

## 一种新的滑坡稳定性计算软件的结构设计

王康年,王 云,黄 焯,吴文刚,杨秋平

(贵州省地质矿产勘查开发局 101 地质大队,贵州 凯里 556000)

[摘 要]“滑坡稳定性计算”系笔者自主开发的“地质测量计算机数据处理及辅助成图系统”软件中的一个功能模块,通过笔者等承担的项目不断实践和完善,目前集成适用于岩、土质滑坡稳定性计算的瑞典(Fellenius)法、传递系数法、比肖普(Bishop)法、詹布(Janbu)法、二维块体极限平衡法等多种算法和 $C$ 、 $\varphi$ 值反演计算,几种算法原始数据可相互导入验算或研究,软件界面简单直观,有计算过程,可作为图片直接插入成果中。本文系统地介绍“滑坡稳定性计算”功能模块的架构、设计思路和应用实例。

[关键词]滑坡;稳定性计算;软件;结构设计

[中图分类号]P694;P642.22;TP311.52 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2021)03-320-06

滑坡稳定性评价,是在对地质体充分认识的基础上,通过对滑坡作用机理的研究,从而得出的定性和定量评价结果(宣世进等,2009)。滑坡稳定性定量评价,通常称为滑坡稳定性计算,是在定性分析的基础上,通过定量计算后人为判断滑坡是否稳定,同时为滑坡防治工程设计与施工推荐必要的岩土体物理力学参数指标值。

“滑坡稳定性计算”计算主要有极限平衡法和数值分析法,在建设、水利、自然资源几大行业的勘查设计单位中应用最广的、比较成熟的、并被国家标准或行业规范引用的,主要还是极限平衡法,如瑞典(Fellenius)法、传递系数法、詹布(Janbu)法、比肖普(Bishop)法、摩根斯坦-普赖斯(Morgenstern-Price)法等。

随着计算机技术的迅猛发展,国内外呈现的滑坡稳定性计算软件颇多,特别是二十一世纪以来,国内科研院所或勘查设计单位都有所研究并取得成果(许强等,2000;刘华军,2004;李长冬等,2006;刘鹏等,2006;徐洪恩等,2007;陆柏树等,

2007;卢清,2009;雷育宾等,2015),其中代表性的有国外的Geo-slope、成都理工大学的Slope-CAD(许强等,2000)、理正公司系列边坡稳定性分析软件、殷跃平的GEOHZD、李长冬的Slope Designer(李长冬等,2006)、林枢的边坡计算SlopeLE等。但多数软件或模块因价格较昂贵,数据录入界面复杂或功能(算法)较单一,尤其在以生产任务为主的勘查设计单位仍然未得到普及应用,甚至还有单位仍在使用纯手工或Excel表格计算。

“滑坡稳定性计算”系笔者自主开发的“地质测量计算机数据处理及辅助成图系统”(简称“地质测量”)软件中的一个功能模块,目前集成了适用于岩、土质滑坡稳定性计算的瑞典(Fellenius)法、传递系数法、比肖普(Bishop)法、詹布(Janbu)法、二维块体极限平衡法和 $C$ 、 $\varphi$ 值反演计算,几种算法原始数据可相互导入用于验算或研究,通过笔者等承担的滑坡勘查项目和科研项目不断实践和修改完善,软件界面简单直观,有计算过程和结论,可直接插入到勘查或研究成果中佐证,原始数据采集多样

[收稿日期]2020-02-28 [修回日期]2021-03-12

[基金项目]贵州省地矿局科研项目《黔东南浅变质碎屑岩区不稳定斜坡地质灾害及防治工程研究》(黔地矿科合[2017]5号)资助。

[作者简介]王康年(1972—),男,侗族,贵州从江人,地质高级工程师,长期从事地质工作,近十年主要从事地质灾害防治工作。

化,节省工作时间,提高计算工作效率。

# 1 软件架构与设计思路

## 1.1 架构及总体思路

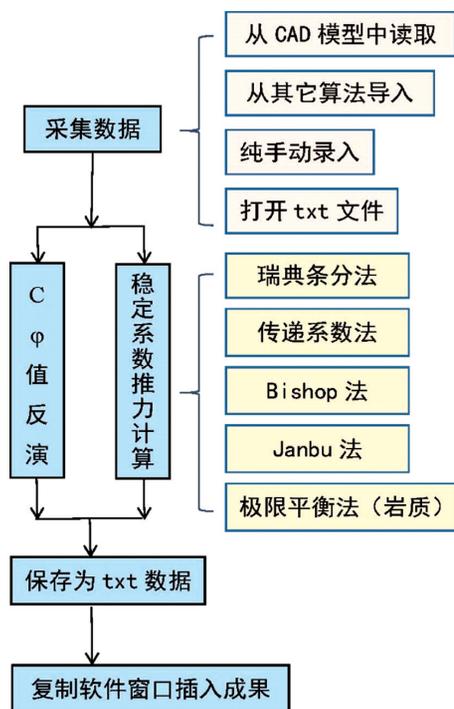


图1 模块架构及总体思路图

Fig.1 The module structure and overall thought

“滑坡稳定性计算”模块是基于微软公司 Windows 系统开发,采用 Visual Basic 6.0 编程语言,数据采集多样性并可直接在 AutoCAD 绘制的计算模型中读入条块面积及滑面倾角、长度数据。模块架构及总体思路如图 1。

## 1.2 界面设计与 VB 主要控件使用

软件界面设计,笔者耗费较长时间并广泛征求意见,在项目实践中多次调整。

Visual Basic 为用户提供了丰富的控件,“滑坡稳定性计算”模块只设计一个窗口,通过 SSTab 控件来切换不同计算方法,条块面积、滑面长度、倾角等变量输入和各条块的计算过程、结果显示采用 MSFlexGrid 表格控件,土体重度、C 值、φ 值等单一变量在 TextBox 控件中输入,综合水平地震系数通过 ComboBox 控件的地震烈度直接得出。如图 2,采用一个窗口全部展示一种算法的原始数据、计算过程、计算结果,简单直观、易读、易验,有别于前述代表性软件,用 Alt + PrScrn 组合键截屏当前软件窗口直接插入到成果报告中(图 2)。

Bishop 法与 Janbu 法设计共用一个界面(图 8),通过右下角 ComboBox 控件下拉选择。

同时,采用 Picture 控件显示该算法的力学简图和计算公式,便于用户参考学习。

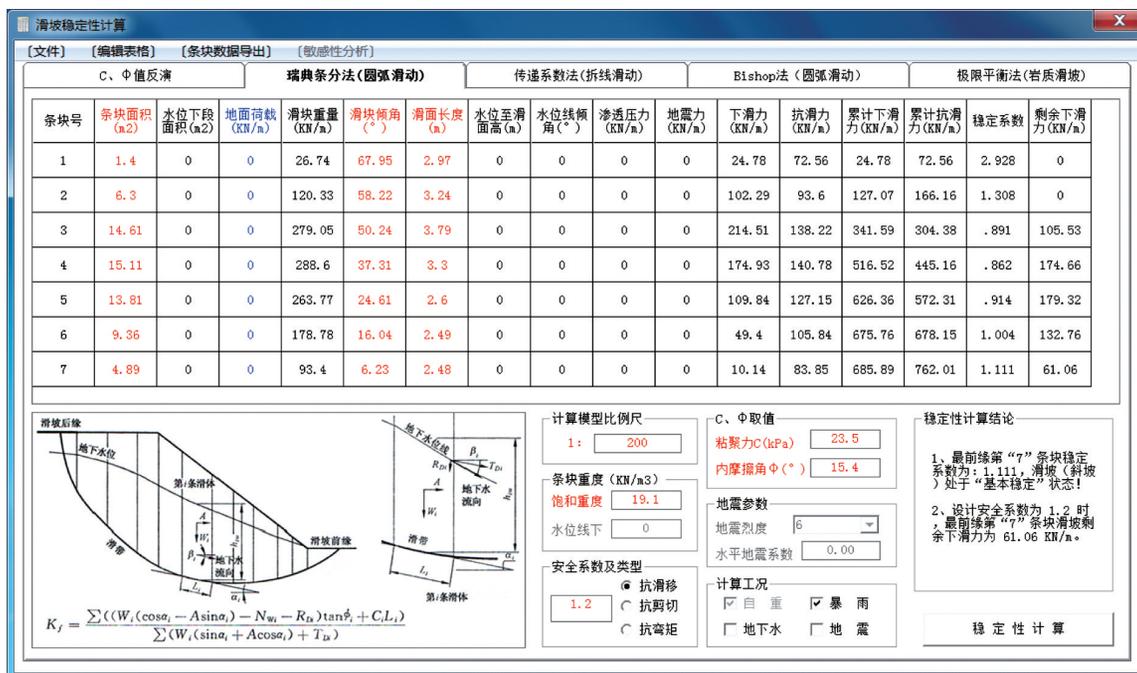


图2 软件窗口设计(瑞典法)

Fig.2 Design of software window(Fellenius)

### 1.3 菜单设计

几种算法共用主菜单,以减少控件和编程语言量,目前有文件、编辑表格和条块数据导出三个主菜单。

“文件”主菜单包括打开文本文件、打开 CAD 文件、保存数据和退出子菜单(图 3)。



图 3 “文件”菜单

Fig. 3 Document menu

“编辑表格”主菜单包括新建表格、增加一行、删除一行、调整至适合高度和清空计算结果子菜单(图 4)。“调整至适合高度”子菜单为计算模型条块数量较少,表格空白较多时,用于自动调整表格行高美化界面。

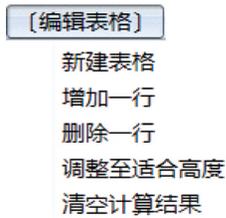


图 4 “编辑表格”

Fig. 4 Edit table



图 5 “数据导出”菜单

Fig. 5 Menu of data export

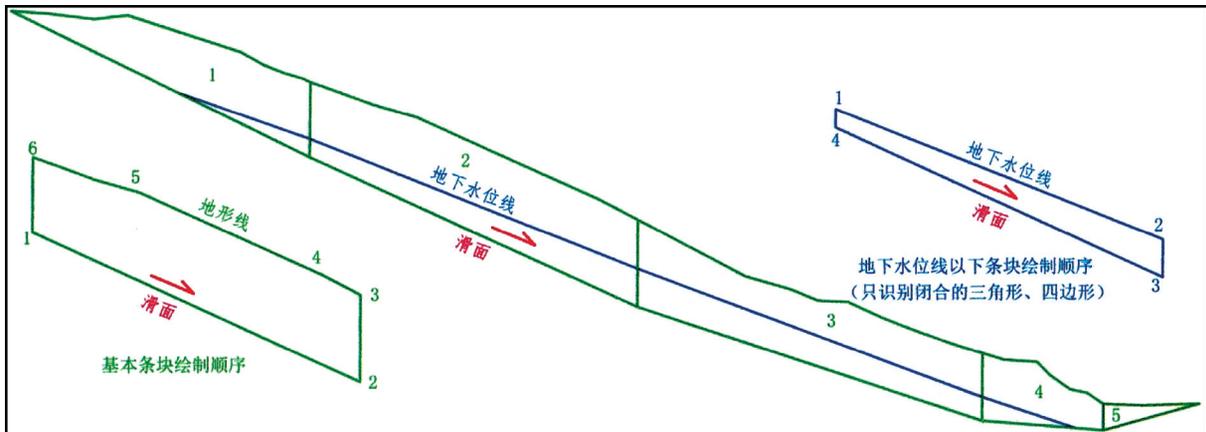


图 6 土质滑坡计算模型条块绘制示意图

Fig. 6 Drawing diagram of slope-mass landslide calculation model slice

1) 基本条块:底至滑面、顶至地形线,由高至低沿滑面开始绘制闭合多段线。

2) 地下水位之下条块:底至滑面、顶至地下水位线,由高至低沿地下水位线绘制闭合的三边或四边形多段线。

### 1.4 采集数据和保存数据

采集数据包括各条块数据、岩土体物理参数、地震参数等原始数据,特别是条块的面积、滑面长度和倾角、地下水位线至滑面高度、地下水位线倾角,划分条块越多输入的工作量就越大。

如图 2,自重+暴雨工况下,表格中的红色字体列(如条块面积、滑面长度、滑面倾角)为必填项,这些数据可通过全手动逐一输入、打开 AutoCAD 模型读取、打开已有 txt 文件、从其它算法中导入共四种输入方式,后三种可节省时间提高效率,其中打开 AutoCAD 模型可一次性读入单个条块的面积、滑面长度、滑面倾角、地下水位线至滑面高度、地下水位线倾角数据。

数据保存为 txt 文本文件。设计的软件窗体可直接作为成果插图或附件,保存的数据格式不再考虑其它格式。

### 1.5 AutoCAD 计算模型绘制要求

每一种算法的计算剖面模型,是在实测工程地质剖面图的基础上合理划分计算条块,需要综合考虑滑面形态、地形线起伏形态、地下水位线、滑体土层分层等诸多因素,受人为感性认识干扰,目前专家学者尚未得出更合理的解决方案。

如图 6,在 AutoCAD 中绘制计算剖面模型要点如下:

满足上述绘制要求,输入模型比例尺后,软件能直接从 AutoCAD 中读入条块面积、滑面长度和倾角、地下水位线至滑面高度、地下水位线倾角,这也是计算中工作量大而繁杂的部分。

## 2 应用实例

以下以图6、图8两地土质滑坡的计算剖面模型为例,暂不考虑是否适合哪种算法,用不同算法进行验算比较。

### 2.1 传递系数法

最新版《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330,

2013)和《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864, 2016),对于折线形滑动面的土质、岩质滑坡(边坡),采用传递系数法计算滑坡稳定性系数和推力。

传递系数法又称折线法,是验算山区土层沿岩面滑动最常用的稳定性验算法(殷跃平等, 2018)。图6为自重+地下水工况,系滑面总长为79.54 m的小型滑坡,计算结果如图7和表1。

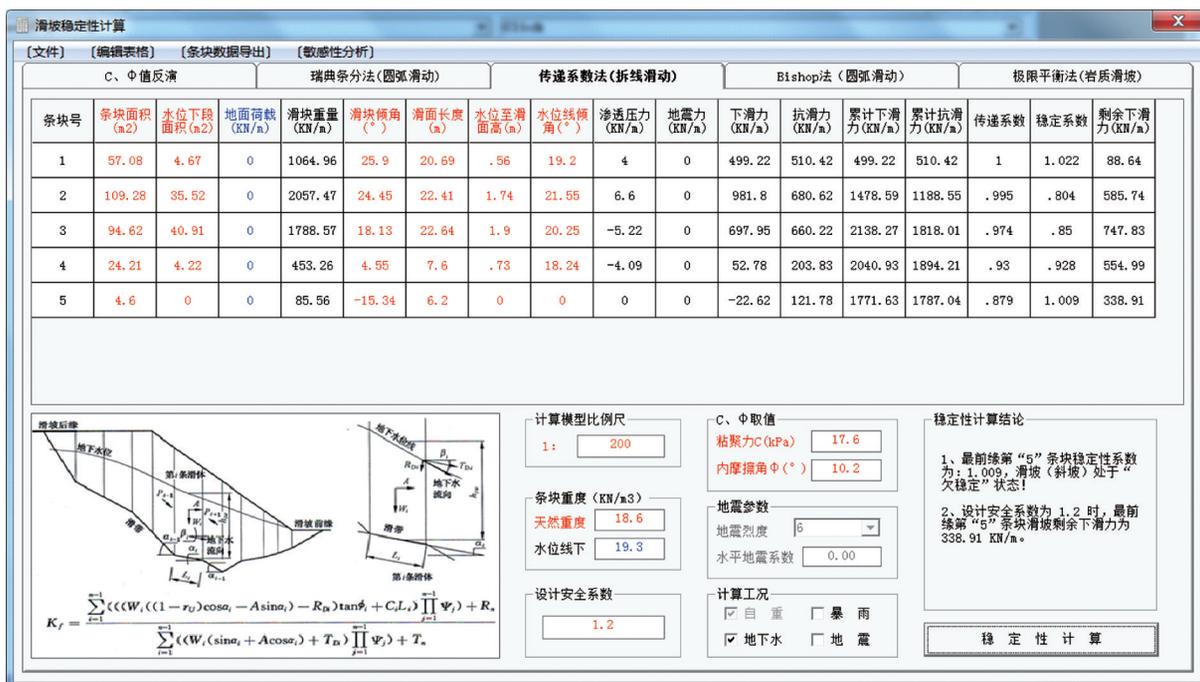


图7 传递系数法计算结果及界面

Fig. 7 Calculation results and interface of transfer coefficient method

表1 不同算法结果对比表

Table 1 Comparison of different calculation method

计算工况	计算方法	稳定性系数	剩余下滑力 (KN/m)
实例一(图6计算模型)			
自重+地下水	瑞典法	1.046	339.68
	传递系数法	1.009	338.91
	Bishop法	1.225	123.44
	Janbu法	1.270	319.50
实例二(图8计算模型)			
自重+暴雨	瑞典法	1.111	61.06
	传递系数法	1.153	54.20
	Bishop法	0.995	123.92
	Janbu法	1.001	54.20

### 2.2 Bishop法

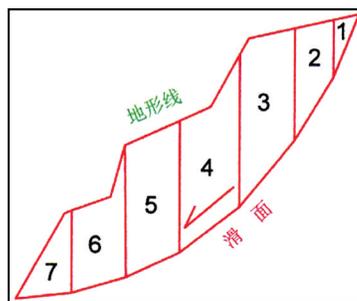


图8 圆弧形滑面土质滑坡模型

Fig. 8 Slope-mass landslide model of Circular curved sliding surface

GB 50330和GB/T 32864对于圆弧形滑面的土质滑坡(边坡),采用毕肖普(Bishop)法进行滑坡稳定性系数和推力计算。

Bishop法忽略了条间切向力,比瑞典法更为合理(殷跃平等,2018)。

图8实例为自重+暴雨工况,系滑面总长为 21.05 m 的小滑坡,计算结果如图2、图9和表1,首次假定稳定性系数取1开始,一般迭代3次即可。

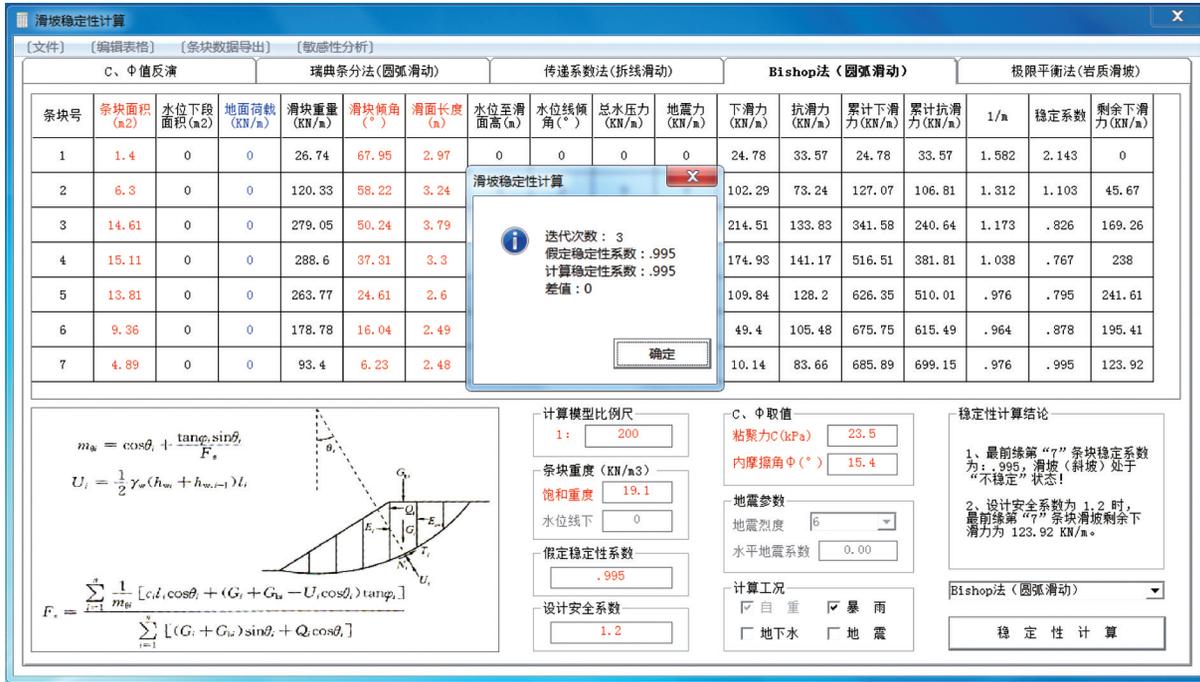


图9 Bishop法计算结果及界面

Fig.9 Calculation results and interface of Bishop method

### 2.3 几种算法结果比较

同一土质滑坡,分别采用四种算法进行对比验证如表1,计算出的稳定性系数、剩余下滑力差异较大,系计算条件不同产生,取决于计算剖面模型适合于哪种计算条件。

结合项目实际,通过表1结果进行比较:

1)图6计算模型,瑞典法得出的稳定性系数1.046较大,Bishop、Janbu法得出的稳定性系数1.225、1.270偏大,安全系数同样取1.2时Bishop法剩余下滑力123.44 KN/m过小。因此,传递系数法结果比较符合实际。

2)图8计算模型,瑞典法、传递系数法、Janbu法得出的稳定性系数均偏大,安全系数同样取1.2时剩余下滑力又都偏小。因此,采用Bishop法比较符合实际。

实际工作中,一定的地质环境条件具有不确定性因素,加之岩土体本身内部的强度系数、密度、孔隙水压力和各种结构面等变化大,目前上述算法几乎无一例外都是采用近似方法-刚体极限平衡法来研究岩土体的稳定性(殷跃平等,2018),现实和假定的差异肯定会影响计算成果的可靠性,因此,我们应注意不同算法的适用条件,

避免计算结果与实际情况不吻合。

### 3 结语

通过实践,本“滑坡稳定性计算”模块具有一定的优越性。

1)“地质测量”系笔者十多年业余时间自主开发的、地质工作常用到的系列小工具软件集成,自2005年在因特网免费发布以来,无需安装,使用方便。而“理正岩土计算”需要安装、插狗,计算剖面模型所有数据需要逐个手动输入。

2)软件界面简洁直观,一种算法一个界面一张表格,有原始数据,有计算过程和结论,直接截图插入成果中作为佐证。“理正岩土计算”“边坡计算 SlopeLE”表格较多反映不太直观。

3)智能化程度较高,数据采集多样性,可从AutoCAD中自动读取剖面数据,数据保存方便可重复使用。而“理正岩土计算”不能从AutoCAD计算剖面模型中自动读取剖面数据。

4)集成多种算法,数据相互导入方便,利于使用不同算法验算或研究。而“理正岩土计算”“边坡计算 SlopeLE”的算法相对较少。

同时,笔者等水平有限,软件仍然存在诸多

缺陷:

- 1) 尚未考虑水下滑坡算法。
- 2) 自动读取 AutoCAD 计算模型数据时,对于需要划分条块越多、分层多的滑坡体实现智能化程度且不足,未考虑自动划分条块算法。
- 3) 土质滑坡自动搜索圆弧滑动面算法待完成。
- 4) Morgenstern-Price 法算法较复杂,目前规范未给出标准的计算公式,待完成。

希望通过不断实践和征求广大专家学者、同行的宝贵意见建议,今后加以改进和更新。

#### [参考文献]

- 陆柏树,刘云彪,李同林. 2007. AutoCAD\_VBA 在滑坡稳定性计算方面的应用[J]. 资源环境与工程,(3):331-334.
- 卢清. 2009. 基于 GIS 的三峡库区滑坡稳定性评价系统的设计与实现[D]. 武汉理工大学硕士学位论文.
- 雷育宾,张志栋. 2015. MapGis\_Excel 在滑坡稳定性计算中的应用及实例说明[J]. 西部挖矿工程,(7):5-8.
- 刘华军. 2004. 基于边坡(滑坡)治理设计软件系统及其应用[D]. 成都理工大学硕士学位论文.
- 刘鹏,许强. 2006. 滑坡稳定性计算和治理工程软件设计[J]. 水土保持研究,(2):250-252.
- 李长冬,胡新丽. 2006. 滑坡稳定性评价及治理工程设计软件[J]. 地质科技情报,25(1):95-98.
- 秦凯旭,冯文凯,郎秋玲. 2007. GEO-SLOPE 软件在某滑坡稳定性计算中的应用[J]. 灾害学,22(2):21-24.
- 宣世进,沈万里. 2009. 滑坡稳定性评价方法研究[J]. 科技资讯,(1):101.
- 许强,黄润秋,巨能攀,等. 2000. 滑坡治理方案的计算机辅助设计系统(Slope-CAD)的开发与研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,11(4):33-38.
- 徐洪恩,舒洪平. 2007. 用 VB6 开发滑坡稳定性计算软件[J]. 地质灾害与环境保护,(2):100-103.
- 殷跃平,胡时友,石胜伟,等. 2018. 滑坡防治技术指南[M]. 地质出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2013. 建筑边坡工程技术规范[S]GB 50330-2013. 北京:中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2016. 滑坡防治工程勘查规范[S]GB/T 32864-2016. 北京:中国标准出版社.

## Structure Design of a New Slope Stability Calculation Software

WANG Kang-nian, WANG Yun, HUANG Ye, WU Wen-gang, YANG Qiu-ping

(101 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Kaoli 556000, Guizhou, China)

[Abstract] ‘Slope stability calculation’ is a functional module of the software ‘Geological Measurement Computer Data Processing and Auxiliary Mapping System’, by persistent practice and perfection, now it can be integrated used Fellenius, transfer coefficient method, Bishop, Janbu and Two-dimensional block limit equilibrium method,  $C, \varphi$  valueback calculation in slope-mass landslide, the regional data can be import to calculate and study each other, the software interface is simple and intuitive, the calculation progress can be inserted into the result as photo. In this paper, the structure, design thought and application of ‘Slope stability calculation’ functional module are introduced systematically.

[Key Words] Landslide; Stability calculation; Software; Structure design