

王秀丽,董文燕,金兆鑫. 品字型抗滑桩对滑坡的加固效果研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 8-10, 15. [Wang Xiuli, Dong Wenyan, Jin Zhaoxin. Research on reinforcement effect on landslide with triangle anti-slide piles [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 8-10, 15.]

品字型抗滑桩对滑坡的加固效果研究^{*}

王秀丽^{1 2}, 董文燕^{1 2}, 金兆鑫^{1 2}

(1. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 利用 FLAC^{3d} 程序对以组为单位进行设计的品字型抗滑桩对于滑坡的加固效果进行研究。其中, 品字型抗滑桩分为无、有桩顶连梁两种形式。通过模拟计算, 对在布置无、有桩顶连梁的品字型抗滑桩时, 坡体的安全系数, 桩的侧向位移、弯矩、剪力进行对比分析。通过对比得出: 桩顶有连梁时, 坡体的安全系数明显增加; 桩的侧向位移明显减少, 且一组中各桩的位移基本一致; 桩顶弯矩明显增大, 且滑动面以上各桩弯矩分布相对均匀, 滑动面以下各桩弯矩相对有所减小; 桩顶剪力均有所增加, 滑动面以上, 前排桩剪力峰值减小, 后排桩剪力峰值增大, 各桩的剪力幅度比较均匀。再通过将布置桩顶有连梁品字型抗滑桩与前后排相对应的无连梁双排抗滑桩进行对比, 得出前者坡体的安全系数大, 桩的侧向位移小, 且节约材料, 进一步验证了其优越性。因此, 在抗滑桩结构形式设计中, 桩顶有连梁品字型抗滑桩是更值得推广的结构形式。

关键词: FLAC^{3d}; 滑坡; 品字型抗滑桩; 桩顶连梁

中图分类号: P315; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)02-0008-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.02.002

在抗滑支挡结构形式中, 抗滑桩因具有抗滑能力强、不易恶化滑坡、适用条件广泛、施工起来安全简便等优点在治理滑坡时被广泛应用。对于中小型滑坡, 一般布置单排抗滑桩即可。但对于大型滑坡的治理, 普通的单排抗滑桩由于需要采用很大的截面面积而常常无法满足实际工程的需要。因此, 实际工程中常采用双排抗滑桩来提供更大的抗滑力来解决单排桩抗滑能力不足的问题。目前, 双排抗滑桩的形式分为排架抗滑桩、门架式双排抗滑桩、h型排架抗滑桩、拱形单元组合抗滑桩、框架式抗滑桩等。很多学者对不同形式的抗滑桩进行了相应的研究。蔡袁强等^[1-2]通过建立双排桩(排架)的理想弹塑性模型, 分析了双排桩的内力和变形特性。年廷凯等^[3]对常规双排桩、等效错列双排桩及等间距错列双排桩三种布桩形式下, 抗滑桩-边坡体系整体稳定性及桩身内力分布情况进行了研究。邹盛堂等^[4]通过对门架式双排抗滑桩与普通双排抗滑桩的有限元分析, 对比得到门架式双排抗滑桩的位移、内力明显小于后者。钱同辉等^[5]将双排门架式抗滑桩视为桩梁岩土共同作用的单层多跨框架结构, 分析其内力和变形。申永江等^[6]通过建立双排抗滑桩有限元模型, 分析桩顶连接方式对抗滑桩的侧向位移分布和内力分布的影响, 找出最优的桩顶连接方

式。张小丁等^[7]对h型抗滑桩的受力特征和变形特征等进行了数值分析。欧孝夺等^[8]通过室内模型试验及数值计算, 对h型抗滑桩的受力及变形特征进行了相应研究。余艳霞^[9]对拱形单元组合抗滑桩的结构形式和桩顶位移等进行了研究。钱同辉^[10]提出了一种基于空间协同作用的框架式抗滑桩设计方法及其受力分析模型, 运用空间协同分析机理对框架式抗滑桩结构的内力和变形规律进行了分析。上述这些研究针对的都是常规的双排抗滑桩, 目前, 一些工程中开始采用可以以组为单位进行设计的抗滑桩, 如品字型抗滑桩。品字型抗滑桩又可分为桩顶无连梁和有连梁这两种形式。对于这种比较新型的组合抗滑桩形式, 在工程中常根据工程经验进行设计, 但对设计方法的研究比较少, 设计理论比较缺乏, 因此本文就品字型抗滑桩对滑坡的加固效果进行研究, 以期对其设计有所帮助。

1 计算模型及岩土参数选取

本文采用有限元程序 ANSYS 建立边坡三维模型, 利用接口软件形成 FLAC^{3d} 数值计算模型(图

^{*} 收稿日期: 2014-10-10 修回日期: 2014-11-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAK12B07)

作者简介: 王秀丽(1963-), 女, 辽宁沈阳人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事大跨度空间结构及滑坡泥石流防治工程技术研究。E-mail: wangxl@lut.cn

1), 模型长度 541 m, 高度 165 m, 厚度 15 m。抗滑桩, 连梁采用结构单元模拟。厚度 15 m 的模型设立两组抗滑桩。抗滑桩采用直径为 1.8 m 的圆形桩, 桩长 35 m。每组抗滑桩的桩中心距为 4 m, 两组抗滑桩的桩群中心距为 7 m。连梁的截面尺寸为 2 m × 2 m。抗滑桩形式如图 2 所示。桩和岩土体的基本参数见表 1。岩土体材料采用 Mohr-Coulomb 理想弹塑性模型, 抗滑桩及桩顶连梁采用弹性模型。模型边界条件: 模型左右两侧边界平面法向约束, 下边界平面水平和竖向约束, 上边界面为自由表面。

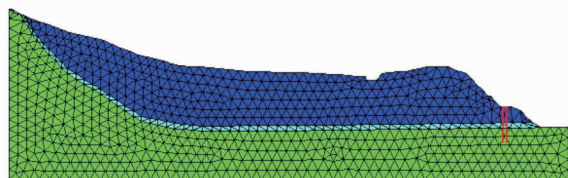


图 1 计算模型

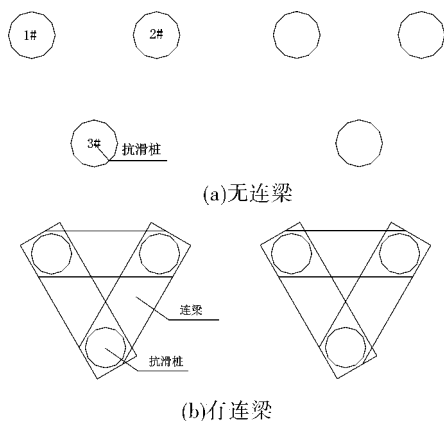


图 2 抗滑桩形式

表 1 桩和岩土体的物理力学参数

材料类型	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ MPa	泊松比	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	黏聚力/ kPa
滑体	22	22.4	0.27	30	13
滑带	18.5	5	0.35	10.2	19
滑床	20	21.5	0.29	25	22
抗滑桩及连梁	25	20 000	0.30		

2 三维模型数值模拟结果分析

在计算参数相同的情况下, 建立布置无、有桩顶连梁的品字型抗滑桩的坡体三维模型, 进行数值模拟计算, 得出相应的坡体的安全系数、桩的侧向位移、桩的弯矩和剪力, 对其进行对比分析。

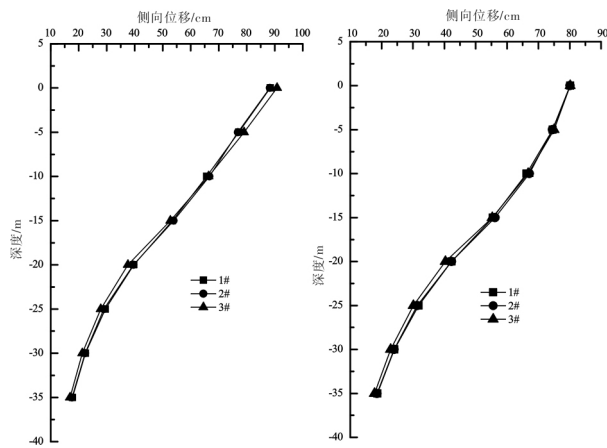
2.1 坡体安全系数

采用有限元程序 ANSYS 建立边坡三维模型, 利用接口软件形成 FLAC^{3d} 数值计算模型。运用强度折减法求坡体在初始状态下的安全系数。坡体在初始状态下的安全系数为 1.04, 属于欠稳定状态, 需要加固。采用布置抗滑桩的方式进行加固。当布置桩顶无连梁的品字型抗滑桩时, 坡体的安全系数为 1.28, 其安全系数相对于初始状态下的安全系数增加了 23%, 说明布置抗滑桩起到了抗滑的效果。当布置桩顶带连梁的品字型抗滑桩时,

坡体的安全系数为 1.52, 其相对桩顶无连梁时安全系数增加了 19%, 说明桩顶设连梁时, 抗滑效果更好。分析桩顶设连梁时, 安全系数增加的主要原因是连梁将品字形的三根独立的桩连接起来, 形成一个整体, 一方面发挥三角形的稳定性, 增强自身的抗滑动能力, 另一方面, 由于空间整体的作用, 土体的移动受到阻碍, 安全系数增大。

2.2 桩的侧向位移

图 3 为两种抗滑桩的桩身侧向位移分布图。由图 3 可知, 桩顶无连梁时, 3 根抗滑桩的桩顶位移不同, 且最大位移为 90.86 cm; 桩顶有连梁时, 3 根抗滑桩的位移几乎一致, 最大位移为 80.18 cm。由此可以看出, 由于桩顶连梁的布置, 约束抗滑桩的侧向位移, 使得各桩的位移变的基本一致, 且最大位移明显减小。分析产生这种结果的主要原因: 由于桩顶有连系梁刚接, 形成空间整体结构, 结构的刚度增大, 位移减小; 另外, 由于连梁的连接, 使得各桩的变形相协调, 位移基本一致。

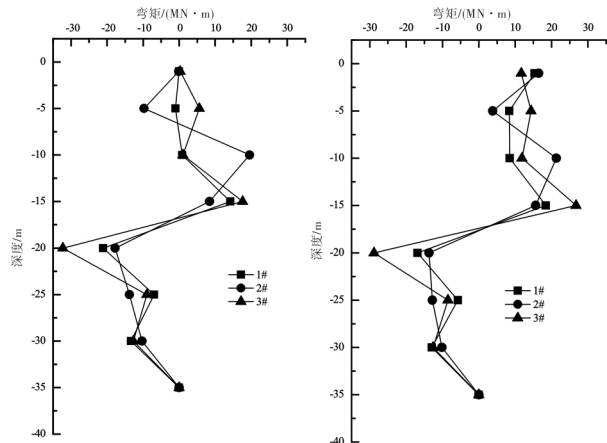


(a) 无连梁 (b) 有连梁

图 3 桩身侧向位移分布

2.3 桩的弯矩

图 4 为这两种抗滑桩的桩身弯矩分布图。由图 4 可知, 由于桩顶连梁的布置, 桩顶弯矩明显增大, 滑动面以上, 各桩弯矩分布相对更加均匀, 滑动面以下, 各桩最大弯矩相对有所减小。分析产生这种结果的原因: 由于桩顶有连梁的品字型抗滑桩形成超静定刚架结构, 桩梁连接处形成反



(a) 无连梁 (b) 有连梁

图 4 桩身弯矩分布

弯矩,从而减小滑动面以下的最大弯矩,滑动面以上,由于桩顶连梁对各桩的协调作用,使得各桩受力更加均匀,分布更加合理。

2.4 桩的剪力

图5为这两种抗滑桩的桩身剪力分布图。由图5可知,桩顶有连梁时,一组中各桩的桩顶剪力有所增加,滑动面以上,前排抗滑桩剪力峰值减小,后排抗滑桩剪力峰值增大,各桩的剪力幅度比较均匀。

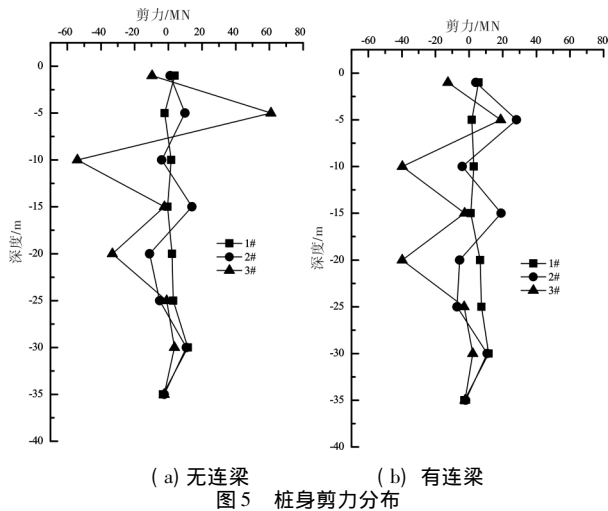


图5 桩身剪力分布

综合分析可得,坡体布置桩顶有连梁品字型抗滑桩时,坡体的安全系数更高,桩身位移明显减小,弯矩和剪力分布更加均匀合理。因此,实际工程中,可以建议采用桩顶带连梁的品字型抗滑桩。

3 进一步验证优越性

为进一步验证桩顶带连梁品字型抗滑桩的优越性,在同等面积上,布置前后排相对应抗滑桩,如图6所示,进行模拟计算,得到布置前后排相对应的抗滑桩时:坡体的安全系数为1.28,抗滑桩桩顶最大位移为82.73 cm。而由前述已知布置桩顶有连梁品字型抗滑桩时,坡体的安全系数为1.52,抗滑桩桩顶最大位移为80.18 cm。对比可得,布置普通的前后排相对应的抗滑桩时,其安全系数明显小于布置桩顶带连梁品字型抗滑桩时

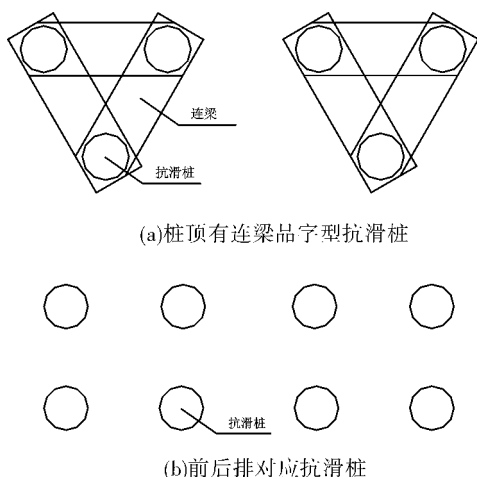


图6 不同形式抗滑桩

的安全系数,抗滑桩桩顶最大位移稍大于品字型抗滑桩位移。另外,同等面积上,普通的需要布置8根抗滑桩,品字型时需布置6根抗滑桩和2组连梁。比较2根抗滑桩和2组连梁的体积。抗滑桩桩长35 m,圆形截面,直径1.8 m,所以一根抗滑桩的体积约为89 m³。连梁的截面为2 m×2 m,一组桩顶连梁的总体积约为40 m³。由此可见,设置一组桩顶连梁所需的材料仅约为一根抗滑桩所需材料的1/2。因此,布置桩顶有连梁的品字型抗滑桩,既可以增大安全系数,减小桩顶位移,又可以节约材料,节省造价,进一步验证了其优越性。

4 结论

(1) 品字型抗滑桩桩顶有连梁和无连梁,在其他各项参数相同的情况下,治理滑坡时,坡体的安全系数分别为1.52和1.28,可见桩顶有连梁下的安全系数更高。

(2) 桩顶有连梁的品字型抗滑桩桩顶最大侧向位移为80.18 cm,无连梁时,桩顶最大侧向位移为90.86 cm。可见有连梁时,最大侧向位移显著减小。主要原因为三根独立的品字型抗滑桩在桩顶连梁的作用下,形成空间整体结构,使得两者之间有较好的协调作用,整体刚度增大,从而可以减小桩顶的最大侧向位移,使得弯矩和剪力分布更加均匀,各抗滑桩受力更加合理,使得各桩都充分发挥作用。

(3) 桩顶设置连梁与单纯的增加抗滑桩的数量相比,设置连梁时,安全系数为1.52,一组连梁的总体积为40 m³。单纯的增加一根抗滑桩时,安全系数为1.28,一根抗滑桩体积为89 m³。可见设置连梁时安全系数高,节约材料,因此更加经济合理。

(4) 综合安全系数,侧向位移,内力,经济等影响因素,在抗滑桩结构形式设计中,桩顶有连梁品字型抗滑桩是更值得推广的抗滑支挡结构形式。

参考文献:

- [1] 蔡袁强,赵永倩,吴世明,等. 软土地基深基坑中双排桩式围护结构有限元分析[J]. 浙江大学学报, 1997, 31(4): 442-448.
- [2] 王军,王磊,肖昭然. 双排桩支护排距的有限元分析与研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6): 1096-1099.
- [3] 年廷凯,李东晨,徐海洋,等. 双排抗滑桩加固边坡稳定性与荷载传递机制分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(4): 124-129.
- [4] 邹盛堂,戴自航. 双排抗滑桩与门架抗滑桩的有限元分析对比[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2012, 37(4): 769-774.
- [5] 钱同辉,唐辉明. 双排门式抗滑桩的空间计算模型[J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1137-1141.
- [6] 申永江,孙红月,尚岳全,等. 双排抗滑桩桩顶连接方式的优化设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Sup. 1): 3034-3038.
- [7] 张小丁. h型抗滑桩治理某红层滑坡的数值分析[D]. 衡阳: 南华大学, 2013.
- [8] 欧孝夺,唐迎春,崔伟,等. h型抗滑桩模型试验及数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(9): 1936-1943.
- [9] 余艳霞. 拱形单元组合抗滑桩体型研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [10] 钱同辉,夏文才,朝泽刚,等. 考虑空间协同作用框架式抗滑桩的计算方法[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2011, 36(6): 1143-1148.

(下转第15页)

- 性评估方法及标准 [J]. 城市地质, 2012, 7(4): 7–11.
- [16] 杨勇, 郑凡东, 刘立才, 等. 北京平原区地下水水位与地面沉降关系研究 [J]. 工程勘察, 2013(8): 44–48.
- [17] Norden E H, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [J]. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454: 899–955.
- [18] 朱金龙, 邱晓辉. 正交多项式拟合在 EMD 算法端点问题中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 23(2): 72–74.
- [19] 赵守生, 刘明坤, 周毅. 北京市地面沉降监测网建设 [J]. 城市地质, 2008, 3(6): 40–45.

GPS-based Research on Changes of Land Subsidence in Beijing from 2007 to 2012

Wang Yong^{1,2}, Liu Yanping³ and Hu Leyin⁴

(1. School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 2. State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Wuhan 430077, China; 3. School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 4. Beijing Earthquake Administration, Beijing 100080, China)

Abstract: GPS data of Beijing from 2007 to 2012 are processed by Empirical Mode Decomposition (EMD) method and are compared with bury of groundwater to analyze the land subsidence in recent years. Firstly, according to the yearly land subsidence velocity during 2007–2012, settlement center in Beijing is discovered to be formed together as a Middle East settlement funnel. DSQI cumulative settlement reached 510mm, yearly land subsidence velocities of DSQI, CHAO, NLSH stations are respectively 85 mm/a, 41.7 mm/a and 20 mm/a. Secondly, trend terms in vertical trend sequence of DSQI and NLSH station are extracted according to EMD method to analyze the subsidence trend. Finally, the relation between bury of groundwater and subsidence trend of GPS stations is comparative analyzed. According to the comparison, it is found that subsidence trend is consistent well with the change of groundwater depth, and the groundwater level change is the main inducement of the occurrence and development of land subsidence.

Key words: GPS; land Subsidence; Empirical Mode Decomposition; groundwater; Beijing

(上接第 10 页)

Research on Reinforcement Effect on Landslide with Triangle Anti-slide Piles

Wang Xiuli^{1,2}, Dong Wenyan^{1,2} and Jin Zhaoxin^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Western Engineering Research Center of Disaster Mitigation in Civil Engineering of Ministry of Education, Lanzhou 730050, China)

Abstract: By using the FLAC^{3d} program, the reinforcement effect on landslide with triangle anti-slide piles which designed by the unit of group is researched. The triangle anti-slide piles can be divided into two forms by whether having the tie beams. By simulate calculation, in arrangement for triangle anti-slide piles on the slope, FOS of slope, side displacement of piles, bending moment and shear stress of piles are compared and analyzed. Results show that the FOS of slope increase obviously when there are beams between the piles; side displacement of each pile in a group is basically the same; The bending moment of pile top increases obviously, the distribution of the bending moments is relatively uniform above the sliding surface, and those below decrease relatively; the shear stress of each pile tip has increased, above the sliding surface the shear stress peak of the front row has decreased, the back row has increase, and the amplitude of each pile is uniform. Then compared with the common double rows, it can seen that, when layout the triangle anti-slide piles, the FOS of slope is bigger, the displacement is small, and they can save material to prove its superiority. Above all, the triangle anti-slide piles which have beams on its top is a structure form more worthy in the anti-slide piles design.

Key words: FLAC^{3d}; landslide; triangle anti-slide piles; pile tip tie beam