应用地理信息系统辅助山坡地潜在崩山灾害评估模式之建立

朱子豪[1]，齐士峥[2]，杨乃夷[1]，许秋玲[1]
（1.台湾大学地理环境资源学系，台北；2.高雄师范大学地理系，高雄）

摘要：山坡地开发具有潜在的自然危险因子，人工开挖也会触动这些因子，因此，要做好土地管理工作，需从分析潜在崩山灾害类型以及开发区位两方面考虑。地形分析在工程、灾害评估等方面广为应用，本研究以张石角（1987）提出的“简确工程地质灾害调查与评估法”为依据，以山坡地丙种建地作为评估对象，利用地理信息系统所提供的空间分析及数据库功能，完成台湾省中、北部地区大范围的山坡地潜在灾害评估工作，其成果也将为政府部门所采用。

关键词：地理信息系统；崩山；灾害评估
中图分类号：TP 274：P694　文献标识码：A　文章编号：1001－070X（2001）04－0013－07

0　引言

山坡地土地资源的使用与管理，是按照非都市土地使用分区计划中的非都市土地使用分区使用编定土地使用规范，并以“山坡地保育利用条例”、“山坡地开发建筑管理办法”及施行细则作为使用管理的法律依据。

山坡地建设本身具有较高的潜在崩山灾害倾向。目前山坡地地质灾害敏感区与山坡地土地利用潜力资料普遍缺乏且精度不足。因此，本研究先清查丙种建地地籍资料、山坡地开发情况，并在此范围评估山坡地潜在崩山灾害类型以及环境敏感度，找出开发区可能发生灾害的地点，以此作为政府机关管理山坡地开发的依据。

地理信息系统在评估潜在地质灾害方面整合各种自然环境资料，并依其特定的山坡地灾害类型，分析其潜在灾害发生的空间分布。应用地理信息系统的各种空间资料，如地形坡度、坡向、地质构造与土壤等，借助数据库管理分析功能，可客观评估潜在崩山灾害发生的等级。本研究的目标为：①评估环境灾害敏感度及灾害潜势；②评估山坡地建地与社区居住安全。

1　崩山灾害文献回顾

张石角（1992）利用区带表示法（凡具有空间分布意义的特征都应依该项特征等级划分其分布区域，每一区域该项特性为均一）的概念划分土地单元，作为评估土地利用潜力的基本单元。例如，张石角（1987）提出的“简确工程环境地质调查与评估法”（简称“简确法”），是利用因子组合的方法，分别以坡度、地面冲蚀度、岩体强度、坡面地质构造及土壤厚度 5 个参数为

万方数据

收稿日期：2001－05－30；修订日期：2001－09－03

主题，将各主题加以迭合，得到一同质区（Homogeneous Area）；高国平（1988）也曾经依简确法的原理，应用地理信息系统，利用重迭技术将不同环境资料（6 个因子）组合成整体地势单元，每一整体地势单元都是一个均质的区域，可产生独立的地质、土壤、地貌等主题图（Dangermond，1982，ESRI），并以此方式作为土地适宜性分析的依据。

理论上，相同类型的地质与地形条件，应有相同类型的崩山（Ritchie，1958），因此，不同的崩山类型有其特殊的辨识标志。崩山处理或控制措施的第一步是辨识崩山类型（Hansen，1984）。张石角（1992）将台湾的崩山分成山崩、地滑、潜移、土石流与冲蚀 5 种。其中，山崩又细分为落石、岩屑滑移、岩屑滑落、岩屑滑崩；地滑分为平面型地滑、弧型地滑、楔型地滑与翻转型地滑等（表 1），这样的评估方式仅依据地质地形条件而不考虑雨量因子。

表 1 山坡地潜在崩山灾害空间分布预测表

崩山类型		辨识准则								
		土壤厚度	地质构造与斜坡关系	岩质	动态地质作用	坡度/(%) 本坡	坡度/(%) 下坡	高差/m	不连续面倾角/(°)	备注
山崩	落石	A	–	Ⅰ	–	8	–	> 10	90	–
	岩石滑移	A、B	3	Ⅱs	–	2	> 地层倾角	–	> 40	–
	岩屑滑落	A、B	1、2、3	Ⅱ	2	7	–	–	–	–
	岩屑滑崩	C	–	–	–	8	–	> 5	–	–
地滑	平面型地滑	A、B	3	Ⅰs	–	4	> 地层倾角	–	–	–
				Ⅱs	–	2		–	< 40	–
	弧型地滑	C	–	–	–	3	> 4	–	–	–
		–	–	Ⅱb，k，n	–	> 4	–	–	–	浅滑动面
	楔型地滑	A、B	两坡	Ⅰg	–	–	> 不连续面倾角	–	–	–
	翻转型地滑	A、B	2、3	Ⅱ	–	–	8	> 5	90	–
潜移		C	–	–	–	2	–	–	–	–
土石流		C	–	–	3	2	–	–	–	一、二级河谷
冲蚀		C	–	–	3	6	–	–	–	–
		A、B	–	Ⅱ						

（资料来源：张石角，1992）

2 研究方法

本研究主要为调查、划设、评估山坡地范围，目前已完成台湾省北、中部区域山坡地潜在地质灾害的评估，其作业流程分 4 个部分：①针对丙种建地地籍，确定评估范围；②划设地形单元；③计算机辅助评估灾害潜势并将敏感区分级；④评估其开发类型及建地安全。

收集调查环境地质资料先进行室内判释，再进行野外调查。室内判释使用的资料包括地形图、航空照片和高空间分辨率卫星影像图。收集调查环境地质资料考虑的因素有地层、岩层滑动、岩性、土石流、地质构造、河岸侵蚀、活动断层、向源侵蚀、落石、矿坑范围、顺向坡、填土区、坡度分级等。

万方数据

以简确法评估模式为基础对环境灾害潜势进行分析，其评估方式较适用于小范围的个案性细致评估。本研究需进行大规模山坡地评估工作，故在土地评估单元的划设与灾害潜势等级的划分方式上进行了调整（图 1）。

3　研究流程

3.1　调查、划设、评估成果

根据张石角的评估原则，首先将调查区内地形均质区划分成若干地形单元，再将各地形单元的坡度、坡面冲蚀度、岩质、地质构造、土壤厚度 5 项因子的参数值填记于该单元内，并计算其环境风险率。地形均质区为土地特性的基本单元，本研究修正张石角的简确法，用 1∶2.5 万的地形图作为底图，并依坡向、坡度及等高线弯曲度等 3 项因素确定地形均质区。因此，每一地形单元的坡向、坡度及等高线弯曲度变化程度皆在一定范围之内。

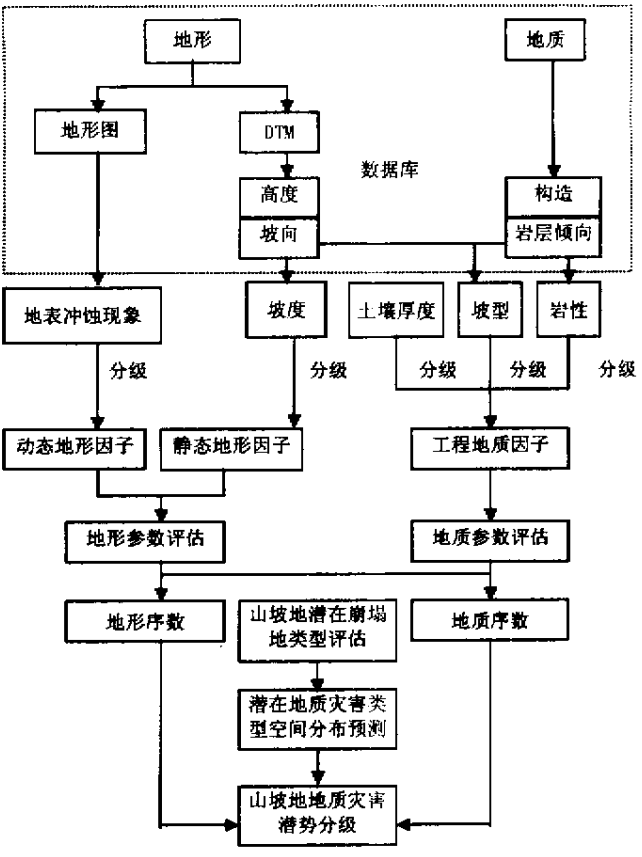


图 1　山坡地崩山灾害潜势评估模式

(1)土地单元划分　将 1∶2.5 万地形图置于山坡地评估范围图层之下，并迭合由 DTM 产生的水系图和棱线图，作为边缘的地形单元应涵盖评估范围的周界。依坡向、坡度以及坡面弯曲度逐步划出地形单元的界线。首先区划坡度小于5%的平坦山坡单元，再划次级河川集水区的山凹、山谷及山坡单元，直至无法再区分山谷单元为止，即为坡向单元。在坡向单元上依蚀沟(等高线弯曲程度)的发达程度，再划分坡面复杂度单元(次于坡向地形单元)。利用坡度将上述单元划分成坡度单元，此为最小地形单元。

(2) 评估坡度序数　本研究利用全台湾省 40 m × 40 m DTM 以 ESRI ArcView 中的地形分析功能，自动计算坡度，并给出坡度等级(表 2)。

表 2　坡度序数分级表

区分	坡度序数	百分比坡度/(%)
平坦地	0	< 5
极缓坡	1	5 ~ 15
缓坡	2	15 ~ 30
中坡	4	30 ~ 55

(资料来源 修正张石角，1992)

(3) 评估地表冲蚀度　将 1∶2.5 万比例尺的地形图置于山坡地评估范围图层之下，依据等高线弯曲程度判释地表冲蚀度(表 3)。

万方数据

表 3 地表冲蚀度分级表

等级	等高线弯曲程度	地表现象
1	坡面上无明显沟痕,径流没有汇集现象	不显着
2	坡面呈波浪状,宽与深的比值(宽深比)大于 2。在地形图上,同一等高线转折两段延长线交角大于 90°(钝角)	小冲蚀沟
3	已有溪谷雏型,地形曲折程度使得等高线延长线交角成锐角,但仍然大于 60°	中冲蚀沟
4	已成溪谷,惟两岸甚陡其规模尚不能视为山坡面。地形曲折之程度已使等高线交角小于 60°	大冲蚀沟

(资料来源 修正张石角,1992)

(4) 评估岩体性质 根据 1∶5 万比例尺地质图,依其岩层性质、分类原则,将其分为 I 类(硬岩)和 II 类(软岩)。台湾中、北部大部分地区都是沉积岩,且大部分是软岩。但大屯火山区的火成岩有熔岩等硬岩,也有集块岩等软岩。台湾西部麓山地带局部出现的凝灰岩亦属于火成岩类,岩性软弱。硬岩分布区由地形可看出来,极陡坡 (100%) 的地区是硬岩分布区,顺向坡地形显示的是中新世地层分布区(硬岩区)。

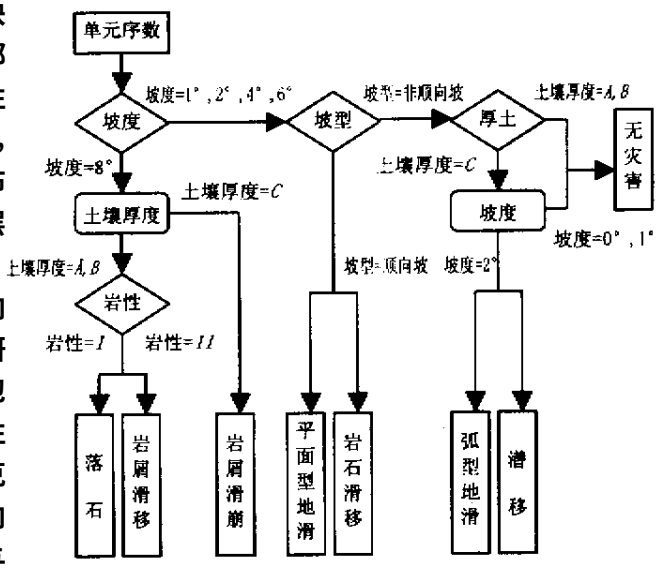


图 2 潜在崩山灾害类型判别程序

(5) 评估坡面类型 根据坡向与岩层倾向的交角确定坡型。本研究利用 1∶5 万比例尺地质图层,它包含有地层倾向、倾角以及走向等属性资料,利用 ESRI ArcView 所提供的克利金空间内插推估方式,完成由倾向点的资料扩展成面的空间关联,再与易崩岩层相迭;当坡向与倾向面的交角 小于 22.5° (八分法),且倾角界于 10°45°之间时,则定为顺向坡。依此作为两夹角判定的原则,计算机可自动选出顺向坡和非顺向坡。

(6) 土壤厚度分级 由于土壤厚度资料无法实测取得,故依坡度及坡型推估 (表 4)。

表 4 土壤厚度分级表

坡度	土壤厚度分级	遇顺向坡时
8	A	–
4、6	B	A
1、2	C	B

(资料来源 张石角,1992)

依上述 6 个评估步骤及图 1 判定潜在崩山灾害类型如图 2 所示。

3.2 评估开发类型及建地安全

由于评估山坡地丙种建地开发型态是针对 15 户以上的大型开发,假定社区内道路宽 510 m,故首先将地籍图图档进行环域分析 (buffer = 5 m),相连成为一个 polygon 者,再将其地号挑出,视为同一个开发社区,对照地形图,并根据其地形区位将已开发建地分为以下数种主要开发类型:

万方数据

斜坡开发、单山脊整坡、多山脊整坡、复合开发型等。各种开发类型均有其相对应的潜在崩山灾害，例如落石、沉陷、顺向坡等。

3.2.1　开发方式与可能的潜在灾害

(1)单山脊整坡（产生厚土问题）　判识准则是开发区位于小山脊顶部。因为没有造成上边坡，也没有开发坡坡脚，所以造成的问题是厚层以及未处理的厚土所构成的下边坡问题。

(2)多山脊整坡（产生厚土问题）　判识准则就是开发区跨越数个小山脊和小山沟。这样的开发也没有上边坡，不会开挖边坡的坡脚，所以造成的问题和单山脊整坡相似，不同之处在于这样的开发构成的厚层填土易于以工程方法处理，危险性较低。若填土影响河川流路，可能会产生河岸侵蚀、崩塌问题。

(3)斜坡开发　这种类型的开发区位于大规模斜坡侧。主要问题来自于自然的上边坡（可能是极陡坡、顺向坡、厚土坡问题，也会是蚀沟问题。视原地形、地质状况而定），或来自开挖坡脚（开挖规模通常不会构成大规模极陡坡，而极陡坡通常会引起顺向坡的平面型地滑、厚土边坡的弧型地滑），或来自填土的下边坡（主要是厚层填土造成的弧型地滑）。

(4)复合开发型　该类型开发区多位于山脊侧，可能仅包含一个小山脊，也可能包含数个小山脊和小山沟。这样的开发除了造成第 1 类型和第 2 类型的问题外，还会产生上边坡，所以有开挖边坡（坡脚）形成的人工边坡造成的问题，或开发区紧邻自然的上边坡，就存在自然边坡问题。也可能是陡坡问题、顺向坡问题、厚土坡问题及蚀沟问题，视原地形、地质状况而定。

3.2.2　崩山灾害类型

(1)陡坡灾害　地形单元的工程地质参数坡度是 7、8 级时，有陡坡灾害。若是硬岩，就是落石；若是软岩，就是岩屑滑落；若有厚土，就是岩屑滑崩。

(2)顺向坡灾害　地形单元的工程地质参数中坡型是顺向坡时，就有地滑型灾害的可能性。若是硬岩，坡度（地层倾斜角）大于 20°，就是平面型地滑；若是软岩则不一定，是厚层的砂岩、页岩互层，且坡度大于 10°时，也会发生平面型地滑，如卓兰层和头辽讲阆闵较　的地层（台湾北部、中部的丘陵地带）；若是薄层砂岩、页岩互层，就会发生岩石滑移。

(3)厚土区灾害　当地形单元的工程地质参数中有厚土（C 级）时，就可能发生岩屑滑崩（极陡坡地区）、弧型地滑（上坡缓、下坡陡的地形）、潜移（坡度大于 15°，没有陡的下边坡）和溪沟。

(4)蚀沟、溪沟灾害　当单元的土壤厚度是 C 级，且有大或中蚀沟时（　3），就可能有蚀沟、溪沟灾害。在缓坡（坡度大于 15°），可能有土石流，在陡坡（坡度大于 30°55°）可能有严重地表冲蚀。

(5)楔型地滑、翻转型地滑在该区发生的机会不高，或者规模不大，因此本研究不考虑此崩塌类型。

4　研究成果

根据本研究所拟定的地质灾害敏感性与建地安全评估模式，在台湾北、中部山坡地建地开发区进行灾害敏感性与建地安全评估，并将评估成果建立 GIS 数据库，完成台湾北、中部各乡

万方数据

镇的环境敏感分区、潜在崩山灾害类型与开发类型评估，表 5 则是针对开发类型评估代码说明以及潜在灾害类型对照，据此可了解不同的开发方式可能造成的潜在灾害型态（插页彩片 1）。

表 5 开发方式代码说明表

开发方式代码	开发型态	潜在灾害型态
1	单山脊整坡	下边坡未处理的厚土
2	多山脊整坡	下边坡未处理的厚土、河岸侵蚀崩塌
3	斜坡开发	上边坡的落石、厚土边坡的弧型地滑、顺向坡的平面型地滑、石沟问题，下边坡的厚土弧型地滑

（本研究整理）

5 结论与建议

山坡地潜在崩山灾害是自然形成的，无法人为改变，而欲改善土地使用与管理效率的必要条件是正确的信息，该信息应在土地使用管制计划中明白标示，并由土地管理者针对不同的危险度与利用潜力制定不同的使用条件，以有效降低土地资源的损耗与灾害频率，并限制高危险区的开发利用，间接达到防灾避灾的目的。

由于简确法评估属于经验法则，因此，本研究将专家的知识整理成可以运用 GIS 辅助潜在地质灾害评估模式，并利用目前已有的 GIS 资料（1∶2.5 万比例尺地形图扫描数据、40 m × 40 m DTM 以及 1∶5 万比例尺数值化地质图），进行山坡地潜在崩山灾害评估的室内作业。评估过程中仍有一些因子无法完全依靠计算机自动判释，归纳起来主要有以下 4 点：

（1）根据 DTM 自动分坡度、坡向所建立的地形单元与人工划分的地形单元相比，因为 DTM 资料的精确度问题而造成一些误差。

（2）如果采用李丽玲（1995）坡向（八分法）与地质构造倾向两者关系来求取坡型，计算机处理时会因受分级的限制而产生误差，需配合人工判断来减少误差。这样分级上的限制可利用角度‘差距’的连续性资料概念以取代分级的限制。

（3）动态因子中判释其地表受侵蚀的现象，需要用简确法进行人工操作，由等高线的弯曲、形状并辅以野外调查而得（加上植被覆盖因子），在计算机处理过程中尚无法处理该项评估因子。如果能引入讯号处理分析技术，那么对数值化的等高线信息就可针对每一弯曲等级各取得一频率区间，重新抽离并进行地形计测工作，找出在空间频率域中对应的地表侵蚀程度所呈现出来的粗糙度以及起伏度分级，来解决目前等高线的弯曲程度（地表复杂度）需依靠人工判释的限制。

（4）土壤厚度在 90 m 以上就没有更进一步的资料，因此本研究依照坡度以及坡型推估出土壤厚度因子。此外，在评估顺向坡问题时，因为 1∶5 万地质图上所记载的为点属性的岩层倾向、倾角与走向，地质区间也因为有地质构造线的经过而需将地质因子纳入空间内插。

本研究仅提供一个地理信息系统辅助山坡地潜在崩山灾害评估模式的建立，计算机辅助判释的结果须与专家野外调查结果相比较，才能得知此种评估方式的精准度，给土地开发规划者提供一个快速而便利的潜在崩山灾害评估模式。本研究成果也可提供给有关部门作为山坡地土地利用开发前的评估参考。

参考文献

万方数据

[1] 张石角. 山坡地潜在危险之预测及其在环境影响评估之应用[J]. 中华水土保持学报，1987，18(2)：41 – 62.

[2] 张石角.台湾各地质分区边坡崩塌类型及其预测方法(一)[Z].行政院农委会委托台大地理学系专题研究,1992.
[3] 高国平.地理信息系统在土地利用规划上之应用 – 以基隆河集水区为例[D].台北:台湾大学,1988.
[4] 李丽玲.土地资源数据库之建立与应用 – 以评估山坡地潜在灾害为例[D].台北:台湾大学,1995.
[5] 陈紫娥.台湾山坡地工程与地质调查与评估法之比较研究[J].工程环境会刊,1993,13:26 – 46.
[6] Dangermand J. Geographic Database System[J]. Geo Processing, 1986, (3): 17 – 29.
[7] Hansen A. Landslides hazard analysis[A]. in: Brunsden. D. and Prior. D B (ed.) Slope Instability[M]. 1984, 523 – 602.
[8] Shirazi M A. Land classification used to select abandoned hazardous waste study sites[J]. Environment Management, 1984, 8(4): 281 – 286.

THE APPLICATION OF GIS TO LAND MANAGEMENT ——THE CONSTRUCTION OF A MODEL FOR POTENTIAL LANDSLIDE HAZARD EVALUATION

Tzu – how CHU[1], Shyh – jeng CHYI[2], Nai – yi YANG[1], Chiu – ling HSU[1]
(1. *Department of Geography, National Taiwan University, Taipei*; 2. *Department of Geography, National Kaohsiung Normal University, Kaohsiung*)

Abstract: In this paper, a model is constructed for evaluating the potential geological hazards in areas designated as the class C building classification on the slope land. The development of unstable slope land often concurs with dangerous geological hazards. Various mass movement hazards, such as landslide, slump, creep, and mudflow, may be triggered by indiscriminate development activities on slope land with high hazard potential. Government land management administration often lacks both adequate tools and data to assess the potential hazards which are likely to concur with the development of certain areas. It is critical for the land manager to integrate data from various sources within the government agencies, and to use the geographic information system as an able assistant to obtain speedy and proper evaluation results.

Key words: Geographic information system; Landslide; Hazard evaluation

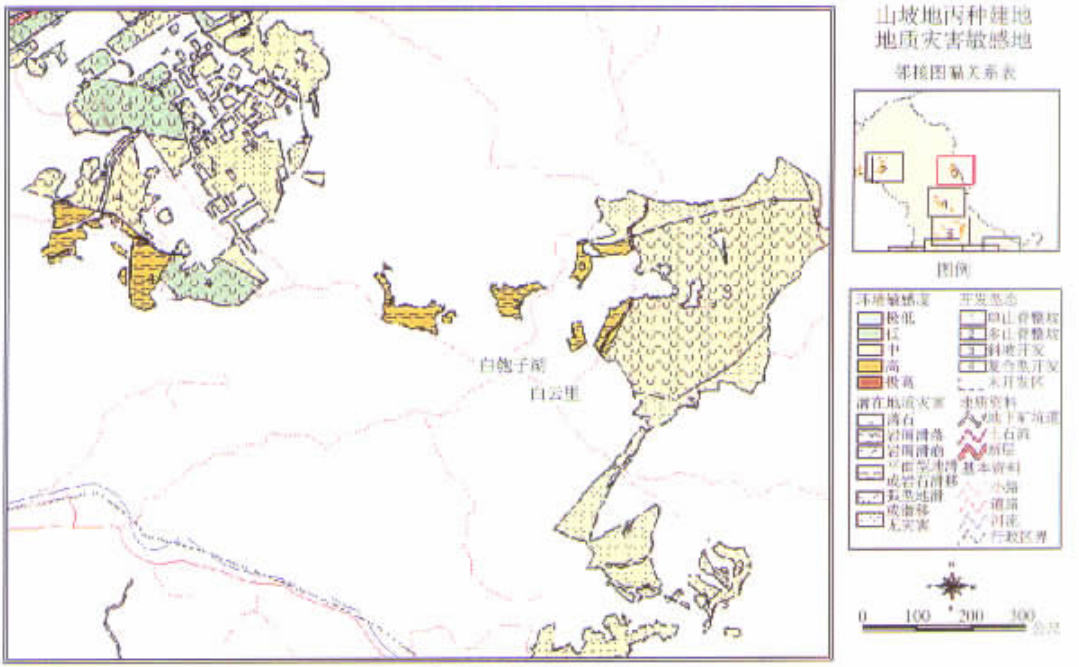
第一作者简介：朱子豪(1956 –),男,台湾大学地理环境资源学系教授、前任台湾大学地理环境资源学系系主任、前任中华地理信息学会理事长,主要从事遥感、专家系统、地理信息系统、国土规划等方面的研究以及教学。

(责任编辑：周树英)

下　期　要　目

熊盛青　国土资源遥感技术应用现状与发展趋势
胡如忠　航天清华 1 号微小卫星简介
邝生爱　农牧交错带土地沙化遥感监测

万方数据



彩片 1　汐止地区山坡地建地地质灾害敏感地区

彩片 2　1998 年 11 月 TM7 TM4 TM3 波段组合与 1998 年 11 月 SPOT 全色波段数据融合图像

彩片 3　1998 年 11 月 TM7 TM4 TM3 波段组合与 2000 年 10 月 SPOT 全色波段数据融合图像

彩片 4　1998 年 11 月 TM7 TM4 TM3 波段组合与 IRS 全色波段数据融合图像

彩片 5　1998 年 11 月 TM7 TM4 TM3 波段组合与 2000 年 7 月 KOMPSAT-1 全色波段数据融合图像

万方数据