

水利水电施工地基处理技术

郑晚亮

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

摘要：水利水电工程是国家基础设施核心组成，地基作为工程承载基础，其质量直接决定工程整体安全性与耐久性。本文分析了工程地基高承载、强渗透、易变形及地质多样的特点，明确地基强度不足、渗漏、不均匀沉降等常见问题。随后从施工前准备、过程控制及特殊地基处理三方面梳理要求，重点探讨灌浆、桩基础、地基加固及锚固四类关键技术的实施要点，包括材料选择、参数控制、施工流程等。研究表明，针对性选用处理技术并严格落实要求，可有效解决地基问题，保障水利水电工程安全稳定运行。

关键词：水利水电施工；地基处理要求；关键技术

引言：当前水利水电工程地基常因地质复杂、荷载特殊等因素，出现强度不足、渗漏等问题，严重影响工程运行。虽现有地基处理技术较多，但实际应用中易因技术选择不当、要求落实不到位导致效果不佳。因此，系统分析水利水电工程地基特点与问题，明确处理要求并掌握关键技术，对提升工程建设质量、推动行业技术发展具有重要现实意义。

1 水利水电工程地基特点

水利水电工程地基作为工程结构核心承载基础，其特点与工程功能、水文地质条件紧密关联，主要体现在以下四方面：（1）高承载要求与受力复杂性。工程体量庞大、自重荷载强，且长期承受水压力等动态荷载，对地基承载力要求严苛；地基受力不均，坝体不同部位及蓄水期、泄洪期荷载差异大，易引发局部应力集中，需更强抗剪强度与整体稳定性。（2）强渗透性与防渗需求。多数工程建于江河湖库区域，地基土层含砂层、卵石层等透水介质，易渗漏；渗透量过大会浪费水资源，还可能引发管涌、基坑涌水，威胁坝体安全，需地基具备良好抗渗性或专项处理。（3）易变形性与沉降控制难点。工程区域地基土常含软土、淤泥质土等特殊土层，这类土层压缩性高、固结时间长，荷载作用下易产生不均匀沉降。（4）环境适应性与地质条件多样性。工程多位于山区、河谷等复杂地质区域，地基可能遭遇岩溶、断层等构造，还需承受水位交替、温度波动等影响，增加处理难度，要求地基具备更强环境适应性与耐久性。^[1]

2 水利水电工程地基常见问题

水利水电工程地基因受地质条件、荷载特性及环境因素影响，易出现以下四类典型问题：（1）地基强度不足。工程长期承受自重、水压力等静动态荷载，若

地基土抗剪强度低、承载力未达设计标准，易致地基剪切破坏、结构失稳，严重时可能引发工程整体沉降或坍塌，影响承载功能。（2）地基渗漏问题。地基土层含透水介质或有裂隙、孔洞等缺陷，易形成渗漏通道；渗漏不仅损耗水资源，还会因渗透水流冲刷带走土颗粒，引发管涌、流土隐患，削弱地基完整性，影响工程防渗性能与稳定性。（3）地基不均匀沉降。地基土性质差异大或含软土、压缩性土层，荷载作用下易产生沉降量差异；不均匀沉降会使工程结构产生附加应力，引发裂缝、错位等变形，破坏结构整体性，降低使用功能与安全系数。（4）特殊地质适配问题。地基若遭遇岩溶、断层、风化岩层等复杂构造，易出现受力不均、结构不连续，进而导致局部承载力骤降、渗漏加剧，增加施工与后期运维难度，需针对性处理以保障工程稳定^[2]。

3 水利水电施工地基处理要求

3.1 施工前准备要求

施工前准备要从以下地质勘察与技术文件审核两方面落实要求。（1）地质勘察要全面探明施工区域地质条件，明确地基土层分布、厚度及物理力学性质；同时排查岩溶、断层、软弱夹层等特殊地质构造，确定其位置、规模及对地基稳定性的影响程度。勘察范围需覆盖地基处理区域及周边可能受影响区域，勘察深度需满足地基处理设计需求，确保地质数据完整准确，避免因勘察疏漏导致后续处理方案偏差。（2）技术文件审核要以地质勘察结果为依据，重点审核地基处理设计图纸与施工方案。审核设计图纸时，需确认地基处理范围、深度、技术参数与地质条件的匹配性，以及处理目标是否符合工程整体承载与防渗要求；审核施工方案时，需检查施工工艺选择、设备配置、材料规格的合理性，施工流程的可操作性，及是否针对地质异常情况制定应急措施。

3.2 施工过程控制要求

施工过程控制要从以下施工工艺执行、质量检测与安全管理三方面严格把控。(1) 施工工艺执行需严格按照审批后的施工方案操作,明确各工序技术要点与操作规范。针对灌浆、桩基础等关键工艺,需精准控制施工参数,避免参数偏差影响处理质量;同时规范施工流程,确保工序衔接有序。(2) 质量检测贯穿施工全程,制定分层检测计划。施工前需检测原材料质量,确保材料符合设计要求;施工中需对关键工序实时检测,及时发现并纠正施工偏差;施工后需采用载荷试验、渗透试验等专业方法,检测地基承载力、抗渗性能等指标,确认是否达到设计标准。检测结果需形成书面报告,若指标不达标,需制定整改方案并重新检测,直至满足要求。(3) 安全管理需同步推进,落实安全防护措施。施工现场需设置警示标识、划分危险区域,严禁非施工人员进入;施工设备需定期检修维护,确保运行状态良好,避免因设备故障引发安全事故;施工人员需佩戴安全防护用具、接受安全培训,掌握应急处理技能。

3.3 特殊地基处理要求

特殊地基因地质条件复杂,重点关注以下软土地基、湿陷性黄土地基与岩溶地基。(1) 软土地基处理要聚焦提高地基强度与减少沉降,根据软土厚度、压缩性等特性选择处理工艺。处理过程中需控制排水固结速率,避免固结过快导致地基开裂;采用加筋或置换工艺时,需确保加筋材料铺设平整、置换材料填筑密实,且与周边软土结合紧密。(2) 湿陷性黄土地基处理要重点消除湿陷性,根据黄土湿陷等级选择夯实、挤密或置换等工艺。施工前评估黄土湿陷敏感性,避免施工用水或雨水渗入地基引发提前湿陷;采用强夯工艺时,需控制夯击能量与间距,确保夯击深度达到湿陷性土层底部,彻底消除湿陷隐患;处理后需对地基进行防水处理,设置排水系统,防止后期水浸导致湿陷性复发,保障地基长期稳定性。(3) 岩溶地基处理要优先探明岩溶发育情况,明确溶洞、溶沟的位置、大小及填充状态。处理过程中需根据岩溶形态选择填充、注浆或跨越等工艺:填充溶洞时需确保填充材料密实,避免出现空洞;注浆处理时需控制浆液扩散范围,封堵岩溶裂隙以防止渗漏;采用跨越结构时需确保结构支撑稳定,与地基结合牢固^[3]。

4 水利水电施工地基处理关键技术

4.1 灌浆技术

灌浆技术是水利水电地基处理中用于防渗、加固的核心技术,通过特定设备将浆液注入地基孔隙或裂隙,改善地基物理力学性能。其技术实施要重点把控以下三

个环节:(1) 浆液制备。根据地基土层特性与处理目标选择浆液类型,如黏土浆适用于土质地基防渗,水泥浆适用于岩石地基加固,化学浆液则用于细微裂隙封堵。制备时严格控制材料配比,确保浆液浓度、流动性与凝结时间符合要求,如水泥浆的水灰比通常控制在0.5-1.5之间,需通过搅拌设备充分混合,避免出现沉淀或结块。

(2) 钻孔作业。钻孔位置要依据设计图纸精准定位,偏差不得超过规范允许范围。钻孔直径与深度需结合灌浆方式确定,帷幕灌浆钻孔直径一般为50-110mm,深度需穿透透水层至隔水层;固结灌浆钻孔深度则根据地基加固深度要求设定。钻孔过程中需保持孔壁垂直,避免塌孔,必要时可采用套管护壁。(3) 灌浆施工。按照“分序加密”原则进行,先灌注先导孔获取地基参数,再依次灌注Ⅰ序孔、Ⅱ序孔、Ⅲ序孔,逐步提高灌浆密实度。灌浆压力需分级控制,初始压力宜小,逐渐递增至设计压力,防止压力过大导致地基抬动或浆液流失。灌浆过程中需实时监测浆液注入量与回浆浓度,当回浆浓度达到设计要求且稳定一定时间后,方可结束该孔灌浆。

4.2 桩基础技术

桩基础技术通过将桩体植入地基深层,将上部结构荷载传递至稳定土层,适用于地基承载力不足的水利水电工程。根据施工方式不同,主要分为以下灌注桩与预制桩技术:(1) 灌注桩技术。实施要遵循“钻孔-清孔-钢筋笼制作与安装-混凝土灌注”流程。钻孔时根据地质条件选择冲击钻、回旋钻等设备,对于砂层或卵石层地基,可采用泥浆护壁防止塌孔;清孔需彻底清除孔底沉渣,沉渣厚度需控制在设计允许范围内,一般不超过50mm;钢筋笼制作需保证钢筋规格、间距与焊接质量符合设计要求,安装时需居中放置,避免与孔壁碰撞;混凝土灌注需采用导管法,导管底部距孔底距离控制在25-40cm,混凝土坍落度需保持在180-220mm,灌注过程中需连续作业,防止出现断桩。(2) 预制桩技术。桩体制作要选用强度等级不低于C30的混凝土,浇筑时需振捣密实,确保桩身表面平整、无裂缝,养护时间需满足设计强度要求。沉桩施工可采用锤击法、静压法或振动法,锤击法需控制落锤高度与锤击次数,避免桩体破损;静压法需根据地基阻力调整压桩力,防止超压导致桩体断裂;沉桩过程中需实时监测桩体垂直度,偏差需控制在1%以内,同时记录桩顶标高与贯入度,确保桩体达到设计承载力要求。

4.3 地基加固技术

地基加固技术通过物理或力学手段改善地基土性质,提高地基承载力与稳定性,常见有强夯法、排水固

结法与加筋法,具体技术要点如下:(1)强夯法。操作时先平整场地,清除地表杂物与松软土层,必要时铺设垫层。强夯机械需选用符合夯击能量要求的起重机与夯锤,夯锤重量一般为10-40t,底面形式多为圆形或方形。施工时需确定夯击点布置、夯击次数与夯击遍数,夯击点间距通常为夯锤直径的1.5-2.5倍,每遍夯击次数需通过试夯确定,以最后两击的平均夯沉量不超过50mm为标准。(2)排水固结法。核心在于设置排水系统与施加预压荷载,排水系统包括竖向排水体与水平排水层,竖向排水体可采用塑料排水板或砂井,塑料排水板需垂直插入地基,深度需达到软土层底部;水平排水层采用砂垫层,厚度一般为30-50cm,需与竖向排水体连通。预压荷载可采用堆载预压或真空预压,堆载预压需分级施加,每级荷载施加后需等待地基沉降稳定;真空预压需保证密封膜的密封性,真空度需维持在80kPa以上,直至地基固结度达到设计要求。(3)加筋法。根据地基条件选择加筋材料,常见有土工格栅、土工织物与钢筋网。土工格栅铺设时要保持平整,相邻格栅搭接长度不小于20cm,并用连接件固定;土工织物需采用缝合或焊接方式连接,避免出现缝隙。加筋层铺设完成后,需及时填筑填料,填料粒径与压实度需符合要求,压实机械需避免直接碾压加筋材料,防止材料破损。

4.4 锚固技术

锚固技术通过锚杆或锚索将地基与稳定岩体或土层连接,提高地基抗滑稳定性,在水利水电工程边坡地基与洞室地基处理中广泛应用。其技术实施要把握以下关键环节:(1)锚杆与锚索制作。锚杆采用钢筋或钢管制作,要进行防腐处理,如涂刷防锈漆或采用镀锌工艺;锚索由多根钢绞线组成,钢绞线需经过力学性能检测,合格后方可使用。锚杆与锚索的长度需根据地基加固深度确定,锚固段长度需满足抗拔力要求,一般不小于

4m。(2)钻孔与清孔。钻孔要采用专用钻机,孔径需比锚杆或锚索直径大20-40mm,钻孔角度需符合设计要求,偏差不得超过1°。钻孔完成后需用高压空气或清水清洗孔壁,清除孔内岩屑与杂质,确保孔壁清洁干燥。

(3)锚固段施工。锚杆锚固段要采用水泥砂浆或树脂锚固剂固定,水泥砂浆配比需符合设计要求,灌注时需从孔底向上连续灌注,确保锚固段饱满;树脂锚固剂需按规定比例混合,搅拌均匀后注入孔内,插入锚杆后需等待固化。锚索锚固段需采用水泥浆灌注,灌注压力需控制在0.3-0.5MPa,待水泥浆强度达到设计值后,方可进行张拉。(4)张拉与锁定。锚杆张拉要采用分级张拉方式,初始张拉应力为设计应力的10%-20%,然后逐步递增至设计应力,稳压一定时间后锁定;锚索张拉需使用专用张拉设备,张拉顺序需对称进行,避免地基受力不均,张拉控制应力需符合设计要求,张拉完成后需及时锁定,防止预应力损失^[4]。

结束语:水利水电工程地基处理需以地基特点为基础,针对常见问题制定科学方案。施工前充分勘察与审核、过程中严格控制工艺与质量、特殊地基针对性处理,是保障效果的关键,而灌浆、桩基础等核心技术的规范应用则是实现目标的核心手段。本文梳理的技术要点与要求,可为工程实践提供指导。

参考文献

- [1]邵继铎.水利水电施工地基处理技术[J].建筑工程技术与设计,2019(32):2211.
- [2]汪琪.水利水电施工中地基处理技术探讨[J].建筑与装饰,2023(3):178-180.
- [3]王浩,耿玉芝,李福.水利工程施工中软土地基处理技术研究[J].水上安全,2025(9):185-187.
- [4]林显宁.水利水电工程基础处理施工关键技术研究[J].水上安全,2024(24):133-135.