

水工建筑基础灌浆施工技术分析与研究

谢静妮

广东省源天工程有限公司

摘要：在水工建筑工程施工过程中，灌浆技术是重要的施工环节，它主要是将浆液通过钻孔注入到岩体中，从而使岩石得到加固，达到改善岩体内部结构和提高岩体强度的目的。灌浆施工技术在我国应用时间较长，并且取得了一定的成果，但是在实际应用中也存在一些问题。因此，本文通过对灌浆技术的含义及分类进行介绍，分析了水工建筑基础灌浆施工中存在的问题和相应的解决方法，并结合具体工程实例对基础灌浆施工技术进行详细分析。

关键词：水工建筑；基础灌浆；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.029

随着我国经济的不断发展，人们的生活质量也随之提升。在水利工程中，水工建筑是最为重要的一项，它不仅能够促进我国经济发展，还能够对水资源进行合理分配。水工建筑质量对于水利工程发挥作用有着直接影响，因此，在实际施工中必须加强对其质量的管理。目前，我国水工建筑中的灌浆技术还不够完善，在具体施工中还存在很多问题，影响水利工程正常发挥作用。

一、工程实例

某水库大坝由左右坝肩防渗及坝基帷幕灌浆工程、坝后排水系统和溢洪道工程三部分组成。防渗帷幕灌浆工程位于大坝右岸，防渗帷幕灌浆设计标准为：设计灌浆压力1.0MPa，最大灌浆压力0.9MPa。通过对不同部位、不同深度的岩层进行试验和分析，研究了各种岩层的透水性，选择了具有较好透水性的强风化砂岩作为灌浆对象。该大坝坝高70m，坝顶高程140.0m，坝底宽为45.0m。两岸山体坡度均为1:0.3~1:0.5，两岸山体地质结构比较稳定，上覆土层较厚且较为均匀。坝址区域为背水坡，岩体以弱风化砂岩为主，部分岩体强度较低、节理发育。根据试验结果分析表明：强风化砂岩的透水性较强，裂隙较多，在施工过程中需做好灌浆施工措施和工程质量控制工作。其中在大坝右岸基础上设置了2个灌浆孔。

二、灌浆技术的含义及方法

(一) 灌浆技术含义

灌浆技术是将水泥浆注入到岩石缝隙中，使岩石得到加固的一种施工技术。基础灌浆施工技术主要应用于水工建筑基础工程中，对于加固岩石，改善岩体内部结构和提高岩体强度具有重要作用。根据浆液注入量和压力的不同，可将灌浆技术分为以下几种类型：单液型、双液型、三液型和高聚物灌浆型。一般在水工建筑基础工程中，采用高密度聚乙烯等材料作为主要浆液材料，并结合其他辅助材料进行施工，能够有效地提高基础工程的稳定性^[1]。

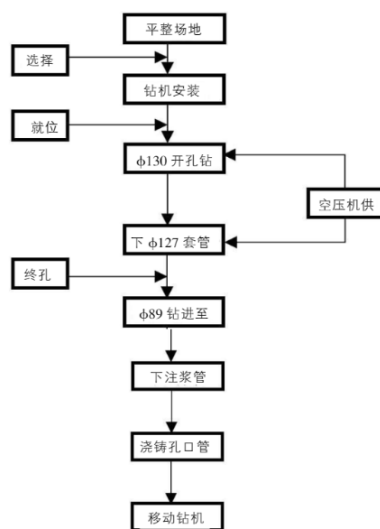


图1 灌浆孔施工工艺流程图

(二) 灌浆技术方法

水工建筑基础灌浆施工主要包括高压喷射灌浆法、固结灌浆等方法。

1. 高压喷射灌浆法

是利用钻机将带有喷嘴的注浆管钻入土中一定深度，并在其周围筑起水头很高的喷射流，使其以一定的速度向周围土体中喷射高压浆液。通过喷射流与土中水发生作用，使土体形成固结体。该法适用于处理流塑、软塑或可塑黏性土、砂土、粉土和土层的地基。高压喷射灌浆法通常分正、反循环两种方式。正循环：在钻孔中同时用注浆管将浆液注入土体，搅拌后再用高压设备将其送至设计位置，喷射流以一定的速度冲击土粒，使其破碎并与浆液混合成固结体。反循环：在钻孔中只用注浆管，然后将高压喷射流喷出，同时用搅拌装置搅拌混合浆液，当固结体的强度达到一定要求时，将注浆管恢复到原位。根据采用的施工方法不同，可分为旋转喷射灌浆、边旋转边提升喷射灌浆和提升旋转同时提升喷射灌浆三种方式。

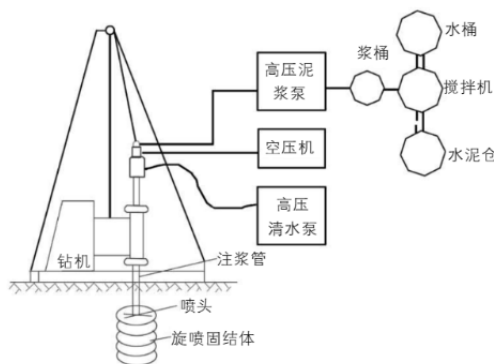


图2 高压喷射灌浆法施工示意图

2. 固结灌浆法

固结灌浆法是将一定的浆液，通过钻孔、压水、灌浆等工艺，灌注到土体中去的一种方法。这种方法主要用于处理软弱土层，以提高土体的强度和透水性，改善地基条件。固结灌浆法又分帷幕灌浆法和充填灌浆法两类。

帷幕灌浆法是指利用预先制好的浆液，以一定的压力，通过孔口或孔内管、管外壁的注浆孔，将浆液注入土层中，在压力作用下形成一道连续而不间断的、有一定强度和防渗性能的帷幕，以防止或减少地基土中渗漏水或减少地下水对基础的侵蚀作用。适用于地下水位较高、水压力较大而透水性又较强的地基加固处理。

充填灌浆法是利用专门设备将具有一定粒径的土料充填于地层裂隙中，以达到固结和防止坝体出现不均匀变形的目的。充填灌浆法根据不同的材料可分为干法和湿法两种。干法灌浆是采用高压喷射灌浆方法，使浆液从地层裂隙中喷出，并与地层颗粒胶结，形成泥墙，加固坝体。湿法灌浆是利用钻孔、安装喷射管及特殊的浆液制备设备，在地层裂隙中钻孔，并用高压喷射浆液将地层裂隙填满，形成泥墙的方法。

3. 分段灌浆技术

分段灌浆技术是一种采用水泥浆和化学浆液的高压喷射灌浆技术，具有压力高、封孔效果好、施工速度快、适应性强等优点。该技术在铁路路基工程中得到了广泛应用。

(1) 在不需固结灌浆的情况下，先将土挖出，形成一个深度较大的土坑，并清除其中的杂草、树根、杂物等。然后用压力水冲洗，并用清水冲洗干净。

(2) 将土坑挖成锅底形，并在锅底下铺一层干沙子，然后用压力水冲洗，使土中的水泥颗粒充分溶化在水中。

(3) 将泥浆均匀地灌入土坑内，土坑内应填筑干砂或细土等使泥浆能覆盖整个土坑。

(4) 灌浆过程中如发生土层中有空洞时，可注入一定数量的黏土。

(5) 将土填满后用木桩或竹桩压住，使土与水泥浆紧密接触。

(6) 待土坑表面干燥后，在其上铺一层2 cm厚的砂土或碎石。

(7) 用压力水冲洗。

分段灌浆技术适用于高填方路基、沉陷区路基等地质条件复杂的情况；可用于对局部质量较差的路面基层进行补强加固；可用于对小范围内的裂缝进行修补、封闭；可用于处理由于沉降引起的路面隆起、沉陷等病害；可用于因路基施工而造成的路面开裂、沉陷、错台等病害；可用于对局部基层质量较差的路面进行修补，也可用于解决局部路基压实度不足和道路排水不畅等问题。

三、灌浆施工中存在的问题

在水工建筑施工过程中，灌浆施工技术虽然在实际应用中取得了一定的成果，但是仍存在一些问题。首

先，水工建筑工程灌浆施工过程中，由于操作人员不熟悉施工工艺，导致灌浆施工工艺不符合要求，从而影响到工程的整体质量^[2]。其次，灌浆施工过程中存在不稳定因素。在进行水工建筑基础灌浆施工时，由于地质条件的变化等原因，会导致灌浆压力不稳定、浆液流动不正常等问题的出现。最后，水工建筑工程基础灌浆施工中会受到其他因素的影响，如空气、水等因素。

四、灌浆施工基本要求与浆液的配置

(一) 基本要求

1. 灌浆前要对灌浆施工的场地进行检查，并要在基础表面洒水湿润，对灌浆孔进行清理。在具体施工中，要确保灌浆孔的位置正确，孔径和孔深要符合要求。如果钻孔的深度超过5m时，需要使用更大的钻头进行钻孔。同时，为了防止孔内出现渗水现象，必须在钻孔中埋设好导水管。在灌浆施工之前，要对灌浆材料进行检测和搅拌，确保材料的质量符合标准。

2. 灌浆时必须严格按照设计要求进行。根据设计图纸对地基的相关数据进行计算，并根据实际情况确定其允许变形值。如果地基出现不均匀沉降，必须通过合理的措施来消除不均匀沉降问题。同时，在具体施工中要严格控制灌浆材料的质量以及灌浆压力等数据，确保灌浆工作能够顺利进行。并且必须严格按照设计要求来进行施工操作，同时要确保施工现场的温度、湿度以及风速等参数符合要求。

3. 在具体施工中还要根据实际情况对灌浆顺序进行合理安排。通常情况下，可以先对孔口封闭并向下灌浆来实现封闭孔口的目的；在满足设计要求的情况下也可以先向下灌注低标号水泥砂浆再向上灌注高标号水泥砂浆；同时可以先灌注孔口封闭段后再灌注孔口下部段；在满足设计要求的情况下也可以先灌注孔口封闭段再向下灌注低标号水泥砂浆。

4. 在具体施工中要严格控制水泥浆的稠度、配合比和注入率等指标，确保其满足设计要求；同时还要严格按照设计要求来控制灌浆压力和注浆量等指标；同时还要严格按照设计要求来进行检查和检验，确保其符合要求；另外还要对灌浆材料、设备和工艺等内容进行严格控制。

(二) 浆液的配置

1. 水泥浆的水灰比：在实际灌浆中，应将水泥浆的水灰比控制在1:1左右，通常情况下，为了保证灌浆效果，应将其控制在1:1~1.2:1之间。此外，由于水灰比是影响灌浆质量的重要因素，因此，在实际施工中还应根据具体情况进行调整。

例如在正常情况下，当浆液比重为1.18~1.20之间时，浆液密度会在2.3~2.5之间；当浆液比重为2.75~3.0时，浆液密度会在2.6~2.8之间；当浆液比重大于或等于3.0时，浆液密度会在3.2~3.3之间。

2. 水泥浆的流动度：为了保证水工建筑基础灌浆施工质量，必须控制好水泥浆的流动度。一般情况下，当水灰比为1:1时，流动性较好；当水灰比为1:2时，流动性较差；当水灰比为1:3时，流动性最差。因此，

在实际施工中应根据具体情况对水泥浆的流动度进行控制。如果含沙量过高,会导致浆液流动度降低和流动性变差等问题的出现。

3. 浆液的比重: 在进行水工建筑基础灌浆施工时, 为了保证水泥浆液的流动性, 应确保浆液的比重与水泥浆液的比重相同, 通常情况下, 浆液比重可由 2.15~2.25 之间选择。当浆液面距离基岩表面越近时, 其比重就越大; 当浆液面距离基岩表面越远时, 其比重就越小。因此在实际施工中还应根据实际情况对浆液液面进行调整, 确保其能够与基岩的接触面积达到最佳状态。

4. 水泥浆的流动性: 在水工建筑基础灌浆中, 为保证灌浆效果, 应将浆液的流动性控制在良好的范围内。在实际灌浆中, 通常情况下, 应将浆液的流动度控制在 1.5~2.0 之间。此外, 在实际施工中还应注意以下问题:

①水泥浆的黏度和触变性: 通常情况下, 当浆液黏度大于 20mPa·s 时, 就会对灌浆效果产生严重影响。因此, 在实际施工中应确保浆液黏度和触变性符合规范要求。②水泥浆的稳定性: 为了保证水泥浆的稳定性和流动性, 应结合具体情况对水泥浆进行稳定处理。例如可以采用机械搅拌等方式对浆液进行搅拌。

五、在漏水情况下灌浆施工处理措施

在水工建筑的建筑施工现场当中形成渗漏的成因主要有两种: 一是在无参照物的岩溶地区, 由于地质条件的特殊性, 在岩溶地区会形成溶洞, 并逐渐增多, 从而引起大面积渗漏, 进而引起建筑物的崩坏坍塌, 二是区域水文资料丰富, 降水过多, 从而引发坍塌。对于漏水的治理情况下, 当所用方法效果不佳, 且费用较高时候, 则应考虑采用其他方法。故本工程应采用新的施工方法加以处理。

(一) 模袋灌浆技术

模袋是一种高集成度的制品, 它的主要成分是多种聚合物材料, 所以模袋有一定的耐腐蚀, 耐摩擦的功能。在施工的过程中, 装填材料的压力很大, 大多数水都会沉降沙粒等材料, 因为它们的颗粒比袋子的间隙大, 所以在这一过程中不会发生渗漏。一般这样的处理方式, 能够降低水泥凝结的水灰比, 很大程度上会降低所需要的水分, 但是坍落度也会有所提高北面因为模袋袋形效应的包裹作用, 在液体的撞击下不会被冲走, 模袋袋形具有很好的弹性, 适合于各类洞穴, 有着更大的优点, 防渗效果明显, 有很好的应用前景。

(二) 填充配料技术

一般情况下, 注浆时, 通常采用水泥、粗沙等混合料, 在注浆之前, 应先对砂粒度进行检查, 看其是否符合要求。假如普通水泥和砂的使用并没有达到理想的效果, 在混合适量的掺合料, 比如具有一定黏度之后, 再灌注水泥, 其中可能还会有一些组成是砂子和石子, 因此, 在施工使用时, 这些成分的材料比尽可能灵活, 颗粒材料能够填充水工建筑基础局部空隙, 从而产生反作用, 不仅能够提高建筑物的高度, 还能够起到防渗透的

作用。

(三) 基础固结相应的灌浆技术

固结注浆加固是一种增强基岩整体强度, 减小渗透性的技术。如果根据基岩地质条件, 可以在坝体及下游区域有很大应力的部位进行注浆, 但在地基情况不允许的情况下, 其必须进行全部注浆, 还包括对坝体进行局部固结注浆。注浆孔洞一般都很深, 这些洞在一个个平面当中是相互交错的。采用固结法对超厚的水工建筑物基础进行注浆, 可避免在基岩表层产生更大的注浆压力, 提高注浆质量。对注浆加固效果的检测, 可采用波速度法或静弹模法。

对加固后的岩体波速度和静弹模量的提高, 按设计要求进行, 并对加固后的注浆质量进行了检测。注浆时, 检查孔的数目不能少于总的注浆数目。与之相适应的地基补强注浆技术, 可使基岩变得坚硬, 从而达到减水的目的, 是水利水电工程中最为重要的基础性工作。在水利工程施工过程中, 在基础位置或整个下游水利工程区布置相应的灌孔, 如果基础不能满足特定的施工条件, 就需要基础以及施工的整体部分来完成相应的固灌具体操作。注水要控制在 5-8 米的水深, 最多 40 米的体注水要在平面上进行。可以利用群孔冲洗, 也可以采用群孔灌注的基本方式来完成相, 这种灌注固体灌溉技术主要适合于一些基本厚度满足相应标准的情况下, 能够起到防止液体冒出的重要作用, 还能有效地提高灌注效果。

图3 浆液配比表

浆液比级	浆液体积 (L)	水 (L)	水泥 (kg)	比重
1: 1	100	75	75	1.5
0.6: 1	100	64	107	1.71
0.5: 1	100	60	123	1.8

六、结语

水工建筑基础灌浆施工是一项系统性很强的施工环节, 只有严格按照施工技术要求进行施工, 才能确保工程质量。在实际的水工建筑基础灌浆施工过程中, 还存在一些问题, 如: (1) 钻孔难度较大; (2) 浆液流动性强; (3) 灌浆压力高; (4) 灌浆过程中容易出现漏浆现象。针对这些问题, 应采取有效措施进行解决: 在施工过程中应加强对地质资料的分析, 同时采取科学的灌浆技术, 提高灌浆质量。对于在钻孔过程中出现的漏浆问题, 可以采用引孔、引浆、压水试验等方式进行补救。在灌浆过程中要严格控制灌浆压力, 并对浆液的配比进行调整, 避免浆液流失。在灌浆结束后应对岩面和岩面以下的岩体进行检查, 并对检查结果进行分析, 以判断是否存在漏浆和空洞等情况。另外, 在水工建筑基础灌浆施工过程中, 还应加强对施工质量的控制与管理。

参考文献

[1] 杨自刚. 水利水电建筑工程中的基础灌浆施工技术[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2020, 615(06): 149-150.
 [2] 高歌. 解析在水利水电建筑工程中的基础灌浆施工技术[J]. 建材与装饰, 2019, 585(24): 310-311.