

# 高喷桩与钢管桩对既有桥梁基础联合防护 施工技术研究

高 强, 王 志 鹏, 张 晶

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

**摘 要:** 基于乐山市金口河区金龙大渡河大桥中墩基础防护工程实例, 对高喷桩、钢管桩的施工特点、施工技术以及质量检查方法等进行了分析与总结。实践证明: 高喷桩和钢管桩联合应用能够弥补各自的不足, 取长补短, 进而获得预期效果。所取得的经验可为类似工程施工提供参考。

**关键词:** 金龙大渡河大桥; 基础防护; 高喷桩; 钢管桩; 施工技术; 联合防护

**中图分类号:** U44; U447; U445; U444

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2023)增 2-0065-04

## Study on Construction Technology of Combined Protection of High-pressure Jet Grouting Piles and Steel Pipe Piles for Existing Bridge Foundation

GAO Qiang, WANG Zhipeng, ZHANG Jing

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

**Abstract:** Based on the example of the middle pier foundation protection of Jinlong Bridge on Dadu River in Jinkouhe District, Leshan City, this paper analyzes and summarizes the construction characteristics, construction technology and quality inspection methods of high-pressure jet grouting piles and steel pipe piles. Practice has proved that the combined application of high-pressure jet grouting piles and steel pipe piles can combine strong points of each other to make up for their mutual deficiencies to achieve the expected effect, which can provide reference for the construction of similar projects in the future.

**Key words:** Jinlong Bridge on Dadu River; Foundation protection; High-pressure jet grouting piles; Steel pipe piles; Construction technology; Combined protection

### 1 概 述

随着国民经济的飞速发展, 我国公路桥梁工程的规模不断扩大, 其建设等级不断提高。据统计, 2021 年, 我国公路桥梁的数量已达到 96.11 万座, 特大桥数量为 7 417 座。作为桥梁核心之一的桥墩不仅承受其上部各类动-静荷载, 往往还需承受水流冲刷、冻融循环等不利外部环境因素影响<sup>[1]</sup>, 因此, 做好桥墩的防护对整座桥梁的安全使用和寿命具有重要的意义。高喷桩及钢管桩具有施工工艺简单、设备投入少、施工灵活、便于狭小及受限空间使用等特点, 其在市政道路、水利水电、港口码头、房屋建筑等工程建设中得到了广泛的应用。

笔者结合乐山市金口河区金龙大渡河大桥中墩防护施工案例, 从工艺特点、施工流程、实施效

果等方面对高喷桩和钢管桩进行了详细的分析, 以期丰富既有桥梁桥墩防护施工方法。

### 2 施工方案的优化

金龙大渡河大桥是金口河区金河镇、永胜乡、吉乡片区与国道线相连的枢纽工程, 其左岸分布多个硅粉厂, 右岸为 G245 国道。大桥为上承式拱桥结构, 桥基础为桩基础, 双向两车道, 桥长 120 m。该桥上下游在建及已建的大型水电站有四座, 这些电站的修建导致河道水流流速剧增、水势加大, 已严重影响到该桥梁的正常使用与安全, 故相关部门决定对位于河道中央、受水流直接冲刷最严重的中墩基础进行防护加固。

待处理桥墩的地层岩性上部为冲洪积层 ( $Q_4^{al-pl}$ ), 下部基岩主要为下元古界峨边群第一段蚀变玄武岩, 第二段钙泥质石英粉砂岩与含绿泥

收稿日期: 2023-03-30

石板岩互层、震旦系上统灯影组白云岩及澄江期辉绿岩。冲洪积层( $Q_4^{al-pl}$ )以漂卵砾石为主,厚度为8~36 m不等。

原设计方案为采用高喷桩进行防护处理,在迎水面(顺水流向)及其两侧布置三排高喷孔,背水面布置两排高喷孔,孔排距均为60 cm,梅花形布置,孔深入岩0.5 m,设计工程量为8 586 m。但由于施工期间水位波动大、水流流速加快,考虑到喷浆浆液容易被稀释带走进而影响喷浆成墙质量,且高喷桩主要承受竖向荷载,对于水流冲击等水平向荷载承受能力较差,故最终决定采用钢管桩和高喷桩联合的支护方式进行桥墩基础防护。优化后的方案为:

(1)迎水面:采用双排钢管桩+单排高喷桩,钢管桩孔距为0.6 m,排距为0.6 m,高喷桩位于

双排钢管桩中间,孔距为0.8 m;

(2)其余三面:采用单排钢管桩+单排高喷桩,钢管桩靠水一侧布置,孔距为0.6 m;高喷桩靠钢管桩内侧布置,孔距为0.8 m;

优化后的方案中钢管桩总计为4 536 m,高喷桩为2 392 m。

该优化方案的思路是以外侧钢管桩联合高喷桩作为桥墩基础防护的主要受力体和防渗体,旨在充分利用钢管桩水平抗剪强度高<sup>[2]</sup>和高喷桩抗渗性能好及地基承载力显著提高<sup>[3]</sup>的优点,从而更好地保护桥墩基础。同时,先施工钢管桩可以为后续高喷桩的施工提供详尽的地层信息,以便于选取最适宜的高喷桩施工参数,亦能够在一定程度上改善高喷桩的施工环境。优化后的大桥中墩防护设计情况见图1。

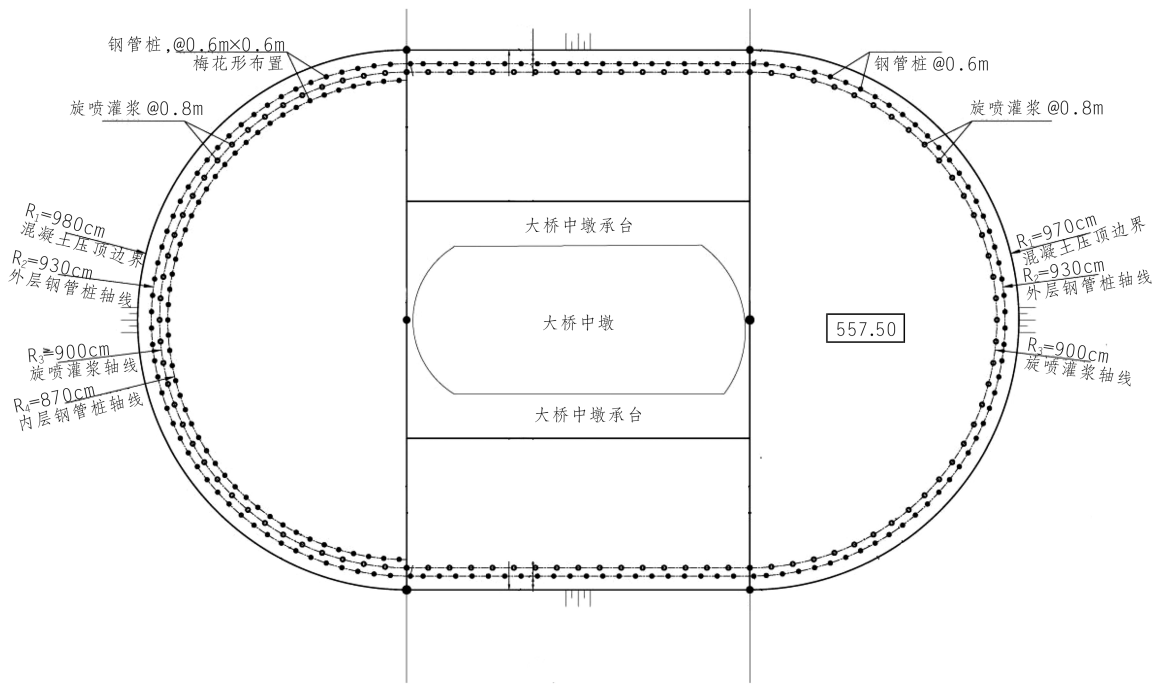


图1 优化后的大桥中墩防护设计图

### 3 施工工艺及施工方法

#### 3.1 钢管桩施工

##### 3.1.1 钢管桩的原理及特点

该工程采用的钢管桩属于复合式钢管桩,其由外部的钢管、内插的钢筋束及水泥砂浆构成,可用于基坑、边坡支护及滑坡体应急治理,亦可用于改善建筑物基础。其具有的主要特点:桩间距小,具有呈平面或空间钢架体系<sup>[4]</sup>;施工机具小,施工灵活;适用范围广,尤其适用于狭窄或受限的施工

作业区;小径高强,长细比大,安全可靠,耗用材料少,施工工期短,成本低。

##### 3.1.2 钢管桩施工流程

施工平台填筑→钢筋束制作→测放孔位→钻机就位并跟管钻进成孔→清孔→下设钢筋束→一次注浆→二次补浆→钻机移位→质量检查。

##### 3.1.3 钢管桩的施工方法

(1)施工平台的填筑:该工程钢管桩与高喷桩施工平台为同一个平台。该施工平台的高程为

564 m。由于现场水位下降至河床表面时发现施工轴线存在大量的孤石和卵石,故在平台填筑前先采用挖机将原始河床面轴线部位大的孤石及卵石清除。对于挖机无法清除的孤石与卵石,采用破碎锤将其破碎后再进行清除。施工场地应平整、稳固,清理完成后回填合格的土石料并分层进行碾压,铺料厚度按 1.0~1.2 m 碾压一次,碾压采用 16 t 自行式振动碾,碾压遍数按 2~4 遍控制。碾压时先慢后快、先轻后重,左、右岸的填筑宽度按承台边线向外延伸 8 m 进行控制,上、下游填筑宽度按承台边线向外延伸 12 m 进行控制,四周侧坡比为 1:1.5。平台采用钢筋石笼作为外围防护,钢筋石笼采用  $\Phi 16$  螺纹钢钢筋焊接,间距 20 cm。

(2) 钢筋束制作:钢筋束采用 3 根直径为 28 mm 的螺纹钢制作,采用机械连接,接头错开布置。钢筋束上安装一根直径为 20 mm 的 PVC 注浆管,注浆管距孔底 30 cm。

(3) 测放孔位:根据设计要求放出基坑边线及钢管桩的孔位,孔位偏差不得大于 10 cm。

(4) 钻机就位并跟管钻进钻孔:钢管桩的设计孔径为 150 mm,孔深 24 m,分两序施工。先施工 I 序孔,后施工 II 序孔。采用 HM-90A 履带钻机跟管钻进成孔,其跟进套管为管径 150 mm、壁厚 6 mm 的 R780 规格地质套管,其终孔后不拔出而作为钢管桩的一部分。钻孔结束后检测孔斜,确保孔斜满足不大于孔深 1% 的要求。

(5) 清孔:钢管桩成孔后,采用压力风将孔内残存的钻渣吹出孔外,确保孔底沉渣的厚度不超过 10 cm。

(6) 下设钢筋束:清孔结束并经验收合格后方可下设钢筋束。对位于大桥正下方及其上下 2 m 范围内的钢管桩孔采取吊车分节下设的方式,其余部位的钢管桩孔可以采用吊车一次整体下设的方式。为确保钢筋束安放在钢管桩中间,在钢筋束外等距离间隔安装了对中支架。

(7) 一次注浆:钢筋束下设完毕须及时进行注浆。一次注浆通过下设到孔内的注浆管进行,灌浆泵直接与注浆管连接泵入 M30 的水泥砂浆。注浆压力为 0.3~0.5 MPa,终止压力为 0.5~0.7 MPa。当达到规定的注浆压力后持续灌注 5~10 min 即可结束注浆。

(8) 二次补浆:在一次注浆浆液初凝前进行二次补浆,直至浆液面稳定、不下降为止。

### 3.2 高喷桩施工

#### 3.2.1 高喷桩的原理及特点

高喷桩系指采用钻孔将特制的喷具下放到钻孔预定位置后,用高压水泵或高压泥浆泵将水或浆液通过喷嘴喷射出来冲击、破坏土体,用水泥浆液置换部分原地层,待浆液凝固后形成一定形状的固结体。该项技术常用于基坑的加固及防渗、软土地基处理、大坝防渗帷幕等,适用地层为淤泥、淤泥质土、黏性土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等<sup>[5]</sup>,具有成墙速度快、施工质量好等特点。高喷桩根据其成墙形式可以分为摆喷、旋喷及定喷,其施工方法包括单管法、双重管法、三重管法、RJP 工法、MJS 工法等<sup>[6]</sup>。

#### 3.2.2 高喷桩施工流程

该工程从技术、经济、工期等方面综合比选后对高喷桩采用“双重管旋喷套接法”施工工艺,其施工流程为:施工平台填筑→测放孔位→钻机就位并钻孔→PVC 管置换孔内套管→高喷台车就位→试喷→喷浆→孔口回灌→移机换孔→质量检查。

#### 3.2.3 施工参数的选定

施工前,在工程区外寻找类似地层进行高喷桩工艺试验,试验采用围井法,围井尺寸为 2.4 m × 2.4 m,共布置了 12 根高喷桩,用以验证试桩方案的可行性及相关施工参数的确定。通过对试桩效果进行分析后选定该项目高压旋喷桩的最佳施工参数为:水灰比为 0.8:1,喷浆浆压为 36 MPa,旋转速度为 4~12 r/min,提升速度为 5~12 cm/min,注浆量为 80 L/min,喷浆气压为 0.6 MPa。

#### 3.2.4 高喷桩的施工方法

(1) 施工平台的填筑:高喷桩施工平台的搭建要求同钢管桩施工平台。

(2) 测放孔位:采用全站仪测放桩位,孔位偏差不得大于 10 cm。

(3) 钻机就位并钻孔:钻孔采用 HM-90A 履带式钻机跟管钻进成孔,孔径为 150 mm,孔深 24 m,分两序施工。终孔后检测孔斜,确保孔斜满足不大于孔深 1% 的要求。

(4) PVC 管置换孔内套管:钻孔结束,采用

管内“注水法”下设PVC管,然后起拔孔内护壁套管。

(5)高喷台车就位:高喷喷浆采用XL-50B履带式喷浆台车,该台车具有尺寸小、移动灵活、动力强劲等特点。

(6)试喷:高喷台车就位后进行喷具的组装,喷具选用双管喷具。组装完毕,先在孔外进行试喷以确保喷嘴及管路畅通、喷浆压力能够切割PVC管。

(7)喷浆:试喷结束后,按先通浆、再开风的顺序启动喷浆设备,先孔底静喷3~5 min,然后按设计要求提速、旋转、自下而上连续喷浆,直至设计喷浆顶高程。

(8)孔口回灌:喷浆结束,将附近喷浆孔的返浆浆液引入已完喷浆孔内进行回灌,确保孔内浆液饱满。

(9)质量检查:高喷桩的质量检查以喷浆后钻孔静水头压水试验为主,施工过程中的现场质量检查为辅,综合进行评定。

## 4 应用效果

### 4.1 工程实施及质量检查

金龙大渡河大桥中墩基础防护施工共计完成钢管桩4 536 m,钢筋束安装65.73 t,钢管安装4 536 m,水泥灌注147.8 t;完成高喷桩2 392 m,水泥灌注1 391.5 t。高喷桩施工结束28 d后,在其迎水面及左侧轴线上布置了两个取芯检查孔。检查孔的压水采用单孔全长静水头压水法,取得的渗透系数为 $6.21 \times 10^{-5}$  cm/s和 $6.59 \times 10^{-5}$  cm/s,满足设计渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-4}$  cm/s的要求。大桥桥墩基础加固实施后,期间经历了两个汛期洪水的考验,目前运行良好。

### 4.2 工期对比情况

工期效益按方案优化前后配备相同数量的高喷桩施工设备的条件进行对比分析,即投入一台HM-90A履带钻机、两台XL-50B喷浆台车进行高喷桩施工。

#### 4.2.1 采用单一的高喷桩防护方案

高喷桩设计工程量为8 586 m,单台履带钻机24 h钻孔完成量为120 m,单台设备喷浆日完成量为35 m,则其实际所需工期为:

$$8\,586\text{ m}/(35\text{ m/d}\times 2)\approx 123\text{ d}$$

#### 4.2.2 采用钢管桩+高喷桩联合防护方案

(1)钢管桩实际完成量为4 536 m。由于钢管桩钻孔不会影响其后续钢筋束制安及注浆等工序施工,故钢管桩施工工期可近似为钻孔工期,其单台履带钻机24 h钻孔完成量为120 m,即:

$$4\,536\text{ m}/(120\text{ m/d})\approx 38\text{ d}$$

(2)高喷桩实际完成量为2 392 m,单台履带钻机24 h钻孔完成量为120 m,单台设备喷浆日完成量为35 m,则其实际所需工期为:

$$2\,392\text{ m}/(35\text{ m/d}\times 2)\approx 35\text{ d}$$

### 4.2.3 工期对比结果

经对比分析后可知:优化后的“钢管桩+高喷桩”联合防护方案较优化前单一的高喷桩防护方案节省工期为 $123-38-35=50(\text{d})$ ,工期效益明显。

## 4.3 经济效益

### 4.3.1 采用单一的高喷桩防护方案

高喷桩设计工程量为8 586 m,中标综合单价(含钻孔及喷浆单价)为851.55元/m,总造价为 $8\,586\text{ m}\times 851.55\text{元/m}=731.14\text{万元}$ 。

### 4.3.2 采用钢管桩+高喷桩联合防护方案

(1)高喷桩实际完成量为2 392 m,其综合单价(含钻孔及喷浆单价)为851.55元/m,高喷桩总造价为 $2\,392\text{ m}\times 851.55\text{元/m}=203.69\text{万元}$ 。

(2)钢管桩实际完成量为4 536 m,其综合单价(含钻孔、钢筋束制安、注浆等单价)为1 371元/m,钢管桩总造价为:

$$4\,536\text{ m}\times 1\,371\text{元/m}=621.88\text{万元}$$

“钢管桩+高喷桩”联合防护方案的总造价为:

$$203.69\text{万元}+621.88\text{万元}=825.57\text{万元}$$

### 4.3.3 经济对比结果

“钢管桩+高喷桩”联合防护方案总造价较单一的高喷桩防护方案总造价多 $825.57\text{万元}-731.14\text{万元}=94.43\text{万元}$ ,其造价增加比例为13%。

## 4.4 小结

虽然“钢管桩+高喷桩”联合防护方案在造价上较单一的高喷桩方案多94.43万元,造价增加比例为13%,但在工期上节约了50 d,工期效益明显。该方案尤其适用于应急抢险或具有特殊节点工期要求的项目,其工期效益带来的后续社会经济效益优势更加突出。

(下转第86页)

职业健康、威胁设备设施使用寿命的一种有害因素。单一的防尘和除尘措施虽然能够降低相关地点的粉尘浓度,但仍会存在较高的粉尘浓度,因此,应根据不同地点和工序的相关特性采取切实有效的综合防尘除尘措施才能有效地降低施工场所整体的粉尘浓度,最大限度地保护作业人员的身心健康并延长机械设备的使用寿命。采取有效的防尘除尘措施对地下矿山项目经济高效发展、实现绿色环保具有重要的意义。

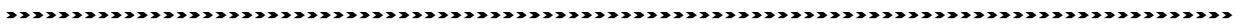
参考文献:

[1] 李雨成. 矿井粉尘治理理论及技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2015.  
 [2] 李雨成. 矿井粉尘防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,2017.  
 [3] 杨胜强. 矿井粉尘防治[M]. 徐州:中国矿业出版社,2015.  
 [4] 郝玉柱. 矿井粉尘防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,2017.  
 [5] 支学艺,张红婴. 矿井通风与防尘[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

作者简介:

谢剑波(1976-),男,四川西充人,项目常务副经理,副高级工程师,从事矿山工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



(上接第 61 页)

(8)第三层的开挖及支护:塌方体的第三层处理在第二层处理过程中穿插进行。第二层比第三层的处理保持超前 5 m 以上,在第二层混凝土浇筑后等待强度时即可穿插进行第三层的开挖及支护,其具体施工工艺同步骤(7)直至于下台阶掌子面桩号 K9+369.800。

4 结 语

本次塌方处理从塌方开始、经过前期未塌段加固、方案选择到最后实施完成总计用时 30 d,其实施过程均处于安全可控的范围。塌方处理施工期间其顶拱多次出现过局部垮塌,皆因施工方法选择的合理而未发生一例人员伤亡事故。由于充填混凝土整体性好、强度高的特性对周边围岩起到了很好的约束作用,根据笔者对后期变形观测

的数据进行分析得知:本次实施的临时支护体一直到 2017 年开始永久混凝土浇筑前均处于稳定状态。

充填混凝土作为实施简单、安全、可靠、及时、可变因素比较少的超前支护施工方案,可以在隧洞塌方处理方案选择时借鉴。

参与文献:

[1] 水工建筑物地下工程施工技术规范,DL/T5009-2011[S].  
 [2] 水利水电地下工程施工组织设计规范,SL642-2013[S].  
 [3] 水工建筑物地下开挖工程施工规范,SL378-2007[S].  
 [4] 泵送混凝土施工技术规程,JGJ/T10-2001[S].  
 [5] 水利水电工程锚喷支护施工规范,DL/T5181-2007[S].

作者简介:

刘 彤(1967-),男,四川成都人,副高级工程师,从事水利水电工程设计与施工技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 68 页)

5 结 语

结合具体的工程实例,针对位于水势较大、水流较快、水情复杂条件下的公路桥梁桥墩基础防护加固,采取钢管桩+高喷桩的联合防护方案进行防护加固的实施效果表明:该联合方案技术可行、工期优势突出、抗冲击性佳、防护加固效果好,但其施工成本稍有增加。对于水势及水情相对较好的区域,在保证设计目标实现的前提下,制定防护方案时可将钢管桩的外部钢管优化,其可大幅度降低施工成本。以该工程钢管桩施工成本为参照物,可降低施工成本约 31%。

参考文献:

[1] 樊俊生. 苏通大桥主墩基础冲刷防护工程质量控制[J]. 世界桥梁,2008,6(1):58-60.

[2] 邓朗妮,等. 微型钢管桩抗弯性能及受力监测试验研究[J]. 混凝土,2016,37(8):130-132,135.  
 [3] 董弘. 高压旋喷桩在桥梁工程中的应用研究[J]. 工程技术,2019,10(6):54-55.  
 [4] 胡建伟,等. 注浆微型钢管桩在某填土边坡治理中的应用研究[J]. 土工基础,2014,28(1):17-20.  
 [5] 李相然,贺可强. 高压喷射注浆技术与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2007.  
 [6] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

作者简介:

高 强(1985-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作;

王志鹏(1989-),男,甘肃定西人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

张 晶(1987-),男,陕西咸阳人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)