

文章编号: 1002-0268 (2010) 05-0153-06

基于 GIS 的三峡库区高切坡危险性 评价与灾害管理系统

刘 斌, 殷坤龙, 陈丽霞, 杜 娟

(中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了有效地评价三峡库区高切坡的危险性, 基于 MAPGIS 平台采用 Visual Basic 高级程序设计语言建立了高切坡危险性评价与灾害管理系统。以三峡库区巴东新城区公路岩质高切坡为例, 根据岩质高切坡发育的特点考虑地形、水文、地质及构造等方面选取 10 类影响因素。在因素研究的基础上采用信息量模型开展了高切坡危险性评价, 对评价结果的合理性进行了分析。结果表明, 通过建立高切坡危险性评价与灾害管理系统可以提高高切坡工程信息管理和危险性评价的效率, 为控制高切坡的灾害风险和防治工程的规划提供决策依据。

关键词: 环境工程; 危险性评价; GIS; 高切坡; 三峡库区

中图分类号: U412.1

文献标识码: A

Hazard Evaluation and Management System of High Cut Slope in the Three Gorges Reservoir Area Based on GIS

LIU Bin, YIN Kunlong, CHEN Lixia, DU Juan

(China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: In order to effectively evaluate the hazard of high cut slope in the Three Gorges reservoir area, a hazard evaluation and management system of high cut slope was developed using Visual Basic program developing language based on MAPGIS platform. Taken the high cut rock slope on highway of Badong in the Three Gorges reservoir area on the Yangtze River for example, according to the development characteristics of high cut rock slope, ten influencing factors were selected considering from aspects of terrain, hydrology, geology and structure. On this basis, the hazard of high cut slope was evaluated by using information model, and the rationality of evaluation results was analyzed. It shows that the efficiency of engineering information management and hazard evaluation of high cut slope can be improved by setting up the hazard evaluation and management system of high cut slope to offer the decision basis for controlling risk of high cut slope hazard and programming of prevention engineering.

Key words: environmental engineering; hazard evaluation; GIS; high cut slope; the Three Gorges reservoir area

0 前言

在我国工程建设规范《建筑边坡支护技术规范》和重庆市地方标准《工程地质勘察规范》中明确规定: 岩质边坡高度大于 15 m 和土质边坡高度大于 8 m 的边坡为高边坡, 在三峡库区被称之为高切坡^[1]。特别是在山区, 由于受到场地条件和地形的限制, 在修

建公路时不可避免的出现高填深挖, 形成大批高切坡。这些边坡在各种因素的综合作用下, 将会发生崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害, 严重威胁到人类生命和财产的安全。为了减小和控制高切坡的风险有必要开展高切坡的危险性评价。

高切坡工程数据的收集是危险性评价的基础。其相关数据主要以文字、图表形式存储在工程报告中,

收稿日期: 2009-05-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40872176)

作者简介: 刘斌 (1980 -), 男, 湖北荆州人, 博士研究生, 研究方向为 GIS 在地质灾害预测预报的应用. (lb052984 @163.com)

要方便、快捷地查询公路沿线高边坡信息较为困难^[2]。地理信息系统 (GIS) 产生于 19 世纪 50 年代,是集计算机学、地理学、测绘遥感学、环境科学、空间科学、信息科学、管理科学和现代通讯技术为一体的一门新兴边缘学科^[3]。其优势在于可以有效管理、查询、分析空间数据以及可视化的表现能力^[4]。目前,地理信息系统在工程地质领域已得到初步应用^[4-5],一些学者探讨了 GIS 在边坡管理和边坡危险性评价的应用^[6-15]。本文利用 Visual Basic 程序设计语言,使用 ADO 组件连接数据库,基于 MAPGIS6.7 平台开发一套能够高效管理公路高切坡信息和分析评价高切坡危险性的可视化系统。

1 系统功能

根据高切坡工程数据管理、信息查询、统计分析和危险性评价 4 个方面进行了功能设计,其具体内容有以下 8 个功能,如图 1 所示。

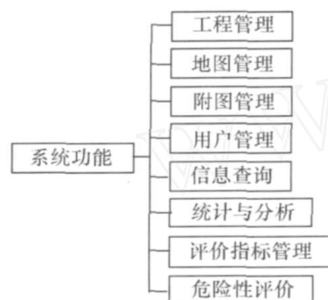


图 1 系统功能框架

Fig. 1 Framework of system function

1.1 工程管理

管理高切坡工程相关的属性信息。如高切坡的地理位置、形态、岩性及物质组成、类型、风化程度、节理发育程度、可能威胁到的对象、治理的类型和时间等。

1.2 地图管理

主要的功能为 MAPGIS 地图的添加、修改和展示。相关的地图主要有:公路建筑物分布图、高切坡空间分布图、地形坡度图、斜坡类型图、地层岩性图、地质构造图、预测单元划分图、高切坡单元分级图和预测单元分布图。

1.3 附图管理

与高切坡相关的工程图件的管理。工程图件的类型有:高切坡工程地质平面图、纵横剖面图、钻孔柱状图和相关的照片。

1.4 用户管理

系统采用了用户分级管理,其中用户主要包括普

通用户、高级用户和管理员用户。普通用户只能浏览和查询信息;高级用户相对普通用户来说,新增了信息统计分析和高切坡危险性评价功能;管理员用户拥有所有权限,包括工程和地图信息的更新以及评价指标的管理功能等。

1.5 信息查询

包括工程属性信息查询和地图空间信息查询两部分。其中工程属性查询可以对工程名称进行模糊查询以及查询与工程相关的属性数据、附图和地图中相对应的空间位置;地图空间信息查询可以针对地图数据中的属性进行条件查询,并可以查看符合条件的空间数据。

1.6 信息统计与分析

根据统计数据的属性设定横、纵坐标的数据可以自动生成各种类型的图表,通过统计的图表可以更直观地分析高切坡的相关信息。例如从生成高切坡的坡度折线图(见图 2)可以发现大部分高切坡的坡度集中在 60 左右。

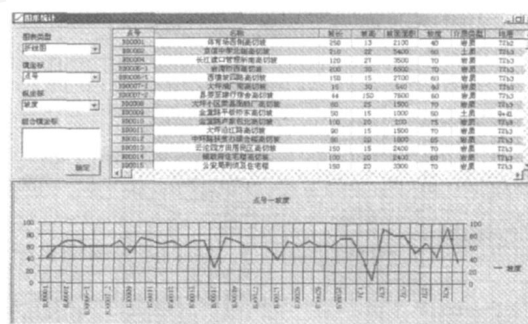


图 2 坡度统计图表界面

Fig. 2 Interface of gradient statistic chart

1.7 评价指标管理

首先建立 GIS 文件和指标体系的对应关系,然后通过指标之间相关性分析,排除相关性较高的评价指标,接着根据高切坡评价指标的分布特征对指标进行分级,为危险性评价提供评价指标。

1.8 危险性评价

根据选取的评价指标采用各种的评价模型进行高切坡危险性评价。对区域进行危险性评价模型有:信息量模型、多元统计模型、层次分析模型、BP 神经网络等。本文选取的评价模型为信息量模型^[7]。

2 系统界面

根据系统的功能设计了相应的系统主界面(见图 3)。主要包括系统菜单、工具栏、导航界面、图形界面、鹰眼界面和属性展示界面 6 个子界面,详见图

4. 除此之外, 当点击导航界面里的附图时, 为了避免浏览的图片发生拉伸变形, 附图将会以原图纵横比例显示。

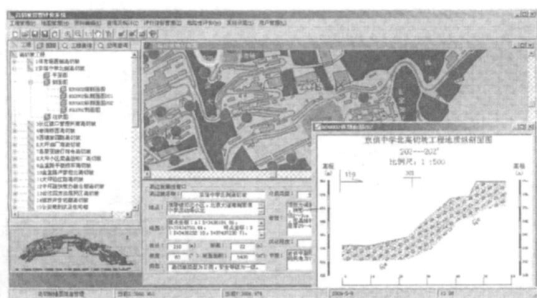


图3 系统主界面

Fig. 3 Main interface of the system

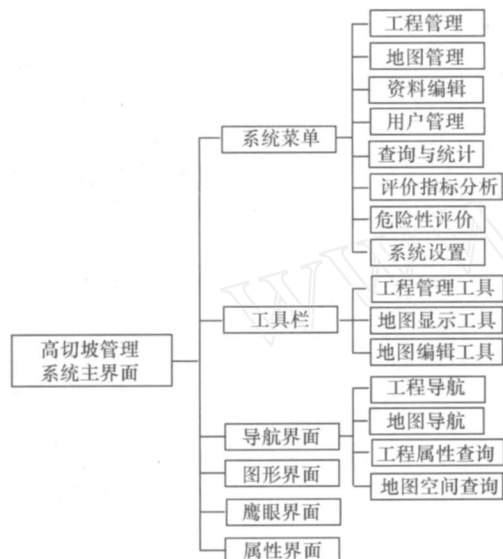


图4 系统主界面框架

Fig. 4 Framework of system main interface

3 关键技术

3.1 用户分级管理

利用数据字典技术创建用户权限字典表和系统菜单字典表, 将用户权限记录在用户权限字典表中, 当系统启动时自动调用系统菜单字典表根据用户权限字典表里不同用户权限的设置进行动态显示。

3.2 空间数据与工程属性数据的连接

该系统的数据从管理数据的类型上可以分为属性数据、空间数据。属性数据可以分为外部属性数据和内部属性数据 (GIS 自带属性), 外部属性数据包括高切坡相关信息数据、多媒体数据及文本数据; 空间数据主要包括基础地理数据、地质信息数据、生态环境数据、城市规划数据、高切坡数据等。

为了将 GIS 自带的属性数据和工程属性数据之间联系起来可以建立唯一关键字, 例如本系统的关键字为高切坡的编号。其连接方式见图 5。

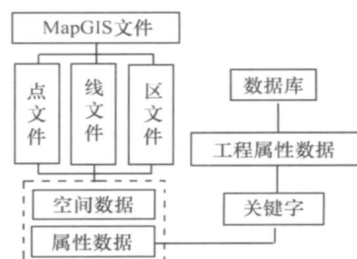


图5 空间数据与属性数据的连接方式

Fig. 5 Connection way between spatial data and attribute data

3.3 空间数据条件查询

MAPGIS 二次开发库的空间查询组件, 支持基于标准 SQL 的查询语言, 可以根据查询导航界面设定与 GIS 属性数据相关的 SQL 的 WHERE 条件语句, 如: “坡高 > 8 and 节理组数 > 2”, 就能实现空间数据的条件查询, 并将查询的结果返回到与空间数据关联的查询列表中, 方便用户查看。

4 危险性评价过程及应用实例

根据危险性评价路线 (见图 6), 选取三峡库区巴东县新城为研究区域, 利用系统对公路高切坡的相关信息进行分析, 在此基础上选取合适的评价指标, 采用信息量法开展公路高切坡的危险性评价, 最后对评价的结果进行合理性分析。按边坡组成的物质类型可将高切坡分为岩质高切坡、土质高切坡和岩土混合高切坡。不同类型的高切坡危险性评价所选择的评价指标应该是有区别的。本文以岩质高切坡

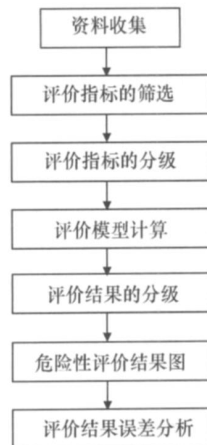


图6 危险性评价路线

Fig. 6 Route for hazard evaluation

为例介绍其危险性评价的过程。

4.1 评价单元的划分

对于 1 10 000 比例尺的研究区进行高切坡危险性评价时,评价单元的划分采用了自然斜坡单元的形式。参考对已治理的高切坡的后缘高程分布特征,在巴东新城城区斜坡单元划分的基础上,沿公路选取待评价的斜坡单元,共 316 个,其中岩质边坡有 123 个。

4.2 评价指标的筛选和划分

根据巴东县新城城区地质灾害发生的特点和岩质高切坡稳定性的控制因素,考虑地形、水文、地质及构造等方面,选取 10 类因素:坡高 (Y_1)、汇水面积 (Y_2)、岩性组合 (Y_3)、斜坡结构类型 (Y_4)、风化程度 (Y_5)、断层 (Y_6)、节理组数 (Y_7)、节理体密度 (Y_8)、节理隙宽 (Y_9)和迹长 (Y_{10})。

为了保证预测指标的相互独立性且能满足建立数学模型的需要,需要对前述各预测变量进行筛选,对研究区所有岩质高切坡预测单元的初选指标进行了互相关性分析(分析结果见表 1),发现除节理隙宽与节理组数间具有较高的相关系数(0.541)外,其他变量间的相关系数都很小。此外,考虑到节理迹长也与节理组数之间的相关性较高,故将节理组数这一变量剔除,以免造成信息的相互干扰与叠加,而影响预测精度。在剔除这一因素后,剩余的变量(不包括 Y_7)具有较好的独立性。根据每一类预测指标的具体特征将其划分成不同的状态变量(见表 2),经筛选和划分后共 31 个变量。

表 1 岩质高切坡评价指标的相关性分析

Tab. 1 Correlation analysis of hazard evaluation indexes of rock high cut slope

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Y_1	1	- 0.331	0.140	- 0.040	- 0.100
Y_2		1	- 0.039	0.118	0.006
Y_3			1	0.019	0.212
Y_4				1	0.241
Y_5					1
Y_6					
Y_7					
Y_8					
Y_9					
Y_{10}					
	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}
Y_1	- 0.003	- 0.087	- 0.002	- 0.158	- 0.032
Y_2	- 0.092	0.024	0.052	- 0.007	- 0.033
Y_3	- 0.195	0.009	0.085	- 0.166	- 0.298
Y_4	- 0.146	- 0.202	- 0.005	- 0.140	- 0.291
Y_5	- 0.037	- 0.106	0.089	0.021	- 0.338
Y_6	1	- 0.238	0.316	- 0.115	0.054
Y_7		1	- 0.191	0.541	0.361
Y_8			1	- 0.237	- 0.371
Y_9				1	0.241
Y_{10}					1

4.3 信息量模型计算

表 2 岩质高切坡危险性评价指标状态变量划分

Tab. 2 Division of hazard evaluation index state variables of rock high cut slope

1 级指标	基础指标	状态	变量
地形	Y_1/m	15	x_1
		15 ~ 20	x_2
		20 ~ 25	x_3
		25 ~ 30	x_4
		> 30	x_5
	Y_2/m^2	5	x_6
		5 ~ 10	x_7
		10 ~ 50	x_8
		> 50	x_9
		地层岩性	Y_3
	灰岩		x_{11}
Y_4	切向坡		x_{12}
	逆向坡		x_{13}
	顺向坡		x_{14}
地质构造	Y_5	2	x_{15}
	(1. 全风化;2. 强风化;3. 中风化;4. 微风化;5. 未风化)	2 ~ 2.5	x_{16}
		> 2.5	x_{17}
	Y_6	无	x_{18}
		15 ~ 20	x_{19}
	$Y_7/(\text{条}\cdot\text{m}^{-3})$	1	x_{20}
		1 ~ 1.3	x_{21}
		1.3 ~ 2	x_{22}
		> 2	x_{23}
		Y_8/cm	2
2 ~ 3			x_{25}
3 ~ 5			x_{26}
> 5			x_{27}
Y_{10}/m		2	x_{28}
		2 ~ 3	x_{29}
		3 ~ 4	x_{30}
	> 4	x_{31}	

信息预测的观点认为,地质灾害产生与否是与预测过程中所获取的信息的数量和质量有关,是用信息量来衡量的。一般情况下,由于作用于地质灾害的因素很多,相应的因素组合状态也特别多,样本统计数量往往受到限制,故采用简化的单因素信息量模型的分步计算,再综合叠加分析,得到相应的信息量模型^[7]。

如果采用面积比来计算信息量值,简化的单因素信息量可表示成:

$$I(y, x_1, x_2 \dots x_n) = \log_2 \frac{S_0/S}{A_0/A}, \tag{1}$$

式中, A 为区域内单元总面积; A_0 为已经发生地质灾害的单元面积之和; S 为具有相同因素 x_1, x_2, \dots, x_n 组合的单元总面积; S_0 为具有相同因素 x_1, x_2, \dots, x_n 组合单元中发生地质灾害的单元面积之和。

预测区某单元信息量预测值 I 为:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \log_2 \frac{S_i^i / S^i}{a_0 / A}, \quad (2)$$

式中, I 为预测区某单元信息量预测值; S^i 为因素 x_i 所占单元总面积; S_i^i 为因素 x_i 单元中发生地质灾害的单元面积之和。

根据式(1)进行计算得到各指标状态的单因素信息量, 见表 3。将单因素信息量带入式(2)得到式(3)即可求得预测区某单元的信息量预测值。

$$I_i = 0.418x_1 + 0.67x_2 + \dots + 0.918x_{31}。 \quad (3)$$

表 3 岩质高切坡评价指标状态信息量

Tab. 3 Information of hazard evaluation index states of

rock high cut slope

变量	信息量/ bit	变量	信息量/ bit	变量	信息量/ bit	变量	信息量/ bit
x_1	0.418	x_9	2.136	x_{17}	0.207	x_{25}	1.099
x_2	0.670	x_{10}	0.554	x_{18}	0.816	x_{26}	1.982
x_3	0.692	x_{11}	0.357	x_{19}	2.867	x_{27}	2.136
x_4	0.778	x_{12}	0.483	x_{20}	0.061	x_{28}	-0.359
x_5	-0.163	x_{13}	-0.008	x_{21}	1.021	x_{29}	0.012
x_6	0.278	x_{14}	1.156	x_{22}	0.145	x_{30}	0.973
x_7	1.076	x_{15}	1.521	x_{23}	-0.774	x_{31}	0.918
x_8	-1.038	x_{16}	0.382	x_{24}	-3.030		

4.4 危险性区划和分析

根据危险性等级的评估结果统计各等级分区下的面积、已发生高切坡的个数和面积及比例等数据见表 4。根据表 4 中信息量的划分标准将危险性分为 5 个等级: 低危险区、较低危险区、中危险区、较高危险区和高危险区。

表 4 危险等级划分标准及评价结果统计表

Tab. 4 Statistics of the division criterion for hazard ranks and evaluation results

危险等级	信息量 I /bit	面积/ m^2	(a)/%	已发生 高切坡 个数	占高切 坡总数 的百分 比/%	高切坡 面积/ m^2	(b)/%	(b)/(a)
高	$I > 7$	759.8	10.68	7	26.92	561.4	26.16	2.449
较高	$5 > I$	832.0	25.76	11	42.31	992.7	46.27	1.796
中	$3 > I$	707.4	24.01	6	23.07	424.9	19.80	0.825
较低	$1 > I$	060.1	14.91	1	3.85	86.8	4.05	0.272
低	$I < 1$	752.1	24.64	1	3.85	79.9	3.72	0.151

注: 表中 (a) 为占总面积的百分比; (b) 为占高切坡总积的百分比。

根据表 4 对评价结果做出合理性分析:

(1) 分区结果显示, 研究区内已有的高切坡有大部分落在高危险及较高危险区内, 低危险区和较低危险区只有极少数的高切坡, 验证了评价结果的合理性。

(2) 随危险性等级的提高, 高切坡发生的实际比

率(b) / (a), 即分区内发生高切坡的密度与研究区总的高切坡密度的比值) 也逐渐增大, 且高危险区及较高危险区的 (b) / (a) 值均大于 1。说明评价结果与实际高切坡的发生情况吻合, 评价结果比较理想。

5 结论

(1) 该系统以高切坡工程为主题, 将公路高切坡相关数据, 如工程属性信息、图件信息以及 GIS 地图信息有机地组合在一起进行统一管理和展示, 可以很方便的查询到高切坡工程的相关空间和属性信息。

(2) 通过系统收集的相关信息, 自动生成各种类型的图表, 可以更加直观地分析不同类型高切坡发育的特征。

(3) 在分析的基础上, 结合收集的高切坡信息, 根据指标的相关性筛选评价指标, 并在此基础上开展高切坡的危险性评价, 最后对评价结果的合理性做出了分析, 极大地提高了高切坡危险性分析评价的质量和效率。

参考文献:

References:

- [1] 朱勇. 高切坡稳定性评价系统构建与应用研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
ZHU Yong. Construction and Application Study on the Stability Evaluation System of High Cut Slope [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006.
- [2] 戎亚芳, 郭明. 基于 GIS 技术的公路石质边防护与环境保护信息系统 [J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2007, 26 (2): 136 - 138.
RONG Yafang, GUO Ming. Information System for Defense and Environmental Protection on Highway's Rock-slopes Based on GIS [J]. Journal of Chengdu University: Natural Science Edition, 2007, 26 (2): 136 - 138.
- [3] 吴信才. 地理信息系统原理与方法 [M]. 电子工业出版社, 2002.
WU Xincan. Principle and Method of Geographic Information System [M]. Electronic Industry Press, 2002.
- [4] 唐亦川, 许冲, 侯恩科, 等. 基于 GIS 的公路边坡稳定性评价系统 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (S2): 56 - 58.
TANG Yichuan, XU Chong, HOU Enke, et al. Highway Slope Stability Evaluation System Based on GIS [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (S2): 56 - 58.
- [5] 唐胜传, 陶丽娜, 陈谦应, 等. 基于 GIS 的公路边坡支

- 护设计系统 [J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1 (2): 258 - 262.
- TANG Shengchuan, TAO Lina, CHEN Qianying, et al. Design System for the Slope Support of Highway Based on GIS [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1 (2): 258 - 262.
- [6] 王纯祥, 蒋宇静, 谢谟文, 等. 基于 GIS 区域边坡失稳灾害预测与评价 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (12): 2449 - 2454.
- WANG Chunxiang, JIANG Yujing, XIE Mowen, et al. Prediction and Assessment of Regional Slope-failure Hazard Based on GIS [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27 (12): 2449 - 2454.
- [7] 殷坤龙. 滑坡预测预报 [M]. 中国地质大学出版社, 2003.
- YIN Kunlong. Landslide Hazard Prediction and Evaluation [M]. China University of Geosciences Press, 2003.
- [8] WESTEN C J V, RENGERS N, TERLIEN M T J, et al. Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Through Gis-Based Hazard Zonation [J]. Geol Rundsch, 1997 (86): 404 - 414.
- [9] KIM K, PARK H, LEE S, et al. Geographic Information System (GIS) based Stability Analysis of Rock Cut Slopes [J]. Geosciences Journal, 2004, 8 (4): 391 - 400.
- [10] OZTEKIN B, TOPAL T. GIS-based Detachment Susceptibility Analyses of a Cut Slope in Limestone, Ankara, Turkey [J]. Environmental Geology, 2005 (49): 124 - 132.
- [11] ACHARYA G, SMEDT F D, LONG N T. Assessing Landslide Hazard in GIS: A Case Study from Rasuwa, Nepal [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2006, 65 (1): 99 - 107.
- [12] 曹杉杉. 基于 CBR 的三峡库区高切坡稳定性评估系统 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- CAO Shanshan. The Stability Evaluation System for Slopes Based on CBR in Three Gorges Reservoir Area [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007.
- [13] 曹杉杉, 夏元友, 谢佐强. 三峡库区高切坡稳定性评估系统的数据库设计 [J]. 湖北师范学院学报: 自然科学版, 2007, 27 (1): 13 - 16.
- CAO Shanshan, XIA Yuanyou, XIE Zuoqiang. Database Design of High Cutting Slope Stability Evaluation System for Three Gorges Reservoir Area [J]. Journal of Hubei Normal University: Natural Science Edition, 2007, 27 (1): 13 - 16.
- [14] 孙敏. 基于 GIS 的三峡库区高切坡稳定性评价系统研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- SUN Min. The Study on Stability Evaluation System of the High Cut Slope in Three Gorges Reservoir Area Based on GIS [D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [15] 申翊, 谭照华, 安国庆. 基于 Internet 平台高切坡稳定性评价系统的研究 [J]. 资源环境与工程, 2005, 19 (2): 133 - 137.
- SHEN Hong, TAN Zhaohua, AN Guoqing. The Stability Evaluation System of Artificial High Slope Based on Internet Terrace [J]. Resources Environment & Engineering, 2005, 19 (2): 133 - 137.