

防洪排涝泵站设计要点分析

李彬斌

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 防洪排涝泵站设计需严格遵循国家及行业标准,以安全、经济、环保为原则。设计要点涵盖流量计算、站址选择、机电设备选型、结构稳定性及智能化控制。需根据区域需求合理确定设计暴雨重现期,优选地势高且排水便利的站址,采用高效水泵与节能电机,强化结构抗浮与抗震设计,并集成PLC自动控制系统实现远程监控与应急响应,确保泵站在极端天气下稳定运行。

关键词: 防洪排涝; 泵站; 设计要点

引言: 随着全球气候变化加剧,极端天气事件频发,城市内涝问题日益凸显,严重威胁人民群众生命财产安全与社会稳定。防洪排涝泵站作为城市防洪体系的关键环节,其设计的科学性与合理性直接关系到排涝效能与灾害应对能力。当前,泵站设计需兼顾防洪、排涝、生态保护等多重目标,同时面临地质条件复杂、极端天气频发等挑战。本文从设计理论、核心要点、难点对策等方面展开分析,为提升泵站设计水平提供参考。

1 防洪排涝泵站设计基础理论

1.1 水文水力计算原理

(1) 设计暴雨重现期与排涝模数计算: 设计暴雨重现期需结合防护区域重要性确定,如城镇核心区常取20-50年一遇,乡村区域可适当降低至10-20年。排涝模数计算采用经验公式法,需考虑流域面积、地面坡度、土壤渗透系数等参数,公式一般为 $M = K \cdot R \cdot F^n$ (M 为排涝模数, K 为综合系数, R 为设计净雨深, F 为流域面积, n 为指数),通过水文手册查取参数确保计算精度。

(2) 泵站进水与出水设计流量确定: 进水流量需按排涝面积、设计暴雨产生的径流量及调蓄水体调蓄能力综合计算,采用“以涝定流”原则;出水流量需匹配进水量,同时考虑河道水位变化,当外河水位高于内涝水位时,需按水泵最大扬程对应的流量设计,避免流量衰减影响排涝效率。

1.2 泵站类型与适用场景

(1) 轴流泵站、混流泵站、离心泵站的特性对比: 轴流泵站流量大、扬程低(通常3-8m),适用于平原圩区排涝;混流泵站流量和扬程适中(扬程5-15m),兼顾排涝与灌溉;离心泵站扬程高(15m以上),适用于丘陵地区或高扬程排水场景。(2) 干式泵站与湿式泵站的选型依据: 干式泵站电机室与水流隔离,适用于水位变幅大、水质污染严重或冬季严寒地区,维护成本较高;湿

式泵站电机浸没于水中,结构紧凑、造价低,适用于水位稳定、水质清洁的区域,需加强电机防水保护。

1.3 设计标准与规范

(1) 国家标准(如《泵站设计规范》GB50265): 该规范明确泵站选址、水力设计、结构设计等核心要求,如泵站进水池设计需满足水流平稳、无漩涡,水泵安装高程需结合最低运行水位确定,确保泵站安全运行。

(2) 地方性防洪排涝标准差异分析: 南方多雨地区(如江苏、广东)注重排涝流量计算,常提高重现期至50年一遇;北方干旱地区(如河北、内蒙古)更关注泵站抗旱功能,排涝标准可适当降低至20年一遇;沿海地区需叠加风暴潮影响,泵站出水高程需考虑潮位叠加值,避免海水倒灌。

2 防洪排涝泵站设计核心要点

2.1 选址与总体布局

(1) 地形地貌、地质条件对选址的影响: 选址需优先避开地势低洼易淹区,选择地势稍高且便于排水的区域,减少土方开挖量;地质条件需满足地基承载力要求,避免在软土地基、断层带或溶洞发育区建站,若无法避开,需采用换填、桩基等加固措施,防止泵房沉降变形。同时,需远离居民区,降低运行噪声对周边环境的影响。(2) 进出水建筑物与主泵房的空间优化: 主泵房应靠近进水池,缩短进水管长度,减少水力损失;进水建筑物(如引水渠、前池)需与泵房轴线平行,保证水流平顺进入水泵;出水建筑物(如出水渠、拍门)应与外河水流方向一致,避免水流对冲,且需预留足够的检修空间,便于设备维护,整体布局需满足“进水顺畅、出水无阻、运维便捷”原则。

2.2 水力设计关键参数

(1) 泵站特征水位(设计水位、校核水位)的确定: 设计水位需结合设计暴雨重现期对应的内涝水位和

外河水位确定,内涝侧按排涝标准控制,外河侧取多年平均排涝期水位;校核水位需考虑极端天气(如台风、特大暴雨),内涝侧取超标暴雨对应的最高水位,外河侧叠加风暴潮或洪水影响,确保泵站在极端工况下不漫溢。(2)进水池与出水池的水力损失计算:进水池损失主要包括进口水头损失、池内水流漩涡损失,通过优化池型(如采用矩形池、设置导流墩)降低损失,一般控制在0.2-0.5m;出水池损失包括出口收缩损失、水流扩散损失,可通过设置消力坎、扩散段减少损失,通常不超过0.5-0.8m,总水力损失需纳入水泵扬程计算。(3)泵站装置效率与能效分析:装置效率为水泵效率、电机效率、管道效率的乘积,需选择高效水泵(效率不低于80%)和节能电机(能效等级二级及以上),同时优化管道设计(减少弯头、控制流速在1.5-2.5m/s),降低管道阻力损失,确保装置效率不低于65%,并通过能耗模拟分析,对比不同工况下的能耗,选择最优运行方案^[1]。

2.3 机电设备选型与配置

(1)主水泵选型依据(流量、扬程、效率曲线):根据泵站设计流量和设计扬程选型,流量需匹配排涝需求,扬程需考虑设计水位差、水力损失及安全余量(附加10%-15%);同时结合效率曲线,确保水泵在设计工况下运行于高效区(效率曲线峰值附近),避免偏离高效区导致能耗增加,常用泵型需参考《泵站设计规范》推荐型号。(2)电机与传动装置匹配性设计:电机功率需按水泵轴功率的1.1-1.2倍选择,确保过载能力;传动装置优先采用直联传动(效率高、维护简便),若扬程变化大,可采用皮带传动调节;电机电压等级需与当地电网匹配(如380V、10kV),并设置过载、短路、缺相保护装置。(3)辅助设备(阀门、管道、起重设备)选型:阀门选择防水锤止回阀(防止停泵水锤)和闸阀(用于检修截流),材质需耐腐蚀(如球墨铸铁、不锈钢);管道材质根据压力选择,低压管道用钢管或PE管,高压管道用无缝钢管;起重设备按最大设备重量选型,如水泵重量超5t需选用电动葫芦或桥式起重机,起升高度需覆盖设备安装和检修范围。

2.4 结构与稳定性设计

(1)泵房结构形式(块基型、干室型等)选择:块基型泵房适用于扬程低、流量大的轴流泵站,将水泵基础与泵房底板连成整体,抗浮稳定性好;干室型泵房适用于水位变幅大的场景,电机层高于最高水位,避免渗水,需加强墙体防渗设计;选择时需结合地质条件、水位变幅及泵型特性确定。(2)抗浮稳定、地基承载力与抗震设计:抗浮稳定需计算空库工况下的浮力,通过增

加配重(如压重台)或设置抗浮锚杆平衡浮力,抗浮稳定系数不低于1.05;地基承载力需满足泵房自重、设备重量及水压力的总和,若承载力不足,采用碎石垫层或桩基加固;抗震设计按当地抗震设防烈度(如6-8度),采用抗震等级对应的结构措施,如设置构造柱、圈梁^[2]。

(3)施工期与运行期沉降控制:施工期需分层开挖、分层回填,避免超挖导致地基扰动,软土地基需采用排水固结或真空预压处理;运行期需设置沉降观测点,定期监测沉降量,若沉降差超过20mm,需采取注浆加固等措施,防止泵房结构开裂、设备错位。

2.5 智能化控制系统设计

(1)液位传感器与流量计的布置方案:液位传感器分别布置于进水池、出水池及外河,实时监测水位,采用超声波或压力式传感器(测量精度 $\pm 0.5\%$);流量计安装于出水管道,选择电磁流量计(适用于污水、含沙水)或超声波流量计,确保流量测量精度 $\pm 1\%$,传感器需避开水流漩涡区,保证数据准确。(2)PLC自动控制与远程监控系统集成:PLC控制系统需实现水泵启停自动控制(根据水位阈值)、故障报警(如电机过载、水位超限);远程监控系统通过4G/5G或光纤传输数据,实现泵站运行参数(水位、流量、电流)实时上传,支持远程启停水泵,系统需具备数据存储(保存1年以上)和报表生成功能。(3)应急模式下的手动/自动切换策略:正常工况采用自动模式,当PLC系统故障或突发紧急情况(如传感器失效、外河水位骤升),可切换至手动模式,通过现场控制柜操作水泵;设置应急电源(如柴油发电机),确保断电时关键设备(控制回路、照明)正常运行,切换时间不超过30s,保障应急排涝^[3]。

2.6 节能与环保设计

(1)变频调速技术的应用与能效优化:在扬程变化大的泵站(如外河水位波动频繁),采用变频调速电机,根据实际水位差调节水泵转速,实现流量按需调节,相比定速泵可节能15%-30%;通过变频控制系统,优化水泵运行台数,避免“大马拉小车”现象,同时减少水泵启停次数,延长设备寿命。(2)噪声控制与生态友好型设计(如鱼类保护):噪声控制需对电机、水泵采取减振措施(安装减振垫、减振器),泵房墙体采用隔声材料(如隔音棉、隔声板),确保厂界噪声符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348);生态设计方面,出水渠道设置鱼类通道(如鱼梯、鱼闸),避免泵站运行阻断鱼类洄游,进水口设置格栅(间隙50-100mm),防止水生生物进入泵体,减少生态影响。

3 防洪排涝泵站设计难点与对策

3.1 极端天气下的适应性设计

(1) 超标洪水工况的应对措施：超标洪水易导致外河水位骤升、内涝积水无法及时排出，设计时需在泵房顶部增设挡水板（高度不低于0.5m），防止洪水漫入电机室；进水口设置应急闸门，当外河水位远超设计值时，关闭闸门阻断倒灌；同时优化出水管道布置，增设泄压阀，避免管道因超压破裂。此外，需在泵站周边修建临时防洪堤（采用装配式结构，便于快速搭建），扩大防护范围，减少洪水对泵站主体的冲击。(2) 泵站冗余设计与应急备用方案：冗余设计需增加1-2台备用水泵，且备用泵型号与主泵一致，确保主泵故障时可快速切换；电气系统采用双回路供电，分别接入不同电网，避免单回路断电导致泵站停运；应急备用方案需配置柴油发电机（功率满足所有水泵同时启动需求），并储备足量燃油（保障72h连续运行）；同时制定详细应急操作规程，明确故障响应流程，定期开展应急演练，提升突发状况处置能力。

3.2 复杂地质条件下的基础处理

(1) 软土地基加固技术（如桩基、换填）：针对软土地基承载力低、压缩性高的问题，优先采用预制桩（如预应力管桩）加固，桩长需穿透软土层至硬土层，桩间距根据地基承载力要求确定（通常1.5-2.5m），单桩承载力需通过静载试验验证；若软土层较薄（厚度小于3m），可采用换填法，选用碎石、砂石等材料分层回填（每层压实度不低于95%），换填深度需覆盖整个泵房基础范围，确保基础均匀受力。(2) 不均匀沉降的监测与补偿机制：在泵房四角及设备基础关键部位设置沉降观测点（每10-15m设一个），施工期每7d监测一次，运行期每月监测一次，记录沉降数据并绘制沉降曲线；若出现不均匀沉降（沉降差超过15mm），采用注浆加固技术，通过预埋注浆管向地基注入水泥浆，填充土壤孔隙、提高地基密实度，实现沉降补偿；同时在设备基础与泵房结构间设置伸缩缝，减少沉降差异对设备安装精度的影响^[4]。

3.3 多目标协同优化

(1) 防洪、排涝、灌溉、生态功能的综合平衡：设计时需统筹各功能需求，防洪与排涝优先保障，通过优化泵站流量调节机制，汛期全力排涝防洪，非汛期利用泵站反向抽水实现灌溉；生态功能方面，在出水渠道设置生态缓冲带（种植水生植物），净化排水水质，同时控制泵站运行时段，避开鱼类繁殖高峰期，减少对水生生态的干扰；通过水力模型模拟不同工况下各功能的实现效果，调整设计参数，确保各目标协调统一。(2) 生命周期成本（LCC）分析与经济性评估：生命周期成本需涵盖建设成本、运行成本、维护成本及报废处置成本，建设阶段优先选用性价比高的材料与设备（如高效节能水泵），降低长期运行能耗；运行阶段通过智能化控制优化水泵运行策略，减少无效能耗；维护阶段制定定期检修计划，避免设备故障导致的高额维修费用。采用净现值法（NPV）或内部收益率法（IRR）进行经济性评估，对比不同设计方案的生命周期成本，选择成本最优且功能达标的方案，确保泵站全生命周期内经济效益最大化。

结束语

防洪排涝泵站设计是保障城市安全的战略性工程，其科学性与前瞻性直接关系到极端天气下的灾害抵御能力。本文从理论到实践，系统梳理了设计标准、选址布局、设备选型、智能化控制及生态适应性等关键点，强调需以“全生命周期成本最优”为导向，统筹安全、经济与环保目标。未来，随着技术进步，泵站设计应进一步融合数字化、低碳化理念，为构建韧性城市提供坚实支撑。

参考文献

- [1]刘应端.浅谈防洪堤以及排涝泵站管理[J].建材与装饰,2020,(10):83-84.
- [2]薛期颖.枋洋镇院前排涝工程设计要点研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(5):90-92.
- [3]马伟栋.横琴天沐河排涝泵站水力机械设计[J].云南水力发电,2022,38(1):209-210.
- [4]袁龙刚.芜湖市鸠江区下九连圩保安排涝站水泵选型研究[J].广东水利水电,2020,(08):69-70.