

水利水电工程地基工程技术探究

屈国瑞

中国水利水电第十六工程局有限公司

DOI:10.12238/jpm.v5i11.7409

[摘要] 水利水电工程的建设环境复杂多变，地基条件往往成为制约工程质量和进度的关键因素。地基工程作为水利水电工程的基础，其施工技术的选择和效果直接影响工程的整体质量和实际应用。深入分析水利水电工程地基工程技术，探讨不良地基的处理方法和软土地基施工技术，对于提高水利水电工程的建设水平、保障工程质量和安全具有重要意义。基于此，本文章对水利水电工程地基工程技术进行探讨，以供相关从业人员参考。

[关键词] 水利水电工程；地基工程技术；要点

Research on foundation engineering technology of water conservancy and hydropower projects

Qu Guorui

The 16th Engineering Bureau of China Water Resources and Hydropower Co., Ltd.

[Abstract] The construction environment of water conservancy and hydropower projects is complex and changeable, and the foundation conditions often become the key factor restricting the quality and progress of the project. As the foundation of water conservancy and hydropower engineering, the selection and effect of construction technology directly affect the overall quality and practical application of the project. It is of great significance to analyze the foundation engineering technology of water conservancy and hydropower projects, discuss the treatment methods of poor foundations and the construction technology of soft soil foundations, so as to improve the construction level of water conservancy and hydropower projects and ensure the quality and safety of the projects. Based on this, this paper discusses the foundation engineering technology of water conservancy and hydropower projects for the reference of relevant practitioners.

[Key words] water conservancy and hydropower engineering; foundation engineering technology; essentials

引言

水利工程是关系到民生的基础设施工程，水利工程的质量直接关系到后期人们使用的安全。一般情况下水利工程的施工环境比较复杂，多在环境恶劣的野外进行施工。水利工程的施工受地质水文条件的影响比较大，不良地基更是限制水利工程顺利施工的不利因素。为了保证水利工程能够顺利进行施工单位必须提前了解不良地基的实际情况，掌握地基的密实度、具体结构以及施工中的重点以及难点，从而有效地选处理地基。

一、水利水电工程对地基的要求

（一）承载能力要求

水利水电工程规模通常较大，其对地基的承载能力有很高要求。大坝自身重量巨大，加上蓄水后水的压力，都需要地基能够提供足够的支撑力。如果地基承载能力不足，会导致不均匀沉降，使大坝出现裂缝甚至垮塌。在设计阶段工程师需通过详细的地质勘查，确定地基的承载能力是否满足工程要求。施工过程中可采用强夯法、换填法等技术来提高地基的承载能力。还需对地基进行长期监测，确保其在工程运行期间始终保持稳定的承载状态。

（二）抗渗性要求

水利水电工程中水的存在是不可避免的，地基的抗渗性不好，水会渗入地基，导致地基软化、强度降低，甚至引发渗漏问题。渗漏不仅会影响工程的正常运行，还对周边环境造成破坏。为满足抗渗性要求，可采用水泥土搅拌桩法、高压喷射注浆法等技术对地基进行处理，形成隔水层。在施工中，要严格控制施工质量，确保地基的抗渗性能达到设计标准。还可以设置防渗帷幕等设施，进一步增强地基的抗渗能力。

（三）稳定性要求

地基的稳定性包括抗滑稳定性和抗倾覆稳定性等，由于水利水电工程往往处于河流、湖泊等水域附近，地质条件复杂，受到水流冲刷、地震等自然因素的影响。因此，地基必须具备足够的稳定性，以确保工程在各种不利条件下都能安全运行。在设计时，要充分考虑地质条件和工程特点，采用合理的基础形式和结构。施工过程中，要严格按照设计要求进行施工，保证地基的施工质量。

二、水利水电工程地基处理的主要技术

（一）强夯法

强夯法主要是利用重锤从高处自由落下，对地基土进行强力夯实。通过反复夯击使地基土的强度得到提高，压缩性降低，

从而满足工程的要求。在实施强夯法时要根据工程的具体情况确定重锤的重量、落距和夯击次数等参数，重锤的重量较大，可以达到几十吨甚至上百吨，落距也较高，通常在十几米到二十几米之间。夯击次数则根据地基土的性质和工程要求来确定，可采用点夯（2~4）遍，对于渗透性较差的细颗粒土，应适当增加夯击遍数；最后以低能量满夯2遍，满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击，锤印搭接。强夯法的优点是施工简单、效果显著、成本较低，可以有效地提高地基土的承载力和稳定性，减少地基的沉降和不均匀沉降。

（二）换填法

换填法是将基础底面以下一定范围内的软弱土层挖去，然后用强度较高、压缩性较低的材料进行换填，换填后的材料经过分层压实提高地基的承载力和稳定性。换填法的实施过程相对较为简单，确定换填的范围和深度后进行软弱土层的挖除，在挖除过程中要注意防止对周围土体的扰动，可保留150mm~300mm厚的土层暂不挖去，待铺填垫层前再由人工挖至设计标高。挖除完成后将准备好的换填材料分层铺填并进行压实，除接触下卧软土层的垫层底部应根据施工机械设备及下卧层土质条件确定厚度外，其他垫层的分层铺填厚度宜为200mm~300mm，垫层上下两层的缝距不得小于500mm，且接缝处应夯压密实，压实的方法可以采用机械压实或人工夯实，压实的质量要符合设计要求。换填法的优点是可以有效地改善地基的物理力学性质，提高地基的承载力和稳定性。该方法施工工艺简单，质量易于控制。

（三）灌浆法

灌浆法是通过压力将浆液注入地基土中，使浆液填充地基土中的孔隙和裂缝，从而提高地基土的强度和稳定性，灌浆法可以分为水泥灌浆、化学灌浆等多种类型。在实施灌浆法时要根据地基土的性质和工程要求选择合适的灌浆材料和灌浆方法，进行灌浆孔的布置和钻孔后将灌浆管插入孔中，并进行灌浆。注浆孔的孔径宜为70mm~110mm，垂直度允许偏差应为±1%。灌浆的压力和流量要根据地基土的性质和灌浆材料的特性来确定，水温不得超过30℃~35℃，盛浆桶和注浆管路在注浆体静止状态不得暴露于阳光下，防止浆液凝固；当日平均温度低于5℃或最低温度低于-3℃的条件下注浆时，应采取措施防止浆液冻结。以确保浆液能够充分填充地基土中的孔隙和裂缝。灌浆法的优点是可以有效地提高地基土的强度和稳定性，而且对周围环境的影响较小。但是，灌浆法的施工工艺较为复杂，需要专业的设备和技术人员。

（四）排水固结法

排水固结法是通过在地基中设置排水系统，加速土体中的水分排出，使土体固结，从而提高地基的承载力和稳定性。排水固结法主要包括堆载预压法、真空预压法和联合预压法等，堆载预压法是在地基上堆填土石等重物，对地基进行预压促使土体中的水分排出；真空预压法是通过在地基中铺设密封膜，利用真空泵抽取膜下空气形成负压，加速土体中的水分排出；真空预压适用于处理以黏性土为主的软弱地基。当存在粉土、砂土等透水、透气层时，加固区周边应采取确保膜下真空压力满足设计要求的密封措施。对塑性指数大于25且含水量大于85%的淤泥，应通过现场试验确定其适用性。加固土层上覆盖有厚度大于5m以上的回填土或承载力较高的黏性土层时，不宜采用真空预压处理。联合预压法则是将堆载预压和真空预压结合起来，提高地基处理效果。排水固结法的优点是施工工艺相对简单，成本较低，处理效果较为显著，可以有效地提高地基的承载力和稳定性，减少地基的沉降。

三、水利水电工程地基工程的常见问题

（一）不均匀沉降

水利水电工程所处的地质环境复杂多样，不同区域的地质条件差异较大。当工程地基下方存在软硬不均的土层时，在建筑物的压力作用下，容易发生不均匀沉降。不均匀沉降会使建筑物出现裂缝、倾斜等问题，严重影响工程的安全性和稳定性。在软土地基上建设大坝，如果没有采取有效的处理措施，随着时间的推移，软土会逐渐压缩变形，导致大坝出现不均匀沉降。这种不均匀沉降会破坏大坝的结构，影响其正常蓄水和泄洪功能。不均匀沉降还影响到水电站厂房等附属设施的正常运行。

（二）渗漏问题

地下水的渗漏是水利水电工程中常见的问题之一，如果地基的防渗措施不到位，地下水会通过裂缝、孔隙等通道渗入工程内部，影响工程的正常运行。渗漏不仅会降低工程的效益，还对建筑物的结构造成破坏。在大坝的建设过程中，如果坝基的防渗处理不好，地下水会渗入坝体，导致坝体出现渗漏现象，严重时会引起溃坝事故。渗漏还导致水电站厂房内的设备受潮损坏，影响发电效率。

（三）施工质量不达标

施工质量是水利水电工程地基工程的关键。如果施工过程中质量控制不到位，会出现各种质量问题。在地基处理过程中，如果施工工艺不符合要求，会导致地基处理效果不佳，无法满足工程的设计要求。在混凝土浇筑过程中，如果混凝土配合比不合理、振捣不密实等，会出现裂缝、蜂窝麻面等质量问题，影响建筑物的结构强度和耐久性。施工过程中的质量问题还导致工程在运行过程中出现渗漏、不均匀沉降等问题，影响工程的安全运行。

四、水利水电工程地基工程技术的实施要点

（一）精细地质勘查

工程地质勘探工作也是准备工作中重要内容，主要的作用就是对地质进行专业的调查，主要的工作内容就是结合之前的遥感照片以及水文地质单位提供的报告和资源来开展调查、测绘以及岩石测试和观测见土试验等工作，还要通过现场原型观测以及岩体学试验等测试工作来进行最终的工程地质勘察报告的编制。岩石存在裂缝、溶洞等不良地质现象，会给工程带来潜在的安全隐患。地下水情况更是不容忽视，其水位、水流方向、水质等因素不仅影响地基的施工，还会在工程运行期间对建筑物产生长期影响。高水位的地下水导致地基软化，降低承载能力；而腐蚀性的地下水会侵蚀地基中的建筑材料。

（二）合理设计方案

在制定设计方案时要充分考虑地质勘查结果，针对不同的地质条件制定相应的处理措施。地基承载能力不足可以采用加固、换填等方法提高承载能力；对于抗渗性要求高的情况，可设计防渗帷幕、铺设土工膜等。工程要求也是设计的重要依据，要满足水利水电工程的功能需求，如大坝的蓄水、泄洪功能，水电站的发电功能等。在满足工程要求的前提下，还需兼顾经济成本和施工可行性。经济成本方面，要在保证工程质量的前提下，选择性价比高的设计方案，避免不必要的浪费。施工可行性则要考虑施工现场的条件、施工技术水平等因素，确保设计方案能够顺利实施。

（三）严格材料选择

在水利水电工程地基工程中，材料的质量直接关系到工程的质量和耐久性。水泥是常用的地基处理材料之一，其质量必

须符合国家标准。优质的水泥具有较高的强度和稳定性，能够在地基中起到良好的固化作用。砂石的选择也不容忽视，要确保其颗粒级配合理、含泥量低。颗粒级配合理的砂石能够提高地基的密实度和承载能力，而含泥量过高则会降低材料的强度和稳定性。土工合成材料在地基工程中也有广泛应用，土工布、土工格栅材料具有良好的抗拉强度、抗渗性和过滤性能，能够有效地增强地基的稳定性和抗渗能力。在选择材料时，要对供应商进行严格的筛选，确保材料来源可靠。

（四）规范施工流程

建立严格的施工流程和质量控制体系，能够确保每一道工

序都按照规范进行操作，从而保证工程质量。在地基开挖环节，要根据设计要求进行精确的测量和放线，确保开挖的深度、坡度等符合设计标准。开挖过程中要注意保护周边的地质环境，避免对周围的山体、水体等造成破坏。填筑时，要选择合适的填料，并严格控制填料的含水率、压实度等参数。压实是保证地基密实度的关键环节，要采用合适的压实设备和压实方法，确保地基达到设计要求的压实度。灌浆是地基处理的重要手段之一，要根据不同的地质条件和工程要求选择合适的灌浆材料和灌浆方法，确保灌浆效果。

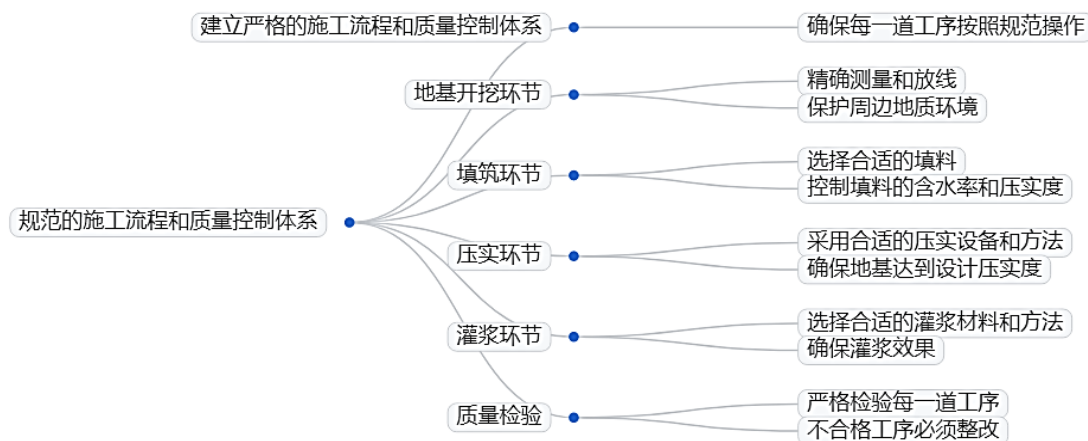


图1 规范施工流程示意图

（五）精准技术应用

在水利水电工程地基工程中，不同的地基问题需要选择合适的技术手段，以确保技术应用准确有效。强夯法适用于处理松散的砂土、粉土等地基，通过重锤的强力夯击，能够提高地基的密实度和承载能力。换填法适用于处理软弱土层，将软弱土层挖除后换上强度高、稳定性好的填料，能够有效地改善地基的性能。高压喷射注浆法适用于处理砂性土、粘性土等地基，通过高压喷射水泥浆等材料，能够在地基中形成固结体，提高地基的强度和抗渗性。在选择技术手段时，要充分考虑地基的地质条件、工程要求、施工条件等因素。在地下水位较高的地区，采用高压喷射注浆法可以有效地防止地下水的渗透；在山区建设水利水电工程，由于地形复杂，更适合采用强夯法等简单有效的技术手段。

（六）加强监测控制

在施工过程中，对地基进行实时监测，能够及时掌握地基的变形、沉降、渗流等情况，以便采取相应的措施进行调整和处理。通过监测发现地基沉降过大，可以及时调整施工进度和施工方法，采取加固措施等。在工程运行期间，持续的监测能够及时发现潜在的问题，为工程的维护和管理提供依据。监测手段包括沉降观测、位移监测、渗流监测等。沉降观测可以通过设置沉降标、水准仪等设备，定期测量地基的沉降情况；位移监测可以采用全站仪、GPS 等设备，监测地基的水平位移；渗流监测可以通过安装渗压计等设备，监测地下水的渗流情况。要建立完善的监测数据处理和分析体系，及时对监测数据进行分析 and 评估，发现问题及时预警并采取相应措施。

（七）注重环境保护

在水利水电工程地基工程施工过程中，注重环境保护是实现可持续发展的重要要求。施工废水和废渣的处理是环境保护

的重点之一。施工废水含有大量的泥沙、油污等污染物，如果直接排放会对周边水体造成污染。因此，要采取有效的处理措施，如设置沉淀池、隔油池等，对施工废水进行处理后再排放。废渣的处理也要合理规划，不能随意堆放，以免对周边环境造成破坏。可以将废渣用于填方、筑路等，实现资源的再利用。施工过程中要尽量减少对周边生态环境的破坏，如保护植被、避免水土流失等。在施工结束后，要及时进行生态恢复，种植植被、恢复地貌等，使工程建设对环境的影响降到最低。

结束语

综上所述，通过深入分析不良地基的影响及处理技术，以及软土地基施工技术的具体应用可以发现，科学合理的地基工程技术选择和实施对于提高水利水电工程的稳定性和耐久性具有至关重要的作用。随着科学技术的不断进步和工程实践经验的积累，水利水电工程地基工程技术将不断得到完善和优化，为水利水电工程的建设和发展提供更加坚实的技术支撑。

【参考文献】

- [1]罗汉城.谈水利工程地基施工技术管理分析[J].珠江水运, 2022, (15): 55-57.
- [2]刘锋.新形势下水利工程地基处理技术的应用[J].河南水利与南水北调, 2021, 50(05): 97-98.
- [3]刘必旺.水利水电工程设计中的地基处理技术实践与研究[J].运输经理世界, 2021, (13): 100-102.
- [4]张世欣.水利水电基础工程施工中不良地基的处理技术[J].中华建设, 2021, (02): 128-129.
- [5]于海洋.水利工程地基处理关键技术探析[J].居舍, 2020, (21): 76-77.