

利吉层崩塌地地电阻分析

许中立¹, 谢茗彰¹, 徐弘明²

(1. 屏东科技大学水土保持系, 台湾 屏东 912; 2. 水土保持局台东分局, 台湾 台东 950)

摘要: 台东海岸山脉为利吉层分布地区, 常呈裸露而植生不易, 又受降雨冲蚀易形成崩塌地滑灾害。本研究针对近年利吉层地区发生之崩塌灾害资料搜集与踏勘, 并透过卫星影像进行判释, 而选出池上山棕寮及鹿野宝华两案例, 进行地层电气探测之相关分析研究。综合研究成果由 2004 年、2006 及 2009 卫星影像照片崩塌地判释得知: 2004 年崩塌面积为 102 hm², 2006 年增加为 139 hm², 2009 年崩塌面积减少至 56.5 hm², 进一步探讨发现 2009 年坡度 20% 以下崩塌裸露比例大幅减少, 而坡度 30%~40% 之崩塌则呈现增加趋势, 分析坡度 20% 以上植物不易生长, 植生复育速度较缓慢; 利吉层分布周围之地层走向为北偏东, 以向东南倾斜为主, 并紧邻池上断层、鹿野断层及利吉断层, 地质变化多样, 属较新地质年代, 仍处于不稳定之状态; 由山棕寮及宝华电气探测结果得知地电阻值皆小于 100 mΩ, 利吉层地电阻分布可分为崩积层与下方岩层, 崩积层电阻较高而泥岩之电阻值则小于 35 及 20 mΩ, 整体电阻随深度增加而降低。

关键词: 崩塌地; 利吉层; 电气探测; 地电阻; 泥岩

中图分类号: TM934

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0272-05

Stratum Earth Electrical Resistance Analysis of Landslide Area in Lichi Layer

HSU Chung-li¹, SHIEH Ming-cheng¹, HSU Hung-ming²

(1. Department of Soil and Water Conservation, Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan 912, China; 2. Soil and Water Conservation Bureau, Taitung County Government, Taitung, Taiwan 950, China)

Abstract: Lichi Layer is widely distributed in Taitung Coastal Range area. It's difficult to let plant grow at vegetation exposed area in Lichi layer area, and it is easy to suffer the torrential rainfall influence and have many landslide phenomena. This study aimed at landslide hazard occurred data collection and investigation in Lichi Layer area. Satellite images were executed to distinguishing and explanation on landslide. At the same time, the electrical detection method was used to study the correlation analysis on Shanzongliao and Baohua the sliding phenomenon. According to comprehensive research, the satellite pictures executed to distinguishing and explanation on landslide that found out in 2004, 2006 and 2009, landslide area was 102 hectares in 2004, 139 hectares in 2006 and 56.5 hectares in 2009. Shown in recent years, the trend of recovery of landslide exposed area was covered by vegetation. Due to the electrical detection result in Shanzongliao and Baohua, we could know the overall resistance is less than 100 mΩ. The resistance distribution can be divided the colluvium and mudstone in Lichi layer. Resistance of colluviums fold is high and mudstone resistance is less than 35 and 20 mΩ. The overall resistance decreased with increasing depth.

Key words: landslide area; lichi layer; electrical detection; earth electrical resistance; mudstone

台湾位于欧亚大陆与菲律宾海板块的聚合板块边界上, 于板块构造上属于活动带 (mobile belt), 造山运动活跃, 经由长时间作用形成台湾具有地势陡峭、地质破碎之特性。由于板块间碰撞挤压致使地震频繁, 加上台湾位于北回归线属海岛型气候, 夏季经

常受西太平洋热带气旋侵袭, 尤其台湾东部首当其冲。近年来全球气候变迁与极端气候影响, 高强度及长延时之降雨事件频传, 在地质条件差又有不当之土地利用开发情况下, 易发生崩塌与地滑之现象情形。

一般而言, 若坡地发生崩塌及地滑等地质灾害

收稿日期: 2011-07-18

修回日期: 2011-11-26

作者简介: 许中立 (1963—), 男, 台湾台中人, 博士, 副教授, 主要从事滑坡灾害评估、环境地质灾害调查防治及土壤改良的教学与科研工作。
E-mail: clhsu@mail.npust.edu.tw

(geology disaster), 对社会与经济均产生不良之影响。地质灾害之发生通常具备潜因与诱因, 前者如地形、地质与土壤; 后者如降雨、地下水、河岸侵蚀、水库蓄水与人为开发等^[1-2]。台东海岸山脉区域正位于欧亚大陆板块最东缘, 是与菲律宾海板块接触之处, 岩层包含都峦山层、利吉层与卑南山砾岩。利吉层为夹杂外来岩块之泥质材料, 在工程上一直是相当难处理的部分, 利吉层裸露区域植生不易, 受降雨冲蚀易形成蚀沟, 由于利吉层地区之崩塌情形相比较为严重, 因此先针对利吉层地区崩塌等相关图层资料分析, 并于池上山棕寮与鹿野宝华两案例之崩塌地滑地层以电气探测法进行相关分析研究, 以了解利吉层崩塌地层之分布特性^[3-4]。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

本研究区域范围为台东县海岸山脉利吉层分布区域, 利吉层主要分布于海岸山脉西侧与西南侧区域, 南至卑南乡北至池上乡。其中于利吉层分布区域内之两处崩塌地进行电气探测, 探测地点分别如下: 池上山棕寮地滑地位于台东县池上乡富兴村山棕寮地区内, 位于池上火车站东南方 7~8 km 处; 鹿野宝华地滑位于台东县鹿野乡瑞和村宝华地区, 位于县 197 公路 22 km 处上边坡。

台东海岸山脉之地形由西向东大致可分成: 花东纵谷平原、海岸山脉与海岸阶地, 而利吉层主要分布于海岸山脉西南侧之山麓地带。上新世利吉层为泥岩夹杂以蛇绿岩系为主之外来岩块, 造成的不均匀混合岩层, 广泛分布在海岸山脉的南端, 并沿着海岸山脉的西缘向北延伸约 70 km^[5-6]。

利吉层分布区位于北回归线以南、季风带之中, 大致属于热带气候型。由台湾中央气象局台东气候站资料得知年均温为 24.7℃, 若以 22℃ 以上为夏季, 本区域有 8—9 月属夏季气候。以降雨而言, 台东地区雨量丰沛, 台东地区年平均雨量约为 1 635.4 mm, 干枯季明显, 雨季始于 5 月终于 10 月, 11 月至翌年 4 月为相对旱季。

1.2 研究流程

利吉层崩塌地滑发生之地点与规模皆不尽相同, 本研究针对近年利吉层分布地区发生之崩塌灾害资料搜集与踏勘, 透过卫星照片进行崩塌判释, 并了解现场实际之状况, 配合地质地形以决定进行地电阻探测测线之配置。于现场进行施测后, 绘制 $\rho_a - a$ 曲线, 利用其电位差推求出地层之电性构造了解利吉层崩塌地之地电阻特性, 配合地表露头调查、地质钻探

等资料比对, 推测出地层之分布状况、浅层之地下构造及滑动体型态。

1.3 研究方法

电气探测法乃将电流通入地中, 建立电位场, 利用直流电通入地下量测地层电阻率, 透过地下不同材料反映出的电位差, 判断该材料之性质、类型、分布及深度, 举凡地层岩性、组成矿物、颗粒大小、地层含水状况、水中之含盐度, 皆为影响地层电阻率之因素。比电阻探测法属直流电阻法(direct current resistivity method)其中一种探测方法, 又可分为垂直探测法及水平探测法两种, 本研究为探讨地层垂直方向之现象, 故采用垂直探测法施行之, 电极配置方式则采用 Wenner 法, 如图 1 所示^[7-9]。

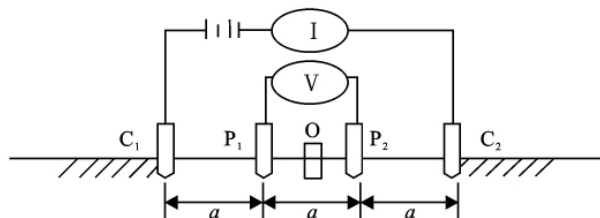


图 1 Wenner 四极法电极排列方式

依 Wenner 法的电极配置所实测得之 ρ_a 与 a 于双对数方格纸上描绘成 $\rho_a - a$ 曲线, 纵坐标为 ρ_a 值, 横坐标为 a 值, 透过 $\rho_a - a$ 曲线型态的变化, 可以反映出该地区地下构造之组成, 藉由该分析可初步了解地层纵向地层构造之分布、地下水或土壤含水率之分布, 进而了解可能之滑动面位置、深度与范围。

另外为获得地下地质数据、推测潜在滑动面, 并可利用钻孔设置地下水位观测井、孔内倾斜观测井及提供土质特性调查所必须之样品等。此外, 地质钻探之结果, 亦可供作解释电气探测资料的依据^[10]。

2 结果与分析

本研究首先通过近几年来遥测卫星影像照片, 了解台东海岸山脉利吉层地区不同时期崩塌特性, 并于池上山棕寮地区及鹿野乡宝华地区进行大地比电阻探测, 分别于山棕寮地区设置 3 条测线及宝华地区设置 2 条测线进行探测。兹将研究成果分节叙述如下:

2.1 遥测影像崩塌判释结果

近年来遥测影像照片(卫星影像或航测影像)是可以获得大范围地面讯息的方式之一, 同时也是能快速准确知道崩塌位置之方法, 因此遥测影像被广泛用于崩塌地判释。本研究以 ArcGIS 软件分别以 2004 年、2006 年及 2009 年卫星影像, 以不同色调分类, 于台东利吉层区域进行崩塌地分布与面积之判释。表 1 为 2004 年、2006 年及 2009 年卫星影像判

释崩塌统计表。综合研究成果由 2004 年、2006 年及 2009 年卫星影像照片崩塌地判释得知,2004 年崩塌面积为 102 hm²,2006 年为 139 hm²,2009 年崩塌面积为 56.5 hm²,由表 1 崩塌百分比进一步探讨发现坡度介于 2004 及 2006 年崩塌裸露地区多集中于 10%~30%,至 2009 年统计显示坡度 20%以下崩塌

裸露比例大幅减少,而坡度 30%~40%区间之崩塌则呈现增加趋势。分析利吉层地区崩塌多集中于 20%以上之坡地,坡度 20%以下草类先驱植物于崩塌地进行复育之趋势,达到植生初期地表覆盖功效,而坡度 20%以上因为泥岩冲蚀渐明显植生复育速度较缓慢。

表 1 卫星影样判释崩塌统计

坡度分级/%	2004 年		2006 年		2009 年	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
0~10	4.619	4.54	4.619	3.32	0.3	0.53
10~20	40.934	40.22	51.676	37.18	0	0
20~30	51.236	50.34	75.724	54.48	23.5	41.59
30~40	4.985	4.9	6.205	4.46	32.7	57.88
>40	0	0	0.774	0.56	0	0

2.2 电气探测结果

本研究采用 Wenner 法配置电极,于池上山棕寮地区布设 3 条测线共计 8 测点、鹿野宝华地区布设 2 条测线共计 6 测点。而施测之展距为 0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5,5,6,7,⋯,67 m,各测点之最大展距因受地形、地物之限制而有所不同,故探测深度亦受到限制。

池上山棕寮地区于 2000 年象神台风挟带豪雨诱

发滑动,地滑规模庞大,约呈不规则长方形,两侧各有一蚀沟发展。经现场勘查后,于本试验区中部位置选定 8 个适当地点进行探测,其位置如图 2 所示。鹿野宝华地区于 2007 年之豪雨、帕布台风、梧提台风、圣帕台风与柯罗莎台风等来袭,造成大规模崩塌地滑灾害,其坡面地质形成年代较新,介于利吉层与蕃薯寮层交界地区。经现场勘查后,于本试验区头部与趾部位置选定 6 个适当地点进行探测,其位置如图 3 所示。

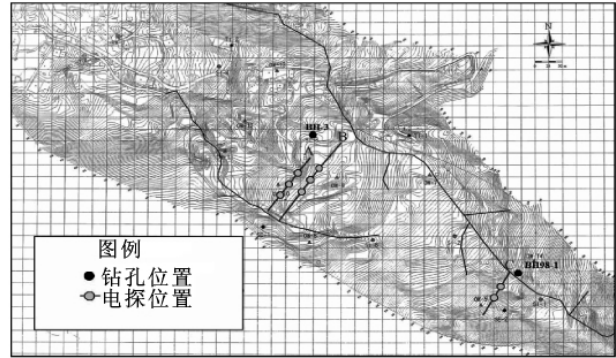


图 2 山棕寮测线位置

(1) 池上山棕寮地区。测线 A—A' 由地层分析结果可知,各测点大致上可分出两段:测点 1—1 第一段深度介于 0~7 m,电阻值介于 40~60 mΩ,第二段深度为 7 m 以下,电阻值介于 11~26 mΩ。测点 1—2 深度介于 0~4.5 m,电阻值介于 23~30 mΩ,而深度 4.5 m 以下,电阻值小于 30 mΩ 则为第二段。测点 1—3 第一段深度介于 0~3 m,电阻值介于 13~22 mΩ,其中 1.4~1.9 m 间电阻值为 13 mΩ 为一低电阻带,深度 3 m 以下电阻值小于 19 mΩ 则划分为第二段。将各层界面连结可发现第二段为灰色泥岩组成之利吉层电阻值小于 30 mΩ,并呈现稳定下降之趋势。

测线 B—B' 由地层分析结果可知,各测点大致上可分出三段:测点 2—1 第一段深度介于 0~6.4 m,

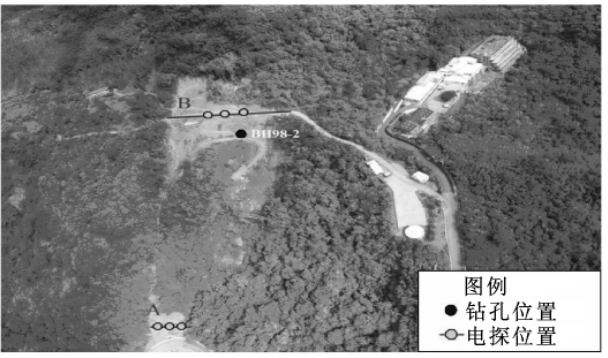


图 3 宝华测线位置

电阻值介于 42~64 mΩ,第二段深度为 6.4~19 m,电阻值介于 35~41 mΩ,第三段深度为 19 m 以下,电阻值介于 18 mΩ 以下。测点 2—2 深度介于 0~6.9 m,电阻值为 48~90 mΩ,第二段深度为 6.9~15 m,电阻值介于 39~48 mΩ,第三段深度为 15 m 以下,电阻值介于 20 mΩ 以下。测点 2—3 第一段深度介于 0~5 m,电阻值介于 50~79 mΩ,深度 5~16 m 间电阻值介于 5~16 mΩ 为第二段,第三段深度为 16 m 以下电阻值小于 35 mΩ。由三测点可发现电阻值随着深度增加而减小,且深度达到第三段电阻仍持续下降。综合电阻资料此测线电阻值小于 35 mΩ,分析为利吉层与崩积层交界层面之电阻值。

测线 C—C' 由地层分析结果可知,各测点大致上

可分出两段：测点 3—1 第一段深度介于 0~3.5 m，电阻值介于 13~50 mΩ，第二段深度为 3.5 m 以下，电阻值介于 9.2 mΩ 以下。测点 3—2 深度介于 0~2.3 m，电阻值介于 13~26 mΩ，第二段深度为 2.3 m 以下，电阻值介于 9~12 mΩ。综合两测点可发现电阻值随着深度增加而减小，综合电阻数据此测线电阻值小于 12 mΩ，分析为利吉层与崩积层交界层面之电阻值，电阻值最终趋近于 10 mΩ。

(2) 鹿野宝华地区。测线 A—A' 由地层分析结果可知，各测点大致上可分出两段：测点 1—1 第一段深度介于 0~4 m，电阻值介于 21~38 mΩ，第二段深度为 4 m 以下，电阻值介于 15~19 mΩ。测点 1—2 深度介于 0~4 m，电阻值介于 22~32 mΩ，第二段深度为 4 m 以下，电阻值介于 16~19 mΩ。测点 1—3 第一段深度介于 0~5.9 m，电阻值介于 9~37 mΩ，其中深度 1.2~1.9 m 间电阻值为 9 mΩ，推测应该为地下水所致，深度 5.9 m 以下，电阻值介于 10~19 mΩ 为第二段。由三测点可发现电阻值随着深度增加而减小，且深度达到第二段电阻仍持续下降。综合电阻资料此测线电阻值小于 19 mΩ，分析为利吉层与崩积层交界层面之电阻值。

测线 B—B' 由地层分析结果可知，各测点大致上可分出两段：测点 2—1 第一段深度介于 0~5.5 m，电阻值介于 12~23 mΩ，第二段深度为 5.5 m 以下，电阻值介于 8.9~13 mΩ。测点 2—2 深度介于 0~3.9 m，电阻值为 14~18 mΩ，第二段深度为 3.9 m 以下，电阻值为 10 mΩ。测点 2—3 第一段深度介于 0~3 m，电阻值介于 16~24 mΩ，深度 3 m 以下，电阻值介于 6.6~9.8 mΩ 为第二段。由三测点可发现电阻值随着深度增加而减小，且深度达到第二段电阻仍持续下降。综合电阻资料此测线电阻值小于 13 mΩ，分析为利吉层与崩积层交界层面之电阻值。

2.3 讨论

利用遥测卫星影像判释分析可以得知利吉层崩塌地分布，近年来利吉层崩塌区域植生仍持续复育中，2009 年崩塌面积已大幅减少。从崩塌地数据中看出，坡度于 20% 以下为利吉层泥岩植生较容易自然复育之坡度；由台湾五万分之一区域地质图的台东知本图幅得知，利吉层分布周围之地层走向为北偏东，以向东南倾斜为主；而两研究地区利用电气探测法于利吉层崩塌地进行检测，研究结果配合钻探柱状图以推估崩积层厚度、不透水层分布及地下水分布，进而了解利吉层崩塌地之特性。

(1) 利吉层崩塌特性。利吉层之泥质岩石大部分属中弱之软弱岩石，泥岩因地质年轻，岩石胶结不

良，遇水易快速崩解，又因受过度压密作用，当压力消除或受雨水淋洗时，自由减压所造成之裂隙，导致雨水向泥岩内部迅速渗入，使岩质软化，易造成土壤侵蚀及流失。由于泥岩有吸水后而难排水之特性，造成孔隙水压增加及吸水后膨胀压的产生，破坏了土体间的平衡，造成崩塌地滑的现象。

(2) 比电阻值之判读。根据池上山棕寮崩塌地滑区钻探结果可知，本区之地层可分为表土崩积岩屑、风化灰色粉土黏土及破碎岩块及泥岩层，其崩积层之 ρ_a 值为 13~90 mΩ，泥岩层 ρ_a 值为 9~48 mΩ；鹿野宝华崩塌地滑区地可分为表土崩积层与泥质砂岩层，其崩积层之 ρ_a 值为 9~38 mΩ，泥质砂岩层 ρ_a 值为 6.6~19 mΩ。

(3) 利吉层弱面之界定。依 ρ_a — a 曲线得知山棕寮地区浅层崩积层于测点 1—1 深度 1.5 m、测点 1—2 深度 2.5 m、测点 1—3 深度 1.5 m、测点 2—1 深度 2.5 m、测点 2—2 深度 1 m 与 4 m 及测点 2—3 深度 1.5 m 有低电阻情形；宝华地区测点 2—1 深度 1.5 m、测点 2—3 深度 1.5 m 有低电阻情形，分析为崩地层孔隙内含水所致，这也是利吉层地区多为浅层崩塌之主因。电阻值呈现稳定下降之变化，为泥岩电阻变化之情形，山棕寮与宝华各测点泥岩层面位置如表 2 所示，因降雨易入渗而积聚于下层之泥岩不透水层上，形成弱面，易造成崩塌透过电气探测了解泥岩层位置，该处即为易形成弱面之位置。

表 2 电气探测分析泥岩层位置

测点	山棕寮地区深度/m	宝华地区深度/m
1—1	8	2.5
1—2	10	2.5
1—3	12	2
2—1	12	2
2—2	11	2
2—3	14	2.5
3—1	6	—
3—2	4.5	—

宝华 B—B' 测线于测点 2—2 深度 14 m、测点 2—3 深度 13 m 以下 ρ_a — a 曲线电阻值呈现不规则跳动情形，为岩层中夹杂不同种类之岩块或裂隙所造成，显示该地层于此处形成一不稳定之结构，对于地层坡面稳定安全仍有其隐忧。两地区利用电气探测法于利吉层崩塌地进行探测研究结果得知，地层间之结构变动可由 ρ_a — a 曲线之变动特性看出，电阻值随着深度增加降低，导致泥岩与地下水成为低电阻之主因，经地层分析结果与邻近钻孔资料比对，其成果相符。由于水是促使利吉层崩塌之主因，利用电气探测得知地层低电阻的含水层及泥岩层面位置，藉此了解

地层结构,并可知其稳定度。故往后可将其方法应用于利吉层崩塌地分析。

3 结论与建议

3.1 结论

(1)依不同时期遥测影像照片分析得知,2004 年崩塌面积为 102 hm^2 ,2006 年为 139 hm^2 ,2009 年崩塌面积为 56.5 hm^2 ,进一步探讨发现 2009 年坡度 20% 以下崩塌裸露比例大幅减少,而坡度 30%~40% 区间之崩塌则呈现增加趋势,分析坡度 20% 以上植物不易生长,植生复育速度较缓慢。

(2)利吉层为上新更新世蛇绿岩系混同层,含有泥岩及砾质泥岩之夹层,而利吉层分布周围之地层走向为北偏东,以向东南倾斜为主,并于利吉层西侧紧邻池上断层、鹿野断层与利吉断层,显示利吉层区域地质变化多样,属较新地质年代,仍处于不稳定之状态。

(3)于池上山棕寮与鹿野宝华之崩塌地,电气探测之比电阻值—深度曲线可分成两类,表层为崩积层由灰色土壤夹杂砂岩岩块,崩积层下方则以泥岩为主偶夹杂岩块。整体电阻值皆小于 $100 \text{ m}\Omega$,崩积层电阻较高而山棕寮与宝华之泥岩电阻值则分别小于 35 及 $20 \text{ m}\Omega$ 。

(4)综合发现,台东海岸山脉利吉层地区之崩塌或地滑,与其地形及地下水有关,坡度 20% 以上植物生长不易,地下水丰富造成长期浸泡及孔隙水压之作用,皆会导致崩塌地滑发生,因此排除地下水及地表水为崩塌地防治之首要任务。

3.2 建议

(1)利吉层地区坡度 20% 以上,具潜势之坡面可预先进行相关调查探测,了解其地层构造及地下水情形,并适时针对地表与地下水排除,降低灾害发生。另外于植物难自然复育之坡面,进行植生导入等工

程,加速增加地表覆盖,减少冲蚀与土壤流失,以达坡面保护。

(2)利用电气探测法于利吉层崩塌地进行检测,研究结果得知地层间之结构变化可由 ρ_a — a 曲线之变动特性看出,电阻值随着深度增加降低,导致泥岩与地下水成为低电阻之主因。由于水是促使利吉层崩塌之主因,利用电气探测得知地层低电阻的含水层及泥岩层面位置,藉此了解地层结构。故往后可将其方法应用于利吉层崩塌地分析。

参考文献:

- [1] 工研院能资所. 崩塌地调查、规划与设计手册(地滑篇)[M]. 台湾南投:水土保持局委托编撰,1992.
- [2] 张石角. 环境地质基础理论与现场调查实务参考手册[M]. 台湾南投:水土保持局委托编撰,2010.
- [3] 王湘闵. 应用电气探测法探讨新佳阳地滑地之地层分布[D]. 台湾屏东:屏东科技大学,2008.
- [4] 林志勇. 电气检层法应用于崩塌地地层分析之研究[D]. 台湾屏东:屏东科技大学,2005.
- [5] 李锦育. 安通地层滑动区域之调查试验及其机制之研究[D]. 台湾台中:台湾大学,1984.
- [6] 陈信雄,陈明杰,潘明祥,等. 东部泥岩地区浅层地下水与地滑关系之研究[M]. 台湾南投:水土保持局委托计划报告,1990.
- [7] 许中立. 电气探测应用于新佳阳地滑地层调查[J]. 水土保持技术,2009,4(1):25-35.
- [8] 志村馨. 电气探查法[M]. 日本东京:昭晃堂出版,1974.
- [9] 松井保,中川要之助,村井行雄,et al. 新しい電気探查法のトンネル調査への適用性(その1)比抵抗トモグラフィー,比抵抗映像法[J]. 土質工學研究發表會講演集,1990,25(1/2):217-220.
- [10] 徐弘明,许中立,谢茗彰,等. 倾斜管变位应用于地滑监测与整治规划[J]. 坡地防灾学报,2009,8(3):39-55.

(上接第 249 页)

参考文献:

- [1] 许军,李笑一,孙彩敏,等. 我国矿区土地复垦的主要问题及其对策[J]. 中国煤炭,2010,36(12):101-103.
- [2] 程琳琳. 矿区土地复垦保证金制度实践现状及研究进展[J]. 中国矿业,2010,19(1):33-36.
- [3] 邹彦岐. 矿区土地复垦效益评价研究[D]. 北京:中国地质大学,2009.
- [4] 薛建春. 基于生态足迹模型的矿区复合生态系统分析及

动态预测[D]. 北京:中国地质大学,2010.

- [5] 杜福光. 矿区的土地复垦问题对策探究资源网[EB/OL]. [2010-06-30] http://big5.mlr.gov.cn/zljc/201006/t20100630_723162.htm.
- [6] 程水英,柴瑜,冯华伟,等. 生态脆弱矿区生态承载力定量评价研究[J]. 能源环境保护,2008,22(4):54-58.
- [7] 李绍稳,熊范纶,邵善美,等. 基于 Fuzzy 综合评判多极模型的农业资源评估系统[J]. 浙江大学学报,2002,28(1):102-105.