趋势，积雪日数波动较降雪日数波动明显，且趋势变化速率略快于降雪日数。说明在全球变暖的趋势下，杭锦后旗气象站不仅冬季降水减少的较为明显，而且温度升高，使降雪易于融化，导致积雪时间缩短。降雪和积雪主要出现在 11 月～次年 3 月，分别占年降雪日数和积雪日数的 90.9%和 98.2%。

## （2）最大积雪深度年际变化

杭锦后旗气象站建站至今（1954-2020 年），年最大积雪深度呈现周期波

动变化特点，多雪年和少雪年的最大积雪深度差异极大，反映出年际间降雪量的不稳定性。最大积雪深度为 17cm，出现在 1967 年 11 月 28 日。最大积雪深度呈减少趋势，减少速率为 0.28cm/10a。

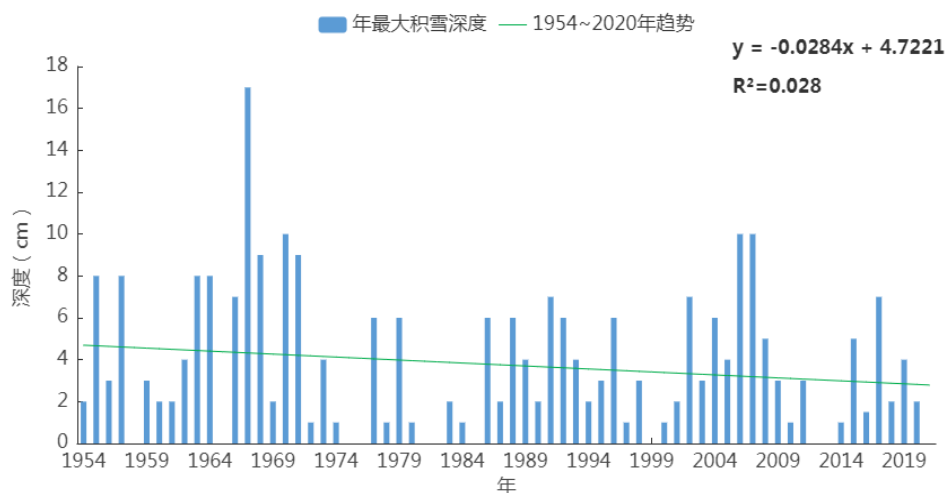


图 5.7-5 1954-2021 年杭锦后旗站最大积雪深度年际变化（单位：cm）

### 5.7.3 雪灾区域分布特征

从表 5.7-1 中可以看出，乌拉特后旗气象站除了最多积雪日数外，降雪日数、平均积雪日数均明显高于其他气象站，而最大积雪深度最小；其余 3 个站的平均降雪日数、最多降雪日数差异不大；最多积雪日数和最大积雪深度杭锦后旗气象站最大，磴口气象站最小，二者相差 19 天和 6cm。

综合考虑降雪量、积雪日数以及积雪深度，杭后工业园所在区域的降雪和积雪日数少，最大积雪深度多在 10cm 以下，周边的乌拉特后旗气象站虽然降雪天气多，积雪时间长，但积雪深度浅，雪灾风险也比较低。但随着气候变暖，极端气候事件增加，短时大雪和暴风雪天气仍会发生，雪灾风险依然存在。

表 5.7-1 杭锦后旗气象站与周边气象站降雪天气要素对比

站名	平均降雪日 数(d)	最多降雪日 数(d)	平均积雪日 数(d)	最多积雪日 数(d)	最大积雪深 度(cm)
杭锦后旗	9.4	22	11.2	59	18
临河	10	21	13.8	53	18
磴口	9.7	20	9.1	40	12
乌拉特后旗	30.1	53	25.5	56	8

#### 5.7.4 降雪和积雪的影响及危害

降雪除了强度大直接影响园区生产生活外，还会造成积雪，当大雪和积雪严重时容易造成园区内仓储设施、简易建筑等建筑倒塌，影响生产；同时冰雪封盖路面，车轮易打滑、制动以及爬坡困难，风雪淹没路堑、阻塞道路，不利于运输和交通安全；影响园区内生产物质运输和人员出行。另一方面降雪可能造成电线结冰，影响园区电力输送，造成停电停产。

如 1967 年 11 月 21~28 日，降雪 21.9 毫米，积雪延续到 1968 年 2 月 28 日，积雪期长达 99 天，12 月平均气温-21℃，比历年平均气温低 11.5℃，全旗 80%以上的果树冻死，共计 216.1 公顷。

#### 5.7.5 雪灾防御建议

(1) 各企业在修建厂房设施时必须考虑园区所处地区的降雪特点，参考气象部门推荐的最大积雪深度和雪压值，选择建筑物的承压能力和标准，本园区推荐的 50 年一遇的最大积雪深度 17cm，雪压 0.22kN/m<sup>2</sup>。从源头上防范雪灾对园区设施造成的可能危害。

(2) 制定雪灾应急预案，加强应急人员培训，提高应对雪灾的防御能力。密切关注气象部门的降雪预报，特别是暴雪、雪灾的预警信息，及时启动应急

预案。

(3) 根据天气预报提前加固简易工棚、彩钢房屋、树木、公交站台、加油站等易被积雪造成威胁的设施，并在雪后及时除雪；关注并及时清除道路积雪，保障生产材料等物质道供应和园区交通安全。

(4) 加强安全风险管控和隐患排查整治。对容易受降雪、积雪影响的岗位和设施实时进行安全防护和巡查。合理安排工作时间和任务做好保暖、防风、防雪等人员防护；人员出行时要远离广告牌、临时搭建物和老树，路过桥下、屋檐等处时，要小心观察或绕道通过，避免砸伤。

## 5.8 低温冰冻

根据《内蒙古地区极端高温、低温和降雨标准》(DB15/T 933—2015)，日最低气温小于或等于 $-25^{\circ}\text{C}$ 定义为“低温日”。

### 5.8.1 低温灾害特征分析

#### (1) 低温日

1954-2021 年杭锦后旗气象站低温日数多年平均为 2.0 天，年际变化在 0 天~33 天之间，年际间差异较大，低温日数主要出现在上世纪 60 年代，其中 1968 年出现 33 天，是低温日数最多的年份，有 47 年未出现低于 $-25^{\circ}\text{C}$ 的低温天气，多集中在上世纪 80-90 年代，整体上低温日数变化呈明显的减少趋势。

低温天气主要发生在 12~2 月，其中 1 月最多，为 0.8 天，占总低温日数的 42%以上。12 月和 2 月，分别为 0.5 天、0.6 天。

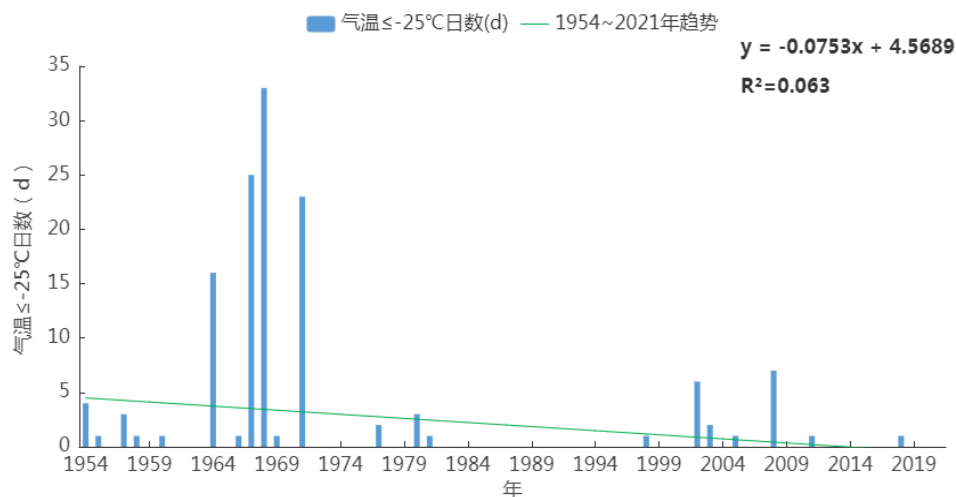


图 5.8-1 1954-2021 年杭锦后旗站气温 $\leq -25^{\circ}\text{C}$ 日数逐年变化图（单位：d）

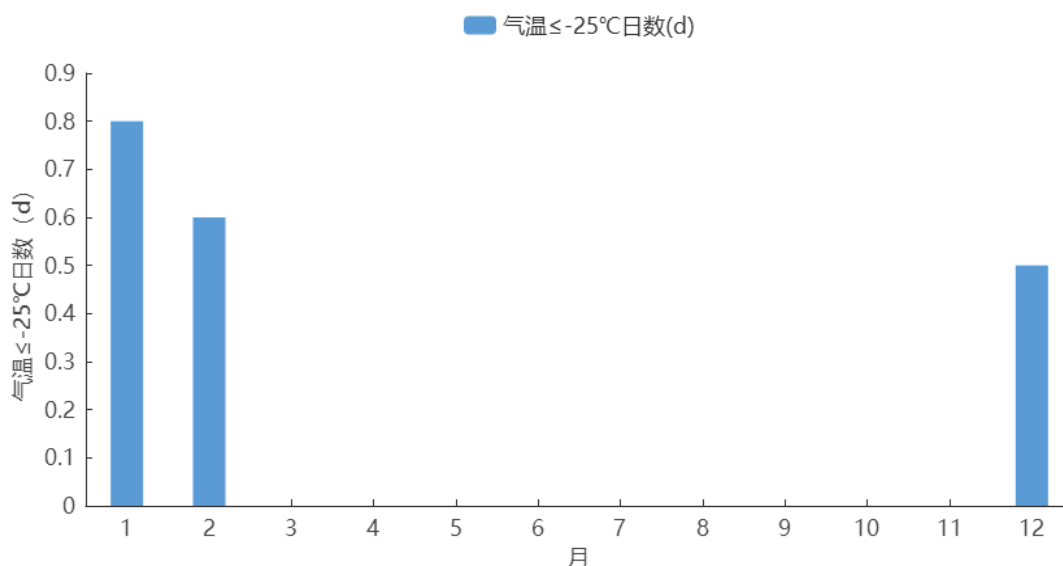


图 5.8-2 1954-2021 年杭锦后旗站气温 $\leq -25^{\circ}\text{C}$ 日数逐月变化图（单位：d）

## （2）结冰日

杭锦后旗气象站（1980-2020 年）结冰年平均日数为 159.1 天，年际变化在 79 天（2020 年）~180 天（1980 年）之间，年日数变化呈明显减少趋势；结冰一般发生在 9 月至次年 5 月，6-8 月无结冰现象。其中 1 月平均结冰日数最多，为 30.9 天。

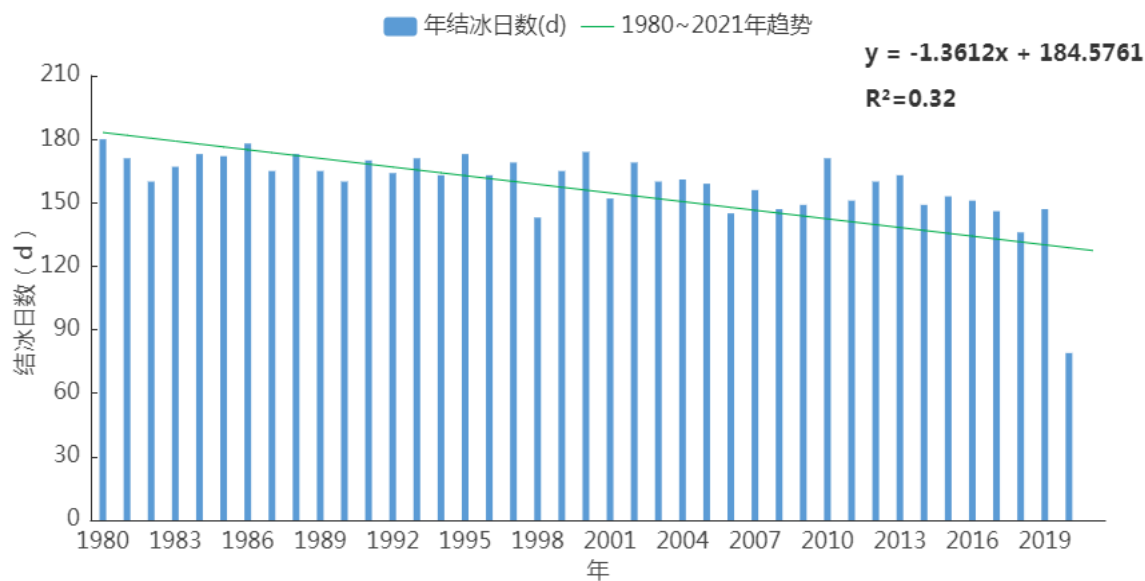


图 5.8-3 1980-2020 年杭锦后旗站年结冰日数逐年变化图（单位：d）

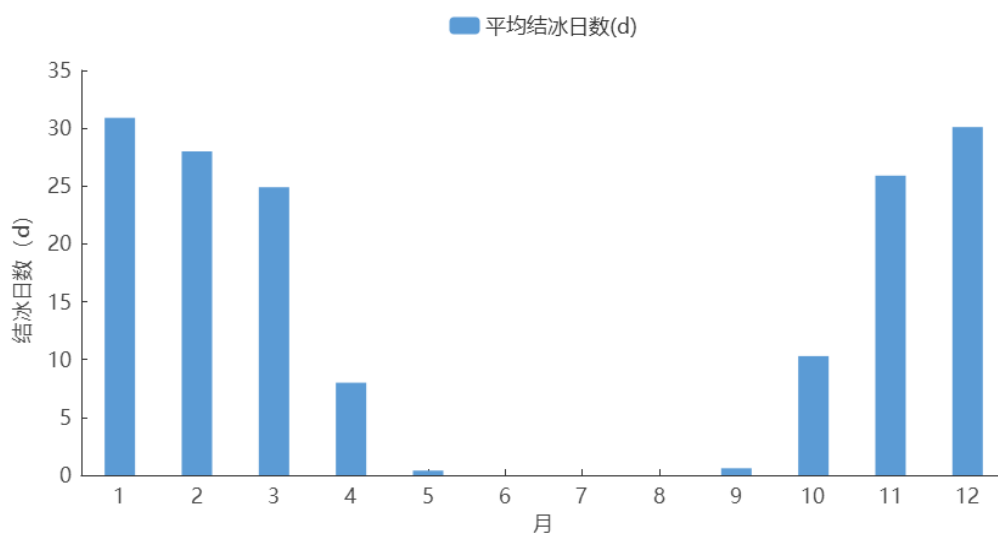


图 5.8-4 1980-2020 年杭锦后旗站平均结冰日数逐月变化（单位：d）

## 5.8.2 低温灾害区域分布特征

园区周边低温日数最多的站点是乌拉特后旗，年平均日数为 4.5 天，发生概率 74.5%，其次是杭锦后旗，年平均日数为 2.0 天，发生概率 29.9%，但年最多日数居于首位，达 33 天，磴口县和临河区气象站各要素均低于杭锦后旗气象站。各站结冰日数分布特征与低温日数相似，乌拉特后旗年平均结冰日和最

多结冰日最多，杭锦后旗次之，磴口县最少。

表 5.8-1 杭锦后旗气象站与周边气象站低温冰冻天气对比

气象要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
低温日(d)	年平均日数	2.0	1.8	1.0	4.5
	年最多日数	33(1968)	25(1968)	18(1971)	19(1977)
	发生概率(%)	29.9	28.1	26.9	74.5
结冰日(d)	年平均日数	159.1	155.2	149.3	171.2
	年最多日数	180(1980)	176(2010)	178(1986)	197(1986)

低温日数和结冰日数最多的年份除了临河区气象站结冰日数出现在 2010 年以外，其它各站均出现在上世纪 60-80 年代，反映出气候变暖低温冰冻风险减小的趋势。总体上，低温灾害发生风险自北向南逐渐降低，杭后工业园就本区域而言处于中风险地区。

### 5.8.3 低温灾害的影响及危害

在园区规划建设阶段，当日平均气温 $<5^{\circ}\text{C}$ 时即进入冬期施工，冬季低温往往与大风、寒潮、降雪天气同时出现，影响施工进度、施工质量、施工安全，给园区规划建设带来不利影响。低温天气会造成人体感温度下降，容易让从业人员患呼吸道疾病，或者出现冻伤的情况。低温天气会造成潮湿地面或户外工作地面积雪结冰，造成作业人员滑到摔伤。内蒙古杭后工业园低温日数多年平均虽然为 2.0 天，但结冰日数较多，年平均日数达 155.3 天，且年际间差异较大，若遇到低温日数多的年份对工业园建设项目的施工进度仍有一定影响。

在园区运维阶段，低温天气导致农资机械装备制造区的生产设备、金属构件以及输水管道产生变形、破裂，容易出现泄漏、爆炸、火灾、中毒和设备生产事故。冬季处于冷高压状态，厂房车间相对密闭，有毒有害气体大量堆积，



如果通气不良，易造成人员中毒和火灾爆炸事故。低温天气容易导致农畜产品加工区生产车间、库房车间的货物冻坏、变质，造成严重损失。低温天气会增加园区内的供暖和通风能耗增加，电气设备线路超负荷运行，出现局部过热或漏电打火造成火灾，需加强防范。冬季低温降雪天气，可能造成园区工作人员出现冻伤，厂房车间湿滑地面结冰、园区内道路路面积雪结冰，造成工作人员滑倒摔伤。

#### 5.8.4 低温灾害的防御建议

##### （1）规划建设期

在园区规划建设阶段，依据《混凝土结构工程施工规范》（GB50666-2011）规定，当室外气温低于  $5^{\circ}\text{C}$ ，应采取冬期施工措施。当混凝土未达到受冻临界强度而气温骤降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下，应按冬期施工的要求采取应急防护措施。在制定越冬维护措施之前，应认真检查核对有关工程地质、水文、当地气温以及地基的冻胀特征和最大冻结深度等资料。根据《露天建筑施工现场不利气象条件与安全防范》（QX/T 154-2012）中的规定，当气温  $<5^{\circ}\text{C}$  时，施工场地设置安全可靠的采暖设备，高处作业人员宜佩戴防护手套、防滑鞋。电气工程施工室外电缆作业时，应尽量在  $-5^{\circ}\text{C}$  以上施工，否则采用电缆通电加热法施工，在加热前对电缆的绝缘性进行全面检测合格方可施工。

##### （2）运营期

在园区运维阶段，园区及时关注气象部门发布的低温天气预报预警，对突发极端低温事件，及时调整工作计划、做出正确的协调指挥，以降低其对园区生产生活的直接危害。加强园区内火灾隐患排查，在生产车间、库房、仪器设

备车间配备符合标准的通风设备，在火灾隐患地点配备完善的消防措施，做好工作人员消防知识和火灾逃生相关培训。在农畜产品加工生产车间、库房车间、运输设备内配备通风保温设备，减少产品货物出现冻害、变质。严格遵守与各行业相关的电力安装规定及使用规范，在冬季用电高峰时期做好电器设备的合理调度及维护，加大电器及电线线路的安全检查工作，并做好相关防护措施。出现冰雪低温天气，做好园区内积雪除冰工作，保障园区内生产运输和人员人身安全。

## 5.9 冻融

### 5.9.1 冻土的气候特征

冻土是指  $0^{\circ}\text{C}$  以下，含有水分的土壤呈冻结状态的现象。一般可分为短时冻土（数小时、数日以至半月）、季节冻土（半月至数月）以及多年冻土（又称永久冻土）。杭锦后旗气象站的冻土均属季节冻土。

地温是冻土地区各种建筑物地基基础设计的基本参数之一，掌握准确的冻土、地温信息对于合理选择施工期、基础断面和基础埋深，保障构筑物基础的稳定都具有重要意义。因此，在项目建设中建筑物设计和施工必须掌握冻土的发生、发展规律，并考虑其对工程的影响。此外，土壤的冻结和融化会对土壤上层建筑物，土壤内部构筑物等造成损害。杭锦后旗冻土一般自 11 月下旬后开始生成，4 月中旬前基本全部融化。

#### (1) 地面温度变化

由杭锦后旗气象站多年地面平均温度统计资料可知：1954-2020 年平均地面温度为  $10.5^{\circ}\text{C}$ ，年平均最高地面温度  $33.0^{\circ}\text{C}$ ，年平均最低地面温度  $-2.3^{\circ}\text{C}$ ，

极端最高地面温度 71.0℃，出现在 1999 年 7 月 18 日，极端最低地面温度-40.5℃，出现在 1968 年 1 月 14 日。近 30 年年平均地面温度年值为 11.2℃，近 10 年年平均地面温度为 10.4℃，呈波动性上升趋势。

杭锦后旗气象站地面温度的年变化规律为：月最低地面温度均出现在 1 月，月最高地面温度均出现在 7 月，升温均以 4、5 月为最快，降温则以 10 月、11 月最剧烈。杭锦后旗气象站地区地温年 1954-2020 年的年较差 4.5℃，近 30 年较差为 2.4℃，地温变化振幅较小。

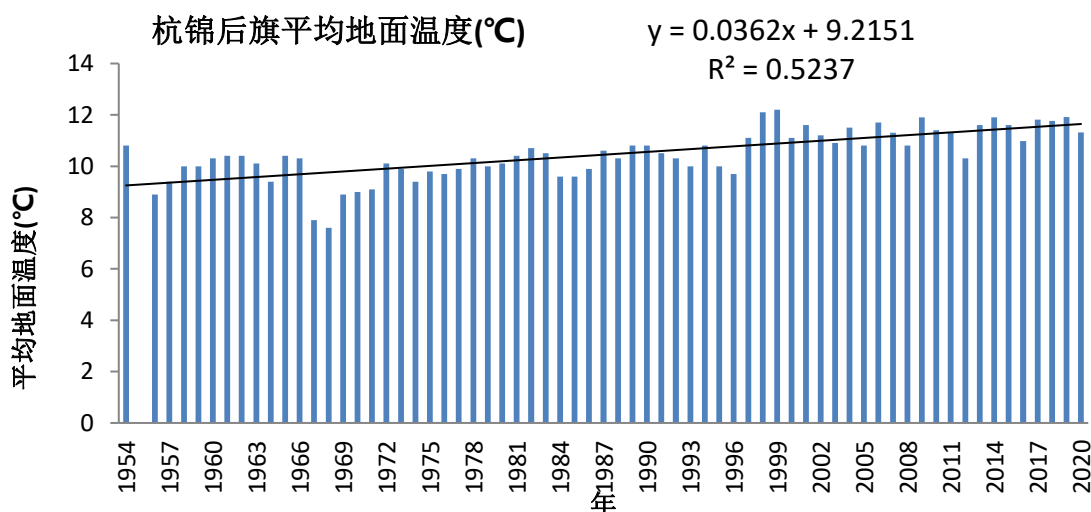


图 5.9-1 1954-2020 年杭锦后旗年平均地表温度逐年变化图（单位：d）

## (2) 地温的垂直分布

杭锦后旗气象站深层地温（160～320 cm）1964-1967 年和 2010-2021 年有连续观测资料，其余层次自 1964 年起开始观测，但其中有中断现象，为了便于比较分析统计了（0～80cm 为 1964-1967 和 1990-2021 年，160～320cm 为 1964-1967 和 2010-2021 年）杭锦后旗气象站不同深度平均地温值，不同深度地温年变化见图 5.9-2。冬季由于气温急剧降低，地表不断从土壤深层获取热量，使得地温由浅层向深层呈升高趋势，杭锦后旗气象站 1 月 0cm、20cm、40 cm、80

cm、160 cm 和 320 cm 平均地温分别为-10.4℃、-4.5℃、-2.9℃、0.3℃、4.8℃和 9.5℃；夏季则相反，地表增温后，不断向深层输送热量，使得夏季地温由浅向深呈降低趋势，7 月 0cm、20cm、40 cm、80 cm、160 cm 和 320 cm 平均地温分别为 30.7℃、25.2℃、22.7℃、19.7℃、15.2℃和 10.5℃。

表 5.9-1 杭锦后旗气象站不同深度层地温年内变化表

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
0cm	-10.4	-5.0	4.0	14.5	23.1	29.0	30.7	27.3	19.8	10.0	-0.5	-8.3
20cm	-4.5	-3.3	0.8	9.2	16.9	22.4	25.2	24.4	19.5	12.1	3.8	-2.4
40cm	-2.9	-2.8	0.9	7.8	14.7	19.7	22.7	22.8	19.2	13.1	6.1	-0.1
80cm	0.3	-0.8	0.7	6.1	11.9	16.4	19.7	20.8	18.8	14.5	8.9	3.5
160cm	4.8	3.0	2.4	4.3	8.4	12.2	15.2	17.1	17.2	15.1	11.8	7.9
320cm	9.5	8.0	6.9	6.5	7.3	8.8	10.5	12.2	13.4	13.5	12.9	11.5

杭锦后旗气象站地温最低月与最高月的出现时间均表现为随深度的增加而逐渐滞后，0 cm、20cm、40 cm 最低月与最高月出现的时间与气温相仿，最低月为 1 月，最高月为 7 月；80cm 地温最低月与最高月分别出现在 2 月和 8 月；160cm 地温最低月与最高月分别出现在 3 月和 9 月；320cm 地温最低月与最高月分别出现在 4 月和 10 月，逐月滞后 1 个月。

由于地表是吸热增温和散热降温的直接作用面，越往深层土壤的保温作用越强，达到一定深度后，还会出现恒温层。因此，地温的年较差随深度的增加而减小，杭锦后旗气象站 0cm、20cm、40cm、80cm、160 cm 和 320 cm 地温的年较差分别为 41.1℃、29.7℃、25.7℃、21.6℃、14.8℃和 7.0℃。

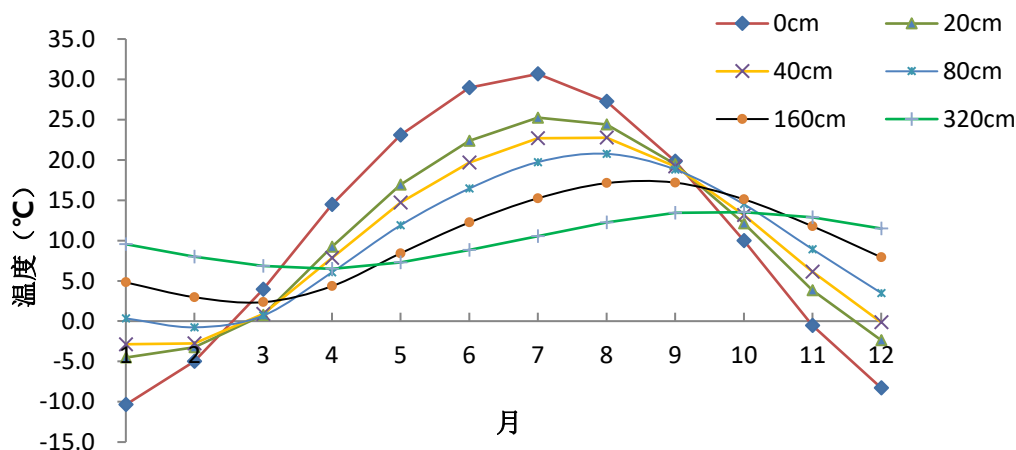


图 5.9-2 杭锦后旗不同深度层地温年内变化图

### (3) 冻土的生消规律

杭锦后旗气象站多年观测表明,该地区属季节性冻土地带。通常每年 11 月开始出现冻土,随着气温下降冻土深度加深,至次年 2~3 月冻土深度达到最大,到 3~4 月冻土逐渐消融。

### (4) 最大冻土深度

自有气象记录以来,杭锦后旗气象站出现的最大冻土深度为 127cm,出现在 1977 年 3 月 3 日,平均最大冻土深度为 97.7cm,最大冻土深度变化趋势呈现略减少的趋势,减少速率为 0.92cm/10a。

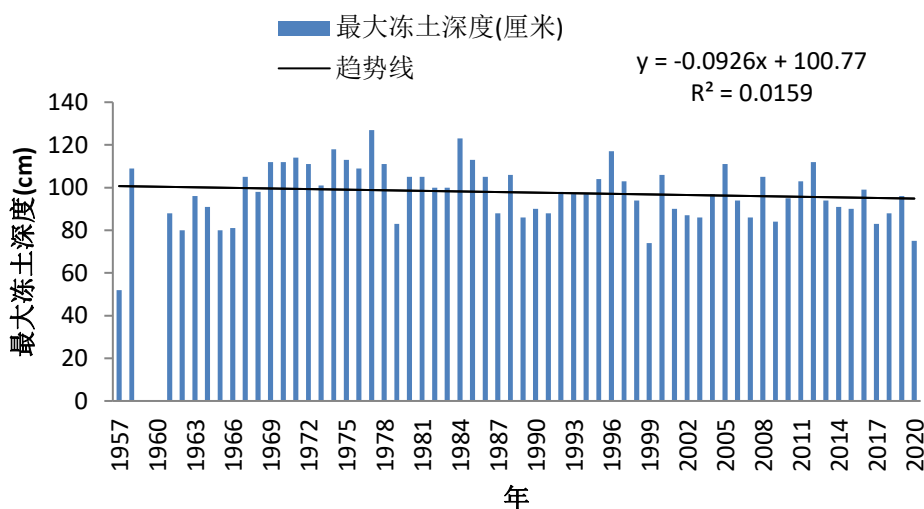


图 5.9-3 1957-2020 年杭锦后旗年最大冻土深度分布图

### 5.9.2 冻土的区域分布特征

表 5.9-1 杭锦后旗气象站与周边气象站地面温度和冻土深度比较

要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
地面温度/℃	平均温度	10.5	10.6	10.9	8.4
	平均最高	66.0	66.0	64.3	62.2
	平均最低	-27.2	-27.9	-24.4	-30.0
	极端最高	71.0(1999.7.18)	72.7(2006.7.2)	72.8(2005.7.18)	72.2(2011.7.22)
	极端最低	-40.5(1968.1.14)	-36.8(1971.1.30)	-33.8(1971.1.22)	-39.8(1981.1.25)
最大冻土深度/cm	历年平均	97.7	109.9	76	152.4
	最大值	127(1977.3.3)	144(2008.2.22)	108(1976.3.5)	231(1974.2.15)

从地面温度看，平均地面温度、平均最高地面温度和最低地面温度均以乌拉特后旗最低，分别为 8.4℃、62.2℃和-30.0℃，其它 3 站差异不大，平均地面温度和最低地面温度磴口略高于杭锦后旗和临河区；极端最高温度在 71.0（杭锦后旗）～72.8℃（磴口）之间，区域平均 72.2℃，差异很小，均出现在 1999 年以后；极端最低温度杭锦后旗最大，为-40.5℃，磴口最小，为-33.8℃，极端最低温度均出现在上世纪 60～80 年代。

最大冻土深度乌拉特后旗最大，平均深度 152.4cm，最大深度为 231cm，出现在 1974 年 2 月 15 日；磴口县最小，平均冻土深度 76cm，最大 108cm；杭锦后旗与临河相差不大，杭锦后旗平均冻土深度和最大深度比乌拉特后旗分别小 54.7cm 和 104cm。

从杭后工业园所在区域整体分布上看，乌拉特后旗冻土发生时间长，深度大，地面温度较低，发生冻融危害的风险较高；磴口县冻土发生时间短，深度浅，地面温度较高，产生危害的风险较低；杭锦后旗和临河区居于二者之间，发生冻融危害的风险中等。

### 5.9.3 冻土的影响及危害

冻土对园区工程建设的影响主要表现在建设中基础材料的选择、主要建筑物的基础埋深、管道基础工程、检修道路建设、地上构筑物稳定性设计等方面；除按一般地区的要求进行设计施工外，还要特别考虑季节冻土对其的影响。

冻土对建（构）筑物的影响表现在两个方面：一是地基冻胀时，使轻型建（构）筑物上升，这种上升是由于对基础侧面的切向冻胀力和对基底的垂直冻胀力共同作用所引起的；另一方面则是解冻时融化所引起的不均匀沉降，这种升降作用，会造成基础拉断。

由于地基土中毛细管里的积蓄水受冻后体积发生膨胀，使地基土产生不均匀的胀力造成建筑物的损坏。地基土中存在着无数的毛细管，地下水主要通过地基土中的毛细管上升到基础底面。冬季来临，当大气负温传入地下，地表土中的自由水首先冻结成冰晶体，随着气温的继续下降，结合水的最外层也开始冻结使冰晶体逐渐扩大，并在土层中形成冰夹层。水分冰冻后体积将增加 9%，使土体随着膨胀发生隆起出现冻胀现象。土中细粒越多形成的毛细管越多，对地基的影响也越大。土层解冻时，地基土中积聚的冰晶体融化，使土中含水量大大增加，加之细粒土排水能力差或基底下还有土层未解冻，上面已融化的土层中的水渗透不到土层深处，基底土层处于饱和软化状态，强度大大降低，使建筑物发生下陷成为溶陷。不论冻胀或溶陷一般都是不均匀的。这样每年冻融交替，造成了浅基础建筑物的开裂。在地下水位较高，土中细粒多，承载力差的土层中的建筑物，冻害尤为严重。

### 5.9.4 冻融的防御建议

(1)杭锦后旗气象站冻土期为 11 月上旬～次年 4 月，在建设时应避开冻土期。若必须在冻土期施工，需采取有效的施工措施，严格按冬季施工规范执行，做到随挖、随砌、随回填，并用保温材料覆盖基础。使基础的地基在工程施工时和完工后，均不得受冻。

(2) 杭锦后旗气象站最大冻土深度为 127cm，因此项目建设的地下结构的基础埋深要大于 127cm，或按设计规范采用不同重现期设计冻土深度值。给水、排水、燃气等工程管线应根据冻土深度设计要求确定管线覆土深度。

(3)土壤的温、湿度等因素对土壤电阻率会产生一定的影响。根据清华大学何金良教授等相关研究表明，当土壤温度在 0℃ 以下时，随着温度的降低土壤电阻率明显增高，当温度下降到接近-20℃时，电阻率高达  $106 \Omega \cdot m$ 。故《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010 第 5.4.4 条规定人工接地体在土壤中的埋设深度不应小于 0.5 米，并宜敷设在当地冻土层以下。

(4)冻土深度及冻土厚度会因地理位置、地质岩性、水分状况、植被、坡向的不同而有所不同，在实际的勘探、设计、施工中要视园区具体情况进一步研究。

## 5.10 雾

雾是由悬浮近地面空气中微小水滴或冰晶组成的天气现象，是近地面层空气中水汽凝结（或凝华）的产物。当大气层结稳定，且接近地面的空气中有逆温层存在时，空气中如果有充足的水汽含量、每秒 1～3 米的微风和适当的凝结核，在恰当的冷却作用下就会形成雾。在气象上学上把能见度在 1～10 km 的



雾称为轻雾，能见度在 1 km 以内的称为雾。雾天易造成污闪事故，严重时会影响电气设备的安全运行，给安全生产带来严重影响。

### 5.10.1 雾的气候特征

#### (1) 雾的年际变化

杭锦后旗气象站（1954-2021 年）累年平均雾日数为 4.5 天，年际变化在 0~21 天之间，年际间差异大，出现雾最多的年份是 2016 年，为 21 天，仅 4 年未出现过雾天，有雾年出现的概率 94.1%。年雾日数呈增多趋势，增高速率为 0.43d/10a。

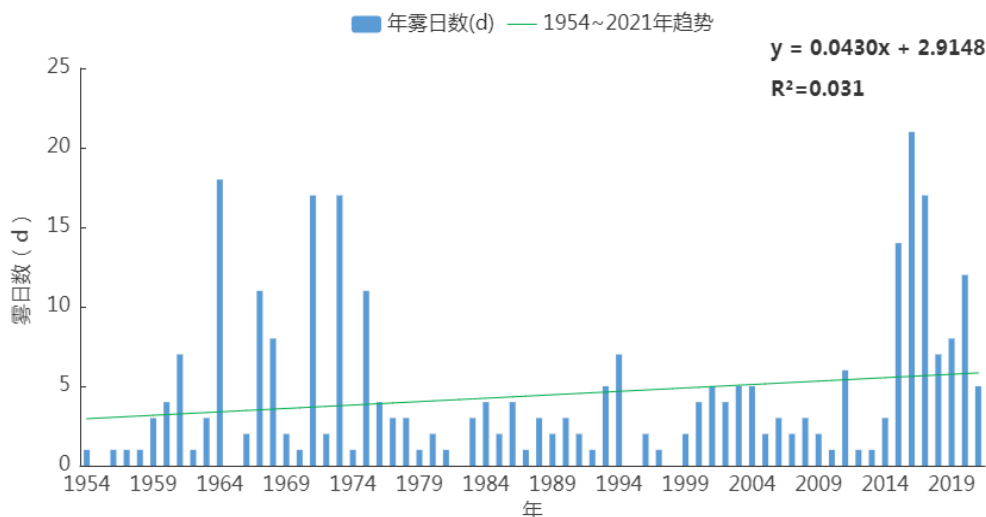


图 5.10-1 1954-2021 年杭锦后旗站年雾日数逐年变化图（单位：d）

#### (2) 雾的年变化

杭锦后旗气象站雾日数的年变化趋势较为复杂，最大峰值出现在 1 月，为 0.7 天，11 月次之，为 0.6 天，6 月没有雾发生，秋冬季出现雾的概率较高。

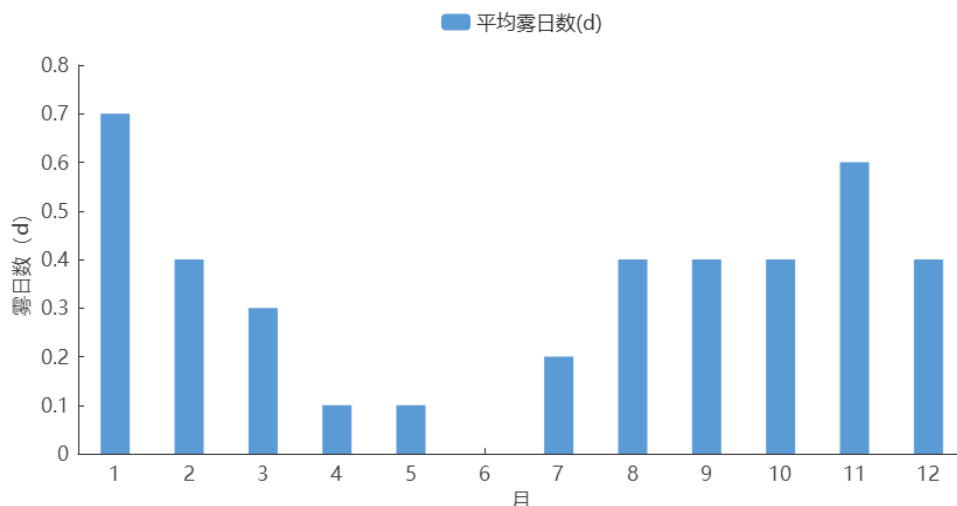


图 5.10-2 1954-2021 年杭锦后旗站平均雾日数逐月变化（单位：d）

### (3) 轻雾的年际变化

1954-2021 年杭锦后旗气象站累年平均轻雾日数为 9.9 天，有 10 年没有出现轻雾，占总年数的 14.7%，出现轻雾最多的年份为 2020 年，达 70 天。需要特别说明的是，自 2014 年起，由于天气现象采用了自动化观测设备，对轻雾的观测比原来的人工观测方式更加敏感，因此，近 8 年轻雾日数较之前有较大幅度的增多。

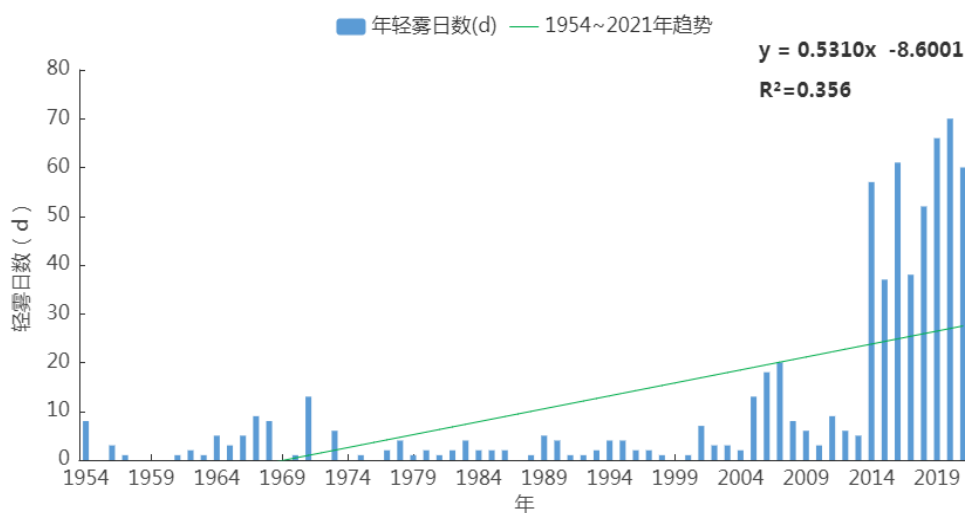


图 5.10-3 1954-2021 年杭锦后旗站年轻雾日数逐年变化图（单位：d）

### (4) 轻雾的年变化

杭锦后旗气象站轻雾日数的年变化特征大体表现为秋冬季多发，7 月到次年 1 月是轻雾出现的高峰期，11 月是轻雾最多的月份，为 1.5 天，5 月最

少，为 0.2 天。

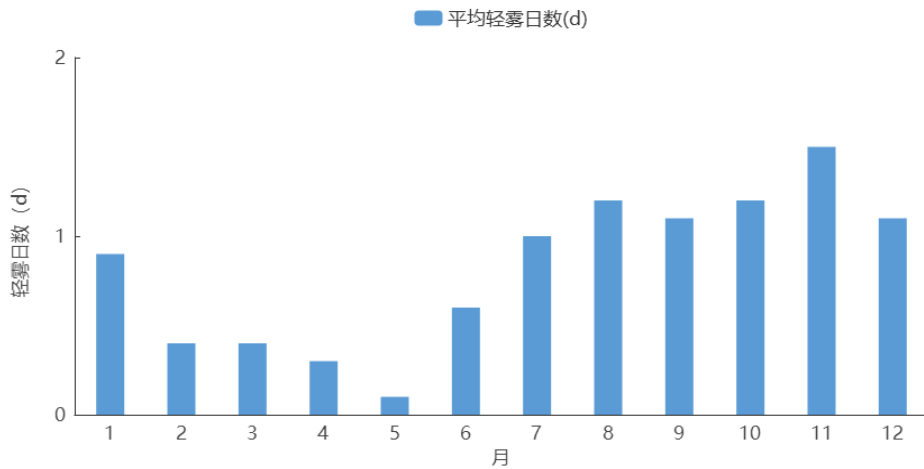


图 5.10-4 1954-2021 年杭锦后旗站平均轻雾日数逐月变化 (单位: d)

### (5) 雾的区域变化特征

表 5.10-1 显示，无论雾或轻雾发生概率均以杭锦后旗最高，乌拉特后旗最低；雾日数最多的是磴口县为 26 天，最少的是乌拉特后旗为 16 天。最多出现日数除了临河外，均出现在 2016 年；轻雾年平均日数以杭锦后旗出现最多，最大年日数以临河区最多，且最多年日数均出现在 2020 年，说明整个区域雾天有增多的趋势。综合分析，杭后工业园发生雾天气的概率高于周边地区，尤其高于乌拉特后旗。

表 5.10-1 杭锦后旗气象站与周边气象站雾天特征对比

		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
雾日数	年平均日数	4.5	4.1	2.8	2.6
	最多日数	21 (2016)	18 (1971)	26 (2016)	16 (2016)
	发生概率(%)	94.1	89.1	78.1	83.0
轻雾日数	年平均日数	9.9	8	4.9	6
	最多日数	70 (2020)	83 (2020)	62 (2020)	57 (2020)
	发生概率(%)	95.3	84.3	78.1	55.3

### 5.10.2 雾的影响及危害

1.当出现雾天时，由于空气湿度大，园区内有些企业排放一些粉尘、气体和烟雾及汽车尾气，使空气中含有大量悬浮物（气溶胶），包括一些有害污染

物质，易形成雾霾天气，影响农畜产品加工生产，湿度大易使农畜产品加工原料和产品霉变，或水分含量高影响品质；能见度降低影响露天作业工作环境，物资运输和人员出行；

2.出现浓雾时，会引发“污闪”事件。空气湿度大很容易在输变电设备的表层结露，形成一层导电膜，致使设备绝缘能力迅速下降，当超过其抗污能力时，在电力场作用下会出现的强烈放电现象，发生“污闪”，造成线路闪烁、微机失控、开关跳闸，从而发生停电、断电故障。污闪事故是电力输变电路设备最严重的自然灾害之一，影响范围很大，对电网的连续安全稳定运行有严重的威胁，其造成的经济损失是雷害事故的十倍以上。

### 5.10.3 雾的防御建议

(1) 及时关注天气预报，在大雾出现前遮盖食品加工原料和产品，生产车间和仓储室内增加或启动除湿设备，加强通风和散热，防止原材料和产品水分超标而发生霉变。

(2) 针对浓雾天气，为尽可能减少污闪事故发生，首先，在输变电设备设计时应注意电力设备外缘爬距，或使用防污闪增爬伞裙，以避免因爬距不足引发事故。其次，在绝缘子材质选择方面应结合施工进行合理选择，以有效降低输电线路污闪故障的发生。此外，电站运行后运维人员应当定期对绝缘子进行清扫，尤其是在大雾高发期，应组织人员集中清扫，以降低绝缘子表面污秽程度，从而避免事故发生。

## 5.11 连阴雨

连阴雨是指连续几天以上的阴雨天气过程。一般连阴雨是连续 $\geq 6$ 天阴雨且无日照，其中任意4天白天雨量 $\geq 0.1$ 毫米；严重连阴雨是连续 $\geq 10$ 天阴雨且无

日照，其中任意 7 天白天雨量 $\geq 0.1$  毫米。根据连阴雨发生的时间，出现在 3～5 月的连阴雨，称为春季连阴雨；6～8 月的连阴雨，称为夏季连阴雨；9～11 月出现的连阴雨称之为秋季连阴雨。连阴雨出现时，日照少，空气湿度大，特别是春、秋季连阴雨往往伴随着低温，对农业生产常造成严重影响和危害。

根据内蒙古巴彦淖尔地区连阴雨发生特点，采用“连续 $\geq 6$  天阴雨且无日照，其中任意 4 天白天雨量 $\geq 0.1$  毫米”定义为一次连阴雨过程。将发生在 9～11 月的连阴雨过程定义为秋季连阴雨，包括跨月连阴雨中有一天或以上出现在 9 月份的过程。杭后工业园所在区域连阴雨主要发生在夏季。

### 5.11.1 连阴雨的气候特征

#### (1) 连阴雨年际变化特征

1954-2021 杭锦后旗共出现连阴雨 34 次，平均每年 0.5 次,平均每次连阴雨持续天数为 6.7 天。平均每次连阴雨雨量为 35.9mm,平均日照时数为 6.1 小时。一年内发生连阴雨次数最多为 3 次（1973 年），最少为 0 次（有 42 年）。

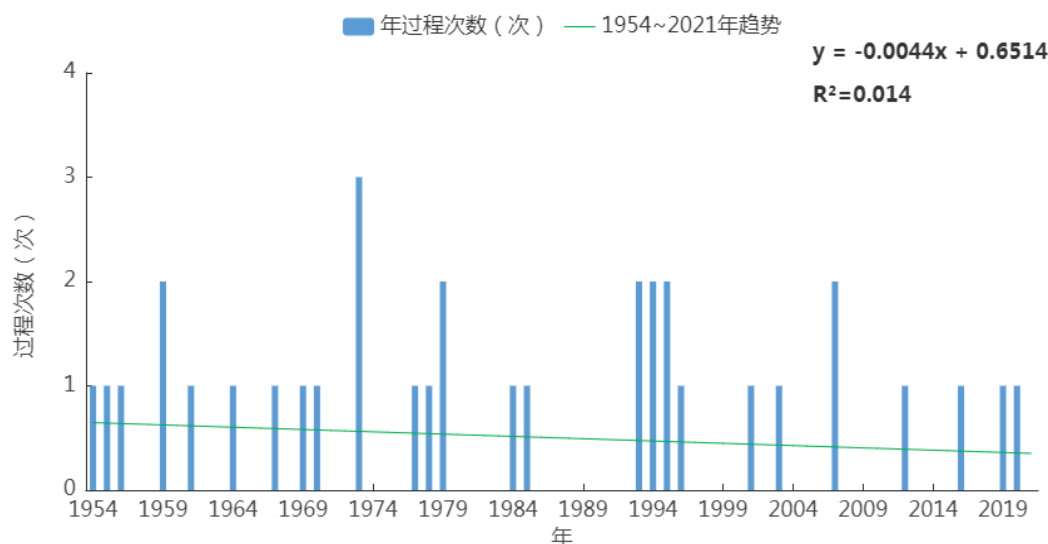


图 5.11-1 1954-2021 年杭锦后旗站连阴雨过程发生次数逐年变化图（单位：次）

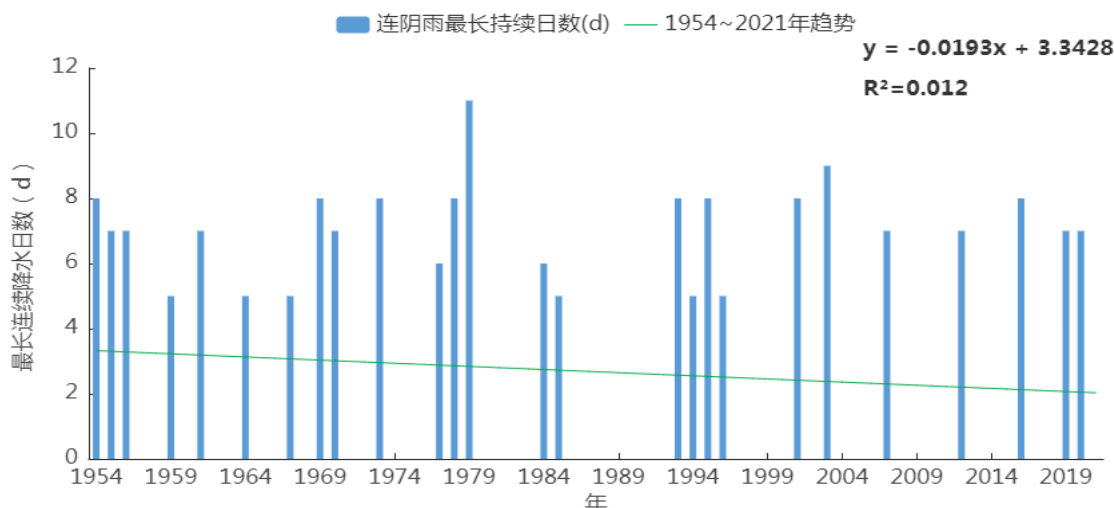


图 5.11-2 1954-2021 年杭锦后旗站连阴雨最长持续日数逐年变化图（单位：次）

一次连阴雨持续时间最长达 11 天（1979 年 06 月 22 日～1979 年 07 月 02 日），总降水量最大达 108.1mm（2012 年 06 月 21 日～2012 年 06 月 27 日）。总降水量最小的只有 11.2mm（1993 年 07 月 21 日～1993 年 07 月 25 日）。从其历史演变看，年连阴雨次数变化比较平稳；年最大总降水量每 10 年减少 0.4mm。

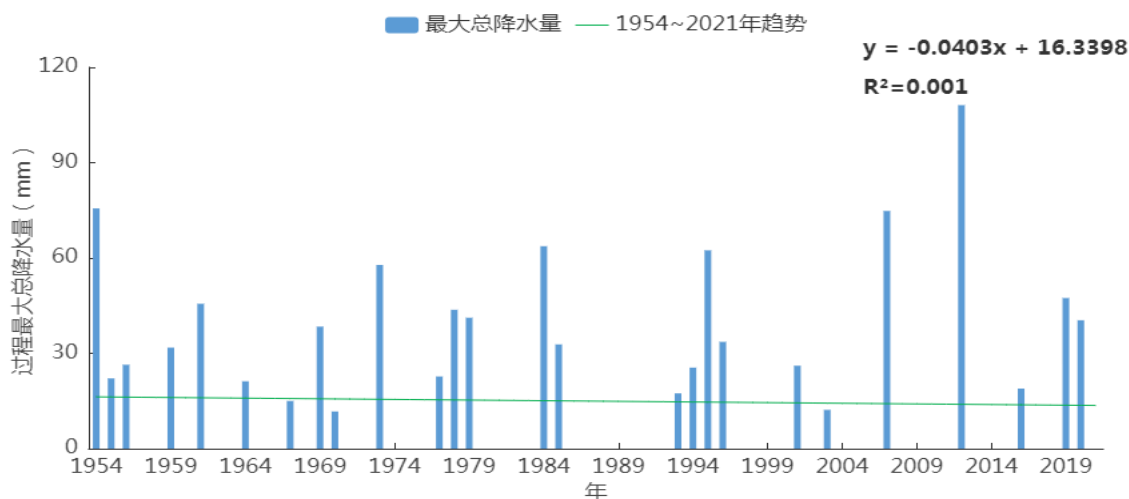


图 5.11-3 1954-2021 年杭锦后旗站连阴雨过程最大总降水量逐年变化图（单位：mm）

## （2）秋季连阴雨变化特征

1954-2021 年杭锦后旗秋季共出现连阴雨 7 次，平均每年秋季 0.1 次，平均每次连阴雨持续天数为 6.7 天。平均每次连阴雨雨量为 26.4mm，平均日照时数

为 5.9 小时。一年内发生连阴雨次数最多为 1 次（有 7 年），最少为 0 次（共 61 年）。秋季一次连阴雨持续时间最长达 9 天（2003 年 08 月 28 日～2003 年 09 月 05 日），从其历史演变看，秋季连阴雨次数变化比较平稳。

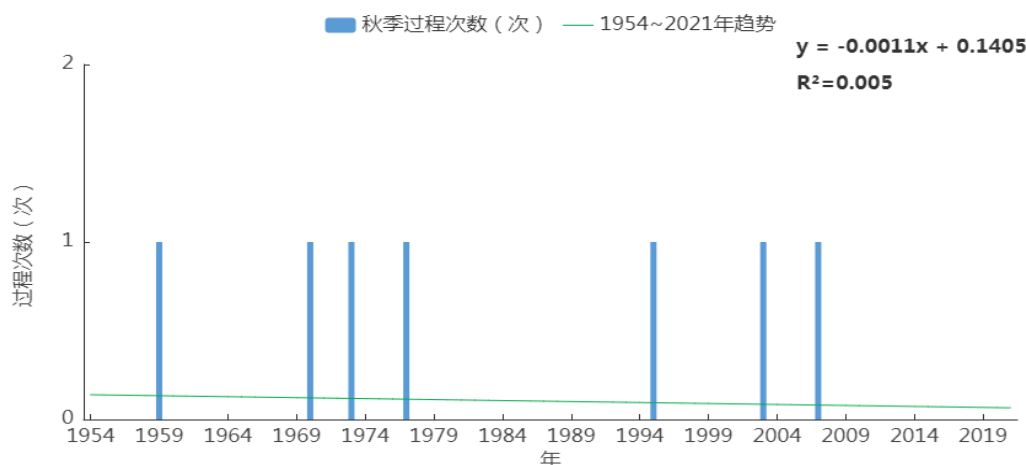


图 5.11-4 1954-2021 年杭锦后旗站秋季连阴雨过程发生次数逐年变化图（单位：次）

秋季连阴雨一次持续过程总降水量最大达 58.4mm（1995 年 09 月 02 日～1995 年 09 月 09 日）。秋季连阴雨一次持续过程总降水量最小的只有 11.7mm（1970 年 09 月 05 日～1970 年 09 月 11 日）。秋季连阴雨持续过程最大总降水量每 10 年减少 0.4mm。

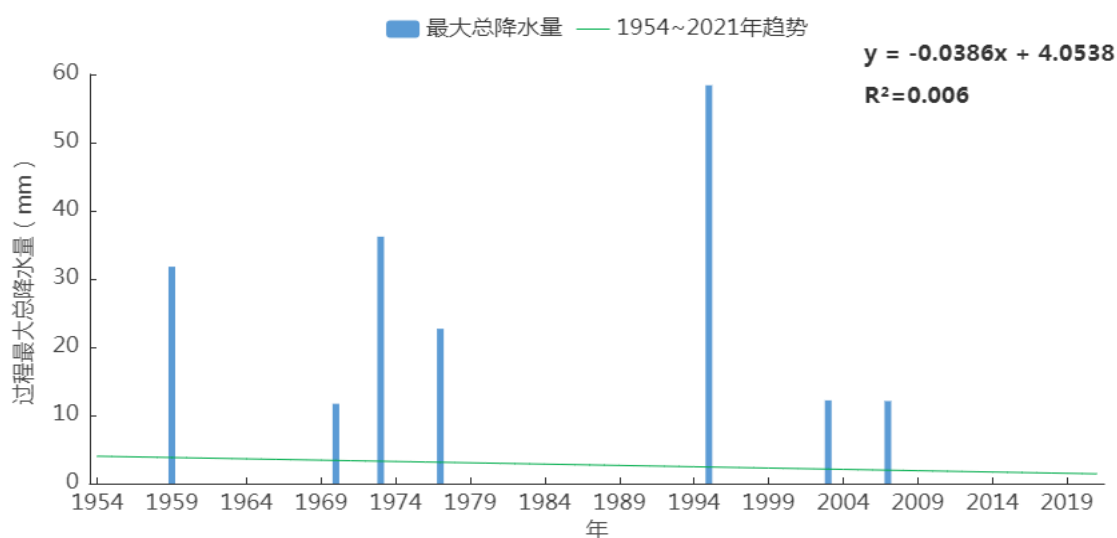


图 5.11-5 1954-2021 年杭锦后旗站秋季连阴雨过程最大总降水量逐年变化图（单位：mm）

### (3) 连阴雨区域变化特征

从表 5.11-1 中可以看出，连阴雨平均持续天数和最长持续时间各站点相差不大，说明连阴雨发生常波及整个区域，但在雨量上差异较大，平均雨量和最大雨量乌拉特后旗最小，杭锦后旗平均雨量最大，最大雨量仅比位居第一的磴口少 1.1mm；连阴雨出现年占总年份的比率以乌拉特后旗最大，达 63.8%，明显高于其他 3 站；秋季连阴雨在持续时间和雨量上相差不大，但杭锦后旗各要素值略高于其他站。综合各因子，杭锦后旗连阴雨天气发生频次和强度较高，磴口次之，乌拉特后旗最低。

表 5.11-1 杭锦后旗气象站与周边站连阴雨天气特征比较

要素		杭锦后旗	临河	磴口	乌拉特后旗
全年连阴雨	平均持续天数(d)	6.7	6.2	6.3	6.4
	平均雨量(mm)	35.9	33.1	34.4	26.4
	平均日照时数(h)	6.1	6.3	5.4	7.0
	最长持续时间(d)	11	10	10	11
	最大雨量(mm)	108.1	82.6	109.2	59.7
	出现概率(%)	38.2	37.5	40.3	63.8
秋季连阴雨	平均持续天数(d)	6.7	6.0	6.0	7.0
	平均雨量(mm)	26.4	26.5	26.6	23.2
	平均日照时数(h)	5.9	5.3	3.2	4.3
	最长持续时间(d)	9	8	7	11
	最大雨量(mm)	58.4	51.0	36.3	34.2
	出现概率(%)	10.3	10.9	3.0	6.4

#### 5.11.2 连阴雨的影响及危害

##### (1) 对农畜产品加工企业生产原料的影响

持续的连阴雨可以造成连续低温冷害和洪涝灾害，对工业园农产品加工企业原材料生产造成危害。连阴雨天气因长时间缺少光照，植株体光合作用削



弱，加之土壤和空气长期潮湿，造成作物生理机能失调、诱发感染病害，导致生长发育不良，使农作物产量和质量遭受严重影响。

严重的连阴雨天气，会因阴雨时间长，累积雨量大而造成地面积水，耕作层长期水分过多，使农作物根系腐烂或招致病虫害的蔓延，形成渍害，采摘期的作物无法正常采摘，出现烂果，品质和产量都会下降。

### **（2）对工业园内生产环境的影响**

杭后工业园所在区域的连阴雨天气多发生在夏季，采摘后的果实原料处于空气湿度大、温度高的环境中，易于腐烂、变质，使产品质量下降。生产出的产品也易发霉变质。

连阴雨天气使露天加工企业的作业无法进行，耽误工程进度。影响原料、产品的储存和运输及人员出行。

### **（3）对工业园内生活的影响**

阴雨天气压较低，空气潮湿，使人不舒服。雨天道路泥泞不堪，影响出游或外出办事；阴雨闷热潮湿环境下食物易发霉变质，吃后可直接间接引起中毒；连阴雨还可引起粮食、饲料、食品、衣服、药材、书籍、纸张等物品的霉变，造成较大的经济损失。

## **5.11.3 连阴雨的防御建议**

（1）及时关注天气预报，在阴雨天气出现前减少灌溉，雨量较大时及时做好排水，避免田间积水；采摘期的作物、蔬菜及时抢收，运输入库；并遮盖食品加工原料和产品，生产车间和仓储室内增加或启动除湿设备，加强通风和散热，防止原材料和产品水分超标而发生霉变。

(2) 连阴雨天要尽量保持室内空气流通，特别是家里有过敏体质者。必要时可用吸湿器或干燥机降低室内湿度。空调房间更要注意通风，长期使用空调而不通风，躲藏在空调器内的霉菌也会繁殖。

(3) 做好物品特别是衣物的防霉。室内霉菌可在衣物、皮革、家具、仪器、家电的表面大量繁殖。衣物必须彻底晾晒或烘干才能入柜贮存；不要食用被霉菌污染的食物，避免引起急性或慢性中毒；阴雨天缺少阳光使人心情压抑情绪低落，做好自我调节与保健。

## 5.12 本章小结

通过杭后工业园所在区域历史气象灾害及园区入驻企业高影响天气调查，并结合园区规划，选取园区所在地及周边区域气象站主要高影响天气，包括暴雨、雷暴、大风、沙尘暴、高温、冰雹、积雪、低温冰冻、冻融、连阴雨、雾等气象灾害类型较多，给生产生活带来一定的不利影响。工业园区所在区域高影响天气主要特征如下：

**暴雨：**1954-2021 年间杭锦后旗气象站共有 5 年出现过 6 次日降水量  $\geq 50\text{mm}$  以上量级的暴雨过程，暴雨日数最多为 2 天（出现在 2012 年），平均最大日降水量为  $28.2\text{mm}$ ，最大日降水量  $77.5\text{mm}$ （出现在 1975 年）。最长连续降水日数累年平均 3.5 天，最长 6 天，最长连续降水日数在 5 天以上的年份占年总数的 19.1%；最大连续降水量累年平均  $35.0\text{mm}$ ，最大值  $104.0\text{mm}$ （2012 年）；最大 1h 降水量统计，达到暴雨量级（ $20\text{mm} > \text{小时降水量} \geq 10\text{mm}$ ）的年份占总年数的 50%，大暴雨量级的年份占总年数的 23.3%，最大 1h 降水量达  $33.8\text{mm}$ （1970 年）。杭后工业园虽然年暴雨日不多，但最大雨日多，小

时强降水出现的概率较高，引发暴雨洪涝灾害的风险依然存在，特别是发生城镇内涝的可能性较大。

**雷暴：**杭后工业园年均雷暴日数为 20.3 天，最多为 35 天，出现在 1973 年。闪电日数最多为 23 天，出现在 1964 年。周边 10km 范围内雷电活动主要活跃在 5-10 月，月发生闪电次数均值 34.8 次，其中 8 月雷电活动最频繁，共发生闪电 103 次。

**风灾：**1954-2021 年杭锦后旗气象站年平均大风日数为 16.7 天，最多年份 47 天（1976 年）。大风日数年际变化具有波动性，1954-1975 年大风日数呈现增加趋势，1975 年至今大风日数在波动中明显减少，减少速率为 2.8d/10a。

**沙尘暴：**杭锦后旗气象站 1954-2021 年间有 45 年出现了沙尘暴天气，发生率达 67.2%，年平均沙尘暴日数为 3.3 天，最多年份 22 天（1954 年）。发生频率以 1.18d/10a 的速率下降，春季（3~5 月）沙尘暴发生严重，发生次数占年平均的 52.9%。除了沙尘暴外，扬沙和浮尘天气发生也十分频繁，扬沙天气年平均 23 天，最多年为 87 天，年际波动显著，1981 年之前年平均扬沙日占总年数的 40.3%，之后年扬沙日数平均仅为 7.6 天；浮尘天气杭锦后旗平均每年 6.9 天，1955 年出现最多，为 60 天。沙尘天气（包括沙尘暴、扬沙和浮尘）年平均出现日数 33.2 天，少于周边地区。

**高温：**1954-2021 年杭锦后旗气象站日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数年平均为 1.7 天，1997 年、1999 年最多，为 7 天；日最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 的日数年平均为 0.18 天，最多为 3 天，出现在 1999 年，年出现概率 13.2%；高温日数 7 月最多占全年平均高温日数的 58.8%。极端最高温  $38.4^{\circ}\text{C}$ ，出现在 1999 年 7 月 29 日。

**冰雹：**杭锦后旗气象站 1954-2021 年间有 28 年出现了冰雹天气，发生率为 41.2%，最多年份出现 3 天，冰雹天气主要发生在 4~9 月，9 月最为集中。

**雪灾：**杭锦后旗气象站 1954-2021 年平均降雪日数为 9.4 天，年最高降雪日数 22 天（1964 年）；平均积雪日数为 11.2 天，年最高积雪日数达 59 天（1968 年），年际间波动较大。降雪和积雪主要出现在 11 月~次年 3 月，分别占年降雪日数和积雪日数的 90.9%和 98.2%。积雪天气最多出现在 1 月（年占比 36.4%）。最大积雪深度为 17cm，出现在 1967 年 11 月 28 日。

**低温冰冻：**杭锦后旗气象站 1954-2021 年间日最低气温小于或等于-25℃的低温日平均为 2.0 天，最多年份 33 天（1968 年）。低温天气主要发生在 12~2 月，其中 1 月最多为 0.8 天，占总低温日数的 42%以上，12 月和 2 月分别为 0.5 天、0.6 天；结冰日数年平均 159.1 天，最多年 180 天（1980 年）。结冰一般发生在 9 月至次年 5 月，1 月平均结冰日数最多，为 30.9 天；低温日和结冰日的年日数变化均呈明显减少趋势。

**冻融：**1954-2020 年平均地面温度为 10.5℃，年平均最高地面温度 33.0℃，年平均最低地面温度-2.3℃，极端最高地面温度 71.0℃，出现在 1999 年 7 月 18 日，极端最低地面温度-40.5℃，出现在 1968 年 1 月 14 日；地温的垂直分布 0cm、20cm、40 cm、80 cm、160 cm 和 320 cm 1 月平均地温分别为-10.4℃、-4.5℃、-2.9℃、0.3℃、4.8℃和 9.5℃，7 月平均地温分别为 30.7℃、25.2℃、22.7℃、19.7℃、15.2℃和 10.5℃；杭锦后旗属季节性冻土地带，通常每年 11 月~次年 4 月为冻土发生和消融时间。杭锦后旗气象站观测到最大冻土深度为 127cm（1977 年 3 月 3 日），多年平均最大冻土深度为 97.7cm。总体上最大冻


土深度变化趋势呈现略减少的趋势，减少速率为 0.92cm/10a。

**雾：**杭锦后旗气象站 1954-2021 年平均雾日为 4.5 天，最多年份 21 天（2016 年），雾年出现概率 94.1%。年雾日数呈增多趋势，增高速率为 0.43d/10a。秋冬季出现概率较高，最大峰值出现在 1 月为 0.7 天，11 月次之为 0.6 天。

**连阴雨：**1954-2021，杭锦后旗共出现连阴雨 34 次，出现概率 38.2%，平均每次连阴雨持续天数为 6.7 天，平均每次雨量为 35.9mm，发生连阴雨时平均日照时数为 6.1 小时。一年内发生连阴雨次数最多为 3 次（1973 年），最长连阴雨持续时间为 11 天，总降水量最大 108.1mm。秋季连阴雨出现概率 10.3%。

## 6 工业园建设对局地气候影响

影响局地气候的主要因素是自然环境及人为因素。土地利用是人类活动作用于自然环境的主要途径之一，通过土地利用活动，人类对自然环境产生巨大作用。土地利用会引起土地覆被的变化，而土地覆被的变化引起下垫面性质包括地表反照率、粗糙度、植被叶面积指数和地表植被覆盖度发生明显的改变。地面状况的变化又会改变地表与大气间的水分和能量交换过程，从而在区域尺度上影响能量平衡，形成局地气候效应。

杭后工业园地处杭锦后旗政府所在地陕坝镇，属自治区级工业园区，园区总面积  公顷，主导产业为农畜产品精深加工和农资机械装备制造。该区域气候属典型的温带半干旱大陆性季风气候，四季分明，温差较大。冬季漫长寒冷，夏季炎热短暂，春季回暖升温快，秋季气温下降显著。年平均气温为  $7.5^{\circ}\text{C}$ ，年平均降水量为  $136.3\text{mm}$ 。杭后工业园建设改变了土地利用方式，可能对局地气候产生以下几个方面的影响。

### 6.1 工业园建设对气温的影响

城市下垫面热环境能量平衡是辐射换热、人工放热、显热交换、潜热交换、净储存热和对流换热的影响结果。园区建设过程中人工建筑逐渐取代自然植被，园区地表相比于农业用地的粗糙程度更大，入射的短波辐射多次反射致使地表反照率降低。地表反射的短波辐射减少，吸收的短波辐射增加，可能促进园区气温升高。

此外，建设过程中由不透水地面取代自然植被和农田，潜热通量减少，感

热通量增加并成为地表能量通量的主要组成。热响应指数减少，提高地表温度所需的能量也随之减少，可能促进热岛效应的形成。

除城市下垫面因素外，人工热排放及当地的天气形势与气候条件，以及温室气体和大气污染对城市热岛效应也存在不同程度的影响。特别是碳氧化物、氮氧化物、氯氟烃和臭氧等温室气体，在太阳光的辐照下吸收了大量的太阳光辐射能和地球表面反射的红外长波热辐射能，并将其转变为储存在自身气体分子中的辐射能。同时也向地面产生逆辐射，使整个大气层具有较大的热容量和辐射能，形成人类排放的温室气体的保温层。

有研究表明，城市对温度的影响存在昼夜、季节的差异。由于夜间大气层结稳定度高于白天，城市与其周围地区之间水平和垂直方向的混合作用较白天弱，而且白天逆温消失、风速增大，因此夜晚热岛强度高于白天，夜间温度变化最显著。杭后工业园范围内道路硬化、建筑均会导致地表粗糙程度变化，区域内年均气温有升高趋势。

## 6.2 工业园建设对降水的影响

稳定的降水过程与大气环流和天气系统密切相关，但下垫面差异对局地气候产生影响，容易产生局地对流性降水。促进和抑制降水的因素同时存在，杭后工业园建设对降水的影响存在不确定性。热岛效应对大气边界层产生扰动，破坏大气层结稳定性，形成热岛环流。因此，在水汽充足、凝结核丰富或其它有利的天气形势下，容易形成对流云和对流性降水，或对暴雨产生诱导、强化

作用。有研究发现<sup>[2]</sup>，热岛效应造成大气层结不稳定，有利于热对流雨的形成，以及城市快速发展使得下垫面参差不齐，对气流形成阻碍效应，导致年降水量呈明显增加趋势。有学者指出<sup>[4]</sup>，热岛增强了下风向地区风速和水汽水平输送，并强化了下风向地区辐合和上升运动，导致下风向地区降水增加。城市增加的感热通量、辐合、对流、凝结核数量，以及土地反照率和对流通量变化促进降水增加。杭后工业园内因工业生产和人类活动导致空气中的气溶胶颗粒增加，可从微物理过程、大气动力过程、云降水等方面影响降水。但有研究认为<sup>[5]</sup>气溶胶对降水的影响作用具有不确定性，促进和抑制作用并存。气溶胶粒子作为云凝结核在云雨形成和增长过程中起着重要作用，不但可以增加或减少降水量，而且还可以改变云雨的类型，如使非降水性云转换成降水性云，从而影响降水。气溶胶粒子增加的一个最直接的后果是云滴数量的增加，并可能导致云量的增加和降水的增加，但也可能在云滴数量增加的同时其尺度减小。如云层中一定含量的液态水分配给更多更小的云滴，从而导致更高的云层反射率和抑制降水的发生。

园区建设使不透水地表增多导致的地表蒸散量及渗透量减少，遇到短时强降水极易形成较强的地表径流，有出现园区内涝的可能。园区内规划了大量绿地、排水系统，有一定的消水排水的能力。

### 6.3 工业园建设对湿度的影响

杭后工业园建设过程中原有的自然地表转变为不透水地表，致使地表水通



过径流或蒸发快速流失，空气湿度下降。与周边自然地表相比，园区区域内地表更干燥，空气湿度较低，有可能形成“干岛”效应。城市“干岛”的形成主要有三个原因<sup>[6]</sup>：

#### 6.4 工业园建设对风场的可能影响

杭后工业园地处典型的干旱、半干旱大陆季风气候区，风向随季节有明显变化特征。春季、冬季风速较大，夏季、秋季风速较小，主导风向为东北风。有研究表明<sup>[7]</sup>城市中心位置的水平风场受冠层内不规则分布的建筑物和街道的影响，形成复杂的特征流型，由于阻挡及拖曳作用导致建筑物密集区的风速明显偏小甚至为静风状态。

杭后工业园建设过程中建筑物密度和高度的增加，导致地表粗糙度增加，影响地表动量交换，具有减缓风场的机械效应。但园区内部没有特殊高层建筑，距离园区地面 100m 以上大气层结受地面建筑群的影响很小，近地层风场在很大程度上取决于建筑物的朝向和建筑物之间的距离。

[illegible]

## 7 关键气象参数分析与推算

工程相关气象参数的推算是项目工程科学设计、安全运行和成本估算的实际需要。项目工程是在预定的安全系数下开展规划、设计和建设，开展气候可行性论证的工程气象参数推算往往影响工程的投资预算成本，甚至成为工程建设质量的决定因素。近年极端气候事件的频发，愈加说明灾害性气象因子已成为影响工程的安全性设计、运营效益和投资成本的关键因子。

大型工程中，气象灾害的重现期分析是工程建设的重要内容之一。极大风、强降水、高温、冻融等是受局地环境影响较大的气候要素。观测事实表明，在相同的天气背景下，其分布虽满足一般规律，但在不同地区仍存在较大的差异。为满足杭后工业园工程设计、施工和运维的需要，以园区所在区域内的杭锦后旗参证气象站建站以来长序列的有关气象资料为依据，结合园区规划的建设需求，进行园区工程区各相关气象参数推算。

### 7.1 暴雨强度公式

按照《城市暴雨强度公式编制规范》（DB15/T 2040-2020）规定的技术方法，编制了基于分钟降水量资料的短历时（120min 以内）暴雨强度公式，可适用于防涝规划设计及综合防灾减灾需要。暴雨强度公式推算采用的是杭锦后旗气象站 1980-2020 年的逐分钟降水强度资料。

#### 7.1.1 暴雨强度公式简介

##### （1）公式的定义及参数介绍

依据《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2016 版），暴雨强度公式的定义为：

$$q = \frac{167A_1(1+C \lg P)}{(t+b)^n} \quad (7.1-1)$$

式中：

$q$ ——暴雨强度（单位：L/(S·hm<sup>2</sup>））；

$P$ ——重现期（单位：a），取值范围为2a~100a；

$t$ ——降雨历时（单位：min），取值范围为1~180min；

$A_1$ 、 $b$ 、 $C$ 、 $n$ 是与地方暴雨特性有关且需求解的参数；

$A_1$ ——雨力参数，即重现期为1a时的1min设计降雨量（单位：mm）；

$C$ ——雨力变动参数；

$b$ ——降雨历时修正参数（单位：min）；

$n$ ——暴雨衰减指数，与重现期有关。

## （2）雨强单位的转换

室外排水设计采用的雨水参数是以体积（容量）来表达，需将以毫米（mm）为单位的降水强度，转换为以升（L）为单位的降水体积（容量）。单位时间（min）单位面积（hm<sup>2</sup>）1mm降水量转换为容量（L）时，经过以下换算过程：

$$1\text{mm}=0.001\text{m}$$

$$1\text{hm}^2=10000\text{m}^2$$

$$1\text{hm}^3=1000\text{L}$$

$$1\text{hm}^2 \times 0.001\text{m} = 10\text{m}^3 = 10000\text{L}$$

即单位时间（min）单位面积（hm<sup>2</sup>）的1mm降水换算成容量为10000L，单位时间为1s时，单位面积为1hm<sup>2</sup>的降水容量为10000/60≈167（L/S/hm<sup>2</sup>），则雨强 $q$ （L/S/hm<sup>2</sup>）与雨强 $i$ （mm/min）之间可以 $q \approx 167i$ 进行换算。

### (3) 暴雨强度的频率和重现期的计算公式

暴雨强度重现期  $P$  是指相等或者超过它的暴雨强度出现一次的平均时间, 单位用年表示。对于年最大值法, 其经验频率( $P_m$ )和重现期( $T_m$ )按照下式计算:

$$P_m = \frac{m}{N+1} \quad (7.1-2)$$

$$T_m = \frac{N+1}{m} \quad (7.1-3)$$

式中:  $m$ ——系列各特征值由大到小排列的序位,  $m=1,2,\dots,N$ ;

$N$ ——资料年限。

年最大值法中 1、2、3、5、10、20、50、100 年重现期相对应的频率为: 99.9%、50%、33.3%、20%、10%、5%、2%、1%。

### (4) 暴雨强度公式求算

暴雨强度公式计算系统按功能分为暴雨数据采集、暴雨数据选样、理论频率曲线拟合及误差分析、暴雨公式参数估计及误差分析、结果输出等 5 大模块和计算步骤。具体计算流程如下:

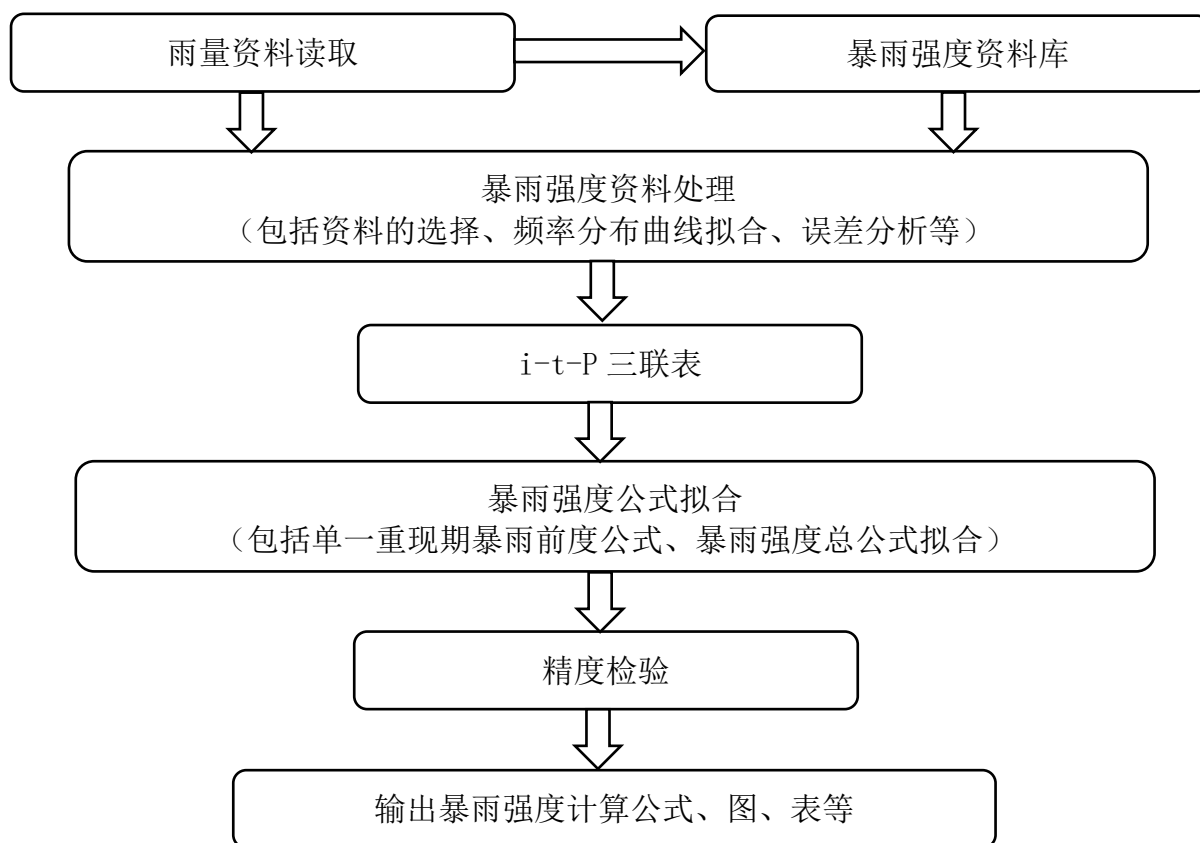


图 7.1-1 暴雨强度公式编制流程图

## (5) 曲线拟合及误差控制

### 1) 暴雨强度公式参数估计算法

在暴雨强度公式的编制中，选取的各历时降雨资料应通过经验频率曲线或理论频率曲线加以调整，在条件许可时尽量采用理论频率曲线。国标(GB50014-2006)中推荐采用皮尔逊-III型、耿贝尔分布和指数型分布函数进行各历时降水的概率分布拟合。由于各地降水特性有所差异，宜先利用本地暴雨样本数据，进行多种概率分布函数的拟合试验，从中选取拟合效果较好的概率分布函数。

选定理论频率分布函数后，暴雨强度公式的参数优化同样非常重要，即找到一条最优的理论曲线能更好的拟合 i-t-P (即“雨强-历时-重现期”，下同)三者之间的关系。从式(7.1-1)可以看出，暴雨强度公式为已知关系式的超定非线性

性方程，公式中有  $A_1$ 、 $C$ 、 $B$ 、 $n$  这 4 个参数，显然常规方法无法求解，因此参数估计方法的设计和减少估算误差尤为关键。本项目运用最小二乘法和高斯牛顿法两种方法对式（7.1-1）进行参数估算。

## 2) 精度检验

为确保计算结果的准确性，需对暴雨强度计算结果进行精度检验，按《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2016 版）的要求，采用年最大值法需计算重现期 2~20 年的暴雨强度的平均绝对均方根误差（ $X_m$ ，下同）和平均相对均方根误差（ $U_m$ ，下同）。在一般强度的地方，平均绝对均方根误差不宜大于 0.05 mm/min。在较大强度的地方，平均相对均方根误差不宜大于 5%。

$$\text{平均绝对均方根误差：} X_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \quad (7.1-4)$$

$$\text{平均相对均方根误差：} U_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{R'_i - R_i}{R_i} \right)^2} \times 100\% \quad (7.1-5)$$

式中， $R'$  为理论降水量， $R$  为实际降水量， $t$  为降水历时， $n$  为样本数。

## 7.1.2 暴雨强度公式

根据《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2016 版）要求，“年最大值法”编制暴雨强度公式需要 30 年以上连续降水资料。本章所用气象资料为杭锦后旗气象站 1980-2020 年逐分钟降水资料。

### （1）样本资料的理论频率分布曲线拟合

选用指数分布、耿贝尔分布、P-III 分布以及曲线对降水样本资料进行频率调整。在原始降水资料的基础上，分别利用指数分布、耿贝尔分布、P-III 型分布曲线拟合出不同历时降水强度随重现期的变化曲线（见图 7.1-2~7.1-4）。

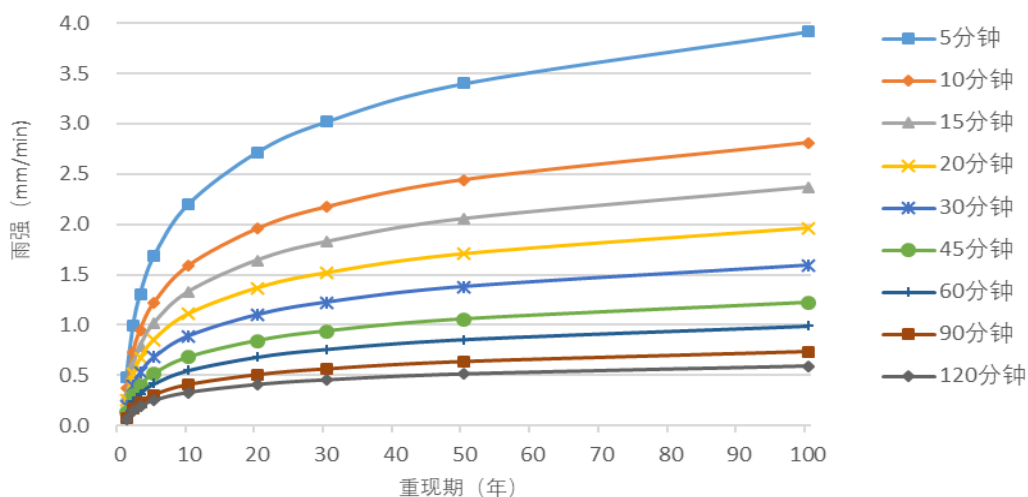


图 7.1-2 不同历时降水强度随重现期的变化指数曲线拟合曲线

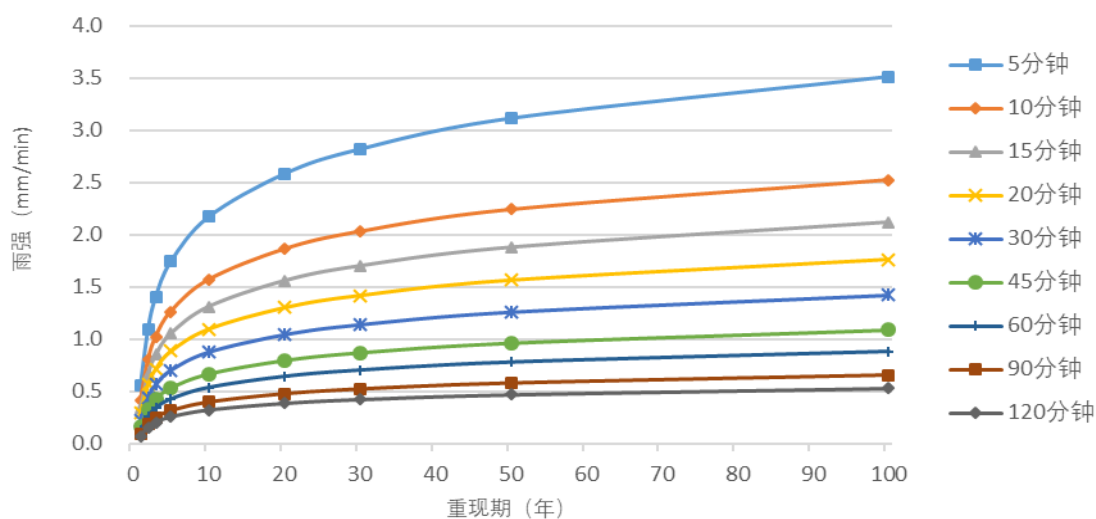


图 7.1-3 不同历时降水强度随重现期的变化耿贝尔曲线拟合曲线

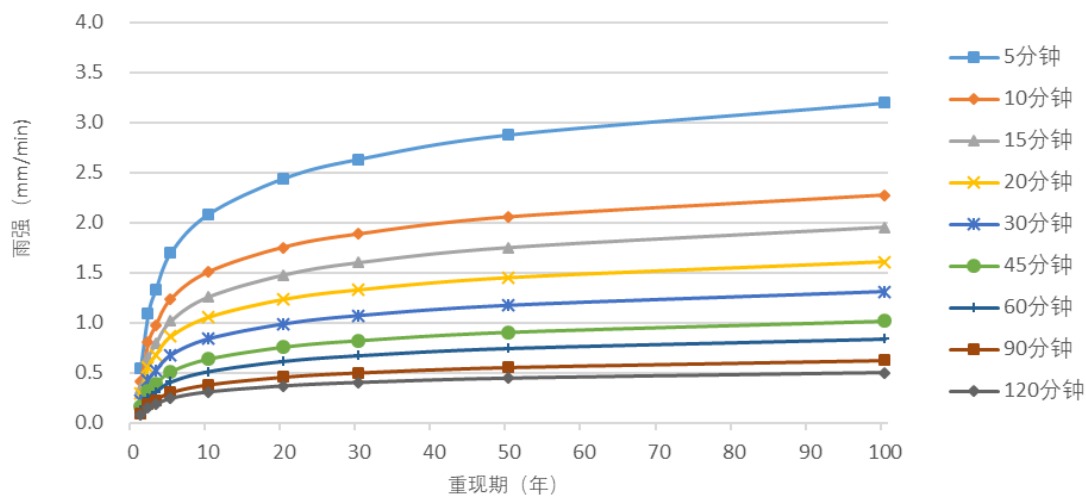


图 7.1-4 不同历时降水强度随重现期的变化 P-III 曲线拟合曲线



对各历时统计的暴雨强度样本进行指数分布、耿贝尔分布、P-III 型分布理论拟合，求出各降水历时暴雨强度频率分布参数（表 7.1-1）。

表 7.1-1 杭锦后旗暴雨强度频率三种分布曲线参数

	降水历时（单位：分钟）									
	参数	5	10	15	20	30	45	60	90	120
指数分布	离散程度	124.5503	88.5788	75.0713	61.79	50.8697	39.3588	31.9961	23.7868	19.108
	曲线下限	80.472	61.3518	49.369	43.205	31.3208	22.7418	17.6881	12.6474	10.492
耿贝尔分布	尺度参数	95.445	67.943	57.321	47.347	38.824	29.883	24.333	18.154	14.673
	位置参数	147.644	109.089	89.969	76.532	58.842	44.12	35.045	25.516	20.782
P-III 型分布	变差系数 $C_v$	1	0.9	1.1	1	1.1	1.2	1.4	1.4	1.3
	偏态系数 $C_s$	0.554	0.539	0.548	0.536	0.562	0.573	0.583	0.594	0.591

基于频率分布曲线，得出降水强度、降水历时、重现期三者的关系，即 i-t-P 三联表（见表 7.1-2~表 7.1-4）。i-t-P 三联表中的数据将作为暴雨强度公式参数估算的原始资料。

表 7.1-2 杭锦后旗指数分布曲线拟合后的 i-t-P 三联表（雨强 i 单位:mm/min）

重现期（年）	降水历时（分钟）								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
100	3.916	2.810	2.366	1.963	1.590	1.222	0.988	0.732	0.590
50	3.399	2.442	2.054	1.706	1.379	1.058	0.855	0.633	0.510
30	3.019	2.171	1.825	1.517	1.224	0.938	0.758	0.560	0.452
20	2.716	1.956	1.642	1.367	1.100	0.842	0.680	0.502	0.406
10	2.199	1.589	1.331	1.111	0.889	0.679	0.547	0.404	0.326
5	1.682	1.221	1.019	0.854	0.678	0.515	0.414	0.305	0.247
3	1.301	0.950	0.789	0.665	0.522	0.395	0.316	0.232	0.189
2	0.999	0.735	0.607	0.515	0.399	0.300	0.239	0.174	0.142
1	0.482	0.367	0.296	0.259	0.188	0.136	0.106	0.076	0.063

表 7.1-3 杭锦后旗耿贝尔曲线拟合后的  $i-t-P$  三联表 (雨强  $i$  单位: mm/min)

重现期 (年)	降水历时 (分钟)								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
100	3.513	2.525	2.118	1.763	1.422	1.087	0.880	0.653	0.529
50	3.114	2.241	1.878	1.565	1.259	0.962	0.778	0.577	0.467
30	2.818	2.030	1.700	1.418	1.139	0.870	0.703	0.521	0.422
20	2.582	1.862	1.558	1.300	1.043	0.796	0.643	0.476	0.385
10	2.170	1.569	1.311	1.096	0.876	0.667	0.538	0.397	0.322
5	1.741	1.264	1.054	0.884	0.701	0.533	0.428	0.316	0.256
3	1.400	1.021	0.849	0.714	0.562	0.426	0.341	0.251	0.204
2	1.094	0.802	0.665	0.562	0.438	0.330	0.263	0.193	0.157
1	0.551	0.416	0.339	0.293	0.217	0.160	0.125	0.089	0.073

表 7.1-4 杭锦后旗 P-III 型曲线拟合后的  $i-t-P$  三联表 (雨强  $i$  单位: mm/min)

重现期 (年)	降水历时 (分钟)								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
100	3.195	2.270	1.954	1.604	1.310	1.014	0.840	0.624	0.499
50	2.877	2.053	1.751	1.447	1.173	0.904	0.746	0.553	0.444
30	2.632	1.884	1.600	1.325	1.071	0.822	0.673	0.499	0.401
20	2.440	1.752	1.477	1.230	0.988	0.757	0.616	0.456	0.368
10	2.082	1.506	1.258	1.053	0.839	0.639	0.513	0.379	0.309
5	1.698	1.238	1.020	0.862	0.678	0.513	0.409	0.301	0.246
3	1.328	0.974	0.793	0.678	0.525	0.393	0.309	0.227	0.185
2	1.089	0.804	0.654	0.560	0.430	0.322	0.252	0.184	0.151
1	0.546	0.408	0.340	0.291	0.218	0.163	0.132	0.095	0.076

## (2) 暴雨强度公式计算结果及精度检验

按照地方标准 (DB15/T 2040-2020) 的技术要求, 分别用理论频率分布曲线方法对暴雨强度样本进行曲线拟合得到  $i-t-P$  三联表, 然后分别用最小二乘法、高斯牛顿法计算暴雨强度总公式和分公式各参数及相应的公式精度误差。

### 1) 最小二乘法

利用指数分布、耿贝尔分布以及 P-III 分布曲线得到的  $i-t-P$  三联表数据, 分别用最小二乘法计算暴雨强度总公式、分公式各参数, 并计算各重现期下相应的精度误差, 其结果见表 7.1-5。

指数分布、耿贝尔分布、P-III 分布下的总公式 2~20 年的绝对均方根误差均大于 0.05mm/min, 相对均方根误差均大于 5%, 未达到《室外排水设计规范》(GB50014-2006, 2016 版) 提出的精度检验要求。

表 7.1-5 杭锦后旗最小二乘法所求暴雨强度分公式误差一览表

误差		总公式	分公式
		2-20(a)	2-20(a)
指数分布	$\delta$ (mm/min)	0.122	0.016
	$f$ (%)	13.76	1.52
耿贝尔分布	$\delta$ (mm/min)	0.067	0.016
	$f$ (%/min)	7.91	1.66
P-III分布	$\delta$ (mm/min)	0.059	0.018
	$f$ (%)	9	2.13

由表 7.1-5 可见, 最小二乘法总公式同分公式的结论差距较大。分公式就绝对均方根误差和相对均方根误差而言, 三种分布曲线模拟结果均通过精度检验。

## 2) 高斯牛顿法

利用指数分布、耿贝尔分布以及 P-III 分布曲线得到的 i-t-P 三联表数据, 分别用高斯牛顿法计算暴雨强度总、分公式各参数 (高斯牛顿法计算得到的分公式来自总公式), 并计算各重现期下相应的精度误差, 其结果见表 7.1-6。

结果表明, 使用高斯牛顿方法指数分布、耿贝尔分布通过检验; P-III 分布未通过检验, 相对误差 (5.24%) 未通过检验。针对杭锦后旗气象站的暴雨特点分析, 高斯牛顿方法更适用该区域。

表 7.1-6 杭锦后旗高斯牛顿所求暴雨强度总、分公式误差一览表

误差		T2-20(a)
指数分布	$\delta$ (mm/min)	0.015
	$f$ (%)	3.46
耿贝尔分布	$\delta$ (mm/min)	0.027
	$f$ (%)	3.33
P-III分布	$\delta$ (mm/min)	0.038
	$f$ (%)	5.24

注： $\delta$  表示绝对误差，单位是毫米/分钟； $f$  表示相对误差，单位是%。

综合分析，采用耿贝尔分布曲线-高斯牛顿法拟合暴雨强度公式的效果最好，且达到了《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2016 版）要求。

### （3）结论

利用近 40a 资料，采用耿贝尔分布曲线-高斯牛顿法求参拟合的杭锦后旗暴雨强度公式如下：

#### 1) 总公式

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

表 7.1-7 杭锦后旗暴雨强度分公式参数一览表

P (年)	单位: mm/min			单位: L/s/hm <sup>2</sup>		
	A	b	n	167A	b	n
2	5.861623	4.850	0.733	978.891	4.850	0.733
3	7.225246	4.850	0.733	1206.616	4.850	0.733
5	8.943204	4.850	0.733	1493.515	4.850	0.733
10	11.27434	4.850	0.733	1882.814	4.850	0.733
20	13.60547	4.850	0.733	2272.113	4.850	0.733
30	14.96909	4.850	0.733	2499.838	4.850	0.733
50	16.68705	4.850	0.733	2786.737	4.850	0.733
100	19.01818	4.850	0.733	3176.036	4.850	0.733

注：A——雨力参数，即重现期为1 a时的1min 设计降雨量（单位：mm）； b——降雨历时修正参数（单位：min）； n——暴雨衰减指数。

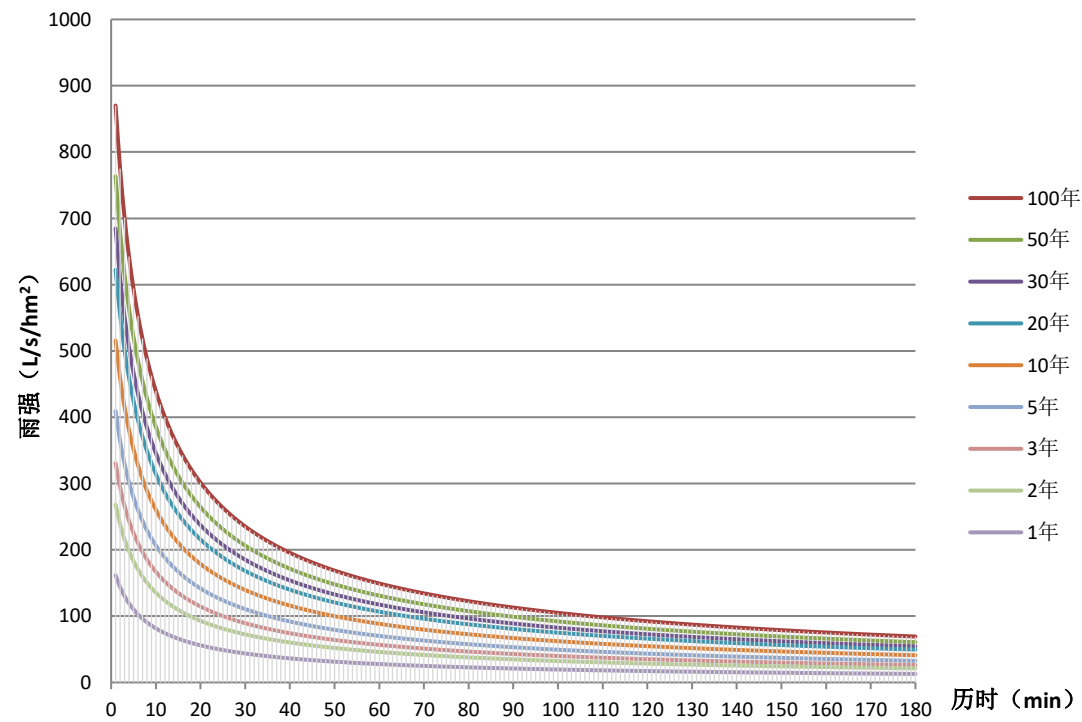


图 7.1-5 不同重现期暴雨强度曲线图

## 7.2 区域雷电环境评价

项目分析所用地闪定位数据，为内蒙古自治区气象局 56 站 ADTD 型地闪定位系统 2014-2021 年的资料（内蒙古气象部门 2013 年建成覆盖全区范围的地闪定位系统），探测仪通过测量云地闪回击电流辐射的强电磁脉冲，采用磁定向和时差联合法对地闪进行定位，包含每次地闪发生的具体日期、时间、经纬度、回击电流幅值等参数，杭后工业园周边地闪定位仪站点分布见图 7.2-1。

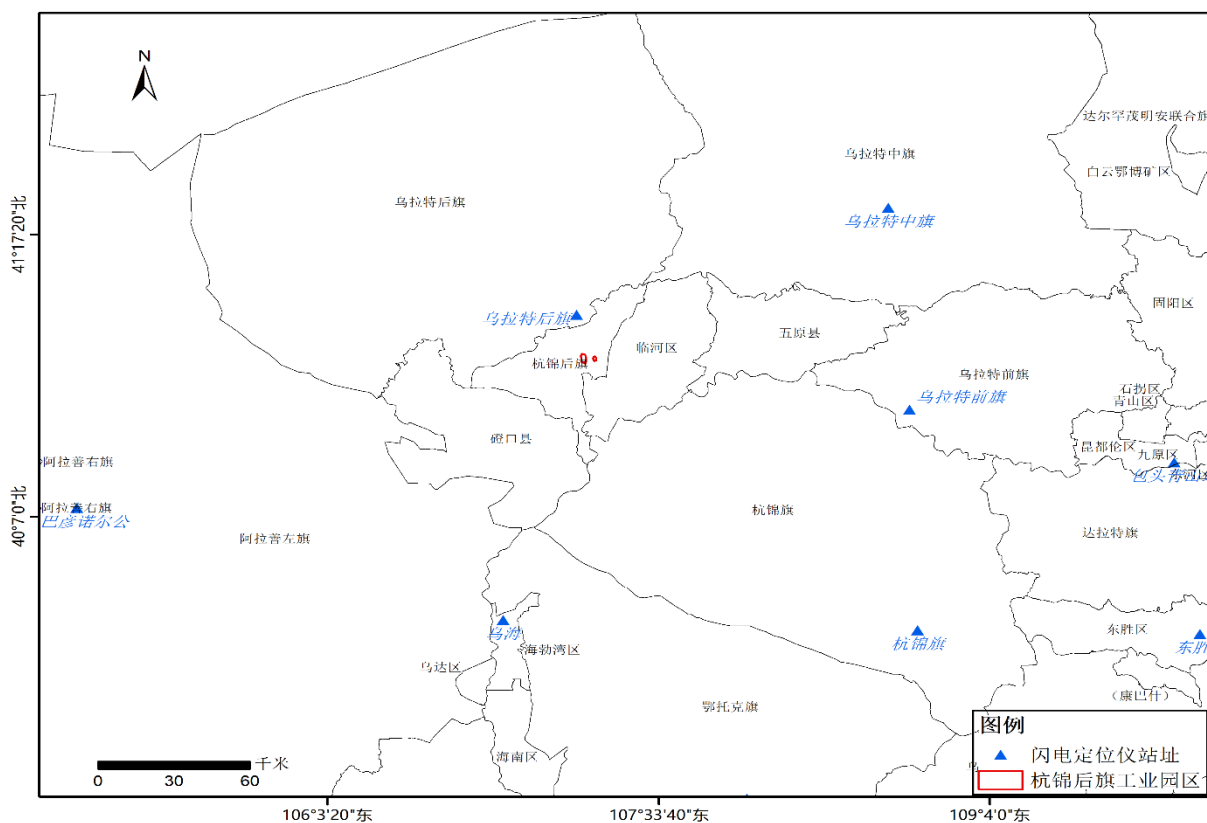


图 7.2-1 杭后工业园周边地闪定位仪站点分布图

根据杭后工业园所在地雷电活动时空分布特征及其危害特征，结合现场情况进行分析，对杭后工业园雷电可能导致的人员伤亡、财产损失程度与危害范围等方面的综合风险计算，从而为杭后工业园的功能分区布局、防雷类别与防雷措施确定、雷灾事故应急方案提出建设性意见。

### 7.2.1 评估模型

区域雷电灾害评估模型由区域雷电灾害风险指数计算和区域雷电灾害风险等级划分组成。区域雷电灾害风险指数由雷电参数、地域环境和承灾体3个评价因子构成，如图7.2-2所示。

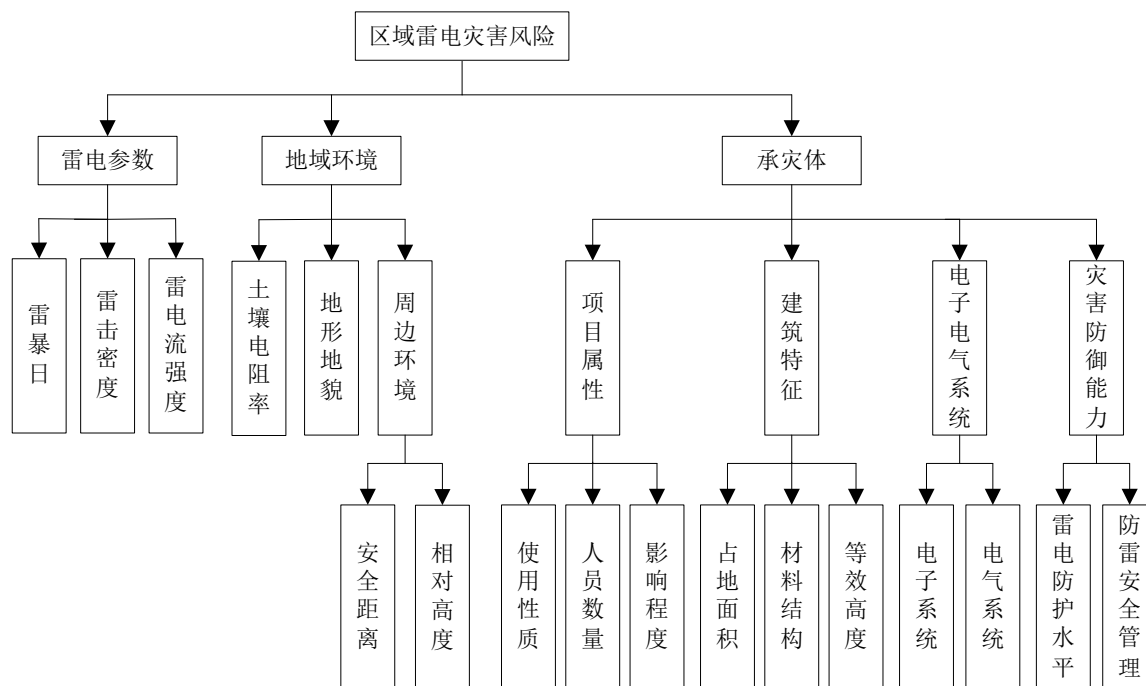


图 7.2-2 区域雷电灾害风险评估模型

### 7.2.2 评估方法

#### (1) 风险指标分类

风险指标分为定性指标和定量指标两大类。定性指标有地形地貌、安全距离、相对高度、使用性质、影响程度、材料结构、电子系统、电气系统、区域雷电防护水平、区域防雷安全管理。

定量指标又分为极小型指标和极大型指标两种，其中雷暴日、雷击密度、雷电流强度、人员数量、占地面积、等效高度为极小型指标，土壤电阻率为极

大型指标。

## (2) 评估指标隶属度计算

### 1) 定性指标隶属度的确定

定性指标隶属度的确定方法是将资料收集、现场勘测后的具体情况与该定性指标的分级标准相比较，当其符合某一个危险等级的描述，则说明该指标完全隶属于该危险等级，即隶属度=1。

### 2) 定量指标隶属度的计算

各定量指标隶属度应分别按照极小型或极大型指标隶属度公式计算，参见下式。指向同一上层指标的各子指标隶属度构成隶属度矩阵  $R$ 。

#### a. 极小型指标隶属度计算公式

对于 I 级(  $j=1$ ):

$$\mu_{v_j}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \leq v_1 \\ \frac{v_2 - r_{ij}}{v_2 - v_1} & v_1 < r_{ij} < v_2 \\ 0 & r_{ij} \geq v_2 \end{cases}$$

式中:

$r_{ij}$ ——指向同一上层指标的第  $i$  个子指标实际值;

$\mu_{v_j}(r_{ij})$ ——第  $i$  个子指标隶属第  $j$  级的隶属度。

对于 II、III、IV 级(  $j=2,3,4$ ):

$$\mu_{v_i}(r_{ij}) = \begin{cases} 0 & r_{ij} \leq v_{j-1} \\ \frac{r_{ij} - v_{j-1}}{v_j - v_{j-1}} & v_{j-1} < r_{ij} \leq v_j \\ 1 & r_{ij} = v_j \\ \frac{v_{j+1} - r_{ij}}{v_{j+1} - v_j} & v_j < r_{ij} \leq v_{j+1} \\ 0 & r_{ij} \geq v_{j+1} \end{cases}$$



对于V级( $j=5$ ):

$$\mu_{v_j}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq v_5 \\ \frac{r_{ij} - v_4}{v_5 - v_4} & v_4 < r_{ij} < v_5 \\ 0 & r_{ij} \leq v_4 \end{cases}$$

$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$ ——风险指标因子在各分级区间的中间值。

### b.极大型指标隶属度计算公式

对于 I 级( $j=1$ ):

$$\mu_{v_j}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \geq v_5 \\ \frac{r_{ij} - v_4}{v_5 - v_4} & v_4 < r_{ij} < v_5 \\ 0 & r_{ij} \leq v_4 \end{cases}$$

对于 II、III、IV 级( $j=2,3,4$ ):

$$\mu_{v_j}(r_{ij}) = \begin{cases} 0 & r_{ij} \geq v_{j-1} \\ \frac{r_{ij} - v_{j-1}}{v_j - v_{j-1}} & v_j < r_{ij} < v_{j-1} \\ 1 & r_{ij} = v_j \\ \frac{v_{j+1} - r_{ij}}{v_{j+1} - v_j} & v_{j+1} < r_{ij} < v_j \\ 0 & r_{ij} \leq v_{j+1} \end{cases}$$

对于 V 级( $j=5$ ):

$$\mu_{v_j}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & r_{ij} \leq v_5 \\ \frac{v_4 - r_{ij}}{v_4 - v_5} & v_5 < r_{ij} < v_4 \\ 0 & r_{ij} \geq v_4 \end{cases}$$

### (3) 综合评估

区域雷电灾害风险评估综合评估基本公式如下，其权重大小可根据层次分析法确定。

$$B = W \cdot R = (w_1, w_2, \dots, w_m) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m5} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5]$$

式中：

$B$ ——评估指标的隶属度向量；

$W$ ——评估指标的权重向量；

$R$ ——评估指标的隶属度矩阵。

### 1) 评估结果计算

通过多级综合评估，由第四层指标向第一层指标逐级计算得出“雷电灾害区域风险”的隶属度向量。通过加权平均的方法量化得到综合评估结果 $g$ 值：

$$g = b_1 + 3 \times b_2 + 5 \times b_3 + 7 \times b_4 + 9 \times b_5$$

式中：

$b_1$ ——目标与评估等级 I 的隶属度；

$b_2$ ——目标与评估等级 II 的隶属度；

$b_3$ ——目标与评估等级 III 的隶属度；

$b_4$ ——目标与评估等级 IV 的隶属度；

$b_5$ ——目标与评估等级 V 的隶属度。

### 2) 风险等级判定

根据综合评估结果 $g$ 值，按照表7.2-1进行风险等级判定。

表 7.2-1 区域雷电灾害风险等级

危险等级	风险分级
	综合评价用 $g$ 表示, $g$ 值越小代表区域内项目雷击致灾风险越低, $g$ 值越大代表区域内项目雷击致灾风险越高, $g$ 值区间[0, 10]
I 级	综合评价 $0 \leq g < 2$ , 低风险
II 级	综合评价 $2 \leq g < 4$ , 较低风险
III 级	综合评价 $4 \leq g < 6$ , 中等风险
IV 级	综合评价 $6 \leq g < 8$ , 较高风险
V 级	综合评价 $8 \leq g \leq 10$ , 高风险

### 7.2.3 结果分析

#### (1) 现场勘测情况

通过对杭后工业园及周边 10km 范围内地区的闪电定位数据分析可知: 雷击大地密度分别为  $0.63$  次/ $\text{km}^2$ , 雷电流平均强度  $28.76\text{kA}/\text{km}^2$ , 实测土壤电阻率均值为  $82.9 \Omega \cdot \text{m}$ 。对园区现场勘测得到防雷安全状况如下: 本次论证范围共包含两个区域, 杭后工业园东区和西区。园区内工业厂房防雷设计按照三类或二类设计, 部分易燃易爆场所防雷设计应按照一类设计, 低压电力及通信线路埋地接入, 若发生雷击事故, 医疗救援和消防救援均可在 1 小时到达。

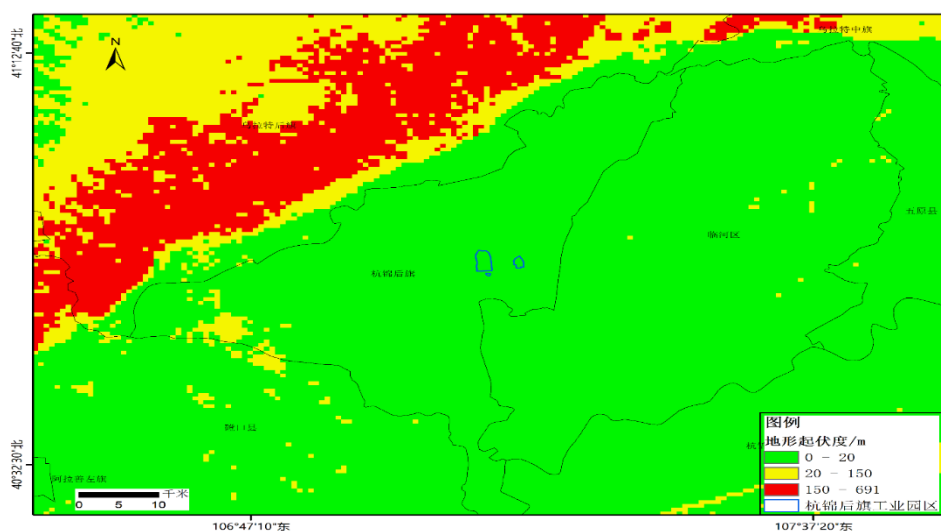


图 7.2-3 杭后工业园所在地地形地貌

## （2）评估指标的权重

综合考虑杭后工业园雷电区域评估指标，按照层次分析法分别计算不同层级指标的权重，计算结果如表 7.2-2。

表 7.2-2 不同层级指标的权重

准则层 A	A 层权重	指标层 B	B 层权重	方案层 C	C 层权重	备注
A1 雷电参数	0.50	B1 雷暴日	0.40	/	/	
		B2 雷击密度	0.40	/	/	
		B3 雷电流强度	0.20	/	/	
A2 地域环境	0.17	B4 土壤电阻率	0.20	/	/	
		B5 地形地貌	0.20	/	/	
		B6 周边环境	0.60	C1 安全距离	0.50	
				C2 相对高度	0.50	
A3 承灾体	0.33	B7 项目属性	0.20	C3 使用性质	0.43	
				C4 人员数量	0.43	
				C5 影响程度	0.14	
		B8 建筑特征	0.20	C6 占地面积	0.46	
				C7 材料结构	0.32	
				C8 等效高度	0.22	
		B9 电子电气系统	0.20	C9 电子系统	0.33	
				C10 电气系统	0.67	
		B10 灾害防御能力	0.40	C11 雷电防护水平	0.75	
				C12 防雷安全管理	0.25	

## （3）评估指标的隶属度

按照附录 A 的区域风险评估指标分级标准对杭后工业园现场的雷击安全现状各指标隶属度进行计算，具体值见表 7.2-3。

表 7.2-3 评估指标隶属度

评估指标	各危险等级隶属度值				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷暴日	0.50	0.50	0	0	0
雷击密度	0	0.51	0.49	0	0
雷电流强度	0	0.62	0.38	0	0
土壤电阻率	0	0	0	0.22	0.78
地形地貌	0.5	0.5	0	0	0
安全距离	0	1	0	0	0
相对高度	0	0	0	1	0
使用性质	0	0	0	0	1
人员数量	0	0	0	0	1
影响程度	0	0	0	1	0
占地面积	0	0	0	1	0
材料结构	0	0	0	0	1
等效高度	0	0	1	0	0
电子系统	0	0	1	0	0
电气系统	0	0	0	1	0
雷电防护水平	0	0	1	0	0
防雷安全管理	0	0	0	1	0

#### (4) 区域评估结果

通过多级综合评估，由第四层指标向第一层指标逐级计算得出“区域雷击风险”的隶属度向量。通过加权平均的方法量化得到综合评估结果 $g$ 值为4.58，按照雷电灾害区域风险分级标准该杭后工业园区区域雷击风险等级为III级，属于中等风险，产生雷击灾害事故的可能性较大。

### 7.3 风速极值推算

对于本园区设计而言，需要对杭锦后旗气象站的最大风速原始资料进行以下处理：首先，应对气象站风速原始资料的可靠性、一致性和代表性进行审查，对特大风速值可通过天气分析、重现期分析、地区比审、气象要素相关、查阅史籍记载等方面审查。其次，应采用自记式风速仪记录的 10min 平均最大风速

资料,风速仪标准高度应为 10m;当观测的风速仪高度与标准高度相差较大时,可按下式换算到标准高度的风速  $V$ :

$$V = V_z \left( \frac{10}{Z} \right)^\alpha$$

式中:  $V_z$  为风速仪观测风速 (m/s);  $Z$  为风速仪实际高度 (m);  $\alpha$  为地面粗糙度系数,杭锦后旗取值 0.16。

据此标准,对杭锦后旗气象站的年最大风速资料进行统计和订正,其年最大风速的年际变化见图 7.3-1。

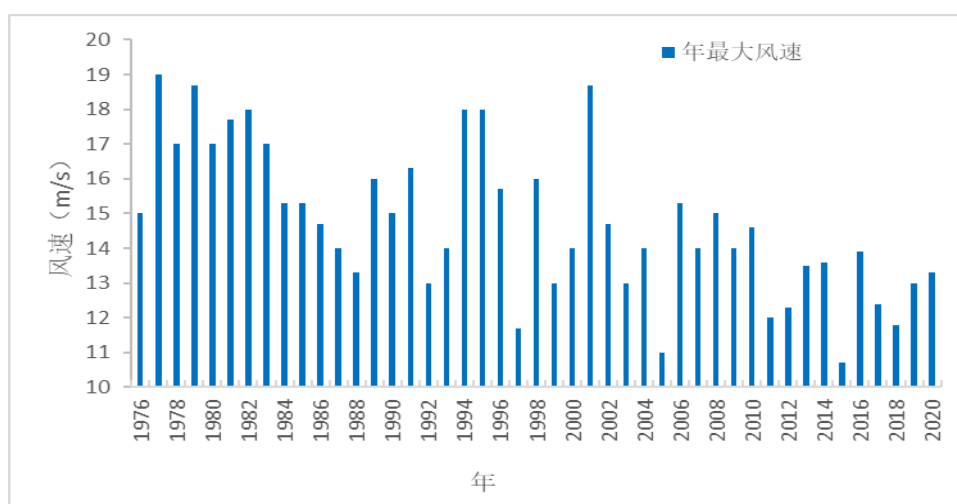


图 7.3-1 1976-2020 年杭锦后旗气象站逐年最大风速变化

### 7.3.1 设计风速推算

概率计算方法主要采用了耿贝尔 Gumbel 分布、皮尔逊 PIII 分布和广义极值分布,上述方法均来自于《现代应用统计学》。具体的推算方法详见附录 4。

#### (1) Gumbel、PIII 分布计算基本风速

利用耿贝尔 Gumbel 分布、PIII 分布计算出杭锦后旗不同重现期的基本风速,见表 7.3-1 所示。

表 7.3-1 利用 Gumbel、PIII 计算出杭锦后旗气象站不同重现期的基本风速 (m/s)

参数估算法	100 年一遇	50 年一遇	30 年一遇	20 年一遇	10 年一遇
耿贝尔法	25.6	23.8	22.5	21.4	19.6
PIII	25.2	23.4	22.1	21.0	19.1

## (2) 广义极值分布计算基本风速

目前对设计基本风速的计算一般用 Gumbel、PIII 分布来拟合,在实际问题中,如果知道风速的基本类型,并且能验证其是否满足极值分布吸引场的条件,就可以确定相关问题的极值分布到底是何类型,但是通常只能得到观测数据,而其分布具有何种形式是难以确定的,另一方面,即使知道其类型,要验证是否满足其极大值极值分布吸引场的条件也较困难,而广义极值分布包含了 Gumbel, Frechet 及 Weibull 分布,将三种极值分布统一在一起,是一个较为完整的极值分布体系,不必考虑原始分布的类型,能够避免单独采用某一分布的不足。以下利用广义极值分布计算设计基本风速。具体的推算方法详见附录 4。

利用广义极值分布计算出杭锦后旗气象站不同重现期的基本风速(见表 7.3-2)。比较发现,利用广义极值与耿贝尔、PIII 计算的基本风速较为接近,使用广义极值分布计算的 100 年一遇 10min 平均最大风速 25.6m/s, 50 年一遇 10min 平均最大风速 23.4m/s。

表 7.3-2 利用广义极值分布计算出杭锦后旗气象站不同重现期的基本风速 (m/s)

参数估算法	100 年一遇	50 年一遇	30 年一遇	20 年一遇	10 年一遇
广义极值	25.6	23.4	21.9	20.8	18.9

根据表 7.3-2 可知,杭后工业园 100 年一遇最大风速的推荐值为 25.6m/s、50 年一遇最大风速的推荐值为 23.8m/s。

## (3) 拟合适度检验

按照参数检验法(柯尔莫戈洛夫拟合适度检验)的方法,对杭锦后旗站的

最大风速分布模型的合理性进行检验，广义极值（GEV）分布下=0.50，耿贝尔分布下=0.71，小于检验阈值 1.35，因此样本序列服从该型概率分布。

### 7.3.2 基本风压推算

采用杭锦后旗气象站的资料进行内蒙古杭后工业园设计风速的推算。根据表 7.3-2 可知，内蒙古杭后业园区 100 年一遇最大风速的推荐值为 25.6m/s、50 年一遇最大风速的推荐值为 23.8m/s。

风荷载的基准压力，一般按当地空旷平坦地面上 10m 高度处 10min 平均的风速观测数据，经概率统计得出各个重现期最大风速，再考虑相应的空气密度，按贝努利公式确定风压。

推荐基本风压应采用规范规定的方法确定的 50 年重现期的风压，但不能小于 0.3KN/m<sup>2</sup>。对于高层建筑、高耸结构以及对风荷载比较敏感的其他结构，基本风压的取值应适当提高，并应符合有关结构设计规范的规定。

基本风压应按下式计算：

$$W_0 = \frac{1}{2} \rho V_0^2$$

式中： $W_0$  为基本风压（kN/m<sup>2</sup>）； $V$  为某一重现期离地 10m 高度自记 10min 平均最大风速（m/s）； $\rho$  为空气密度（kg/m<sup>3</sup>）。

空气密度  $\rho$  按下式计算：

$$\rho = \frac{0.001276}{1 + 0.00366t} \left( \frac{P - 0.378e}{100000} \right)$$

式中： $P$  为气压（Pa）； $t$  为气温（℃）； $e$  为水汽压（Pa）。

根据上式计算，得到杭锦后旗气象站的空气密度为 1.11185kg/m<sup>3</sup>，再利用



该地 50 年一遇的 10m 高度年最大风速计算得到基本风压为  $0.36\text{KN/m}^2$ 。再结合《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）的附图 E.6.3 给出的基本风压分布图，同时考虑工程安全性，推荐采用计算得到的基本风压值，因此杭后工业园 50 年一遇 10m 高度的基本风压定为  $0.36\text{kN/m}^2$ 。

### 7.3.3 不同高度不同重现期平均最大风速推算

查阅和参考《公路桥梁抗风设计规范》关于地表粗糙度分类，工业园类似于表中农地、田园、平坦开阔地；树木及低层建筑物稀少地区的情况，因此采用 II 类地表粗糙度，风廓线指数为 0.16（见表 7.3-3）。最终采用  $\alpha=0.16$  推算出离地 20m、30m、50m、70m、100m 高度不同重现期最大风速值，其中 50 年重现期下的最大风速值为设计基准风速，结果见表 7.3-4。由表 7.3-4 可知，杭后工业园 10m、20m、30m、50m、70m、100m 推荐设计风速分别为 23.8 m/s、26.6 m/s、28.4 m/s、30.8 m/s、32.5 m/s、34.4 m/s。

表 7.3-3 地表状况及地表粗糙度分类

类别	地表状况	$\alpha$
I	海上、海岸	0.12
II	农地、田园、平坦开阔地；树木及低层建筑物稀少地区	0.16
III	树木及低层建筑物密集地区；中、高层建筑物稀少地区；平缓的丘陵地	0.22
IV	中、高层建筑物稀密集地区；起伏较大的丘陵山地	0.30

表 7.3-4 杭后工业园不同高度不同重现期 10min 平均最大风速 (m/s)

高度 (m)	10min 平均最大风速				
	100 年一遇	50 年一遇	30 年一遇	20 年一遇	10 年一遇
10	25.6	23.8	22.5	21.4	19.6
20	28.6	26.6	25.1	23.9	21.9
30	30.5	28.4	26.8	25.5	23.3
50	33.1	30.8	29.1	27.7	25.3
70	35	32.5	30.7	29.2	26.7
100	37	34.4	32.5	31	28.3

## 7.4 最高、最低气温极值及室外空气计算参数推算

### 7.4.1 不同重现期设计气温（高温）与极端最高气温的推算

#### （1）资料来源及分析

按照《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）的规定，选取杭锦后旗气象站历年最热月的月平均最高气温来计算基本气温（高温）。由图 7.4-1 可知，杭锦后旗最热月的月平均最高气温的呈波动性变化，最热月平均最高气温集中在  $24.6^{\circ}\text{C}$ (1959 年 8 月)~ $31.7^{\circ}\text{C}$ (2000 年 7 月)之间。

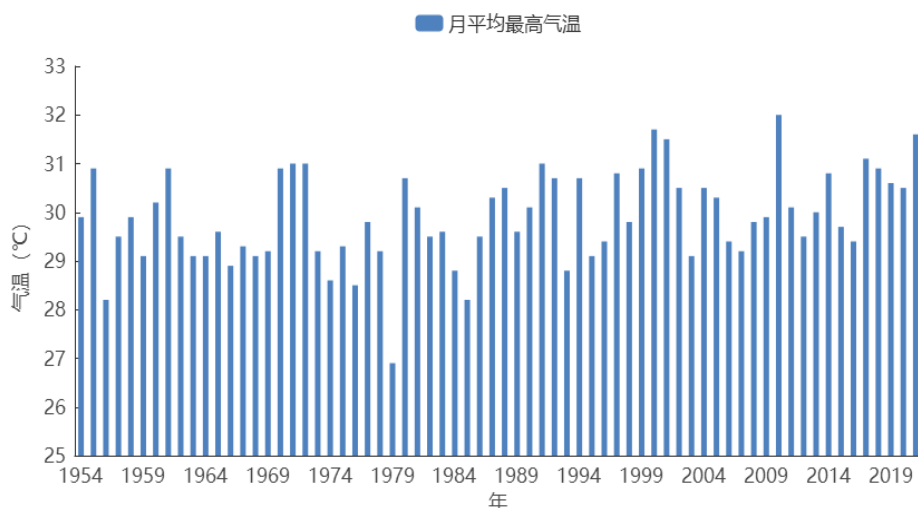


图 7.4-1 1954-2020 年杭锦后旗气象站最热月的月平均最高气温年际变化

另外，选取杭锦后旗气象站历年来极端最高气温来计算不同重现期的极端最高气温。从图 7.4-1 可见，逐年极端最高气温呈波动性变化，极端最高气温集中在  $33.0^{\circ}\text{C}$ ~ $38.4^{\circ}\text{C}$  之间。

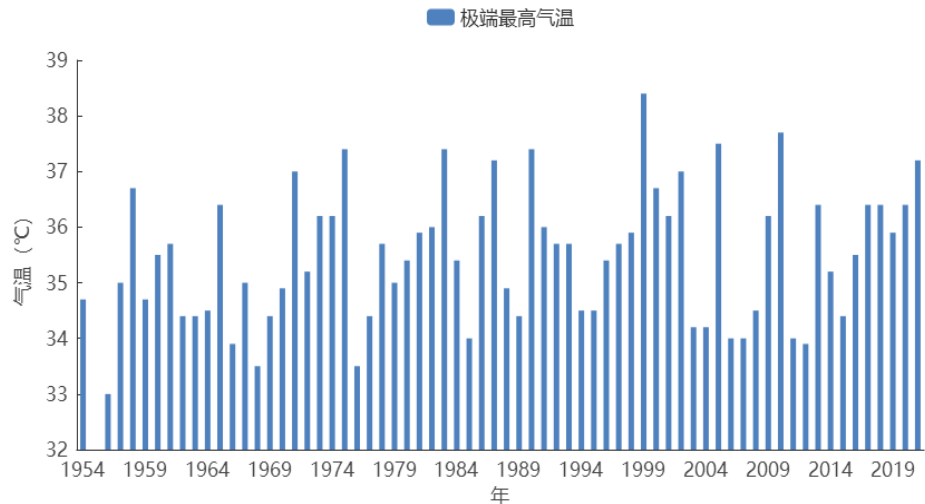


图 7.4-1 1954-2020 年杭锦后旗极端最高气温年际变化

(2) 基本气温（最高）的概率计算

使用的资料是杭锦后旗气象站 1954-2020 年最热月的月平均最高气温序列，有 67 年资料，符合《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）对资料的要求。为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，分别给出了耿贝尔法和 PIII 参数估计法计算出的结果。根据表 7.4-1 可知，采用杭锦后旗气象站的资料进行园区基本气温（高温）的推算。园区 50 年一遇月平均最高气温的推荐值为 32.6℃。

表 7.4-1 1954-2020 年杭锦后旗气象站不同重现期最热月的月平均最高气温(℃)

站名	设计频率	耿贝尔分布	PIII 分布	广义极值	最大值	资料年代
杭锦后旗	10 年一遇	31.3	31.2	31.1	31.3	1954-2020
	20 年一遇	31.9	31.5	31.5	31.9	
	30 年一遇	32.2	31.7	31.6	32.2	
	50 年一遇	32.6	32.0	31.8	32.6	
	100 年一遇	33.1	32.3	32.0	33.1	

(3) 年极端最高气温的概率计算

使用的资料是杭锦后旗气象站 1954-2020 年极端最高气温序列，有 67 年资料，符合指南或规范对资料的要求。使用耿贝尔、PIII 和广义极值分布计算

出不同重现期的极端高温，结果如表 7.4-2 所示。可知园区 50 年一遇极端最高气温的推荐值为 38.9℃。

表 7.4-2 1954-2020 年杭锦后旗气象站不同重现期极端最高气温(℃)

站名	设计频率	耿贝尔分布	PIII 分布	广义极值	最大值	资料年代
杭锦后旗	10 年一遇	37.2	37.1	37.1	37.2	1954-2020
	20 年一遇	38.0	37.6	37.6	38	
	30 年一遇	38.4	37.8	37.9	38.4	
	50 年一遇	38.9	38.1	38.2	38.9	
	100 年一遇	39.6	38.5	38.5	39.6	

## 7.4.2 不同重现期设计气温（低温）与极端最低气温的推算

### （1）资料来源及分析

按照《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）的规定，选取杭锦后旗象站历年来最冷月的月平均最低气温来计算基本气温（低温）。由图 7.4-2 可知，逐年最冷月的月平均值变化呈温逐渐升温趋势，平均最低气温在-26.8℃(1967 年 12 月)~-12.7℃(2021 年 1 月)之间变化。

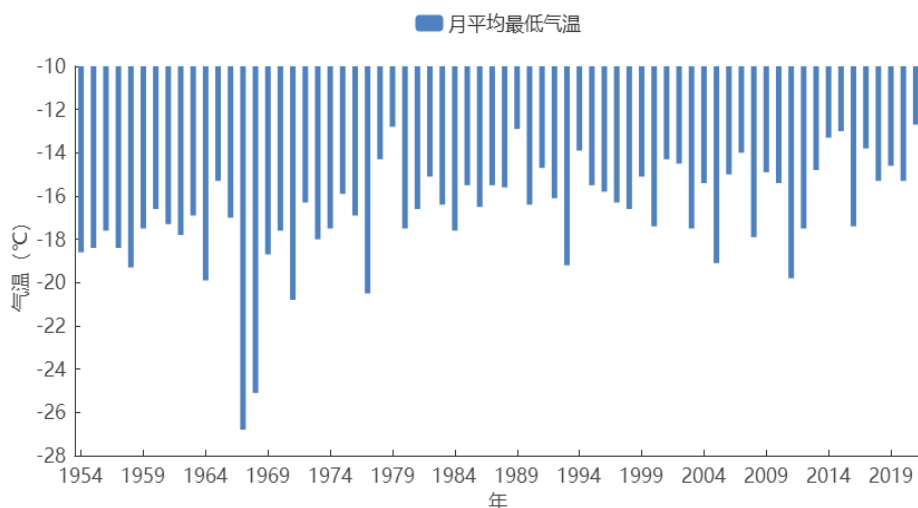


图 7.4-2 1954-2021 年杭锦后旗最冷月的月平均最低气温年际变化

另外，选取杭锦后旗气象站历年来极端最低气温来计算不同重现期的极端

最低气温。从图 7.4-2 逐年极端最低气温变化呈逐渐上升趋势，极端最低气温在-33.0℃~-18.2℃之间变化。

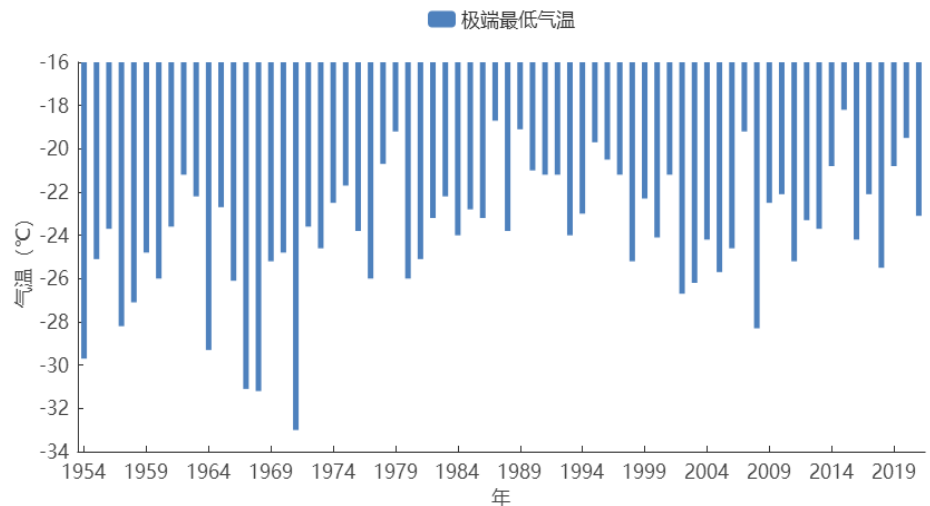


图 7.4-3 1954-2020 年杭锦后旗极端最低气温年际变化

(2) 基本气温（最低）的概率计算

使用的资料是杭锦后旗气象站 1954-2020 年最冷月的月平均值序列，有 67 年资料，符合指南或规范对资料的要求。使用耿贝尔、PIII 和广义极值分布计算出的基本气温（低温），结果如表 7.4-3 所示。

根据表 7.4-3 可知，采用杭锦后旗气象站的资料进行园区基本气温（低温）的推算。园区 50 年一遇月平均最低气温的推荐值为-23.7℃。

表 7.4-3 1954-2020 年杭锦后旗气象站不同重现期最冷月平均最低气温（℃）

站名	设计频率	耿贝尔分布	PIII 分布	广义极值	最小值	资料年代
杭锦后旗	10 年一遇	-20.3	-20.0	-19.8	-20.3	1954-2020
	20 年一遇	-21.8	-21.5	-21.1	-21.8	
	30 年一遇	-22.7	-22.4	-21.9	-22.7	
	50 年一遇	-23.7	-23.5	-22.8	-23.7	
	100 年一遇	-25.2	-24.9	-24.0	-25.2	

(3) 设计气温（最低）的概率计算

使用的资料是杭锦后旗气象站 1954-2020 年最冷月的月平均最低气温序

列，有 67 年资料，符合指南或规范对资料的要求。使用耿贝尔、PIII 和广义极值分布计算出的基本气温（低温），结果如表 7.4-4 所示。可知园区 50 年一遇极端最低气温的推荐值为 $-32.4^{\circ}\text{C}$ 。

表 7.4-4 1954-2020 年杭锦后旗气象站不同重现期极端最低气温( $^{\circ}\text{C}$ )

站名	设计频率	耿贝尔分布	PIII 分布	广义极值	最小值	资料年代
杭锦后旗	10 年一遇	-28.2	-27.8	-27.8	-28.2	1954-2020
	20 年一遇	-30.0	-29.3	-29.3	-30	
	30 年一遇	-31.1	-30.1	-30.1	-31.1	
	50 年一遇	-32.4	-31.1	-31.1	-32.4	
	100 年一遇	-34.2	-32.4	-32.3	-34.2	

## 7.5 降水极值推算

1954-2020 年杭锦后旗气象站年最大日降水量出现于 1975 年，达到 77.5mm；1986 年最小，仅 10mm。

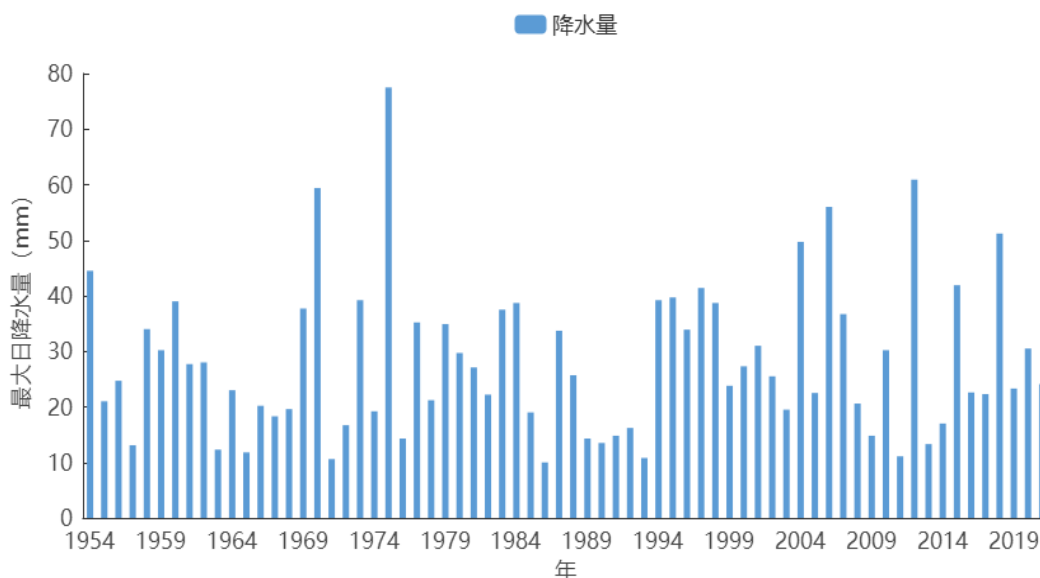


图 7.5-1 1954-2020 年杭锦后旗气象站年最大日雨量的变化

运用广义极值分布和耿贝尔分布函数计算杭锦后旗参证站不同重现期的最大日雨量，结果如表 7.5-1 所示：100 年一遇的最大日雨量为 74.6mm，50 年一遇的最大日雨量为 66.6mm。

表 7.5-1 杭锦后旗气象站不同重现期的最大日雨量（单位：mm）

站名	设计频率	耿贝尔分布	PIII 分布	广义极值	最大值	资料年代
杭锦后旗	10 年一遇	47.6	46.4	46.1	47.6	1954-2020
	20 年一遇	55.9	53.9	54.4	55.9	
	30 年一遇	60.6	58.2	59.3	60.6	
	50 年一遇	66.6	63.3	65.5	66.6	
	100 年一遇	74.6	70.2	74.1	74.6	

## 7.6 雪压极值推算

### 7.6.1 积雪密度

在 1980 年以前，我国气象站是不直接观测雪压，而是雪深和积雪密度分开两项观测，而且大部分台站只观测雪深，不观测积雪密度。只有少数台站同时观测积雪密度。杭锦后旗气象站只观测雪深、雪压，不观测积雪密度。根据杭锦后旗气象站 1954 年至今的雪压及雪深资料，计算得到杭锦后旗积雪密度为  $170\text{kg/m}^3$ 。

### 7.6.2 设计雪压的概率计算

本文使用的资料是杭锦后旗气象站 1954-2020 年最大积雪深度序列（年最大积雪深度统计时段均为当年 7 月到下一年 6 月），有 67 年资料，符合指南或规范对资料的要求。按标准的规定，分别利用耿贝尔、PIII 和广义极值分布计算出不同重现期的最大积雪深度，为了让设计人员有一个选择的余地，也为了有一个相互比较、相互验证的结果，分别给出了耿贝尔法和皮尔逊 PIII 参数估计法计算出的结果（图 7.6-1）。

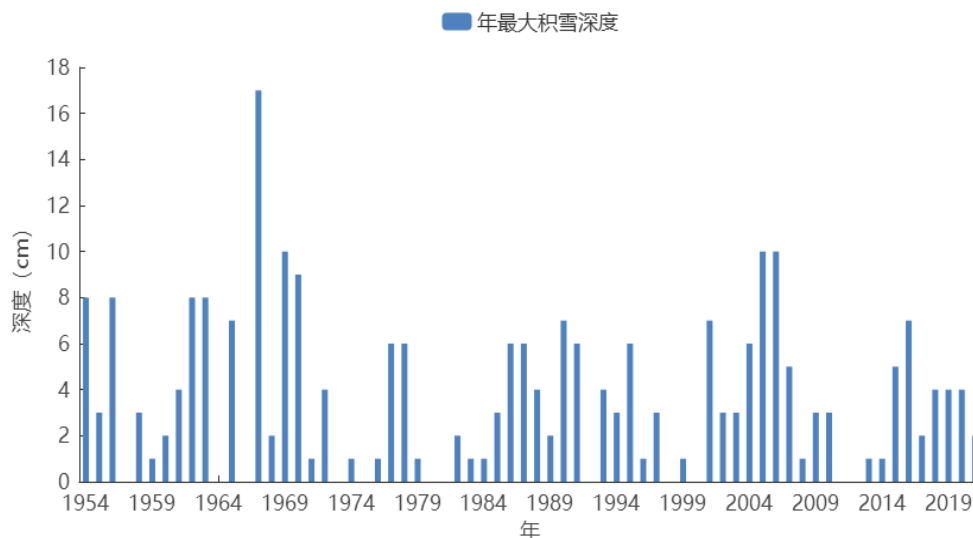


图 7.6-1 1954-2020 年杭锦后旗气象站年最大雪深变化图

从杭锦后旗气象站历年最大积雪深度可知，有部分年份的最大积雪深度为 0cm，对于含有 0 的序列，一般采用比例法来进行频率转换，先将  $X_i > 0$  的  $k$  项资料作为整个序列，进行一般的频率计算，其拟合出的曲线只能代表全部  $n$  项资料中一部分资料的分布情况，所以需要对其频率进行缩减，具体转换公式为：

$$P_k = P_n \times \frac{n+1}{k+1}$$

其中： $k$  为积雪深度大于 0 的年数， $n$  为总年数。

计算表明（表 7.6-1），三组结果基本一致。

根据积雪密度和不同重现期的最大积雪深度计算雪压，计算公式如下：

$$S_o = h\rho g$$

其中  $S_o$  为雪压（ $\text{kN/m}^2$ ）， $h$  为积雪深度(m)， $\rho$  为积雪密度（ $\text{t/m}^3$ ）， $g$  为重力加速度（ $9.8\text{m/s}^2$ ）。

利用杭锦后旗气象站的资料进行杭后工业园的设计雪压推算，结果见表 7.6-1。杭后工业园的 50 年一遇最大积雪深度为 13.2cm，雪压为  $0.22 \text{ kN/m}^2$ 。杭锦后旗气象站 1967 年最大积雪深度为 17cm，因此，50 年以上一遇的最大积



雪深度推荐 17cm。

根据《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）的附表 E.5，杭锦后旗重现期为 50 年和 100 年的雪压分别为  $0.2\text{kN/m}^2$  和  $0.25\text{kN/m}^2$ ，为了保证工程安全，推荐基本雪压应采用规范要求的 50 年重现期的雪压，因此推荐杭后工业园的基本雪压为  $0.22\text{kN/m}^2$ 。

表 7.6-1 杭锦后旗气象站不同重现期的最大积雪深度和雪压

参数估算法		100 年一遇	50 年一遇	30 年一遇	20 年一遇	10 年一遇
杭锦后旗	耿贝尔法 (cm)	15.1	13.1	11.7	10.5	8.5
	PIII 分布 (cm)	14.2	12.5	11.1	10.1	8.2
	广义极值 (cm)	15.6	13.2	11.5	10.1	8.0
	雪压 ( $\text{kN/m}^2$ )	0.24~0.26	0.21~0.22	0.18~0.19	0.17~0.17	0.13~0.14

## 7.7 设计冻土深度推算

杭锦后旗气象站自 1960 年开始有最大冻土深度观测记录，1960-2020 年最大冻土深度变化见图 7.7-1，年最大冻土深度 127cm（1977 年）。

利用 1960-2020 年最大冻土资料，采用极值 I 型函数，推算得到论证区域各重现期冻土深度最大值见表 7.7-1。

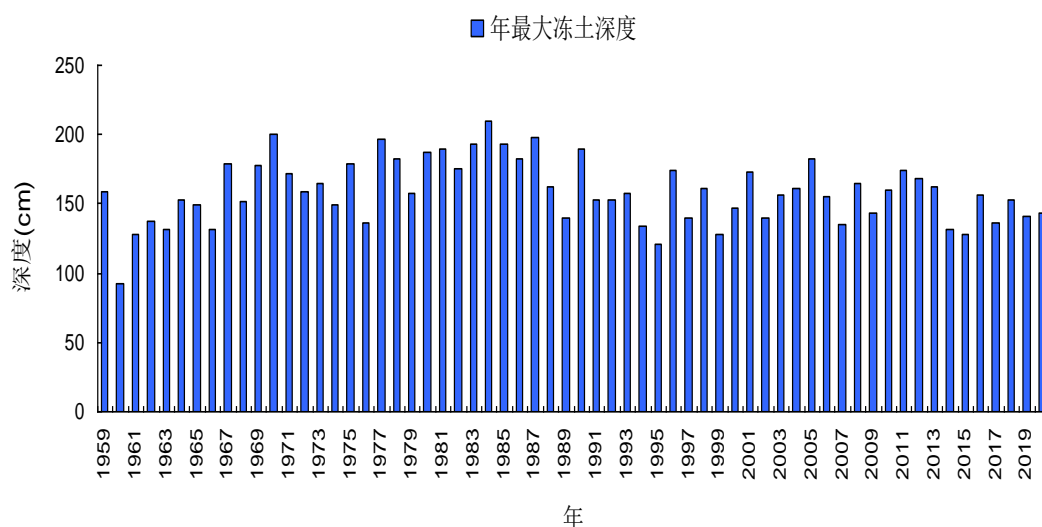


图 7.7-1 1960-2020 年杭锦后旗气象站年最大冻土深度变化

表 7.7-1 杭锦后旗气象站不同重现期的冻土深度 (cm)

重现期	10 年一遇	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
论证区域	122.2	139.5	147.3	157.9

根据上表可知，杭锦后旗气象站 50 年一遇最大冻土深度为 147cm。因此，杭后工业园工程建设的设计冻土深度应不小于 147cm（按 50 年一遇计算）。

## 7.8 工业建筑采暖通风气象参数

根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50019-2015）4.2 节中室外空气计算参数的要求，统计下述参数。具体名称及统计方法见表 7.8-1。

表 7.8-1 室外空气计算参数及其统计方法一览表

室外空气计算参数名称	统计方法
供暖室外计算温度	累年平均每年不保证5天的日平均温度
冬季通风室外计算温度	历年最冷月的月平均温度
冬季空调室外计算温度	累年平均每年不保证1天的日平均温度
冬季空调室外计算相对湿度	历年最冷月的月平均相对湿度
夏季空调室外计算干球温度	累年平均每年不保证50h干球温度
夏季空调室外计算湿球温度	累年平均每年不保证50h湿球温度
夏季通风室外计算温度	历年最热月14时平均温度的平均值
夏季通风室外计算相对湿度	历年最热月14时平均相对湿度的平均值
夏季空调室外计算日平均温度	累年平均每年不保证5天的日平均温度
夏季空调室外计算逐时温度	见公式（7.8-1）、（7.8-2）和表7.8-2
夏季空调室外逐时计算焓值	累年平均每年不保证7h的空气焓值
冬季室外平均风速	累年最冷3个月各月平均风速的平均值
冬季室外最多风向的平均风速	累年最冷3个月最多风向（静风除外）的各月平均风速的平均值
夏季室外平均风速	累年最热3个月各月平均风速的平均值
夏季室外最多风向的平均风速	累年最热3个月最多风向（静风除外）的各月平均风速的平均值
冬季最多风向及其频率	累年最冷3个月的最多风向及其平均频率
夏季最多风向及其频率	累年最热3个月的最多风向及其平均频率
年最多风向及其频率	累年最多风向及其平均频率
冬季室外大气压力	累年最冷3个月(12、1、2)各月大气压力的平均值
夏季室外大气压力	累年最热3个月(6、7、8)各月大气压力的平均值
冬季日照百分率	累年最冷3个月各月平均日照百分率的平均值
极端最高气温	累年极端最高气温
极端最低气温	累年极端最低气温
历年极端最高气温平均值	历年极端最高气温平均值

历年极端最低气温平均值	历年极端最低气温平均值
累年最低日平均温度	累年日平均温度中的最低值
累年最热月平均相对湿度	累年月平均温度最高的月份的平均相对湿度
设计计算用供暖天数	按累年日平均温度稳定低于或等于供暖室外临界温度的总日数确定。本报告供暖室外临界温度为 <b>5℃、8℃</b>

夏季空调室外计算逐时温度，按下式确定：

$$t_{sh} = t_{wp} + \beta \Delta t_r \quad (7.8-1)$$

$$\Delta t_r = \frac{t_{wg} - t_{wp}}{0.52} \quad (7.8-2)$$

式中： $t_{sh}$ —室外计算逐时温度（℃）；

$t_{wp}$ —夏季空调室外计算日平均温度（℃）；

$\beta$ —室外温度逐时变化系数按表 7.8-2 确定；

$\Delta t_r$ —夏季室外计算平均日较差；

$t_{wg}$ —夏季空调室外计算干球温度（℃）。

表 7.8-2 室外温度逐时变化系数

时刻	1	2	3	4	5	6
$\beta$	-0.35	-0.38	-0.42	-0.45	-0.47	-0.41
时刻	7	8	9	10	11	12
$\beta$	-0.28	-0.12	0.03	0.16	0.29	0.40
时刻	13	14	15	16	17	18
$\beta$	0.48	0.52	0.51	0.43	0.39	0.28
时刻	19	20	21	22	23	24
$\beta$	0.14	0.00	-0.10	-0.17	-0.23	-0.26

根据上述要求，统计了杭锦后旗室外空气计算参数，结果见表 7.8-3。

表 7.8-3 杭锦后旗气象站室外空气计算参数

参数		数值
室外计算温、湿度	冬季供暖室外计算温度 (°C)	-16.7
	冬季通风室外计算温度 (°C)	-11.0
	冬季空气调节室外计算温度 (°C)	-21.0
	冬季空气调节室外计算相对湿度 (%)	54
	夏季空调室外计算干球温度	\\
	夏季空调室外计算湿球温度	\\
	夏季通风室外计算温度 (°C)	26.9
	夏季通风室外计算相对湿度 (%)	42
	夏季空气调节室外计算日平均温度 (°C)	26.2
风向、风速及频率	夏季室外平均风速 (m/s)	2.0
	夏季最多风向及频率	NE, 13.1%
	夏季室外最多风向的平均风速 (m/s)	2.5m/s (NE)
	冬季室外平均风速 (m/s)	2.2
	冬季最多风向及频率 (%)	NE, 11.9%
	冬季室外最多风向及平均风速 (m/s)	2.7m/s (NE)
	年最多风向及频率	NE, 12.1%
冬季日照百分率 (%)		75%
大气压力	冬季室外大气压力 (hPa)	903.9
	夏季室外大气压力 (hPa)	891.0
设计计算用供暖期天数及其平均温度	日平均温度 $\leq +5^{\circ}\text{C}$ 的天数	152
	日平均温度 $\leq +5^{\circ}\text{C}$ 的起止日期	10月16日/4月12日
	平均温度 $\leq +5^{\circ}\text{C}$ 期间的平均温度 (°C)	-5.2
	日平均温度 $\leq +8^{\circ}\text{C}$ 的天数	173
	日平均温度 $\leq +8^{\circ}\text{C}$ 的起止日期	10月3日/4月25日
	平均温度 $\leq +8^{\circ}\text{C}$ 期间的平均温度 (°C)	-3.7
极端最高气温 (°C)		38.4
极端最低气温 (°C)		-33.0
历年极端最高气温平均值 (°C)		35.5

## 8 结论与建议

本报告利用工业园区杭锦后旗气象站 1991—2020 年观测数据,对工业园区的气候概况、基本气候特征进行了分析;同时对区域内 1954 年建立气象站以来历史气象灾害数据、园区及周边主要气象灾害发生及危害情况进行了调查分析和风险评估,并对工程设计基准气象参数进行了计算分析,为杭后工业园区项目设计、建设、运行提供参考依据。

### 8.1 主要结论

杭后工业园所在区域气候条件,总体适宜于园区主导产业的发展。但该区域春季多大风、沙尘、寒潮等灾害性天气,夏季会有高温、暴雨、冰雹、雷雨大风等气象灾害,秋季霜冻来临早,冬季易出现寒潮、降温、大风沙尘等灾害天气。所以,园区的建设和运营都要充分考虑上述气象灾害的综合影响,根据关键气象参数的极值推算结果、高影响天气和气象灾害风险评估结论及防御建议,做好园区建设和运营。

#### 8.1.1 项目概况与气候背景

**项目概况。**杭后工业园于 2002 年开始筹建,2006 年经自治区人民政府批准、国家发改委审核通过成为自治区级工业园区。是自治区 20 户重点工业园区之一,是自治区销售收入超百亿元的工业园区之一。本次论证范围共包含两个区域,即杭后工业园西片区、东片区,杭后工业园主导产业为农畜产品精深加工和农资机械装备制造。

**气候背景。**杭后工业园所在区域属温带大陆性气候。春季天气多变,降水少,多风沙天气;夏季雨水相对集中,易出现暴雨、冰雹、雷雨大风等灾害性天气;秋季气温下降快,霜冻来临较早,雨季一般在 9 月下旬结束;冬季受西

北气流控制常出现降温、大风天气。

杭锦后旗气象站（1991-2020 年）年平均气压为 898.2hPa，年平均气温为 8.2℃，年平均降水量为 144.5mm，年平均风速为 2.1m/s，年平均静风频率为 13.5%，年主导风向为 NE，频率为 12.0%，年平均相对湿度为 49.2%，年平均日照时数为 3216.2 小时。

杭锦后旗气象站自 1954 年 1 月 1 日以来，年极端最高气压为 925.8hPa，极端最低气压为 876.3hPa；极端最高气温为 38.4℃，极端最低气温为-33.0℃；年降水量最多为275.0mm，最少为42.7mm；1 小时最大降水量最大值为 33.8mm，1 日最大降水量最大值为 77.6mm，5 日最大降水量最大值为 74.5mm；年最大风速自 1976 年开始有完整记录，最大值为 19.0m/s；年极大风速 30.0m/s；年最小相对湿度为 6%（详见表 8.1-1）。

表 8.1-1 杭锦后旗气象站主要气候特征值

气候要素		值	单位	出现时间
气压	年平均气压	898.2	hPa	\\
	极端最高气压	925.8	hPa	1981 年 12 月 1 日
	极端最低气压	876.3	hPa	2012 年 4 月 22 日
气温	年平均气温	8.2	℃	\\
	极端最高气温	38.4	℃	1999 年 7 月 29 日
	极端最低气温	-33.0	℃	1971 年 1 月 21 日
降水	年平均降水量	144.5	mm	\\
	年降水量最大值	275	mm	2012 年
	年降水量最小值	42.7	mm	2011 年
	1 小时最大降水量最大值	33.8	mm	1997 年 6 月 29 日 23 时
	1 日最大降水量最大值	77.6	mm	1997 年 6 月 30 日
	5 日最大降水量最大值	74.5	mm	2007 年 7 月 3-7 日

	最大积雪厚度	17	cm	1967 年
风	年平均风速	2.1	m/s	\\
	最多风向及频率	NE/ 12.3	%	\\
	最大风速	19.0	m/s	1977 年 4 月 15 日
	极大风速	30.0	m/s	1977 年 4 月 15 日
日照	年日照时数	3216.2	小 时	\\
相对湿度	年平均相对湿度	49.2	%	\\
冻土	最大冻土深度	127	cm	1977 年 3 月 3 日

注：平均值统计时段为 1991-2020 年，极值统计时段 1954-2020 年。

### 8.1.2 关键气象参数推算结果

杭后工业园的设计、建设、运营涉及到暴雨强度公式、设计风速、风荷载、最大积雪深度、雪荷载、极端高温、极端低温、设计最大冻土深度以及室外空气计算参数等。考虑到应用上述关键气象参数推算结果时存在的不确定性，从安全性角度出发，在多种方式推算时选取了数值较大的计算结果。

50 年一遇基本风压为  $0.36\text{kN/m}^2$ ；50 年一遇雪压为  $0.22\text{kN/m}^2$ ；50 年一遇最大冻土深度 147cm；冬季空气调节室外计算温度  $-21.0^\circ\text{C}$ ，夏季空气调节室外计算日平均温度  $26.2^\circ\text{C}$ （详见表 8.1-2）。

表 8.1-2 关键气象参数分析及推算结果

关键气象参数		推算结果
10m 高度设计风速 (m/s)	100 年一遇	25.6
	50 年一遇	23.8
风荷载 ( $\text{kN/m}^2$ )	基本风压	0.36
月平均最高气温 ( $^\circ\text{C}$ )	100 年一遇	33.1
	50 年一遇	32.6
极端最高气温 ( $^\circ\text{C}$ )	100 年一遇	39.6
	50 年一遇	38.9
月平均最低气温 ( $^\circ\text{C}$ )	100 年一遇	-25.2
	50 年一遇	-23.7
极端最低气温 ( $^\circ\text{C}$ )	100 年一遇	-34.2
	50 年一遇	-32.4

日最大降水量 (mm)	100 年一遇	74.6
	50 年一遇	66.6
最大积雪深度 (cm)	50 年一遇	17
雪荷载 (kN/m <sup>2</sup> )	基本雪压	0.22
设计冻土深度 (cm)	100 年一遇	158
	50 年一遇	147
地闪平均密度 (次·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )		1.99
区域雷击风险评估		风险等级为Ⅲ级，属于中等风险，产生雷击灾害事故的可能性较大

### 8.1.3 高影响天气及气象灾害风险评价

根据高影响天气出现频次、长期趋势、极值情况等基本特征及园区产业敏感程度等特征，综合分析得出，影响杭锦后旗产业园的主要高影响天气是暴雨、雷暴；其次是大风、沙尘暴；再次是高温、冰雹；之后是低温冰冻和雪灾；大雾和连阴雨对园区影响较弱。

**暴雨洪涝风险：**根据参证站和周边气象站暴雨特征分析，杭后工业园所在地区具有暴雨日数少、短时雨量大，局地性暴雨多、区域性暴雨少的特点。按照最大小时降雨量标准划分暴雨强度，杭锦后旗气象站有 73% 的年份出现暴雨天气，其中 23.3% 的年份达到大暴雨量级，说明短时强降水多，并且暴雨日数和最大日降水量呈现增加的趋势，暴雨致灾风险较大；与周边气象站比较，历年(68 年)资料分析最大连续降水量和最大日降水量均超过杭锦后旗气象站 30-40mm 和 36-58mm，近 6 年资料显示，周边 8 个站（包括 5 个区域站）有 4 个站平均日最大降水量和日降水量极大值超过杭锦后旗，日最大降水量磴口超出最多为 14mm，最少的沙海镇超出不足 1mm，日降水量极大值超出最多的磴口县为 52.4mm，其次为白脑包镇 20.4mm，杭锦后旗暴雨强度在区域范围内处于



中等位置，因此周边地区暴雨对杭后工业园构成一定威胁。

从暴雨洪涝淹没风险分析看，杭后工业园位于乌加河流域，虽与干流距离较远，但易受狼山雨水汇集的冲击，加之流域南部区域地势平坦，植被相对稀疏，园区周边受极端强降水影响时，易形成径流，引发洪涝和河水泛滥。一般淹没区域较为分散，淹没深度较浅，大部地区最大淹没水深低于 1m，以中低风险为主。但按照极端强降水 50 年一遇推算，区域淹没范围不仅会增大，中高风险区域和淹没水深也会增加，对园区企业产生的影响也会增强。由此看出，园区及周边地区洪涝灾害以内涝为主，长期滞留的水分不仅影响建筑物的安全，特别是仓储、库房及简易建筑物的安全，也影响食品加工原料的储存环境，导致霉变甚至浸泡腐烂，同时破坏农作物生长环境，导致生产原料减产和品质下降。因此，加强园区防洪排涝至关重要。

**雷暴风险：**杭后工业园年均雷暴日数为 20.3 天，最多为 35 天，闪电日数最多为 23 天。周边 10km 范围内雷电活动主要活跃在 5-10 月，月发生闪电次数均值 34.8 次，其中 8 月雷电活动最频繁，共发生闪电 103 次。尽管暴雨发生频次相对较少，但短时强降水多，强度大，局地性强，常伴有大风出现，一旦发生对园区造成的破坏性很强。杭后工业园历史地闪回击平均密度为 0.63 次/km<sup>2</sup>，雷击大地密度为 1.99 次·km<sup>-2</sup>。园区雷击风险等级属于中等风险，产生雷击灾害事故的可能性较大。因此，在设计防雷装置时，建议取 1.99 次·km<sup>-2</sup> 为设计依据。

**大风、沙尘暴风险：**1954-2021 年杭锦后旗气象站年平均大风日数为 16.7 天，最多年份 47 天（1976 年）。沙尘暴年平均日数为 3.3 天，最多年份 22 天（1954 年），沙尘暴天气发生率达 67.2%。大风和沙尘暴主要发生在春季（3~

5月)，如沙尘暴占年平均发生次数的 52.9%。除了沙尘暴外，扬沙和浮尘天气发生也十分频繁，扬沙天气年平均 23 天，最多年为 87 天，浮尘天气平均每年 6.9 天，1955 年出现最多，为 60 天，沙尘天气（包括沙尘暴、扬沙和浮尘）年平均出现日数 33.2 天。杭锦后旗气象站大风和沙尘天气少于周边地区。大风日数年际变化具有波动性，1954-1975 年大风日数呈现增加趋势，1975 年至今大风日数在波动中明显减少，减少速率为 2.8d/10a；沙尘暴日数则以 1.18d/10a 的速率下降，尽管大风和沙尘天气有下降趋势，但园区企业（承载体）的敏感性较高，成灾风险依然较大，若二者伴随发生对园区的危害性更大。

**高温：**1954-2021 年杭锦后旗气象站日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数年平均为 1.7 天，最多为 7 天；日最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 的日数年平均为 0.18 天，最多为 3 天，出现在 1999 年，年出现概率 13.2%；高温日数 7 月最多占全年平均高温日数的 58.8%。极端最高温  $38.4^{\circ}\text{C}$ ，出现在 1999 年 7 月 29 日。周边气象站磴口、临河不仅高温日数多于杭锦后旗，而且最高温度也超过杭锦后旗，磴口、临河日最高气温 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 日数出现概率分别为 39.7%和 27.9%，极端最高温度磴口达  $40.5^{\circ}\text{C}$ ，临河达  $39.4^{\circ}\text{C}$ ，高温热害发生风险很高，对园区生产生活造成不利影响。一是增加火灾发生、机械设备损坏风险、及企业防暑降温成本，二是极易引起农畜产品加工原料的腐烂、霉变，及作物受害减产而影响原料供应。

其它高影响天气的主要特征见下表：

表 8.1-3 高影响气象要素值统计表

重要气象要素值		杭锦后旗	
暴雨		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最多日数（d）	<div><div></div></div>
		最长连续降水日数（d）	<div><div></div></div>
		最大连续降水量（mm）	<div><div></div></div>
		最大日雨量（mm）	<div><div></div></div>
		最大 1h 降水量（mm）	<div><div></div></div>
雷暴		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
园区地闪		地闪密度(次·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	<div><div></div></div>
大风		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最多日数（d）	<div><div></div></div>
沙尘暴		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
高温日数	日最高气温≥35℃	年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
	日最高气温≥37℃	年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
冰雹		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
积雪		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
		最大积雪深度（cm）	<div><div></div></div>
降雪		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
低温日数（日最低气温≤-25℃）		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
最大冻土深度		年均最大深度（cm）	<div><div></div></div>
		最大冻土深度（cm）	<div><div></div></div>
雾		年均日数（d）	<div><div></div></div>
		年最大日数（d）	<div><div></div></div>
连阴雨		年平均发生次数（d）	<div><div></div></div>
		年最多次数（d）	<div><div></div></div>
		平均持续时间（d）	<div><div></div></div>
		最长持续时间（d）	<div><div></div></div>
		平均降雨量（mm）	<div><div></div></div>
		最大降雨量（mm）	<div><div></div></div>

### 8.1.4 综合评述

#### (1) 气候适宜性分析

杭后工业园所处区域属于典型的干旱半干旱大陆性季风气候区。四季分明，气温适宜、日照充足、降水偏少、风向稳定，灾害性天气相对较少，周边没有排污企业或超高建筑物，园区及其周边区域气候背景条件对园区规划、建设和运营基本适宜。宜根据气候条件和产业发展需要引入合适的企业，促进工业园健康发展。

#### (2) 气候对园区建设和运营的影响

项目基本气候条件适宜，但在项目建设和运营中也存在不利气象因素。园区所在区域暴雨洪涝、雷电、大风、沙尘、极端低温、极端高温、冰雹、冻融、连阴雨等高影响天气发生频率较高，园区及入驻企业均应根据当地气候背景特点、上述高影响天气及敏感气象因子，编制适合本园区、本企业的气象灾害应急预案。密切关注天气预报预警，通过手机、电子显示屏、计算机网络、广播、电视及其它新媒体等接收气象预报和暴雨、大风、沙尘、雷电等各类气象灾害预警信息，及时启动应急预案，采取有效措施消除灾害风险和减少损失。

1) 园区周边的降水具有极端性和不稳定性特点。虽然年降水量不大，但日最大降水量占全年总降水量的比重较大，尤其是短时强降水天气的发生几率很高，短历时暴雨灾害的风险较大。1975 年最大日雨量达到 77.5mm，超过了 100 年一遇的推算值。因此在建筑格局设计时，在地势低洼处等地方应考虑防护措施，在进行排水管网的设计时适当考虑增大管径，建筑物设计时应垫高重点区域地基。园区内增加排涝设备，减少内涝被淹的风险。

2) 根据参证气象站资料计算，该地区雷击大地密度为 1.99 次/km<sup>2</sup>，比闪电

监测系统统计数据 0.66 次/km<sup>2</sup> 要大，高于全区平均地闪密度，雷击风险较高。雷电活动在 5-10 月发生频率高，高发时段为下午 16:00~17:00 时。因此该时段要密切关注雷暴可能造成的影响，如人员伤亡、设备损坏等。

3) 园区周边沙尘暴日数及大风日数较高。沙尘暴日数最多为 22 天，大风日数为 47 天，其周边区域出现频次更高。因此发生大风沙尘暴灾害的危险性较大，春冬季节需关注沙尘暴给园区生产和生活带来的不利影响。

4) 园区周边冰雹出现频次较高。出现频率约为 41.2%，约 2 年发生一次，其临近区域发生频次更高。冰雹灾害常给农林、通信、建筑等行业带来不利影响，严重雹灾还会对人民生命财产造成巨大损失。冰雹灾害对园区内的建筑物、物资储存和运输、人员出行及安全等影响较大，需做好防范。

5) 园区及周边地区历史上发生过多雷、大风、沙尘暴、冰雹、低温冰冻、暴雨洪涝等气象灾害，造成了房屋垮塌和人员伤亡及农业等损失。需提高灾害防范意识，做好相应预防工作。

### 8.1.5 不确定性分析

由于存在观测数据时间和空间的局限、统计推算方法区域适宜性限制和气候变化本身的不确定性影响，在现有的数据、技术方法和认知条件下，本报告结论存在一定的不确定性，主要体现在以下几方面：

(1) 本报告使用气象资料的时间序列不足 70 年，有些气象要素更短，在极值的选取和推算上可能造成差异；空间范围上由于观测站点密度不够，特别是一些离散要素和局地天气现象，如冰雹、短时强降水、龙卷风等漏测的现象时有发生，影响资料的代表性和结论的准确性。

(2) 受历史观测资料序列、模式、计算方法及手段、现行标准规范等多种因素影响，参数模拟推算存在一定的不确定性。

1) 本报告使用的极值 Gumbel 型、P-III和广义极值分布对年最大风速、最大雪压以及最高、最低气温极值进行概率计算时，曲线拟合即使达到 99.9%的可信度，拟合曲线的头尾与散点较离散，会漏掉小概率出现的散点，存在一定的误差。

2) 暴雨洪涝淹没模拟未考虑流域中各类水库蓄洪能力对淹没水深的影响，可能导致模拟的中小河流淹没风险偏高、淹没范围偏大。本报告淹没水深模拟结果仅能满足工业园应对 T 年一遇极端降水防洪设施和排水系统建设参考。

3) 暴雨公式推算过程涉及到当地雨型分布特点及最优模拟函数的选取，目前仅适用三种函数模拟优选，有时存在拟合精度达不到要求的问题。随着观测资料的不断完善及技术方法等日趋成熟，模拟结果还需要进一步优化、完善。

4) 本报告使用的风速资料均是参证气象站或周边区域气象站的观测数据，由于长序列气象观测站位于城镇区域，周边建筑屋、观测站址变迁等探测环境对风速记录影响较大。因此，参证气象站的平均风速、最大风速等比园区及外围风速偏小，与实际风力状况有差异。

(3) 工业园对局地气候影响使用了文献综述的方式来定性描述，可能会存在一定的偏差；随着科技的进步，采用数值模拟方式进行定量化分析更为可靠。

(4) 当前气候变暖、极端气候事件增加已是不争的事实。本报告对此虽然有所考虑，但未来气候变化趋势和极端气候事件发生情况难以预料，也会存在一定的不确定性。

## 8.2 建议措施

### 8.2.1 规划设计阶段

在规划设计阶段，需关注园区的气候背景、气象灾害及建筑设计中需要用的气象参数情况，提高规划和设计的合理性。具体对策建议见表 8.2-1。

表 8.2-1 对工业园规划设计阶段不同关注点的对策建议

阶段	关注点	对策及建议
规划设计	空间布局	<p>1. 园区区域年平均静风频率为 13.5%，年主导风向为 NE，频率为 12.0%。因此，避免将污染企业规划在上风方（园区东北部）；下风方（园区西南部）尽量避免规划居民区或商贸区。</p> <p>2. 对暴雨洪涝敏感度较高的企业或建筑，应避免建设在地势低洼地区，建设时垫高地基，减少被淹的风险。地下仓库、停车场等也应提前考虑干燥排水措施。</p>
	设计排水管网	<p>1. 设计排水管网时，应结合园区周边的其他区域自动站降水量资料，对暴雨强度公式做进一步的详细订正分析。</p> <p>2. 对于工业企业应注意其污水处理情况，完善排水系统，实施雨污分流，铺设雨水、污水排放管道，建设污水处理设施和，以减少环境污染。</p>
	建筑设计标准	<p>1. 在建筑物荷载、采暖通风等设计中需要用到相关的基本气象参数，可参考本报告给出的暴雨强度公式、设计风速、设计雪压、设计冻土深度、最高和最低气温的推算结果，为了确保安全性，设计人员可根据设计需求选择规范推荐值和推算值。</p> <p>2. 建议园区各类建筑物尤其是高大建筑物，取 10m 高度设计风速为 23.8m/s，基本风压为 0.36kN/m<sup>2</sup>。</p> <p>3. 建议园区各类建筑物屋面结构雪荷载为 0.22kN/m<sup>2</sup>。</p>
	暖通设计	<p>冬季空气调节室外计算温度为 -21.0℃，夏季空气调节室外计算日平均温度为 26.2℃，供暖室外计算温度为 -16.7℃，夏季通风室外计算温度为 26.9℃。</p>
	规避气象灾害	<p>1. 应根据高影响天气及敏感气象因子可能引发的一些气象灾害或极端气候事件，修正有关的规划设计指标体系与规范，以提高规划和设计的合理性，避免对项目可能造成的危害。</p> <p>2. 园区内规划建设产生粉尘、污染气体等企业，应重点关注厂房通风设计、生产原料或物品存放，配备消防器材和备用电源，避免火灾事故和停电损失。</p> <p>3. 园区汛期暴雨日数较多，在规划建设时需重点关注强降水对排水管网及相关设施的要求。对暴雨敏感度较高的建筑物、仪器设备，应避免建在地势低洼的区域，地下仓库、停车场等也应做好排水排涝设计。</p>

	防雷设施	<p>1.在产业规划时不建议将对雷电敏感度较高的企业设置在闪电密度较大的片区，如确有需要，则应加强防护装置的规划设计、安装，并提高防护等级。</p> <p>2.按照 GB50057-2010 中的规定，论证区域内一般工业厂房可以划分为三类防雷建筑物，住宅酒店办公楼一般情况下可按三类防雷建筑物设计，若超过 100m，应按二类防雷建筑物设计。</p> <p>3.建议在设计标准的基础上适当提高防侧击雷的要求，建立一套适用的防雷安全工作方案和防雷安全应急预案，对所属防雷装置进行管理维护和发生雷击后的应急管理。</p> <p>4.论证区域内下列建设工程、场所和大型项目的雷电防护装置应当由气象主管机构进行设计审核和竣工验收：</p> <p>（1）加油加气站等易燃易爆建设工程和场所；</p> <p>（2）酒精生产车间及库房应按照易燃易爆场所设计雷电防护装置。</p> <p>（3）投入使用的建（构）筑物、设施等需要单独安装雷电防护装置的场所。</p>
--	------	---

## 8.2.2 建设施工阶段

在建筑施工阶段，则更应根据气象灾害情况，制定合理的保障措施、安全生产制度和应急预案，确保施工安全。具体对策建议见表 8.2-2。

表 8.2-2 对工业园建设施工阶段不同关注点的对策建议

阶段	关注点	对策及建议
建设施工	暴雨	对暴雨灾害敏感企业应建立暴雨安全关注制度，气象部门发布暴雨预警时，提前做好防灾避险准备。
	暴雪	大跨度钢结构建筑的设计应按照本报告所推荐的 50 年重现期雪压进行建筑结构荷载设计，其它对雪荷载敏感的重要结构，应适度提高重现期雪压设计标准。
	大风	施工现场的材料应加固，防止被大风刮倒。密切关注大风预报预警，遇 7 级以上强风时不得进行露天攀登与悬空高处作业。
	高温	1.日最高气温达 37℃ 以上时，中午时段停止室外露天和高处作业。 2.日最高气温在 40℃ 或以上时，应停止施工作业，并提供防暑措施。
	雷电	1.雷电天气前后，需对安全防护设施和现场施工用电进行全面检查。加强施工现场易燃易爆物品的管理，避免雷击引发的火灾及相关事故。 2.密切关注雷电预报预警，雷雨天气必须停止高空作业，避免雷击



		闪电造成设施设备、建筑物的损坏及人员伤亡。
	低温冰冻、 积雪	1.当室外日平均气温连续 5 天低于 5℃时,混凝土工程即转入冬期施工。杭锦后旗冬季漫长寒冷,不适宜钢筋混凝土工程施工。 2.根据园区 50 年一遇极端最低气温,制定低温冰冻期间的建筑安全施工工作预案,特别要做好“防高坠、防冻、防滑”等预防措施。
	冰雹	施工时遇冰雹天气,施工人员需要中止施工,确保人身安全,并及时转移易受损、易倒塌材料。
	沙尘暴	在沙尘天气条件下,空气质量明显下降,能见度低造成目视困难,再加上大风的影响,极易造成安全事故。因此,建议春季施工时,密切关注当地气象部门发布的沙尘暴预警,提前制订应急预案,避免在沙尘天气下开展户外施工。
	雾	大雾天气出现时要停止起重作业、高空作业等危险性较大的施工。

### 8.2.3 运营阶段

在工业园的运营阶段,从气象角度分析最重要的工作是关注高影响天气可能造成的气象灾害,提高工业园的防灾减灾能力。工业园入驻企业均应根据高影响天气及敏感气象因子,编制气象灾害应急预案,接收气象预报和预警信息,及时启动应急响应以减灾避险。具体措施见表 8.2-3。

表 8.2-3 对工业园运营阶段的对策建议

阶段	高影响天气	影响	对策建议
运营	高温	1.高影响天气易造成机械、电器失灵,会对设备的正常运行产生巨大危害。 2.高温炎热天气会使火灾事故发生的可能性增加。 3.持续高温对园区内工作人员健康造成不利影响,特别是户外工作容易出现中暑等情况。	1.对高温天气敏感企业应重点关注高温天气下厂房通风和降温,避免发生粉尘爆炸。 2.夏季应注意防暑降温措施,加强室内通风以及保证空调正常运行等安全措施。 3.严格遵守与各行业相关的电力安装规定及使用规范,加大电器及电线线路安全检查工作,安装备用电源,并做好相关防护措施。 4.对园区内工作进行防暑指导,准备防暑降温饮料和常用防暑药品,减少高温时段的工作时间。
	雷电	1.雷暴闪电的电火花可引起燃烧或爆炸,毁坏生产设备。 2.雷击电网线路可造成线路跳闸,引起瞬时停电或电压波动,严重影响生产设备的安全运	1.雷电活动的高发期,夏季(尤其是 6、7、8 月)园区管理部门应当密切关注天气预报,做好相关的防御措施。 2.重点注意午后至夜晚时段发生雷电时户外人员安全防护。

		行。	<p>3.园区内对雷电较为敏感的企业居多，建议园区易燃易爆和人员密集场所按照《防雷安全管理规范》（QX/T309-2017）有效落实雷电灾害防御主体责任，接收气象主管机构进行的监督管理和指导，完善相应的防雷安全措施，并将雷电灾害防御工作纳入本单位安全生产考评体系，建立防雷安全工作制度。</p> <p>4.低压配电系统及信号系统安装 SPD，建议总配电开关处应设计安装 SPD，各层配电箱及重要设备配电箱或跨越防雷区的线路安装 SPD，并在防雷区分界处作等电位连接。</p> <p>5.按照国家法律法规和技术规范要求，投入使用的建（构）筑物应委托有资质的单位按检测周期对防雷装置进行检测，对于存在安全隐患的防雷装置应进行整改和定期维护。</p>
	暴雨	<p>1.可造成园区低洼地段积水，引起电路、水泵等设施发生故障；</p> <p>2.论证区域内企业产生的工业污水和残留油污等容易随雨水扩散甚至进入河道等水体，造成环境污染事故。</p>	<p>1.6~8月是园区暴雨高发期，在夏季雨量集中期应做好防御工作，避免暴雨可能造成洪涝灾害。</p> <p>2.关注园区内部、周边水系附近及其上下游的强降水，尤其是连续强降水、短时强降水情况，防止产生不良影响；关注强降水可能引发的次生灾害，及时接收暴雨预警信息，启动防御措施。</p> <p>3.做好园区内及周边雨污分流工作。</p>
	积雪冰冻	<p>1.园区内企业所需原材料及成品运输主要依赖于公路交通，路况受积雪结冰影响程度较大。</p> <p>2.风雪灾害易使局部雪荷载大大超过设计荷载，导致大跨度钢结构发生不同程度的破坏与倒塌。</p>	<p>1.每年11月至次年3月为积雪冰冻高发期，须及时检查各企业项目外露装置及接线盒附近是否结冰，以免造成安全隐患。</p> <p>2.供水、排污管网易受冬季低温影响，可能出现管道爆裂等事故，应在冬季供暖前检查管道保暖隔热措施是否到位，及时修补受损管道，尤其对外路的管道加强检修和管理。</p> <p>3.对摆放于室外的易受损、易倒塌材料等及时转移，以免造成损失。</p> <p>4.园区内企业厂房、仓库等设施多为大跨度钢结构建筑物，屋顶面积较大，容易在冬季受积雪影响受损，应及时掌握气象预报预警，提前做好除雪扫雪预案并及时清除，以免造成损坏或倒塌。</p>
	大风	<p>1.会对工程建设构成安全影响。临时建筑、围墙、广告牌等在强风中易被刮倒或刮断，造成经济损失、人员伤害。</p> <p>2.可能会吹倒电线杆，使其折断，造成停电事故或风灾。</p>	<p>1.应保守考虑抗风设计标准，尤其是大跨度钢结构建筑物屋顶容易受到大风吹起或掀翻，应对这类建筑物加固。</p> <p>2.应密切关注大风预警，特别是春、秋两季。同时夏季雷雨天气可能伴随局地短时大风，冬季寒潮天气常伴随剧烈降温和大风，也应引起高度重视。对大风敏感的企业应与气象部门协商为其提供专业气象预报预警服务，以便提前采取防御措施。</p>

			3.户外工作人员要严格执行安全应对措施，确保人身安全。
	冰雹	1.可能造成建筑物、车辆损坏。 2.可能造成人员伤亡。	1.强对流天气高发期极易形成冰雹，尽量避免外出。 2.对摆放于室外的易受损、易倒塌材料等及时转移，以免造成损失。
	沙尘暴	1.对交通造成影响。 2.对免疫力较弱人群健康造成影响。	1.沙尘暴发生期间尽量避免外出活动。如驾车外出，减速慢行，避免靠近大货车驾驶。 2.老人、小孩注意防范呼吸道系统等疾病。 3.园区内显著位置设置气象预警信息显示屏，公众和相关企业可以及时收到沙尘暴预警信号，采取必要的防护措施。
	雾	1.对交通造成影响。 2.对抵抗力较弱人群健康造成影响。	1.大雾发生期间如驾车外出，减速慢行，避免靠近大货车驾驶。 2.抵抗力较弱人员注意防范呼吸道系统等疾病。
	连阴雨	1.农畜产品加工企业原料存储于空气湿度大、温度高环境中易腐烂、变质，使产品质量下降。 2.成品也易发霉变质。	1.及时关注天气预报，采摘期的作物、蔬菜及时抢收，运输入库，并遮盖食品加工原料和成品； 2.生产车间和仓储室内增加或启动除湿设备，防止原材料和成品水分超标而发生霉变。

#### 8.2.4 适用范围及建议

(1) 本报告适用于杭后工业园内规划入驻的常规项目，当论证区域发生调整时应补充开展相关区域的气候可行性论证工作。

(2) 论证的区域规划和建设项目对局地气候可能产生影响的，需要开展现场测试模拟等专题研究。

(3) 入驻园区的项目若增加特殊、重大工程时，应结合实际另列专题进行气候可行性论证。

## 参考文献

- [1]杨浩,王子羿,王婧,孟娜.京津冀城市群土地利用变化对热环境的影响研究[J].自然资源学报,2018,33(11):1912-1925.
- [2]王晓默,张雅昕,董宁.近 30 年城市化建设对济宁区域气候的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2015,46(5):715-720.
- [3]江斯达,占文凤,杨俊,等.局地气候分区框架下城市热岛时空分异特征研究进展[J].地理学报,2020,75(9):1860-1878.
- [4]胡庆芳,张建云,王银堂,等.城市化对降水影响的研究综述[J].水科学进展,2018,29(01):138-150.
- [5]江琪,银燕,单云鹏,等.人为气溶胶对地形云降水的影响—以黄山地区为例[J].大气科学学报,2014,37(4):405-413.
- [6]史军,梁萍,万齐林,等.城市气候效应研究进展[J].热带气象学报,2011,27(06):942-951.
- [7]朱斯坦.城市建筑空间风场形态研究[D].武汉大学,2015.

## 附录 1 杭后工业园周边地区气象灾害调查

序号	时间	灾害	灾害发生地	灾害情况
1	1963 年 3 月 7 日	雪灾	杭锦后旗	3 月 7-17 日,降雪 8.9 毫米,全旗有 40~50%的耕地因潮湿不能按时春播,南渠公社最严重。
2	1963 年 9 月 2 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 445.47 公顷,减产 10%
3	1965 年 9 月 5 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 933.33 公顷,减产 10%
4	1967 年 9 月 9 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 2133.33 公顷,减产 20%
5	1967 年 11 月 21 日	雪灾	杭锦后旗	11 月 21-28 日降雪 21.9 毫米,积雪期长达 99 天(1967.11.21-1968.02.28)。12 月平均气温-21℃,比多年本月平均气温低 11.5℃,全旗 80%以上的果树冻死,受灾面积 216.1 公顷。
6	1968 年 9 月 19 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 20666.67 公顷,减产 20%
7	1969 年 9 月 21 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 18000 公顷,减产 10%~20%
8	1970 年 9 月 25 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 4257.53 公顷,减产 10%~15%
9	1971 年 9 月 18 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 4963.6 公顷
10	1973 年 9 月 25 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 5490.87 公顷,减产 10%~15%
11	1974 年 9 月 14 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 19333.33 公顷,减产 20%~30%
12	1978 年 6 月 15 日	冰雹	四支公社(现沙海镇)	四支公社 66.7 公顷农田遭受雹灾,减产 5~6 成。
13	1978 年 9 月 17 日	冰雹	红星公社(现蛮会镇)	红星公社十多公顷农田因雹灾减产 5 成多。
14	1978 年 9 月 18 日	霜冻	太阳庙、大树湾、沙海、四支、永胜、联合、团结、红星公社	农作物受灾面积 3121.6 公顷,减产 20%~30%
15	1979 年 6 月 25 日	冰雹	大树湾公社(现蒙海镇)	大树湾公社 130 多公顷农田遭受雹灾,减产 3 成多。
16	1979 年 7 月 6 日	冰雹	团结、联合、红星公社(现团结镇、蛮会镇)	团结、联合、红星公社近 300 公顷农田遭受雹灾。
17	1979 年 7 月 20 日	冰雹	沙海、四支、南渠公社(现沙海镇、陕坝镇)	沙海、四支、南渠公社 330 多公顷农田遭受雹灾,减产 3~7 成。
18	1980 年 6 月 26 日	冰雹	四支、永胜、红星、红旗公社(现沙海镇、蛮会镇)	四支、永胜、红星、红旗公社近 700 公顷农田遭受雹灾减产 1~5 成。
19	1980 年 7 月 4 日	冰雹	永胜公社(现蛮会镇)	永胜公社 50 多公顷农田遭受雹灾减产 2~3 成。

20	1980 年 7 月 5 日	冰雹	跃进、光荣、南渠、五星公社（现陕坝镇）	南渠、光荣、跃进、五星公社降雹，雹线全长 30 多公里，最大宽度 8 公里，成灾最大宽度 3-4 公里，冰雹最大直径 30 毫米左右，14 个大队，66 个小队 2215.1 公顷农田遭受雹灾，减产 1~5 成。
21	1980 年 7 月 11 日	冰雹	二道桥公社（现二道桥镇）	二道桥公社 330 多公顷农田遭受雹灾，减产 2~3 成。
22	1980 年 7 月 20 日	冰雹	二道桥公社（现二道桥镇）	二道桥公社 60 多公顷农田雹灾，减产 3 成多。
23	1980 年 9 月 16 日	冰雹	四支公社（现沙海镇）	四支公社，60 多公顷农田雹灾，减产 3 成多。
24	1980 年 9 月 22 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 15333.3 公顷，减产 10%~20%
25	1981 年 6 月 19 日	冰雹	查干、二道桥、三道桥、跃进、沙海、四支、南渠、光荣、红旗、永胜、红星公社（现二道桥镇、三道桥镇、陕坝镇、蛮会镇）	查干、二道桥、三道桥、跃进、沙海、四支、南渠、光荣、红旗、永胜、红星公社的 35 个大队 133 个小队，5300 多公顷农田雹灾，减产 3~8 成，累计损失粮 5000 吨，经济作物减收 99 万多元。共打死羊 11 只；打伤 24 人，大畜 6 头，羊 113 只；损坏民房 51 间。这是中华人民共和国成立以来最严重的一次雹、风、雨灾害。
26	1981 年 7 月 13 日	冰雹	四支、联合、永胜公社（现沙海镇、团结镇、蛮会镇）	四支、联合、永胜公社近 3000 公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
27	1981 年 7 月 22 日	冰雹	四支公社（现沙海镇）	四支公社近 600 多公顷农田雹灾，减产 3~4 成。
28	1981 年 7 月 24 日	冰雹	头道桥、二道桥公社（现头道桥镇、二道桥镇）	头道桥、二道桥公社近 700 公顷农田雹灾，减产 2~4 成。
29	1982 年 6 月 7 日	冰雹	四支、永胜、红旗公社（现沙海镇、蛮会镇）	四支、永胜、红旗公社 530 多公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
30	1982 年 6 月 14 日	冰雹	五星、小召公社（现陕坝镇、二道桥镇）	五星、小召公社近 700 公顷农田雹灾，减产 3~4 成。
31	1982 年 8 月 7 日	冰雹	四支公社（现沙海镇）	四支公社 500 多公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
32	1983 年 7 月 2 日	冰雹	四支乡（现沙海镇）	四支乡 130 多公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
33	1983 年 7 月 24 日	冰雹	沙海乡（现沙海镇）	沙海乡 60 多公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
34	1984 年 5 月 24 日	冰雹	红旗、光荣乡（现蛮会镇、陕坝镇）	红旗、光荣乡近 700 公顷农田雹灾，减产 3 成多。
35	1984 年 7 月 19 日	冰雹	三道桥乡（现三道桥镇）	三道桥乡近 70 公顷农田雹灾，减产 2~3 成。
36	1984 年 7 月 30 日	冰雹	召庙、二道桥、三道桥、四支乡（现双庙、二道桥、三道桥、沙海）	召庙、二道桥、三道桥、四支乡 2000 公顷农田雹灾，减产 4~5 成。

37	1984 年 8 月 1 日	冰雹	沙海、四支乡（现沙海镇）	沙海、四支乡近 70 公顷农田雹灾，减产 4 成多。
38	1984 年 9 月 5 日	冰雹	头道桥乡（现头道桥镇）	头道桥乡 200 多公顷农田雹灾，减产 4~5 成。
39	1984 年 9 月 13 日	冰雹	永胜、红旗乡（现蛮会镇）	永胜、红旗乡 270 公顷农田雹灾，减产 2 成多。
40	1985 年 8 月 6 日	冰雹	头道桥、小召乡（现头道桥镇、二道桥镇）	头道桥、小召乡 670 公顷农田雹灾减产 4~5 成。
41	1986 年 8 月 18 日	冰雹	杭锦后旗	西南部 4 个乡 16 个村 25 个社的 3.11.1 公顷农作物遭受冰雹、大雨大风灾害，其中受灾 3 成以上的有 2438 公顷。冰雹最大直径有 30 毫米左右。本站未出现冰雹。
42	1986 年 8 月 30 日	冰雹	杭锦后旗	8 月 18 日、30 日全旗遭受风雹袭击，受灾面积 2.99 万公顷，其中 30 日雹灾，受灾面积 4499 公顷，成灾面积 3243 公顷；加之遭受水灾，导致长白菜、糜黍损失惨重，减产了成至 5 成。粮食减产 2995 吨，油料减产 808.5 吨，使 154 个社、15130 人缺少口粮。
43	1986 年 12 月 16 日	雪灾	杭锦后旗	大雪过程对交通造成了一定的影响
44	1987 年 6 月 14 日	冰雹	蛮会、团结、红旗、红星、召庙、太阳庙、沙海、光荣、南渠、大树湾、联合、南小召	部分乡镇遭受 2 次冰雹袭击。
45	1988 年 2 月 27 日	雪灾	杭锦后旗	3 月上旬积雪持续 7 天，对春播有一定影响
46	1988 年 6 月 18 日	冰雹	红旗、蛮会、红星	遭受冰雹、暴风雨袭击，风力 7 级，降水时间为 20 分钟，降雨量 15 毫米。冰雹最大直径 2 厘米，使 3 个乡、9 个村、52 个社、1759 户、7029 人的小麦、玉米、甜菜、葵花、瓜类等农作物遭受严重损失，受灾面积 722 公顷，成灾面积 460 公顷。致使小麦减产 393.1 吨，玉米减产 245.4 吨，甜菜减产 547.5 吨，葵花减产 9.6 吨。
47	1988 年 8 月 19 日	冰雹	联合、四支、蛮会、红星（现团结、沙海、蛮会镇）	4 个乡遭受冰雹袭击，冰雹持续 10-15 分钟，降雨 20 毫米。冰雹来势迅猛，多年罕见，冰雹大的如中药丸，小的如蚕豆。联合乡全境遭受雹灾，四支乡还遭受山洪袭击。暴雨、冰雹、山洪使 4 个乡、17 个村、74 个社、2826 户、1.38 万人受灾，波及面积 3249 公顷，成灾面积 2687 公顷；粮食减产 3328 吨，葵花减产 1328.5 吨，甜菜，水果、瓜菜损失惨重。
48	1989 年 5 月 12 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 20820 公顷。

49	1989 年 6 月 28 日	冰雹	四支、蛮会、红星 (现沙海、蛮会镇)	四支、蛮会、红星遭受罕见暴雨、冰雹袭击, 持续时间 30 分钟, 降雨量 15 毫米, 降雹量 2~3 厘米。冰雹大的如蚕豆, 小的如黄豆。3 个乡镇、9 个村、60 社、1752 户、10060 人受灾。受灾面积 2578 公顷, 成灾面积 1881 公顷。粮食减产 2305.85 吨。葵花、乱 菜、瓜菜、胡麻等受灾。
50	1989 年 7 月 6 日	冰雹	四支、联合、团结 (现沙海镇、团结镇)	四支、联合、团结 3 个乡, 10 个村、38 个社 2832 户、12640 人遭受风、雨、雹的袭击, 受灾面积 2147 公顷, 成灾面积 1587 公顷, 粮食减产 1936.1 吨, 葵花、甜菜、胡麻、瓜菜、枸杞等经济作物损失严重。
51	1989 年 7 月 16 日	冰雹	四支、蛮会、联合、 红旗、三道桥、南渠 (现沙海镇、蛮会镇、团结镇、三道桥 镇、陕坝镇)	7 月 16 日 17:00-17:10 分, 四支、蛮会、联合、红旗、三道桥、南渠等 6 个乡镇, 16 个村 70 个社、2629 户、12700 人遭受暴雨、冰雹袭击、受灾面积 2393 公顷、成灾面积 2140 公顷。小麦减产 1086.6 吨, 玉米减产 444 吨, 糜黍减产 75 吨, 甜菜减产 980 吨, 葵花减产 630 吨。
52	1990 年 5 月 30 日	冰雹	四支乡 (现沙海镇)	四支乡友爱、向阳 2 个村、997 户、3902 人遭受冰雹袭击, 地面冰雹厚 6 厘米。受灾面积 727 公顷, 成灾面积 649 公顷; 粮食及各类农作物减产严重。
53	1990 年 6 月 17 日	冰雹	四支、红旗 (现沙海 镇、蛮会镇)	6 月 17 日 16:30-16:50 分, 四支、红旗 2 个乡遭受冰雹袭击, 冰雹积厚 3 厘米, 使 3 个村、14 个社、597 户、3828 人遭受严重损失。受灾面积 647 公顷, 成灾面积 377 公顷; 粮食减产 249.5 吨。
54	1990 年 8 月 29 日	冰雹	四支、光荣、南渠 (现沙海镇、陕坝镇)	四支、光荣、南渠遭受冰雹袭击, 造成灾害。
55	1991 年 4 月 23 日	霜冻	杭锦后旗	受灾面积 1777.8 公顷。
56	1991 年 5 月 29 日	冰雹	联合乡 (现团结镇)	5 月 29 日 22:15~22:20 分, 联合乡的 5 个村、19 个社、831 户、4120 人遭受冰雹袭击。冰雹大的直径 2.5 厘米, 小的如蚕豆。受灾面积 581 公顷, 成灾面积 234 公顷; 玉米减产 210 吨。
57	1991 年 6 月 7 日	冰雹	小召 (现二道桥镇)	小召降雹, 造成灾害。
58	1992 年 5 月 14 日	冰雹	红旗、黄河 (现蛮会 镇、头道桥镇)	5 月 14 日 11:55-12:10 分, 红旗、黄河的 10 个村、63 个社、2727 户、1.30 万人遭受冰雹袭击。冰雹积厚 2 厘米, 雹大者如核桃, 小者如黄豆。受灾面积 2283 公顷, 成灾面积 785 公顷, 玉米覆膜全部被打破, 自然减产 526 吨。
59	1992 年 7 月 9 日	冰雹	沙海、四支、三道 桥、蛮会镇 (现沙海 镇、三道桥、蛮会镇)	沙海、四支、沙海、三道桥、蛮会镇降雹, 造成灾害, 受灾面积 2837.7 公顷。
60	1992 年 7 月 20 日	冰雹	光荣、南渠、头道 桥、二道桥、三道桥	光荣、南渠、头道桥、二道桥、三道桥降雹, 造成灾害, 受灾面积公顷。



61	1992 年 7 月 21 日	冰雹	头道桥、二道桥、沙海乡（现头道桥、二道桥、沙海）	头道桥、二道桥、沙海乡降雹，造成灾害。
62	1993 年 7 月 25 日	冰雹	太阳庙、南小召、南渠（现双庙镇、二道桥、陕坝镇）	7 月 25 日 2:40~2:50 分，太阳庙、南小召、南渠 3 个乡的 11 个村、43 个社、1693 户、8083 人，遭受冰雹和急风暴雨袭击。冰雹大如蚕豆，小如豌豆，风力最高达 7 级。受灾面积 1986 公顷，成灾面积 1481 公顷。损失小麦 759.7 吨，玉米减产 520.7 吨。
63	1994 年 6 月 30 日	冰雹	二道桥、头道桥	6 月 30 日 15 时，二道桥、头道桥遭受冰雹袭击，冰雹大如核桃，小如大豆。
64	1994 年 6 月 30 日	冰雹	二道桥、头道桥	1994 年 6 月 30 日 15 时，二道桥、头道桥遭受冰雹袭击，冰雹大如核桃，小如大豆。
65	1994 年 7 月 3 日、8 日	冰雹	团结、红星（现团结镇、蛮会镇）	7 月 3 日团结、红星降雹，造成灾害，受灾面积 301.3 公顷。 7 月 8 日 17:00~17:04 分，红星、团结遭受冰雹袭击。冰雹大的如核桃，小的如蚕豆。雹灾使 11 个村、36 个社、1250 户、7300 人遭受严重损失，成灾面积 1881 公顷，粮食减产 2420 吨。
66	1994 年 7 月 18 日	冰雹	四支、光荣（现沙海镇、陕坝镇）	四支、光荣降雹，造成灾害，受灾面积 33.4 公顷。
67	1994 年 8 月 10 日	冰雹	杭锦后旗	8 月 10 日 17:00-17:30 分本旗境内遭受强风、暴雨、冰雹袭击（瞬时风速达 20 米/秒，降水量达 39.2 毫米），刮断、连根拔起大树上百余棵，致使全旗 17 个乡镇、143 个村、926 个社、4.4 万农户受灾，受灾农田 44933.3 公顷，直接经济损失 4300 万元，属历史上罕见的一次重大自然灾害。
68	1995 年 7 月 15 日	冰雹	光荣乡（现陕坝镇）	光荣乡降雹，造成灾害。
69	1995 年 7 月 16 日	冰雹	沙海乡（现沙海镇）	沙海乡新红村降雹，80 公顷作物受灾，受灾三成以上约 53 公顷。（与降雹记录有偏差）
70	1996 年 7 月 13 日、13 日	冰雹	团结乡、联合乡（现团结镇）	两次降雹成灾，团结乡、联合乡共有 7 个村、26 个社受灾，受灾面积 1252 公顷，主要受灾作物有小麦、玉米、葵花、瓜菜等。
71	1996 年 8 月 10 日	冰雹	头道桥	头道桥新建村降雹，造成灾害。
72	1999 年 6 月 16 日	冰雹	团结、联合、红星、头道桥、二道桥、大树湾、太阳庙	团结、联合、红星、头道桥、二道桥、大树湾、太阳庙遭受冰雹、暴风袭击，28 个村、6163 户、2.58 万人受灾，农作物受灾面积 8327 公顷，其中成灾面积 5647 公顷，绝收 586 公顷。小麦减产 7050 吨，玉米减产 1410 吨，各类经济作物减产 1858 吨。
73	1999 年 6 月 18 日	冰雹	杭锦后旗	部分乡镇遭受强风和冰雹袭击，使 7 个乡镇农作物受到严重损失。
74	1999 年 7 月 7 日	冰雹	南小召、沙海、三道桥、五星、南渠、四支、蛮会 7 个乡镇遭冰雹、暴风雨袭击，	18 时 10 分，南小召、沙海、三道桥、五星、南渠、四支、蛮会 7 个乡镇遭冰雹、暴风雨袭击，

			支、蛮会（现二道桥、沙海镇、三道桥、陕坝、蛮会）	冰雹持续 20 多分钟，最大雹粒直径 2 厘米左右。翌日部分地区尚存雹粒。此次雹灾使 7 个乡镇、32 个村、136 个村民小组、5440 户、17600 人受灾、受灾面和 9867 公顷，其中成灾面积 9071 公顷，绝收 4155 公顷。
75	2000 年 8 月 7 日	冰雹	沙海	8 月 7-9 日，部分乡镇遭受暴风雨和冰雹的袭击，沿山一线乡镇农作物受灾较重。杭后沙海、新红、三社受灾 2866.7 公顷，成灾 2000 公顷。
76	2001 年 8 月 6 日	冰雹	联合（现团结镇）	联合降雹，造成灾害。
77	2002 年 12 月 21 日、22 日	雪灾	杭锦后旗	全旗受灾人口 6000 人，6000 只羊羔缺少饲草料，降雪量 4.3 毫米。20-22 日降雪，对交通和人们的生活带来不同程度的影响。
78	2003 年 3 月 14 日	雪灾	头道桥、红星、团结、四支、沙海、蛮会	3 月 14-16 日，头道桥、红星、团结、四支、沙海、蛮会，受灾人口 21000 人，直接经济损失 675.4 万元，大棚损坏 13 座，降雪量 4.5 毫米。
79	2003 年 5 月 9 日	冰雹	陕坝、四支、召庙、联合、红旗、小召、南渠	出现冰雹天气，冰雹最大直径 8 毫米，使陕坝、四支、召庙、联合、红旗、小召、南渠等乡镇遭到袭击，蔬菜、果树受灾较重。受灾面积 11333.3 公顷，成灾面积 2866.7 公顷，大棚 4 座，羊 9 只，共折合人民币 854.72 万元
80	2003 年 5 月 18 日	冰雹	二道桥	二道桥炮点降雹，造成灾害，受灾面积 1300 多公顷。
81	2003 年 5 月 26 日	冰雹	召庙乡（现双庙镇）	召庙乡降雹，造成灾害，受灾面积 200 多公顷。
82	2003 年 7 月 5 日	冰雹	永胜(现蛮会镇)	永胜降雹，造成灾害，受灾面积 673.3 公顷。
83	2003 年 7 月 16 日	冰雹	沙海	沙海炮点降雹，造成灾害，受灾面积 1000 公顷。
84	2006 年 1 月 19 日	雪灾	杭锦后旗	此次降雪对土壤保墒非常有利，但给交通造成很大影响
85	2006 年 7 月 24 日	冰雹	双庙镇	双庙镇 2 个村 11 个社遭受冰雹灾害，农作物受灾面积 175 公顷，直接经济损失 95 万元，最大冰雹直径 7 毫米。
86	2006 年 8 月 25 日	冰雹	沙海镇、蛮会镇	沙海镇、蛮会镇的 4 个村 24 个村民小组遭受冰雹灾害，农作物受灾面积 1618.1 公顷，直接经济损失 1080 万元，最大冰雹直径 7 毫米。
87	2008 年 1 月 16 日	雪灾	杭锦后旗	降雪对交通居民出行有很大影响
88	2008 年 5 月 10 日	霜冻	陕坝镇、头道桥、三道桥、二道桥、沙海镇、团结镇、团结镇、蛮会镇	经济损失 2868 万元
89	2009 年 4 月 23 日	大风	杭锦后旗	受 23 日大风降温过程影响，农作物未受冻害，部分小工棚薄膜及覆盖地膜被风吹起，受灾面积 133.3 公顷，成灾面积 13.3 公顷，灾害损失 1-2 成，直接经济损失 1 万元。

90	2009 年 8 月 17 日	冰雹	团结镇、蛮会镇	团结镇联合村、蛮会镇民主村出现 冰雹、大风，造成灾害，受灾面积 507.0 公顷。
91	2009 年 8 月 17 日	雷雨 大风	杭锦后旗	大风造成玉米、葵花成片倒伏，番茄、籽瓜也受到了严重损伤。 农作物受灾面积 7600.8 公顷，成灾面积 6080.7 公顷，绝收面积 3353.7 公顷，直接经济损失 8677.2 万元。
92	2010 年 3 月 19 日	大风	杭锦后旗	19 日下午到夜间出现了强沙尘暴，三道桥胜利 10 社 3 家村民 2 间凉房、3 个柴草垛失火，街道部分广告牌、直径 10cm 树木刮倒，个别大棚温室受到不同程度的损失，直接经济损失 1400 元。
93	2010 年 5 月 27 日	冰雹	杭锦后旗	双庙镇的新建、五丰、二支、五一、增光 6 个村、12 个村民小组受灾，受灾人口 10863 人，作物受灾面积 468 公顷，包括葫芦、番茄、玉米、籽瓜、葵花、辣椒，经济损失 245.7 万元。
94	2010 年 6 月 12 日	雷电	杭锦后旗	蛮会镇华西村 11 社下午 15 时 30 分左右发生一起雷电灾害，造成 1 人死亡。
95	2012 年 6 月 25 日	暴雨	杭锦后旗	灾情造成 8 个镇、107 个村、1041 个村民小组、167200 人、50063 户人口受灾，农作物受灾面积 70400 公顷，成灾面积 54808.6 公顷，绝收 13268.93 公顷。
96	2012 年 7 月 27 日	暴雨	杭锦后旗	强降雨导致北部山区山洪爆发，城市内涝，部分村庄、农田被淹。
97	2015 年 7 月 17 日	冰雹	二道桥镇、三道桥镇、蒙海镇、太阳庙镇	二道桥镇、三道桥镇、蒙海镇、太阳庙镇遭受不同程度的冰霜袭击，造成玉米、葵花、小麦和瓜菜不同程度损害，受灾面积 3889 公顷，直接经济损失 5700 万元。
98	2015 年 7 月 20 日	冰雹	杭锦后旗	双庙镇、二道桥镇、三道桥镇、蒙海镇出现冰雹，部分作物受灾，甚至绝产。
99	2015 年 7 月 21 日	冰雹	杭锦后旗	太阳庙农场三连、新十连出现冰雹，玉米、葵花等作物受冰雹袭击。
100	2016 年 6 月 12 日	冰雹	杭锦后旗	风雹灾害导致受灾人口 5048 人，农作物受灾面积 752.4 公顷，直接经济损失 257.92 万元
101	2016 年 7 月 14 日	冰雹	杭锦后旗	风雹灾害，受灾人口 26609 人，农作物受灾面积 13146.6 公顷，农作物绝收面积 1322.2 公顷，直接经济损失 15969.8 万元
102	2018 年 6 月 24 日	雷雨 大风	杭锦后旗	造成 9 个镇（陕坝镇，头道桥镇，二道桥镇，三道桥镇，团结镇，蒙海镇，沙海镇，蛮会镇，双庙镇），一个农场（太阳庙农场）的农作物在不同程度上遭受大风阵雨袭击，葵花，玉米，小麦大面积倒伏，给农民造成了严重的经济损失。全旗农作物受灾人口 10345 户，22517 人，总受灾面积 5763 公顷，造成经济损失 1729.1 万元
103	2018 年 7 月 22 日	强降水	杭锦后旗	7 月 22 日 19 时-23 日 10 时杭锦后旗 13 个监测站点全部出现降水，大部站点出现短时大风天气，

				其中大雨（25-49.9 毫米）2 个站；中雨（10-24.9 毫米）5 个站；小雨（0.1-9.9 毫米）6 个站。最大降水量出现在团结民治降水量为 29.3 毫米，最大雨强出现在团结镇民治桥 04-05 时 16 毫米/小时。头道桥镇出现 8 级大风，团结镇、沙海镇、蒙海镇出现 7 级大风。
104	2018 年 7 月 23 日	冰雹	杭锦后旗	风雹灾害，受灾人口 37738 人，农作物受灾面积 3789.83 公顷，直接经济损失 1255.53 万元
105	2018 年 8 月 11 日	山洪	杭锦后旗	沙海村：受灾农户 3 户、12 人，玉米受灾面积 19.3 公顷；成灾面积 20.7 公顷，其中成灾 3.5 成，经济损失计 19.53 万元。 新红村：受灾农户 5 户、29 人，玉米受灾面积 14 公顷；成灾 7.3 公顷，其中绝收 4.7 公顷，经济损失计 15.12 万元。 旗养猪场：受灾农户 13 户、50 人，玉米受灾面积 53.3 公顷；成灾 33.3 公顷，成灾 3.5 成，经济损失计 31.5 万元。葵花受灾面积 12 公顷，绝收 6.7 公顷，经济损失 18 万元。葫芦受灾面积 11.3 公顷，绝收 6.7 公顷，折损 16.2 万元。
106	2019 年 5 月 11 日	冰雹	杭锦后旗	11 日午后头道桥镇新丰村 1、3、4 社，二道桥镇甲一、庆丰、太阳升部分社出现黄豆大小冰雹，果树、番茄、青椒等遭受雹灾袭击。经初步统计头道桥镇未出现灾情，二道桥镇甲一村 1、4、5、6、7 社，庆丰村 2、3、4、7 社，太阳升村 7、8、9 社，永增村 7 社遭受冰雹、大风、沙尘暴灾害性天气袭击，导致约 106.7 公顷青椒、番茄等农作物受灾严重，庆丰 6 社设施农业 4 座大棚棚膜被大风刮烂，钢架移位受损严重
107	2019 年 5 月 12 日	霜冻	杭锦后旗	受灾农作物玉米 1799.8 公顷、青椒 600.4 公顷、番茄 753.2 公顷、葫芦 2180.2 公顷、香瓜 21.1 公顷、西瓜 874.1 公顷、果树 87.8 公顷，受灾农作物共计 6316.6 公顷，直接经济损失 2300 万元。
108	2019 年 6 月 21 日	强降水	杭锦后旗	降雨造成城区部分路段存在积水，发生城市内涝，无房屋倒塌和人员伤亡情况。因持续降雨，造成灾情扩大，我旗三道桥镇、双庙镇和团结镇遭受不同程度受灾，有 25 个村、86 个村民小组、2174 户、6742 人受灾，农作物出现倒伏现象。
109	2019 年 7 月 19 日	冰雹	陕坝镇、沙海镇、蒙海镇、蛮会镇、二道桥镇、太阳庙农场	7 月 19 日至 7 月 20 日 9 点 30 分开始，出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 2 厘米，致使杭锦后旗陕坝镇、沙海镇、蒙海镇、蛮会镇、二道桥镇、太阳庙农场发生风雹灾害。据统计，该灾情造成我旗陕坝镇、沙海镇、蒙海镇、蛮会镇、二道桥镇、太阳庙农场、6 个镇、61 个村、630 个村民小

				组、4730 户，14179 人受灾，其中，小麦受灾 527.4 公顷，葵花受灾 3774 公顷，番茄受灾 717 公顷，玉米 1867 公顷，其它 237 公顷，经核查，此次灾情造成农作物受灾 7122.4 公顷，成灾 2374 公顷，经济损失 2837.8 万元。
110	2019 年 8 月 3 日	冰雹	头道桥镇	8 月 3 日 13 点 30 分开始，出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 2 厘米，致使杭锦后旗头道桥镇发生风雹灾害。据统计，该灾情造成头道桥镇 1 个镇、1 个村、3 个村民小组、92 户，276 人受灾，其中，葵花受灾 323.3 公顷，玉米 30 公顷，经核查，此次灾情造成农作物受灾 353.3 公顷，成灾 107.8 公顷，经济损失 269.5 万元。
111	2019 年 8 月 10 日	冰雹	头道桥镇、三道桥镇	8 月 10 日 6 点 30 分开始，杭锦后旗出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 2 厘米，致使杭锦后旗头道桥镇、三道桥镇、发生风雹灾害。造成头道桥镇、三道桥镇 6 个村、33 个村民小组、200 户，600 人受灾，其中，葵花受灾 300 公顷，玉米 186 公顷，灾情造成农作物受灾 486 公顷，成灾 162 公顷，经济损失 392.4 万元。
112	2019 年 8 月 14 日	冰雹	头道桥镇	8 月 14 日 13 点 30 分开始出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 2 厘米，造成头道桥镇 1 个镇、6 个村、44 个村民小组、1321 户，3963 人受灾，其中，葵花受灾 634 公顷，玉米 934 公顷，总计农作物受灾 1568 公顷，成灾 523 公顷，经济损失 438.15 万元。
113	2020 年 4 月 21 日	冻害	杭锦后旗	灾害已造成太阳庙农场、沙海镇、头道桥镇、二道桥镇、三道桥镇、陕坝镇、蒙海镇等 7 个乡镇、15 个村、89 个社、3026 户、9120 人受灾，其中西甜瓜、番茄受灾面积 351 公顷，成灾 209 公顷，经济损失 1137.2 万元。果树受灾面积 347 公顷，成灾 293 公顷，经济损失 3078.8 万元。
114	2020 年 4 月 22 日	霜冻	头道桥、二道桥、三道桥镇、陕坝镇、蒙海镇、太阳庙农场、沙海镇	受灾面积 698 公顷，经济损失 4216 万元。
115	2020 年 5 月 1 日	低温冷害	陕坝镇、头道桥、沙海、太阳庙农场	受灾人口 1134 人，经济损失 5738 万元。
116	2020 年 6 月 29 日	冰雹	沙海镇、蒙海镇、蛮会镇、太阳庙农场	6 月 29 日 7 点 30 分开始，出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 1 厘米，致使沙海镇、蒙海镇、蛮会镇、太阳庙农场发生风雹灾害。造成 3 个镇、1 个

				农场的 23 个村、204 个村民小组、6183 户，15006 人受灾，其中，小麦受灾 220 公顷，葵花受灾 1234 公顷，西瓜、辣椒受灾 280 公顷，玉米 846 公顷，总计造成农作物受灾 2580 公顷，成灾 860 公顷，直接经济损失 757.2 万元。
117	2020 年 7 月 12 日	冰雹	头道桥镇、二道桥镇、三道桥镇、双庙镇、沙海镇、陕坝镇	7 月 12 日 2 点 30 分开始，出现降雨降温天气过程，局部地区发生了短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 1 厘米，致使头道桥镇、二道桥镇、双庙镇、三道桥镇、沙海镇、陕坝镇等乡镇农作物受灾。造成 6 个镇 44 个村、236 个村民小组、6290 户，18904 人受灾，其中，小麦受灾 508.9 公顷，葵花受灾 1265.7 公顷，玉米受灾 175 公顷，西瓜、蜜瓜受灾 29.3 公顷、西葫芦受灾 24.2 公顷、番茄、青椒受灾 89.3 公顷，经核查，此次灾情造成农作物受灾 2092.4 公顷，成灾 697.5 公顷，经济损失 567.5 万元。
118	2020 年 7 月 18 日	冰雹	蒙海镇、团结镇、蛮会镇	7 月 18 日 8 点 30 分开始，出现降雨降温天气过程，局部地区发生了大风、短时冰雹、强对流天气，冰雹最大直径 1 厘米，致使蒙海镇、团结镇、蛮会镇等农作物受灾。造成 3 个镇 17 个村、111 个村民小组、3203 户，8907 人受灾，其中，小麦受灾 429.3 公顷，葵花受灾 2027.7 公顷，玉米受灾 511.8 公顷，西葫芦受灾 223.3 公顷、番茄、青椒受灾 20.3 公顷，经核查，此次灾情造成农作物受灾 3212.4 公顷，成灾 1070.8 公顷，经济损失 886.9 万元。
119	2020 年 7 月 31 日	冰雹	太阳庙农场	31 日 7 点 30 分开始，出现强对流天气，伴有雷暴，冰雹及短时强降雨，冰雹最大直径约 1 厘米左右，降雨 10~15.7 毫米。致使太阳庙农场 3 个村、133 户，324 人遭受风雹灾害。农作物受灾面积共 318.2 公顷，（成灾 106.1 公顷），受灾农作物主要有玉米、葵花、西葫芦、果树、蜜瓜等，直接经济损失为 128.1 万元。其中，受灾农作物主要为玉米、葵花、西葫芦、果树、蜜瓜，面积为 318.2 公顷，每公顷平均价为 0.75-8.1 万元，平均损失 30%-100%约为 128.1 万元，共计 128.1 万元。其中：葵花受损 25.6 公顷，每公顷平均价为 22500 元，每公顷平均损失约 30-90%为 7500-20250 元，合计损失 19.2 万元；葫芦、蜜瓜经济作物受损 13.7 公顷，每公顷平均价为 45000 元，每公顷平均损失约 30-90%为 15000-40500，合计损失 20.6 万元；玉米受损 53.4 公顷，每公顷平均价 27000 元，每公顷平均损失约 30-90%为 9000-24300 元，合计损失 48.1 万元；果树受损 13.4 公

				顷，每公顷平均价 90000 元，平均损失约 30-90% 为 30000-81000 元，合计损失 40.2 万元；本次受灾直接经济损失共计 128.1 万元。
120	2021 年 5 月 6 日	雷雨 大风	杭锦后旗	6 日 13 时至 15 时，出现 7-9 级大风沙尘天气，受沙尘暴和大风沙尘影响，致使三道桥镇、团结镇、沙海镇 3 个镇 5 个村、8 个村民小组、188 户，488 人受灾，造成农作物受灾 13.5 公顷，成灾 9.04 公顷，受灾农作物主要有西甜瓜、大棚受损直接经济损失为 225 万元。灾情经济损失明细如下：受灾农作物主要为西甜瓜面积为 13.5 公顷，成灾 9.04 公顷，每公顷平均价为 90000 元-300000 元，平均损失 30%-100%，约为 225 万元，共计 225 万元。其中：西甜瓜受损 13.5 公顷，每公顷平均价为 300000 元，每公顷平均损失约 30-100%为 90000 元-300000 元，合计损失 121.2 万元；大棚受损 173 座，每座 6000 元，合计损失 103.8 万元，共计直接经济损失为 225 万元。
121	2021 年 6 月 28 日	大风	杭锦后旗	28 日 19 时-20 时，出现阵性大风、降雨天气，最大降水出现在沙海镇 4.5 毫米，极大风速出现在蛮会镇达 25.1m/s（10 级）。据统计，此次灾情造成二道桥镇、沙海镇、双庙镇、团结镇 4 个镇 33 个村、204 个（社）村民小组、3018 户、8007 人受灾。灾情造成农作物受灾 1788.2 公顷，成灾 596.1 公顷，受灾农作物主要有小麦、葵花、玉米、青椒等，直接经济损失为 496.5 万元。

246



## 附录 3 区域雷电灾害风险评估方法

### 附录 3.1 评估资料和流程

#### (1) 资料

①评估单位进行雷电灾害风险评估时，需收集包括但不限于以下资料：

评估对象的建设方案、设计规划和使用性质等背景资料；

评估对象的可行性研究报告、地质勘查报告、环境影响评价报告等规划资料；

评估对象的总平面图、地形图、工程设计图或施工图等图纸资料；

评估对象所在地地理、地质、土壤、水文资料；

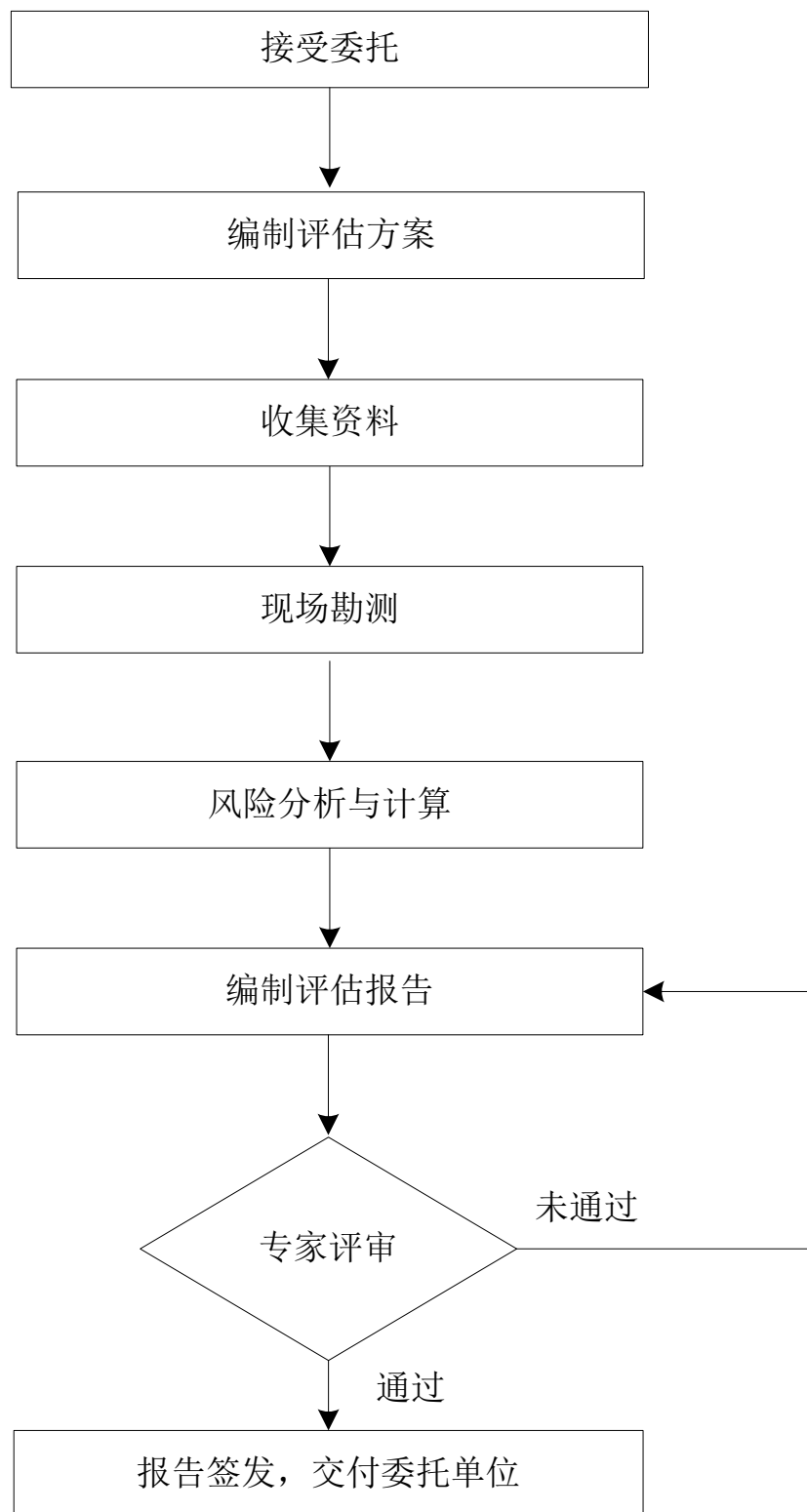
评估对象所在地雷暴观测、闪电定位、大气电场和雷电灾害等气象资料；

评估对象的雷电防护、雷电灾害应急预案以及维护等防雷管理资料。

②雷电灾害风险评估单位使用的雷暴观测资料宜收集当地气象观测站近 30 年逐日雷暴观测数据，闪电定位、大气电场资料宜收集近 5 年的地闪定位资料，雷电灾害宜收集近 20 年雷电灾情资料，以上气象资料应当使用符合国家气象技术标准的气象资料。

## (2) 流程

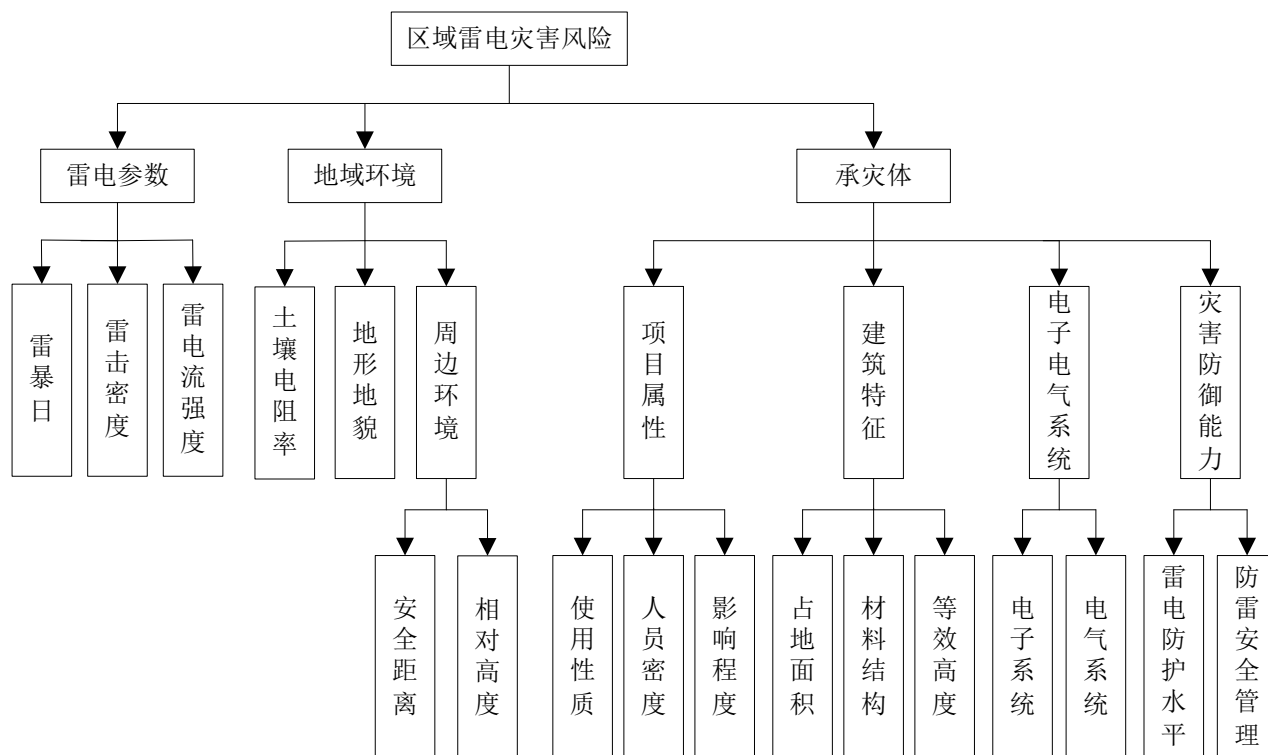
评估流程见附图1。



附图 1 区域风险评估流程

## 附录 3.2 风险指标

风险指标的构成由雷电参数、地域环境和承灾体构成，见附图 2。



附图 2 区域风险评估指标因子

## 附录 3.3 评估方法

### (1) 子区域划分

#### ①划分原则

当评估区域内雷电参数、地域环境、承灾体存在明显差异时，评估区域宜划分成不同的子区域。

#### ②划分因素

雷电参数；

地域环境；

项目属性；

灾害防御能力。

注：只有占地面积大于 5 km<sup>2</sup> 的评估项目才需考虑“雷电参数”的差异；只有已建项目才需考虑“灾害防御能力”的差异。

### (2) 风险计算方法

#### ①风险指标分类

风险指标分为定性指标和定量指标两大类。定性指标有地形地貌、安全距离、相对高度、使用性质、影响程度、材料结构、电子系统、电气系统、区域雷电防护水平、区域防雷安全管理。

定量指标又分为极小型指标和极大型指标两种，其中雷暴日、雷击密度、雷电流强度、人员密度、建筑密度、等效高度为极小型指标，土壤电阻率为极大型指标。

#### ②评估指标隶属度计算

## I. 定性指标隶属度的确定

定性指标隶属度的确定方法是将资料收集、现场勘测后的具体情况与该定性指标的分级标准相比较，当其符合某一个危险等级的描述，则说明该指标完全隶属于该危险等级，即隶属度=1。

## II. 定量指标隶属度的计算

各定量指标隶属度应分别按照极小型或极大型指标隶属度公式计算。指向同一上层指标的各子指标隶属度构成隶属度矩阵  $R$ 。

### ③ 综合评估

区域雷电灾害风险评估综合评估基本公式见公式（1），其权重大小可根据层次分析法确定。

$$B = W \cdot R = (w_1, w_2, \dots, w_m) \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m5} \end{bmatrix} = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5] \dots\dots\dots(1)$$

式中：

$B$  —— 评估指标的隶属度向量；

$W$  —— 评估指标的权重向量；

$R$  —— 评估指标的隶属度矩阵。

### ④ 评估结果计算

通过多级综合评估，由第四层指标向第一层指标逐级计算得出“雷电灾害区域风险”的隶属度向量。通过加权平均的方法量化得到综合评估结果  $g$  值：

$$g = b_1 + 3 \times b_2 + 5 \times b_3 + 7 \times b_4 + 9 \times b_5 \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- $b_1$ ——目标与评估等级 I 的隶属度；
- $b_2$ ——目标与评估等级 II 的隶属度；
- $b_3$ ——目标与评估等级 III 的隶属度；
- $b_4$ ——目标与评估等级 IV 的隶属度；
- $b_5$ ——目标与评估等级 V 的隶属度。

⑤风险等级判定

根据综合评估结果g值，按照附表1进行风险等级判定。

附表 1 雷电灾害区域风险分级标准

说 明	
危险等级	综合评价用 g 表示，g 值越小代表区域内项目雷击致灾风险越低，g 值越大代表区域内项目雷击致灾风险越高，g 值区间[0，10]。
I 级	综合评价 $0 \leq g < 2$ ，低风险
II 级	综合评价 $2 \leq g < 4$ ，较低风险
III 级	综合评价 $4 \leq g < 6$ ，中等风险
IV 级	综合评价 $6 \leq g < 8$ ，较高风险
V 级	综合评价 $8 \leq g \leq 10$ ，高风险

## 附录 4 极值推算方及拟合适度检验方法

### 附录 4.1 极值 I 型分布

极值 I 型分布函数：

$$F(x) = p(X_{max} < X) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \dots\dots\dots (1)$$

其超过保证率函数是：

$$p(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \dots\dots\dots (2)$$

#### (1) 用耿贝尔法估计参数 $\alpha$ 和 $u$

令  $y = \alpha(x - u)$ ，求得  $y$  的保证率函数为：

$$p(x) = p(Y \geq y) = 1 - e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (3)$$

$$E(Y) = \alpha[E(X_M) - u]$$

$$D(Y) = \alpha^2 D(X_M)$$

由此得到：

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_{XM}} \dots\dots\dots (4)$$

$$u = E(X_M) - \frac{1}{\alpha} E(Y) = E(X_M) - \frac{\sigma_{XM}}{\sigma_Y} E(y) \dots\dots\dots (5)$$

以序列的均值及标准差作为  $E(X_M)$  及  $\sigma_{XM}$  的近似估计值。而  $E(Y)$  和  $\sigma_Y$  的近似估计值  $\bar{y}$  及  $S_y$  只与  $N$  有关，有表可查。将上述四个估计值代入 (4)、(5) 式求出  $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{u}$ ，再将其代入 (3) 式可得：

$$X_p = \hat{u} - \frac{1}{\hat{\alpha}} \ln[-\ln(1 - p)] \dots\dots\dots (6)$$

由 (6) 式算出 4 个重现期的基本风速、基本积雪深度、基本气温等。

#### (2) 矩法参数估算法

中国气象科学研究院的专家在 1999 年给出了矩法参数估算法，方法较新，用这个方法再进行一次计算，目的是用来检验以上的计算结果。

极值 I 型分布函数也可以写成：

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x - u)]\} \dots\dots\dots (7)$$

式中  $u$  是分布的位置参数，即其分布的众值；

$\alpha$  是分布的尺度参数，它们与矩的关系为：

一阶矩（均值）： $E(x) = \frac{a}{\alpha} + u$ ，式中  $a = 0.57722$

二阶矩（方差）： $\sigma^2 = \frac{C^2}{a^2}$ ，式中  $C = \frac{\pi}{\sqrt{6}} = 1.28255$

因此：

$$\alpha = \frac{1.28255}{\sigma} \dots\dots\dots (8)$$

$$u = E(x) - \frac{0.57722}{\alpha} \dots\dots\dots (9)$$

计算出序列的平均值和标准差作为参数而  $E(x)$  和  $\alpha$  的估计值，计算出参数  $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{u}$  后，仍用（6）式计算出不同重现期的基本风速、基本积雪深度、基本气温等。

## 附录 4.2 广义极值分布

广义极值分布的分布函数为：

$$F(x) = \exp \left[ - \left\{ 1 - k \frac{x-\beta}{\alpha} \right\}^{\frac{1}{k}} \right], \quad k \neq 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left\{ \frac{x-\beta}{\alpha} \right\} \right], \quad k = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中： $\alpha$  是尺度参数； $\beta$  为位置参数； $k$  为形状参数。当  $k=0$  时，为 I 型极值分布；当  $k<0$  时，为 II 型极值分布；当  $k>0$  时，为 III 型极值分布。

参数估计采用 L-矩估计方法，此方法最大的优点是对序列的极大值和极小值没有常规矩敏感，求得的参数估计值比较稳健。设样本  $X$  为  $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$ ，该序列概率权重矩的三阶权重矩为：

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{j:n} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j:n} \quad \dots\dots\dots (14)$$

计算上述三式的线性组合，即 L 矩，分别为：

$$\lambda_1 = b_0 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\lambda_2 = 2b_1 - b_0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\lambda_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad \dots\dots\dots (17)$$

广义极值分布参数的估计公式为：

$$k = 7.8590c + 2.9554c^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$c = \frac{2}{3 + \lambda_3/\lambda_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1 - 2^{-k})\Gamma(1+k)} \quad \dots\dots\dots (20)$$



$$\beta = \lambda_1 - \frac{\alpha[1-\Gamma(1+k)]}{k} \dots\dots\dots (21)$$

对任意给定的频率  $p$ ，由  $p = 1 - F(x_p)$  求解与频率  $p$  对应的设计值  $x_p$  为：

$$x_p = \beta + \alpha\{1 - [-\ln(1 - p)]^k\}/k \dots\dots\dots (22)$$

## 附录 4.3 拟合适度检验

柯尔莫戈洛夫拟合适度检验指标：

$$K_f = D_n \sqrt{n} \dots\dots\dots (23)$$

其中  $N$  为样本容量， $D_n$  表示拟合出来的理论分布与经验分布的最大偏差。

$$D_n = \max\{|F^*(x_i) - F(x_i)|\} \dots\dots\dots (24)$$

式中  $F(x_i)$  为理论分布函数， $F^*(x_i)$  为经验分布函数，即把气候要素的  $n$  个观测值从小到大的顺序排列

为： $x_1^* \leq x_2^* \leq \dots \leq x_m^* \leq \dots x_n^*$

$$\text{则 } F_n^*(x) = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots (25)$$

这里  $x_i$  为有序样本， $D_n$  表示在所有各点上，经验分布于假设的理论分布之差的极大值。取信度为 0.05，

查表可得相应值。只要  $K_f < 1.35$ ，则认为样本序列服从该型概率分布。

## 附录 5 区域风险评估指标分级标准

### 雷电风险影响因素

#### 雷暴日

#### 雷暴日分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷暴日 (d/年)	[0, 20)	[20, 40)	[40, 60)	[60, 90)	[90, 365)

#### 雷击大地密度

#### 雷击密度分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷击密度 (次/km <sup>2</sup> a)	[0, 1)	[1, 2)	[2, 3)	[3, 4)	[4, ∞)

#### 雷电流强度

#### 雷电流强度分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
雷电流强度 (kA)	[0, 20)	[20, 30)	[30, 40)	[40, 80)	[80, ∞)

### 地域风险影响因素

#### 土壤电阻率

#### 土壤电阻率分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	[3000, ∞)	[1000, 3000)	[300, 1000)	[100, 300)	[0, 100)

#### 地形地貌

- I 级 (平原、地形起伏度 0-20m) ;
- II 级 (丘陵、地形起伏度 20-150m) ;
- III 级 (山地、地形起伏度 >150m) ;
- IV 级 (河流、湖泊以及低洼潮湿地区、山间风口等) ;

——V级（旷野孤立或突出区域）。

## 周边环境

## 安全距离

——I级（不符合II级、III级、IV级、V级的情况者）；

——其他等级的划分见表A.5。

## 安全距离分级（II级～V级）

危险等级	安全距离（m）				
	0/20 区	1/21 区	储存火（炸）药及其制品的场所	2/22 区	具有爆炸危险的露天钢质封闭气罐
II级	[0,1000)	[0,1000)	[0,500)	[0,500)	[0,500)
III级	[0,500)	[0,500)	[0,300)	[0,300)	[0,300)
IV级	[0,300)	[0,300)	[0,100)	[0,100)	[0,100)
V级	[0,100)	[0,100)	[0,100)（易引起爆炸且后果严重）	—	—

## 相对高度

——I级（评估区域被比区域内项目高的外部建构筑物或其它雷击可接闪物所环绕）；

——II级（评估区域外局部方向有高于评估区域内项目的建构筑物或其它雷击可接闪物）；

——III级（评估区域外建构筑物或其它雷击可接闪物与评估区域内项目高度基本持平）；

——IV级（评估区域外建构筑物或其它雷击可接闪物低于区域内项目高度）；

——V级（评估区域外无建构筑物或其它雷击可接闪物）。

## 承灾体风险影响因素

### 项目属性

## 使用性质

## 使用性质分级标准

危险等级	建（构）筑物的使用性质
I级	低于24m的民用建筑、工业建筑等
II级	商业建筑、公共娱乐场所、高层建筑等

III 级	超过 100m 的民用建筑、酒店、教学楼、大型工业建筑等
IV 级	三级医院、大型文化体育活动场馆、幼儿园、养老院等
V 级	市级办公业务楼、市级博物馆、大型公共服务设施、有火灾爆炸危险的建（构）筑物等

当区域内建（构）筑物使用性质不同时，通过对建（构）筑物的占地面积按不同危险等级赋予权重（取 I 级危险等级的权重系数为 0.6，II 级危险等级的权重系数为 0.7，III 级危险等级的权重系数为 0.8，IV 级危险等级的权重系数为 0.9，V 级危险等级的权重系数为 1.0），并根据占地面积大的建（构）筑物来定最终的危险等级。

## 人员数量

### 人员数量分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
人员数量（人）	[0,100)	[100,300)	[300,1000)	[1000,3000)	[3000,∞)

## 影响程度

### 影响程度量分级标准

危险等级	区域内项目危险特征
I 级	区域内项目遭受雷击后一般不会产生危及区域外的爆炸或火灾危险。
II 级	区域内项目有三级加油加气站，以及类似爆炸或火灾危险场所。
III 级	区域内项目有二级加油加气站，以及类似爆炸或火灾危险场所。
IV 级	区域内项目有一级加油加气站，四级/五级石油库，四级/五级石油天然气站场，小型、中型石油化工企业，小型民用爆炸物品储存库，小型烟花爆竹生产企业，危险品计算药量总量小于等于 5000kg 的烟花爆竹仓库，小型、中型危险化学品企业及其仓库，以及类似爆炸或火灾危险场所。
V 级	区域内项目有一级/二级/三级石油库，一级/二级/三级石油天然气站场，大型、特大型石油化工企业，中型、大型民用爆炸物品储存库，中型、大型烟花爆竹生产企业，危险品计算药量总量大于 5000kg 的烟花爆竹仓库，大型、特大型危险化学品企业及其仓库，以及类似爆炸或火灾危险场所。

加油加气站、石油库分级分别参见GB50074-2014和GB50156-2012。

## 建筑物特征

## 占地面积

### 占地面积分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
------	-----	------	-------	------	-----

占地面积(km <sup>2</sup> )	[0,2.5)	[2.5,5.0)	[5.0,7.5)	[7.5,10.0)	[10.0,∞)
------------------------	---------	-----------	-----------	------------	----------

## 等效高度

### 等效高度分级标准

危险等级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等效高度(m)	[0,30)	[30,45)	[45,60)	[60,100)	[100,∞)

## 材料结构

- I 级（建构筑物为木结构）；
- II 级（建构筑物为砖木结构）；
- III 级（建构筑物为砖混结构）；
- IV 级（建构筑物屋顶和主体结构为钢筋混凝土结构）；
- V 级（建构筑物屋顶和主体结构为钢结构）。

## 电气电子系统特征

### 电气系统

A.1.1.1.1 I级电力负荷中仅有三级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设。

A.1.1.1.2 II级电力负荷中仅有三级负荷，室外低压配电线路全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设。

A.1.1.1.3 III级电力负荷中有二级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设。

A.1.1.1.4 IV级符合下列情况之一者：

- 电力负荷中有一级负荷，室外低压配电线路全线采用电缆埋地敷设。
- 电力负荷中有二级负荷，全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设。

A.1.1.1.5 V级电力负荷中有一级负荷，室外低压配电线路全线采用架空电缆，或仅部分线路采用电缆埋地敷设。

## 电子系统

- I级一般用途的电子系统；
- II级一般性智能建筑、一级医院、一般公共办公场所等；
- III级中型展览馆、二级医院、三星级宾馆、区县级公共办公场所等；
- IV级大型体育场馆、四星级宾馆、市级公共办公场所、乙级安全防范系统等；
- V级三级医院、五星级宾馆、国家级公共办公场所、甲级安全防范系统等。

## 防灾减灾能力影响因素

### 雷电防护水平

A.1.1.1.6 I级区域内建（构）筑物按一类建筑物防雷标准采取了相应的防护措施。

A.1.1.1.7 II级符合下列情况之一者：

- 区域内建（构）筑物按一类建筑物防雷标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电感应或防闪电电涌侵入措施保护不全。
- 区域内建（构）筑物按二类建筑物防雷标准采取了相应的防护措施。

A.1.1.1.8 III级符合下列情况之一者：

- 区域内建（构）筑物按二类建筑物防雷标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电感应或防闪电电涌侵入措施保护不全。
- 区域内建（构）筑物按三类建筑物防雷标准采取了防护措施。

A.1.1.1.9 IV级符合下列情况之一者：

- 区域内建（构）筑物按三类建筑物防雷标准采取了相应的防直击雷措施，但防闪电电涌侵入措施保护不全。
- 区域内建（构）筑物采取了防闪电感应或防闪电电涌侵入措施，但防直击雷措施保护不全。

A.1.1.1.10 V级区域内建（构）筑物无采取任何防雷措施或各类防雷设施均不能满足标准要求。

注：当区域内建（构）筑物雷电防护水平不同时，通过对建（构）筑物的建筑面积按不同危险等级赋予权重（取I级危险等级的权重系数为0.6，II级危险等级的权重系数为0.7，III级危险等级的权重系数为0.8，IV级危险等级的权重系数为0.9，V级危险等级的权重系数为1.0），并根据建筑面积大的建（构）筑物来定最终的危险等级。 .....

## 防雷安全管理

防雷安全管理分级主要依据雷电预警服务、雷击事故应急预案以及雷电防护安全教育与培训，具体分级以是否满足或部分满足下述三个条件为判断准则，参见表A.11：

- 区域所在地有雷电预警服务。
- 区域内单位制定有雷击事故应急预案。
- 区域内单位定期或不定期对相关人员进行雷电防护安全教育和培训。

### 区域防雷安全管理分级标准

危险等级	区域内采取的防雷安全管理
I级	条件(-)(=)(≡)全部满足
II级	满足条件(=)(≡)或(-)(=)
III级	满足条件(-)(=)
IV级	满足条件(-)或(=)或(≡)
V级	条件(-)(=)(≡)均不满足