

浅析水闸地基处理设计中的若干问题

王帅杰

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300221

摘要：水闸地基处理设计至关重要，关乎水闸稳定与安全。本文概述了水闸地基处理的基本理论，分析了垫层法、强夯法、桩基础等多种处理方法及其适用性。针对地基不均匀沉降、渗流及承载力等关键问题，提出了相应的预防与治理措施。最后，探讨了地基处理方案的优化选择及施工质量控制策略，旨在为水闸地基处理设计提供实用指导和参考。

关键词：水闸地基；处理设计；若干问题

引言：水闸作为水利工程的重要组成部分，其稳定与安全直接关系到防洪减灾、水资源调配及航运畅通。地基作为水闸的支撑基础，其处理设计至关重要。然而，水闸地基常面临软弱土层、地质不稳定等复杂条件，易导致地基不均匀沉降、渗流问题等安全隐患。因此，系统分析水闸地基处理设计中的关键问题，探索科学合理的地基处理方案，对于确保水闸工程的安全运行具有重要意义。

1 水闸地基处理设计的基础理论

1.1 水闸的基本组成与功能

(1) 上游连接段、闸室、下游连接段的作用。上游连接段主要用于引导水流平稳进入闸室，减少水流扰动，同时保护上游河床及河岸免受冲刷，通常包含铺盖、护底、翼墙等结构；闸室是水闸的核心部分，承担挡水和泄水的关键任务，通过闸门的启闭控制水流，其结构需具备足够强度和稳定性；下游连接段则负责消能防冲，消除泄水产生的多余能量，防止下游河床冲刷，常见设施有消力池、海漫、防冲槽等。(2) 水闸的主要功能。水闸核心功能包括挡水，在枯水期拦截水流，抬高上游水位以满足灌溉、供水等需求；泄水，在汛期排出多余洪水，保障流域防洪安全；调节水位，根据用水需求或航运要求，灵活调整上下游水位，同时还可辅助实现航运、发电等综合利用功能。

1.2 地基处理的目的与原则

(1) 提高地基承载力。通过换填、夯实、加固等手段，增强地基土体强度，避免水闸在自重和水压力作用下发生地基失稳或破坏。(2) 减少地基沉降。控制地基压缩变形，使沉降量控制在允许范围内，防止因不均匀沉降导致闸室结构开裂、闸门启闭失灵等问题。(3) 增强地基抗渗性。采用防渗帷幕、铺盖、排水体等措施，降低地基渗透系数，减少渗流量，避免发生管涌、流土

等渗透破坏现象。(4) 设计原则与要求。需遵循“因地制宜”原则，结合地基土质、水文条件及工程规模选择处理方案；同时满足强度、变形、防渗等指标要求，确保处理后地基长期稳定，保障水闸安全运行。

2 水闸地基处理方法

2.1 垫层法

(1) 原理与适用范围。原理是将地基层软弱土挖除，换填砂石、灰土等强度高的材料，形成垫层扩散上部荷载，降低地基应力。适用于浅层软弱地基（厚度 < 3m），如淤泥质土、杂填土区域的水闸地基处理。(2) 施工工艺与注意事项。工艺为：场地平整→软弱土开挖→分层填料（每层20-30cm）→碾压夯实（压实度 ≥ 95%）。注意事项：填料需级配良好，避免含杂质；雨季施工需做好排水，防止基坑积水；碾压时控制含水率，确保压实效果。(3) 优缺点分析。优点：工艺简单、成本低、工期短；缺点：处理深度有限，不适用于深层软弱地基，且对填料需求量大。

2.2 强夯法

(1) 技术特点与应用实例。特点：利用重锤（10-40t）从8-20m高处落下，产生冲击能夯实地基，提高土体密实度和承载力。应用实例：某平原地区水闸地基为松散砂土地基，采用强夯法后，地基承载力提高30%-50%。(2) 施工控制参数与效果评估。控制参数：锤重、落距、夯点间距（4-6m）、夯击次数（6-10击）。效果评估通过静载试验测承载力，采用探井取样测密实度，要求地基压缩模量提升20%以上。(3) 局限性及改进措施。局限性：不适用于饱和软黏土（易产生“橡皮土”）、邻近有建筑物（振动影响大）的区域。改进措施：对饱和土采用“强夯置换法”（填碎石形成桩体）；邻近建筑区设置隔振沟减少振动干扰^[1]。

2.3 振动水冲法

(1) 振冲密实与振冲置换的区别。振冲密实：通过振冲器振动使松散砂土液化、密实，无填料，适用于砂土地基；振冲置换：振冲器成孔后填入碎石等填料，形成碎石桩置换软弱土，适用于黏性土地基。(2) 专用施工设备与填料选择。设备为振冲器（功率15-75kW）、起吊设备、水泵。填料选择：振冲密实无需填料；振冲置换选级配碎石（粒径20-50mm），含泥量<5%。(3) 地基处理效果的影响因素。主要因素：振冲器功率（功率越大，处理深度越深）、填料量（填料充足可提升桩体强度）、振动时间（单孔振动3-5min为宜）。

2.4 桩基础法

(1) 灌注桩与预制桩的比较。灌注桩：现场成孔浇筑，适应性强，无振动，但工期长、易出现缩颈；预制桩：工厂预制，强度高、工期短，但需大型打桩机，易产生挤土效应。(2) 桩基础在水闸地基处理中的应用。用于深层软弱地基（厚度>5m），如深厚淤泥层水闸，通过桩体将荷载传递至下部硬土层，保障闸室稳定，常用桩长10-25m。(3) 潜在问题与解决方案。问题：灌注桩缩颈、预制桩挤土导致桩身倾斜。解决方案：灌注桩成孔后及时浇筑混凝土；预制桩施工采用间隔跳打，减少挤土影响。

2.5 沉井基础与深层搅拌桩基础

(1) 沉井基础的构造与施工工艺。构造：由刃脚、井壁、封底混凝土组成，呈圆形或矩形。工艺：场地平整→筑岛或开挖基坑→浇筑第一节沉井→排水或不排水下沉（抓土或吸泥）→接高沉井→封底。(2) 深层搅拌桩基础的工作原理与加固效果。原理：通过搅拌桩机将水泥浆与地基土强制搅拌，形成水泥土桩，提高地基强度。加固效果：使软黏土承载力提高2-3倍，压缩模量提升3-5倍。(3) 适用范围与限制条件。沉井基础：适用于深层砂层、黏土层，需地下水位较低区域；限制：在流砂层中易发生突沉，需做好防砂措施。深层搅拌桩：适用于饱和软黏土；限制：不适用于砂卵石层（搅拌困难），且冬季施工需采取保温措施防水泥土受冻^[2]。

3 水闸地基处理设计中的关键问题

3.1 地基不均匀沉降问题

(1) 沉降原因与影响分析。原因：地基土质不均（如局部存在软土夹层）、荷载分布差异（闸室与连接段荷载不同）、施工质量不均（垫层压实度不一致）。影响：导致闸室结构开裂、闸门错位无法正常启闭，严重时破坏防渗体系，引发渗漏风险，威胁水闸整体稳定性。(2) 预防与治理措施。预防：勘察阶段详细探明地基土质分布，设计时采用对称荷载布置；施工中严格控制地基处理质

量，确保垫层、桩体等均匀施工。治理：对已发生轻微沉降区域，采用灌浆法填充地基空隙；沉降严重时，增设锚杆或补打桩基础，加固地基以控制变形。

3.2 渗流问题

(1) 渗流现象及其对水闸安全的影响。渗流现象：水从上游经地基向下游渗透，形成渗透水流。影响：易引发管涌（地基中细颗粒被带走）、流土（地基表层土体整体浮动），导致地基失稳；同时渗流会降低地基抗剪强度，加剧闸室沉降，严重时造成水闸溃决。(2) 防渗止水设施的设置与效果评估。设置：上游铺盖（黏土或混凝土材质，长度为水头的3-5倍）、防渗帷幕（水泥灌浆或高压喷射注浆形成，深度穿透透水层）、止水片（闸室分缝处设置橡胶或金属止水片）。效果评估：通过渗压观测孔监测渗压值，要求渗压梯度小于允许值；采用注水试验测渗透系数，确保防渗设施渗透系数<10⁻⁶cm/s。(3) 渗流控制策略与优化建议。策略：“上堵下排”结合，上游设防渗设施减少渗水量，下游设排水体（如盲沟、排水孔）降低渗压。优化建议：复杂地基采用“铺盖+帷幕+排水”组合体系；根据渗流计算结果，动态调整防渗设施尺寸，平衡防渗效果与工程成本^[3]。

3.3 地基承载力问题

(1) 承载力计算方法与标准。计算方法：采用《建筑地基基础设计规范》中的公式，结合现场载荷试验确定；对软土地基，采用分层总和法修正。标准：水闸地基承载力需满足闸室最大竖向荷载要求，安全系数≥1.2；考虑水平荷载影响，要求地基抗滑稳定系数≥1.3。(2) 提高地基承载力的途径。工程途径：浅层采用垫层法换填加固，深层采用桩基础或深层搅拌桩；对砂土地基，用强夯法提高密实度。材料途径：选用高强度填料（如级配砂石、水泥土），或通过灌浆改善地基土体力学性能。(3) 地基承载力不足的风险与应对措施。风险：导致地基剪切破坏，引发闸室倾斜、结构坍塌。应对措施：承载力略不足时，减小闸室荷载（如优化结构尺寸）；严重不足时，重新选择地基处理方法（如将垫层法改为桩基础法）；施工中发现承载力不足，及时补做加固处理（如增设高压喷射注浆桩）。

4 水闸地基处理设计优化策略

4.1 合理选址与地基勘察

(1) 闸址选择的原则与依据。原则：优先选择地基土质均匀（如黏性土、密实砂土）、承载力较高区域；避开断层、溶洞等地质缺陷带及洪水淹没风险区。依据：结合流域规划（满足防洪、供水需求）、水文条件（避开急流、漩涡段）、交通便利性（便于施工材料

运输),同时符合《水闸设计规范》中闸址选址技术要求。(2)地基勘察的内容与方法。内容:查明地基土层分布、厚度及物理力学指标(含水率、压缩模量、抗剪强度);探测地下水位埋深、渗透系数;排查不良地质现象(如软土夹层、地下空洞)。方法:采用钻探(取土样做室内试验)、原位测试(载荷试验、标准贯入试验)、物探(地震勘探、电法勘探)相结合,确保勘察数据全面准确。(3)勘察结果的利用与决策支持。利用勘察数据绘制地质剖面图,确定地基处理深度与范围;依据土层参数计算地基承载力、沉降量,为处理方案选择提供依据。决策支持:若勘察发现深层软土,优先推荐桩基础法;若为浅层松散土,可选用垫层法或强夯法,确保方案适配地质条件。

4.2 地基处理方案的优化选择

(1)多方案比选的方法与步骤。方法:采用技术可行性、经济合理性、工期适配性三维比选。步骤:先筛选满足地基处理要求的候选方案(如垫层法、桩基础法);再计算各方案造价、工期及技术风险;最后通过加权评分法确定最优方案(权重:技术可行性40%、经济性35%、工期25%)。(2)经济效益与社会效益的权衡。经济效益:对比方案的材料成本、施工成本(如强夯法成本低于桩基础法),选择性价比高的方案;同时考虑后期维护费用(如深层搅拌桩后期维护成本低)。社会效益:优先选用环保型技术(如振动水冲法减少土方开挖),避免施工对周边生态(如农田、水源)的破坏;保障施工期间周边居民生活不受干扰。(3)创新技术的应用与推广。推广应用高压喷射注浆复合地基(适用于复杂地质,加固效果好)、BIM技术(模拟地基处理施工过程,优化施工流程);试点新型环保填料(如再生骨料垫层),降低资源消耗。同时建立技术推广机制,通过工程案例验证创新技术的可靠性,推动行业技术升级^[4]。

4.3 施工过程的质量控制与安全管理

(1)施工流程与质量控制要点。流程:施工准备

(材料检验、设备调试)→地基处理(如垫层分层铺设、桩体施工)→验收。质量控制要点:垫层施工控制填料级配与压实度(每层检测,不合格返工);桩基础施工控制桩位偏差($\leq 50\text{mm}$)、桩身垂直度(偏差 $< 1\%$);防渗设施施工确保止水片衔接紧密,无渗漏。

(2)安全隐患识别与应对措施。隐患:基坑开挖易发生坍塌、高空作业(如沉井接高)存在坠落风险、机械作业易引发碰撞事故。应对措施:基坑开挖按放坡系数(1:1.2-1:1.5)开挖,设置边坡支护;高空作业人员佩戴安全带,搭设安全防护网;机械作业划定警示区,安排专人指挥。(3)施工监测与数据反馈机制。监测内容:地基沉降(布设沉降观测点,每周观测1次)、基坑边坡位移(用全站仪监测,位移超5mm预警)、渗压值(通过渗压计实时监测)。数据反馈:建立监测数据台账,若发现沉降速率过快($> 2\text{mm/d}$)或渗压超标,立即暂停施工,分析原因并调整方案(如增设排水体),确保施工安全可控。

结束语

综上所述,水闸地基处理设计是一项复杂而关键的任务,涉及地质勘察、方案选择、施工监测等多个环节。通过深入研究与实践,我们认识到科学合理的地基处理方法对于保障水闸稳定与安全的重要性。未来,随着技术进步和工程经验的积累,水闸地基处理设计将更加精细化、智能化。我们应不断探索创新,为水利工程的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]马银汉.水闸地基处理设计研究[J].工程建设与设计,2023,(13):109-111.
- [2]姬春利.水闸设计中若干问题的思考[J].地下水,2021,(05):48-49.
- [3]张世宁.水闸地基处理设计研究[J].建筑理论,2024,(06):72-73.
- [4]王涛.水闸地基设计中相关处理方法研究[J].建筑设计及理论,2020,(12):126-127.