

Research on Prevention and Control of Groundwater Seepage and Drainage System Optimization in Foundation Pits of Sedimentation Pump Stations

Xinwei Jiang Xingzhi Yu Chunzheng Xiang Lei Zang

Gansu Jingmei Energy Co., Ltd. Hydropower Management Branch, Baiyin, Gansu, 730900, China

Abstract

Submerged pump stations are widely used due to their compact structure, stable operation, and good water suction conditions for pumps. Most of these pump stations are located in low-lying areas or near rivers and ditches, where the bottom plate of the pump room is constantly below the groundwater level, and water pressure persists around the foundation pit. When the strata fractures are developed, the permeability of the gravel layer is strong, and the waterproof joints are aged, groundwater will seep and gush into the interior of the pump room. The seepage water will damage the operating environment, reduce the durability of the structure, and pose risks such as equipment corrosion, foundation hollowing, and local subsidence. To address this issue, relying solely on sump pumping and drainage cannot achieve long-term stable control effects. Instead, seepage control, anti-seepage repair, drainage organization, and operation monitoring should be integrated into a system to improve the safe operation level of the pump station.

Keywords

subsiding pump station; foundation pit seepage and inrush; groundwater control; drainage system; anti-seepage treatment

沉降式泵站基坑地下水渗涌防治与排水系统优化研究

蒋新伟 于兴志 项春正 藏磊

甘肃靖煤能源有限公司水电管理分公司, 中国·甘肃·白银 730900

摘要

沉降式泵站应用较多, 结构紧凑、运行稳定、水泵吸水条件较好。此类泵站大多处在低洼或者近河沟的地方, 机房底板长时间处于地下水位之下, 基坑周围水压力一直存在。当地层裂隙发育、砂砾层透水性强、防水节点老化时, 地下水就会向机房内部集中渗涌。渗涌水会破坏运行环境, 也会使结构耐久性下降, 产生设备腐蚀、基础空鼓、局部沉陷等危险。针对此问题, 单纯依靠集水坑抽排不能达到长期稳定的治理效果, 应该把渗流控制、防渗修复、排水组织、运行监测纳入一个系统, 提高泵站的安全运行水平。

关键词

沉降式泵站; 基坑渗涌; 地下水控制; 排水系统; 防渗治理

1 引言

沉降式泵站机房高程低于周边地面, 地下水易沿底板接缝、墙体交接部位及设备基础薄弱区渗入, 造成混凝土侵蚀、金属构件锈蚀、电气设备绝缘性能下降等问题。本文以沉降式泵站基坑地下水渗涌治理为研究对象, 分析渗涌成因、危害机理及排水系统缺陷, 提出“截、导、排、监”协同治理思路, 形成适用于富水地层泵站的防治与优化方案。

2 沉降式泵站基坑地下水渗涌特征

沉降式泵站基坑渗涌是隐蔽的、持续的、有季节性的。

泵站机房处在地下水活动带之内, 雨季或者河道补给加强的时候, 地下水位上升, 基坑外侧水头压力变大, 渗涌量随之增大; 枯水期水位下降, 渗涌强度减小, 但是结构缝隙里仍然会保持潮湿的状态。渗涌位置多在底板施工缝、墙体根部、穿墙管周围、电缆沟、设备基础边缘等薄弱处。这些部位的材料界面比较复杂, 受温度变形、振动荷载、长时间浸泡的影响, 很容易产生细微裂纹, 成为地下水进入机房的主要通道。

从渗流机理来看, 基坑外侧地下水在水头差的作用下向低位机房迁移, 如果底板下部有透水夹层或者岩面裂隙, 水流就会沿着阻力小的通道集中进入室内。渗涌初期墙脚潮湿、地面积水、局部返碱; 发展到一定程度后就会出现连续明流, 使排水沟长时间带水。泥沙随水流进入泵房, 会造成

【作者简介】蒋新伟(1976-), 男, 中国甘肃礼县人, 本科, 工程师, 从事水处理研究。

地基颗粒流失,形成内部侵蚀,给泵站基础稳定带来危险。

3 地下水渗涌对泵站安全运行的影响

地下水渗涌对泵站的危害主要是结构、设备、运维三个方面。结构上,长期渗水会使混凝土处在饱水状态,氯盐、硫酸盐等腐蚀性介质很容易进入孔隙,钢筋保护层的耐久性降低。底板、墙体接缝处受水压反复作用时,裂缝会继续扩大,局部空鼓、剥蚀、渗漏加重。如果基底细颗粒被水流带走,泵站底板受力状态就会发生变化,严重时会造成不均匀沉降。

设备方面,潮湿环境会使水泵、电机、阀门、控制柜和电缆桥架老化速度加快。金属表面锈蚀会使构件的强度、密封性降低,电气元件受潮后绝缘电阻下降,容易造成短路、误动作、停机故障。泵站担负着供水提升的任务,一旦关键设备因为渗水而损坏,就会造成生产和生活用水的保障问题。

运维方面,长期积水会增大清淤、抽排、防腐、维修、巡检的工作量。值班人员经常要应对地面积水、设备受潮等问题,运行管理由正常的维护转变为被动的抢修,管理成本也随之上升。渗涌问题如果不从源头上加以控制,后期的维修工作就会出现反复的情况,治理费用和停机风险都会随之增大。地下水渗涌对泵站运维影响较大,它直接影响泵站运营管理安全性,导致运营压力瞬间增大。设备运维人员需要动态监测渗涌节点状况,排查安全隐患,确保排水系统与止水设施都完好,这需要大量的监测成本。如果渗涌节点得不到快速有效控制,则能进一步引发地基沉降、结构变形等不同程度问题,甚至迫使泵站停止生产,为企业带来生产经济效益负面影响。

综合来讲,地下水渗涌会威胁沉降式泵站安全运行,它的危害贯穿于施工全过程,破坏泵站的安全稳定运行状态。纵观国内外,此类事故发生频繁,甚至成为沉降式泵站常态。如国内某泵站发生管涌,底板分缝位置出现隔水橡胶被冲破情况,大量粉砂被带出,直接威胁周边居民安全。究其原因,主要是泵站地下20m位置的流沙地质影响,再加之当时正处于汛期,地下水水压明显升高,最终导致水渗涌险情发生。在国外,同类事故也在美国某泵站发生,由于该泵站施工技术人员未能及时封堵钻孔,导致施工开挖过程中遭遇高压承压水,泵站内严重渗水。这一事故所造成的结果是泵站周围大量水土流失,地基土承载力也被一次性破坏,当地施工技术人员采用钻孔桩方案才弥补损失。

4 地下水渗涌防治技术方案

沉降式泵站基坑渗涌治理要实行外部减压、内部导排、节点封堵、动态监测相融合。外部减压的主要目的就是减小基坑周边地下水对泵房结构的直接作用。可在来水侧或者渗流集中侧设置渗涌管、盲沟或者集水廊道,将地下水提前收

集到检查井内,再由排水泵排到安全区域。渗涌管应采用耐腐蚀、抗压性能好的管材,外包反滤材料,防止泥沙进入管道造成淤堵。管底高程应比机房底板低一些,使地下水先进入导排系统,减少对底板和墙脚的顶托压力。

内部导排的重点就是使已经进入机房的水有条理地流动,防止无组织漫流。机房地面应设环形排水沟、支沟、集水坑,沟底应有适当的坡度,沟槽表面应采用耐磨、防渗材料处理。集水坑容量应满足短时最大涌水量的要求,排水泵应采用一用一备或者两用一备的方式配置,并且要配备液位自动控制和故障报警装置。对运行可靠性要求高的泵站,设置双电源或者应急电源接口,防止停电时地下水倒灌。

节点封堵的重点就是修复结构薄弱区。对底板裂缝、墙根渗水点、穿墙管周边空隙等处,可以采用压力注浆、柔性密封、刚柔结合防水层等方法。注浆材料的选择要根据渗水量和裂缝宽度来定,细小裂缝用化学浆液,较大空隙或集中涌水点用水泥基浆液和速凝材料联合封堵。封堵施工不能只看表面止水,要重视水流转移的风险,防止原渗点被封堵后在相邻处产生新的渗点。节点封堵可采用截渗阻流系统,具体做法就是对系统中止水帷幕进行选型优化。截渗阻流系统主要围绕三大维度统筹设计,分别是阻断渗透通道、降低水力梯度以及减少降水总量。首先对止水帷幕进行选型,参考地质条件选择适宜工艺,如采用TRD工法分析高承压水条件,保证系统周边地下连续墙整体性表现良好,体现优质挡土止水效果。如果是渗透性较强的地层,则在施工中采用深层水泥土搅拌连续墙,采用地层颗粒与喷射水泥浆制作止水墙体,有效截断高水头作用下的渗透通道。为较好降低水力梯度,可以对帷幕插入深度进行优化处理,对不同截渗深度与降水井布置数量进行分析,形成组合工况。在组合工况中,就能确定最优截渗深度以及降水井数量。当水力梯度达到较大量级时,渗涌量可能至少增大2倍,因此降低水力梯度的具体做法就是分区形成封闭截水帷幕,采用多种截水技术进行相互协同。如采用外围地下连续墙配合内侧高压旋喷桩,形成两道止水帷幕,满足节点封堵技术条件;最后是减少降水总量,可以设计风险控制与动态监测系统,对节点封堵的止水帷幕实施可视化、可预警、可追溯全过程监测,如监测基坑内外水位动态变化情况,并将所监测到水位数据上传到后台监管系统。当截水帷幕内外水位差逐渐增大时,可判断截水帷幕应用可靠性,并观察地下连续墙位置是否完整,如果存在缺陷,则需要密切监测注浆处理情况。

动态监测属于长期治理效果的保证。泵站应建立地下水位、集水坑水量、排水泵启停频次、室内湿度、结构裂缝和设备绝缘状态监测台账。雨季、融雪期和河道水位变化期要增加巡检次数。数据积累之后可以分析渗涌量与降雨、水位、季节之间的关系,为排水泵选型、管道清淤周期、防水维修计划提供依据。

5 排水系统优化措施

排水系统优化要以“收得住、排得出、控得稳、管得久”为原则。收水环节要将地下水、地表水、设备排污水分别组织，减少不同水源混入同一个通道造成负荷不清。基坑外侧渗漏管主要起到截排地下水的作用，机房内部排水沟主要负责地面积水的收集工作，设备排污水应独立接入指定管线。分区收集可以确定异常水源，提高检修效率。

排水能力设计应以最大涌水量为基础，留有安全余量。泵站处于近河沟或者富水地层时，排水设施不能只满足日常少量渗水工况，还要考虑暴雨后地下水位迅速抬升的不利情况。集水坑有效容积、排水泵流量、扬程、管径、阀门阻力、出口高程等要统一校核，防止出现泵能抽、管难排、出口倒灌的现象。

管道系统要重视防堵、检修。渗漏管外侧反滤层的配制要合理，检查井间距不宜过大，关键转弯和汇水节点处应设清淤口。室内排水沟盖板应便于开启，沟底坡度连续，防止局部沉积。排水泵前端设拦污设施，减少砂粒、杂物进入叶轮。对于含泥沙量大的渗水，应定期清掏集水坑，防止有效容积减少。

自动化控制可以提高排水系统的稳定性。液位控制器应设置启泵、停泵、高水位报警三个区间，防止水泵频繁启停。备用泵要定期轮换运行，防止长时间闲置造成锈蚀卡滞。控制柜应做防潮、防凝露处理，电缆进出口处应密封良好。值班系统可以加入声光报警或者远程提示的功能，使异常水位、泵故障、电源故障可以及时处理。

排水系统优化的外围部分主要采用“联合降水”组合方案，新方案注重集水明排、管井降水组合方案优化，这也是当前沉降式泵站基坑地下水排水系统优化的主流实践技术优化方向。组合方案可以采用联合布置要求，在基坑周围边坡平台中间位置设置多个降水井，并在降水井内侧部位再设置集水井和排水沟，形成群井效应。群井效应可以快速疏干基坑表层积水部分，满足降排水结构相互配合要求，建立高效联动的系统“联合排水”机制。系统排水过程中要将降水深度控制在基坑开挖地下水位 $\geq 0.5\text{m}$ 位置，同时对基坑基底层部位的承压水部分进行调整，避免发生坑底突涌水情况，始终保持地下水位安全，满足干地施工要求。

目前，排水系统已经实现了智慧赋能优化，即智能化

降排水系统。新系统引入“智能化监测与动态调度”技术，可以为降排水系统优化指明技术发展与应用方向。例如，新系统的水位自动联动控制能力较强，可以在降水井内设置水位监测机构，满足水位报警要求。同时，监测数据也能实施反馈到后台终端，确保与降水泵建立稳定的电信号联动关系，实现对降水设备的自动启停。系统也提供智慧化、多目标降水方案，且各种方案能够根据实际生产需求实现滚动调度。例如在施工过程中，对水文数据、渗流边界条件数据的实测范围广、精度高，可以调整降水方案，确保滚动优化调度机制有效实施。如在优化排水系统过程中，实时调整降水井的综合抽水强度以及运行数量，满足施工干地开挖环境要求，避免出现过分抽排，导致大量地下水资源被浪费。

6 结论

沉降式泵站基坑地下水渗涌的根本原因就是机房低位布置、外侧水头压力长期存在、地层透水通道发育、结构防水节点薄弱共同作用。治理工作要从渗流路径、水压来源入手，单靠室内抽排不能取得持久的效果。

“外部截排减压+内部有序导排+薄弱节点封堵”的组合方案适合富水地层泵站。外部渗漏管、盲沟可以减小底板及墙脚水压力，内部排水沟、集水坑可以保证机房积水迅速排出，注浆封堵可以提高结构防水的完整性。

排水系统优化要重视最大涌水量校核、备用泵配置、防堵清淤、倒灌防控、自动报警。排水设施只有具备足够的冗余和可维护性，雨季高水位工况下才能保证稳定运行。

泵站地下水治理不是一次性维修工程，而是长期运行管理工程。应建立水位、水量、湿度、裂缝、设备绝缘和排水泵运行数据台账，依靠持续监测来判断治理效果，及时调整清淤、防腐、封堵和设备维护计划。

参考文献

- [1] 瞿成松. 基坑地下水控制质量管理[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S2): 291-293.
- [2] 周念清, 等. 徐家汇地铁站深基坑降水数值模拟与沉降控制[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(12): 1950-1956.
- [3] 王硕, 曾超峰, 薛秀丽, 李明广, 蔡钢. 复杂越流含水层基坑抽水引发围挡变形发展规律[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(S2)
- [4] 迟民良, 等. 降水开挖共同作用下地连墙受力变形机制模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2025, 47(2): 365.