

# 边坡立体绿化工程的稳定性

张永兴, 王桂林, 杜太亮  
(重庆大学土木工程学院, 重庆 400045)

**摘 要:** 山地城市有许多大面积锚杆喷浆硬化封闭的边坡与城市景观极不协调, 为改变这些生硬、单调的自然坡体现状, 政府要求对其进行立体绿化。本文以修建黄花园大桥石板坡立交工程形成的石板坡为例, 通过多种方法研究了绿化荷载作用对边坡稳定性的影响, 结论表明绿化荷载对边坡的稳定性影响较小, 只要施工顺序得当可以保证安全。

**关键词:** 山地城市; 边坡绿化; 稳定性

**中图分类号:** P642 **文献标识码:** A

## 1 引言

随着我国人民生活水平的提高, 人们对环境保护的意识正一步步地加强, 在进行边坡设计、滑坡治理中充分结合生态工程绿化美化环境的情形日益重视<sup>[1,2]</sup>, 但类似重庆等山地城市由于城市建设的需要, 开挖形成了许多边坡, 这些边坡一般采用锚杆喷浆硬化封闭, 形成了大片灰色、单调的城市生硬景观, 与日益发展的城市经济建设极不相符, 也相应影响了城市的对外交流与进一步发展。为此政府有关部门提出了边坡必须搞绿化, 绿化与亮点相结合的思路, 以使山地城市建设的面貌有较大改观。但对已经形成的边坡而言, 搞绿化工程对原边坡必须施加附加的绿化荷载, 由此原边坡的稳定性会发生相应的改变, 因此急需对绿化荷载的边坡的稳定性的影响程度作出切合实际的评价, 以利于绿化部门开展工作。重庆市修建黄花园大桥石板坡立交工程时形成的石板坡, 在建设时其配套绿化没有同步设计和施工, 使目前大面积锚杆喷浆硬化封闭的边坡与城市景观极不协调。为改变石板坡生硬、单调的自然坡体现状, 重庆市政府决定对石板坡进行立体绿化。本文以该边坡为例研究绿化荷载作用对边坡稳定性的影响。

## 2 工程概况及计算参数选取

### 2.1 绿化工程方案

石板坡立体绿化工程实施段位于石板坡立交匝道的北侧边坡, 立体绿化分三个层次进行(图 1), 第一个层次是边坡基部绿化, 主要是利用基部人行道上绿化带, 补植高大、直立的常绿乔木。第二层次是边坡绿化, 主要是利用边坡有一定宽度的自然台阶, 用普通砖砌筑高 30 cm~40 cm 栽植藤蔓植物及低矮花灌木。第三层次是边坡顶部绿化, 主要是利用顶部居住群与便道之间的大块空地, 开辟修建绿带, 种植大乔木。同时, 为满足人们近景观赏的需要, 选择在边坡顶部与长江大桥中轴线位置, 考虑设置一休闲观景平台。第二三层次绿化工程对原有边坡施加了一定荷载, 而原边坡设计未考虑这一影响。

### 2.2 主要工程地质条件

石板坡边坡场地属丘陵河流侵蚀地貌, 为黄花园大桥石板坡立交的北侧, 原地形起伏较大, 为陡崖、悬崖及阶梯状陡边坡, 地面标高在 221.40 m~253.22 m 间, 最大高差 31.82 m。

场地地层自上而下按堆积年代主要有第四系松散沉积和侏罗系中统沙溪庙组岩层。第四系松散土层包括填筑土和厚度约 0 m~1.65 m 的残坡积粉质粘土层; 侏罗系中统沙溪庙组砂、泥岩互层, 产状较缓, 倾向 135°, 倾角 16°。

收稿日期: ; 改回日期: 。

作者简介: 张永兴(1941—), 男(汉), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程方面的教学与研究工作。

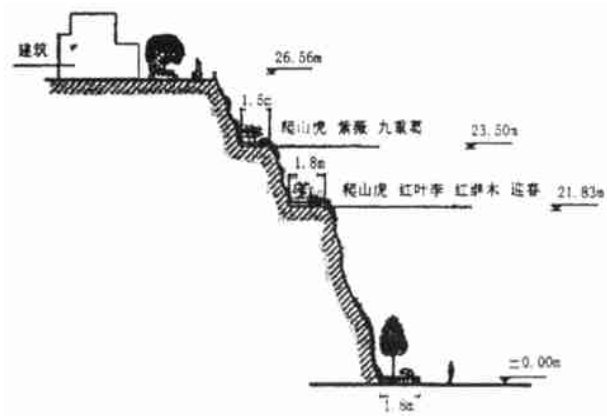


图 1 立体绿化工程布置剖面图

Fig.1 Arrangement section of spatial virescence

场地位于川东弧形构造带龙王洞背斜东翼,岩质边坡主要发育有三组软弱结构面,两组“X”节理和岩层面,其产状分别为:I组 $220^{\circ}/\angle 65^{\circ}$ 、II组 $290^{\circ}/\angle 70^{\circ}$ 、III组(层面裂隙) $135^{\circ}/\angle 16^{\circ}$ 。场地内无断裂构造、滑坡等不良地质现象。

地下水主要补给来源于大气降水和少量生活废水,由于坡度较大,大部地段覆盖层较薄,岩层的倾向与坡向同向斜交,坡体不具地下水赋存条件,勘察钻孔中未见地下水。

勘察报告提供的主要地层物理力学参数建议值如下表1。

2.3 边坡支护设计概况

石板坡立交边坡分多级台阶开挖(10m为一级),主要以喷射砼、锚杆、浆砌条石为支护手段。最高一级护坡为7.5号浆砌条石护坡,坡顶作石砌栏杆,并考虑截水作用。锚杆为迈式注浆钻进锚杆R32N,锚头加垫板,并被混凝土覆盖。边坡坡率均

为1:0.3,锚杆长度为6m,倾角为 $30^{\circ}$ ,纵向间距3.0m,垂直间距2.5m,面板为厚10cm的C20喷射砼,因匝道B线北侧坡体为砂岩,锚杆长度为3m,倾角为 $15^{\circ}$ 。在边坡施工中,要求至上而下逐级下挖至设计边坡位置1m~2m处适宜用光面爆破,使面光滑平整。坡口线上30m~50m范围内禁建高层建筑,并应考虑截水作用。

2.4 计算参数及计算荷载的确定

1. 岩体计算参数

根据地质勘察成果、重庆市地方标准《重庆市工程地质勘察规范》的有关规定及考虑时间效应,岩体计算参数的取值如表2所示。

2. 计算荷载

立体绿化分三个层次进行,对原有边坡稳定性构成影响的是第二三层次的绿化荷载。据绿化设计资料,第二层次的绿化作用于边坡的台阶上,绿化荷载为: $22\text{kN}/\text{m}^3 \times 0.4\text{m} = 8.8\text{kPa}$ ,考虑施工影响,取为 $8.8 \times 2 = 17.6\text{kPa}$ 。第三层次的绿化作用于边坡的顶部,绿化荷载主要是种植的大乔木、修建的观景平台及人群荷载,考虑施工影响,总体荷载可取为: $14\text{kN}/\text{m}^2 \times 2 = 28\text{kPa}$ (相当于两层砖混房屋的荷重)。

3 边坡支护设计验算

3.1 边坡岩体破坏特征分析

据地勘资料,该边坡岩体为砂泥岩互层状结构,坡体发育的第II及第III组软弱结构面与边坡同向斜交形成外倾结构面,因此这种岩体在自重及绿化荷载作用下,很有可能出现沿外倾结构面破坏。根据对地勘资料、边坡设计、绿化工程设计资料的分析及现场观察,可取图2所示的剖面作为最不利的计算剖面。

表 1 岩体力学参数勘察报告建议值

Table 1 Rock-mass mechanical parameters of investigation

岩体	自然重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	抗压强度(MPa)		抗拉强度 (MPa)	抗剪强度		与砂浆的粘结 强度(MPa)
		饱和	天然		C (MPa)	$\varphi (^{\circ})$	
①泥岩	25.53	12.92	19.77	0.17	0.60	34	0.15
②砂岩	24.13	36.43	45.14	0.52	0.92	40	0.40
③泥岩	25.92	14.56	20.31	0.18	0.71	35	0.15
④砂岩	—	34.85	—	—	—	—	0.40

砂岩与泥岩接触面抗剪强度:  $C=0.3\text{MPa}$   $\varphi=25^{\circ}$



应变问题。本文采用 Flac 程序模拟了边坡岩体分别处于自重、坡顶及台阶堆载的情况。

计算结果表明,绿化工程施工前由于原始地形开挖形成现在边坡时,产生的位移主要是回弹为主,其最大竖向位移与水平位移分别为 1.90mm、-0.80mm,部位在坡脚;绿化工程实施后,引起的最大竖向位移与水平位移数值增加不大,仅分别约 -0.85mm、-0.18mm,受坡体台阶及坡顶施加荷载的影响,最大竖向位移产生在坡顶,最大水平位移产生在坡体临空面。由以上分析可知,绿化工程实施后的变形对边坡稳定性影响甚微。

计算表明现有条件下的应力在坡脚处有小范围的应力集中,绿化工程实施后对上述应力分布情况的影响不大,应力集中数值增大值不超过 0.1MPa,而拉应力区基本没有增加,且在施工前后均未出现塑性点。

## 5 主要结论及建议

1. 边坡支护设计验算结果分析表明,由于绿化工程产生的附加荷载不大,对边坡的稳定性影响甚小,引起的边坡安全系数下降最大值还不到 6%,但仍能满足规范规定值,现有支护体系是安全的。

2. 数值计算结果表明,施工前后边坡岩体位移产生最大值部位有所变化,但新增竖向位移、水平位移最大值均 $< 1.0\text{mm}$ ;施工前后边坡岩体产生的应力变化很小,且均未出现塑性点,但有少量的拉应力区,而绿化工程对应力影响很小,新增应力最大值均未超过 0.1MPa,且拉应力区基本没有增加,表明坡体强度能满足要求。

3. 边坡失稳的主要因素之一是与水的作用有关<sup>[3]</sup>,因此,在绿化工程的浇灌过程中应尽量减少浇灌水下渗至坡体内而导致对边坡稳定性的影响,应做好坡顶的排水和种植土与坡体间的隔排水构造措施,且在实施过程中限制施加荷载不得超过计算值。

综上所述,绿化荷载对边坡的稳定性影响较小,因此,对于类似边坡进行立体绿化工程是可行的。

### 参考文献:

- [1] 林保华. 应用香根草绿篱治理公路滑坡的实践[J]. 公路, 1999, (3): 5~7.
- [2] 舒翔, 杜娟, 曹映泓, 等. 生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J]. 公路, 2001, (7): 86~89.
- [3] 仵彦卿. 地下水与地质灾害[J]. 地下空间, 1999, 19(4): 303~314.

# Stability Study of Spatial Virescence Engineering of Slope

ZHANG Yong-xing, WANG Gui-lin and DU Tai-liang

(Faculty of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045 China)

**Abstract:** There are very disconformities between city sight and rigidification slope that closed by anchor and shot-concrete support in mountain city, to change the present of status of humdrum slope, government demand that slope should be afforested. Based on the Chongqing Huanghuayuan bridge Shibampo slope, virescence load influence on stability of slope have been study by manifold methods in this paper, the results show that virescence load influence on stability of slope is small, slope is stability as long as construction order is reasonable.

**Key words:** mountain city; slope afforestation; stability