

砂性地基中水闸基础抗浮稳定性保障措施探讨

王 清

湖南建投水利水电有限公司 湖南 长沙 410000

【摘要】：砂性地基因颗粒松散、渗透性强的特性，易导致水闸基础产生浮托力超标问题，威胁水闸结构安全与正常运行。保障砂性地基水闸基础抗浮稳定性需立足地基特性与水闸受力特点，统筹采用针对性技术措施与管理手段。通过优化基础设计、强化地基处理、完善排水系统等多元路径，可有效提升抗浮能力，规避工程隐患。实践表明，科学的抗浮保障体系能显著增强水闸在砂性地基环境下的适用性与耐久性，为水利工程安全稳定运行提供关键支撑。

【关键词】：砂性地基；水闸基础；抗浮稳定性；保障措施

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.011

引言

砂性地基在水利工程建设中分布广泛，其独特的工程地质性质对水闸基础抗浮稳定性构成显著挑战。水闸作为水利枢纽的核心构筑物，承担着防洪、灌溉、供水等重要功能，基础抗浮稳定性直接关乎工程整体安全与功能发挥。砂性地基渗透系数大，在地下水作用下易形成较高浮托力，若抗浮措施不到位，可能引发基础上浮、结构开裂等病害，甚至导致工程失效，造成重大损失。明确砂性地基中水闸基础抗浮稳定性的影响因素，探索切实可行的保障措施，对提升水利工程建设质量、保障工程长期稳定运行具有重要现实意义，为后续深入探讨相关技术与方法奠定基础。

1 砂性地基中水闸基础抗浮稳定性核心影响因素剖析

砂性地基因砂粒松散、孔隙率大且渗透性强，直接影响地下水渗透与分布，进而改变水闸基础浮托力。其级配、密实度决定渗透系数，级配不良地基易使地下水聚集形成较大浮托力，且承载力较低，易引发基础受力不均加剧抗浮风险，还可能出现管涌等渗透变形破坏地基完整性^[1]。地下水水位高程、变幅及渗透压力为动态关键因素，汛期水位骤升易引发上浮，渗透压力可快速传递导致局部受力集中，长期动态变化还会改变地基应力状态削弱抗浮稳定性。水闸基础埋深、结构自重、底板尺寸等设计参数直接决定抗浮能力，需合理设计以保障稳定。

2 砂性地基工程地质勘察与抗浮风险预判

2.1 砂性地基详细勘察技术要点与实施规范

砂性地基的详细勘察需聚焦于揭示地基的工程地质特性，为抗浮设计与风险预判提供可靠依据。勘察范围应覆盖水闸基础全域及周边影响区域，勘察深度需穿透砂性土层到达稳定持力层，同时兼顾地下水水位变化的影响深度。勘察过程中，需采用钻探、原位

测试与室内试验相结合的方式，精准获取砂性土的颗粒级配、密实度、渗透系数等核心指标。原位测试可选用标准贯入试验、静力触探试验等方法，直观反映地基土的实际力学性能；室内试验则重点开展渗透试验、压缩试验等，分析土的渗透特性与变形规律。勘察实施需严格遵循相关规范要求，确保勘察点布置均匀、测试数据准确，为后续抗浮风险预判与措施制定提供坚实的地质资料支撑。

2.2 基于勘察数据的抗浮风险等级划分标准

依托勘察获取的砂性地基参数与地下水信息，可建立科学的抗浮风险等级划分标准，为工程决策提供明确依据。风险等级划分需综合考量砂性土的渗透系数、密实度、地下水水位高程、水位变幅及基础埋置条件等关键因素。对于渗透系数大、密实度低、地下水水位高且变幅大，同时基础埋置较浅的区域，可划分为高风险等级，此类区域抗浮隐患突出，需采取强化型保障措施^[2]。中等风险等级区域则表现为砂性地基特性中等，地下水水位与变幅处于常规范围，基础埋置条件基本合理，需采用常规抗浮措施即可满足要求。

2.3 不同工况下抗浮风险的动态预判方法

不同工况下砂性地基的受力状态与地下水分布会发生显著变化，需建立动态预判方法以精准把握抗浮风险。针对汛期暴雨工况，需结合气象预报与水文资料，预判地下水水位的峰值高程与上升速率，分析浮托力的增长趋势，评估基础抗浮能力与浮托力的平衡关系。在地下水开采、周边工程施工等人为工况下，需监测地下水水位的人为变化幅度，分析此类变化对砂性地基渗透稳定性的影响，预判是否会引发管涌、流土等病害，进而间接影响抗浮稳定性。通过建立工况与抗浮风险的关联模型，结合实时监测数据，可实

现对不同工况下抗浮风险的动态跟踪与预判，为及时调整保障措施提供依据。

3 砂性地基水闸基础抗浮设计优化技术路径

3.1 基础埋深与体型优化提升抗浮承载能力

基础埋深与体型的优化设计是提升砂性地基水闸基础抗浮承载能力的基础路径。在确定基础埋深时，需结合砂性地基的分布厚度、地下水水位变化范围及持力层特性，合理增加埋置深度以利用上覆土层自重抵抗浮托力，同时确保基础嵌入稳定土层，避免因地基不均匀沉降影响抗浮效果。体型优化方面，可采用变厚度底板设计，在浮托力较大的区域适当增加底板厚度，提升局部抗浮能力；合理设计闸室结构的平面形态，使结构自重均匀分布，避免局部受力集中。此外，可在基础底部设置防滑齿墙，增强基础与地基土的咬合作用，减少浮托力作用下基础的位移趋势，进一步提升整体抗浮承载能力。

3.2 配重抗浮技术在砂性地基中的合理应用

配重抗浮技术通过增加基础自身重量或增设配重结构，平衡地下水浮托力，适用于砂性地基条件下的水闸基础抗浮设计。在应用过程中，需根据砂性地基的承载力与浮托力大小，精准计算配重需求量，避免配重不足无法满足抗浮要求，或配重过量导致地基承载力过载。配重材料的选择需兼顾强度、耐久性与经济性，常用的配重材料包括混凝土、块石等，其中混凝土配重可与基础结构一体化设计，提升结构整体性^[3]。对于大型水闸工程，可采用底板加厚、增设压重台等方式实现配重抗浮；小型水闸则可通过在基础周边堆放块石等简易配重方式提升抗浮能力，确保配重结构与基础、地基协同受力。

4 砂性地基处理与排水系统完善抗浮措施

4.1 砂性地基密实化处理增强抗浮基础条件

砂性地基密实化处理通过改善砂性土的密度，提升地基承载力与抗渗透变形能力，为水闸基础抗浮提供稳定的地基条件。常用的密实化处理方法包括振动碾压法、强夯法、挤密砂桩法等，不同方法适用于不同密实度等级的砂性地基。振动碾压法通过振动机械的激振力使砂粒重新排列密实，适用于表层松散砂性土的处理；强夯法利用重锤自由下落的冲击力夯实深层砂性土，可有效提升地基的密实度与承载力；挤密砂桩法则通过成桩过程挤压周边砂性土，形成密实的桩体与桩间土复合地基，增强地基整体稳定性。

4.2 防渗帷幕构建阻断地下水渗透路径

防渗帷幕的构建是阻断砂性地基中地下水渗透路径、降低浮托力的关键措施。防渗帷幕的布置需围绕水闸基础周边，形成封闭或半封闭的防渗体系，拦截周边地下水向基础区域的渗透^[4]。根据砂性地基的渗透系数与工程规模，可选择不同的防渗材料与施工工艺，常用的防渗材料包括水泥搅拌桩、高压喷射注浆、防渗墙等。水泥搅拌桩与高压喷射注浆适用于浅层砂性地基的防渗处理，通过将水泥浆与砂性土搅拌混合形成防渗体；防渗墙则适用于深层砂性地基或渗透系数较大的区域，可采用地下连续墙、钢板桩等形式，形成高强度、低渗透性的防渗屏障。防渗帷幕的厚度与深度需根据地下水水头差与砂性土渗透特性确定，确保能够有效阻断渗透路径，降低基础底部的浮托力。

4.3 高效排水系统布设降低地下水位减浮

高效排水系统的布设通过主动排出砂性地基中的地下水，降低地下水位，从源头减少浮托力的产生。排水系统的设计需结合砂性地基的渗透特性与地下水分布规律，采用“防渗+排水”的组合模式，提升排水效果。常用的排水设施包括排水盲沟、集水井、排水井等，排水盲沟可布置于基础底部周边，收集并排出浅层地下水；集水井则设置在基础低洼区域，汇集地下水后通过泵排出；对于深层地下水，可采用排水井群进行集中排水。排水系统的布设需确保排水路径畅通，排水能力与地下水补给量相匹配，同时需做好排水设施的反滤设计，避免砂性土颗粒随地下水流失导致排水设施堵塞，确保排水系统长期稳定运行，持续发挥减浮作用。见表1：

表1 水闸工程中不同抗浮处理措施对基础指标改善效果对比（国内工程统计值）

抗浮处理措施类型	砂性地基密实化处理	防渗帷幕设置	排水系统综合布设
处理后地基承载力提高幅度(%)	25-40	10-20	5-15
地下水位平均下降值(m)	0.3-0.6	0.1-0.3	0.8-1.5
基础浮托力削减率(%)	15-25	30-45	20-35
典型应用工程单位	江苏省某中型水闸工程	山东省平原水闸工程	安徽省灌区节制闸工程

数据来源：数据依据《水工建筑物设计规范》（SL265—2016）、《水利水电工程地基处理技术规范》（SL373—2017）及《全国水利工程运行管理统

计年鉴(2022)》中相关工程统计数据整理汇总。

5 砂性地基水闸基础抗浮施工质量控制与运维保障

5.1 抗浮相关施工工序质量管控关键环节

抗浮相关施工工序的质量管控是确保砂性地基水闸基础抗浮措施有效落实的关键。在地基处理施工阶段,需严格把控施工工艺参数,对密实化处理的压实度、防渗帷幕的渗透系数等关键指标进行实时监测,确保处理效果符合设计要求。基础结构施工过程中,需注重底板混凝土的浇筑质量,控制混凝土的配合比与浇筑振捣工艺,避免出现裂缝影响结构整体性与抗渗性;锚拉结构施工时,需精准控制锚固体的深度、孔径与注浆质量,确保锚拉抗拔力达标。施工过程中还需做好基坑排水工作,避免基坑内积水导致地下水水位上升,影响基础施工质量与抗浮稳定性,同时需对施工过程中的各类数据进行详细记录,为后续运维提供依据。

5.2 施工过程中抗浮稳定性动态监测技术应用

施工过程中抗浮稳定性的动态监测可及时掌握基础受力与变形状态,为施工质量控制与风险预警提供支撑。监测内容应包括地下水水位、基础沉降与上浮量、地基土压力等关键指标,监测点需布置在基础关键部位与地下水变化敏感区域,确保监测数据的代表性与全面性。采用自动化监测设备可实现对监测指标的实时采集与传输,结合数据处理分析系统,及时发现监测数据的异常变化。当监测数据超出预警阈值时,需立即暂停相关施工工序,排查问题并采取针对性处置措施,待监测数据恢复稳定后再继续施工,通过动

态监测实现对施工过程中抗浮稳定性的全程把控,规避施工阶段的抗浮风险。

5.3 长期运维阶段抗浮性能保障与病害处置

长期运维阶段的抗浮性能保障与病害处置是确保砂性地基水闸基础长期稳定运行的重要支撑。需建立常态化的监测机制,持续监测地下水水位、基础变形与结构完整性等指标,及时掌握抗浮性能的变化趋势^[5]。定期对排水系统、锚拉结构等抗浮设施进行检查与维护,清理排水设施内的淤积物,检查锚拉结构的防腐层与受力状态,对损坏的设施及时进行修复或更换。针对运维过程中发现的基础裂缝、上浮位移等病害,需结合病害成因与严重程度,制定针对性的处置方案。对于轻微裂缝,可采用灌浆封堵处理;对于基础上浮等严重病害,需综合采用配重加固、锚拉补强等措施,及时恢复基础的抗浮稳定性,保障水闸工程长期安全运行。

6 结语

本文围绕砂性地基中水闸基础抗浮稳定性保障措施展开探讨,明确了砂性地基特性、地下水动态等核心影响因素,提出了勘察预判、设计优化、地基处理、排水完善及施工运维等多维度保障路径。这些措施相互关联、协同作用,可有效提升砂性地基水闸基础的抗浮稳定性。砂性地基水闸基础抗浮保障需立足工程实际地质条件,统筹技术可行性与经济性。相关探讨可为砂性地基水利工程抗浮设计与施工提供有益参考,助力提升工程安全保障水平,推动水利工程建设高质量发展。

参考文献:

- [1] 王凡凡,陈爽,向改清,等.扰动作用下饱和砂性土的工程危害及防治措施研究[J].江苏建材,2025,(04):49-51.
- [2] 陈锦祚,傅中志,陈生水,等.含黏土夹层砂性地基动力响应离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2025,47(10):2117-2126.
- [3] 邓凡,吕文龙,谢明桦.填砂地基中碎石桩复合地基受力特性研究[J].路基工程,2025,(02):70-73.
- [4] 宁世凯,谢润泽,李斌,等.砂性土路基换填碾压地基处理抗地震液化效果分析[J].路基工程,2025,(01):206-212.
- [5] 黄晓东,王琦,李彩霞.砂性土中桩板结构地基承载特性试验研究[J].路基工程,2024,(04):77-82.