

# 水工建筑基础灌浆施工技术研究

文 / 欧阳佳轩 广东广建建工集团有限公司

**摘要:** 与其他类型的工程项目相较,水利工程水工建筑所处的地质水文条件较为复杂,为做好水工建筑基础防渗工作,并加固基础结构,需根据工程实际情况选择适宜的灌浆技术进行施工。基于此,文章采用案例研究法,结合某水利工程为实例具体分析,案例工程项目经技术比选后,选择高压喷射灌浆施工技术加固水工建筑,并提高其防渗效果。进一步结合工程实例提出了水工建筑基础灌浆施工技术应用要点,包括地质勘察处理、材料配比优化、灌浆钻孔施工、灌浆参数控制、质量检测验收。

**关键词:** 水利工程; 水工建筑; 建筑基础; 灌浆施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.086

## 引言

在水利工程建设过程中,水工建筑基础处理属于核心环节,基础结构施工质量关乎水工建筑使用寿命。而在水工建筑基础施工期间,需合理选用灌浆技术对基础结构进行处理,采用灌浆措施加固基础并提升防渗性能。现阶段常用的灌浆技术类型较多,要求水利工程项目做好技术比选,运用最为适宜的灌浆技术处理水工建筑基础,由此方可切实发挥出灌浆施工技术的作用。

### 一、工程概况

#### (一) 基本概况

为增强该次水工建筑基础灌浆施工技术研究的现实意义,某水利工程项目以灌溉、供水为主,兼顾防洪,属于综合性水利工程。在该工程项目中,主要的新建水工建筑包括拦河闸、引水闸、消力池与护坦、上下游连接段。其中拦河闸闸室总长86.5m,共设5孔,单孔净宽12.8m,闸底板高程▽112.3m,设计流量 $325\text{m}^3/\text{s}$ ;引水闸为2孔结构,单孔宽4.2m,设计引水流量 $18.6\text{m}^3/\text{s}$ ;消力池与护坦总长45.2m,采用钢筋混凝土施工;上下游连接段由铺盖、海漫、防冲槽构成。该水利工程中的水工建筑按照30年一遇设计防洪标准,在具体施工期间,需运用灌浆施工技术对水工建筑基础结构进行防渗处理,借助灌浆操作形成防渗帷幕,继而减少渗流量,并可通过灌浆提升地基承载力,确保水工建筑结构稳定性。

#### (二) 技术选择

水工建筑基础灌浆处理期间,常用的灌浆技术主要包括两大类,其一为劈裂灌浆、渗透灌浆等静压灌浆技术,其二为高压喷射灌浆技术,如高压旋喷。

静压灌浆施工技术适用于裂隙岩层、砂砾石层,通过浆液渗透的方式填充孔隙,防渗效果能够达到 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ,施工速度较慢。高压旋喷灌浆技术适用填土层、黏性土、粉细砂,主要借助高压射流切割土体并置换为浆液,防渗效果能够达到 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ ,施工速度较快。水利工程项目经初步勘测后发现,水工建筑基础地层主

要为松散粉细砂层,静压灌浆难以保证浆液有效扩散,而高压喷射灌浆可通过射流直接破坏土体结构,形成连续防渗体,且高压喷射灌浆施工技术运用后,可形成直径 $1.0 \sim 1.5\text{m}$ 的固结体,提升水工建筑基础承载力。因此,经技术比选后,选择高压旋喷技术进行施工。

高压旋喷技术又可细分为单管法、双管法、三管法,三种高压旋喷施工技术示意图如图1、图2、图3所示<sup>[1]</sup>。

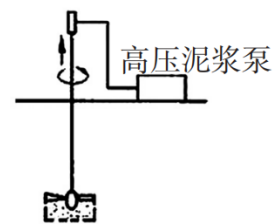


图1 单管法高压旋喷技术示意图

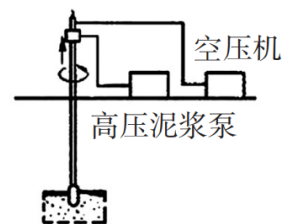


图2 双管法高压旋喷技术示意图

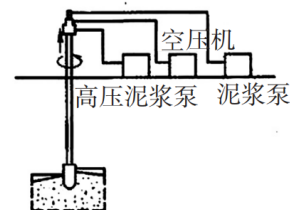


图3 三管法高压旋喷技术示意图

单管法高压旋喷灌浆技术所喷射的介质为浆液,在砂层中的成桩直径为 $0.4 \sim 0.8\text{m}$ ,抗压强度处于 $3.5 \sim 5.0\text{MPa}$ 之间,适用于深度低于 $15\text{m}$ 的情况。双管法高压旋喷灌浆技术所喷射的介质为浆液与空气,成桩直径为 $0.8 \sim 1.2\text{m}$ ,抗压强度处于 $5.8 \sim 8.0\text{MPa}$ 之间,

适用于深度低于 25m 的情况。三管法高压旋喷灌浆技术所喷射的介质为浆液、空气和水,在砂层中的成桩直径为 1.8 ~ 1.8m,抗压强度处于 8.0 ~ 12.0MPa 之间,在低于 40m 的情况下均适用。

上述三种高压旋喷灌浆技术中,单管法仅依赖浆液射流,切割能力有限,无法满足该次水工建筑基础加固与防渗处理需求。双管法通过空气包裹浆液增强喷射效果,但成桩直径不足,抗压强度有限。三管法采用高压水射流先行切割土体,辅以压缩空气扩孔,最后注入浆液置换,能够形成高强度、大直径的固结体,适用于案例水利工程中的水工建筑基础处理工作。

## 二、基于工程实例的水工建筑基础灌浆施工技术应用要点分析

### (一) 地质勘察处理

在正式展开水工建筑基础灌浆施工作业之前,需对施工场地地质勘察,明确地层分布情况以及水文条件,为科学实施灌浆施工技术提供依据。结合案例水利工程项目来看,采用综合勘察方法,混合运用钻探取样、原位测试、室内土工试验、水文地质试验多种方法。

钻探取样勘察期间,以 20m 为间距沿轴线布置勘探孔,要求勘探孔深入基岩面下方 3m 处,随后运用薄壁取土管,取出粉细砂层中的样本。在该过程中尽量减少对原状土样的扰动率,对于含砾砂层,则借助双管单动取土器进行施工,取样直径要求至少达到 89mm。通过钻探取样调查后发现,案例水利工程水工建筑基础处理区域的地层主要包括四:其一,回填土,深度为 0 ~ 3.5m,松散,含建筑垃圾;其二,粉细砂层,深度为 3.5 ~ 8.8,呈灰色,稍密~中密;其三为含砾中粗砂层,处于 8.8 ~ 14.2m 深度区间内,局部夹黏土透镜体;其四为弱风化泥质粉砂岩,位于 14.2m 以下。

原位测试主要包括标准贯入试验与静力触探。标准灌入试验实施期间,每 1.5m 进行一次,落距与锤重分别为 76cm、63.5kg,以 30min 为间隔记录一次击数,提高对各土层性质的了解。在静力触探过程中,按照 2cm/s 的速度贯入 10cm<sup>2</sup> 锥头,获取锥尖阻力数据与侧摩阻力数据,采用该方式划分砂层密实度。

通过室内土工试验,对粉细砂层颗粒性质进行分析,并采用渗透试验的方式,了解其渗透情况。在此基础上,通过抽水试验对水文地质进行探查,在 3 个钻孔中进行稳定流抽水,降深 5m,借此获取渗透系数数据,与此同时监测地下水,安装水位观测井,记录地下水位变化情况。

### (二) 材料配比优化

浆液材料配比是否适宜直接影响高压旋喷灌浆施工质量,继而决定水工建筑地基加固效果与防渗性能,因此在高压旋喷灌浆施工技术运用过程中,应合理选择浆液材料,并科学优化材料配比<sup>[2]</sup>。

结合案例水利工程项目来看,凝胶材料选用 P.0 42.5 级普通硅酸盐水泥,要求水泥材料的初凝时间与终凝时间分别处于 120 ~ 180min、≤ 240min 区间内,3d 抗压强度、28d 抗压强度分别大于 17.0MPa、42.5MPa。案例工程项目水泥材料进场后进行检查,最终发现初凝时间与终凝时间分别约为 146min、218min,3d 抗压强度、28d 抗压强度分别大于 23.6MPa、48.2MPa,性能符合标准。为改善浆液性能,在浆液中掺加膨润土、减水剂与缓凝剂,最终得出的浆液配比为水泥:水:膨润土:减水剂:缓凝剂=680kg:646kg:19.0kg:4.76kg:0.54kg,对于粉细砂层、含砾砂层地下水波动区,则根据地层情况对配比方案适当调整。例如:粉细砂层中的浆液配比,则增加 3.0% 的膨润土添加量,并添加 0.01% 的早强剂;含砾砂层中的浆液,增加水泥质量 1% 的硅粉,减水剂增至 0.75%;对于地下水波动区,浆液中掺加 0.5% 羟丙基甲基纤维素,并将缓凝剂掺加量调整至 0.1%。

按照上述配比制备浆液材料时,需提前 24h 制备 5% 膨润土浆,制备期间按照 ≥ 800r/min 的标准控制搅拌速度。与此同时,需提前将减水剂置于 40℃ 温水中溶解,并将其浓度控制在 20% 左右,误差不可超过 1%。完成上述预处理操作后,则可按照配比制备浆液材料,若所制备的浆液材料温度低于 5℃ 或超 35℃,则废弃不用于灌浆作业后<sup>[3]</sup>。待浆液材料制备完毕后将其集中存储,以备水工建筑基础高压旋喷灌浆施工应用。

### (三) 灌浆钻孔施工

完成浆液材料配比后,进入到灌浆钻孔施工阶段,在该过程中,根据工程地质条件和设计要求,合理选取钻孔设备。结合案例水利工程项目来看,采用 XY-300 型液压回转钻机以及 Φ89mm 地质钻杆进行钻孔。此外,根据地层情况选用适宜钻头,如 Φ110mm 合金钻头运用到 0 ~ 3.5m 深度的地层钻孔作业中,3.5 ~ 14.2m 深度范围内,改用 Φ91mm 金刚石复合片钻头,而对于基岩段,则应用 Φ75mm 的孕镶金刚石钻头。

钻孔施工过程中,运用全站仪定位放样,以 1.2 为间距确定桩号,并对孔位编号。定位放样后进入到开孔施工阶段,安装长度为 3.0m 的 Φ146mm 孔口管,随后采用双垂球法校正,要求偏差 ≤ 0.5°,用于保障垂直度,在此基础上将开孔直径控制为 130mm。案例水利工程项目采用分层钻进技术,按照地层结构分层钻进。在回填土层,将钻进压力控制在 5 ~ 8kN,转速为 80r/min,并使泥浆比重处于 1.15 ~ 1.20g/cm<sup>3</sup> 区间范围内。在粉细砂层,跟进 Φ108mm 套管,采用粘度为 28 ~ 32s 的泥浆材料。在含砾层,将钻进压力增至 10 ~ 12kN,添加 3% 堵漏材料,案例水利工程水工建筑基础灌浆钻孔施工期间,所运用的堵漏材料为锯末、纤维。钻孔过程中,注意记录钻进参数,每 2m 记录一次转速、钻压等关键参数,

观察是否存在返渣情况。钻孔结束后,检查孔洞形成质量,要求孔深误差低于20cm,并运用井径仪检测孔径,要求孔径至少达到85mm,每10m测一次孔斜,需确保孔斜低于1%。

结合上述地质勘察结果来看,部分地层中存在黏土透镜体,在钻孔期间若遭遇厚度超过0.5m的透镜体,则改用螺杆钻具,并将其转速降低至50r/min,适当提升泥浆粘度,同时每钻进0.5m提钻清孔。

#### (四) 灌浆参数控制

为确保水工建筑基础灌浆施工质量,需对灌浆过程中的灌浆参数精细化控制。在案例水利工程项目中,选用三管法高压旋喷灌浆技术,其中三管分别为高压泥浆泵、空压机、泥浆泵,在旋喷灌浆施工期间,高压泥浆泵的额定压力、流量分别控制为40MPa、75L/min,空压机的排气压力为0.8MPa,风量为3m<sup>3</sup>/min,泥浆泵的额定压力、流量分别控制为2.5MPa、80L/min,三重管规格为外管Φ108mm(水)、中管Φ42mm(气)、内管Φ25mm(浆)。

灌浆施工期间科学设定喷射参数,将喷射压力精细化控制。在粉细砂层,水射流压力按照38±2MPa的标准进行控制,在含砾层,将水射流压力控制为40±1MPa。空气压力与浆液压力分别按照0.7~0.9MPa、2.0~2.8MPa的标准进行控制。在整个灌浆施工环节中,所涉及的灌浆参数包括提升速度与旋转速度,案例水利工程水工建筑基础灌浆施工期间,在粉细砂层、含砾层中,将提升速度分别设置为10cm/min、8cm/min,旋转速度按照12r/min匀速控制。若遭遇黏土透镜体,则将提升速度降至6cm/min,距离桩顶2m时,将提升速度减至8cm/min。与此同时,做好喷射角度的精细化控制,在常规施工阶段垂直喷射,偏差要求低于1°,接缝位置则采用30°摆喷,摆角为20°,桩间搭接区域,实施45°斜向喷射,每3孔调整一次角度。

案例水利工程项目在灌浆过程中实行了监控措施,运用采样频率为1Hz的采集仪获取灌浆参数,用于实时了解灌浆情况,如压力波动、温度变化、电机电流负荷等,由此实现实时管控,一旦发现数据异常,则可立即干预,避免影响水工建筑基础灌浆施工质量。此外,采用人工检查的方式,每20分钟检查喷嘴磨损、管路密封、固结体形态情况<sup>[4]</sup>。

#### (五) 质量检测验收

水工建筑基础灌浆施工结束后,需对灌浆质量进行检查,结合案例水利工程来看,则建立了三级质量检测体系。其一为施工自检,由施工单位质检部门负责,100%全覆盖检测,其二为监理抽检,按30%比例随机抽样复验,其三为第三方检测,委托具有资质的检测机构

进行20%抽检,由此形成了完整的质量检测体系<sup>[5]</sup>。

在现场检测期间,采用基桩动测仪进行低应变检测,每个桩体布置不少于4个检测点,测点间距控制在1.2~1.5m,科学布置测点,并合理设置检测参数,采样频率设置为50kHz,力棒敲击能量控制在3.5J。在此基础上,采用现场注水试验检测基础结构的渗透性能,试验段长度为5.0m,将稳定水压设置为0.3MPa,注水试验持续时间要求不少于6h。随后根据注水试验数据,采用达西公式计算渗透系数,由此则可有效了解该次水工建筑基础灌浆的施工质量。对于基础结构的几何尺寸检查,则运用井径仪检测,每5m检测一个断面,获取尺寸数据,将其与技术参数对比即可,同时运用测斜仪测量垂直度,基础结构的垂直度允许偏差不得超过1%。若通过检测发现存在局部缺陷,则采用复喷工艺补强,补强范围要求超出缺陷区1.0m,由此充分保障水工建筑基础灌浆施工质量。

待质量检测通过后,进入验收程序,采用统一格式记录表,详细记录该次水工建筑基础灌浆施工数据,形成档案资料,为后续质量管控与基础维护奠定基础。

#### 结语

综上所述,水工建筑基础施工期间,需选择适宜的灌浆技术进行施工,在案例水利工程项目中,经综合选择对比后,最终决定选用高压喷射灌浆施工技术。在实际施工期间,对施工场地的地质情况进行勘察并处理,优化设计灌浆材料配比,随后做好灌浆钻孔施工,为最大限度保障灌浆施工质量,需对灌浆期间的关键参数精细化控制,并于灌浆施工结束后做好质量检测验收,确保灌浆施工技术能够良好发挥作用。

#### 参考文献

- [1] 苏李刚. 高喷灌浆技术在水利工程基础防渗处理中的应用[J]. 工程建设与设计, 2020, (11): 94-95+98.
  - [2] 冯学兵, 常杰, 吴玉丽. 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用研究[J]. 中华建设, 2024, (03): 151-153.
  - [3] 李树旺. 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用[J]. 农业科技与信息, 2020, (13): 126-128.
  - [4] 王翔. 分析水利工程中基础灌浆施工技术应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (01): 202-204.
  - [5] 潘文. 水利水电工程基础灌浆中特殊地层的灌浆技术应用[J]. 价值工程, 2022, 41(29): 124-126.
- 作者简介: 欧阳佳轩, 1989年1月, 男, 汉, 广东省揭阳市, 本科, 无职称, 研究方向为水利工程。