

钢管桩嫁接大直径桩在边坡支护中的应用

何文君¹, 杨朝发¹, 胡杰²

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州 贵阳 550005; 2. 国土资源部, 北京 100812)

摘要:在坚硬岩体中施工大直径抗滑桩非常困难,需要安全有效的结构设计和合理施工方法的选择。以某基坑支护工程实践为例,大胆创新支护桩结构设计方案,通过在坚硬岩段采用微型钢管群桩代替大桩方案的变更设计,改进了施工工艺,有效地克服了在坚硬岩体中施工大口径桩嵌岩困难的问题,满足了原设计中的嵌岩深度,达到了支护效果。

关键词:抗滑桩;钢管桩;群桩;大直径桩;边坡支护

中图分类号:TU471.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)09-0059-04

Application of Steel Pipe Pile Joined with Large Diameter Pile in Slope Support/HE Wen-jun¹, YANG Chao-fa², HU Jie² (1. Non-ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang Guizhou 550005, China; 2. Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: It is very difficult to the construct large diameter anti-slide pile in hard rock mass, the safe and effective structure design and reasonable selection of construction methods are necessary. Taking a case of foundation pit supporting engineering, with innovative supporting structure scheme, using micro steel pipe piles instead of large pile in hard rocks, and these improved technology effectively overcame the difficulties in large diameter rock-socketed pile construction and met the requirements of original design to achieve the supporting effect.

Key words: anti-slide pile; steel pipe pile; pile group; large diameter pile; slope support

抗滑桩是边坡支护的重要手段。抗滑桩施工中通常受到不允许凿岩爆破、严禁冲洗液钻进、场地狭窄等条件限制导致掘进困难、进度缓慢,在坚硬岩体中施工大直径桩困难尤为明显。而桩的嵌岩深度、施工进度又是支护设计优选的重要参数。因此需要安全有效的结构设计和合理施工方法的选择。

1 工程概况

乌江水电贵阳基地7~9号楼南侧边坡支护工程,场平标高1108 m,已有排桩-锚支护结构体系支护着高出场平标20余米的岩土高边坡,支护体系桩底标高为1102 m,边坡稳定。因建设需要拟建物地下室设计开挖标高由1108 m挖至1096 m,开挖基坑一边与支护体系平行,相距2.70 m。地下室开挖将形成新的边坡,稳定性验算安全系数为 $K=1.05$,小于安全值1.35。开挖施工将对既有边坡支护体系桩的抵抗矩造成破坏并对其稳定性产生不利影响。为使边坡整体稳定,确保施工安全,设计沿既有支护体系布置一排桩 $A'-B'-C'-D'$,如图1所示。线距2.00 m,桩径600 mm,桩间距3.50 m,平均桩长17.20 m。桩顶加锚固锚索,桩间并用冠梁连接。在既有桩脚施工一道加固锚索并加腰梁连

接,以防桩施工中对既有支护造成危害。桩与既有桩间用联系梁连接构成整体支护体系。设计要求采用干作业机械施工成孔。施工顺序为:加固锚索→抗滑桩→锚固锚索→联系梁→腰梁→冠梁。共计22根抗滑桩及44根预应力锚索,施工工期为60天。

2 场地工程地质条件

场地为中低山斜坡地貌,整体地势北东低,南西高。建筑场地位于斜坡下侧,斜坡上侧建有2~3层的民用建筑。斜坡间是一道北西—南东($A-B-C-D$)走向的既有支护体系。

勘察报告显示:场地第四系松散层厚度不大,基岩时有出露,单斜产出,岩层倾向 327° 、倾角 23° ,倾向与坡向一致。场地岩土构成自上而下主要为:①第四系残坡积层(Q^{dl+el}),硬~可塑状红粘土,厚度5~6 m;②二叠系上统龙潭组(P_3l),主要以泥岩、页岩为主,中风化~强风化,薄~中厚层状,其间偶夹灰岩和泥质灰岩夹层,岩石较为破碎、岩质较软,厚度15~20 m;③二叠系中统茅口组(P_2m)灰岩,厚层状、细晶结构、含燧石结核、中等风化,岩质坚硬,节理裂隙较发育、岩体较完整,其厚度勘察钻孔未揭穿。龙潭组顺坡向泥页岩为软质岩石,抗滑

收稿日期:2013-03-04

作者简介:何文君(1967-),女(汉族),湖北人,贵州省有色金属和核工业地质勘查局高级工程师,水文地质工程地质专业,硕士,从事水工环地质工作,贵州省贵阳市宝山南路564号,970771030@qq.com。

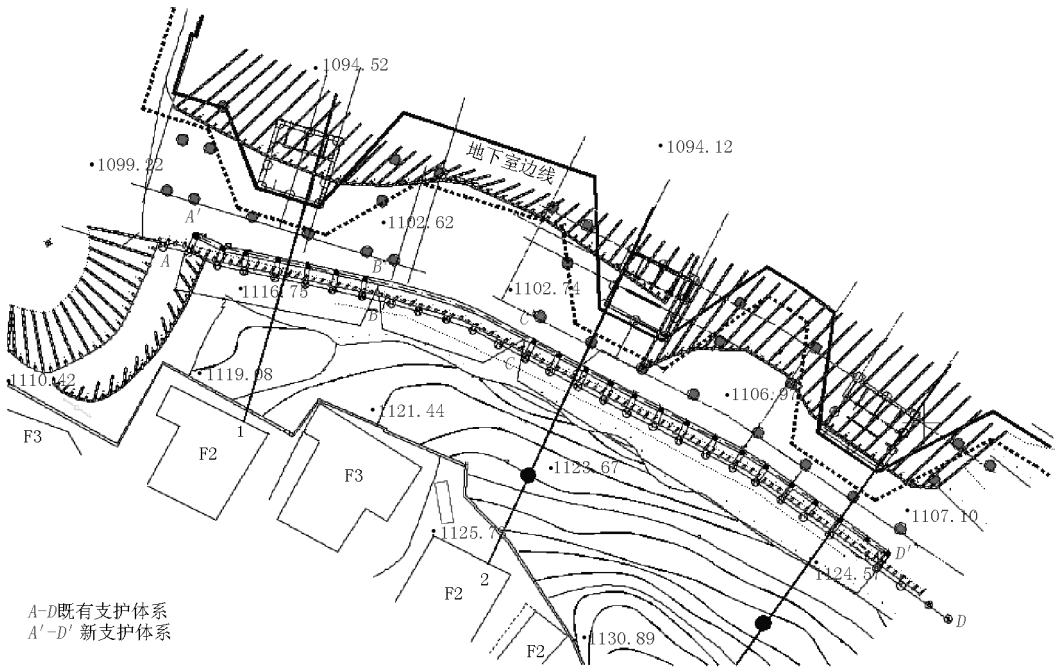


图1 抗滑桩支护体系平面布置图

稳定性差,坡下工程开挖切坡形成的工程边坡坡角一般大于岩层倾角,对工程边坡稳定性不利,报告结论建议应对工程边坡做支护设计。

3 设计施工变更

3.1 问题的提出

施工单位调用 JQ-2 型工程钻机按时进场,采用无水干作业回转钻进施工。在施工过程中,在坚硬岩石(含燧石灰岩)部位,难以钻进,施工进度十分缓慢,日进尺 20~30 cm。在遇软硬岩石介面时,钻头易滑向软岩一侧,导致桩孔倾斜,成桩质量难于保证。另外,由于工作面局限,最大限度只能同时上 4 台桩机,如此计算需要 6 个月才能完成,远超合同工期 2 个月。按设计方案和现有施工技术不能满足要求,于是提出了设计变更。

3.2 微型钢管群桩上嫁接大口径桩施工方案

微型钢管群桩就是多根(3 根以上)小口径钢管桩构成的单桩体。该方案是在软质岩以下坚硬岩部分采用微型钢管群桩代替大口径桩,在上部软质岩部位仍采用大口径桩,将大口径桩嫁接在微型钢管群桩之上构成一单桩体,在工况上能满足大口径单桩的设计要求。

此方案的优点:(1)能解决下部坚硬岩石的干作业钻进困难问题,采用气动潜孔锤冲击钻进工艺,可大大提高工作效益;(2)上部软岩大口径桩施工可行,其结构刚度比用微型钢管群桩支护软质岩石

更有利,同时也解决了与既有桩匹配连接的问题;(3)有这方面的模拟实验作参考设计。

该方案的不足是没有理论依据和成熟的工程经验可借鉴。

3.3 嫁接施工工艺设计及要求

在原设计基础上,将上部软岩段桩径由 600 mm 调整为 900 mm,设计深度为完整坚硬岩面下嵌入深度 $\leq 50\text{ mm}$,以下硬岩段布置 5 根 $\text{O}150\text{ mm}$ 的梅花孔,成孔后安装 $\text{O}130\text{ mm}$ 钢管,钢管内再制作安装 3 $\text{O}25$ 钢筋笼,钢管与孔壁间及钢管内用砂浆泵灌注 M30 砂浆充填成桩。如图 2、3 所示。钢管桩与上部大桩搭接长度为 2000 mm,钢管桩与上部大桩的嫁接及配筋见图 4。

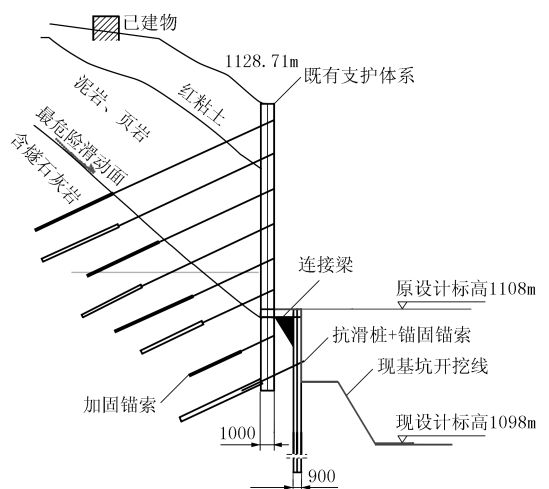


图2 基坑边坡加固支护设计示意图

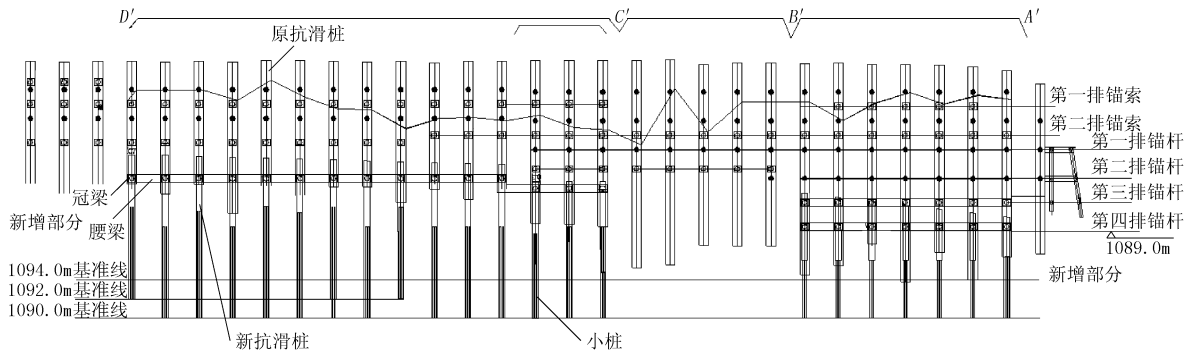


图3 桩锚支护体系立面图

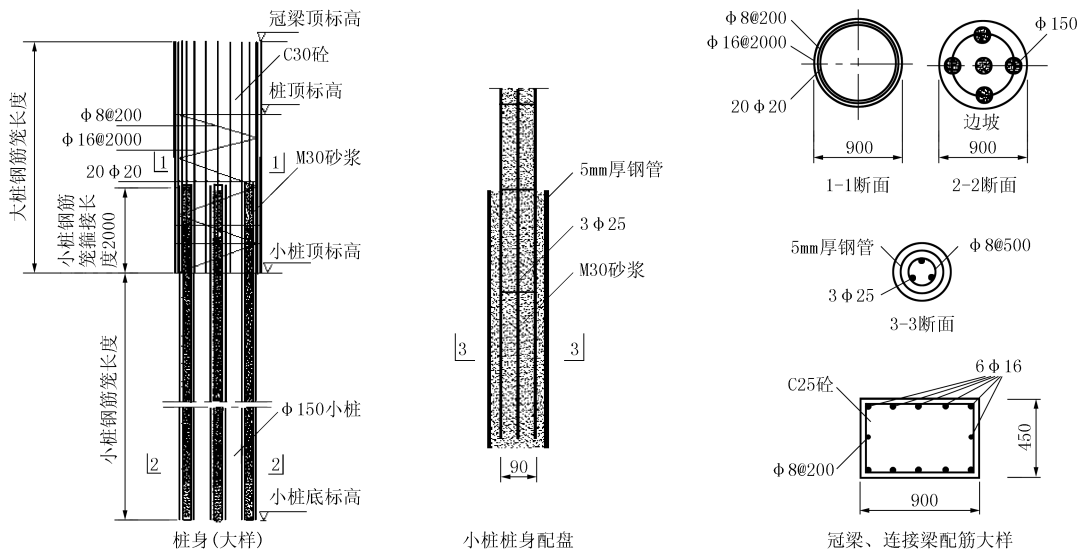


图4 抗滑桩竣工示意图

桩孔施工先用 JQ-2 型钻机干作业施工 $\varnothing 900$ mm 软岩段,并配备 $\varnothing 180$ mm 潜孔冲击器对局部硬岩夹层进行破碎配合钻进。大桩施工至设计位置进行人工清底,然后用 $\varnothing 150$ mm 潜孔冲击器施工钢管桩孔。施工工艺流程为: $\varnothing 900$ mm 桩成孔 \rightarrow $\varnothing 150$ mm 桩成孔(1~5) \rightarrow 下钢管及钢筋笼 \rightarrow 灌注微型钢管桩(1~5) \rightarrow 下 $\varnothing 900$ mm 钢筋笼 \rightarrow 处理绑扎搭接部位 \rightarrow 灌注砼 \rightarrow 下道工序。

微型桩成孔施工前应下置套管将岩屑排至地表孔外,要尽可能用强风清尽孔底及孔壁沉渣,安装钢管前要到 5 个孔全部清查一遍。钢管内灌浆时管口要有栓堵措施,以保证管内灌浆压力。灌浆时要注意观察,待浆液充满钢管外间隙至大桩孔底时卸压填满管内砂浆结束灌浆。若遇裂隙漏浆时应采取交叉分段灌注或多孔同时灌注。

4 设计变更验算

微型桩群具有较好的抗滑承载能力,试验中其承载力略小于普通抗滑桩,可以代替普通抗滑桩用

于边坡加固^[4]。普通大口径抗滑桩底部设置微型钢管抗滑桩群,由于强烈的群桩效应,桩群整体可视一根等效竖梁^[5],组合微型钢管桩变位和内力计算依据刘凯^[6]注浆微型钢管组合抗滑桩模型试验提出的单桩计算模式:

$$\begin{aligned}
 x_y &= x_0 A_5 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_5 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_5 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_5 + \frac{bq}{\alpha^4 EI} E_5 + \frac{b\Delta q}{\alpha^5 EI h_1} F_5 \\
 \frac{\varphi_y}{\beta} &= x_0 A_6 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_6 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_6 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_6 + \\
 &\quad \frac{bq}{\alpha^4 EI} E_6 + \frac{b\Delta q}{\alpha^5 EI h_1} F_6 \\
 \frac{M_y}{\beta^2 EI} &= x_0 A_7 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_7 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_7 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_7 + \\
 &\quad \frac{bq}{\alpha^4 EI} E_7 + \frac{b\Delta q}{\alpha^5 EI h_1} F_7 \\
 \frac{Q_y}{\beta^3 EI} &= x_0 A_8 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_8 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_8 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_8 + \\
 &\quad \frac{bq}{\alpha^4 EI} E_8 + \frac{b\Delta q}{\alpha^5 EI h_1} F_8
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 x_0 = & \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \left(\frac{B_8 D_7 - B_7 D_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} - \frac{A_7 D_8 - A_8 D_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} \cdot \frac{B_8 C_7 - B_7 C_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} \right) + \\
 & \frac{bq}{\alpha^4 EI} \left(\frac{B_8 E_7 - B_7 E_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} - \frac{A_7 E_8 - A_8 E_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} \cdot \frac{B_8 C_7 - B_7 C_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} \right) + \\
 & \frac{b\Delta q}{\alpha^5 E I h_1} \left(\frac{B_8 F_7 - B_7 F_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} - \frac{A_7 F_8 - A_8 F_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} \cdot \frac{B_8 C_7 - B_7 C_8}{A_8 B_7 - A_7 B_8} \right) \\
 M_0 = & - \left(\frac{Q_0}{\alpha} \cdot \frac{A_7 D_8 - A_8 D_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} + \frac{bq}{\alpha^2} \cdot \frac{A_7 E_8 - A_8 E_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} + \right. \\
 & \left. \frac{b\Delta q}{\alpha^3 h_1} \cdot \frac{A_7 F_8 - A_8 F_7}{A_7 C_8 - A_8 C_7} \right) \quad (2)
 \end{aligned}$$

式(1)、(2)中各项系数查文献[7]附表四及附表五得出后,迭代计算得出各微型桩的变位和内力。

单体抗滑桩下部桩体由大口径变更至5根微型群桩,从设计模型考虑,将下部小口径桩群视为微型群桩,以小口径微型群桩作为大口径单桩支护体系计算单元,采用日本较有名玉置三桥今井^[8]等提出的如下群桩效应计算公式:

$$e = 1 - 5 \left[1 - (0.6 - 0.25k)d^{0.3+0.2k} \right] \left[l - m^{-0.22} n^{0.99} \right] \quad (3)$$

式中: e ——群桩效应; m ——荷载方向桩的根数(列数); n ——垂直于荷载方向桩的根数; d ——桩间距系数, $d = \text{桩间距}/\text{桩宽}$; k ——桩头固定度, $k = M/M_j$; M ——实际的桩头约束力矩; M_j ——完全固定时桩的约束力矩。

群桩的水平承载力 = 单桩的水平承载力 × 桩的根数 × 群桩效应 (4)

单桩的水平承载力的取值为小口径单桩体的水平承载力。

通过计算结果可知,微型钢管桩构成的群桩与大口径单桩体的水平承载力值相当。

5 施工成果

通过设计变更和工艺改进,在泥岩、页岩等软岩段采用JQ-2型钻机、并配备 $\varnothing 180$ mm气动潜孔冲击器干作业施工 $\varnothing 900$ mm的桩孔,下部坚硬燧石灰岩段采用气动潜孔锤钻进方法成孔,平均2天就能完成一根桩,10余天完成了全部桩的成孔灌注工作,提前完成了工程任务。施工质量能完全满足设计要求,加快了施工进度,大幅度提高了工作效率。解决了原抗滑桩施工中钻进速度缓慢、钻孔易倾斜、

工作效益低等问题。支护工程经2010年5月~2012年8月的动态监测,边坡稳定。

施工成果表明:边坡支护变更方案经济合理,安全可行。

6 结语

(1)在上软下硬的岩土边坡或岩质边坡中,用大口径桩作支护体系时,可以在上部软质岩(土)中采用大口径抗滑桩,在嵌入下部硬岩后变为小口径群桩连接使用。

(2)通过工程实践,解决了在此工程地质条件下,采用单体通长大口径桩施工条件不满足和单体通长小口径桩抗力不足的问题。在相似的工程地质条件中具有借鉴意义。

(3)设计中单体抗滑桩下部各微型桩的变位和内力计算引用了刘凯^[6]提出的单桩计算模型,该计算源于室内模拟基础。在复杂的工程地质条件下,大、小抗滑桩嫁接的理论依据和计算模型需要进一步研究完善。

参考文献:

- [1] GB 50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [2] JGJ 120-2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] 李寻昌, 门玉明, 等. 锚杆抗滑桩体系的群桩、群锚效应研究现状分析[J]. 公路交通科技, 2005, (9).
- [4] 孙书伟, 等. 微型桩群与普通抗滑桩抗滑特性的对比试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, (10).
- [5] Richards Jr., Thomas D., Rothbauer Mark J. Lateral Loads on Pin Piles (Micropiles) [A]. Geosupport 2004 - Drilled Shafts, Micropiling, Deep Mixing, Remedial Methods, and Specialty Foundation Systems, Proceedings of Sessions of the Geosupport Conference; Innovation and Cooperation in Geo [C]. Reston USA: Geotechnical Special Publication, ASCE, 2004.
- [6] 刘凯. 注浆微型钢管组合桩抗滑机制及计算方法研究[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [7] 铁道部第二勘测设计院. 抗滑桩设计与计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [8] [日]横山幸满. 桩结构物的计算方法和计算实例[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [9] 常保平. 抗滑桩的桩间土拱和临界间距问题探讨[A]. 滑坡文集[C]. 北京: 中国铁道部出版社, 1998.
- [10] 闫金凯. 滑坡微型桩群桩加固工程模型试验研究[J]. 土木工程学报, 2011, (4).
- [11] 刘小丽. 新型桩锚结构设计计算理论研究[D]. 四川成都: 西南交通大学, 2003.