 DOI: https://doi.org/10.12345/gcjsygl.v6i5.10640

Construction Technology of Super-large Anti-sliding Piles in No. Ⅷ Accumulation of Lawa Hydropower Station

Xiaojin Zhang

Sichuan Wing Span Times Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610081, China

Abstract

The pile diameter of anti slide pile in phase I project of VIII accumulation treatment of Lawa Hydropower Station is very large, which has no precedent in China's anti slide pile project, and the engineering geology is very complex. During the construction process, it encountered a thick quicksand layer, and the river water infiltrated, leading to great safety risks of manual excavation construction and high construction difficulty. How to cross the quicksand layer, block the infiltration of river and ensure the quality of underwater concrete pouring has become an urgent problem in the construction process. This paper mainly addresses the project difficulties, and summarizes and sorts out the governance of several difficult problems in the construction process.

Keywords

super large diameter anti-skid pile; difficult construction technology; hydropower station

拉哇水电站Ⅷ号堆积体超大抗滑桩施工技术

张小金

四川省翼展时代建筑工程有限公司，中国·四川 成都 610081

摘　要

拉哇水电站Ⅷ号堆积体处理一期工程抗滑桩桩径超大，在中国抗滑桩工程中没有先例，工程地质极为复杂。施工过程中遭遇较厚的流沙层，江水渗入，导致人工挖孔施工安全隐患大、施工难度高。如何穿越流沙层，封堵江水渗入，保证水下灌注混凝土浇筑质量成为施工过程中亟待解决的问题。论文主要针对项目难点，对施工过程中的几大难点问题的治理进行总结梳理。

关键词

超大直径抗滑桩；难点施工技术；水电站

1 工程概况

拉哇水电站位于金沙江上游，是金沙江上游 13 级开发方案中的第 8 级，拉哇水电站属一等大（1）型工程，总装机容量 2000MW。

Ⅷ号堆积体位于拉哇沟下游 150~750m 的金沙江左岸，堆积体地形坡度 33°　~37°　，平面面积为 0.18km2；堆积体组成物质以碎石土夹块石为主，局部有大孤石，多呈松散状，钻孔揭露的最大厚度约 57m，估算体积为 410×104m^3。右岸导流洞尾水正对着Ⅷ堆积体后缘，Ⅷ堆积体的稳定显得尤为重要，抗滑桩对消除堆积体的失稳起着至关重要的作用，更是后期坝址基坑开挖的重要保证 [1]。

1.1 工程地质情况

Ⅷ号堆积体位于拉哇沟下游 150~750m 的金沙江左岸，后缘陡壁以 PTXNa-5 角闪片岩为主，上游山脊及下伏基岩以 PTXNa-3 角闪片岩、云母石英片岩为主，岩层产状为 N30º~N40ºW、SW ∠ 25º~35º。堆积体组成物质以碎石土夹块石为主，局部有大孤石，多呈松散状。根据钻探资料和高喷防渗墙资料显示，抗滑桩需要穿过堆积层，河床沉积的粉细砂层，进入基岩层。

1.2 工程设计

Ⅷ号堆积体处理一期工程抗滑桩设计数量为 35 根，（Z-1~Z-8）桩身断面为 2.5m×4m 桩身长度为 20m，（Z-9~Z-35）桩身断面为 4m×6m 的抗滑桩有 35~43m。图 1 为抗滑桩一期工程平面布置图。

2 工程特点、重点和难点

2.1 桩体数量多，桩径过大，组织管理任务重

本工程共计 35 根抗滑桩，其中（Z-9~Z-35）桩身断面为 4m×6m 的抗滑桩有 27 根。桩径超大，很少有类似工程经验，同时开始 18 根桩的开挖、工序交错复杂，现场管理协调任务极重。

【作者简介】张小金（1980–），男，中国陕西宝鸡人，本科，工程师，从事铁路工程、公路工程研究。

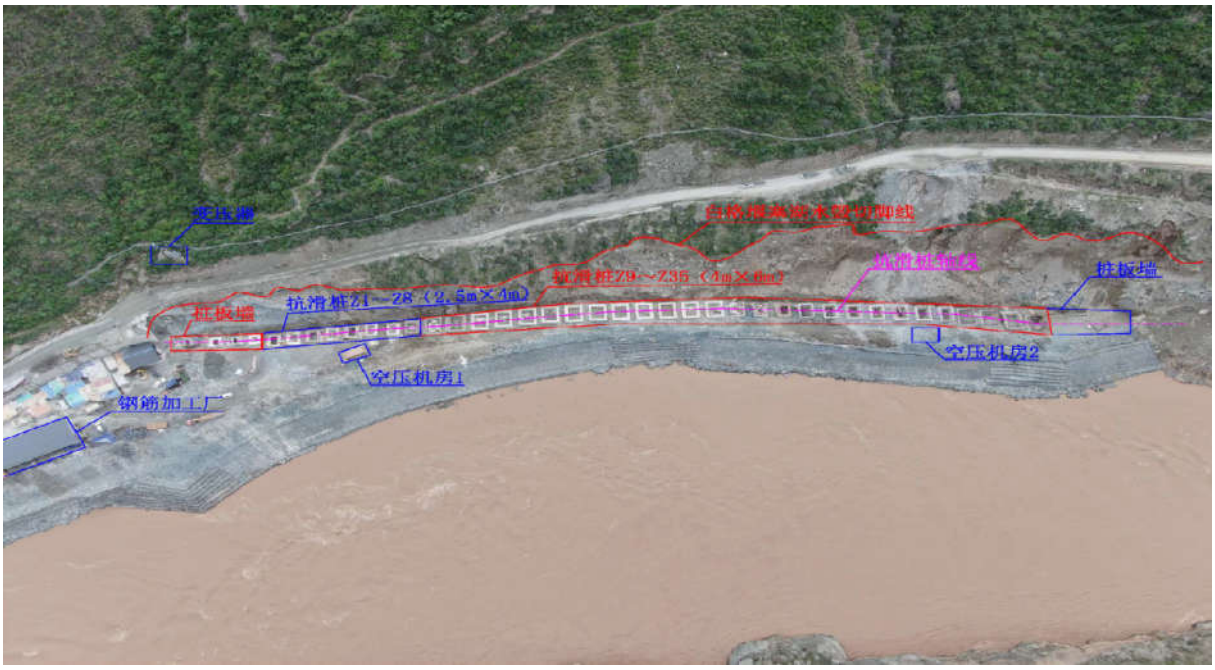

图 1 抗滑桩一期工程平面布置图

2.2 碴料提升设备受限，提升效率低下

桩口施工平台较小，桩径过大，周边安全环境恶劣，且桩内净空被分割为 2.0m×2.0m，大型起吊设备如吊车、大型龙门吊均难以布置。抗滑桩均超过 35m 深，加之本项目处在高原，海拔超过 2800m，对提升设备的性能要求较高，设备的运行效率均不同程度有所降低，只能选择最常规的提升设备，提升效率低下。

2.3 桩内水文地质复查，开挖难度大

抗滑桩要通过堆积层，根据钻探资料堆积层中最大孤石直径约 4m，抗滑桩需要通过厚度将近 6m 的粉细砂层，抗滑桩进入基岩段后基岩完整性较好，且强度较高，有限空间爆破开挖较困难。地下水采取排入桩内抽排的方式，对抗滑桩开挖造成较大难度。

2.4 大体积凝土浇筑

桩径大，单桩混凝土量最大为 1100m^3，桩体过深，35~43m 不等，且桩内水量无法估计，因此对混凝土的搅拌、运输、下料方式、浇筑都提出了较高的要求。

3 抗滑桩施工前期工程

3.1 施工便道及施工平台

抗滑桩施工便道及施工平台利用防渗墙施工期间在临江侧修筑的平台继续回填至桩顶标高。道路及平台总宽度保证 9m 就可以解决抗滑桩施工期间和其他车辆运输过程中的干扰，见图 2（抗滑桩回填平台）。

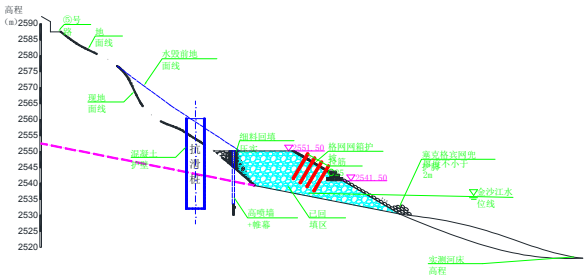

图 2 抗滑桩回填平台

3.2 孔口安全防护

为防止堆积体落石，在桩顶靠山侧锁口外两米位置设置高 3m 厚 2m 的钢筋石笼做为挡渣墙，防止坡面落石掉入桩内。局部受平台限制不能施做挡碴墙地段采用工 20 工字钢沿坡面设置挡碴护栏。对山体坡面根据现场地形设置主动防护网避免雨季坡面碴料滑落（见图 3）。

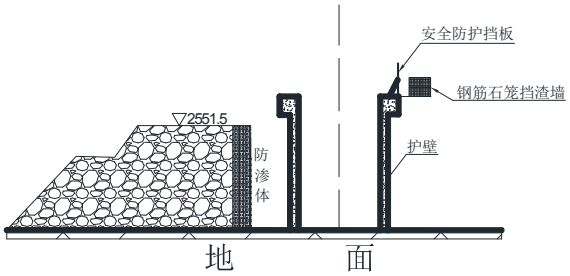

图 3 抗滑桩孔口防护

3.3 防渗墙施工

距抗滑桩轴线不小于 5.5m 布置一排“覆盖层高压喷射

灌浆 + 基岩帷幕灌浆”防渗体，高压喷射灌浆和帷幕灌浆均采用水泥浆灌注，水泥强度等级为 PO42.5MPa。高压喷射灌浆采用两重管高压旋喷，自下而上进行喷射作业，高压喷射灌浆孔单排布置，孔距为 0.8m，孔深入基岩 1.0m，钻孔深度约 12~22m，喷浆压力 30Mpa。帷幕灌浆采用“三参数大循环”灌浆自动记录仪进行数据采集及参数控制，灌浆采用孔内循环法一次性全孔灌浆。

帷幕灌浆孔间距 1.6m，终孔深度为高喷墙底以下 4.0m，并结合现场情况复核，帷幕灌浆压力采用 1.0MPa。高压喷射灌浆、帷幕灌浆设计标准为灌后透水率 q≤5Lu。

4 抗滑桩施工

4.1 抗滑桩施工工艺流程

抗滑桩施工工艺及流程图如图 4 所示。

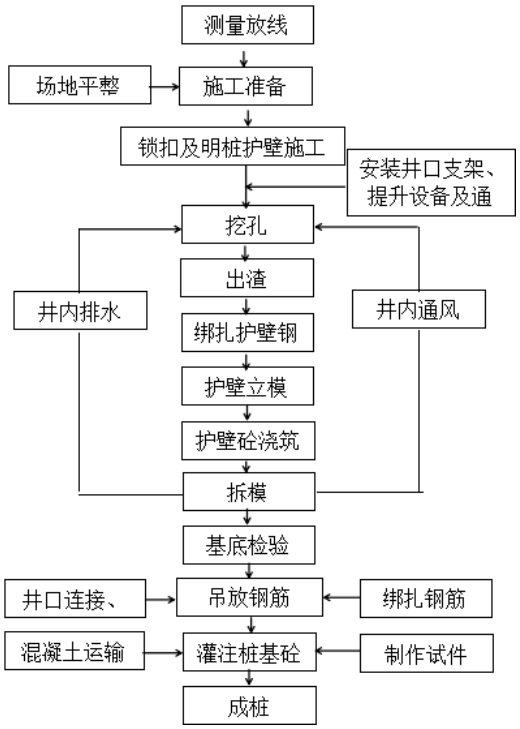

图 4 抗滑桩施工工艺及流程图

4.2 超大抗滑桩难点施工技术

4.2.1 提升设备选型

提升设备的选型关乎到桩内施工人员的生命安全及桩的施工效率，如何选择安全可靠的提升设备尤为重要。必须通过科学的验算，保证足够的安全系数。

该项目选择的设备由动力装置和支架两部分组成。动力装置由卷扬机、制电器、绳筒和钢丝绳组成；支架由角钢、钢组及定滑轮组成。在支臂中安装有配电箱，为安全考虑，本设备同时配备限位器及配重块。操作按钮启动器实现电动机正反转可将钢丝绳卷绕、放开，并通过支架部分滑轮起吊下方物料来完成吊运作业。

4.2.2 计算过程

荷载计算：

①桶的直径 50cm，高 50cm，壁厚 5mm，自重 m1，19.5Kg。

②桶的体积 $V=3.14\times0.25^2\times0.5=0.099m^3$。

③桶内石头重量按照最大最重碎石计算，碎石密度为 $1.55g/cm^3$，其中 1 方 $=1000000cm^3$，桶内石头重量 $=0.098\times1550kg=152kg$。

④总重 M1=m1+m2=19.5+152=171.5kg，为了方便计算取值 172kg。根据 $G1=M1g=172\times10=1720N=1.73KN$。

⑤电动卷扬机去除钢丝绳后自重 m3=237kg，得：

$G2=m3g=237\times10=2370N=2.37KN$

提升设备示意图如图 5 所示。

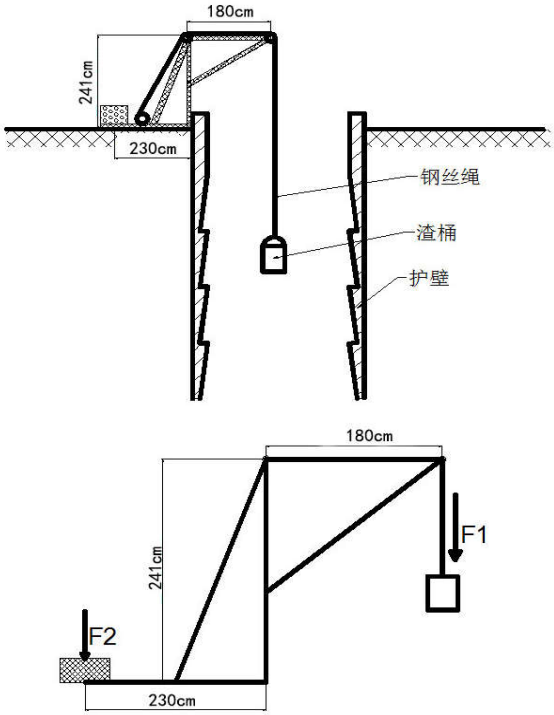

图 5 提升设备示意图

钢丝绳容许拉力计算：

根据品茗安全计算软件 2017 得知参数如图 6 所示。

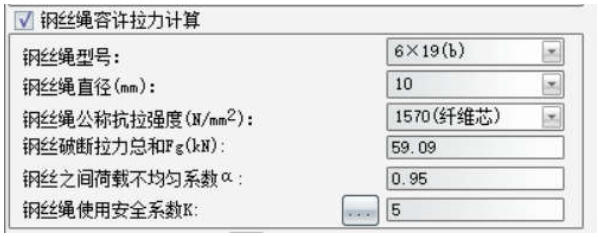

图 6 根据品茗安全计算软件 2017 得知的参数

钢丝绳容许拉力可按下式计算：

$$[Fg]=aFg/K$$

式中，[Fg]——钢丝绳的容许拉力；

Fg——钢丝绳的钢丝破断拉力总和，Fg=59.09kN；

A——考虑钢丝绳之间荷载不均匀系数，α=0.95；

K——钢丝绳使用安全系数，取 K=5.00；

经计算得：[Fg]=59.09×0.95/5.00=11.23kN。

经比较得：11.23KN＞G1=1.73KN，钢丝绳满足要求。

抗倾覆计算：

提升机尾部采用 70cm×22cm×48cm（长宽高）配重块（C20 混凝土制成）2 块，M 配 =0.7m×0.22m×0.48m×2450kg×2=362.2kg。

矩形管 50mm×50mm×3mm 每延米重量 4.43kg。

角钢 60mm×60mm×5mm 每延米重量 4.82kg。

吊架悬臂：矩形管长度为 1.8m+3.0m=4.8m，重量为 4.8mx4.43kg/m=21.27kg。

吊架后端：角钢重量：（3m×2+1.48m×2）×4.82=43.19kg 矩形管重量：（2.3m×2+1.48m×2）×4.43=33.5kg。

桶加石渣自重：171.5kg；

卷扬机自重 150kg；

钢丝绳按 50m 考虑，通过所查资料得知直径 10mm 的钢丝绳 100 米自重 48.1kg，则 50m 钢丝绳重量为 48.1kg×50m/100m=24.05kg。

其他小部件忽略不计，按照最大弯矩考虑：

根据平衡原理得：1.8m×T1=2.3m×T2 此时为平衡状态，若想提升架不倾覆，则有 1.8m×T1＜2.3m×T2。

其中 T1 按钢丝绳重量全部作用在吊桶侧，则

T1=(172kg+21.27kg+24.05kg)×10N/kg=2174N

T2=(362.2kg+76kg+150kg)×10N/kg=5882N

根据上述计算：

1.8m×2174N=3913.2N.m （1）

2.3m×5882N=13528.6N.m （2）

经比较（1）＜（2），富余系数：13528.6/3913.2=3.457，力矩满足要求，配重满足要求。

4.2.3 管涌、流沙层施工

根据钻探资料显示，本项目抗滑桩需要通过厚度将近 3~6m 的粉细砂层，粉砂层厚度较大，如何确保安全成功穿过粉砂层成为本工程的难点。项目根据流沙层揭露的具体情况，采取了以下几种处理措施。

①集水井强排法。

集水井强排法前提是抗滑桩底标高在不透水层以上，且待挖土体中的地下水浸润线标高低于抗滑桩底标高。如果由于地下承压水的作用抗滑桩内出现管涌，应立即采用细石或绿豆砂将管涌口覆盖以减少涌水口的砂土流失，同时在抗滑桩底挖临时集水坑用水泵进行明排水，对抗滑桩中土进行抢挖。集水井可采用直径在 600~800mm 左右的铁皮桶（如柴油桶）做成，桶壁打有集水小孔，外侧为绿豆砂反滤层。

集水井排法的注意点：

管涌出水口应时刻覆盖有细石或绿豆砂滤层，保证流水畅通但不流失砂土。

开挖速度要快，采用抢挖措施，先挖临时集水坑，后挖涌水点到集水坑的排水明沟，最后开挖抗滑桩土体。

铁皮桶的集水井外侧反滤层要有足够的厚度，以确保集水井中抽取的是清水。

②深井降水法。

当抗滑桩内出现管涌现象，立即停止开挖，并将抗滑桩回填到地下承压水头以上，采用钻孔下套的方法进行打深井，深井的深度一般在不透水层以下 2~3m 即可，采用深井抽水，以降低抗滑桩低部位的地下承压水头，使其降到抗滑桩底标高以下 0.5m。深井的数量应根据桩的大小，承压水头的高度、承压水土层的渗透系数等参数经计算确定 [2]。

③注将法。

在开挖基坑中局部深坑时，如抗滑桩底出现管涌，但承压水头较低时（低于抗滑桩顶面标高）可采用注浆法。首先应立即停止对局部抗滑桩的开挖，并对抗滑桩进行部分土方回填，将流沙、管涌点埋没，回填高度应高于承压水头的高度。然后采用注浆法将桩中的土方进行注浆加固，其方法同土体抗渗加固截水法（见图 7）所述。但由于是应急措施，不宜采用需大型设备进场的深层浆喷搅拌或粉喷搅拌等方法。为加快注浆的凝固和提高早期强度，应在注浆液中掺入一定比例的水玻璃或早强剂。注浆加固土体具有一定的强度后即可进行抗滑桩开挖，当抗滑桩底接近于或穿过不透水层时，应当对抗滑桩底土体进行搞浮稳定验算，以确定注浆加固土层的厚度。

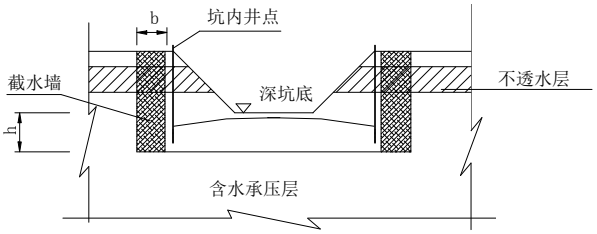

图 7 竖向截水与坑内井点降水结合方案

④土体抗渗加固截水法：当地下含水层渗透性较强，厚度较大时，可采用悬挂式竖向截水与坑底井点降水相结合（见图 7）在土体开挖之前，对桩临江侧抗渗薄弱的土体进行抗渗加固。土体抗渗加固的方法有深层搅拌桩加固、粉喷桩加固、压密注浆加固及劈力注浆加固等方法。土体抗渗加固的水泥掺量可根据试验确定，一般浆喷深层搅拌的水泥掺量宜为被加固土重量的 15%~18%；粉喷深层搅拌的水泥掺量宜为被加固土重量的 13%~16%；注浆加固的浆液注入率一般为被加固土体重量的 15%~20%，浆液配合比：水泥：粉煤灰：水玻璃 =1 ： 1 ： 0.04。加固的范围（深度和厚度）可经过计算确定，被加固的土体具有一定强度和较高抗渗能力，形成一截水帷

幕，截水帷幕的渗透系数不宜小于 1.0×10-6cm/s，可保证深坑开挖时，不会出现流沙或管涌现象。

4.2.4 桩身水下混凝土灌注

清孔→安放下料漏斗及钢导管→导管闭水试验（水密、承压）和接头抗拉试验→混凝土浇筑[3]。

①若孔内渗水量上升速度大于 6mm/min 时，采用导管法灌注水下混凝土，混凝土坍落度控制在 180~220mm，导管中心正对孔中心，在灌注混凝土开始时，导管底部到孔底距离 40cm。

②混凝土灌注过程中导管应始终埋在混凝土中，严格控制导管不能提出混凝土面。在整个灌注过程中，出料口伸入先前灌注的混凝土内至少 2m，以防漏管，且不大于 6m，如果出料口伸入混凝土过深，导管压力过大，将造成堵管。

③灌注过程中应经常测量孔内混凝土面层的高程，及时调整出料口与混凝土面的相对位置，并予以严密监视，导管应勤提勤拆，一次提留拆管不得超过 6m。

④混凝土浇灌时，隔水塞采用铁丝悬挂于导管内。混凝土灌入前应先在灌斗内灌入 0.2~0.3m^3 的 1 ： 1.5 水泥砂浆，然后再灌入混凝土，等初灌混凝土足量后，灌注混凝土的数量应满足导管初次埋置深度（≥2.0m）和填充导管底部间隙的需要，导管内混凝土柱和管外泥水桩压力平衡。首批灌注混凝土的数量可参照钻孔桩首批混凝土数量计算公式（35m 桩示例）（见图 8）。抗滑桩断面较大，计划安排两套灌注系统[4]。

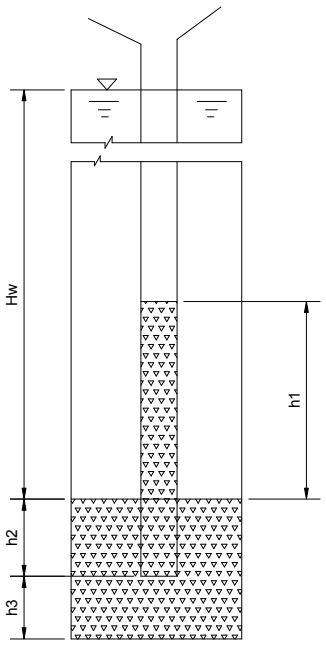

图 8 灌注混凝土示意图

$$V \geq \frac{\pi d^2}{4} h_1 + \frac{\pi D^2}{4} H_c$$

式中，V——首批混凝土所需数量（m^3）；

h_1——井孔混凝土面高度达到H c时，导管内混凝土柱需要的高度（m），$h_1 \geq \gamma wHw/\gamma c$；

H_c——灌注首批混凝土时所需井孔内混凝土面至孔底的高度(m)，H c＝h2+h3，(2+0.4=2.4m)；

H_w——井孔内混凝土面以上水或泥浆深度（32.6m）；

D——井孔直径（m）（5.72m）；

d——导管内径（m），0.30m；

Γc——混凝土拌合场的容重（kN/m^3），取 24kN/m^3；

γw——井孔内水的容重（kN/m3），取 9.8kN/m^3；

h_2——导管初次埋置深度，h2 ≥ 2.0m；

h_3——导管底端至钻孔底间隙，约为 0.4m。

桩径为 1.5m 时，HW=35-2-0.4=32.6m

V ≥ [3.14×0.3×0.3×13.32/4+3.14×5.72×5.72×2.4/4]/2=10.3m3

5 结语

通过对拉哇水电站Ⅷ号堆积体处理一期工程超大直径抗滑桩的施工，结合工程的重难点科学组织，针对提升设备、流沙、渗水、大体量水下混凝土灌注等施工难点重点攻克，加强对施工工艺、质量检验和施工安全等方面的及时改进，加快了抗滑桩施工进度，确保了项目按期完成履约，为类似工程施工提供了宝贵经验。

参考文献

[1] 付文博，杜光远，王凌晔，常安代.基于ArcGIS模型的滑坡地质灾害敏感性评价——以金沙江上游为例[J].四川地质学报，2017,37(01):100-103.

[2] 张家乐.降水法凿井时井中残余水柱理论分析[J].能源与环保，2018,40(01):127-130.

[3] 邬德宇,曲贝贝,赵建豪,侯婕.智能化管控在钻孔灌注桩施工全过程中的应用[J].水运工程,2021(09):206-211+221.

[4] 张美娜. 含扩径、缩径缺陷桩的灌注桩基础竖向承载性状的试验研究与数值分析[D].天津大学,2012.