

水利施工技术和灌浆施工要点

文 / 林厉娜 浙江辰威建设有限公司

摘要：水利施工具有很强的复杂性、系统性，影响施工质量和安全的因素比较多，施工难度比较大。水利施工技术和灌浆施工是确保水利工程质量和安全的核心技术。通过合理选择灌浆材料、严格控制施工过程、加强质量检查和采取特殊施工技术，可以有效提高工程的整体性能和稳定性。水利工程施工质量，对于区域社会经济发展、有限水资源的合理应用、防洪减灾等有严重影响。水利工程普遍具有规模大、工期长、影响因素多等特点，在实际施工中所选的施工技术是否合理，以及施工过程的要点控制是否得当，对于保障水工建筑物的稳定性和防渗性能具有不可替代的意义。基于此，分析研究水利施工技术和灌浆施工要点就显得尤为必要。

关键词：水利施工技术；地基处理技术；导流施工技术；灌浆

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.081

引言

水利工程施工质量，对于区域社会经济发展、有限水资源的合理应用、防洪减灾等有严重影响。水利工程普遍具有规模大、工期长、影响因素多等特点，在实际施工中所选的施工技术是否合理，以及施工过程的要点控制是否得当，对于保障水工建筑物的稳定性和防渗性能具有不可替代的意义。基于此，分析研究水利施工技术和灌浆施工要点就显得尤为必要。

一、水利工程施工的特点

1) 施工环境较为复杂。水利工程选址常在峡谷、山区等地形复杂的区域，这些区域地方地质条件多变，可能存在岩石破碎、地质灾害隐患等问题，给基础处理、建筑物建设等带来困难。而且水利工程施工受到水文的影响比较大，水利工程多在河流、湖泊等水域周边或水上进行，水的流动性使得施工面临诸多挑战。比如：河流水位的涨落会影响施工场地的可用性，水流的速度和方向会对临时围堰、导流设施等产生冲击，若控制不当，可能会造成无法挽回的损失。

2) 施工技术要求高。水利工程项目建筑规模大，一旦发生质量隐患处理难度大，因此，对施工技术的要比较高，既要选择高质量、高性能的施工材料，也要结合工程特点，选择有针对性的施工技术，并开展标准化施工，以提升水利工程施工质量。

3) 施工干扰因素多。在水利工程施工中会同时受到多种因素的联合影响，材料、地质水文条件、人员、气候条件、工艺工法等，都是影响水利工程施工的主要原因。为最大限度上降低这些因素对水利施工造成的不良影响，需结合工程特点、所在区域的现场条件，选择有针对性的施工技术，并对施工全过程进行有效控制。

二、水利工程施工中的关键技术

(一) 地基处理技术

水利工程建设规模比较大，自重大，对基础的承载力、稳定性、强度要求比较高，需要选择合适的地基处理技术来对地基进行处理。常见的地基有两种，一种是岩石地基，另一种是软土地基，地基种类不同，需采用的处理技术也不相同。比如：对岩石地基，可采用预裂爆破和固结灌浆技术处理，通过预裂爆破技术可将大块不平地基破碎，促使地基更加平整，便于更好地开展地基加固和处理。而通过固结灌浆技术则可以有效提升岩体的强度和完整性，进而提升地基的承载力和抗渗能力。为提升岩石地基处理质量和效果，可同时应用预裂爆破技术和固结灌浆技术。若遇到软土地基则需进行加固处理，提升地基的承载力，强夯法、深层水泥搅拌桩、换填法都是软土地基处理中较为常用的处理技术。但每种测量技术都有其独特的优缺点和应用条件，在实际应用中可选择其中的一种处理技术，也可以联合应用两种或者是两种以上的处理技术，通过软基处理技术优缺点的互补，来确保水利工程地基的强度和承载力，保障上部结构施工质量。

(二) 预应力锚固技术

在水利工程施工中，坝体边坡的稳定性和安全性，对水利工程运行效果会造成直接影响，因此，在实际施工中还需采取有效的技术来提升坝体边坡的稳定性。预应力锚固技术可通过锚头锁定预应力筋，以提升边坡的稳定性，是目前水利坝体边坡支护和加固时常用的施工技术，完整的预应力锚固体系如图1所示：

虽然在水利坝体边坡防护中应用预应力锚固技术，能够提升边坡的稳定性和抗渗性，但由于在实际施工中所使用的锚杆多为金属材质，若长期浸泡在水中，可能会出现锈蚀问题，从而影响锚杆结构的耐久性。为解决

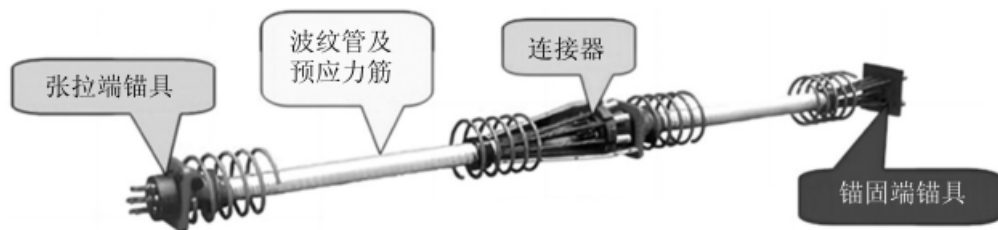


图1 预应力锚固系统结构组成示意图

这一问题，需对锚栓进行双层（塑料管+水泥浆）保护，具体做法为先将选择好的锚栓放入塑料中，再喷射一层水泥浆液，形成双层密封保护效果。

（三）导流和截流技术

在水利工程施工中不可避免地会受到水流的影响，从而影响施工进度和质量，此时就需要应用到导流和截流技术，以实现河床的有效控制，堵截河水，为水利工程施工提供一个良好的条件。若无特殊要求，可直接采用围堰断流法来截断水流，但投入的成本比较大，工期较长。若施工进度比较紧迫，可采用立堵法和平堵法来实现对水流的截流，以改善河流的分流调节，同时此种导流截流技术，还能有效应对洪涝灾害的问题。

三、水利工程灌浆施工的要害

（一）工程概述

某水利工程项目，总库容为 6.32 亿 m^3 ，水库坝基位于湖相沉积物之上，经现场地质勘察发现，本水利工程所在区域通过受到亚粘土承压能力较弱、地质构造风化和剥蚀严重等因素的联合影响，使得地形地貌较为复杂，尤其是坝基和附近玄武岩破碎较为严重，且分布不够均匀，若直接在此段坝基上建设大坝，容易引起严重的渗漏问题，为解决这一问题，采用帷幕灌浆技术进行处理。

（二）布置钻孔

钻孔布置是水利工程帷幕灌浆施工的基础，钻孔布置是否合理直接影响灌浆效果。钻孔的布置应依据工程地质条件、灌浆目的和范围等因素确定。一般采用梅花形、矩形或不规则布置方式，孔距和排距根据岩体的透水率、裂隙发育程度等因素综合确定。比如：案例水利工程在坝基防渗帷幕灌浆工程中，经过详细的地质勘察和数值模拟分析，确定采用梅花形布置钻孔，孔距为 2m，排距为 2.5m，能够有效地覆盖地基中的透水通道，形成连续的防渗帷幕。

（三）钻孔

由于案例水利工程坝基位于湖相沉积物，亚黏土和玄武岩层共存，在进行钻孔操作中，为有效提升钻孔质量和效率，选择用 XJ-150 型钻机和 XY-300 型钻机联合

钻孔。土层采用直径为 108mm 的硬质合金钻头钻进。按照定位好钻孔位置，埋设孔口管护壁，为避免在钻孔时出现孔口坍塌问题，孔口管进入承力岩层的深度需控制在 30 ~ 50cm 之间，若遇到坚硬的岩石层，则采用直径为 60mm 金刚石水钻头来钻进^[1]。每钻进一个注浆段，需用 PA-1 测斜仪对钻孔倾斜度检测，符合要求后方可继续钻进，否则对倾斜度进行修整，以免影响后期灌浆效果。

（四）钻孔冲洗和压水

为了确保帷幕灌浆技术在加固大坝基础方面能够发挥出最大的作用，每一段钻孔作业完成之后，都需立即进行钻孔冲洗和裂隙冲洗，冲洗的标准为：1) 孔内沉积物的厚度不得超过 20cm，2) 裂隙冲洗时所采用的压力是该段灌浆压力的 80%。冲洗结束的标准为：确保回水清澈透明持续 10min，且整个冲洗过程的总时长不得少于 30min。在冲洗结束后还需对孔内沉淀物的厚度进行测量，确保其不超过 20cm，以达到冲洗结束的标准^[2]。

在裂隙冲洗作业完成后，需及时开展压水试验。对于先导孔和检查孔，可采用“五点法”来进行压水试验，在进行压水试验时，试验压力值分别设定为单点法全压力的 0.3 倍、0.6 倍、1 倍、0.6 倍和 0.3 倍。但在实际施工过程中，由于部分灌浆段存在较大的漏水问题以及基岩破碎的情况，导致无法达到设计压力。为了解决这一问题，需对压水试验方案进行酌情调整，转“五点法”为“单点法”进行压水试验。对于灌浆孔的各个段落，均采用“单点法”自上而下进行简易压水试验，试验压力为本灌浆段灌浆压力的 80%。在整个压水试验过程中，需保证最大压水压力不超过 1MPa。

（五）灌浆

1. 选择合适的关键材料

在水利工程帷幕灌浆施工中常用的灌浆材料有两种，一种是化学灌浆材料，另一种是水泥灌浆材料，每种灌浆材料都有其独特的优缺点和应用条件，在实际灌浆操作时，需结合现场条件和施工要求进行合理选择。

化学灌浆材料：常见的化学灌浆材料包括环氧树脂、

聚氨酯、丙烯酰胺等。这些材料具有黏度低、可灌性好、凝胶时间可调控等特点，适用于细小裂隙或渗透性较差的地层的灌浆处理。比如：在坝基施工中若遇到局部地段地下水丰富且存在微小裂隙导致渗漏的问题，可采用环氧树脂化学灌浆材料进行注浆处理，以便更好地封堵地下水渗漏通道，提升水利工程防渗漏效果^[3]。

水泥灌浆材料：选择水泥作为一灌浆材料，最大的优势是其来源的广泛性、成本的低廉性以及结石体强度的高水准。在本项水利工程的帷幕灌浆施工过程中，就选择水泥作为主要的灌浆材料来使用。与化学灌浆材料相比，水泥灌浆材料更适用于没有特殊要求的常规灌浆工程，且在大多数情况下能够满足工程的基本需求。为有效提升帷幕灌浆在加固坝基和防渗方面的作用。还需在水泥中按照表1所示的要求，加入其他材料，以改善灌浆材料的性能，提高灌浆材料的流动性和早期强度，确保灌浆效果。

表1 灌浆材料配比参考表

| 强度等级 | C30 | C35 |
|---------|------|------|
| 水泥 /kg | 278 | 336 |
| 水 /kg | 175 | 182 |
| 砂 /kg | 769 | 701 |
| 碎石 /kg | 1041 | 1098 |
| 掺合料 /kg | 78 | 63 |
| 外加剂 /kg | 9.5 | 10.2 |
| 水灰比 | 0.49 | 0.46 |

2. 灌浆压力控制

灌浆压力控制效果直接关系到最终灌浆工程的质量，合理的灌浆压力利于灌浆材料更加充分地填充裂隙和孔隙，从而提升灌浆的密实度。为达到最佳的灌浆效果，灌浆压力的大小需要根据多种因素进行综合考量，包括地层的性质、灌浆的深度以及所使用的灌浆材料种类等，这些因素共同决定了灌浆压力的适宜范围。因此，在实际操作中，必须通过有效的试验来确定最佳的灌浆压力范围，以便制定出更为精确和有效的灌浆方案。在灌浆过程中，要实时监测灌浆压力变化，并根据压力情况及时调整灌浆参数^[4]。比如：在案例水利工程坝基帷幕关键施工中，对于浅部地层采用较低压力（0.2-0.5MPa）进行灌注，随着灌浆深度的增加逐渐提高灌浆压力至1.0-1.5MPa，以保证不同深度地层的灌浆效果。

3. 特殊地段注浆方法

在案例水利工程的帷幕注浆施工过程中，由于基岩破损严重以及裂隙发育等多种因素的共同作用，导致部分钻孔无法实现预期的回水效果，未能满足设计要求的段长的情况下，提前进行裂隙冲洗和灌浆作业。此类地段在灌浆操作时，容易出现灌浆无回浆、无压力的不良情况。为了能够有效地解决这一问题，需要在实际的灌

浆操作中灌入浓度较高的浆液，并且要严格控制好浆液的注入率，逐步地提升灌浆压力^[5]。当灌浆孔的吸浆率达到5L/min以上，并且每米耗浆量不低于200kg时，可适当降低灌浆压力，并采用间歇式的灌浆方法。通过这种方式，可以确保先前灌入的浆液有足够的时间完成初凝，之后再行复灌作业，以保证灌浆质量。

4. 灌浆结束标准

灌浆结束标准是判断灌浆是否达到预期效果的重要依据，合理设定灌浆结束的标志，有利于有效提升灌浆效果。案例水利工程在帷幕灌浆施工中，灌浆结束的标准为：灌浆压力达到设计终压并持续一段时间、灌浆量达到设计要求、吸浆率明显降低等，以确保结构的完整性和稳定性。在实际的灌浆操作时，需综合考虑多个标准来确定灌浆结束时间，以确保灌浆工作的有效性。比如：在案例水利工程的坝基补强灌浆工程中，当灌浆压力达到设计终压1.2MPa并持续30min，同时单孔灌浆量达到设计灌浆量的1.1倍时，可以判定该孔灌浆已经结束。转入下一孔的灌浆施工，继续进行后续的灌浆作业，以保证整个工程的质量和安

结语

综上所述。水利施工技术和灌浆施工技术在水利工程建设的关键技术，在水利工程施工建设中掌握先进的水利施工技术和灌浆施工要点，有利于更好地保证水利工程的质量和安，提高工程的建设效率和经济效益。在实际施工过程中，应充分考虑工程的特点和需求，合理选择施工技术和工艺，严格控制各项施工技术的应用要点，并加强对施工细节的有效保障，才能发挥水利施工技术和灌浆施工技术的作用，从而助力我国水利工程建设事业稳健发展。

参考文献

[1] 王媛. 灌浆技术在水利水电大坝施工中的应用分析[J]. 大众标准化, 2023, (03): 43-45.
 [2] 曾雪琼. 水利工程防渗处理中的灌浆施工技术要点研究[J]. 中国战略新兴产业, 2022, (02): 152-154.
 [3] 全子华. 干香凹水库左岸渗透帷幕灌浆补强施工的关键技术研究[J]. 低碳世界, 2021, 11(03): 90-91.
 [4] 张力. 水利工程中帷幕灌浆施工技术的重难点探析[J]. 低碳世界, 2021, 11(03): 92-93.
 [5] 于成科. 农田水利工程施工中防渗技术要点分析[J]. 农业开发与装备, 2021, (02): 72-73.
 [6] 阎倩倩. 康苏水库工程基岩帷幕灌浆施工要点探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(06): 160-161+213.
 作者简介: 林厉娜(1989-), 女, 汉族, 浙江绍兴市人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 水利工程。