

# 超大断面抗滑桩开挖施工技术探讨

郑元凯<sup>1</sup>, 罗松峥<sup>2</sup>, 孙周辉<sup>2</sup>

(1. 四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川成都 611130;

2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川成都 611130)

**摘要:**介绍了大断面抗滑桩快速开挖施工技术。考虑到拉哇水电站的工程地质条件、施工条件以及与之相匹配的施工措施,在全人工开挖的基础上,采用人工配合小型挖掘机开挖的施工方式,对拉哇水电站堆积体治理抗滑桩工程进行了实证研究,结果表明:人工配合小型挖掘机开挖施工方式相较于全人工开挖方式效率更高,可以缩短施工工期,提高工程的管理水平,而且更加安全可靠。所取得的经验可为超大断面抗滑桩开挖施工提供参考。

**关键词:**超大断面;抗滑桩;拉哇水电站;施工安全

中图分类号: TV223; TV52; TV7

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)增1-0096-04

## Exploration on Excavation Construction Technology of Ultra-large Section Anti-sliding Piles

ZHENG Yuankai<sup>1</sup>, LUO Songzheng<sup>2</sup>, SUN Zhouhui<sup>2</sup>

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

2. PowerChina Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

**Abstract:** This paper introduces the rapid excavation technology of large-scale anti-sliding piles. Taking into account the engineering geological conditions, construction conditions and corresponding construction measures of Lawa Hydropower Station, the construction method of manual excavation in coordination with small excavators instead of manual excavation only is adopted in anti-sliding piling works of the accumulation of Lawa Hydropower Station. The empirical study shows that the construction method of manual excavation in coordination with small excavators is more efficient than the manual excavation method not only because it can shorten the construction period, improve management of project, but also safer and more reliable. The experience gained can provide reference for the excavation and construction of ultra-large section anti-sliding piles.

**Key words:** ultra-large section; anti-sliding piles; Lawa Hydropower Station; construction safety

## 1 概述

目前,抗滑桩已广泛应用于建筑、公路、水利、铁路等行业基础设施建设项目的大型边坡工程<sup>[1]</sup>,取得了较好的效果。抗滑桩是穿过覆盖层深入覆盖层基底岩层的桩柱,用以支撑滑体的滑动力,起到稳定边坡的作用,适用于浅层和中厚层的滑坡,是边坡堆积体抗滑处理的主要措施,具有抗滑能力强、适用性好、施工安全简便等特点<sup>[2]</sup>。抗滑桩对滑坡体的作用是利用抗滑桩插入滑动面以下的稳定地层,通过桩的抗力(锚固力)平衡滑动体的推力以增加其稳定性。我国许多学者对抗

滑桩施工技术开展了深入的研究,曾安怀等<sup>[3]</sup>对人工挖孔抗滑桩施工中的常见问题进行了介绍并分析了其成因,提出了相应的预防和处理措施。何文野等<sup>[4]</sup>对影响边坡稳定性的抗滑桩参数进行了分析,得出了桩间距对边坡稳定敏感性最高的结论,其次是桩截面尺寸,最后是桩的长度。李蒙<sup>[5]</sup>在对某高速公路大型滑坡处治过程中,通过对抗滑桩、坡体埋设测斜管进行深部位移监测提出了相应的动态治理处置方案,确保了施工期安全。

以拉哇水电站Ⅷ号堆积体治理为研究对象,采用人工配合小型挖掘机的施工方式,对拉哇水电站堆积体治理抗滑桩工程进行了研究,介绍了超大断面抗滑桩开挖施工过程中采用的技

收稿日期:2021-10-10

术措施。

拉哇水电站Ⅲ号堆积体位于拉哇沟下游 150~750 m 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 NW30°~40°、SW∠25°~35°。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,所采用的抗滑桩需要穿过堆积层、河床沉积的粉细砂层后进入基岩层。

拉哇水电站Ⅲ号堆积体治理一期工程共计布置了 35 根抗滑桩,其中:Z—1~Z—8 抗滑桩桩身断面(2.5 m×4 m)设计有 8 根,深度为 25~37 m,Z—9~Z—35 抗滑桩桩身断面(4 m×6 m)设

计有 27 根,深度为 23~37 m。

护壁混凝土采用 C30 混凝土,厚度为 40 cm。箍筋采用  $\varphi 16$  mm@200 mm,纵向钢筋采用  $\varphi 16$  mm@250 mm 均匀布置。由于矩形桩的力学性能差,加之该工程桩的截面尺寸大、护壁跨度较大、孔壁处于偏压状态、桩内又需要进行爆破施工,为有效保护护壁安全,在该工程桩井内采取了型钢支撑加固措施,布置形式为 2 550 m 高程以上纵向间距 1.5 m,2 550 m 高程以下纵向间距 1 m,桩内净空被分割为 2.5 m×2 m、2 m×2 m 的小矩形格,竖向槽钢与护壁之间、横向工字钢两端与槽钢之间均需连接牢固,其抗滑桩井内支撑布置形式见图 1。

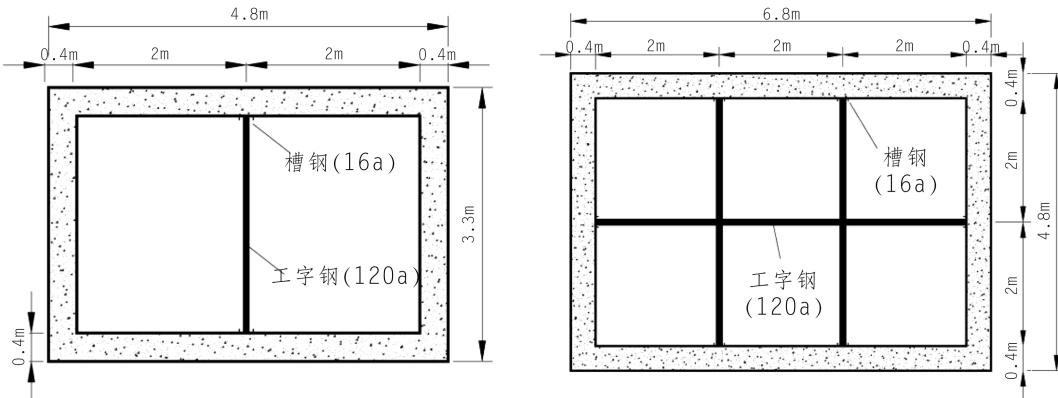


图 1 抗滑桩井内支撑布置形式图

每节护壁长度为 1 000 mm,模板采用木模板,每挖掘 1 m(若遇软弱层易塌方部位可根据模板规格减短进尺)护壁一次,护壁时需对孔的倾斜度、孔中心位置及平面等进行检查无误后方可护壁。对所采用的开挖方式进行了阐述。

## 2 大断面抗滑桩人工开挖方式

为保证桩井开挖安全和护壁质量,桩井开挖按照掘进一段、护壁浇筑一节的施工原则进行,由浅至深不断循环作业,直至达到设计桩深。挖孔时及时用钢筋混凝土进行孔壁支护。护壁单次高度根据一次最大开挖深度及土体的自稳性能确定,将护壁高度控制在 1 m 以内。当护壁的混凝土强度达到 70% 时,再进行下段的开挖。对开挖过程中出现的块石及孤石、与孔壁有交接处的块石采用人工凿除,不得在孔壁内形成影响护壁稳定的空腔,对于孔内块石及孤石开挖较困难或大

块石无法装运时,可采用爆破进行破碎。

### 2.1 覆盖层开挖

对于孔内的普通土、硬土、碎石土由人工用锹、镐挖掘,桩井掘进时先挖中部,后挖井壁部分。开挖出的渣料采用卷扬机提升。

每个井口设立两台 3 t 电动卷扬机提升出渣,渣土用 0.1 m<sup>3</sup> 料斗、20 t 出渣车运输。孔内应在桩孔内施工人员上方 2 m 处设置防护棚进行水平防护,以防止孔口碎渣坠落伤及井底的挖孔人员,防护棚随桩孔挖深逐步下移,当孔深超过 20 m 时,需设置双层防护棚,层间高度为 1 m。

### 2.2 石方井挖

对于孔内的软石、次坚石、大孤石采用风动凿岩机钻孔,浅孔爆破。为有效控制冲击波、震动在最小的限度内且不能扰动上部及防渗体结构,对需爆裂的地层宜采用毫秒微差爆破技术进行爆

破、挖掘成孔。为确保爆破岩石不飞出孔外,需认真做好防护工作,上面堆压砂袋,放炮后应使用通风机械通风 30 min 后进行井下有害气体检测,待检测安全后施工人员方可下井施工。

### 3 人工配合小型挖掘机的开挖方式

因受作业环境及条件的限制,纯人工开挖方式施工效率非常低,4 m×6 m 的抗滑桩桩井开挖每个循环进尺的出渣时间至少需要约 30 h,且因井内作业人员多、安全风险大,因此,根据现场实际情况,遂改用斗容为 0.066 m<sup>3</sup> 的小型挖掘机进行出渣作业,该小型挖掘机尺寸为 2.78 m×1.5 m。由于原设计的井内支撑体系形成的空间仅为 2 m×2 m 的方格,无法满足小型挖掘机的吊运需求,需对井内支撑体系进行调整,具体实施的内支撑结构调整示意图见图 2。

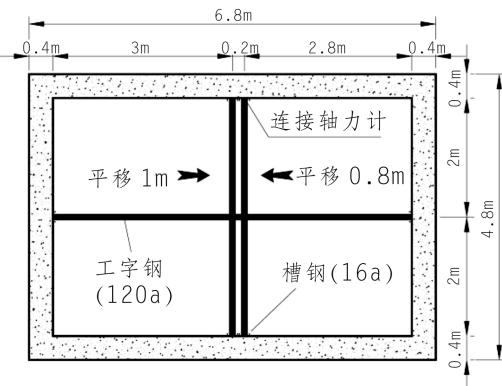


图 2 内支撑结构调整示意图

#### 3.1 田字型支撑体系可靠性分析

(1) 田字型支撑体系。护壁结构的布置:护壁厚 0.4 m,净宽 4 m,净长 6 m,混凝土强度等级为 C30,受力钢筋(HPB300)为  $\Phi 22$  mm@200 mm,箍筋(HPB300)为双肢箍  $\Phi 14$  mm@200 mm。

(2) 数值模型。截取 1 m 高度范围内的护壁与支撑体系模型进行数值分析计算,有限元模型见图 3。由于在实际工程中护壁的变形量很小,因此,可以将钢筋混凝土护壁看作各向同性的均质线弹性材料,对模型中的混凝土、钢筋及工字钢均采用线弹性模型,其材料参数见表 1。

参考曾钰尧<sup>[6]</sup>对矩形人工挖孔桩护壁土压力计算方法进行的研究,最终选取土压力模型为:从地面至以下 5 m 范围(井跨度约 1.5 倍)按主动土压力计算,5 m 以下各点土压力取 5 m 处的主动土压力值,计算得出的主动土压力为

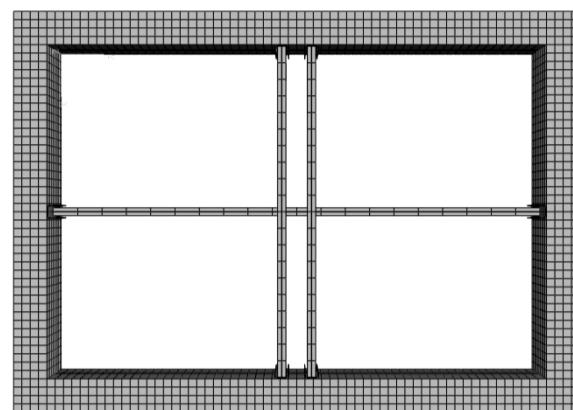


图 3 有限元模型示意图

表 1 材料参数表

材料	$E$ /GPa	$\nu$	$\rho$ /kg·m <sup>-3</sup>
C30 混凝土	30	0.2	2 430
HPB300 钢筋、工字钢	191	0.3	7 800

78.398 kPa。临河侧采用高喷墙防渗后,参考水工无压隧洞防渗+排水工况设计,汛期施工考虑护壁内外一定的水头差,初步取水位差为 3 m,通过计算得到静水压力为 30 kPa。由此可知:基岩面与土壤覆盖层处受到的压力最大,最大为 108.398 kPa。

(3) 结果分析。由 ABAQUS 软件计算分析可知:护壁变形均朝向临空面,最大变形量发生在护壁长边方向的中部,最大变形量为 0.73 mm,这是因为护壁在长边方向跨度较大,故最大变形量发生在此部位。总体来看,护壁变形量较小,护壁处于基本稳定状态。

计算表明:工字钢均处于受压状态,其中 6 m 工字钢最大压应力为 19.699 MPa,4 m 工字钢最大压应力为 51.847 MPa,这是因为护壁在长边方向跨度更大,故 4 m 工字钢受到的压应力较大,两种工字钢的受力均小于工字钢的抗压强度,工字钢总体安全,不会发生破坏。

由 ABAQUS 软件计算分析可知:钢筋混凝土护壁受到的最大拉应力为 1.471 MPa,最大压应力为 2.784 MPa,均小于 C30 混凝土的抗拉和抗压强度,表明在此种工况下钢筋混凝土护壁不会遭到破坏,护壁结构安全。

综上所述,田字型支撑体系的总体结构安全可靠,不会遭到破坏。

## 3.2 调整后的井内支撑体系的实际受力状态

采用监测仪器对抗滑桩桩井护壁所受到的内

力进行监测,测得不同埋深情况下护壁所受荷载的监测值见表2。

表2 不同埋深情况下护壁所受荷载的监测值表

埋深 /m	护壁厚度 /m	土压力 /kPa	水压力 /kPa	总压力 /kPa	实测值		理论值	
					$M_{\max}/\text{kN}\cdot\text{m}$	$V_{\max}/\text{kN}$	$M_{\max}/\text{kN}\cdot\text{m}$	$V_{\max}/\text{kN}$
4	0.4	31.36	0	31.36	-67.64	58.10	-105.96	91.02
7	0.4	39.2	30	69.2	-106.12	91.16	-233.81	200.84
12	0.4	39.2	30	69.2	-116.91	100.42	-233.81	200.84
16	0.4	39.2	30	69.2	-127.69	109.69	-233.81	200.84
20	0.4	39.2	30	69.2	-149.26	128.21	-233.81	200.84
24	0.4	39.2	0	39.2	-84.55	72.63	-132.44	113.76

通过对抗滑桩桩井护壁所受到的内力进行监测,得出抗滑桩护壁实际所受到的最大弯矩为-149.26 kN·m,最大剪力为128.21 kN。

## 3.3 人工配合小型挖掘机开挖功效分析

调整井内支撑体系后,可采用12 t汽车吊将小型挖掘机直接吊运至井内的开挖作业面,采用小型挖掘机直接装渣、汽车吊吊运出井的方式进行井内出渣作业。该工艺大大提高了出渣效率:选用小型挖掘机斗容0.066 m<sup>3</sup>,自制出渣容器,

单次装渣量约为1.682 m<sup>3</sup>,每延米的桩井出渣约需要27渣斗(松散系数约为1.4)。装满一渣斗约需10 min,起吊、卸料及下渣桶约需6 min,则每延米的桩井出渣耗时约7 h。该工艺较原纯人工开挖施工效率每延米的开挖出渣节省时间约23 h,大大提高了出渣施工效率,4 m×6 m抗滑桩纯人工及人工配合机械开挖功效对比表见表3。同时,井下施工人员大为减少,施工安全风险进一步降低。

表3 4 m×6 m抗滑桩纯人工及人工配合机械开挖功效对比表

项目	开挖方式	循环开挖进尺 /m	理论开挖方量 /m <sup>3</sup>	钻孔时长 /h	装药时长 /h	出渣时长 /h	护壁钢筋制安时长 /h	护壁关模下导管时长 /h	护壁浇筑时长 /h	护壁拆模时长 /h	单循环开挖支护总时长 /h
4 m×6 m	纯人工开挖	1	32.64	8	2	30	4	5	2	2	53
	机械开挖	1	32.64	8	2	7	4	5	2	2	30
	差值					23					23

## 4 结语

依托拉哇水电站Ⅲ号堆积体治理一期工程抗滑桩施工实践,对超大断面的抗滑桩开挖施工工艺进行了总结,在保证抗滑桩护壁结构稳定及可控的受力状态下,采用人工配合小型挖掘机开挖出渣工艺,能够切实加快超大断面抗滑桩开挖的施工效率,同时降低了井内作业的安全风险。

## 参考文献:

- 李蒙.抗滑桩支挡效果监测分析[J].公路,2020,65(7):82-86.
- 赵军,刘静德,梁志荣.多排抗滑桩在大型滑坡治理中的工程应用研究[J].建筑科学,2020,36(增刊1):156-161.
- 曾安怀,汤立文,韦兴标.人工挖孔抗滑桩施工中的常见问题与预防措施[J].西部探矿工程,2021,33(5):21-23+26.

[4] 何文野,范荣全,唐杨,王亮,袁磊.抗滑桩参数对边坡稳定性影响研究[J].人民长江,2020,51(增刊1):191-195.

[5] 李蒙.抗滑桩支挡效果监测分析[J].公路,2020,65(7):82-86.

[6] 曾钰尧.矩形人工挖孔桩护壁土压力计算方法研究[D].长沙理工大学,2013.

## 作者简介:

郑元凯(1983-),男,四川西昌人,高级工程师,学士,从事水利水电工程监理工作;

罗松峥(1990-),女,四川成都人,工程师,学士,从事总承包项目管理工作;

孙周辉(1980-),男,陕西宝鸡人,正高级工程师,工程硕士,从事总承包项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)