

DOI: 10.11779/CJGE2016S1046

# 膨胀土地区土工膜结合抗滑桩结构在滑坡治理与桥梁桩基防护中的应用

夏炎<sup>1</sup>, 刘海笑<sup>2</sup>, 刘军<sup>3</sup>

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 江苏省防汛抗旱指挥部办公室, 江苏 南京 210029; 3. 常州市国土资源局, 江苏 常州 213002)

**摘要:** 由于膨胀土具有遇水膨胀失水收缩的特点, 因此膨胀土边坡一般具有缓慢滑动的特性。即使边坡趋于稳定状态, 一旦受外界影响, 含水量变化产生的收缩裂缝也将引起滑动加剧发展, 对桥桩基础产生较大的下滑力, 导致桥体出现结构性破坏, 带来巨大的损失。因此针对膨胀土滑坡的治理, 除了布置合理的抗滑结构, 采取有效的排水防渗措施尽量减少岸坡土体的湿度变化同样重要。通过某大桥工程实例, 研究了膨胀土边坡导致大桥破坏的原因, 并通过多种方案的对比, 给出了抗滑桩结合复合土工膜隔离保湿应对膨胀土滑坡的治理思路及方法, 解决了新桥的安全隐患, 取得了良好的治理效果, 对类似工程的防治对策提供借鉴。

**关键词:** 膨胀土; 滑坡; 抗滑桩; 复合土工膜; 隔离防渗

**中图分类号:** TU43

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2016)03-0248-05

**作者简介:** 夏炎(1984-), 男, 注册土木(岩土)工程师, 主要从事岩土工程相关的科研和设计。E-mail: xiayan2000@sina.com。

## The application of geomembrane combined with anti slide pile structure in soil slopes treatment and bridge foundation and protection in expansive soil area

XIA Yan<sup>1</sup>, LIU Hai-xiao<sup>2</sup>, LIU Jun<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Transportation Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China; 2. Flood Control and Drought Relief Office of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China; 3. Changzhou Municipal Bureau of Land and Resources, Changzhou 213002, China)

**Abstract:** Because the expansive soil has the characteristics of water loss and water loss, the expansive soil slope generally has the characteristics of slow sliding. Even if the slope tends to be stable, once influenced by the outside world, moisture changes resulting from the shrinkage crack will also cause sliding intensified development of pile foundation produced larger decline in force, resulting in bridge structural damage, bring huge losses. Therefore, in the expansive soil landslide governance, in addition to layout reasonable anti slide structure, take effective seepage control and drainage measures to try to reduce bank soil humidity change are equally important. The through an example of a large bridge project of expansive soil slope leading to the destruction of the bridge, and through comparison of several schemes, gives the anti sliding pile with composite geotechnical membrane isolation moisture with expansive soil landslide governance ideas and methods to solve the bridge safety hidden trouble, and achieved good control effect, prevention and control Countermeasures for similar projects for reference.

**Key words:** expansive soil; landslide; anti slide pile; composite geomembrane; seepage isolation

## 0 引言

膨胀土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成, 具有土体湿度增高体积膨胀并形成膨胀压力, 土体干燥失水体积收缩并形成收缩裂缝的特性, 因此分布在沟谷头部、库岸、边坡上的膨胀土常易出现浅层滑坡<sup>[1]</sup>。膨胀土边坡滑动具有缓慢性与间歇性的特点, 滑坡速度较慢, 边坡失稳后不是一直产生蠕滑, 开挖后有较长稳定时间<sup>[2]</sup>, 往往膨胀土地质条件下的建筑物建成后三、五年才出现裂缝, 甚至一、二十年才开裂<sup>[3]</sup>,

因此勘察设计过程中容易忽略其危害性, 如果前期没有采取有效的处理措施将造成严重的安全隐患。

潭邵高速公路由于膨胀土引起的路垫边坡、路基边坡的滑坡失稳、坍塌破坏以及护坡、挡墙等的断裂毁坏和失效约 60 余处, 后采取放坡的处治方案, 效果比较明显<sup>[4]</sup>。西安安康铁路 (DK303+300—DK303+410) 段不良地质主要为膨胀土厚 4~15 m,

原设计为路垫挡土墙, 后来由于连降暴雨, 再加上路堑顶部隐埋有一给水所蓄水池溢水管经常溢水, 雨水加上给水管溢水渗入膨胀土裂缝, 使土体潮湿软化, 出现工程滑坡, 导致挡土墙多处剪断开裂, 最终采用抗滑桩作为工程处理措施<sup>[5]</sup>。

以上实例说明膨胀土边坡治理难度较大, 应采取“宜挡不宜清, 宜排不宜堵”的治理原则, 以挡为主, 排、截、支、护相结合的方案<sup>[6]</sup>。虽然目前治理膨胀土滑坡方法很多, 但是影响其稳定的因素也较多, 只有充分考虑工程特点, 分析主要影响因素, 才能得到经济合理的解决方案。结合某大桥改建工程, 分析膨胀土边坡造成原大桥损坏的原因, 并提出新大桥边坡防治措施, 抗滑桩作为支挡结构结合土工膜隔离保湿作为膨胀土滑坡治理与桥桩基防护的设计方案, 为类似工程的设计思路提供借鉴。

## 1 工程概况

某大桥为公路大桥, 桥梁全长 191 m, 桥面宽度为 12 m, 桥梁位于  $R=1400$  m 的平曲线上, 桥面纵坡为 0.5% (北高南低)。根据原地质资料, 虽然钻探岩土芯样中未发现滑痕和滑迹, 但是南岸部分平房墙体出现 1~2 cm 的开裂, 一旦开始施工可能出现浅层滑动, 因此大桥设计时将部分单排桩变更为双排桩, 并于 1999 年开工, 2000 年建成通车。

但在 2007 年的安全检查中发现原大桥支座发生少量偏位, 2009 年的定期检查中发现偏移量有发展的趋势。通过采用钻孔摄像技术发现桥桩在 5~13 m 深度范围出现明显裂缝如图 1 所示, 最终该桥技术状况评定为五类 (危桥), 需要对原桥进行拆除重建, 并进行新的勘察设计工作。根据最新勘察内容表明桥位附近有一长约 900 m 的古滑坡带, 滑坡带所在阶地的 Q3 下蜀黏土具有一定的膨胀性, 可以判定该古滑坡为膨胀土边坡。

## 2 桥梁桩基破坏原因分析

根据工程资料和现场勘察, 造成大桥桥梁桩基破坏的原因主要有两个方面:

(1) 对于膨胀土边坡滑坡的缓慢性与间歇性造成的危害估计不足。虽然勘察未发现滑痕和滑迹, 但是南岸墙体开裂说明桥址地质存在滑坡, 一旦膨胀土边坡大气影响深度范围内土体遭到施工破坏, 则大气影响深度以下的土体将显著受到自然气候的影响, 由降水、蒸发和温度等因素引起的缩胀变形将明显加剧, 滑坡将继续发展。

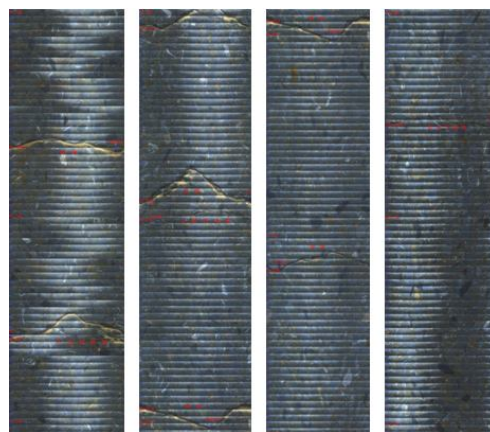


图 1 钻孔摄像图

Fig. 1 Borehole camera figure

(2) 一般膨胀土滑坡为牵引式滑坡, 因此即使滑坡体处于稳定状态, 由于桥梁桩基在滑坡体中所处位置不同, 所受到的推力也不同。稳定状态的滑坡体滑动段的滑动力与抗滑段的抗滑力保持平衡, 由于抗滑段承担大部分滑动力, 因此位于抗滑段的桥梁桩基受到的滑动力较小, 位于滑动段的桥梁桩基承受滑动力较大, 设计时应分别进行考虑。

## 3 防治方案研究

从工程的经济效益、社会影响出发, 本滑坡治理应遵循“一次根治、不留后患”的原则, 努力做到安全可靠、技术先进、经济适用、保障运行。国内常用而且卓有成效的滑坡整治方法主要有以下几种方案:

方案一: 采用抗滑桩作为支挡结构, 依靠桩的强度、滑动面以下锚固部分桩周岩土体的弹性抗力来平衡滑面以上滑体剩余下滑力, 使滑坡保持稳定。此种结构可灵活选择桩位, 对滑动体扰动小, 对整体运营线路上的滑坡和处于缓慢滑动阶段的滑坡治理特别有利, 施工中如发现问题易于补救。

方案二: 采用支撑渗沟结构, 以支撑为主兼排滑带水和疏干附近滑体中地下水, 适用于滑体前部地下水出露及滑体中地下水发育的地段, 抗滑能力较小。

方案三: 采用抗滑挡墙, 以墙体抵抗滑坡传来的土压力, 此种结构设计简单, 但由于影响滑坡的因素很多, 挡墙设置位置有一定局限性。

方案四: 采用预应力锚索 (杆) 结构通过施加预应力增加抗滑力, 此种结构变形小、布置灵活、投资较, 但是对地质条件有一定的要求, 锚固段应置于稳定岩层中并且岩层适合于灌浆。

对上述 4 种方案进行对比: 撑渗沟强度太弱; 滑坡坡面较长, 抗滑挡墙需要设置相当大, 才能满足抗滑的效果, 圬工量大、风险大, 不适合此次桥位区边

坡治理; 岩层埋深大, 且为泥岩, 预应力锚索(杆)不具备施工条件。因此采用抗滑桩作为支挡结构较为合理。

同时本工程滑坡处治有以下难点需要考虑: 边坡高度较大, 滑动体深度较一般膨胀土滑坡明显加大, 加之河道影响, 滑坡的形成具有牵引型滑坡特征, 充分考虑到膨胀土对滑坡稳定性的影响, 需要采用有效的防渗措施尽力减少岸坡土体的湿度变化。老桥桩基破坏原因分析中也可以看出, 由于未采用有效的防渗措施, 施工导致原地表土层破坏后, 膨胀土湿度受外界环境影响明显, 最终导致桥梁桩基偏位。

综上所述, 对于膨胀土边坡的防治, 首先需设计合理支挡结构, 其次应采取有效防渗措施, 保证岸坡土体湿度稳定同等重要。过去大范围防渗材料多采用黏土, 虽取得良好防渗效果, 但是工程量大, 且工程质量不易保证。因此工程界寻求一种便于施工、造价低廉、性能可靠的防渗材料, 土工膜就具有这些优点<sup>[7]</sup>。目前两布一膜结构的复合土工膜广泛应用于尾矿坝、土石坝、水库、渠道、垃圾卫生填埋等领域<sup>[8~11]</sup>取得良好效果, 本项目也选择复合土工膜作为防渗层, 在取得良好保湿效果前提下起到隔离作用。

结合本项目特点, 新大桥应对滑坡的治理方案为: 抗滑桩支挡结构+土工膜隔离保湿措施, 并进行局部减载。

## 4 防治方案设计

### 4.1 确定滑动面

滑坡治理首先需要确定滑动面, 综合考虑已查明基桩断裂带位置、勘探点地层情况、静探测试曲线特征、沥青路面张拉裂缝位置等因素, 根据现有资料按不利条件, 推定已有滑动面。另考虑到航道规划升级的要求, 未来河岸边坡存在由于开挖而出现较大邻空面, 这将可能导致滑动面出现下移, 故将推测滑动面在所述已有滑动面的基础上下移 2 m, 并结合桥梁后

方沥青路面张拉裂缝位置, 确定滑动面推测线如图 2 所示。

### 4.2 抗滑桩设计

考虑到抗滑桩不仅起到防治滑坡的作用, 还需要保护桥梁桩基, 因此抗滑桩位置应在桥梁桩基前部, 承担大部分的下滑力。根据桥梁设计情况, 设三排门架式抗滑桩位于新桥桥桩前净距 4 m。

剩余下滑力计算采用传递系数法, 安全系数取 1.25, 最终得到各抗滑桩所受推力最大约为 760 kN/m。根据计算结果, 抗滑桩单位宽度所受推力统一按照 800 kN/m 进行计算, 两樁抗滑桩中心距 5 m, 则每根抗滑桩受力按照 4000 kN 进行设计。

为减免抗滑桩设置区域东西两侧土体可能下滑位移的拖曳作用荷载, 在减载换填区域的边缘设置隔离桩, 形成隔离带。隔离桩孔间距 350 mm, 深 8~10 m, 共设 2 排, 交错布置, 孔内填充聚乙烯泡沫颗粒, 并用黄泥封孔 500 mm。

### 4.3 土工膜隔离保湿措施

本项目中土工膜的主要作用是保持边坡土体湿度, 相对于其他工程的防渗要求不是十分严格, 允许少量地表水下渗, 因此对常用的防渗结构形式<sup>[12]</sup>进行简化, 取消上下垫层及排水排气设施, 膜上覆盖层采用改良膨胀土, 厚度约为 2 m。

复合土工膜为两布一膜, 要求每平米质量大于 600 g, 膨胀土采用掺石灰改良为非膨胀土, 要求其自由膨胀率不大于 20%。铺设土工膜和回填改良土应在下部结构施工完毕后进行, 具体施工顺序为平整场地→抗滑桩施工→桥梁桩基施工→铺设复合土工膜→回填改良土。整体结构立面图如图 2 所示。

### 4.4 监测结果分析及评价

为保证施工安全和质量, 同时对处理方案的效果进行评价, 在抗滑桩钢筋笼布设同时在桩身内安装测斜管, 对抗滑桩开展为期一年的深层位移监测, 监测结果如图 3 所示。由图可见, 在地面以下 4~5 m、12~

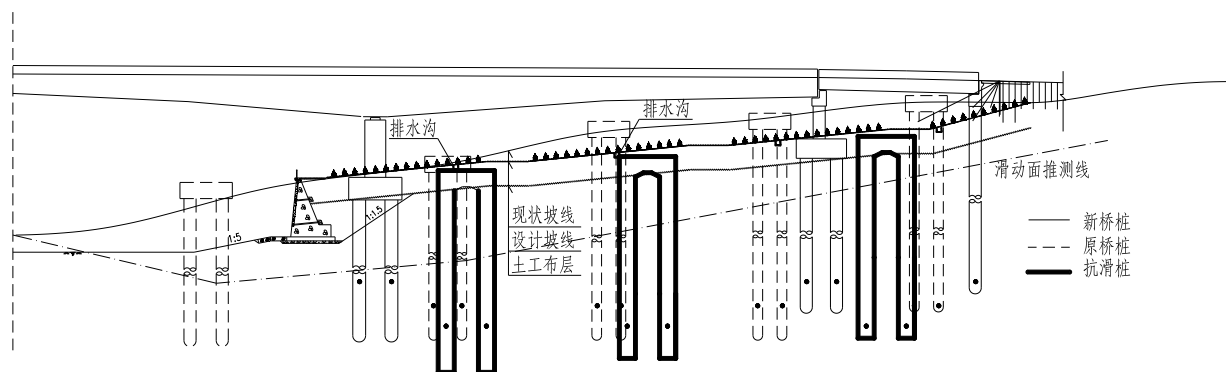


图 2 结构立面图

Fig. 2 Elevation of the structure



13 m 深度, 深层水平位移出现明显的变化凸起分界点, 与前期通过钻孔摄像技术发现的裂缝深度基本一致, 即滑动面所在位置。对监测数据进行分析, 在 2012 年 6 月至 10 月支挡结构浇筑和隔离保湿层施工期间, 深层水平位移变化速率明显增大, 最大值为 5.8 mm/月。施工完毕后深层水平位移变化速率逐渐收敛, 至 2013 年 5 月已基本趋于稳定。监测期间位移累计最大值为 20 mm 左右, 在设计允许范围内, 说明结构安全并且滑坡体经处理后已经稳定, 治理效果显著。

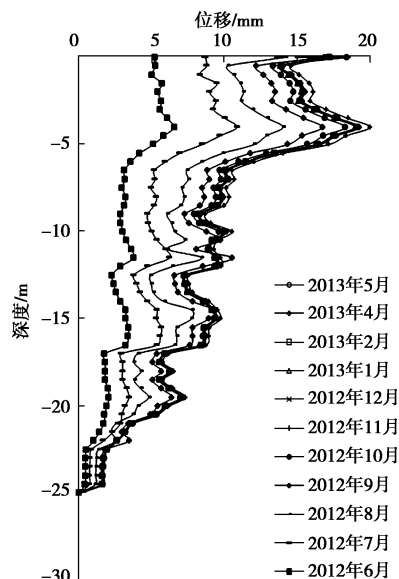


图 3 深层水平位移

Fig. 3 Deep horizontal displacement

## 5 结论与建议

通过膨胀土地区某大桥滑坡治理工程实例, 分析了原桥破坏的原因, 给出了治理膨胀土地区滑坡的思路与具体措施, 得出以下结论:

(1) 膨胀土边坡的滑动变形往往具有缓慢性 and 间歇性的特点, 并且变形持续时间长, 地质勘查中不宜发现滑痕和滑迹, 一旦受到外界影响其变形具有加速发展的趋势, 将会对结构物产生严重的危害。

(2) 滑坡地质条件下的结构物所受滑坡推力与结构物所处位置关系密切, 即使滑坡已经稳定, 但是处于滑坡体上部滑动段的结构物也将受到较大的滑坡推力, 设计时需要进行考虑。

(3) 膨胀土地区的滑坡防治需要考虑如何保持岸坡土体的湿度, 因此隔离与防渗措施也非常重要。土工膜可以有效隔离膨胀土层, 防渗效果好, 同时施工简便、成本较低, 在类似工程中具有良好的应用前景。

(4) 抗滑桩不仅可以作为滑坡治理手段, 在滑坡地质条件下还可以作为结构防护措施, 分担结构物所受到的滑坡推力, 具有良好的效果。

## 参考文献:

- [1] 常士骧, 张苏民. 工程地质手册[M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 468 - 469. (CHANG Shi-biao, ZHANG Su-min. Engineering geology manual[M]. 4th ed. Beijing: China Building Industry Press, 2007: 468 - 469. (in Chinese))
- [2] 袁从华, 周健, 杨明亮. 高速公路膨胀土边坡整治[J]. 岩土力学与工程学报, 2007, 26(1): 3073 - 3078. (YUAN Cong-hua, ZHOU Jian, YANG Ming-liang. Treatment of expansive soil slopes beside highways[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(1): 3073 - 3078. (in Chinese))
- [3] 常士骧, 张苏民. 工程地质手册[M]. 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 473. (CHANG Shi-biao, ZHANG Su-min. Engineering geology manual[M]. 4th ed. Beijing: China Building Industry Press, 2007: 473. (in Chinese))
- [4] 杨郭琳, 罗文柯. 潭邵高速公路膨胀土新的分类方法与工程应用[J]. 湘潭矿业学院学报, 2004, 19(1): 16 - 19. (YANG Guo-lin, LUO Wen-ke. New classified method of swell soils and engineering application in Tan-Shao expressway[J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 2004, 19(1): 16 - 19. (in Chinese))
- [5] 聂亚军. 抗滑桩整治膨胀土滑坡的应用[J]. 铁道标准设计, 2004(8): 31 - 33. (NIE Ya-jun. The application of anti slide pile in the treatment of expansive soil slopes[J]. Railway Standard Design, 2004(8): 31 - 33. (in Chinese))
- [6] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984: 22 - 26. (LIAO Shi-wen. Expansive soil and railway engineering[M]. Beijing: China Railway Press, 1984: 22 - 26. (in Chinese))
- [7] 刘宗耀, 杨灿文, 王正宏, 等. 土工合成材料工程应用手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 118. (LIU Zong-yao, YANG Can-wen, WANG Zheng-hong, et al. Application of the engineering application of geotechnical materials[M]. 2nd ed. Beijing: China Building Industry Press, 2000: 118. (in Chinese))
- [8] 束一鸣, 张利新, 袁全义, 等. 西霞院反调节水库土石坝膜防渗工艺[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(6): 70 - 73. (SHU Yi-ming, ZHANG Li-xin, YUAN Quan-yi, et al. Geomembrane seepage control techniques of Xixiayuan earth-rock dam[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(6): 70 - 73. (in Chinese))
- [9] 沈楼燕, 李海港. 尾矿库防渗土工膜渗漏问题讨论[J]. 有色金属(矿山部分), 2009, 61(3): 71 - 74. (SHEN Lou-yan,

- LI Hai-gang. Discussion on leakage of geomembrance for tailing pond antiseepage[J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2009, **61**(3): 71 - 74. (in Chinese))
- [10] 李岳军, 周健平, 何世海, 等. 抽水蓄能电站水库土工膜防渗技术的研究和应用[J]. 水利发电, 2006(3): 67 - 69. (LI Yue-jun, ZHOU Jian-ping, HE Shi-hai, et al. Study on and application of geotech-membrance in the leakage prevention works of reservoirs of the punped storage power station[J]. Water Power, 2006(3): 67 - 69. (in Chinese))
- [11] 窦宝松, 鲍维猛, 王长保. 土工合成材料在渠道防渗工程中的应用与存在问题讨论[J]. 水利水电技术, 2009, **40**(4): 27 - 29. (DOU Bao-song, BAO Wei-meng, WANG Chang-bao. Discussion on application of geo-synthetic material to anti-seepage of canal[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, **40**(4): 27 - 29. (in Chinese))
- [12] 王正宏, 董在至, 杨灿文, 等. 土工合成材料应用技术规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 1998: 13. (WANG Zheng-hong, DONG Zai-zhi, YANG Can-wen, et al. Application of geotechnical synthetic materials[M]. Beijing: China Planning Press, 1998: 13. (in Chinese))

(本文责编 赵小如)