

# 拉哇水电站下游河道防护工程防冲桩 施工重难点控制

包秀花, 何林智

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 611130)

**摘要:**根据钻孔灌注桩的成孔方式, 可将其划分为钻孔灌注桩、沉管灌注桩、人工挖孔、挖孔扩底等, 在工程实践中, 最常见的有: 钻孔灌注桩和沉管灌注桩。现浇混凝土桩是在场地位置上直接进行钻孔施工, 在钻孔中浇筑混凝土, 或者放置钢筋笼, 最后浇筑混凝土。笔者以拉哇水电站下游河道防护工程为研究对象, 详细描述了混凝土灌注桩施工工艺及施工方法, 通过现场施工过程对其施工重难点进行分析。

**关键词:**混凝土灌注桩; 水下混凝土浇筑; 桩身完整性检测

中图分类号: U417.1

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0149-05

## Control of Key and Difficult Points in the Construction of Anti-scouring Cast-in-place Piles for the River Protection Project Downstream of the Lawa Hydropower Station

BAO Xiuhua, HE Linzhi

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., LTD., Chengdu, Sichuan 611130)

**Abstract:** According to the drilling method of cast-in-place piles, they can be divided into drilling cast-in-place piles, sinking cast-in-place piles, manual excavation, excavation and bottom expansion, etc. In engineering practice, the most common ones are: drilling cast-in-place piles and sinking cast-in-place piles. Cast-in-place concrete piles are constructed by directly drilling holes at the site location, pouring concrete during the drilling process, or placing steel reinforcement cages, and finally pouring concrete. This article takes the downstream river protection project of the Lawa Hydropower Station as the research object, and describes in detail the construction process and method of concrete cast-in-place piles, and analyzes the key and difficult points of its construction during the on-site construction process.

**Keywords:** Concrete cast-in-place pile; Underwater concrete pouring; Pile integrity testing

### 0 引言

拉哇水电站位于金沙江上游, 左岸为四川省甘孜藏族自治州巴塘县拉哇乡, 右岸为西藏昌都自治州芒康县朱巴龙乡, 是金沙江上游 13 级开发方案中的第 8 级, 上游为叶巴滩水电站, 下游为巴塘水电站。

拉哇水电站为一等大(1)型工程, 其开发任务以发电为主, 并促进地方社会经济发展。坝址控制流域面积 17.6 万 km<sup>2</sup>, 多年平均流量 861 m<sup>3</sup>/s。水库校核洪水位为 2 706.82 m, 水库总库容为 24.67 亿 m<sup>3</sup>; 水库正常蓄水位 2 702.00 m, 相应库容 23.14 亿 m<sup>3</sup>; 死水位 2 672.00 m, 相应的死库容为 14.90 亿 m<sup>3</sup> 调节库容 8.24 亿 m<sup>3</sup>, 具有

不完全年调节能力。电站装 4 台 500 MW 机组, 总装机容量 2 000 MW, 多年平均年发电量 84.24/90.89 亿 kW·h(岗托投入前/后), 年利用小时 4 212/4 545 h(岗托投入前/后)。

### 1 工程概况

#### 1.1 下游河道防护布置

下游河道防护平面范围为泄洪建筑物出口及其下游, 左岸约 750 m 的河段和右岸约 710 m 河段, 其中冲坑范围为强支护区的重点防护河段。下游消能防冲护岸工程施工包括对水下防冲区采用机械挖孔桩进行加固, 水上泄洪雾化防护区进行加强地表排水、坡面清理、坡面支护及排水等。

下游河道防护钻孔灌注桩共 925 根, 桩深 18~38 m, 桩径 1.2~1.6 m, 孔中心距等于孔径。

收稿日期: 2024-03-15

左岸河段灌注桩处理范围 570 m,右岸河段灌注桩处理范围 520 m。

左岸:从上游往下游方向施工,0~100 m 范围内灌注桩孔深 18 m,100~180 m 范围内灌注桩孔深 18~38 m,180~440 m 范围内灌注桩孔深 38 m,440~490 m 范围内灌注桩孔深 38~20 m,490~570 m 范围内灌注桩孔深 20 m。左岸灌注桩总长度 12 121 m。右岸:从上游往下游方向施工,0~170 m 范围内灌注桩孔深 18 m,170~230 m 范围内灌注桩孔深 18~33 m,230~520 m 范围内灌注桩孔深 33 m。右岸灌注桩总长度 10 296 m。

## 1.2 地质

两岸坡基岩裸露,据勘探平硐揭露及平面测绘揭露,下游消能防冲区共发育 25 条断层。

## 1.3 气象

本地年平均温度 12.7 ℃,年降水量 487.0 mm,年蒸发量 2 037 mm(20 cm 蒸发皿),极端最高气温 37.9 ℃,极端最低气温 -12.8 ℃,多年平均相对湿度 47.0%,多年平均风速 1.2 m/s,多年平均雷暴日数为 70.7 d,大风日数为 24.2 d。

## 1.4 水文情况

拉哇水电站坝址河段位于拉哇乡沟口附近,属青藏高原典型的高山峡谷地貌,河谷呈“v”型,两岸基本对称,坝址右岸地形较陡、左岸稍缓,枯水期河床水位为 2 538.00~2 541.00 m。下游河道防护工程施工时段为 2021~2025 年,主要施工时段为 11 月至次年 5 月,施工导流标准采用枯水时段 10 年一遇。洪峰流量 1 340 m<sup>3</sup>/s。

## 1.5 地震强度

根据地质勘察资料,该标段所在地处于抗震设防烈度Ⅷ度区。

## 1.6 交通条件

下游河道防护工程左岸约 750 m 的河段和右岸约 710 m 的河段,防护战线长,且边坡陡峭,无法布置明线施工道路至工作面,所以分别在左、右岸设置 2 条(1、2 号施工支洞)和 1 条(3 号施工支洞)施工支洞。

## 2 旋挖桩施工

该工程单排钢筋混凝土抗冲桩,抗冲桩桩径为 1.2 m、1.6 m,桩体连续布置。

### 2.1 施工工艺流程

灌注桩施工工艺流程见图 1。

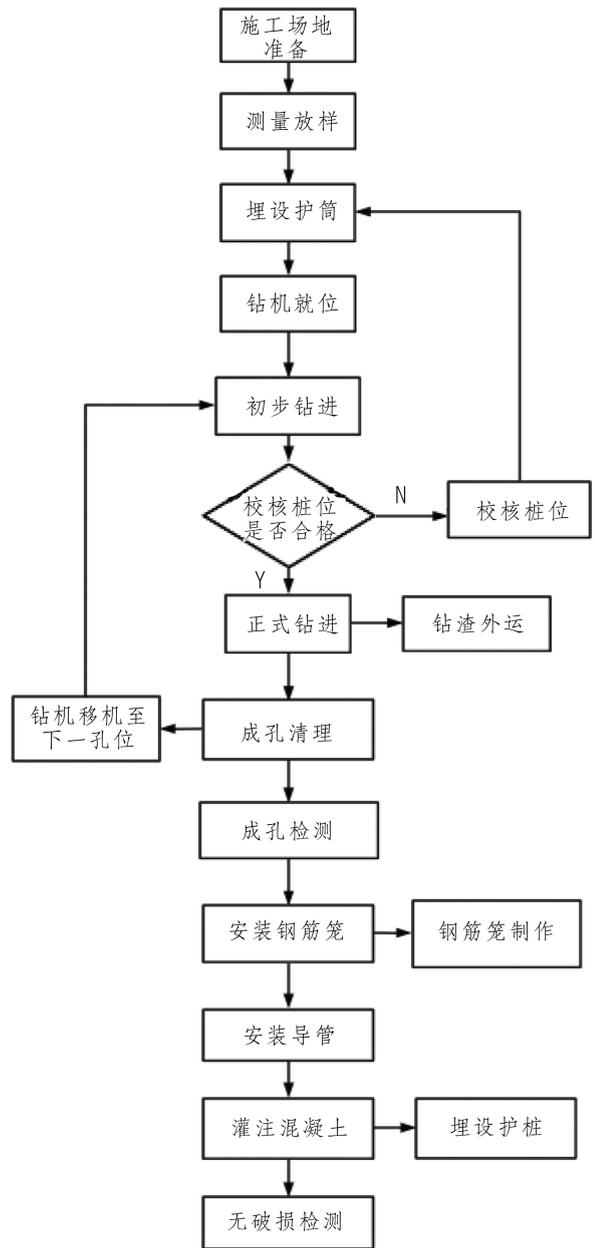


图 1 灌注桩施工工艺流程图

(1)施工前需要做充分准备,确保现场施工安全;(2)准备工作完成后,进行测量放样,确保桩位准确性;(3)埋设护筒,有效降低孔口坍塌风险;(4)钻机安装就位;(5)正式开始旋挖钻机成孔施工;(6)成孔后对孔底沉渣进行清理;(7)清孔后对孔底沉渣厚度进行检测;(8)检测合格后进行钢筋笼、导管等的安装;(9)混凝土灌注;(10)混凝土达到凝期后对灌注桩实体质量进行检测<sup>[1-2]</sup>。

### 2.2 施工方法

(1)定位。采用全站仪定出各桩位的中心位

置,待准确无误后旋挖钻机方可就位。

(2)护筒埋设。采用2.5 cm厚钢板定制钢护筒,保证桩孔垂直度,须一次性完成钢护筒安装。

(3)钻进。钻孔前,先将钻头垂吊稳定后,结合测量仪器对钻机垂直度进行检查,然后匀速下放至地面,液压装置加压,旋转钻进,每次钻进深度控制在0.5 m以内。钻进过程中,做好钻孔记录,随时关注岩层地质的变化。

(4)成孔验收及清孔。成孔后,对钻孔进行清底检查,用测针法、测泥法测定孔深及沉渣厚度。如孔底沉渣厚度达不到要求,可使用双底清渣器,将其提起至距离孔口0.2~0.3 m的位置,然后让其空出,把残留在孔底的钻渣抽走。

(5)钢筋笼的制造和安装。钢筋笼是在钢筋加工车间生产的,分段生产,在地板上加工成形的钢筋笼,在孔内进行分段焊接和安装,钢筋笼在地面制作成型后,分段在孔口焊连接安装。钢筋应力计、声测管及其他预埋件应按设计要求及检测要求同步安装。

(6)钢筋笼沉放。下料过程中由25 t吊车辅以人工完成,起吊吊点和钢筋笼的搁置点应设在可靠部位。钢筋笼入孔时,若遇阻碍,应进行桩孔处理,不得强行下沉,钢筋笼入孔后应使笼底距孔底间距满足设计要求。安装完成钢筋笼后对声测管进行注水试验。

(7)水下混凝土浇筑。采用混凝土搅拌车运输、导管灌注法,将管的下部埋入混凝土内2~6 m<sup>[3]</sup>。导管下端有漏斗,可将下而上连续不断灌入的混凝土与桩孔内的水或泥浆隔离并逐步形成桩身,孔底沉渣及污水浮出混凝土表面。为使桩身混凝土一次浇成,在浇注混凝土前,应将导管内的积水清除干净,且在浇筑收仓时,确保适当超灌。

(8)混凝土养护。浇筑混凝土完毕后,在小于4倍桩径范围内,不得在桩身附近开孔。在低温季节施工期间,当桩顶高程与自然地面高程持平或接近时,桩身施工时,可采用保温被覆盖于桩顶;桩端也可采用保温被覆盖。

(9)桩顶处理。由于该工程在抗冲桩上部还存在其他混凝土结构,所以桩顶超灌部分须凿除。当灌注桩混凝土强度达到设计强度80%时方可凿除,采用人工或轻型机械凿除。

(10)桩身完整性检测。该工程桩基采用声

波透射法进行桩身完整性检测。在桩身混凝土达到7天强度后,开始对桩基进行声波透射法检测。根据《建筑基桩质量检验规程》(JGJ/T 84—2012),用声波检测仪沿桩的纵轴方向以一定的间距逐点检测声波穿过桩身各横截面的声学参数,包括声时、波幅、波形、频率等。在每一测试点上,首先对每个测点所测得的声时、波幅和波形等声学参数进行计算,然后对计算结果进行处理、分析和判断,以确定桩身混凝土缺陷的位置、范围、程度。通过对这些检测数据的处理和分析,从而推断桩身混凝土的连续性、完整性和均匀性状况,评定桩身完整性等级<sup>[4]</sup>。

该工程用平测法进行检测(图2)。声波透射法是对混凝土灌注桩预埋管1、2、3从桩底开始沿桩长每隔10 cm分别进行每个剖面同高程对测(平测);测点间距不应大于100 mm,发射与接收换能器以相同高程同步升降,并随时校正高差,当发现读数异常时,加密测量点距。

### 3 工艺性试验

#### 3.1 实验过程

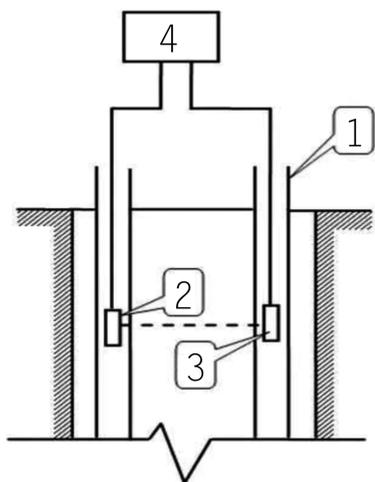
(1)下游河道左岸ZL-167号防冲桩。

①实验过程:采用1.2 m直径取芯钻头钻进至28.0 m,钻渣为灰色颗粒夹杂50 cm大小青灰色岩块,共计钻进时间为1 440 min,平均钻进1 m用时约为52 min,28.0~30.7 m,钻渣为青灰色完整基岩,用时150 min,平均钻进1 m用时约为55 min,施工效率降低,但不明显。30.7~38.8 m,钻渣为青灰色完整基岩,进尺8.1 m,用时1 135 min,平均钻进1 m用时约为140 min,施工效率大大降低,工效为0.0~28.0 m的37%左右。1.6 m直径取芯钻头进行扩孔,孔深0~28 m用时1 130 min,平均1 m用时约为40 min。孔深28.0~38.8 m,进尺10.8 m,用时920 min,平均1 m用时约为85 min。

②试验结果:采用SWDM420旋挖钻机施工1.6 m直径防冲桩钻孔,高程2 548.0~2 520.0 m(28.0 m)时需用时约2 570 min,高程2 520.0~2 510.0 m(10.0 m)时需用时约2 205 min,完成钻孔共用时4 775 min。

(2)下游河道左岸ZL-172号防冲桩。

①实验过程:采用1.2 m直径取芯钻头钻进至4.2 m,钻渣为灰色颗粒夹杂50 cm大小青灰



- 1-声测管  
2-发射换能器  
3-接收换能器  
4-声波检测仪

以相同的标高同步升降,完成整桩长度

图2 平测法

色岩块,共计钻进时间为 220 min,平均钻进 1 m 用时约为 52 min。4.2~25.1 m,钻渣为青灰色完整基岩,进尺 20.9 m,用时 1 120 min,平均钻进 1 m 用时约为 54 min,施工效率基本不变。25.1~30.2 m,钻渣为青灰色完整基岩,进尺 5.1 m,用时 675 min,平均钻进 1 m 用时约为 132 min,施工效率大大降低,工效为 0.0~25.1 m 的 40%左右。1.6 m 直径取芯钻头进行扩孔,孔深 0.0~30.5 m 用时 1 505 min,平均 1 m 用时约为 49 min。

②试验结果:采用 SWDM420 旋挖钻机施工 1.6 m 直径防冲桩钻孔,高程 2 548.0~2 523.0 m (25.0 m)时需用时约 2 585 min,高程 2 523.0~2 517.5 m(5.5 m)时需用时约 935 min,防冲桩 ZL172 钻孔至 30.5 m 时,钻杆损坏,无法继续施工。

### 3.2 实验结论

招标文件中描述的“河床基岩呈弱风化状,弱风化下限埋深 35.0~78.0 m”,根据数据显示弱风化埋深至 28.6 m,28.6~38.5 m 为微风化角闪片岩。试桩下部基本为微风化角闪片岩,抗压强度平均值大于 55 MPa,通过取样试验孔揭露该区域节理发育,实际施工中其他非节理发育区域的岩石强度和耐磨性更高,对设备损伤更严重,功效更低。结合实际地质情况较招投标阶段预测的地质情况的变化,建议选用功效更强、功率更大的设备进行施工,才能满足工期要求。

## 4 施工过程重难点控制

### 4.1 施工过程重难点

(1)防冲桩为单排相切布置,数量多、桩位密、工期紧、任务重。施工过程中要随时测量桩位位置、施工场地标高及桩顶标高。

(2)防冲桩深度较深,桩身相切布置,为保证二序孔钻孔过程中不破坏一序孔桩身钢筋,孔斜控制标准为 5%,严于规范规定的 10%。

(3)施工过程中岩石条件较招标文件有明显区别,为旋挖钻机施工增加了难度。

(4)防冲桩施工目前只能在枯期进行,由于工程量大,时间紧,任务重,必须做好合理规划,以保证工期满足合同要求。

(5)防冲桩水下混凝土浇筑过程存在较多影响因素。

### 4.2 施工过程难点控制

(1)为了确保成桩质量和最大限度地缩短施工时间,该项目拟采用多台钻机同步施工,即在场平整后,先施工 I 序桩,再施工 II 序桩,II 序桩滞后 I 序桩 3~4 根。

(2)优化设备选型:施工前期引进 SWDM420 型旋挖钻成孔,由于 SWDM420 型旋挖钻机成孔效率较低,后又引进三一 445、SR460、SR415R、YTR456HE 型旋挖钻机进行现场施工。SWDM420 型、SWDM460 型旋挖钻机功效对比分析见表 1。

### 4.3 施工过程中特殊情况处理

(1)水上部分塌孔。原因分析:施工过程中由于钻孔区域表层覆盖松散回填渣土层,渣土层无粘土连接,以上因素均对旋挖桩施工成孔有极大的不利影响,造成旋挖施工开孔及进尺时出现了

表 1 SWDM420 型、SWDM460 型旋挖钻机功效对比分析表

序号	防冲桩编号	旋挖桩参数 /m		耗时 /h	备注
		桩径	长度		
1	ZL-165	1.6	38	80.51	420 钻机
2	ZL-167	1.6	38	78.92	420 钻机
3	ZL-170	1.6	38	83.83	460 钻机
4	ZL-172	1.6	38	88.66	桩口 30 m 为 420 钻机钻孔 桩底 8 m 为 460 钻机施工
5	ZL-175	1.6	38	71.87	460 钻机
6	ZL-177	1.6	38	93.01	460 钻机
7	ZL-251	1.6	38	114.00	三一 445 钻机
8	平均	1.6	38	87.26	平均钻孔施工强度为 2.3 h/m

孔壁坍塌现象。处理措施:在施工中如发生塌孔,应及时采取相应的治理方法,对于成孔塌孔,应先探明坍塌位置,采用 C15 常态混凝土进行回填,待混凝土强度达到 50%后,重新钻进。

(2)水下部分塌孔。原因分析:施工过程中由于钻孔区域周边是砂土层,被渗水侵蚀后发生坍塌。处理措施:在施工中,一旦发生塌孔,应根据不同情况,采取相应的治理措施。对于成孔塌孔,首先应探明塌孔位置和范围。采用与防冲桩同标号混凝土进行回填,待混凝土强度达到 50%后,重新钻进。

(3)堵管。原因分析:混凝土浇筑过程中由于混凝土下冲力不够等原因导致导管内被混凝土堵塞,混凝土下不去,难以顺利进行浇灌。处理措施:对于轻微堵管可利用吊车抖动使混凝土下落,如仍不能下落时,应立即拔出导管逐段拆除,并将管内混凝土清理干净,重新进行安装,安装过程中要确保导管插入混凝土面以下,方可继续进行灌注工作<sup>[5]</sup>。

## 5 结 语

笔者以拉哇水电站下游河道防护工程采用防冲桩的施工措施为研究对象,总结了防冲桩施工工艺及流程,进而对施工过程中发生的重难点事项

分析处理。由于现场施工工程量大、施工场地受限等客观因素,采用分区分段、跳桩作业的模式,一次性投入满足现场施工要求的设备及材料,保证施工顺利推进。防冲桩相邻桩身相切、地质条件复杂、钻孔难度大,现场通过不停优化钻机型号的方式,最终确定满足现场施工要求的钻机设备,并通过对施工过程的精细化控制,保证桩身位置关系满足设计要求。

### 参考文献:

- [1] 陆青涛.旋挖钻孔灌注桩施工技术[J].技术与市场,2012,19(1):24-25.
- [2] 高希恩.桥梁钻孔桩旋挖钻成孔施工工艺分析[J].运输经理世界,2024,(2):83-85.
- [3] 建筑桩基技术规范:JGJ 94-2008[S].住房和城乡建设部,2014.
- [4] 建筑基桩检测技术规范:JGJ 106-2014[S].住房和城乡建设部,2014.
- [5] 曹瑞森.灌注桩水下混凝土施工常见问题及解决方法[J].中国水运,2011,11(10):249-250.

### 作者简介:

包秀花(1999-),女,甘肃定西人,助理工程师,学士,从事水利水电工程监理工作;

何林智(1991-),男,四川成都人,工程师,本科,从事水利水电工程监理工作。

(编辑:吴永红)