

# 冉家沟滑坡稳定性影响因素敏感性分析

陈元勇

(江西交通职业技术学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:**在对黄土地区冉家沟滑坡勘察和设计过程中发现,影响其稳定性的主要因素有滑带土内摩擦角、滑带土黏聚力、滑坡体重度以及公路荷载4个因素,并且各影响因素的显著程度有一定的差异。为了准确判断各影响因素的显著程度即各因素的敏感性,运用正交试验设计的方法,对4个因素分别取5个水平进行分析。试验结果表明:冉家沟滑坡稳定性影响因素敏感程度由高到低依次为滑带土内摩擦角 $\varphi$ 、滑带土黏聚力 $c$ 、滑坡体重度 $\gamma$ 和公路荷载 $q$ 。同时,绘制滑坡稳定性系数随因素水平值变化的趋势图,进而判别各因素的变化对滑坡稳定性影响的具体情况。结果表明:滑坡的稳定性与滑带土内摩擦角、黏聚力呈正相关,与滑坡体重度呈负相关,公路荷载在一定范围内变化时对滑坡稳定性无明显影响。

**关键词:**黄土滑坡; 稳定性; 影响因素; 正交设计

冉家沟滑坡是银(川)百(色)高速公路罗圈段的主要地质灾害之一,其对公路的设计、施工有着较大的制约。滑坡稳定性评价和工程治理措施的提出,需要了解各影响因素的敏感性,以便在滑坡理论分析和工程治理时有着更加明确的目标。滑坡稳定性影响因素较多,例如滑带土内摩擦角、滑带土黏聚力、边坡类型、坡体上荷载、地震和滑坡体重度等,并且各个因素所占的比重有所差异。影响冉家沟滑坡稳定性的内部因素是滑带土内摩擦角、滑带土黏聚力和滑体土的重度,外部因素是滑坡体上的荷载,该荷载是由拟建公路对滑坡所产生的公路荷载。

采用正交试验设计对冉家沟滑坡的影响因素敏感性进行分析。运用直观分析法,对各个影响因素的敏感程度进行排序。同时,绘制稳定性系数随因素水平值变化的趋势图,分析各因素的变化对滑坡稳定性的具体影响。

## 1 滑坡概况

### 1.1 滑坡的形态特征

冉家沟地处甘肃省正宁县罗川乡,滑坡发育于冉家沟斜坡上,故命名为冉家沟滑坡。该滑坡在平面上呈圈椅状地形(图1),滑坡纵向长205~275 m,宽370~600 m,主滑方向为SW244°。现场勘探资料显示,

滑坡体最大厚度为30 m,体积约为250万 $m^3$ ,滑坡体成分以粉土和粉质黏土居多,含有少量钙质结核。

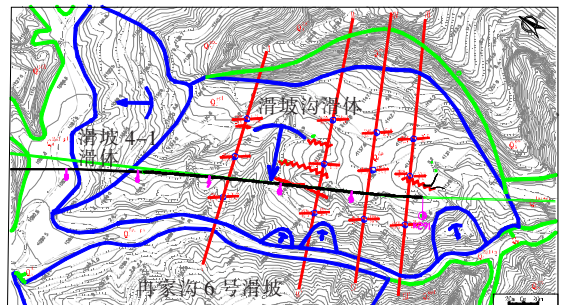


图1 冉家沟滑坡平面图

该滑坡后壁特征明显,植被覆盖较少,高55~75 m,坡度45°~55°,后壁上多出露离石黄土。冉家沟滑坡体表面相对平缓,在滑坡体中前部,有明显的反向台阶发育。滑坡前缘临空,形成30°左右的斜坡,在坡脚可见明显土体的剪切现象,局部可见扇形裂缝。滑坡前沿位于冉家沟的凹岸侧,水流常年对坡脚进行冲刷,致使坡脚土体流失,滑坡整体失去稳定。

### 1.2 滑坡的岩土特征

#### 1.2.1 滑体特征

通过调绘和地质钻探,揭露滑体土主要为粉土和粉质黏土。粉土主要为灰黄色,土质疏松多孔,稍湿,土体内部可见明显的红、黄色粉土混杂。粉质黏土主

要为红褐色,内部包含黄色的粉质黏土。在滑坡土体中,可见少量的钙质结核及菌丝。

### 1.2.2 滑带特征

地质断面显示,滑带呈现出上部陡、中部较缓、下部陡的情况。由于滑坡前沿受到间歇性洪水冲刷,滑坡体多次滑动,形成多级次级滑体。滑带土成分为粉质黏土,土体为灰黄色和红色,可塑。滑带土中,有明显的灰白色和褐红色粉质黏土混杂。滑坡前缘剪出口清晰,滑带和滑床剪切破坏特征明显。

### 1.2.3 滑床特征

根据勘探资料绘制的地质断面图可知:中上部滑床物质主要为中更新统黄土,岩性为灰黄~浅褐黄色粉质黏土,土质均匀,可塑~硬塑。中前部滑床为午城黄土,岩性为粉质黏土,棕红色土体均匀,硬塑,夹杂有深色铁锰质物质,含有较多钙质结核及胶结块,胶结块平均粒径 4 cm。

## 2 冉家沟滑坡正交试验设计与分析

### 2.1 确定分析指标

根据滑坡的特点以及选用的试验设计方法,以冉家沟滑坡 II-II 断面为例,进行计算分析,该断面在工程实际中有多个次级滑面,有两种分析工况。选择主滑面的天然工况下进行计算,观察稳定性系数的变化情况。分析的因素分别是黏聚力  $c$ 、内摩擦角  $\varphi$ 、荷载  $q$  和滑体重度  $\gamma$ ,每个分析因素确定 5 个水平值。对于因素各个水平的变化程度,分别按照工程实际取值的  $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$  的变化程度确定各个水平值,具体水平值见表 1。选择正交表  $L_{25}(5^6)$  进行计算。

表 1 因素水平表

水平	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	荷载 $q/$ $\text{kPa}$	重度 $\gamma/$ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
1	14.4	12.0	8.4	15.6
2	16.2	13.5	9.5	17.6
3	18.0	15.0	10.5	19.5
4	19.8	16.5	11.6	21.5
5	21.6	18.0	12.6	23.4

### 2.2 选择试验方案

把表 1 中各因素的水平值,代入到正交表  $L_{25}(5^6)$  中进行计算,其具体方案如表 2 所示。

### 2.3 试验结果分析

根据试验得出的结果,运用直观分析法进行数据

分析,结果见表 3。由极差大小可以看出:在影响冉家

表 2 试验方案

方案	$\varphi(1)/$ $(\circ)$	$c(2)/$ $\text{kPa}$	$q(3)/$ $\text{kPa}$	$\gamma(4)/$ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	空列	空列	稳定性 系数
1	1	1	1	1	—	—	1.117 72
2	1	2	2	2	—	—	1.122 08
3	1	3	3	3	—	—	1.126 34
4	1	4	4	4	—	—	1.129 13
5	1	5	5	5	—	—	1.132 12
6	2	1	2	3	—	—	1.274 42
7	2	2	3	4	—	—	1.280 60
8	2	3	4	5	—	—	1.286 30
9	2	4	5	1	—	—	1.374 38
10	2	5	1	2	—	—	1.370 02
11	3	1	3	5	—	—	1.444 77
12	3	2	4	1	—	—	1.518 17
13	3	3	5	2	—	—	1.519 68
14	3	4	1	3	—	—	1.520 96
15	3	5	2	4	—	—	1.521 95
16	4	1	4	2	—	—	1.673 34
17	4	2	5	3	—	—	1.679 39
18	4	3	1	4	—	—	1.682 82
19	4	4	2	5	—	—	1.687 14
20	4	5	3	1	—	—	1.784 28
21	5	1	5	4	—	—	1.850 12
22	5	2	1	5	—	—	1.856 15
23	5	3	2	1	—	—	1.938 53
24	5	4	3	2	—	—	1.937 27
25	5	5	4	3	—	—	1.937 28

表 3 试验结果

项目	$\varphi(1)$	$c(2)$	$q(3)$	$\gamma(4)$
$T_1$	5.627 39	7.360 37	7.547 67	7.733 08
$T_2$	6.585 72	7.456 39	7.544 12	7.622 39
$T_3$	7.525 53	7.553 67	7.573 26	7.538 39
$T_4$	8.506 97	7.648 88	7.544 22	7.464 62
$T_5$	9.519 35	7.745 65	7.555 69	7.406 48
$T_1/5$	1.125 478	1.472 074	1.509 534	1.546 616
$T_2/5$	1.317 144	1.491 278	1.508 824	1.524 478
$T_3/5$	1.505 106	1.510 734	1.514 652	1.507 678
$T_4/5$	1.701 394	1.529 776	1.508 844	1.492 924
$T_5/5$	1.903 870	1.549 130	1.511 138	1.481 296
$R_i$	0.778 392	0.077 056	0.005 828	0.065 320
	(1)	(2)	(4)	(3)

敏感程度排序

内摩擦角  $\varphi >$  黏聚力  $c >$  重度  $\gamma >$  荷载  $q$

沟滑坡稳定性的4个因素中,其敏感程度由高到低分别是滑带土内摩擦角 $\varphi$ 、滑带土黏聚力 $c$ 、滑坡体重度 $\gamma$ 和公路荷载 $q$ 。

为了判定各分析因素对试验指标的影响规律,把因素的水平值作为横坐标,把试验观察指标均值( $T_i/5$ )作为纵坐标,绘制因素与指标趋势图(图2~5)。

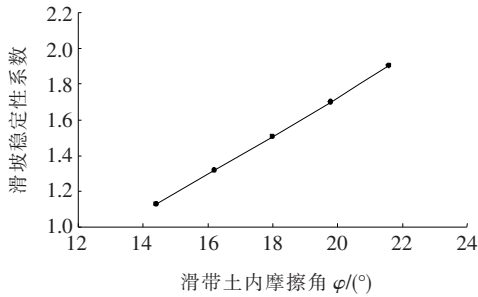


图2 稳定性与滑带土内摩擦角关系图

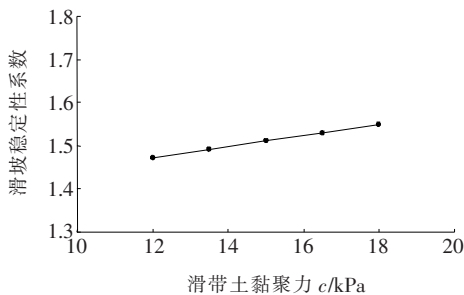


图3 稳定性与滑带土黏聚力关系图

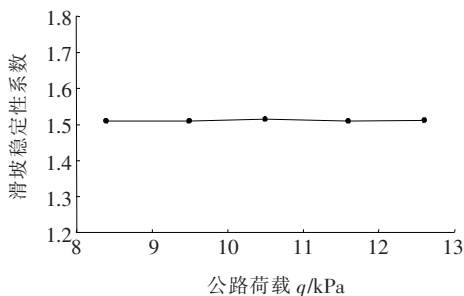


图4 稳定性与公路荷载关系图

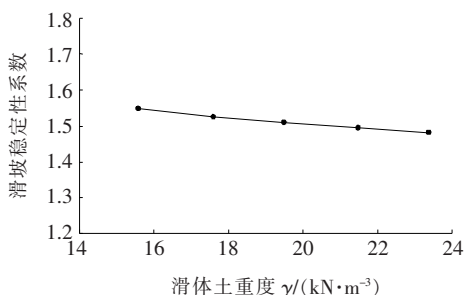


图5 稳定性与滑体重度关系图

由图2~5可知:①滑带土内摩擦角对滑坡的稳定性影响最大,并且内摩擦角逐渐增大,滑坡的稳定性呈增大的趋势,即滑坡越稳定;②滑坡的稳定性受滑带土黏聚力影响较显著,随着黏聚力增大,滑坡的稳定性系数增大;③在4个分析因素中,公路荷载对滑坡的稳定性影响最小;④滑坡的稳定受滑体重度影响较显著,并且随着滑体重度增大滑坡的稳定性系数减小,即滑坡的稳定性变差。

### 3 结论

(1)影响冉家沟滑坡稳定性的4个因素中,其敏感程度从高到低分别为滑带土内摩擦角 $\varphi$ 、滑带土黏聚力 $c$ 、滑坡体重度 $\gamma$ 和公路荷载 $q$ 。

(2)4个稳定性影响因素中,滑带土内摩擦角 $\varphi$ 对其稳定性影响最显著,并且随着内摩擦角增大,滑坡的稳定性随之增强。滑带土黏聚力对滑坡稳定性影响较为显著,随着黏聚力增大,滑坡的稳定性随之增强。滑坡的稳定性受滑体重度影响较显著,随着滑体重度增大,滑坡的稳定性降低。滑坡的稳定性受公路荷载影响较小。

### 参考文献:

- [1] 赵金,吴红刚,刘德仁,等.隧道一洞口滑坡体系受力特征及变形模式[J].中国地质灾害与防治学报,2019(3).
- [2] 刘新喜,侯勇,戴毅,等.软弱夹层岩质边坡长期稳定性研究[J].中外公路,2017(4).
- [3] 张红日,王桂尧,兰素恋,等.坡顶建筑与顺层软岩共同作用的滑坡机制及抢险处治研究[J].中外公路,2018(2).
- [4] 杨光,徐佩华,曹琛,等.基于确定性系数组合模型的区域滑坡敏感性评价[J].工程地质学报,2019(5).
- [5] 章晓勤.正交实验法在兼容性测试中的应用[J].武汉大学学报,2013(10).
- [6] 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [7] 王岩,隋思涟.试验设计与MATLAB数据分析[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [8] 符红.巫山县绕城公路肖家湾滑坡稳定性分析及处治[J].中外公路,2019(3).
- [9] 杨天军.川藏公路102道班滑坡整治保通工程实践与效果分析[J].中外公路,2019(2).