

# 综合评价法确定岩质顺向坡软弱结构面的强度参数

杨朝发, 刘发祥

(贵州有色地质工程勘察公司, 贵州 贵阳 550005)

**摘要:**岩质边坡的勘察相对较为简单, 不像土质边坡那样当岩土结构复杂时使得勘察较为困难, 但当岩质边坡为顺向坡、且有软弱夹层时, 其软弱结构面抗剪强度指标的确定一直是勘察人员难以把握的问题。结合工程实例, 通过结构面大型现场直剪试验、规范查表法及反算法等综合评价法, 确定了岩质边坡软弱结构面的抗剪强度指标, 并对各方法进行了详细的介绍和分析, 以供类似工程作对比参考。

**关键词:**岩质边坡; 顺向坡; 软弱结构面; 强度参数; 综合评价法; 勘察

**中图分类号:** P642.2   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2012)08-0072-03

**Determination of Strength Parameter of Weak Structural Plane of Consequent Rock Slope by Comprehensive Evaluation Method/YANG Chao-fa, LIU Fa-xiang** (Nonferrous Geotechnical Investigation Company of Guizhou, Guiyang Guizhou 550005, China)

**Abstract:** The investigation of rock slope is easier than that of soil, because geotechnical structure is not that complex. But for the consequent rock slope with weak interlayer, the determination of shear strength indexes of weak structural plane has been difficult to grasp. Combined with the engineering case, according to the comprehensive evaluation by direct shear test, standard lookup method and inverse algorithm, shear strength indexes of weak structure of rock slope were determined, and detail introduction and analysis were made on each method to be reference to similar engineering.

**Key words:** rock slope; consequent slope; weak structural plane; strength parameter; comprehensive evaluation method; investigation

## 0 引言

近年来,岩质边坡顺层滑坡频繁发生,造成巨大的经济损失及人员伤亡,其危害性极大。岩质顺向坡引起了相关人员的重视<sup>[1,2]</sup>。多数岩质顺向坡的滑动,均为其间存在某一层或几层软弱结构面,由于其本身抗剪强度指标较低及人工切脚影响,其沿软弱结构面滑动的可能性极大<sup>[2]</sup>。按照要求,其结构面(特别是软弱结构面)的抗剪强度指标一般应通过原位测试确定,但当前并非所有工程均能做到,主要是由于岩体(特别是软弱结构面)的现场剪切试验费用较高、试验时间较长、试验条件不成熟等原因,大多数工程均参照相关规范进行查表取值。工程实践研究表明,不同软弱结构面强度参数求取方法得出的结果差异较大,给设计人员的使用带来相当困难。本文以贵州某小区岩质顺向坡的勘察工程为例,通过对软弱结构面进行现场直剪试验,并结合规范查表法、反算法等方法综合确定了岩质边坡软弱结构面参数,为支护设计提供符合工程实际的相关参数。

## 1 工程概况

贵阳市某小区位于贵阳市金阳新区,根据设计标高及位置关系,拟建场地的ABC区段建设将在其北西侧形成13.5 m高的基坑边坡及14.6 m高的小区道路边坡。边坡顶部为已修建好的其它小区A1、2、3、4、5、6号楼,因此认为该边坡为破坏后果严重的一级建筑边坡工程。根据调查和钻探结果综合分析,初步认为潜在的滑移面为边坡中含泥质软弱结构面。

## 2 边坡岩土结构特征

①第四系杂填土( $Q^m$ ):主要由粘土、碎石、砖块等组成,结构松散,不均匀,厚度在0~5.1 m之间。

②第四系红粘土( $Q^{dl+cl}$ ):褐黄色,结构致密、质细、均匀,呈硬塑状,场地层厚一般为0~3.0 m。

③三叠系关岭组( $T_2g$ ):主要为灰~灰白色白云岩、泥灰岩,层间夹薄层泥岩(软弱夹层),中厚层状,细~中晶结构,节理较为发育。

④软弱夹层(软弱结构面):灰绿、灰色,薄层,

收稿日期:2012-02-27

作者简介:杨朝发(1977-),男(土家族),贵州思南人,贵州有色地质工程勘察公司工程师,岩土工程专业,从事岩土工程勘察、设计等研究工作,贵州省贵阳市宝山南路27号凯尼大厦12楼郑丽转(550002),505000688@qq.com。

主要为泥岩组成,在其白云岩与泥灰岩层间有分布,呈强风化,遇水易软化。

### 3 边坡特征及破坏模式分析

#### 3.1 边坡特征

根据设计提供的总平面图,受征地条件限制,为满足平场、开挖要求,将进行切坡,切坡后将形成长257 m、高14.6 m的人工边坡,且已部分开挖(本文以BC段为例)。

BC段位于拟建场地的东侧中段,边坡顶为某单位的已建小区,距离红线6.0~8.0 m,有一定放坡条件。开挖将形成10.0~15.0 m高的基坑岩质边坡,坡向为130°,其岩土构成主要为中风化基岩,层间夹薄层泥岩,泥岩的结构面表面平整光滑、无胶结,且延展性较好,因此,根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)的评价标准判断,该边坡岩体软弱结构面的结合程度为结合很差的类型<sup>[3,4]</sup>。

#### 3.2 边坡破坏模式分析

根据边坡勘察成果和地表实地调查,勘察区岩体中除层面外主要存在2组节理,产状分别为45°∠85°(J1)和110°∠70°(J2),其性质为张节理,岩浅部节理平均间距0.1~0.3 m,结合差,发育深度较深。岩层产状为115°∠20°(S0),开挖坡面为130°∠65°。根据上述参数绘制边坡的赤平极射投影图如图1所示。

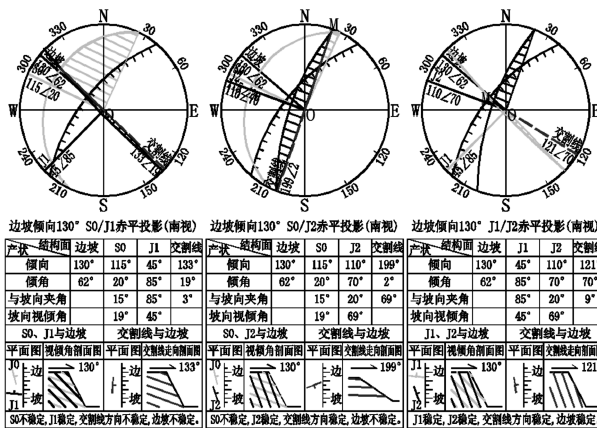


图1 赤平投影图

经对上述赤平投影图分析得知,该边坡沿两组节理面J1、J2均稳定,沿层面(软弱结构面)S0不稳定,其边坡主要的破坏形式为沿S0顺层滑动,其滑动面为其间的软弱夹层,因此,勘察设计的关键就是确定该软弱夹层的强度指标。

### 4 软弱结构面参数的确定

#### 4.1 现场大型直剪试验及其成果

##### 4.1.1 试验点的选择

试验点的选择根据现场地形地貌条件、岩体出露分布情况、边坡特征及便于试验操作等因素综合考虑,其水平剪切力同边坡临空方向一致。

##### 4.1.2 试验设备

本试验在试坑中进行,垂直压力采用平台堆载为反力系统(以6根工字钢梁为次梁铺置竹胶板形成一个长4.8 m、宽2.0 m的堆载平台,其上均匀堆载砂袋,堆载量约100 kN),水平剪力以试坑壁为反力系统;正应力及水平剪应力加压系统均为油压千斤顶;正应力测力装置由200 kN传感器及应变仪组成,水平剪应力测力装置为200 kN测力计,测力装置于试验前在室内进行率定,现场根据加荷标准及率定值逐级加荷;传力系统由传力柱、钢垫块、滚轴、承压板等组成;位移量测系统由大行程百分表、磁性表座、万能表架、量表支架等组成。

##### 4.1.3 试验方法

采用“平推法”进行现场大剪试验,其加荷方式为:在试样修整完毕、设备安装好后,施加法向应力,由于试件变形使垂直压力下降时应随时补压,待垂直压力稳定、垂直变形达到相对稳定后,开始均匀施加水平推力,各试验点的剪应力按预估最大荷载的8%~10%分级等量施加,每级剪切荷载施加5 min施加下一级剪切荷载,直到测力计读数不再升高时即可认为岩体已产生剪切破坏,当剪切变形急剧增加或剪切位移达到50 mm可终止试验。按上述方法在不同垂直压应力下进行试验,试验结果见图2、图3和表1。

表1的结果是在天然状态下得到的,可以看出,内摩擦角的峰值是残余值的1.36倍,粘聚力的峰值是残余值的1.52倍,二者的比例关系比较一致,但残余值的降低幅度比较大。由此可见,采用现场原

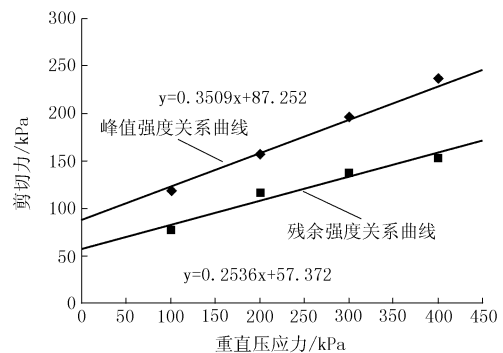


图2 P-τ关系回归曲线

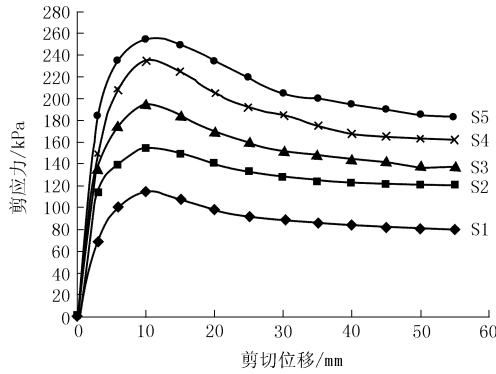


图3 剪切位移与剪应力关系曲线

表1 主要试验成果表

试验 编号	垂直压 力/kPa	剪应力/kPa		内摩擦角 $\varphi/(\circ)$		粘聚力 $c/\text{kPa}$	
		峰值	残余	峰值	残余	峰值	残余
1	100	118.09	77.2				
2	200	157.1	115.4				
3	300	195.3	136.2	19.3	14.2	87.3	57.4
4	400	237.0	153.6				
5	500	254.4	184.9				

位剪切试验可以得出不同物理条件下的指标,其指标具有明确的物理意义,这更有利于设计时根据计算工况进行选用。但缺点是试验数据有限,代表性不强,为了与规范中的标准值一致,在没有足够统计样本时需凭以往经验进行一定折减后作为标准值采用。根据相关资料的研究数据分析<sup>[5]</sup>,结合该场地岩体室内试验数据的变异特征和以往经验,分别对内摩擦角和粘聚力的实测值采用0.90和0.85的折减系数进行折减,即: $c_{k\text{峰}} = 74.2 \text{ kPa}$ ,  $\varphi_{k\text{峰}} = 17.4^\circ$ ;  $c_{k\text{残}} = 48.8 \text{ kPa}$ ,  $\varphi_{k\text{残}} = 12.8^\circ$ 。

#### 4.2 规范法确定软弱结构面强度参数

规范法实际上是根据定性评价结果确定力学参数的方法,根据文献[3],若无现场试验结果时,可按表2对结构面的强度参数进行取值。

表2 结构面抗剪强度指标标准值

结构面类型	结构面结合程度	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	粘聚力 $c$ /MPa
硬性结构面	1 结合好	35	0.13
	2 结合一般	35~27	0.13~0.09
	3 结合差	27~18	0.09~0.05
软弱结构面	4 结合很差	18~12	0.05~0.02
	5 结合极差(泥化层)	根据地区经验确定	

根据该边坡软弱结构面实际情况,不具备文献[3]中注明的不利情况,其力学特征最接近于软弱结构面中的结合很差类型,按照一般情况下,取中值为: $c_k = 35.0 \text{ kPa}$ ,  $\varphi_k = 15.0^\circ$ 。

#### 4.3 反算法

虽然该边坡还未出现明显滑坡现象,但坡顶有细微裂缝出现,推断该边坡处于临界稳定状态下,将边坡稳定系数为  $K_s = 1$  时进行反算,考虑到内摩擦角的变异性相对较小,取  $\varphi_k = 15^\circ$  反算  $c_k$  值,式(1)为反算采用的模型公式<sup>[3]</sup>:

$$K_s = \frac{(\gamma V + Q) \cos \theta \tan \varphi + A_c}{(\gamma V + Q) \sin \theta} \quad (1)$$

反算采用的已知参数如下:

$V = 1402.3 \text{ m}^3$ ,  $\gamma = 27.3 \text{ kN/m}^3$ ,  $A_c = 88.3 \text{ m}^2$ ,  $\theta = 20^\circ$ ,  $\varphi_k = 15^\circ$ ,  $Q = 3520 \text{ kN}$ (附加荷载,已有11层建筑,按单位荷载  $20 \text{ kN/m}^2$ ,长  $16 \text{ m}$ )。

反算求得  $c_k = 43.0 \text{ kPa}$ 。由此可见,反算的结果更接近现场剪切试验的残余值,说明边坡接近临界稳定的假定是基本符合实际的。

#### 4.4 综合分析

各种方法得到的指标见表3。

表3 各种方法的抗剪强度指标对比

取值方法	$c_k/\text{kPa}$	$\varphi_k/(\circ)$	备注
现场直剪	48.8	12.8	残余值
	74.2	17.4	峰值
规范查表	35.0	15.0	中间值
反算法	43.0	15.0	$K_s = 1$

从表3分析可看出,尽管反算法的模型接近实际,但由于事先需假定其中一个参数为定值,所以得出的结果人为因素偏大,选用哪一个参数作为定值反算需结合2个参数对边坡进行敏感性分析后才能提出,但其反算的结果至少可以判断设计计算的取值倾向。由于多数研究都认为现场试验结果是更为可靠的指标,本项目反算的结果表明选取现场试验的残余值更为合理。考虑到本次试验数据有限、代表性不够,同时规范法又是对定性评价结果的运用,一般取值偏于保守,基于这一思路,本次勘察选用规范法和现场直剪残余值的平均值作为最终的设计指标,既照顾到经验的结果,又充分利用了试验数据。因此,笔者认为选用  $c_k = 42.0 \text{ kPa}$ 、 $\varphi_k = 14.0^\circ$  进行设计计算更为经济合理。后期监测结果表明边坡的运营是安全的。

#### 5 结语

通过上述分析可见,在对已开挖或部分开挖岩质边坡进行勘察过程中,首先对边坡的稳定性状况和破坏模式进行正确分析尤为重要,对正确确定岩质边坡软弱结构面的抗剪强度指标具有全局的指导

(下转第78页)

经过固壁灌浆,试验孔 ZK25 号刚开始时,跟管钻进效率极低,在孔深为 21.2 ~ 27.9 m 时,固壁段共复灌 5 次。

复灌前后孔内出现的情况:第一次固壁待凝后扫孔钻进,孔内无砂浆填充情况、漏风严重,钻进难度基本同灌注前;第二次复灌后孔壁掉块卡钻、孔内无返风、返渣现象;第三次复灌后,固壁情况有所改善,固壁段顶端少许掉块,扫孔钻进十分困难;第四次和第五次复灌后,扫孔至孔底有水泥砂浆结石,孔壁有少许掉块,多次卡钻,经多次进退钻杆后,勉强维持钻进。其单次灌段最大灰砂单耗 1429.5 kg/m,最小单耗 594.71 kg/m,固壁段平均单耗为 1140.57 kg/m。

而经过掺入 0.4% 的硫酸钙后,钻进 27.9 ~ 41 m 时,复灌共 3 次:第一次为块石夹泥土结构松散,在 30.3 m 时抱死钻杆,无法钻进;第二次为块石夹泥土,严重漏风,进尺极慢;第三次为块石区,掉块卡钻,钻进特别困难。其单次灌段最大灰砂单耗 1223.5 kg/m,最小单耗 568.71 kg/m,固壁段平均单耗为 1020.57 kg/m。ZK25 孔加入硫酸钙前后复灌次数明显减少,灰砂单耗显著减少,其余相关试验成果见表 4。

表 4 固壁灌浆成孔功效表

孔号	设计孔深/m	跟管长度/m	总注入量/kg	浆液单耗/(kg·m <sup>-1</sup> )	待凝时间/h	固壁灌浆功效/(h·m <sup>-1</sup> )
ZK25	60.00	26.30	61953.60	1032.56	2.0	4.12
ZK26	65.00	19.50	80041.00	1231.40	2.0	2.45
ZK34	56.00	17.30	51494.24	919.54	2.0	3.43
ZK35	60.50	17.50	68537.43	1132.85	2.0	2.45

#### 4 效果评价

根据该工程实际需要,进行固壁灌浆试验研究,选用经调整后的试验推荐固壁灌浆配比后,取得了良好的固壁效果:(1)固壁灌浆复灌次数明显减少,减少工程量;(2)固壁灌浆灰浆总耗比以前大量减

少,灰浆单耗降低;(3)缩短固壁后待凝时间,钻进成孔功效有较大提高,工期进度加快;(4)固壁灌浆试验材料价格低廉,经济合理,各材料用量控制可操作性强;(5)在满足成孔要求前提下,节约水泥砂浆用量,降低工程造价。

#### 5 结论

(1)试验结果表明,根据工程需要在普通硅酸盐水泥中加入一定量的速凝剂和硫酸钙后,能调整其凝结时间和早期强度,且可操作性强。

(2)在掉块卡钻频发、漏风、严重架空的松散堆积体覆盖层中,采用跟管钻进效率低下时,固壁灌浆时在普通硅酸盐水泥中加入适量的速凝剂和硫酸钙,以改变其水泥特性,能很好的发挥其固壁灌浆作用,缩短固壁待凝时间,加快工程施工进度。

(3)通过试验研究及工程实践验证,采用水:水泥:速凝剂:硫酸钙=0.5:1:0.006:0.04 的配合比时,能达到很好的固壁灌浆效果,保证孔壁稳定,降低灰砂消耗,节约工程费用,在今后相关工程中可参考运用。

#### 参考文献:

- [1] 陈礼仪,胥建华.岩土工程施工技术[M].四川成都:四川大学出版社,2008.
- [2] 赵启强.硫铝酸盐水泥速凝浆液在锚索钻孔固壁中的试验与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):74-76.
- [3] 袁进科,陈礼仪.普通硅酸盐水泥与硫铝酸盐水泥复配改性灌浆材料性能研究[J].混凝土,2011,(1):128-130.
- [4] 张卫军,杨占东,谷建国.拉西瓦水电站 1 号变形体破碎岩体快速成孔施工技术的试验与研究[J].西北水电,2008,(5):59-62.
- [5] 缪绪樟,曾鹏九,鄢泰宁.回填砂卵石层固结灌浆[J].水力水电科技进展,2008,28(4):60-64.
- [6] 陈长俊,吕绍芬,王铁政,等.几种常用灌浆材料的分析[J].黑龙江交通科技,2001,(3):9-11.

(上接第 74 页)

意义。软弱结构面强度指标的确定无论采用哪一种方法都是不全面的,灰色信息太多,很难得出合理的取值结果,文中的综合评价法应是确定软弱结构面强度指标的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] 陈祖煜.土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M].北

京:中国水利水电出版社,2003.

- [2] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等.岩质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [3] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].
- [4] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [5] 林宗元.岩土工程试验监测手册[M].辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1991.