

高土质边坡锚索桩变形加固设计方法研究

唐 祯^{1,2}, 唐秋元²

¹重庆交通大学, 重庆

²中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司, 重庆

Email: tqy-111@163.com

收稿日期: 2021年8月6日; 录用日期: 2021年9月6日; 发布日期: 2021年9月13日

摘 要

由于不合理的施工、设计, 如未按逆法施工、半坡桩桩前嵌固段襟边宽度不够, 造成高土质边坡支挡结构变形。在已变形的锚索桩的外侧设置多道类似F型的加固桩及联系梁进行加固的方法效果明显; 设计时应充分考虑已有桩的损伤及加固桩的发挥作用的有效性; 分析表明加固结构布置对边坡支护效果影响大, 加固结构受力主要在边坡的中下部即应强腰固脚; 同时原有结构受力状态发生变化, 应予以重视, 必要时加强构件强度; 此外, 应充分考虑原有桩已有的变形, 严格控制后期加固结构的变形。

关键词

锚索桩, 加固桩, 联系梁, 强腰固脚

Study on Deformation Reinforcement Design Method of Anchor Pile for High Soil Slope

Zhen Tang^{1,2}, Qiuyuan Tang²

¹Chongqing Jiaotong University, Chongqing

²China Coal Technology & Engineering Chongqing Design & Research Institute (Group) Co. Ltd., Chongqing

Email: tqy-111@163.com

Received: Aug. 6th, 2021; accepted: Sep. 6th, 2021; published: Sep. 13th, 2021

Abstract

Due to the unreasonable construction design, if the half-slope pile is not constructed according to the inverse method, the width of the front edge of the fixed section is not enough, which causes the deformation of the retaining structure of the high soil slope. The method of setting multiple reinforcement piles and beams similar to F-type on the outside of the deformed anchor pile for rein-

文章引用: 唐祯, 唐秋元. 高土质边坡锚索桩变形加固设计方法研究[J]. 土木工程, 2021, 10(9): 811-819.

DOI: 10.12677/hjce.2021.109092

forcement is obvious. The damage of the existing pile and the effectiveness of the reinforced pile should be fully considered in the design. The analysis shows that the reinforcement structure layout has a great influence on the slope support effect, and the reinforcement structure stress is mainly in the middle and lower part of the slope, that is, the waist and feet should be strengthened. At the same time, attention should be paid to the change of the stress state of the original structure, and the strength of the component should be strengthened if necessary. Besides, the existing deformation of the original pile should be taken into full consideration and the deformation of the later reinforcement structure should be strictly controlled.

Keywords

Anchor Pile, Reinforcement Structure Pile, Joining Beam, Stronger Waist and Feet

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

某建筑场地按设计高程平整后, 将与场地西侧已有市政道路间形成高 16~18 m、长约 50 m 的挖方环境土质边坡。拟采用锚索桩板墙支挡, 设计桩截面尺寸 2.0 m × 2.5 m 或直径 1.5 m, 桩中距 4 m, 桩顶附近设置一道或多道孔径 200 mm、12 × 7Φs15.2 锚索, 桩前设计有宽度不小于 6 m 的基岩平台, 再往前有近 6 m 高的地下车库基坑。然而锚索桩板墙施工完后桩前 6 m 宽的基岩平台被不合理的开挖掉, 边坡高度增加近 6 m, 造成已建锚索桩板墙顶水平位移按 2 mm/d 多的速率持续变形。坡顶道路出现开裂、下沉, 经多日累计变形已达 40 mm, 超过了规范[1]的变形警戒值。关键是经验算已建锚索桩板墙不能抵抗增加的土压力, 在边坡前缘坡脚进行了反压应急抢险处理, 但为确保边坡及挡墙长期稳定, 需要对该段变形边坡坡体及支挡结构进行加固。然而采用何种支挡结构在满足建筑功能前提下能达到既安全又经济, 且易于实施是亟待解决的问题, 于是对新型加固支挡结构进行设计研发及进行优化分析是必要的。

2. 边坡地质环境[2]

拟建场地属溶蚀槽谷地貌, 处于近北走向槽谷西侧斜坡中下部, 第四系全新统人工填土(Q4 ml)分布于场地部分地段, 一般厚度薄, 局部缺失; 残积红黏土分布于整个场地, 土层厚近 17 m, 为场地主要覆盖层。钻探揭露的场地下伏基岩地层为三叠系下统嘉陵江组(T_{1j})岩溶角砾岩、灰岩。岩溶角砾岩厚 3~5 m, 岩体破碎呈碎石土状, 强风化, 灰岩较完整, 中等风化。拟建场地构造上处于南温泉背斜西翼, 岩层单斜产出, 岩层产状 290° ∠ 61°, 为反向坡。场地地下水不发育, 岩土参数取值见表 1。

Table 1. Values of geotechnical parameters

表 1. 岩土体力学参数

岩土名称	参数	重度 (KN/m ³)	地基承载力 特征值/kPa	抗剪强度指标		弹性模量/MPa	泊松比	水平抗力系数 /MN/m ³
				C/kPa	φ/°			
红黏土		20	150	28.2	9.4	/	/	/
岩溶角砾岩		23.0	700	0	35.0	2000	.030	/
灰岩		26.5	3000	600	40.0	3000	0.24	250

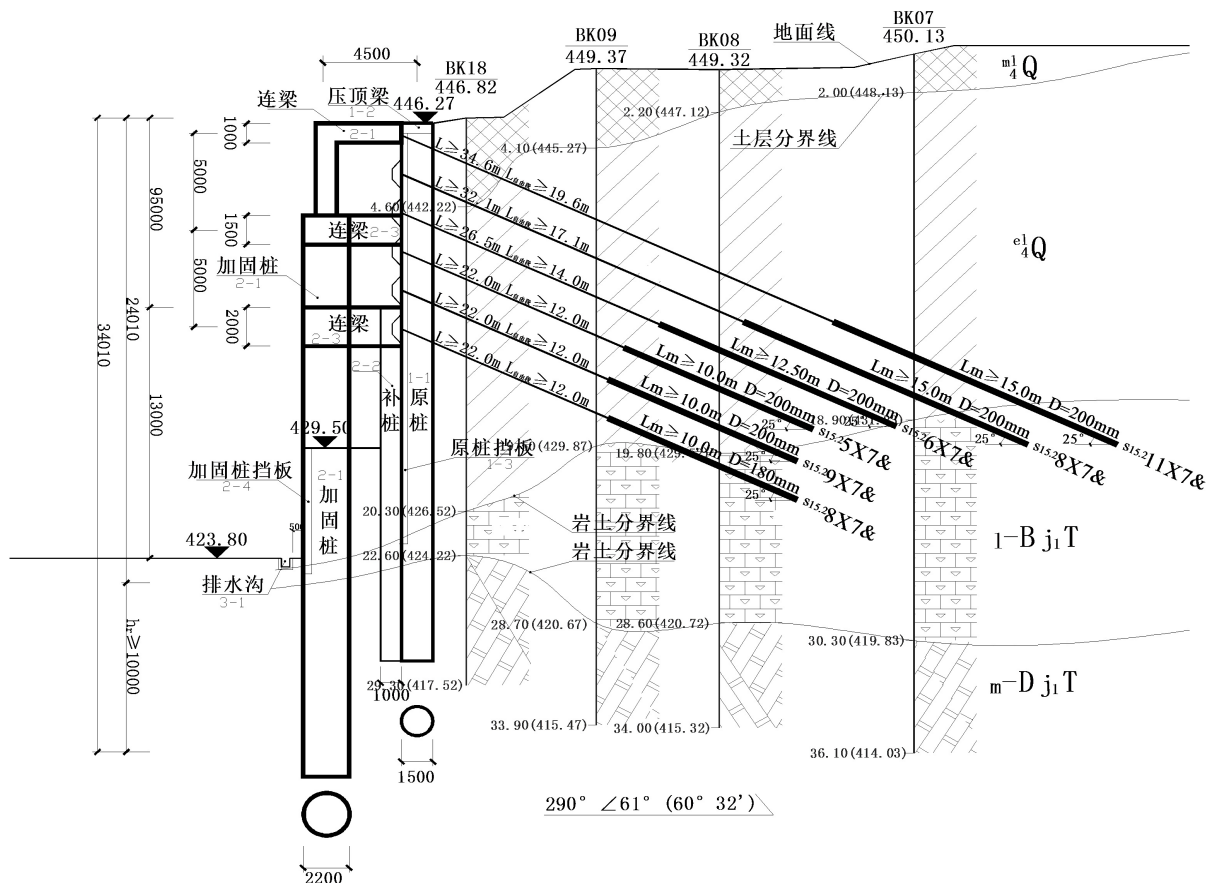


Figure 1. Sectional view of the reinforced structure
图 1. 加固结构剖面图

3. 边坡加固支挡方案[3]

既有边坡工程加固方法[4]有多种。由于坡顶为已有市政道路，坡脚为拟建建筑，显然削方减载、堆载反压是不现实的。而基岩面平缓，土层较厚，且据施工情况表明锚索质量难以控制，因此锚固加固可靠性较差。红黏土注浆效果差，且坡顶道路要断道施工，注浆加固也不行。加大截面法主要用于重力式挡墙。而现有的抗滑桩加固法，是将抗滑桩设于已有的桩中间，紧贴已有的面板等距离布置，由于新增抗滑桩与原有桩之间的距离一般较近。通过实体模型数值仿真分析，桩的嵌固段水平应力集中的范围在3倍的桩径内[5]，桩的嵌固段将产生的应力重叠集中作用，使得嵌固段岩土体的水平承载力难以满足要求，并且施工较困难，同时易对原有桩的嵌固段产生扰动甚至破坏。

经过多方案比选，在距离原有桩前缘的位置布置加固桩，且加固桩与原有桩之间设置多道联系梁，形成类似F形的加固桩结构，对已有变形锚索桩支护进行加固。通过以上实施方式，原有支护桩由受压桩变成了偏心抗拔桩，加固桩为偏心受压桩，使该结构抵抗变形能力增强。同时原有支护桩的弯矩及抗拔力可能不够，需采用增大截面法加固。即在原有支护桩中下部采用增大截面法补桩，以抵抗增大的弯矩及抗拔力。

该加固结构不仅抗边坡变形能力较强，结构受力较合理，而且对原有支护结构扰动较小，施工方便[6]。加固结构典型剖面见图1。为保证施工期间的安全，需对变形边坡进行应急反压处理，跳桩施工。

4. 加固结构的受力模型分析

我国学者对门型双排桩支护结构[7]分析研究较多,但对F型桩加固锚索桩的支护结构内力及变形分析方法的研究还远远不能满足工程实践的需要。由于理论分析计算存在一定的困难,本文对该支护结构采用平面弹性支点杆系结构进行分析。在确定加固结构的受力模型时需考虑:1) 桩的支撑条件只考虑竖向约束,相当于自由端。因为通过桩实体模型数值仿真分析,桩底始终要产生转动,且桩身弯矩与理正软件按桩底自由端计算结果相当,桩底约束宜采用自由端进行计算[8]。当然如桩刚度大,侧向荷载小,桩顶位移小,可按铰支或固定端考虑,此时桩的内力偏大,不经济。2) 在加固桩与原桩之间有土体(含强风化层)的地段用地层弹簧及桩间土对桩侧的初始压力[9]来考虑桩土相互耦合作用。3) 联系梁对双排桩受力起到协同变形和分配内力的作用,其连接处理对整个支护结构的受力性能及变形有较大的影响[10]。当桩与联系梁处理方式为刚接时,联系梁协同变形及分配内力的作用最强,因此,加固联系梁与原有桩一定要刚性连接。4) 加固桩与原有桩之间的距离大于加固桩的桩宽的2~3倍,使桩的嵌固段产生应力集中的重叠范围减少,同时加固桩的嵌固段宜深于原有桩的嵌固段以便更好地发挥嵌固段的作用;5) 根据鉴定报告,桩身完整性均合格,但支护结构的安全性评定为Dsu级[11],于是原有锚索桩挡墙构件承载力按0.8折减,新增桩结构抗力发挥系数按0.8考虑[4],即将侧向土压力增大1.25倍以实现上述要求。同时原有支护桩上考虑锚索拉力。加固结构受力模型见图2。

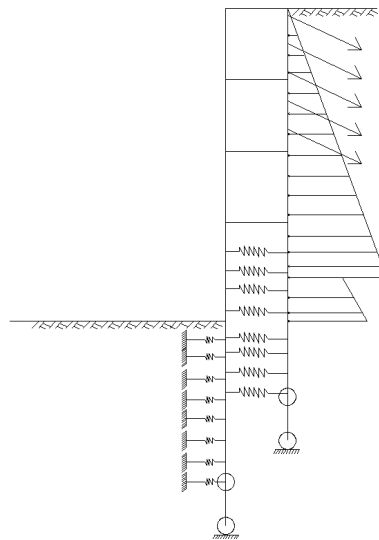


Figure 2. Mechanical model drawing of reinforced structure
图 2. 加固结构受力模型图

5. 加固结构优化

通过设置不同的加固桩、联系梁的位置及道数,按平面杆系结构弹性支点有限元数值分析计算,可得出有益的结论,从而优化加固设计。

由于篇幅有限,本文只涉及一道锚索的矩形锚索桩加固设计优化。通过设计不同加固横梁的道数、位置以及不同的桩间距,在九种不同的工况下(工况设置见图3),计算出桩顶最大位移及桩身最大正负弯矩。从加固横梁布置工况与桩顶位移关系图3及加固横梁布置工况与桩最大正负弯矩关系图4中可以看出,随着横梁道数的增加桩顶位移降低,内力减小;桩间距增大,桩顶位移降低,内力减小,但幅度不大。在中下部设置三道联系梁的效果与在上中下设置五道联系梁的效果相当。具体分析如下:

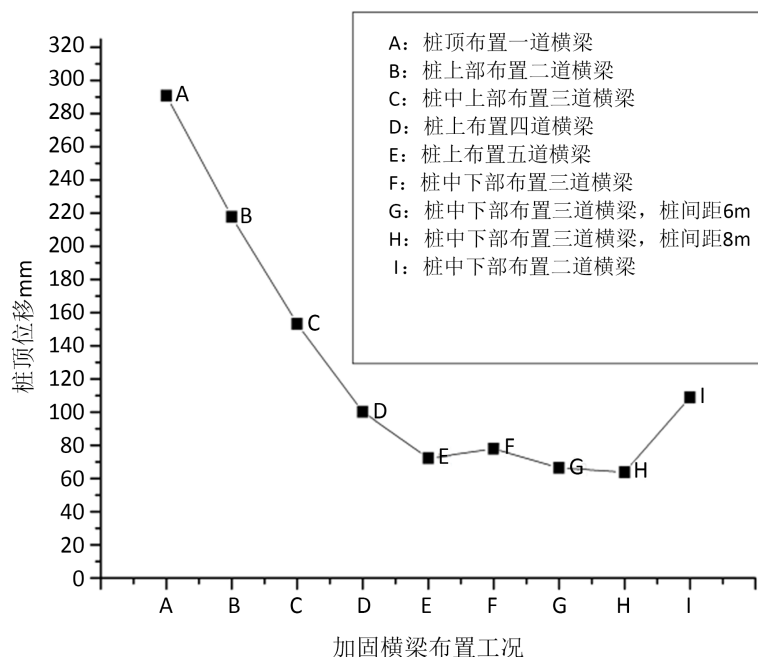


Figure 3. Diagram of relationship between arrangement of reinforced beam and displacement of pile top

图3. 加固横梁布置工况与桩顶位移关系图

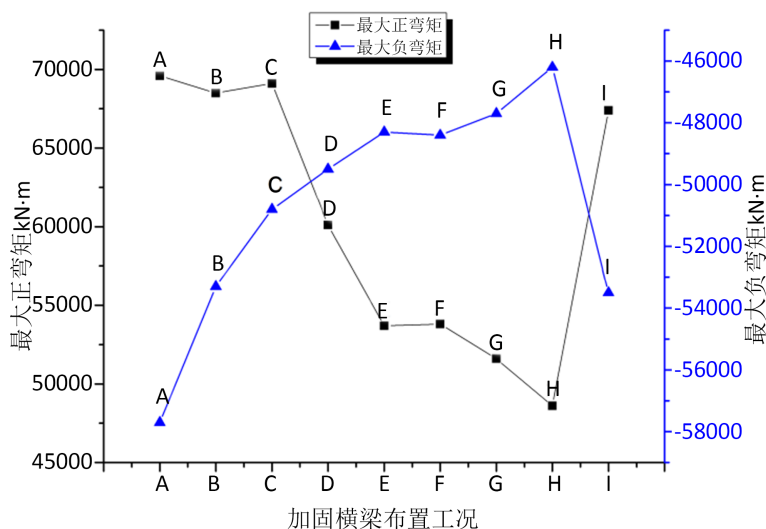


Figure 4. Diagram of the relationship between the layout of the reinforced beam and the maximum positive and negative bending moments of the pile

图4. 加固横梁布置工况与桩最大正负弯矩关系图

加固桩采用直径 2.20 m 的圆桩, 与原桩水平间距 4.50 m (约为桩径的 2 倍), 从顶到底按 5 m 间距设置五道联系梁时, 桩顶位移为 72.30 mm (见图 5, 位移计算考虑了土压力 1.35 分项系数), 但计算支护结构变形时, 应采用荷载效应的准永久组合 [1], 即应为 $72.30/1.35 = 53.60$ mm。考虑到原支护桩已产生 40 mm 的变形, 合计变形不超过 100 mm [12], 后期应加强边坡变形监测工作。桩最大正负弯矩为 $-48,300 \sim 53,700$ kN·m (见图 6), 且顶部两道联系梁及桩内力很小, 内力往中下部桩梁传递, 顶部两道联系梁可取消或弱化处理。从上往下设置三道顶部联系梁时, 桩顶位移为 $153/1.35 = 113.30$ mm, 变形过大不满足要求。如

从下往上在中下部布置三道联系梁时, 桩顶位移为 $78.10/1.35 = 57.85$ mm (见图 7), 桩最大正负弯矩为一 $48,400 \sim 53,800$ kN·m (见图 8), 与布置五道联系梁结果相当。另外, 当加固桩与原桩水平间距取 6 m (约为桩径的 3 倍), 从下往上布置三道联系梁时, 桩顶位移为 $66.40/1.35 = 49.19$ mm; 当加固桩与原桩水平间

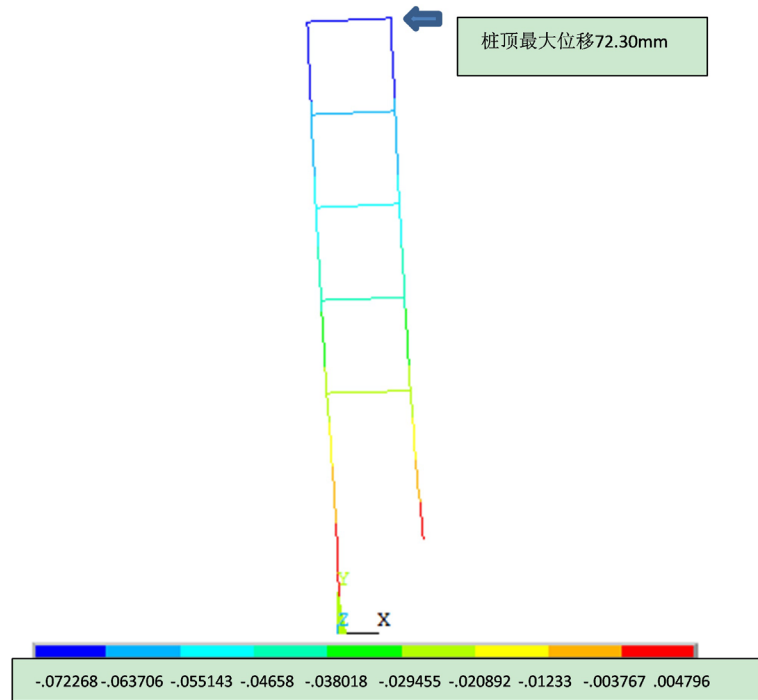


Figure 5. Displacement cloud of the five beam reinforced structure
图 5. 五道联系梁加固结构位移云图

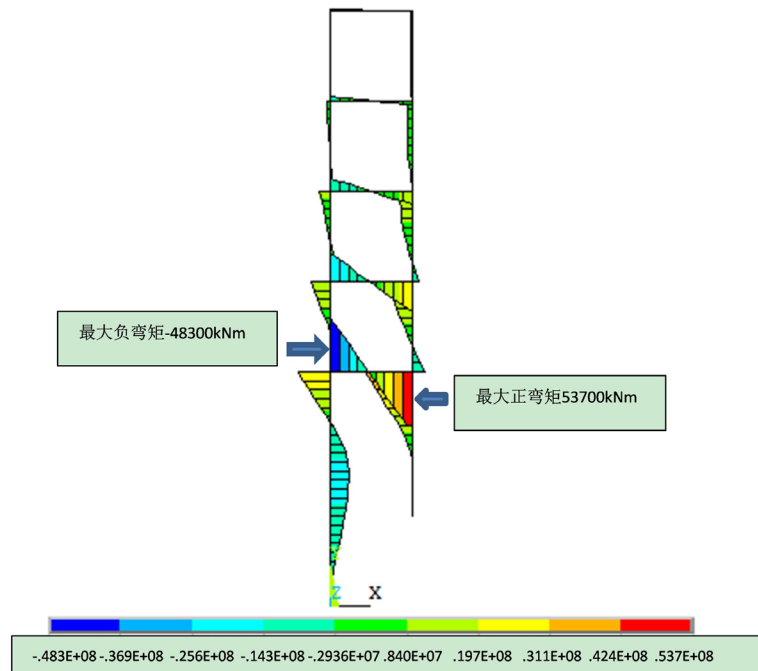


Figure 6. Cloud image of bending moment of five beam reinforced structure
图 6. 五道联系梁加固结构弯矩云图

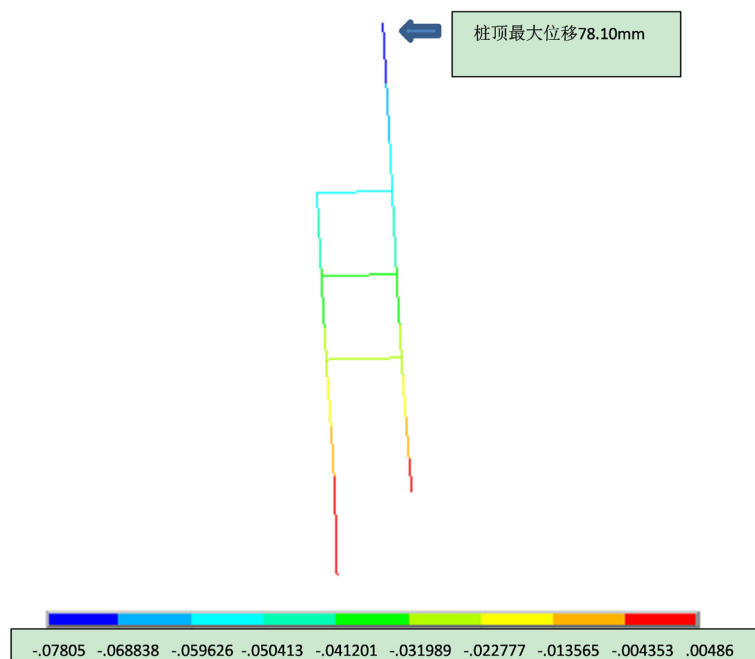


Figure 7. Displacement cloud of the middle and lower three beams reinforced structure

图 7. 中下部三道联系梁加固结构位移云图

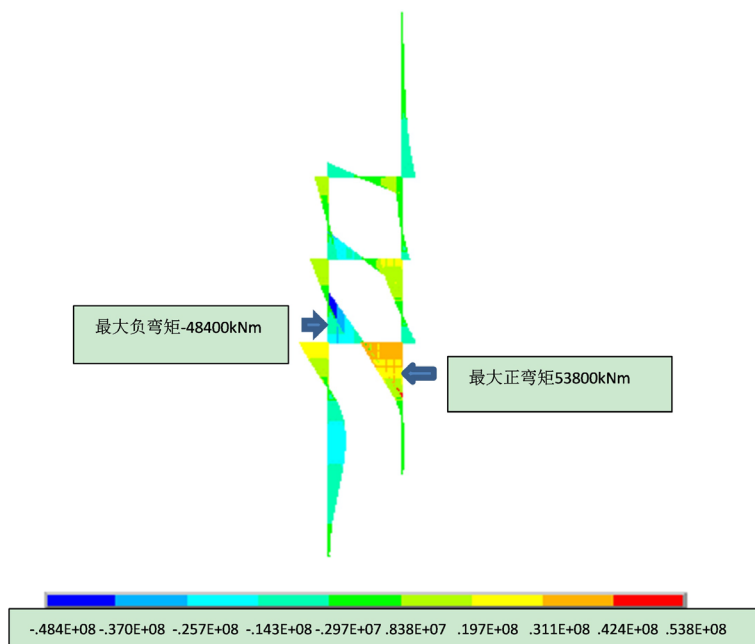


Figure 8. Cloud picture of bending moment of reinforced structure with three connecting beams in middle and lower parts

图 8. 中下部三道联系梁加固结构弯矩云图

距取 8 m (约为桩径的 4 倍), 从下往上在中下部布置三道联系梁时, 桩顶位移为 $63.86/1.35 = 47.30$ mm; 位移和内力有一定的减少, 但幅度不大, 且加固桩与原桩水平间距增大, 要占用坡下用地空间。

因此, 从安全、经济、合理性分析, 在中下部从下往上布置三道联系梁, 加固桩与原桩水平间距取

2~3 倍桩径的加固结构较优。

按照以上分析结果, 对变形的边坡进行了加固处理, 处理后结构实景图见图 9, 经过多年的运行及变形监测, 效果较好。



Figure 9. Slope deformation reinforcement structure real scene
图 9. 边坡变形加固结构实景

6. 结论

随着山地工程建设高速发展, 高土质边坡支挡结构变形加固的项目越来越多, 采用安全、经济、合理的加固结构势在必行。本文通过在已变形的锚拉桩的外侧设置多道类似 F 型的加固桩及联系梁, 从加固方案的确定、加固结构的受力模型、加固结构优化几方面进行了分析研究, 得出了有益的成果, 可为类似的工程设计提供参考, 主要有以下结论:

- 1) 已变形的锚拉桩的外侧设置多道类似 F 型的加固桩及联系梁的结构抗侧向变形能力强。
- 2) 设计时可通过增加侧向土压力的方法来考虑已有桩的损伤及加固桩的发挥作用的有效性。
- 3) 加固桩与原有桩的水平间距需 2~3 倍原有桩桩径, 避免嵌固段压应力重叠集中。
- 4) 联系梁的道数根据坡高确定, 间距可取 5 m 左右。加固桩及联系梁应设置边坡的中下部, 能充分发挥加固结构构件的强度, 即对边坡强腰固脚。
- 5) 原支护锚索桩由压弯构件变成拉弯构件, 需验算其强度, 其弯矩、抗拔力可能增大, 可采取增大截面法进行加固。
- 6) 应充分考虑原有桩已产生了一定变形的实际情况, 因此要控制加固结构后期变形。控制桩顶变形总量不超过 100 mm [12]是可行的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑边坡工程技术规范(GB 50330-2013) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2] 中兵勘察设计研究院. 重庆金隅大成南山郡一期边坡补充勘察工程地质勘察报告[Z]. 重庆, 2013.
- [3] 中煤科工集团重庆设计研究院有限公司. 重庆金隅大成黄桷垭项目(南山郡)一期环境边坡治理加固工程施工图

- 设计[Z]. 重庆, 2014.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑边坡工程鉴定及加固技术规范(GB 50843-2013) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [5] 重庆市城乡建设委员会. 建筑地基基础设计规范(DB J50-047-2016) [S]. 重庆: 重庆建设技术发展中心, 2016.
- [6] 中煤科工集团重庆设计研究院有限公司. 锚拉桩支护的边坡变形加固结构及施工方法[P]. 中国专利: ZL 2015 1 0606593.0, 2017-11-21.
- [7] 贺斯顿, 刘杰, 汪智, 等. 椅式双排桩支护结构内力变形分析方法及影响因素[J]. 土木工程, 2021, 10(4): 9.
- [8] 黄钊鑫, 晁洋洋, 吴坚. 抗滑桩或桩板墙桩底支承错误选用的设计风险[J]. 土木工程, 2021, 10(4): 6.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑支护技术规程(JGJ 120-2012) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [10] 雷用, 刘兴远, 吴曙光. 建筑边坡工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [11] 重庆市建设工程质量检验检测中心. 重庆金隅大成黄桷垭项目一期环境边坡治理工程 F9~G15 段支护结构安全性鉴定检测报告[Z]. 重庆, 2013.
- [12] 国家铁路局. 铁路路基支挡结构设计规范(TB10025-2019) [S]. 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2020.