

64-67 边坡临界滑动场方法与应用(Ⅲ)——工程应用

朱大勇, 姜弘道

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

TD216.2

TU457

中图分类号: TU43

文献标识码: E

文章编号: 1000-7647(2000)04-0064-04

1 新桥硫铁矿下盘边坡设计^[1]

新桥硫铁矿位于安徽省铜陵市, 80年代初开始生产, 现实施二期露天采场扩建工程。根据工程需要, 对二期露天采场的下盘边坡重新进行设计。计划坑底延伸至-180m, 而露天境界最高标高为312m。因此最终境界边坡高将近500m。笔者用CSF法对该矿下盘边坡进行全面的稳定性评价, 在综合分析的基础上, 提出了边坡设计方案。

露天采场边坡位于一单斜山坡的一侧, 山坡坡顶标高326m。组成下盘边坡岩层主要是石炭系下统

高骊山组(C_{1g})和泥盆系上统五通组(D_{3w})。 C_{1g} 以粉砂岩、石英砂岩为主, 局部为紫色长石石英砂岩; D_{3w} 以中细粒石英砂岩为主, 夹薄层石英砂岩、泥质粉砂岩、砂质及泥质页岩。两种岩层均分布有层间软弱夹层, 强度很低, 是构成滑坡的主滑面。由于地下水分布复杂, 先按干边坡进行稳定性计算安全系数, 然后再予以折减, 根据工程经验取折减系数为0.95。岩体力学强度指标见表1, 考虑软弱夹层非贯通性, 层面取综合指标。

图1为最终推荐方案的4个剖面设计边坡的GCSF, GCSF一目了然地显示了边坡所有开采水平

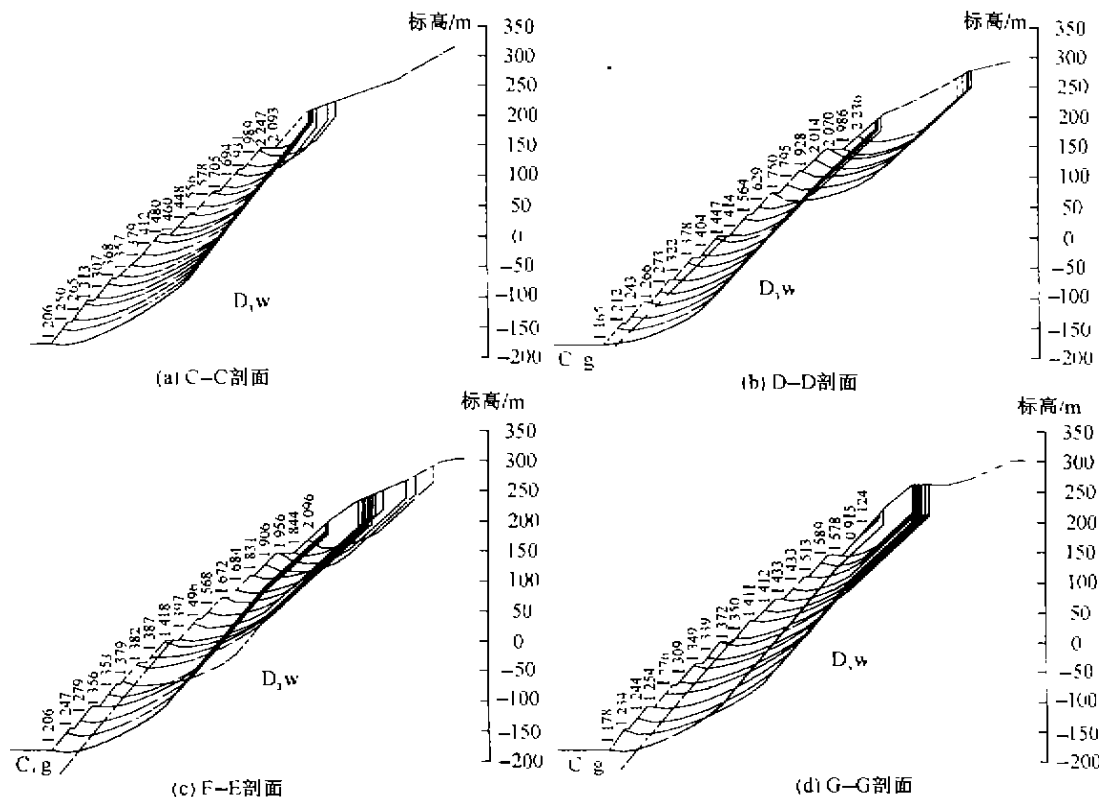


图1 新桥硫铁矿下盘设计边坡 GCSF

作者简介: 朱大勇(1965—), 男, 安徽枞阳人, 讲师, 博士后, 从事岩土边坡稳定性分析研究。

边坡临界滑动场方法与应用(Ⅰ)和(Ⅱ)分别刊于本刊2000年第3期和第4期

的边坡临界滑动面及最小安全系数,便于全面评价边坡稳定性与边坡方案的选定。

表 1 岩体力学强度参数

岩组名称	容重 ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	岩体强度 c/MPa	软弱层面强度 c/MPa	综合层面强度 c/MPa
五通组 (D_3w)	27.0	0.58	0.036	0.036
扁山组 (C_1g)	26.4	0.35	0.036	0.036

2 峨口铁矿露天采场高陡边坡设计^[2]

太原钢铁公司峨口铁矿位于山西省代县境内,是设计年产 480 万 t 矿石的大型露天矿山,为太原钢铁公司主要矿石原料基地,根据采选技术改造初步设计和矿山生产的实际需要,专门开展采场高边坡稳定性研究,并要求提供安全经济的边坡设计方案,作为深部开采设计的依据。

峨口铁矿采场地处五台山区西北部,属高山地区,最高峰(马宗山)海拔 2 487.47 m,采场地表最低标高为 1 660 m。采场区内岩层构造为一系列 NEE~EW 向(与矿体亦即采场走向大致平行)紧密褶曲的复式倒转向斜。区内主要断裂构造为三羊坪断层,长 1 200 m 倾向北东,倾角 48°,由于三羊坪断层走向几乎与边坡面垂直,二维稳定性分析可以不予考虑。矿区出露的地层属太古界五台群铺上组文溪段,为前

寒武纪含铁绿色片岩系,构成边坡的主要岩层为:①绿泥片岩类,性质最软,强度最低;②云母石英片岩类;③角闪岩;④磁铁石英岩;⑤角闪片岩类;⑥含铁绿泥石英片岩。

试验部门提供的各种岩层及其层面的物理力学参数见表 2(风化层厚度取 60 m)。另外,还进行了矿区地震危险性分析、爆破震动测试、渗流场计算。综合分析后,地震影响系数取 0.04。

CSF 法不仅能快速准确地计算边坡稳定性,而且用于露天矿边坡设计亦独具特色。在选定边坡初步方案时,为了经济上合理,安全系数因尽量靠近允许安全系数值。结合国内外矿山经验,露天矿边坡允许安全系数一般取 1.15,具体计算表明该矿地下水对边坡安全系数的影响约 7%~10%,因此取干边坡的允许安全系数为 1.25。对于具体剖面,边坡形式由 3 个要素组成:边坡角、坑底标高与坑底境界。初选方案时,坑底境界变化可认为对安全系数影响不大,计算时可取可能境界的平均值。坑底标高取可能的最低值。每个剖面试取若干个边坡角,令安全系数等于 1.25,计算每个试算坡角对应的干边坡危险滑动场 DSF,如图 2 和图 3。DSF 以剩余推力表示不同标高边坡相对稳定性程度,边坡面上剩余推力接近零且为负值的出口标高即为一定试算坡角的满足稳定要求的最低坑底标高(称为临界坑底标高)。将

表 2 岩体及层面物理力学参数

序号	岩性符号	岩性名称	容重 ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	岩体凝聚力 c/kPa	岩体内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	层面凝聚力 c/kPa	层面内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
1	Ma	绿泥石英片岩	28.2	292.9	34.71	32.4	32.57
		风化	26.7	178.7	31.70	21.7	30.38
2	Mg	云母石英片岩	27.3	364.9	40.28	35.1	38.87
		风化	26.9	229.8	37.61	25.0	36.10
3	δ	角闪岩	30.0	302.8	40.76		
4	Fep	磁铁石英岩	33.4	419.6	40.50	57.4	38.87
5	Sn	角闪片岩	31.6	401.4	40.32	52.8	38.42
6	Ln	含铁绿泥石英片岩	30.6	383.2	40.28	44.9	37.93

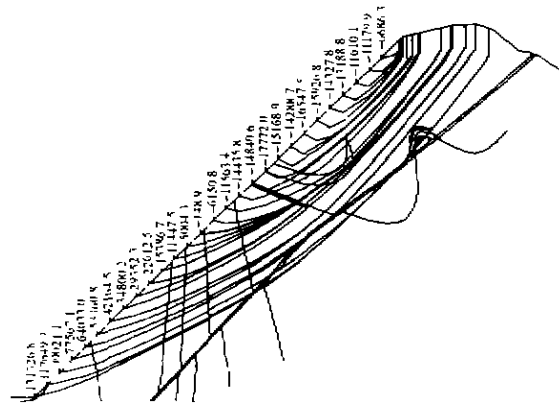


图 2 4号剖面 DSF
(坡角 45°, $F_s = 1.25$, 干坡)

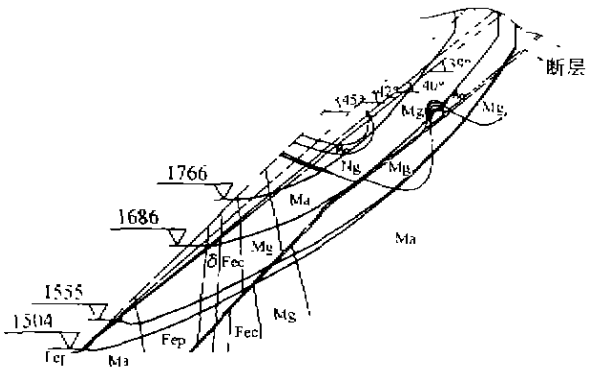


图 3 4号剖面不同坡角的临界滑动面
($F_s = 1.25$, 干坡)

坡角与其对应的临界坑底标高绘成曲线如图 4, 从这个曲线上可插值得出任意坑底标高对应的临界边坡角。兼顾相邻剖面, 结合经济分析与采矿工艺要求, 可从中选定几个合理的坑底标高与边坡角组成的边坡初步方案。

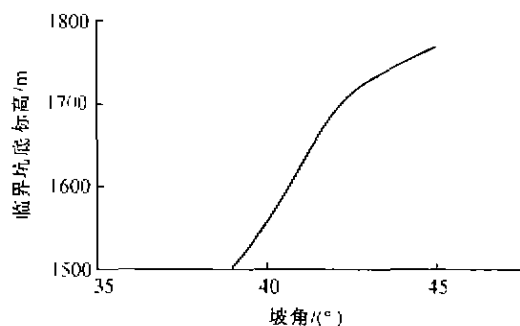


图 4 4号剖面坡角-临界坑底标高关系曲线

根据露天边坡设计特点, 我们对 CSF 法程序作些改进, 所有剖面的岩层信息一次性输入, 在选定初

步方案时, 坡角-临界坑底标高关系曲线图完全是在无人干预的情况下自动生成的, 工作效率较往常成 10 倍地提高。

图 5 为 1, 4, 5, 6 号剖面边坡 GCSF。1 号剖面边坡为顺层岩体, 但由于层面陡 (倾角大于 70°), 潜在滑坡并不是顺层的。4 号剖面边坡岩层陡倾并有断层穿过; 但由于断层与边坡走向近似正交而不予在二维稳定性分析中考虑, 临界滑动面整体呈弧状。5 号剖面边坡临界滑动面绝大部分位于绿泥片岩 Ma 层内, 大体呈圆弧状。6 号剖面边坡临界滑动面在上下部顺沿绿泥片岩 Ma 层面, 而中部切穿倒转背斜的核部。

3 天生桥二级水电站首部右岸滑坡验证^[3,4]

天生桥二级水电站为南盘江中游广西、贵州河段上第二个梯级电站, 总装机容量 120 万 kW。1985 年 12 月 24 日, 首部右岸一级残留阶地土坡突然塌

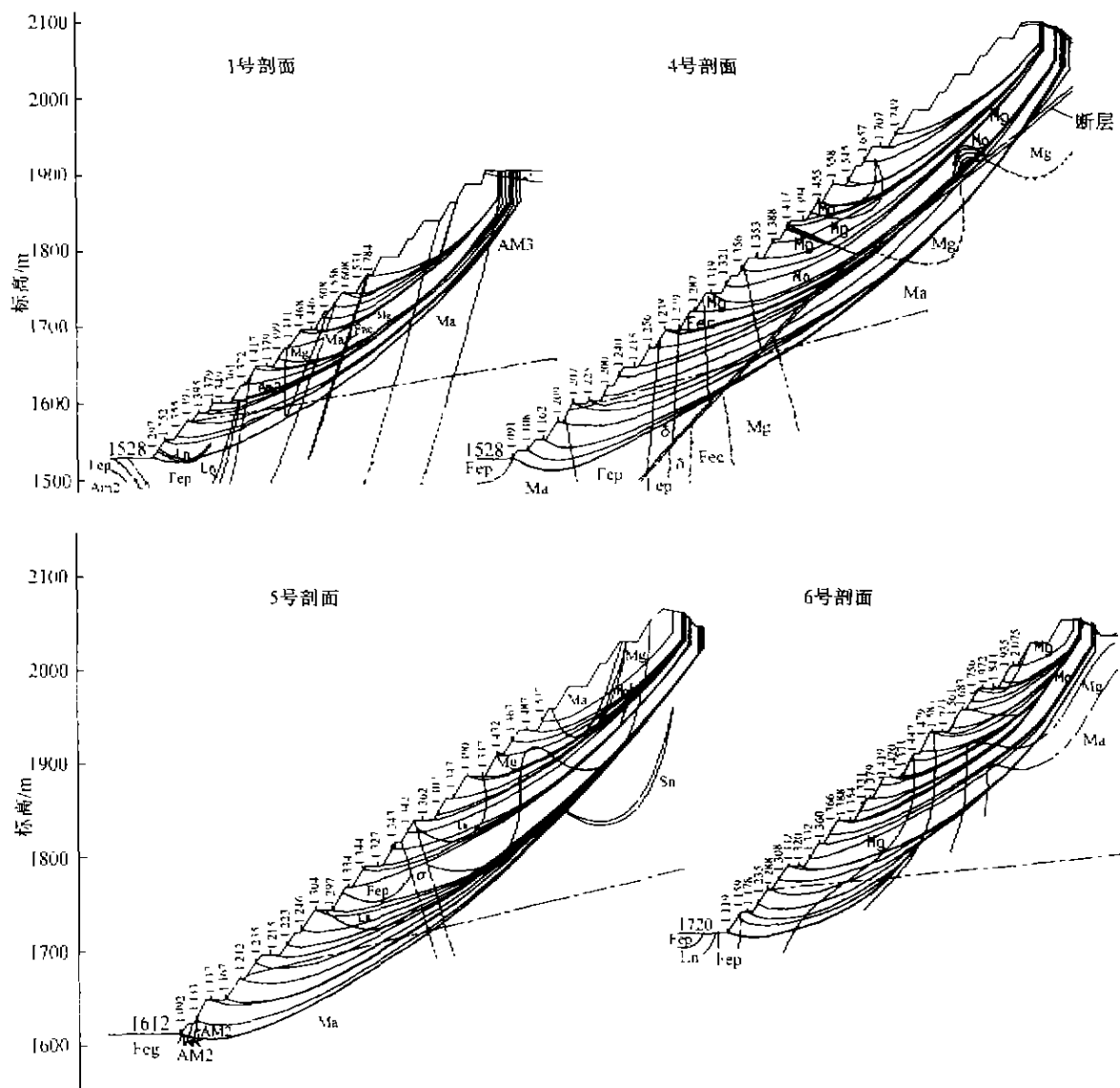


图 5 峨口铁矿边坡 GCSF

滑,造成 48 人死亡。事后,陈祖煜教授应用他的 STAB 程序对边坡作复核验算^[3,4],本文所用的计算剖面(图 6)及有关参数(表 3)均引自文献[4]。

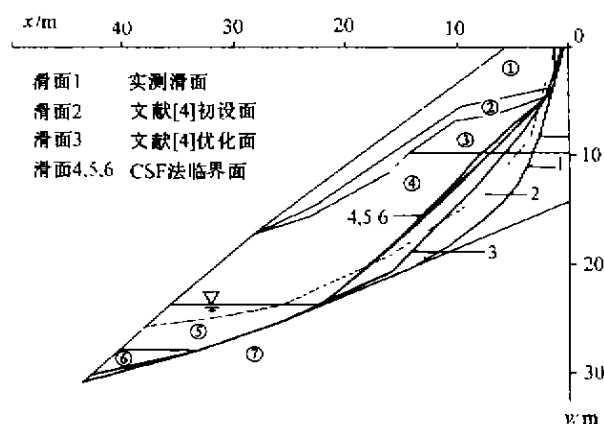


图 6 天生桥边坡及有关滑面

表 3 土层物理力学指标

土层序号	土层性质	密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	凝聚力 c/kPa
①	新填土	1.85	21.8	19.6
②	旧填土	1.85	21.8	19.5
③	人工堆积	1.85	21.8	0.0
④	中细砂	1.85	20.8	29.4
⑤	砂质淤泥	1.81	10.2	34.3
⑥	卵石及砂	1.90	24.2	0.0
⑦	灰岩	2.40	45.0	39.2

文献[4]给出 3 个滑面(见图 6)的安全系数值(基于严格法):滑面 1(实测滑面) $F_s = 0.917$;滑面 2(优化初设面) $F_s = 1.03$;滑面 3(最终优化面) $F_s = 0.863$ 。分别采用 3 种严格法(Spencer 法、Morgenstern-Price 法及陈祖煜法)的条间力函数,计算边坡 CSF,取其临界滑面如图中滑面 4,5,6(它们几乎重合),其安全系数分别为 0.761, 0.764, 0.764,比文献[4]最小安全系数低 10%。基于 Spencer 法、Morgenstern-Price 法及陈祖煜法的边坡 GCSF 见图 7。必须指出,由于土层力学参数取值过小偏小,本文及文献[4]所给的最小安全系数均小于 1。另外,计算的临界滑动面不必要与实测滑面位置完全吻合,因为前者只对应边坡临界破坏状态,而后者还受滑坡过程的影响。

4 结 语

边坡 CSF 法应用于实际边坡工程是成功的,对实际滑坡的验证也是令人满意的。对于大型人工或自然边坡如露天矿边坡、水库库岸高陡边坡等,坡体介质复杂,潜在滑面大多是非圆弧状,寻找任意形状临界滑动面是评价边坡稳定性的关键。CSF 法的出现可使设计人员轻松地完成这一工作。CSF 法还可同时评价边坡整体与局部的稳定性,特别有利于设计人员优化和选择最佳的边坡方案。因此,CSF 法值

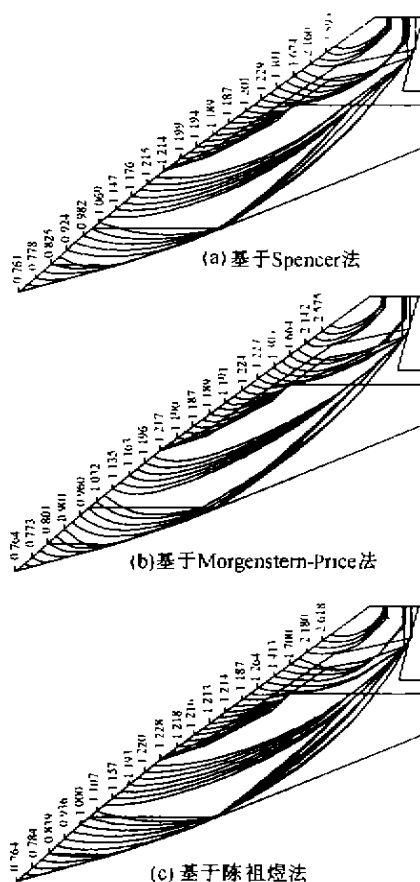


图 7 天生桥边坡 GCSF

得在边坡工程界大力推广,并可望在实践中得到更进一步的发展和完善。

致谢:CSF 法的研究得到钱七虎院士和周早生教授的精心指导,在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 朱大勇,余振锡.临界滑动场 GCSF 分析——以新桥疏铁矿为例[J].水文地质与工程地质,1999,26(3):9~12.
- [2] 朱大勇,钱七虎,周早生,等.岩体边坡临界滑动场计算方法及其在露天矿边坡设计中的应用[J].岩石力学与工程学报,1999,18(5):567~572.
- [3] Chen Z-Y, Shao C-M. Evaluation of minimum factor of safety in slope stability analysis[J]. Can Geotech J, 1999, 25(4): 735~748.
- [4] 陈祖煜.边坡稳定分析——极限平衡法的改进和应用[D].清华大学,1991.

(收稿日期:1999-11-16 编辑:熊水斌)

(上接第 35 页)

参考文献:

- [1] (日)大崎顺彦.建筑物抗震设计法[M] 毛春茂,刘忠译.北京:冶金工业出版社,1991.

(收稿日期:1999-04-15 编辑:熊水斌)