

# 高边坡稳定性分析及防治措施研究

马俊尧

(中铁十四局集团第五工程有限公司, 山东 济宁 272100)

**摘要:** 高填方边坡和挖方边坡的稳定性较差, 在实际工程中存在较大安全隐患。针对此类边坡开展防治措施研究, 具有重要意义。本文以银昆高速公路LJ10标段某高边坡为依托, 对其开展稳定性分析, 并据此提出防治加固措施。通过植草防护等具体工程实践, 确保边坡稳定性满足要求, 从而对高速公路的成功修建和长期运营安全提供保障, 为今后同类工程提供参考。

**关键词:** 高速公路; 高边坡; 稳定性; 防治措施; 植草防护

**中图分类号:** TU43 **文献标识码:** A

随着西部大开发战略和城镇化建设的逐渐深入, 西北地区的城市建设已进入高速扩张时期, 地形多以高山盆地为主, 建设工程不得不面临挖山填沟造地的高填方边坡工程。代雪等<sup>[1]</sup>以某场地高填方边坡和直立边坡为研究对象, 基于Geostudio、理正软件以及ANSYS软件, 采用M-P法、Bishop法和强度折减法进行边坡稳定分析。赵建祥等<sup>[2]</sup>为研究降雨作用下高填方边坡失稳机制, 以仁遵高速填方边坡为例, 基于Bishop方法和有限元模型, 分析其稳定性变化和滑动机制。叶帅华等<sup>[3]</sup>根据西北某路段黄土高填方边坡工程项目, 运用PLAXIS 3D软件建立多级高填方边坡3D有限元模型, 研究了填料、填土边界、坡度以及卸载平台的改变对边坡稳定性的影响。尽管目前针对高边坡工程已有相关研究, 但针对目前西北地区工程项目案例研究仍待补充, 且不同工程由于所处地质条件的不同导致不同工程措施适用性减弱, 因此需要针对相关工程开展具体研究。本文以银昆高速公路LJ10标段高边坡项目为依托, 对其稳定性进行分析, 并开展防治措施建议和效果评价, 以期为今后同类工程提供参考和借鉴。

## 1 工程概况

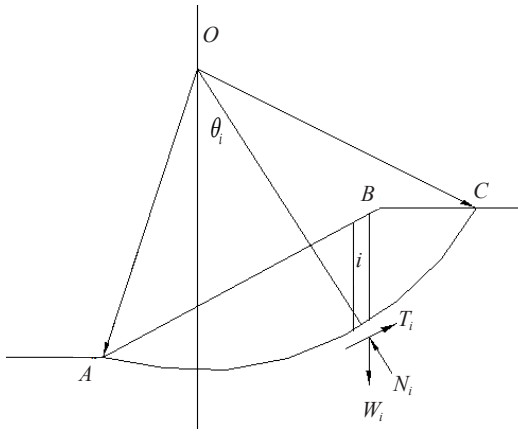
银昆高速公路LJ10标段, 起讫桩号为K171+500—K189+100, 全长为17.6km, 其中里程K173+859—K174+110长度为251m, 本段挖方主要为马兰黄土和粉质黏土, 属于土质挖方, 总挖方量 $9.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 最大挖方高度为97.46m。拟建银昆高速公路项目所在区域位于宁夏南部, 六盘山东侧, 地处黄土高原, 路线走向近南北。区内地势总体特征西高东低, 北高南低, 地形起伏较大, 最高海拔为1874m, 最低海拔为1389m, 相对高差约为485m。工作区内地形切割强烈, 山峦起伏, 沟壑纵横。区内地貌单元主要为剥蚀黄土丘陵地貌、侵蚀堆积河谷地貌以及剥蚀黄土残塬地貌等三个地貌单元。

该路线主要以路基的形式在黄土斜坡上布设, 以桥梁的形式跨越贺家台处的水库以及洪积平台内冲沟。黄土梁走向近北西, 梁顶较缓, 布设路线的黄土斜坡受古地形影响, 呈上陡下缓的形态, 整体坡度不大于 $30^\circ$ 。沟谷内发育有洪积平台, 宽为200~300m不等, 平台内局部发育深20~30m冲沟, 沟壁较陡立。水库所在冲沟走向近东西, 水面宽约为60m, 两岸为高20m洪积平台, 底部出露新近系泥岩。

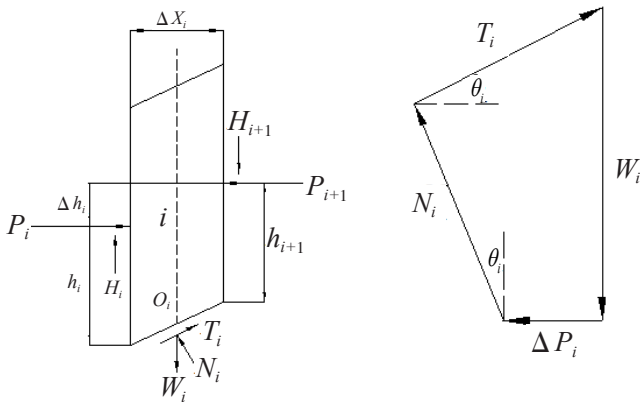
黄土梁上部覆盖马兰黄土, 土质疏松, 直立性较好, 具湿陷性; 中部地层为离石黄土, 较密实, 含黑色铁锰质斑点, 夹多层暗红色古土壤层; 底部为新近系泥岩、砂质泥岩和白垩系砂岩、砾岩。新近系泥岩胶结较差, 遇水易软化, 具弱膨胀性。洪积平台堆积20~30m不等的粉土, 土质疏松多孔, 可见水平层理, 顶部土体垂直节理发育, 具湿陷性, 底部出露新近系泥岩, 表面风化破碎呈碎块状。路线跨越洪积平台内冲沟以及水库区域, 需注意斜坡稳定问题<sup>[4]</sup>。

## 2 边坡稳定性分析

为分析开挖后的高速公路边坡稳定性, 根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013), 采用行业规范规定的极限平衡法进行稳定性分析。基于极限平衡法原理的边坡稳定计算有多种方法, 根据不同的适用条件, 主要有摩根斯坦-普瑞斯(Morgenstern-Price)法、毕肖普(Bishop)法、简布(Janbu)法、推力法、萨尔玛(Sarma)法等。目前, 在工程上常用的两种土坡稳定分析方法仍为瑞典圆弧法(Fellenius法)和简化毕肖普法, 它们均属于极限平衡法。瑞典圆弧法的土条间作用力的假设不太合理, 得出的安全系数明显偏低, 而简化毕肖普法的假设较为合理, 计算也不复杂, 因而在工程中得到十分广泛的应用。简化毕肖普法计算简图如图1所示, 其中:



(a) 边坡条分图示



(b) 条块受力示意图 (c) 受力多边形图示

图1 极限平衡法计算简图

$$T_i = \frac{1}{F_s} (c_i l_i + N_i \tan \phi_i) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = P_{i+1} - P_i \quad (2)$$

$$\Delta H = H_{i+1} - H_i \quad (3)$$

根据第*i*条块力平衡条件:  $\sum F_z = 0$ , 得到:

$$W_i + \Delta H = N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i \quad (4)$$

根据得  $\sum F_x = 0$ :

$$\Delta P_i = T_i \cos \theta_i - N_i \sin \theta_i \quad (5)$$

将式(1)、式(2)、式(3)和式(5)代入到式(4)中, 得:

$$\Delta P_i = \frac{1}{F_s} \frac{\sec^2 \theta_i}{1 + \frac{\tan \theta_i \cdot \tan \phi_i}{F_s}} [c_i l_i \cos \theta_i + (W_i + \Delta H_i) \tan \theta_i] - (W_i + \Delta H_i) \tan \theta_i = 0 \quad (6)$$

条块侧面的法向力*P*, 显然有  $P_1 = \Delta P_1$ ,  $P_2 = P_1 + \Delta P_2 = \Delta P_1 + \Delta P_2$ , 依次类推, 有  $P_i = \sum_{j=1}^i \Delta P_j$ 。

若全部条块的总数为*n*, 则有

$$P_n = \sum_{i=1}^n \Delta P_i = 0 \quad (7)$$

将式(6)代入式(7), 得

$$F_s = \frac{\sum [c_i l_i + (W_i + \Delta H_i) \tan \theta_i] \frac{\sec^2 \theta_i}{1 + \tan \theta_i \cdot \tan \phi_i / F_s}}{\sum (W_i + \Delta H_i) \tan \theta_i} \quad (8)$$

式中, *T*为条块所受推力, *W*为条块重力, *N*为条块接触面压力, *P*为条块侧面的法向力, *H*为条块在滑体内的垂直高度,  $\theta$ 为条块与竖直平面的夹角,  $F_s$ 为安全系数, *c*为条块间粘聚力, *l*为条块间长度。

由以上公式, 利用迭代法可以求得普遍条分法的边坡稳定性安全系数, 得到典型剖面边坡稳定性系数。在未开挖前, 山体的开挖稳定性较好, 稳定性系数为1.13, 根据规范规定, 山体处于欠稳定状态。开挖后由于边坡开挖的卸载作用, 边坡稳定性提高, 但在靠近边坡表面, 由于降雨, 雨水入渗等地质作用下边坡稳定性随时受到较大影响, 因此有必要对临空面进行加固措施, 确保高速公路项目的稳定安全。

### 3 边坡加固及效果评价

#### 3.1 防治措施研究

经实际边坡防治措施比选, 边坡均为6m分级, 第三级平台宽度为12m, 第6、9、12、15级平台宽度为14m, 其余各级平台宽度均为3m, 碎落台宽度为2m, 边坡坡率为1:1.0, 1级平台采用拱形骨架植草+路堑墙防护, 最上一级采用植草防护, 其余各级采用拱形骨架植草防护, 各级平台处设U形平台排水沟<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 植草防护技术

##### 3.2.1 坡面施工

首先进行挂基层网, 镀锌铁丝网在边坡悬挂中, 规格为5cm×5cm, 直径为3mm; 其次进行角铁锚固; 最后铺土工布, 高强度耐用营养土工布可对植物根系穿越进行阻止, 在坡面深扎, 根系茂密, 保护生态。无营养土工布情况下, 可随意进行格宾网的穿越, 无法在坡面扎根<sup>[6]</sup>。

##### 3.2.2 覆土栽植

首先进行土层喷射, 喷基层植被混凝土, 花生壳及水泥按一定比例、厚度需要覆盖山体, 以形成一个整体。进行种植土喷洒, 其中含有的营养物质包括长效复合肥和喷种植土。其次进行嵌入栽植, 种植穴必须垂直, 上下口径相等, 尺寸由土壤及根系情况决定。

##### 3.2.3 养护管理

由专业人员负责制备养护, 若为乔木(落叶), 生长快, 需要修剪, 以保障常绿乔木的正常生长, 实现美化景观目的。冬季要保暖, 并在永久冻土之前用至少10cm厚的软垫覆盖根部。

#### 3.3 加固措施效果评价

植草护坡工作结束后, 将对生态系统恢复的

效果进行3次评估，分别是施工结束后1个月、施工完成3个月后及施工结束6个月后。

### 3.3.1 施工完成1个月后生态修复效果评价

在恢复之前，斜坡已经裸露，没有植物覆盖。恢复后的一个月，测试场地的坡度明显被土壤覆盖，土壤厚度比较均衡。经过一段时间的维护后，喷撒在山坡上的草种子萌发了。植被生长良好，原始裸露的斜坡在斜坡的顶部，中心和脚部清晰可见。特别是在山脚下，施工期间土壤层的堆积加快了植被的生长。植被生长比较快，覆盖率达到80%。但是，总体覆盖率不高，不到30%。原始的裸露坡度与周围的裸露坡度逐渐形成比较明显的对照。图2(a)显示了恢复后田间植被的生长。土壤层不落在斜坡上，几乎没有冲刷痕迹，只能看到草本植物，并且在斜坡上的覆盖率很高。这可能是由于重力对植被混凝土的影响，整体生态恢复效果不好。

### 3.3.2 施工完成3个月后生态修复效果评价

生态系统恢复工作完成3个月后，对生态系统恢复效果进行第二次评估。经过3个月的维护，植被生长状况良好。如图2(b)所示，稀疏的植被覆盖着茂密的绿草。根据现场调查，小灌木丛也正在萌芽和生长，斜坡上的植被覆盖率大概为70%。整个植物的平均高度为15~30cm，并且根系茂盛。最初，这些山坡形成了一层草丛和灌木丛，并逐渐绽放出景观物种和野花。该物种的整体性能相对丰富，可以在斜坡的早期阶段起到保护土壤侵蚀的作用。斜坡上的植被混凝土基础材料不会掉落，冲刷痕迹比较小。基于生态恢复效果的评价标准，生态恢复效果等级为良好。

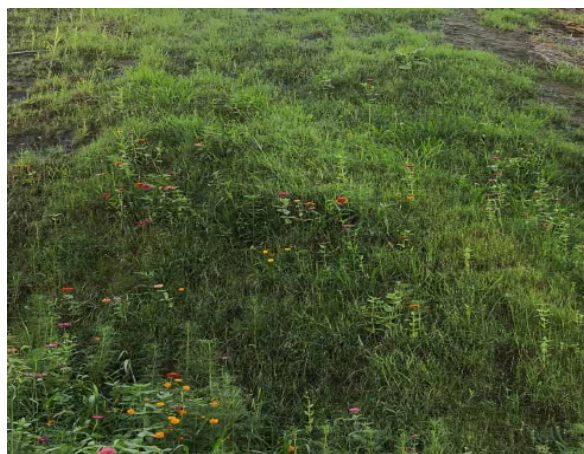
### 3.3.3 施工完成6个月后生态修复效果评价

在结束生态系统恢复工作6个月之后，将对生态系统恢复效果进行第三次评估。在半年的维护之后，斜坡生长了很多小灌木，植株高25~50cm，基本上形成了一个由草和灌木结合而成的植物群落。如图2(c)所示，植被土层比较完整，无脱落现象，也没有被冲刷。根据生态恢复效果的评价标准，生态恢复效果等级是良好。



(a) 1个月后

(b) 3个月后



(c) 6个月后

图2 不同时期植草防护效果评价

## 4 结束语

本文以银昆高速公路LJ10标段高边坡项目为依托，开展了稳定性分析及防治措施研究，并据此开展植草护坡的效果评价。研究发现，在未开挖前，山体的开挖稳定性较好，开挖后在靠近边坡表面稳定性随时受到较大影响，有必要对临空面采取加固措施。经实际边坡防治措施比选，边坡第一级采用拱形骨架植草+路堑墙防护，最上一级采用植草防护。经过3次评估植草护坡效果评估，发现护坡效果良好，能够确保边坡安全。

## 参考文献

- [1] 代雪，张家明.某场地边坡稳定分析方法的比较研究[J].中国安全生产科学技术，2021，17(11)：119-124.
- [2] 赵建祥，毕鹏飞，惠亚强.降雨作用下高填方边坡失稳机制研究[J].水利水电技术(中英文)，2021，52(S2)：421-429.
- [3] 叶帅华，张玉巧，房光文.黄土高填方边坡的稳定性影响因素及其变形规律[J].兰州理工大学学报，2021，47(3)：120-126.
- [4] 李婷，苏谦，崔雅莉，等.椅式桩板墙加固土质高边坡地段高填方路基模型试验研究[J].铁道学报，2021，43(5)：153-159.
- [5] 别江波，宋龙龙，李志勇，等.西南某高填方边坡的变形及稳定性数值模拟[J].河南科技，2021，40(16)：77-79.
- [6] 李麒麟，丁保艳，王鹏.兰州地区某黄土高填方边坡的稳定性分析与联合支护设计[J].水利与建筑工程学报，2020，18(6)：165-171.