

三峡库区提升库水位下降速率条件下 沟边上滑坡稳定性评价

陈欢^{1,2}

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都611734;2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都611734)

摘要:三峡库区对非汛期库水位下降速率(0.6 m/d)的严格控制,预防了近千处涉水库岸滑坡大规模下滑入江,但控制消落期库水位下降速率在某种程度上却限制了防洪和蓄水发电效益的发挥,本文主要通过研究在非汛期时候,增加库水位下落速率是否具有可行性,使用Geo-studio中的SEEP/W、SLOPE两个模块对沟边上滑坡进行渗流分析和稳定性分析评价,以计算结果来确定库水位消落期的水位下降速率,对库区调控水位下降速率的调整有重大现实意义和科学价值。

关键词:水位下降速率;消落期;渗流分析;沟边上滑坡;滑坡稳定性评价;三峡库区

中图分类号:P642 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)09-0060-06

Stability Evaluation of Landslide on Ditch Side for Drawdown Rate Raising in the Three Gorges Reservoir Area/CHEN Huan^{1,2} (1.The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2.Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CAGS, Chengdu Sichua 611734, China)

Abstract: With the tight control of the water level of the non-flood season (0.6m/d) in the Three Gorges Reservoir area, nearly 1000 landslides are prevented from a large-scale sliding into the river. However, the control of the reservoir drawdown rate in flood falling period limits the flood control and the benefits of hydroelectric power generation to a certain extent. In this paper, the feasibility of raising the reservoir drawdown rate in non-flood season is studied, Seep/W and SLOPE modules in Geo-studio are used to analyze the seepage and evaluate the stability of landslide on the ditch side. On this basis, the reservoir drawdown rate in flood falling period can be determined, which has significant practical significance and scientific value for the adjustment of drawdown rate in the Three Gorges Reservoir area.

Key words: drawdown rate; flood falling period; seepage analysis; landslide on ditch side; stability evaluation; the Three Gorges Reservoir

最近7年,三峡库区对非汛期库水位下降速率(0.6 m/d)的严格控制,预防了近千处涉水库岸滑坡大规模下滑入江,但控制消落期库水位下降速率在某种程度上却限制了防洪和蓄水发电效益的发挥。库岸涉水滑坡经过多年小变形,内部应力有了一定调整,因而在不同程度上增加了对提高库水位下降速率的承受能力。因此,开展三峡水库水位日降幅对库区地质灾害防治工程影响的调查评价研究,分析论证在非汛期增加库水位下降速率的可行性,从而进一步明确或调整三峡水库消落期库水位

下降控制速率,具有重大现实意义和科学价值。

1 研究区概况

三峡库区属亚热带季风湿润气候区,多年平均降雨量1059.4 mm,年最大降雨量1351.6 mm,降雨多集中在4—9月,占年平均降雨量的55%。

研究工作区段接近三峡峡谷区的河谷—岸坡地带(图1),由于朱衣河、梅溪河与长江共同作用的结果,本区地貌呈现为:河谷相对开阔,河曲、阶地与漫滩均十分发育,岸坡具明显层状地貌特征。区内最

收稿日期:2018-03-12;修回日期:2018-07-31

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“涪江流域1:5万环境地质调查”(编号:DD20160251)

作者简介:陈欢,男,汉族,1988年生,硕士,主要从事地质灾害形成机理及防治技术方面的研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路139号,77302709@qq.com。

高海拔高程 1867.2 m,最低为长江,高程为 135 m 左右(过去 118.70 m),相对高差 1748.5 m。



图 1 研究区三维地形图

奉节县境内及其邻区出露基岩均为沉积岩层,地层分布包含志留系至侏罗系及第四系。齐岳山以东以古生界及中下三叠系为主,局部有上三叠统及侏罗系分布;东北边缘出露有小片二叠系,其余均为侏罗系红层覆盖。

奉节县构造区域属川鄂湘黔隆褶带之北西缘和四川沉降褶皱带之川东褶皱带的一部分,本区构造形式以褶皱变形为主,断裂较少。

2 沟边上滑坡特征及稳定性地质分析

2.1 沟边上滑坡产出地斜坡特征及规模

滑坡位于奉节县安坪镇新铺村,如图 2、图 3 所示。斜坡坡向 350° ,坡高 138 m,坡长 360 m,坡体呈箕型,剖面呈折线状。坡度约 23° 。为一顺向坡。上覆滑坡堆积物,包括碎块石及部分含碎石粉质粘土,面积 2 万 m^2 ,滑体厚度约为 20 m,体积约为 41 万 m^3 ,属中型土质滑坡。下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组(J_2s)泥岩,薄至中厚层状,滑坡区内未见基岩出露,通过对附近采石场揭露基岩露头调查,岩层产状 $330^{\circ}\angle 28^{\circ}$,沿基覆界面滑动。滑坡产出斜坡位于故陵向斜次级褶皱:方斗山—黄连峡背斜北西翼,区内断层不发育。



图 2 滑坡全貌



图 3 滑坡左边界基岩出露

2.2 滑坡的动力条件及成因机制

依据调查结果,沟边上滑坡为人类工程型滑坡,受人为改造影响较大。该滑坡中后部较平缓,前缘滑面较陡,受到长江的长期冲刷,出现了古滑坡体整体滑移,前缘部分有鼓胀弯曲隆起,受降雨作用入渗滑坡体的影响,滑坡产生次级滑体;滑坡的近期变形主要表现为滑坡前缘的变形滑移。形成机制概括为:基于特定的地质条件,滑坡前缘受江水长期冲刷掏蚀,加之人类工程活动的破坏影响,使得滑坡前缘段抗滑阻力减小,又受到降雨作用和地表水渗入滑坡的影响,孔隙水压力升高,次级滑面逐渐贯通,最终导致滑坡前缘坡体出现蠕滑,诱发滑坡前缘失稳。

3 滑坡的渗流分析

在增大库水位下降速率的情况下,采用基于非饱和理论的数值分析方法基于 Geo-studio 商业软件的 SEEP/W 模块,建立概化的抽象模型进行渗流分析和稳定性评价。

3.1 模型及参数选择

滑坡发育特征平面图如图 4 所示,根据滑坡基本特征和变形破坏模式,选取具有代表性的 A—A' 纵断面(见图 5)作为计算断面。平面二维模型包含两种材料,黄色部分为碎块石堆积体,绿色部分为基岩。对材料部分进行网格划分,材料交接部分网格由密过度到稀,见图 6。

在滑(边)坡稳定性计算和工程设计中,滑体及滑带土的粘聚力(c)和内摩擦角(φ)的取值较为关键。若前期无详细勘察的滑坡,由于缺少钻探以及岩土采样室内试验,因此具体参数依据工程地质类比法以及参数反演法确定。若有详细勘察的滑坡,前人的岩土试验成果和取值方法作为参数取值的重要参考。

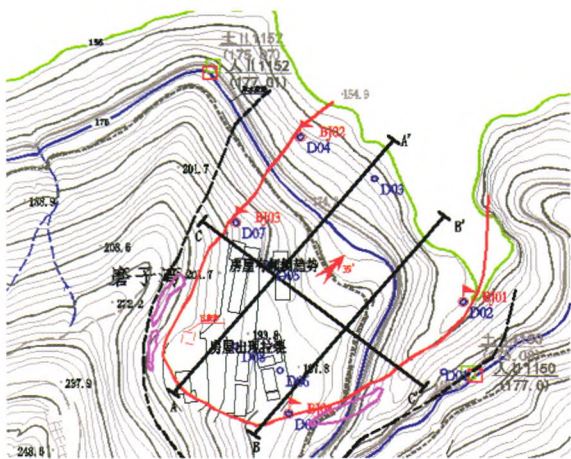


图4 滑坡发育特征平面图

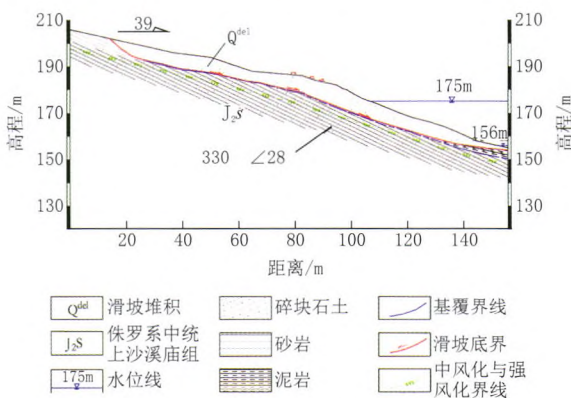


图5 沟边上滑坡 A—A'纵剖面图

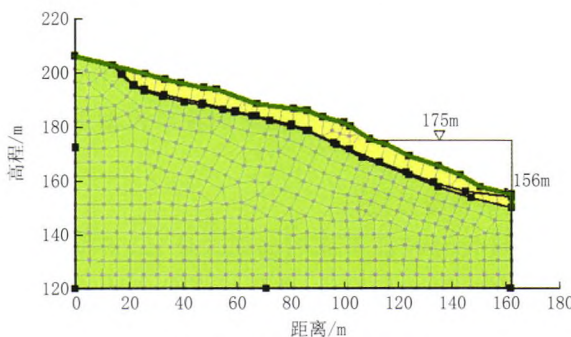


图6 二维渗流场模型建立图

3.1.1 岩土物理力学参数取值

根据已收集到的勘察报告岩土力学参数值,综合统计平均值确定岩土体物理力学参数(见表1)。

表1 沟边上滑坡土体物理力学参数

滑坡及剖面	容重/(kN·m ⁻³)		粘聚力/kN		内摩擦角/(°)	
	天然 γ	饱和 γ'	天然 c	饱和 c'	天然 φ	饱和 φ'
A—A'	22	23	19	15	18	16
B—B'	22	23	16	15	13	12
C—C'	22	23	19	15	18	16

3.1.2 渗流参数取值

滑带土体的渗透系数 k 参考由现场渗透试验(标准双环入渗和试坑法入渗,见表2)测得,并参考三峡库区已有的滑坡土体渗透参数研究的成果(见表3)进行综合取值。渗流分析除了饱和渗透系数,还涉及土水特征曲线与非饱和渗透系数,还涉及土水特征曲线与非饱和渗透系数,本文中采用 Geo-studio SEEP/W 模块提供的经验曲线和饱和状态参数来确定。

表2 现场渗透试验成果统计

试坑编号	试验方法	土体类型	渗透系数 k / (m·d ⁻¹)
230-1	标准双环入渗	含碎石粉质粘土	0.156
230-2	标准双环入渗	含碎石粉质粘土	0.158
230-3	试坑法	含碎石粉质粘土	0.157

表3 三峡库区滑坡体渗透系数统计表

地区	m/d		
	粉质粘土 (碎石<30%)	碎石土 (30%<碎石<55%)	块石土 (碎石>55%)
奉节	0.074	2.49	3.70
云阳	0.028	0.36	4.24
巫山	0.058	0.25	1.01
万州	0.048		

3.2 滑坡地下水渗流分析

依据三峡库区以往的文献及报告,降雨是诱发库区滑坡产生的主要因素。随着三峡工程建设逐渐推进,三峡库区的分期蓄水以及工程竣工后水库进入正常运行,水库的水位变化成为诱发库岸滑坡滑动的又一个主要因素。为模拟三峡库区库水变动条件下,滑坡的渗流、变形及稳定性情况,以下对库区库水位变动的工况条件进行概述。

依据图7 三峡库区库水实际运行情况,可知现阶段三峡库水位在 175 m 至 145 m 至 175 m 之间。参考图8 库区现阶段年实际运行情况,我们可设置以下计算工况和荷载组合,对库水位升降作用下的沟边上滑坡的渗流、变形进行模拟,并评价该滑坡的稳定性。涉水滑坡的荷载组合主要涉及水库运行工况和暴雨工况的组合,此次选取了4种工况进行研究。将水库汛前水位下降速率自原来的 0.6 m/d 加大至 0.8~1.2 m/d 进行计算,非汛期 50 年一遇 3 日暴雨按照《技术要求》降雨强度值的计算方法,结合查阅《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》(1984 版),奉节县非汛期 50 年一遇 3 日暴雨按 180 mm 计算,平均为 60 mm/d。由于该滑坡前缘 145 m 已被江水淹没,

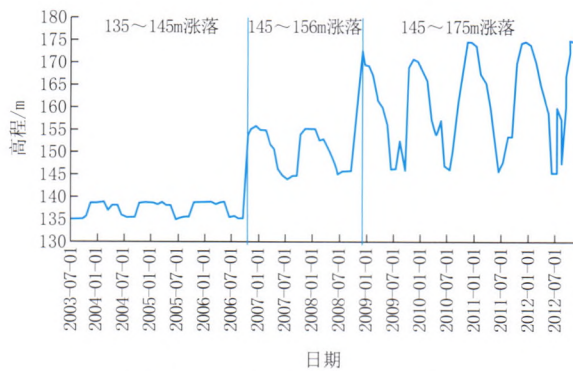


图 7 三峡库区库水实际运行情况

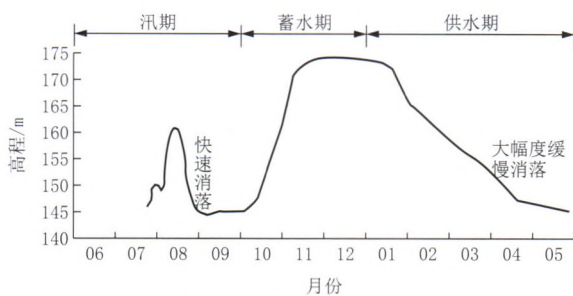
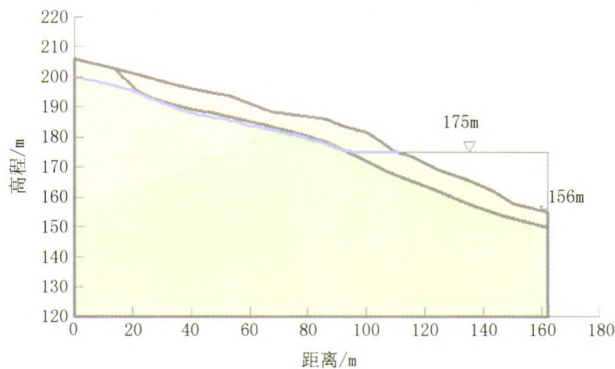
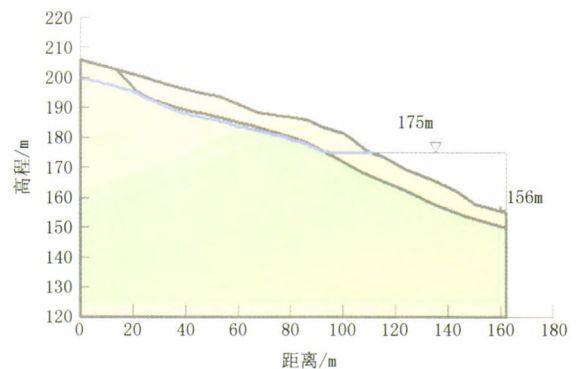


图 8 三峡库区库水现阶段年实际运行情况

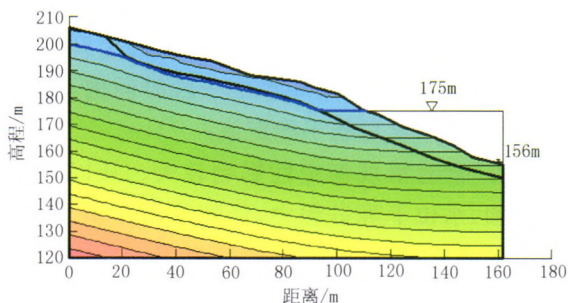


(a) 175 m 稳态地下水位图

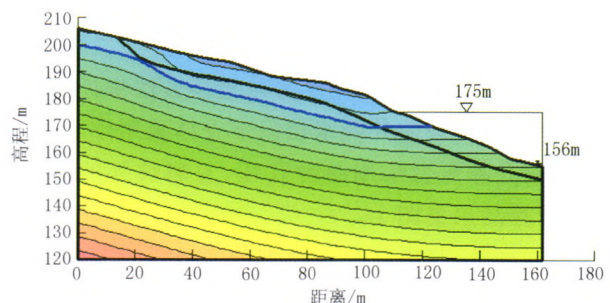


(b) 库水位 175 m 至 156 m 过程地下水位线(0.6 m/d)

图 9 工况一地下水位线情况



(a) 库水位 175 m



(b) 库水位 156 m

图 10 工况一渗流场特征

因此 156 m 水位为蓄水的最低水位线。

工况一:自重+地表荷载+库水位从 175 m 降至 156 m(库水位 159 m 至 156 m 下降速度 0.6 m/d),水位线情况见图 9,渗流场特征见图 10。

工况二:自重+地表荷载+库水位从 175 m 降至 156 m(库水位 159 m 至 156 m 下降速度 0.6 m/d)+降雨 60 mm/d(持续 3 d),渗流场特征见图 11。

工况三:自重+地表荷载+库水位从 175 m 降至 156 m(库水位 159 m 至 156 m 下降速度 1.0 m/d),渗流场特征见图 12。

工况四:自重+地表荷载+库水位从 175 m 降至 156 m(库水位 159 m 至 156 m 下降速度 1.0 m/d)+降雨 60 mm/d(持续 3 d),渗流场特征见图 13。

计算分析结果表明该滑坡在库水位下降和降雨条件下的渗流场符合一般渗流规律,且具有如下特征:

(1)基岩透水率低,滑坡体的渗透系数较大,因此渗流场变化出现在滑坡体内。

(2)根据渗流场分析可见水位升降主要影响滑坡前缘,随着水位上升过程,水由坡体外向内渗入,坡体内水位上升存在一定的滞后性,因此渗流场曲

线呈现坡外向坡内凹的趋势;反之降水位时亦然。

(3)降雨对滑坡体内地下水位有显著影响。在汛期库水位下降+降雨工况条件下,降雨使滑坡体

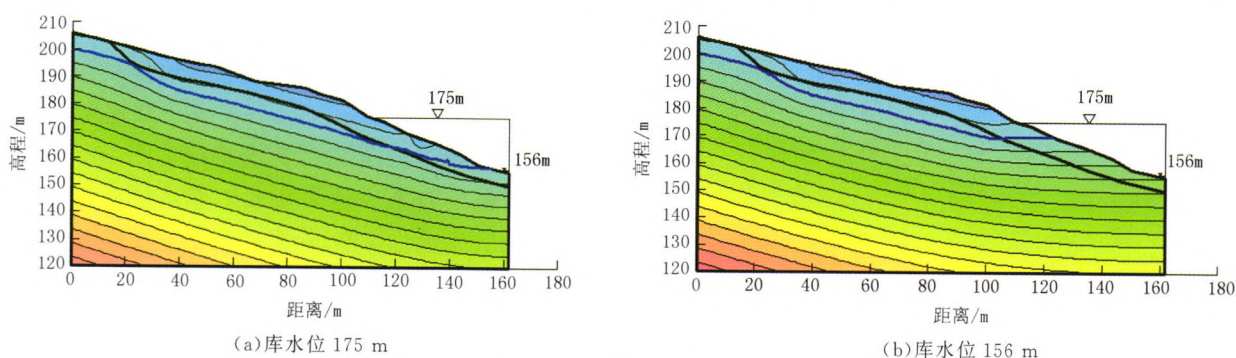


图 11 工况二渗流场特征

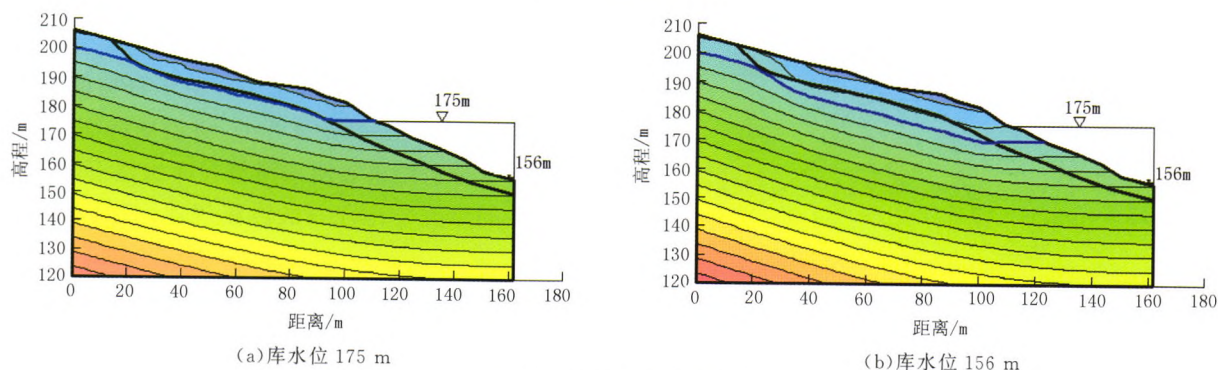


图 12 工况三渗流场特征

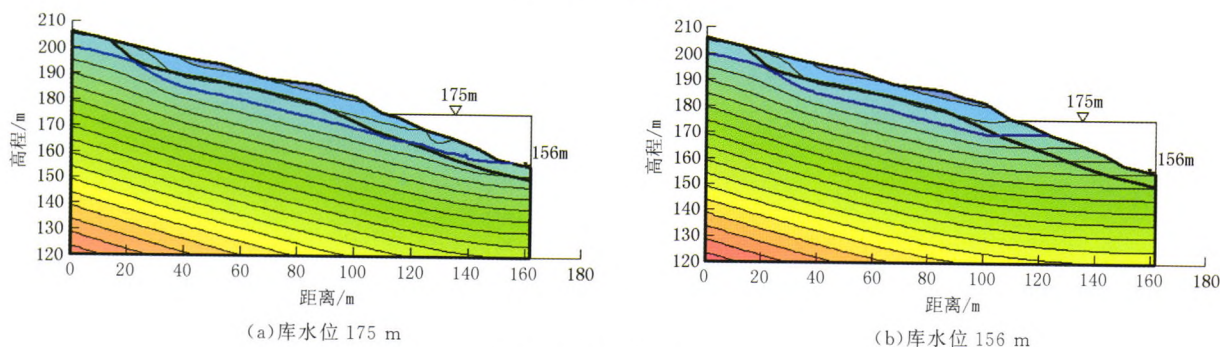


图 13 工况四渗流场特征

后部地下水位升高,加大了水力梯度和渗流力。

3.3 滑坡稳定性计算评价

SLOPE/W 软件采用了等效置换方法来计算边坡稳定分析,即坡体外侧水位以下土体采用浮容重,滑面上的孔隙压力采用超静孔压,忽略坡外的静水压力,计算结果见图 14。

根据规范,将滑坡稳定性划分为 4 级:稳定系数 $F_s > 1.10$ 为稳定, $1.10 \geq F_s > 1.05$ 基本稳定, $1.05 \geq F_s > 1.0$ 为欠稳定 $F_s \leq 1.0$ 为不稳定。

从上述分析结果可以得出:

(1)库水升降对沟边上滑坡稳定性会产生一定的影响。库水位从 175 m 水位线下降至 159 m 水位过程中,滑坡稳定性整体表现为逐渐下降然后逐

渐上升,从 159 m 水位开始,库水位在不同工况的下降速度下变化,滑坡稳定性由前面的上升变为下降,在库水位保持 156 m 水位一段时间内,稳定性系数有所上升,最后趋于稳定值。

(2)降雨对滑坡稳定性影响较大。从以上计算分析可知,水位下降过程中,伴随降雨作用,滑坡稳定性出现降低,但是降低的幅度有限。受地质地形条件的影响,可能出现的情况是降雨越强、稳定性不一定会马上下降,滑坡稳定性系数下降,较降雨时间会有滞后效应。

(3)在 159 m 后采用不同的库水降速,库水下降速度增大对滑坡稳定性影响有提高。

(4)根据分析结果,在水库按正常设计工况蓄水

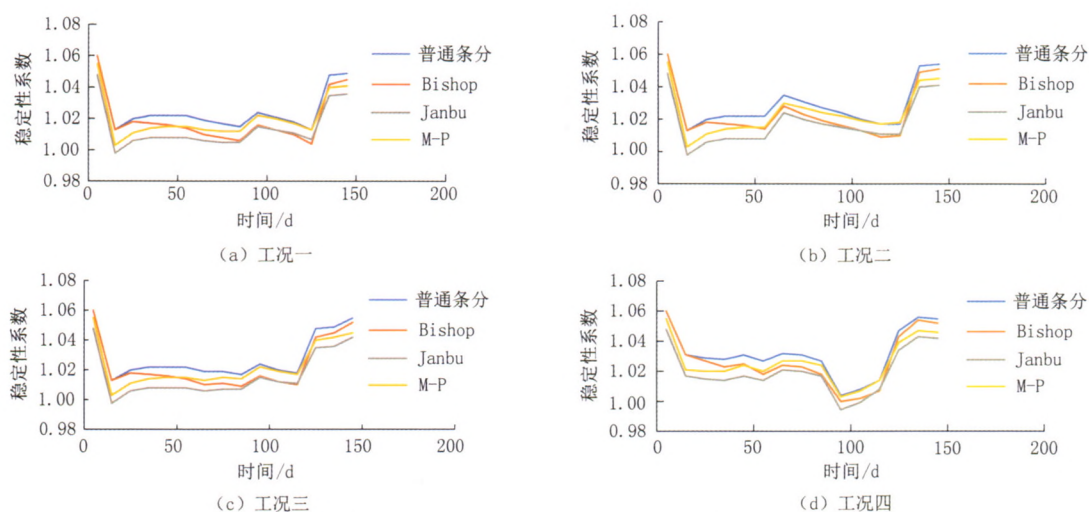


图 14 不同工况条件下各种分析方法的稳定性系数

运行期间,沟边上滑坡处于较稳定状态,调查可知前缘局部受库水影响较大,前缘可能产生一定变形,会对滑坡中部产生进一步影响,存在一定危险性。预测当库水位下降速率超过 1.2 m/d ,且出现 $p=120 \text{ mm/d}$ 以上暴雨时,沟边上滑坡整体处于欠稳定状态。

4 综合评价

结合地质分析、稳定性计算结果得出以下结论。

(1) 沟边上滑坡处于欠稳定状态。

(2) 在库水位下降过程中,库水位下降速率越快,滑坡稳定性系数降低越明显。

(3) 基于 Geo-studio 软件的 SEEP/W 模块模拟了库水位降幅增加条件下的渗流场及变化过程,可见相对现今库水位变幅,降幅增加后,水力梯度有一定提升,幅度较小。并通过 SLOPE/W 模块采用 M

-P 法计算可知,降幅提高后对滑坡稳定性影响甚微,这与地面宏观调查结果相吻合。

参考文献:

- [1] 王燕生.工程水文学[M].北京:水利电力出版社,1991:35-36.
- [2] HG Poulos. Difficulties in prediction of horizontal deformations of foundations[J]. J. of the Soil Mechanics & Foundations Division, 1972, 98(8).
- [3] 崔政权, 李宁. 边坡工程——理论与实践最新发展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [4] 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M]. 北京: 水利出版社, 1980.
- [5] 长江水利委员会综合勘测局. 长江三峡工程库区奉节县白衣庵滑坡治理规划阶段工程地质勘察报告[R]. 湖北武汉: 长江水利委员会综合勘测局, 1999.
- [6] 胡新丽, 唐辉明, 马淑芝, 等. 基于 NMR 的库区滑坡三维稳定性数值模拟[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(2): 279-284.
- [7] 刘才华, 陈从新, 冯夏庭. 库水位上升诱发边坡失稳机理研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(5): 669-773.