

美国陆军工程兵团灌浆技术标准解析

陈秉政，邓树密，廖 聪

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

摘 要: 国际项目中的灌浆工程采用的标准不一,有沿用中国标准的,也有采用国外标准的。介绍了美国陆军工程兵团(United States Army Corps of Engineers, 缩写 USACE)灌浆技术标准 EM1110-2-3506 中的相关内容,重点对灌浆设计的基本原则、材料设备选择、施工工艺及数据记录与分析等方面进行了介绍,可供采用美标的国际项目参考借鉴。

关键词: 美国标准;陆军工程师团;灌浆手册

中图分类号: TV7;TV52;TV51;TV54 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2184(2019)02-0001-03

1 概 述

美国陆军工程兵团为美国主要的水利机构之一,属陆军部管辖。其前身为 1775 年任命的、为陆军总工程师处理军队建设和防御工事的机构。1802 年,美国陆军工程兵团正式成立为纽约西点军校的工程班,直至 1866 年才成为一个一般的军事院校。1824 年,美国议会授权美国陆军工程兵团负责航道整治及其相邻湿地的维护,航道治理包括建设闸坝、疏浚、护岸及航运工程管理等,以保证密西西比河尤其是上游河段常年通航,有力地促进了沿岸的经济发展。笔者介绍了美国陆军工程兵团灌浆技术标准。

2 灌浆设计阶段

2.1 一般原则

本技术标准认为,灌浆的需求应该在工程设计阶段就考虑到,减少渗漏对结构造成的不利影响是灌浆最重要的作用。灌浆的同时提供了深入探索不利因素的可能性。如果基础的渗漏对结构建筑物没有影响,那么,深孔的帷幕灌浆是没有必要的。

灌浆设计阶段应考虑地质因素。灌浆方案应基于对地质情况研究调查阶段的信息。灌浆方案的设计不应该套预定的公式,但是,当手上有地质背景的前提下应该运用公式进行灌浆设计。地质资料从灌浆的初步规划阶段到完成和评估阶段都是需要的。

灌浆在设计阶段还要考虑灌浆需要达到的目的。灌浆的实施计划和技术不仅受地下情况影

响,还要受灌浆工程的目的和目标影响。灌浆工程针对的是永久性、还是临时性工程,应该考虑到是否需要严格按照设计要求,还是可以适当减少标准呢?是尽最大可能保证浆液扩散的范围或尽量使扩散范围在一定范围内或将其限制在非常小的范围内?这些都是在灌浆正式实施前需要考虑的。成本是另一个因素,对排水成本的控制是灌浆成本的上限。因此,灌浆的目标必须很清楚,以便设计师、地质学家、工程师和监理工程师能理解并将其付诸于实践,陆军工程兵团就是基于这些方面因素进行灌浆设计的。

2.2 主要技术参数的选取

2.2.1 钻孔直径的选择

钻孔直径的选择是根据孔的型式和需要灌浆岩石的条件以及孔的深度和倾斜度确定的。灌浆孔一般按照满足要求的最小孔径确定最小孔径,一般为 38~76 mm。除了有些需要使用冲击钻进的地方,一般选择满足要求的最小孔径,从而使钻进成本为最低。

本规范中最小孔径的选择需要考虑岩石的切削面积,坚硬的岩石需要较大的面积。岩石的形状也需要考虑进去:(1)岩层的走向;(2)断层中含有松散的物质;(3)没有填充物的裂缝和有填充物的裂缝。对于孔径较大的可以考虑在断层、裂缝(隙)和节理发育的位置,以便于较大直径的钻孔有足够的空间插入冲洗管路对裂缝进行有效的冲洗。

2.2.2 灌浆孔间的排距

本规范认为:间排距和灌浆形式取决于地质

条件以及期望能达到的预期结果。间排距受岩层性质的影响(这是帷幕灌浆的先决条件),并从静水头到目标深度点。先导孔的间距较大,能够保证灌浆不容易发生窜浆。根据经验,一序孔的间距一般在10~40英尺(1英尺=30.48 cm)之间,加密孔的间距为5~10英尺,以便于帷幕的形成。然而,在具体的实施过程中,灌浆孔不容易达到预期的准确间排距,最终孔的间距要根据灌浆效果而定。我们的理解就是灌浆孔的间排距是不固定的,应视灌浆取得的最终效果而定,帷幕灌浆的孔在间距减小到最小时也要考虑到灌浆注入量,帷幕灌浆相邻孔中心的间距可以小到1英尺。

2.2.3 灌浆深度

本规范认为:灌浆孔的深度要根据基岩的条件确定,帷幕灌浆的目的是为了减少水头,降低库区渗漏量。帷幕灌浆孔的深度应满足最少的渗漏量,协助减少坝体扬压力以及大规模的排水设备,在这一点上,其与国内规范基本上是一致的。

2.3 灌浆材料的选择

根据本标准,灌浆使用的基本原料主要有硅酸盐水泥和火山灰水泥两大类。硅酸盐水泥作为最普遍应用的水泥,其类型具有多样性。因此,在使用硅酸盐水泥用作灌浆之前,应先确定使用何种类型的硅酸盐水泥。用于灌浆的水泥类型划分及适用条件如下:

- (1) I型硅酸盐水泥。I型被认为是通用水泥,其在绝大多数的灌浆中被应用,但其不具备其他类型水泥的特殊性能。
- (2) II型硅酸盐水泥。II型可以抵抗中等程度的硫酸盐侵蚀,与I型相比,其水化热速率更为缓慢。
- (3) III型硅酸盐水泥。III型具有高早强(通常指两周及以内达到高强度)特性,通常在紧急加固和抢险的情况下被使用。另外,由于其颗粒直径小于其它类型的水泥,因此有时被指定用作细微裂缝的灌浆。
- (4) IV型硅酸盐水泥。IV型在水化作用中产生的热量比II型更少。其发展强度的速度比I型更缓慢。当水化热温度高到令人难以忍受时,它被用作大量的填充型灌浆。
- (5) V型硅酸盐水泥。当灌浆遭受严重的硫酸盐侵蚀时,可以使用V型硅酸盐水泥。当土壤

或地下水中含有高浓度硫酸盐成分时,主要使用V型硅酸盐水泥。

(6)加气硅酸盐水泥分为I A、II A、III A型,这些类型分别对应于I型、II型和III型硅酸盐水泥。这些水泥含有少量的引气材料,很少在灌浆中使用,除非灌浆在遭到严重的冻融情况下才考虑使用它们。

3 灌浆设备的选择

3.1 钻机

陆军工程兵团认为:在选择钻机时,应考虑设备使用位置、钻孔灌浆的工作地点等。通常,钻机类型分为冲击钻机和回转钻机。一般来说,冲击钻机用于深度较浅的灌浆孔以及用于较坚硬的岩石爆破孔钻进。回转钻机则根据钻头类型和钻机型号大小可适用于各种地质条件和孔深,小型钻机可以钻几百米深的孔,大型钻机则可达到数千米深。钻头类型通常分为金刚石钻头、硬质合金钻头(球齿型钻头、滚齿型钻头以及其它形式的钻头)。

3.2 灌浆泵

不同种类的灌浆泵具有不同的尺寸和输送压力,它们可以由空气、汽油或电力驱动。电动机或内燃机泵的速度恒定,空气驱动的泵具有不同的速度和压力,因此,在灌浆作业中更为广泛地应用。

3.3 水泥搅拌机

在选择水泥浆搅拌机时需要考虑的第一点因素是确保其有足够的容量,并且能在规定的时间内搅拌出同一配合比的混合浆液。一般分为桶式搅拌机、喷射混合机、压缩空气搅拌机。桶式搅拌机具有各种容量和各种叶片设计,是最常用的类型;喷射混合机主要在于其可以在制浆过程中实时计量和检测浆液参数并对水泥和水量进行及时改进和调整,但搅拌效率要低于大部分的搅拌系统,有时常常会使水泥浆液凝固,所以,该机型不适合大容量的储存器;压缩空气搅拌机主要用于精确配料和搅拌。

3.4 封闭器

封闭器常常是在压力灌浆中用来限制水泥浆液流量大小的,以确保灌浆基础区域浆液的有效扩散范围,防止浆液溢出到不需要灌注的段次,陆军工程兵团最常用的封闭器有三种:(1)可移动式

环形皮质封闭器。这种封闭器最适用于在坚硬岩层中的套管钻进以及孔壁相对比较光滑和孔口尺寸相对合适的钻孔当中；(2)机械式封闭器。这种封闭器是可以膨胀的，其广泛应用于各种岩石地层；(3)充气式封闭器。充气式封闭器由于其可以膨胀而常用于孔径过大的孔内，非常适合用于软弱、破碎的岩层中。

4 灌浆施工工艺

4.1 钻孔及压水

根据本技术标准，灌浆孔可以使用冲击式或回转式钻机进行钻进，具体类型的选择以满足现场实际生产需要并适应各方面条件为准。钻孔完成后，不必对每个灌浆孔进行裂隙清洗，但每个孔必须进行压水试验，压力值由现场工程师确定，通过每段压水试验的吕荣值(Lu)选择开灌水灰比。

4.2 灌浆方式与方法

本标准对灌注方式、方法并无特殊要求，采用纯压式还是循环式、自下而上或自上而下的方法可由承包商自行选择。

4.3 灌浆水灰比及灌注段长的划分

本规范提倡灌浆施工以灌注浓浆为主，水灰比均建议只采用 2 : 1、1 : 1、0.6 : 1 等三个比级。段长的划分：第 I 序孔一般为 6~8 m，第 II、III 序孔则根据前序孔灌浆情况进行调整，最大段长超过 10 m。另外，本标准中没有接触段的说法，与下部基岩灌浆段基本一致进行划分。

4.4 浆液变换的原则

本规范要求在整个灌浆过程中要多灌注浓浆，从而不使浆液无限制的扩散而浪费水泥，故每级浆液都有一个灌浆量的要求且衡量指标为水泥干料消耗量，对于这一点而言是与国内规范不一样的。比如，当水灰比为 2 : 1 的浆液灌注水泥干料消耗量累计达到 100 kg 时变换成水灰比为 1 : 1 的浆液；在该比级浆液下灌注时，当水泥消耗量达到 400 kg 时变换成 0.6 : 1 的浆液，最终直至灌浆结束。

4.5 灌浆压力的控制

本规范要求采用浓浆、高压灌注并且尽快提升到设计压力。而国内规范则要求分级升压，特别是采用高压力灌注时，绝对不允许一次性升压到设计压力，因为这样实施导致岩石抬动的风险会更大。而国外规范提倡浓浆、压力选择不会太

高。他们认为：采用稠度很大的浆液灌注可以避免或大大降低地层发生抬动可能性的发生，因此而提倡尽快升压但又不允许超过岩石临界压力。他们认为：超出岩石临界压力进而将岩石劈裂进行灌浆是不必要的，甚至很危险。因此，一般情况下确定的压力不会太高。通常，灌浆的最大压力不会超过 2 MPa，最大不会超过 3 MPa。

4.6 结束标准

该规范规定：在达到设计压力、注入率不大于 1 L/min 的条件下，持续灌注 15 min 即可结束灌浆，这一点与国内规范相比也是有较大差别的，国内规范规定：结束标准需要根据所采用的灌浆方式、方法确定。

4.7 质量检查

根据本规范要求，灌浆质量评定通过最后一个次序孔的单耗和压水试验吕荣值进行综合分析评判。对于地质条件差、岩石破碎、存在较大裂隙的孔(段)，如果最后一序孔的吸浆量相对于其它岩层较好孔(段)要高得多，则还需要在这些孔(段)周围再增加一个次序的加密灌浆孔进行补强灌注，以保证这些部位灌浆取得较好的效果。加密灌注完成后，则根据灌浆资料统计和成果绘制各类曲线进行对比分析，以此来判定灌浆质量是否合格，这与国内规范中的质量检查也是不同的。

5 数据记录与整理

本规范要求灌浆工程的数据记录与整理包括以下内容：灌浆记录、钻孔记录、裂隙冲洗和压水试验记录、灌浆孔平面布置图、地质剖面图、压水试验剖面图、灌浆耗量剖面图、灌浆孔测斜成果剖面图。本规范要求注重灌浆前的策划(包括灌浆参数设计)和灌浆过程的控制，如果前期策划分析正确、过程控制到位，最终就能达到预期的灌浆目标。

6 结 语

笔者对美国陆军工程兵团灌浆手册(规范)中的重点章节进行了原文翻译引用，并与国内现行灌浆规范进行了比较，得出的结论为美国灌浆规范对灌浆参数及施工工艺选择比较灵活，不像国内规范那样有严格的限制和规定，这对于采用美国灌浆技术规范的灌浆工程项目有一定的好处。在施工中可以根据实际情况灵活调整帷幕灌浆参

(下转第 34 页)

(2)背水面灌浆孔:当灌浆压力达到设计灌浆压力且吸浆量小于 5 L/min 时,持续灌注 15~20 min 即可结束灌浆。

4.5 封 孔

灌浆孔灌浆结束后,在验收合格 24 h 后用水泥砂浆进行封填并将孔口压实抹平。

5 结 语

南立 1 水电站下游围堰经采用控制性灌浆防渗处理后,围堰大渗水的情况得到了根本性的控制,防渗效果良好,为基坑开挖及整个项目后续工作的顺利展开打下了坚实基础。

控制性灌浆技术具有工期短,场地适应能力强,地层适用范围广,防渗效果好等优点,在围堰、堤岸等孤石含量高、块径大、地层破碎、空间受限

(上接第 3 页)

数和施工工艺,使其更具有适应性。但该规范也有使用的具体环境和条件,要将该规范中的内容要求应用到国内水电灌浆工程中还需要做大量的研究分析以及验证试验工作。虽然目前其在国内施工中存在较大争议,但因其操作和执行起来非常简单,相对于国内灌浆规范在某些方面宽松得多,利于控制成本,提高工效,缩短施工工期。笔

等地层或区域的防渗加固领域具有广泛的应用前景,值得类似工程参考借鉴。

参考文献:

[1] 胡平均.湖南株溪口电站土石围堰控制性灌浆施工工艺[J].科技信息,2009,22(13),659.
[2] 于明鑫,颜秉仁,等.控制性水泥灌浆在土石围堰防渗中的应用[J].广西水利水电,2008,36(3):63—65.
[3] 石建成,李连喜.控制性灌浆在某工程土石围堰防渗中的应用实践[J].西部探矿工程,2011,22(4):8—14.

作者简介:

黄俊杰(1992-),男,福建福州人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
胡 鸣(1993-),男,四川遂宁人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
张卫东(1971-),男,四川都江堰人,技术员,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

者相信:通过不断深入进行研究比较,在不久的将来,还是有机会将两者融合起来的。

作者简介:

陈秉政(1968-),男,四川资阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术及商务合同管理工作;
邓树密(1971-),男,四川广安人,教授级高级工程师,从事水利水电、房屋建筑、市政工程施工技术与管理工
廖 聪(1992-),男,四川眉山人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术及管理工

(责任编辑:李燕辉)

行业分析:当前抽水蓄能发展关键问题及趋势研判

2018 年,能源供给侧结构性改革深入推进,煤电产业结构持续优化,新能源消纳情况进一步好转。其中,电源结构的优化调整、电网安全的可靠保障以及电力行业效率的持续提升都离不开抽水蓄能电站对“源—网—荷”三侧的有效支撑。近期,我国新开工 5 座抽水蓄能电站,总装机容量 600 万千瓦并计划于 2026 年相继投产,抽水蓄能电站建设迎来机遇期,在能源领域供给侧改革推进中必然大有可为。同时,抽水蓄能亟需解决发展中的一系列关键问题。截至 2018 年底,我国抽水蓄能水电站装机 2 999 万千瓦,在建规模 4 305 万千瓦。从实际运行情况看,抽水蓄能水电站面临一系列问题。一是当前“源—网—荷”协调发展水平有待提升,抽蓄电站的精准规划和合理布局难度增加;二是抽蓄电站成本疏导存在困难;三是在抽蓄电站开发需求大的地区,站址资源不足。抽水蓄能电站发展形势研判:

(一)经济社会可持续发展将为电源建设提供较大空间。随着我国城镇化水平、工业化水平、电能替代水平的提升,我国电力需求将持续增加,预计 2030 年全社会用电量需求将达到 11 万亿千瓦时,电源建设仍有较大需求。目前,我国抽蓄电站装机比例与世界发达国家相比存在较大差距,日本在役抽蓄装机占总电源装机的比重最高,达到 8.5%,其次为意大利、西班牙、德国、法国,比重为 3.5%~6.6%之间。我国在新能源装机快速发展的情况下,2018 年底抽蓄电站装机占比仅为 1.6%。(二)当前是清洁能源并网和特高压输电通道发展的关键期,电网平衡能力不足、安全可靠性下降等问题突出,抽水蓄能电站是解决当前电网安全可靠运行的重要手段之一:一是新能源与核电并网运行,导致电力系统调节能力下降,电网平衡能力受到挑战。一方面,新能源发电具有随机性和波动性,多呈现“反调峰特性”。预计 2035 年新能源日最大功率波动可达 6 亿千瓦,将给电网带来 15%~30%反调峰压力。二是特高压输电通道发展,需要大型灵活性电源提供快速功率备用。我国未来还将陆续投建数条特高压工程,以实现能源资源在全国范围内的大规模优化配置。对于多直流馈入的受端电网,电网大功率缺失后,有功潮流将大范围转移,转移功率与相关断面正常输送功率叠加,会造成主要断面或局部设备长时间过载,甚至导致系统功角失稳,电网频率特性呈恶化趋势,有功控制压力激增,亟需在受端地区布局大型快速灵活性电源,抽蓄电站是最优选择之一。

(能源研究俱乐部 2019 年 4 月 18 日)