

边坡抗滑桩加固效果监测分析

沈 强, 陈从新, 汪 稔, 刘小巍

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 抗滑桩是边坡加固的重要手段之一, 特别当边坡滑动面确定, 滑动面下覆地层强度较好时, 更能体现其优越性。但是当边坡下部地层还存在较软弱层时, 采用抗滑桩加固, 有可能在深层形成新的滑动面, 导致抗滑桩加固效果不理想甚至失败等。通过对湖北程潮铁矿西区边坡抗滑桩加固效果监测成果的分析表明: 该边坡加固后存在浅层和深层 2 个滑动面, 因为抗滑桩发生作用后, 在原有浅层滑动面的基础上, 出现了新的软弱面, 从而形成浅层和深层 2 个滑动面; 抗滑桩由于长度原因只对浅层滑动起加固作用; 同时, 地下水是影响边坡变形的重要因素。

关键词: 岩土力学; 边坡; 抗滑桩; 监测; 滑动面; 地下水

中图分类号: TD 824.7⁺2, P 642.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)06-0934-05

MONITORING AND ANALYSIS OF REINFORCEMENT EFFECT ON SLOPE ANTI-SLIDE PILES

SHEN Qiang, CHEN Cong-xin, WANG Ren, LIU Xiao-wei

(Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Anti-slide pile is an important method for slope treatment, especially when the slide face is certain and the subterranean is stable, the method is proved to be prior. But if there exist more weak terrains under the slide face, a new slide face may be formulated after being reinforced and ideal reinforcement effect can not be achieved. Monitoring and analysis of anti-slide piles reinforcement effect on the west area slope of Chengchao Iron Ore are analyzed. The results indicate that there are shallow-layer and deep-layer slide faces in the slope after reinforcement. At first, there is only a shallow-layer slide face found before reinforcement, but a new weak face on the base of the first shallow-layer slide face is found after reinforcement and then, shallow-layer and deep-layer slide faces are found. However, anti-slide pile has effects only on the shallow-layer slide face because of its length. It is pointed out that the influence of ground water is an important factor for slope deformation.

Key words: rock and soil mechanics; slope; anti-slide pile; monitoring; slide face; ground water

1 引 言

抗滑桩目前被广泛应用于边坡加固工程^[1-6], 特别当边坡滑动面确定, 滑动面下覆地层强度较好时, 更能体现它的优越性。但是当边坡下部地层还

存在较软弱层时, 采用抗滑桩加固, 有可能在深层形成新的滑动面, 导致抗滑桩加固效果不理想甚至失败等。本文通过对程潮铁矿西区边坡抗滑桩加固效果监测成果的分析表明, 在抗滑桩设计中, 应注意边坡深层滑动面(即第二滑动面)的形成, 防止抗滑桩设计失败。

收稿日期: 2004-04-23; **修回日期:** 2004-06-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50239070); 国家重点基础发展规划(973)项目(2002CB412704)

作者简介: 沈 强(1974-), 男, 1996年毕业于华东地质学院, 现为博士研究生、助理研究员, 主要从事边坡工程方面的研究工作。E-mail: shenqzk@163.com.

2 工程概况

湖北程潮铁矿选矿场区自 1997 年地下疏干廊道开挖至该区地下时起, 选矿场区办公楼区斜坡和细筛间、球磨车间及仓库区地面陆续开裂沉降, 办公楼及工业建筑的地基基础以及梁柱上也出现了不少裂缝。裂缝和位移在 1998 年大雨后有了加速的趋势, 威胁着选矿系统建筑物的稳定性和生产设施的安全运行。

为了查明山坡、地面以及建筑物开裂的原因, 保证选矿厂区的安全, 有关单位进行了工程地质勘察、边坡稳定性分析、建筑物结构加固和滑坡抗滑桩设计施工等一系列工作。受业主委托, 对边坡加固工程效果进行了监测。

根据地质勘察报告及边坡稳定性评价研究报告, 选矿车间滑坡滑体东起碎石场西边, 西达选矿食堂, 北抵 III 级台阶南缘, 向南延伸到程潮大湾内。东西宽约 250 m, 南北长达 150 m, 为一典型的横展式滑坡。

根据提供的地质勘察资料, 场地岩层主要有: 杂填土层、残坡积粘土层、基岩全风化层、基岩强风化层等, 其主要特性如下:

杂填土层: 呈松散、湿~饱和状态, 主要为矿渣、含碎石粘土和建筑垃圾。

残坡积粘土层: 上层呈湿~饱和、可塑~硬塑状态, 局部含碎石; 下层粘土较软弱, 呈饱和、软塑~流塑状态。

基岩全风化层: 上层花岗斜长岩或斜长玢岩全风化层已风化成土状, 呈湿~饱和、硬塑~可塑状态, 具有原岩的中粗粒结构, 块状构造, 节理发育, 节理面光滑且延伸性能好; 中层砂卡岩全风化层已风化成土状, 呈饱和、可塑~软塑状态, 具有原岩的结构和构造, 局部含铁矿石和构造角砾岩, 发育有密集的“S”形节理, 具有高孔隙比、高压缩性; 下层大理岩全风化层已风化成为土状, 呈细粒结构, 块状构造, 饱和、可塑~软塑状态, 可溶性矿物由于淋滤作用被带走, 具有高孔隙比、高压缩性, 节理较发育。

基岩强风化层: 上层斜长花岗岩强风化层呈中细粒结构, 块状构造, 已风化成碎块状; 中层含铁砂卡岩强风化层呈中细粒结构, 条带状构造, 节理发育; 下层大理岩强风化层呈细粒结构, 块状构造, 已风化成碎块状, 可溶性矿物部分被带走, 基

本上具有原岩成分, 节理发育。

地质资料表明, 滑坡滑体结构由杂填土层和基岩全风化层构成, 在水泥公路以南为残坡积粘土, 滑体厚 7~11 m, 在 II 级台阶上厚度最大。

3 监测目的与内容

3.1 监测目的

本监测目的是为了监测抗滑桩的加固效果、滑动面深度等, 这对滑坡变形机制的验证以及成因分析, 加固工程设计的合理性及施工质量的检验有重要意义。

3.2 监测内容

根据监测目的以及抗滑桩的工作机理^[1,2], 制定了以下监测内容^[7-9]:

(1) 滑动面监测

滑动面监测采用钻孔倾斜仪法。钻孔倾斜仪可以从 2 个正交方向上描述全测孔深的位移全貌, 从而准确地确定滑动面的具体位置及位移的大小和方向。

在滑坡体上共布置 2 个钻孔倾斜仪孔(B_1 , B_2 孔), 孔径 ϕ 110 mm, 原设计孔深 45 m, 实际 B_1 孔 30 m, B_2 孔 40 m。

(2) 桩体中钢轨受力状态监测

在本工程的抗滑桩设计中, 在桩的受拉一侧插入 5 根钢轨, 以期增强钢筋混凝土桩的抗滑力。钢轨和钢筋混凝土桩能否整体发挥抗滑作用, 需检测其受力状态后才能搞清。为此, 在选定的 3 根抗滑桩上, 选定受推力侧中心线上的钢轨, 将其两侧捆绑测斜仪导管, 连同钢轨一起埋入桩体内, 待混凝土初凝后开始, 定期监测。通过钢轨水平位移与轨深关系曲线, 换算出钢轨的抗滑力, 再与钢筋计测出的抗滑力综合起来确定整个抗滑桩的抗滑力。

(3) 压力盒法受力状态监测

在选定的抗滑桩内, 自预定的滑动面下 2.0 m 起, 每隔 2.0 m 在桩体与桩孔壁间埋设一个压力盒(每孔埋设 4 个), 检测滑动面上部岩土施加于桩体的压力分布规律。

(4) 钢筋计法抗滑桩受力状态监测

在选定的抗滑桩的受拉和受压侧, 各选 1 根纵向受力钢筋, 每隔 1.5 m 焊接钢筋计, 钢筋笼埋设后混凝土初凝时起, 定期检测钢筋受力状态, 直接检测出桩体抗弯(拉)、抗压分布情况, 从而检验抗滑桩设计的合理性及加固效果。

4 监测结果及其分析

4.1 滑动面监测结果及分析

B₁, B₂ 孔于 2000 年 1 月 26 日~2000 年 12 月 20 日共进行 12 次监测, 其孔深与位移关系曲线见图 1, 2。

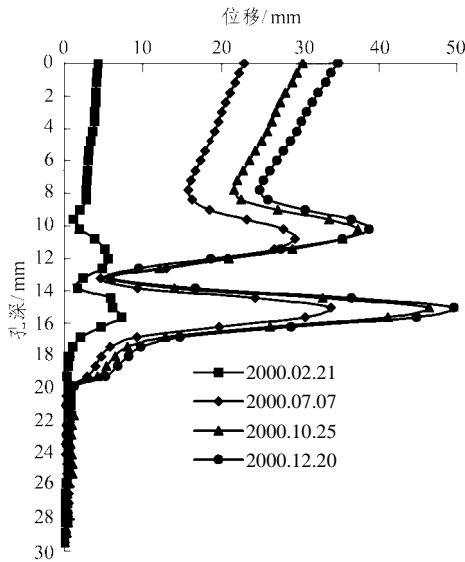


图 1 B₁ 孔孔深与位移关系曲线图

Fig.1 Relationship curves between depth and displacement of B₁ bore

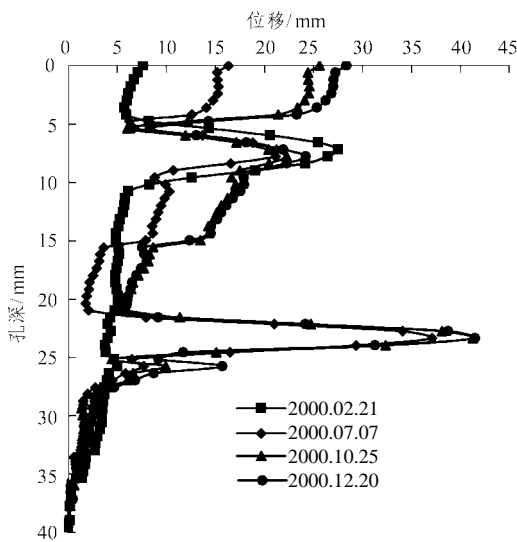


图 2 B₂ 孔孔深与位移关系曲线图

Fig.2 Relationship curves between depth and displacement of B₂ bore

从图 1 可以看出, B₁ 孔分别在 10 和 15 m 左右位移较大, 经历雨季后位移有突然增大的趋势, 最大变形点在 15 m 左右, 最大位移为 49 mm。孔口总位移为 34 mm, 孔口变形速率约 0.1 mm/d, 在经

历雨季后孔口位移有突然增大的趋势。

从图 2 可以看出, B₂ 孔在 8 和 23 m 左右出现突变点, 经历雨季后位移有突然增大的趋势, 最大位移为 42 mm。孔口总位移为 27 mm, 孔口变形速率约 0.08 mm/d, 在经历雨季后孔口位移有突然增大的趋势。

B₁, B₂ 孔孔口位移与时间关系曲线如图 3 所示。最大位移与时间关系曲线如图 4 所示。

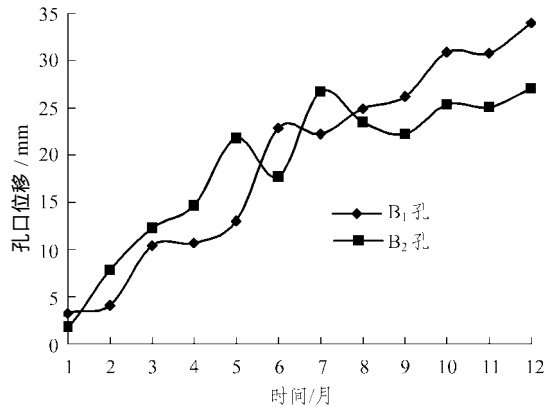


图 3 B₁, B₂ 孔孔口位移与时间关系曲线图

Fig.3 Relationship curves between displacement and time for orifices of B₁, B₂ bores

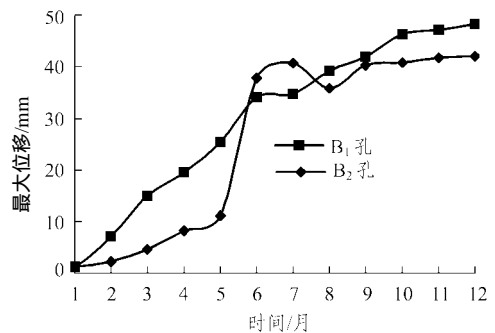


图 4 B₁, B₂ 孔最大位移与时间关系曲线图

Fig.4 Relationship curves between the maximum displacement and time for orifices of B₁, B₂ bores

从图 3, 4 可以看出, 在雨季时, B₁, B₂ 孔孔口位移和最大位移均突然增大, 说明降雨是影响边坡稳定的重要因素之一。

从地质资料看, B₁ 孔在 10 m 左右为厚约 2 m 的可塑性含砾粘土, 15 m 左右为可塑性粘土与硬塑性粉质粘土交界处, 为相对软弱层, 经历雨季后, 地下水的影响导致这两处的位移变大, 第一个滑动面与原设计中确定的滑动面较接近。从图 3, 4 还可以看出, 孔口位移和最大位移仍在增加, 因而在下一个雨季还会有变形加大的可能。从地质资料看,

B₂孔在 8 m 为厚约 3 m 的可塑性粘土, 23 m 左右为流塑性含碎石粘土, 为相对软弱层, 经历雨季后, 地下水的影响导致这两处的位移变大, 第一个滑动面位置与原设计中确定的滑动面位置较接近。同时, 孔口位移和最大位移仍在增加, 因而在下一个雨季还会有变形加大的可能。

4.2 钢轨受力状态监测结果及分析

钢轨受力状态监测是在抗滑桩 Z₁₁, Z₂₁, Z₂₉ 上进行的。每个抗滑桩预先埋设了 2 个测斜仪导管, 一共布置了 6 个监测孔 (Z₁₁A, Z₁₁B, Z₂₁A, Z₂₁B, Z₂₉A, Z₂₉B)。

2000 年 2 月 21 日进行第 1 次监测, 至 2000 年 12 月 20 日共进行 11 次监测, Z₁₁A 监测孔部分监测结果见图 5。

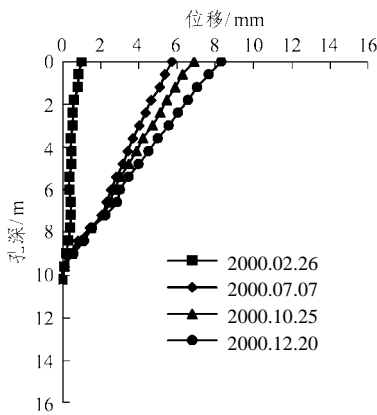


图 5 Z₁₁A 孔孔深与位移关系曲线图

Fig.5 Relationship curves between depth and displacement of Z₁₁A bore

从图 5 可以看出 Z₁₁A 孔(其余 5 个监测孔的孔深与位移关系曲线类似于 Z₁₁A 孔)沿孔深方向变形均匀, 从孔底至孔口各点位移量逐渐增加, 无突变点, 表明钢轨受力正常, 最大位移均在孔口处。各监测孔孔口位移与方位角见表 1。

表 1 各监测孔孔口位移及方向

Table 1 Displacement and direction for orifice of observation bores

监测孔	孔口位移/mm	方位角/(°)
Z ₁₁ A	8.1	225
Z ₁₁ B	7.9	224
Z ₂₁ A	12.0	208
Z ₂₁ B	9.0	202
Z ₂₉ A	9.0	223
Z ₂₉ B	8.0	234

4.3 压力盒法受力状态监测结果及分析

压力盒法受力状态监测是在抗滑桩 Z₉, Z₂₁, Z₂₅ 上进行的。2000 年 3 月 23 日进行第 1 次监测, 至 2000 年 12 月 20 日共进行了 10 次监测。所得到的压力盒读数普遍偏小, 最大值仅为 42.86 kPa。抗滑桩 Z₉ 孔深与压力盒读数关系曲线见图 6。从图 6 可以看出, 压力盒读数随监测时间变化较小, 说明压力盒受力比较稳定。

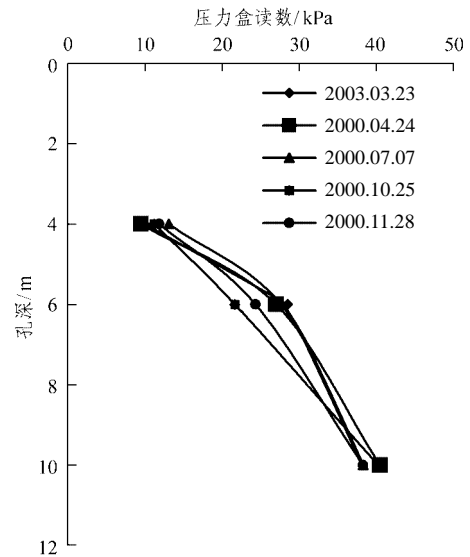


图 6 抗滑桩 Z₉ 孔深与压力盒读数关系曲线图

Fig.6 Relationship curves between depth and stress box value of Z₉ pile

4.4 钢筋计法抗滑桩受力状态监测结果及分析

钢筋计法抗滑桩受力状态监测是在抗滑桩 Z₁₁, Z₂₁, Z₂₉ 上进行的。2000 年 2 月 21 日进行第 1 次监测, 至 2000 年 12 月 20 日共进行了 11 次监测。所得到的监测数据偏小, 且随监测时间的变化不大, 表明抗滑桩受力比较稳定。

从上述监测结果可以看出: 在抗滑桩施工完成后, 滑坡变形虽然还在增大, 但增大的趋势逐渐减小; 同时, 抗滑桩本身受力比较稳定, 表明抗滑桩对边坡起到了一定的加固作用。但是, 由于在边坡下部地层还存在有相对软弱层, 因此, 在抗滑桩发生作用后在下部地层的相对软弱层出现了新的滑动面, 而这时抗滑桩由于长度原因, 不能对新的滑动面起加固作用, 这也是滑坡变形继续增大的原因。

5 结 论

从上面的监测结果及分析可以看出:

(1) 本滑坡的滑动方向为 SW 向, 有两个可能的滑动面, 一个在离地面 8~10 m 处, 另一个在离地面 15~24 m 处, 不同地点滑动面深度不同。最大位移点在第二滑动面位置, 最大位移为 49 mm。这有可能是因为抗滑桩起作用后, 在原有滑动面的基础上, 形成了新的软弱面, 出现了第二滑动面, 这样抗滑桩由于长度原因只对第一滑动面起作用。目前, 边坡变形仍在增加, 但增加的速率减小, 应继续加强对边坡监测。

(2) 地下水是影响边坡稳定的主要因素之一, 在雨季边坡变形均有较大增加。因此, 在雨季时应加强监测; 同时, 在边坡加固设计时应采取加固与防水、排水相结合的方法。

(3) 抗滑桩是边坡加固的重要手段之一, 但在设计中应考虑第二滑动面的形成, 并提前对有可能产生的新滑动面进行加固, 从而保证边坡的安全。

参考文献(References):

- [1] 交通部第二公路勘察设计院. 路基[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.(The Second Highway Survey Design and Research Institute of Ministry of Communications. Subgrade[M]. Beijing :China Communications Press , 2000.(in Chinese))
- [2] 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.(The Second Survey and Design Institute of Railway Ministry. Design and Computation of Anti-slide Piles[M]. Beijing : China Railway Publishing House , 1983.(in Chinese))
- [3] 贺建清, 张家生, 梅松华. 弹性抗滑桩设计中几个问题的探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(5): 600-602.(He Jianqing ,Zhang Jiasheng , Mei Songhua. Inquiring into some questions in designing anti-slide pile[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 1999 , 18(5) : 600-602.(in Chinese))
- [4] 熊朝辉. 深汕高速公路 101 滑坡整治新技术——圆安抗滑桩明洞[J]. 岩石力学与工程学报, 2001 , 20(4) : 532-537.(Xiong Zhaohui. New technology of landslide treatment—Yuan'an anti-slide piles and cut-and-cover tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2001 , 20(4) : 532-537.(in Chinese))
- [5] 张友良, 冯夏庭, 范建海等. 抗滑桩与滑坡体相互作用的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(6) : 839-842.(Zhang Youliang , Feng Xiating , Fan Jianhai , et al. Study on the interaction between landslide and passive piles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2002 , 21(6) : 839-842.(in Chinese))
- [6] 戴自航, 沈蒲生, 彭振斌. 预应力锚固抗滑桩内力计算有限差分法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3) : 407-413.(Dai Zihang , Shen Pusheng , Peng Zhenbin. Study on the finite difference method in calculation of internal forces of prestress-anchored antislid e piles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2003 , 22(3) : 407-413.(in Chinese))
- [7] 二滩水电开发有限责任公司. 岩土工程安全监测手册[M]. 北京: 中国水电水利出版社, 1999.(Ertan Hydropower Development Company , Ltd.. Security Monitoring Handbook of Geotechnical Engineering[M]. Beijing : China Waterpower Press , 1999.(in Chinese))
- [8] 夏才初, 潘国荣. 土木工程监测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.(Xia Caichu , Pan Guorong. Monitoring Technology of Civil Engineering[M]. Beijing : China Architecture and Building Press , 2001.(in Chinese))
- [9] 陈强, 韩军, 艾凯. 某高速公路山体边坡变形监测与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(2) : 299-302.(Chen Qiang , Han Jun , Ai Kai. Monitoring and analysis of slope deformation along a speedway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2004 , 23(2) : 299-302.(in Chinese))