

# 关于滑坡安全储备衡量系数问题的讨论

杨转运<sup>1</sup> 吴汉辉<sup>2</sup> 刘会<sup>1</sup>

(1. 四川建筑职业技术学院, 四川德阳 618000; 2. 四川冶金地质勘察局重庆蜀通岩土工程有限公司, 重庆 401147)

**【摘要】** 鉴于安全系数取值对滑坡防治工程的成效和费用有很大的影响, 由安全系数定义的安全储备系数能否衡量滑坡在治理后的安全储备值得深思, 列出了不同国家和行业的几个标准, 来说明和探讨这一问题, 结论指出安全度分析需同时考虑安全储备系数和治理后的稳定系数, 并推举出抗滑支挡设计荷载的取值建议方法。

**【关键词】** 安全储备; 安全系数; 稳定系数; 安全等级

**【中图分类号】** P 642.22

## Discussion on Landslide Safety Repertory Factor Weighed

Yang Zhuanyun<sup>1</sup> Wu Hanhui<sup>2</sup> Liu Hui<sup>1</sup>

(1. Sichuan College of Architectural Technology, Deyang Sichuan 618000; 2. Chongqing Shutong Geotechnical Engineering CO., LTD, Sichuan Metallurgy Geology Reconnaissance Group, Chongqing 401147 China)

**【Abstract】** Based on choosing safety factor that has prodigious influence on effect and expense of prevention and cure in the landslide, whether safety repertory factor of landslide defined according to safety factor can weigh landslide safety repertory value behind being fathered or not is worth pondering over. Several criterions of different country and industry are listed in order to explain and discuss this problem. The conclusion indicates that safety degree analyse need consider safety repertory factor and stable factor behind being fathering, and put forward choosing value advice method of loads in the design of anti-sliding and supporting and holding up.

**【Key Words】** safety repertory; safety factor; stable factor; safety grade

### 0 引言

滑坡治理中支挡结构所承受的设计荷载值应如何选取, 不仅直接影响治理工程的投资, 而且也涉及支挡结构的总安全储备。文献[1]讨论了已变形位移的滑坡推力可不反算滑面抗剪强度指标而直接按现状稳定系数和设计安全系数简易地估算计算方法, 文献[2]讨论了粘性土在不同固结状态下的强度指标变化规律, 阐述了土的强度指标对滑坡稳定性的影响, 以及雨水对滑坡崩塌滑动的诱发作用。而设计荷载值这个问题至今未有一个统一的认识, 所以对此有进一步探讨的必要。

一般来说, 按土体极限平衡状态求岩土推力(或岩土压力)可用下式表达:

$$F_k = R_s - R_T \quad (1)$$

式中:  $F_k$ ——岩土体推力标准值;

$R_s$ ——岩土体下滑力;

$R_T$ ——岩土体抗滑力。

式(1)即为按库仑土压力理论计算支挡结构承

受的推力标准值, 考虑到滑坡的特性, 以往计算滑坡推力时对式(1)中的下滑力项乘以推力安全系数求得。即:

$$F_t = \gamma_t R_s - R_T \quad (2)$$

式(2)和式(1)相比究竟有多大安全储备, 需进一步分析。一些专家提出由下式定义的安全储备系数衡量滑坡在治理后的安全储备:

$$k = \frac{F_t}{F_k} = \frac{\gamma_t R_s - R_T}{R_s - R_T} = \frac{\gamma_t - R_T/R_s}{1 - R_T/R_s} \quad (3)$$

令  $m = \frac{R_T}{R_s}$ ,  $m$  即为滑坡稳定系数。所以

$$k = \frac{F_t}{F_k} = \frac{\gamma_t - m}{1 - m} \quad (4)$$

根据式(4), 这些专家认为安全储备系数存在随稳定系数减小而减小的规律, 因而认为: 为使同一安全等级的滑坡治理工程在治理后的安全储备相当, 对稳定系数较小的滑坡进行治理时采用较大的安全系数, 这一结论已被某规范用作确定稳定系数极低安全系数取值的依据。

这些专家经过对三峡库区 80 余处滑坡的初步设计的统计<sup>①[3]</sup>,发现 80% 以上的滑坡在最不利工况下的稳定系数均在 0.8 以上,其余均在 0.6~0.8,于是这些专家认为稳定系数均在 0.8 以下时,安全系数应予以提高。一级安全储备系数不低于 2.25,二级不低于 1.75,三级不低于 1.25。

其公式为:

安全等级一级  $\gamma_1 = k(1 - m) + m, k = 2.25,$

所以  $\gamma_1 = 2.25 - 1.25 m$

安全等级二级  $\gamma_1 = 1.75 - 0.75 m$

安全等级三级  $\gamma_1 = 1.25 - 0.25 m$

## 1 安全储备系数的有效性判断

由式(4)给出的  $m-k$  曲线图(见图 1)可以看出,当  $1 - m > 0$  时,即  $m < 1$ ,安全储备系数有随稳定系数的减小而减小的规律。

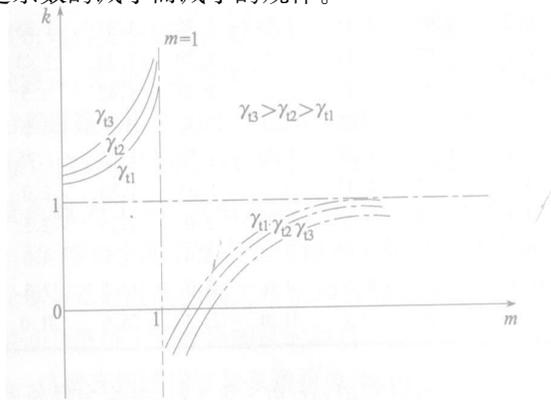


图 1  $m-k$  曲线图

$m = 1$ , 滑坡体处于极限平衡状态,  $k = \pm \infty$ , 这就是说,当稳定系数为 1 时,无论怎样治理,安全储备系数既是正无穷大又是无意义的负无穷大。

$\gamma_1 > m > 1$ , 滑坡体处于欠稳定状态,  $k < 1$ , 这就是说,当稳定系数大于 1 时,无论怎样治理,安全储备系数都是无意义的负值。

$m \rightarrow \gamma_1$  时,  $k \rightarrow 0$ , 滑坡体处于基本稳定状态, 这就是说,当稳定系数为 1 时,无论怎样治理,安全储备系数既是正无穷大又是无意义的负无穷大。

由此可见,由式(4)确定的安全储备系数  $k$  在无论是在定性还是定量上都无法反映滑坡在  $0 \sim \gamma_1$  内安全储备的情况,因此安全储备系数  $k$  不能作为反映滑坡在治理后安全储备的指标。

## 2 衡量滑坡安全与安全储备系数的关系

由于安全储备系数并不存在随着稳定系数的减

小而减小的规律,因而该安全储备系数不能衡量滑坡在  $0 \sim \gamma_1$  内安全储备的情况。

### 2.1 工程现象分析

现象 1: 有两个抗剪强度指标不同的滑坡,  $m_2 < m_1 < \gamma_1$ , 决定采用灌浆加固处理。若  $\gamma_2 > \gamma_1$ , 那么当两个滑坡的稳定系数刚好等于  $\gamma_1$  时,一个滑坡的治理达到要求,另一个滑坡的治理未达到要求<sup>[4]</sup>。

分析: 治理后的稳定系数尽管相同,但安全系数的标准不同,其中一个治理后稳定系数仍小于安全系数,滑坡的安全储备不足或者说安全储备未达到要求,仍需要采取治理措施。

现象 2: 一个滑坡安全系数一定,它的不同剖面稳定系数不同时,其安全储备不同。也就是说,同一安全等级的滑坡不同剖面的安全储备是不同的。

分析: 考虑支挡结构作用治理后,各个剖面的稳定系数即为安全系数,治理前稳定系数是不同的,治理后的稳定系数相同,但其安全储备系数却不同。

现象 3: 滑坡在治理施工过程中,其稳定系数是不断变化的,在这个过程中的任一个时间点上,该滑坡都是一个具有不同稳定系数的新滑坡,则其安全储备系数随时间也不断调整。

分析: 安全系数一定,治理中的稳定系数却不断变化,随着稳定系数的不断增加,当其  $m \geq 1$  时,按该式计算的安全储备系数变成无意义的负值。

### 2.2 分析结果

1) 该式只适用于稳定系数小于 1 的情况,在稳定系数大于等于 1 的情况下则不适用,该式的成立条件与稳定系数有关,不应当只与安全储备系数挂钩。

2) 滑坡的安全与否涉及到稳定系数和安全储备系数两个方面,缺一不可。滑坡的安全如果不和稳定系数挂钩,那么稳定系数这一概念就失去了意义。当稳定系数大于或等于安全系数时,滑坡有足够的的安全储备或者说安全储备已达到要求,无需采取治理措施;当稳定系数小于安全系数时,滑坡的安全储备不足或者说安全储备未达到要求,需要采取治理措施;当治理后稳定系数仍小于安全系数时,滑坡的安全储备不足或者说安全储备未达到要求,仍需要采取治理措施。

## 3 衡量滑坡安全的指标

滑坡的安全储备同地基和基础的安全储备一

①周晓雪,曾世仁. 滑坡治理工程重抗滑桩支挡设计推力安全系数的取值建议[G]//重庆市地质灾害防治工程资料汇编, 2004: 9-13.

样,只能通过抗力项和作用项来比较,滑坡在某状态下的稳定系数是滑坡在该状态下的抗滑力和下滑力比值,理所当然地能衡量滑坡在该状态下的安全储备,因而认为滑坡安全储备应用稳定系数来衡量。滑坡所处的状态对应一定的外部因素(降雨情况、水位情况、地震情况)、一定地形、一定的物质组成乃至一定的支挡结构,稳定系数不同的滑坡,其安全储备差异过大,会出现安全度不足的情况,因此有必要考虑这一问题。即滑坡安全与否必须同时考虑安全储备系数和考虑支挡结构作用的稳定系数。

按照式(4),  $k$  值在同一推力安全系数下,不同的  $m$  值其  $k$  值是不同的。在保证安全可靠、经济合理的前提下,应对现有抗滑支挡结构设计荷载的取值方法进行调整。调整后的取值应遵循以下原则:

- 1) 同一滑坡在同一安全等级下,按不同剖面位置设计的支挡结构其稳定系数应相同。
- 2) 无论哪一类滑坡中,同类设计基准期相同,采用的基本安全储备应相同,如钢筋混凝土抗滑桩应不低于 1.25。
- 3) 安全等级不同的滑坡之间稳定系数不应差异太大,否则会造成工程投资的巨大浪费。
- 4) 已存的工程实践证明,按三个不同的安全等级,其推力安全系数分别取 1.25(一级)、1.15(二级)、1.05(三级)是合理的。

5) 推力安全系数应随滑坡自身稳定性差异而取不同的值,由于制约滑坡稳定的因素较多,很难进行准确计算,不能说滑坡稳定系数大于等于 1,即安全储备无穷大的时候不需治理,考虑支挡结构作用的稳定系数应不低于已存的工程实践经验。

#### 4 衡量滑坡安全的计算公式

文献[5]对计算挡土墙土压力及滑坡推力在 3.0.4 条第 3 款中作了明确界定,即“计算挡土墙土压力、地基或斜坡及滑坡推力时,荷载效应应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合,但其分项系数均为 1.0”,并作为强制性条文执行。其含义即为下滑土体按极限平衡状态确定挡墙推力或滑坡下滑力,该规范在 3.0.5 条中规定这类由永久荷载控制的设计值为  $S = 1.35 S_k$  ( $S_k$  为荷载效应的标准组合值)。

故其设计推力为  $F_t = 1.35(R_s - R_T)$ ,安全储备为  $k = F_t / F_k = 1.35$

在《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2001)中规定<sup>[6]</sup>:恒荷载分项系数 1.2,活荷载分项系数 1.4

作为设计荷载。前苏联规定恒荷载分项系数 1.1~1.3,活荷载分项系数 1.2~1.4 作为设计荷载,ISO 建议恒荷载分项系数 1.35,活荷载分项系数 1.5 作为设计荷载,GEB/FIP 建议恒荷载分项系数 1.35,活荷载分项系数 1.5 作为设计荷载。

笔者认为,各国规范界定的分项系数与《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)3.0.5 条中规定相吻合,因而滑坡的最低安全储备系数建议取 1.35 是合适的,安全储备系数过大将会浪费工程投资。

按照式(4),安全储备系数随  $m$  值变化见表 1。

表 1 安全储备系数  $k$

$m$	$\gamma_t$					
	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3
0.1	1.06	1.11	1.17	1.22	1.28	1.33
0.2	1.07	1.13	1.19	1.25	1.31	1.38
0.3	1.07	1.14	1.21	1.29	1.36	1.43
0.4	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.5
0.5	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
0.6	1.13	1.25	1.38	1.50	1.63	1.75
0.7	1.17	1.33	1.5	1.67	1.83	2.0
0.8	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
0.9	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.95	2.0	3.0	4.0	5.0	13.5	7.0
0.99	6.0	11.0	16.0	21.0	26.0	31.0

从表 1 可以看出,在  $m < 0.9$  时,其安全储备系数可能小于 1.35,故应对其安全系数进行修正。

可按式计算其推力安全系数  $\gamma_t$ ,  $\gamma_t = k(1 - m) + m = 1.35(1 - m) + m = 1.35 - 0.35m$

安全等级一级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35m$  且  $\gamma_t \geq 1.25$

安全等级二级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35m$  且  $\gamma_t \geq 1.15$

安全等级三级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35m$  且  $\gamma_t \geq 1.05$

#### 5 滑坡新旧安全储备计算公式的对比

按照原来的公式,当  $m < 0.8$  时,其稳定系数见表 2、表 3。

表 2 原公式计算的稳定系数表

$\gamma_t$	$m = 1.05$	$m = 1.15$	$m = 1.25$
0	1.25	1.75	2.25
0.1	1.225	1.675	2.125
0.2	1.2	1.6	2.0
0.3	1.175	1.525	1.875
0.4	1.15	1.45	1.75
0.5	1.125	1.375	1.625
0.6	1.1	1.3	1.5
0.7	1.075	1.225	1.375

注:考虑支挡结构作用的稳定系数

表3 现公式计算的稳定系数表

$\gamma_t$	$m=1.05$	$m=1.15$	$m=1.25$
0	1.35	1.35	1.35
0.1	1.315	1.315	1.315
0.2	1.28	1.28	1.28
0.3	1.245	1.245	1.245
0.4	1.21	1.21	1.21(1.25)
0.5	1.175	1.175	1.175(1.25)
0.6	1.14	1.14(1.15)	1.14(1.25)
0.7	1.105	1.105(1.15)	1.105(1.25)

注:括号内为保证稳定系数的调整值

从表2、表3中可以看出,安全等级越高,滑坡治理前稳定性越低,原公式和现公式治理后考虑支挡结构作用的稳定系数相差越大。如当  $m=0.1$ ,安全等级为一级时,原公式治理后稳定系数为2.125,现公式治理后稳定系数为1.315,前后相差38.1%,原公式治理后安全储备系数为2.25,现公式治理后安全储备系数为1.35,均大于等于基本安全储备;又如安全等级为二级,  $m=0.5$  时,原公式治理后稳定系数为1.375,现公式治理后稳定系数为1.175,前后相差14.55%,原公式治理后安全储备系数为1.75,现公式治理后安全储备系数为1.35,均大于等于基本安全储备。如果过分注重安全储备系数的高低而忽视治理后稳定系数的大小,势必会造成工程投资的巨大浪费。

6 抗滑支挡结构安全系数取值建议

基于原有的经验和研究结果,建议对滑坡稳定系数作如下调整:

1)考虑滑坡这一地质灾害的特殊性,其抗滑支挡的安全储备系数取值适当高于一般结构的安全储备值,为此建议当稳定系数在  $0 < m < 1$  时,前述对安全储备系数的分析仅是纯理论的计算,所谓的推力安全系数只是相对的概念,还需要从治理后稳定性考虑滑坡的安全储备大小。因此总结过去已有的经验,建议对滑坡稳定系数作如下调整(安全储备系数见表4)。

表4 现公式反算的安全储备系数  $k$

$m$	$\gamma_t$		
	安全等级三级	安全等级二级	安全等级一级
0	1.35	1.35	1.35
0.1	1.35	1.35	1.35
0.2	1.35	1.35	1.35
0.3	1.35	1.35	1.35
0.4	1.35	1.35	1.42
0.5	1.35	1.35	1.5
0.6	1.35	1.375	1.625
0.7	1.35	1.5	1.83

2)考虑滑坡这一地质灾害的特殊性,其抗滑支挡的安全储备系数取值适当高于一般结构的安全储备值,为此建议当稳定系数在  $0 < m < 1$  时,滑坡安全等级为一级:  $\gamma_t=1.25$ ; 二级:  $\gamma_t=1.15$ ; 三级:  $\gamma_t=1.05$ 。

3)当按式(4)计算出的安全储备系数小于1.35时,建议对其安全系数进行调整,调整公式为:

$0 < m < 1$  时,安全等级一级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35 m$  且  $\gamma_t \geq 1.25$ 。

安全等级二级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35 m$  且  $\gamma_t \geq 1.15$ 。

安全等级三级:  $\gamma_t = 1.35 - 0.35 m$  且  $\gamma_t \geq 1.05$ 。

4)  $1 \leq m < \gamma_t$  时,滑坡已有一定的“抗滑力”储备,还未发生显著滑移,只是现有的“抗滑力”还不满足已保证滑坡完全稳定及变形的需要,故需继续增大抗力项,储备“抗滑力”,而这只能通过稳定系数来界定:

安全等级一级  $\gamma_t \geq 1.25$

安全等级二级  $\gamma_t \geq 1.15$

安全等级三级  $\gamma_t \geq 1.05$

5)按上述原则确定  $\gamma_t$  后,按式(1)计算出滑坡作用于抗滑支挡的推力值并按不同的安全等级乘以不同的重要性系数  $\gamma_0$ 。

一级  $\gamma_0=1.15$

二级  $\gamma_0=1.10$

三级  $\gamma_0=1.05$

本文对抗滑支挡结构安全系数取值及安全度分析作了初步探讨,期望能起到抛砖引玉的作用。

参 考 文 献

[1] 蒋忠信. 基于反算原理的滑坡推力简易估算[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(6): 319-322.

[2] 刘祖典, 党发宁. 强度指标对滑坡稳定性的影响[J]. 岩土工程技术, 2002, 16(3): 140-143.

[3] 周晓雪, 曾世仁. 滑坡治理工程中抗滑桩支挡设计荷载取值及安全度分析[J]. 重庆建筑, 2003(3): 25-27.

[4] 方玉树. 关于滑坡安全储备衡量指标[G]//重庆市地质灾害防治技术交流论文集, 2006: 48-51.

[5] 中华人民共和国建设部. GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

[6] 中华人民共和国建设部. GB 50009-2001 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.