

基于 GIS 的建设项目地质灾害危险性评估方法研究 ——以云南省师宗县人民医院建设项目为例

李 军¹, 虎雄岗², 金艳珠², 谈树成^{2*}

(1. 中国有色金属工业 昆明勘察设计研究院, 云南 昆明 650051; 2. 云南大学 地质研究所, 云南 昆明 650091)

摘要: 地质灾害危险性评估是工程建设中对建设用地进行灾害活动程度及破坏损失情况进行评定估算的重要工作, 是保障人民生命和财产安全的重要手段。探讨基于 GIS 技术对云南省师宗县人民医院建设项目评估区基础数据进行预处理、确定地质灾害影响因子及对其赋予相应的权重、建立空间叠加模型并对评估区地质灾害危险性进行分区处理, 实现了基于 GIS 技术的云南省师宗县人民医院建设项目用地地质灾害危险性评估。研究成果为云南省师宗县人民医院建设项目地质灾害危险性评估提供了强劲的技术支撑, 对其它建设项目地质灾害危险性评估具有推广应用意义。

关键词: 地质灾害; 危险性评估; 建设项目; 地理信息系统 (GIS); 师宗县

中图分类号: X820.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7852(2011)02-0066-07

0 前言

人类社会的快速发展及人口的急剧增加, 对自然资源的大规模开发和利用, 已远远超出了环境的承载力, 随之而来的是生态环境的日益恶化, 地质灾害的屡次发生^[1]。为了应付日益严重的地质灾害问题, 传统的研究方法和技术手段已满足不了要求, 需要采用更先进的技术及方法。近年来, 随着 GIS 技术的日益成熟及完善, 使之成为地质灾害研究强有力的手段。为了提高云南省师宗县人民医院建设项目用地地质灾害危险性评估结果的科学性、合理性, 尝试引入新进的地理信息系统 (GIS) 技术, 期望为云南省师宗县人民医院建设项目用地地质灾害危险性评估提供科学依据和强劲的技术支撑。因此, 研究基于 GIS 的云南省师宗县人民医院建设项目地质灾害危险性评估方法具有极其重要的意义。

地质灾害的发育与分布, 与地形地貌、植被覆盖、水文地质条件、人类工程活动等影响因素密切相关。GIS 作为处理地球表层空间信息强有力的工

具, 其强大的空间信息管理与分析功能为研究区域地质环境和地质灾害提供了一个有效的途径^[2]。借助 GIS 建立的专业分析模型, 可以分析贯穿灾害起源、发展和影响范围等地质灾害全过程的大量数据。而完成采集、存储和组织不同类型数据的任务, 这正是 GIS 的优势所在^[3]。

1 研究区域地质环境条件

地质灾害是在自然或者人为因素的作用下形成的, 影响地质灾害危险性的因素多种多样。自然因素主要包括地形地貌、气象水文条件、地质构造和地层岩性、植被类型及其覆盖等, 人为影响因素则主要为人类工程活动。其信息来源于岩石圈、水圈、大气圈和生物圈, 具有多源性、复杂性、模糊性等特点^[4]。根据建设项目具体情况及其所处的地理环境, 从以下几个方面对评估区地质环境条件作详细介绍。

1.1 地形地貌

评估区区域上的地貌类型为岩溶侵蚀切割区盆

收稿日期: 2011-03-13; 修订日期: 2011-04-06.

基金项目: 云南大学中青年骨干教师培养计划 (21132014) 资助.

作者简介: 李军 (1973-), 男, 湖南省祁阳县人, 工程师, 主要从事灾害地质及工程地质研究.

* 通讯作者.

地地貌，评估区地形地貌总体为北东高南西低的缓坡地形，坡度约 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，坡向南西。最大高程 1 892.5 m，最低高程 1 853.5 m，最大相对高差 39 m，场地整平标高 1 864 m。评估区南临 324 国道，西、北、东面外侧现状用地均为林地。评估区地形简单，地貌单一。

1.2 气象水文条件

评估区属暖湿性季风气候区，年均气温 14.1°C ，最热月（7 月）平均气温 19.1°C ，最冷月（1 月）平均气温 5.3°C ；极端最高气温 32.6°C ，出现在 6 月，极端最低气温 -7°C ，出现在 2 月。年均降雨量 1 200 mm 以上，年均相对湿度 75%；主导风向为西南风和东南风，平均风速 2.6 m/s 。

评估区地表水系不发育，未见任何水沟、池塘等。大气降水后，一部份渗入地下，转为地下径流，另一部份沿坡地向南部的地形低凹处流去，以地表坡流形式进行排泄。

1.3 地质构造和地层岩性

评估区区域上位于云南山字形构造的东翼与南岭东西向复杂构造带西延部位的复合部位。区内构造体系有东西向构造、南北向构造和北东向构造。北东向构造为区内主导构造，构造形迹以断裂发育为特征。评估区无褶皱和断裂发育，地质构造不发育。

评估区范围内主要发育第四系冲积层（ Q^{al} ），表层为耕作土。据区域地质资料，下伏基岩为三叠系中统个旧组第四段（ T_2g^d ）灰色厚层至块状白云岩，上部相变为浅色灰岩，厚 80 m~137 m，产状： $78^{\circ}/32^{\circ}$ 。建设项目用地范围内为第四系红粘土覆盖，最厚达 10 m，可见基岩出露。

1.4 人类工程活动

评估区现状用地为耕地，南临老 324 国道，道路路基修建以填方为主，填方高度 0.5 m~2 m。西、北、东面外侧现状用地均为林地，覆盖率较大。评估区北东部和南东部各有一已停采采石场。此外建设项目用地北部边界亦有人工耕地开挖的不稳定斜坡。

1.5 岩土体工程地质条件

根据区域地质资料和评估区岩性组合、结构特征、坚硬程度及工程力学性质等要素，将整个评估区分布的岩土体划分为粘土单层土体①、较硬薄至厚层状强岩溶化灰岩、白云岩岩组②。粘土单层土体①覆盖整个评估区的地表，厚度 5 m~10 m，结构松散，层位不稳定，总体力学强度较低且力学强度变化较大。较硬薄至厚层状强岩溶化灰岩、白云岩岩组②，该岩组主要岩性为白云岩、灰岩，结构面为节理裂隙面，属较坚硬岩石，节理较发育，风化程度较弱。评估区内岩土工程地质剖面如图 1 所示。

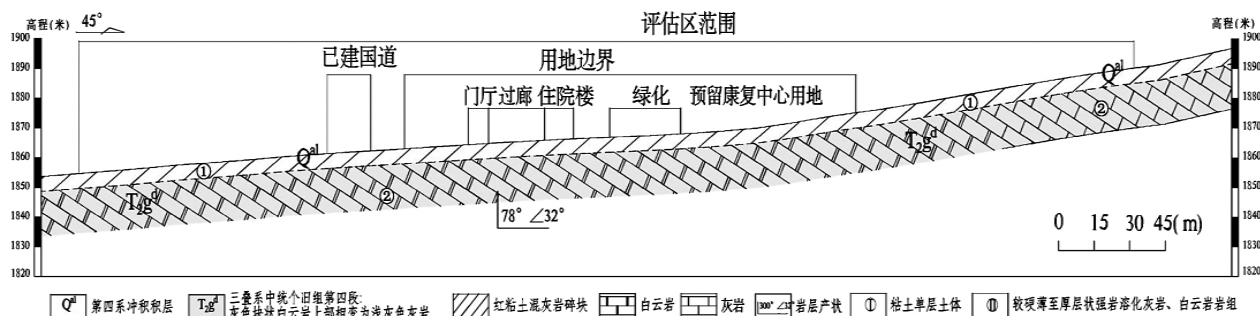


图 1 评估区岩土工程地质剖面图

Fig. 1 Geotechnical engineering geological cutaway in study area

2 地质灾害影响因子量化及其权重确定

2.1 地质灾害影响因子

2.1.1 地貌因子量化

地表越复杂、高差越大，地质灾害发生的可能性就越大。地质灾害主要分布在中低山、低山的地形中，因此地形地貌因子量化过程中采用不同海拔高度范围的分布面积作为量化指标，划分 50 m 以

下（平原）、50 m~500 m（丘陵）、500 m~1 000 m（低山）、1 000 m 以上（中山）4 个等级，再对其主要灾害分布进行分析^[5]。

2.1.2 坡度因子量化

坡度作为产生滑坡、泥石流、不稳定斜坡等地质灾害的首要因素，是对地质灾害进行评估的重要考虑因子，地形高差越大，崩塌、滑坡越发育。从局部看，岩溶侵蚀切割区，地形切割剧烈，斜坡坡度和高度较大时，便于形成岩体崩落、滑动的临空

面，这些对崩塌、滑坡形成具有最直接的作用^[6,7]。

通过统计地质灾害与地形坡度的关系可知，地质灾害多发生在坡度大于 25°的高陡地形，坡度越大、高差越大，斜坡发生地质灾害的可能性就越大。因此将评估区坡度分为 4 个级别（图 2）。

2.1.3 坡向的分级确定与量化

在一定的高程和坡度的基础上，评估区下伏基岩的产状是评价地质灾害稳定性的重要因素。岩石

产状与崩塌、不稳定斜坡的顺逆向构造反映了崩塌、不稳定斜坡等地质灾害在一定程度上的稳定性。

由评估区下伏基岩产状为 78°∠32°，即 348°~168°范围内的坡向为顺向坡，而在 168°~348°范围内的坡向为逆向坡。因此将评估区坡向因子分为 9 级（表 1）。评估区坡向图如图 3 所示，坡向值为“—1”表示地形平坦，没有坡向。

表 1 评估区坡向等级分类表
Tab 1 Classification of slope of the study area

项目	级别									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
坡向 (°)	—1	0~10	5 10 5~55	5 55 5~100	5 100 5~145	5 145 5~190	5 190 5~235	5 235 5~280	5 280 5~325	5 325 5~360

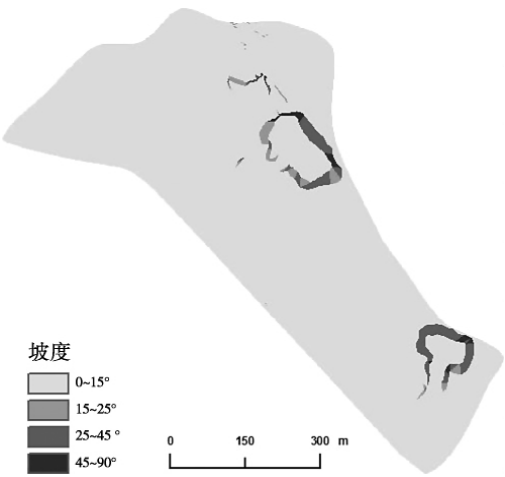


图 2 评估区坡度

Fig. 2 Slope of the study area

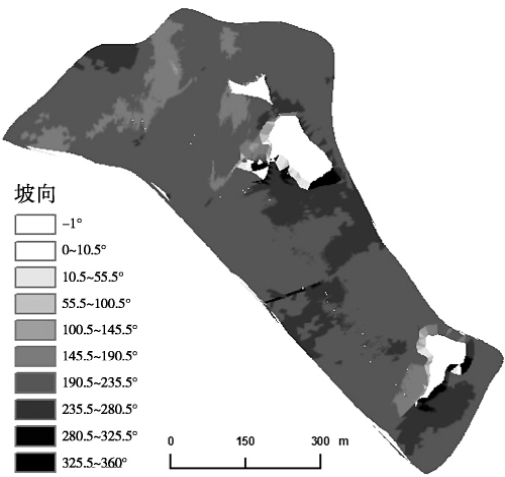


图 3 评估区坡向

Fig. 3 Aspect of the study area

2.1.4 地层岩性因子

地层岩性、岩体结构及其组合是形成地质灾害重要的内在条件之一，是制约地质灾害发育和分布的重要因素。岩体一般分为整体结构、块状结构、厚层状结构、中薄层状结构、镶嵌结构、层状碎裂结构、碎裂结构、散体结构、松软结构

等^[8]。此外，岩土体类型的组合也对地质灾害产生影响。

据现场观察，结合区域地质资料，将整个评估区分布的岩土从上至下分为 3 个工程地质层，各土层的工程特征和空间分布特征见表 2 所示。拟定评估区岩土体工程地质性质较差。

表 2 评估区地层岩性特征表
Tab 2 Stratigraphic lithology features list of the study area

名称	代号	岩土层编号	岩性	工程地质特征描述	空间分布
第四系耕作土	Q	①	耕土	褐红色，松散、稍湿，含植物根系。结构松散	整个评估区地表
第四系冲坡积层	Q ^{al}	②	红粘土	褐红色、棕红色，可塑（局部硬可塑）状态、属中压缩性土，湿。无摇振反应、韧性中等、稍有光滑，干强度中等	全场地均有分布
三叠系中统个旧组第四段	T ₂ g ^d	③	灰色—深灰色块状白云岩，上部相变为浅色块状灰岩，厚 80~137 m	灰色、浅灰色，节理裂隙发育，岩体较破碎。发育溶隙、溶蚀孔及方解石脉	分布于整个场地下部

2.1.5 地质构造因子

地质构造是地形地貌形成的重要力量，也是地质灾害的重要影响因素之一，其主要表现为断裂构造的性质、程度和分布规则。断裂构造主要通过产生较厚的破碎带、风化层和形成较陡的斜坡产生地质灾害。此外，频繁的地震活动所产生的多期断裂构造面以及多组节理面将岩体肢解成大小不同、形态各异的独立块体，破坏了岩体的完整性，使得岩体内摩擦力减小，当具备临空面等情况下，岩土体容易失稳，发生滑坡、崩塌等地质灾害。

2.1.6 地表水和地下水因子

地表水和地下水是对边坡造成不利影响的主要水荷载。水体通过对岩土体结构面的软化，降低岩土体中软弱结构面的抗剪强度，加大动静水压力。因此，在边坡治理中，必须充分考虑强降雨对边坡稳定的影响^[9]。

2.1.7 人类工程活动因子

评估区人类工程活动主要表现为耕地的种植、采石场的开挖和公路的建设。采石场的边坡开挖是形成评估区内不稳定斜坡的主要因素。农业生产活动对地质环境影响较弱，对地下水也会产生一定的污染；而公路建设的填挖方在一定程度上也会形成边坡，并可能会遭受填土滑坡、水土流失的危害；填土夯实不密，道路工程可能会遭受地面沉降的危害。

2.2 评价因子权重的确定

地质灾害的发生是多种影响因子共同作用的结果，而因子本身具有不确定性、模糊性、复杂多

样、空间差异显著，这就给地质灾害的研究带来一定困难^[10,11]。确定地质灾害危险性属于空间型的评判问题^[12]，故在评估时对不同的评价因子要分别赋予不同的权重。为了使研究结果最大限度的符合客观实际情况，本文选用层次分析法（The Analytic Hierarchy Process，简记 AHP）进行各种影响因子权重的确定。

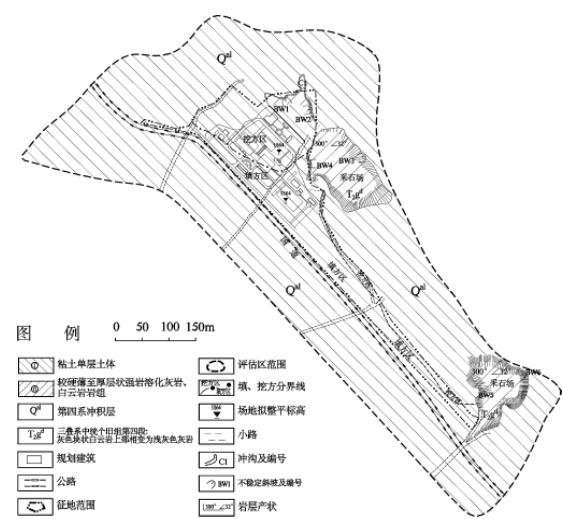


图 4 评估区灾害分布图

Fig 4 Disaster distribution of the study area

2.3 构建判断矩阵及一致性检验

在野外调查和室内资料查阅的基础上，根据影响因子之间相互作用，采用常用的标度准则，如表 3 所示，通过影响因子之间的两两比较，建立判断矩阵，从而确定影响因子的相对重要性。

表 3 随机一致性指标 RI 值
Tab 3 Random consistency index RI values

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

构建判断矩阵的步骤和检验计算如下：

D—C 判断矩阵

地质灾害 D	地形地貌条件 C ₁	气象水文条件 C ₂	地质构造和地层岩性 C ₃	人类工程活动 C ₄	权重
地形地貌条件 C ₁	1	1	2	1/3	0.19
气象水文条件 C ₂	1	1	2	1/2	0.21
地质构造和地层岩 C ₃	1/2	1/2	1	1/5	0.10
人类工程活动 C ₄	3	2	5	1	0.50

其中：最大特征值 $\lambda_{\max}=4.22$ ，一致性指标 $CI=(4.22-4)/(4-1)=0.0730$ ，由表 3 可得到平均

随机一致性指标 $CR=0.0811<0.10$ 。因此判断矩阵 V—U 有满意的一致性。

C_1 —F 判断矩阵

地形地貌条件 U_1	地貌类型 C_1	坡度坡向 C_2	权重
地貌类型 C_1	1	1/3	0.25
坡度坡向 C_2	3	1	0.75

 C_2 —F 判断矩阵

气象水文条件 U_2	地下水脆弱性 C_3	地表水系 C_4	权重
地下水脆弱性 C_3	1	2	0.67
地表水系 C_4	1/2	1	0.33

 C_3 —F 判断矩阵

地质构造和 地层岩性 U_3	岩土体类型 C_5	地质构造稳定 C_6	权重
岩土体类型 C_5	1	3	0.75
地质构造稳定性 C_6	1/3	1	0.25

 C_4 —F 判断矩阵

人类工程 活动 U_4	项目用地和 公路 C_7	耕地和 采石场 C_8	权重
项目用地和公路 C_7	1	1/2	0.33
耕地和采石场 C_8	2	1	0.67

根据上面的判断矩阵及其因子权重的结果,在 V 的目标下,对 $F_1 \sim F_8$ 评价因子进行层次总排序,结果见表 4。

表 4 层次总排序权重
Tab 4 Weight of hierarchy total sort

D—C	C_1	C_2	C_3	C_4	权重
C—F	0.19	0.21	0.1	0.5	
F_1	0.25				0.047 5
F_2	0.75				0.142 5
F_3		0.67			0.140 7
F_4		0.33			0.069 3
F_5			0.75		0.075
F_6			0.25		0.025
F_7				0.33	0.165
F_8				0.67	0.335

从层次总排序权重的结果来看,在所有的 8 个地质灾害评价影响因子中,耕地和采石场权重最大,其次为项目用地和公路、坡度坡向和地下水脆弱性等要素。

3 地质灾害危险性评估空间叠加分析

在统一的空间参照系统条件下,把分散在不同层上同一地区、同一比例尺的多组空间信息叠加到一起,产生一个新的数据层的分析方法,叠加后的数据即具有原始数据的属性和特征,又能生成新的属性和特征,形成了新的目标,是对空间数据信息的重新划分。

利用研究区域的地形地貌、气象水文、地质构造和地层岩性、人类工程活动等数据进行叠加后可以确定地质灾害的位置、范围和危害性程度。利用 Arc GIS 空间分析模型可以实现评估区地质灾害危险性权重叠加分析,如图 5 所示。

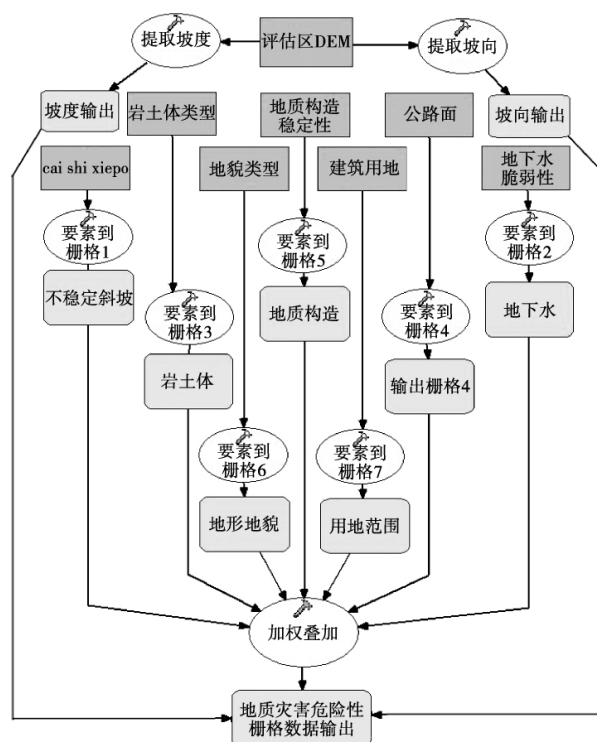


图 5 地质灾害危险性空间模型

Fig. 5 Geological hazard spatial analysis model

4 地质灾害综合评估

地质灾害危险性综合评估是基于现状评估和预测评估、结合区域自然环境地质条件进行的分区综合评估,并对建设场地的适宜性做出评价^[13]。根据地质灾害危险性权重叠加分析结果,经过栅格数据重分类后得到地质灾害危险性综合分区评估图,如图 6 所示。将评估区分为 3 个区,即 1 个危险性大

区、1 个危险性中区和 1 个危险性小区。

危险性大区面积为 $32\,016\text{ m}^2$ ，占评估区面积的 9.89% ，位于场地北东部，地形地貌为北东高南西低坡度约 10° 的缓坡地形，地形平坦开阔，最大高程 $1\,881.5\text{ m}$ ，最低高程 $1\,861.5\text{ m}$ ，最大相对高差约 20 m 。出露地层为第四系冲积层 (Q^{al})，下伏基岩为三叠系中统个旧组第四段 (T_2g^d)，可划分为粘土单层土体①、较硬薄至厚层状强岩溶化灰岩、白云岩岩组②，岩土体工程性质较差，属较强烈岩溶区，不良地质现象主要为冲沟、红粘土和岩溶。工程地质、水文地质条件中等，地下水类型有孔隙水和岩溶水二类，地下水富水性较强；区内地质构造不发育，地质构造简单；区域地质构造复杂，新构造活动强烈；地震基本烈度为Ⅶ度，属于区域地壳较稳定区；区内有采石场分布，现状处于停采状态，人类工程活动对地质环境的影响中等。据此，地质环境条件复杂程度为复杂。

区内发育潜在不稳定斜坡 6 个 (BW1—BW6)，地质灾害现状发育，现状危害对象主要为场地，危害性大，危险性大。

危险性中区面积为 $211\,133\text{ m}^2$ ，占评估区面积的 60.59% ，主要分布于老 324 国道北东部，包含了所有的建筑区域。地形地貌为北东高南西低坡度约 $5^\circ\sim 10^\circ$ 的缓坡地形，地形平坦开阔，最大高程 $1\,892.5\text{ m}$ ，最低高程 $1\,858.75\text{ m}$ ，最大相对高差约 33.75 m 。出露地层为第四系冲积层 (Q^{al})，下伏基岩为三叠系中统个旧组第四段 (T_2g^d)，可划分为粘土单层土体①、较硬薄至厚层状强岩溶化灰岩、白云岩岩组②，岩土体工程性质较差，属较强烈岩溶区，不良地质现象主要为红粘土、耕作土和岩溶。工程地质、水文地质条件中等，地下水类型有孔隙水和岩溶水二类，地下水富水性较强；区内地质构造不发育，地质构造简单；区域地质构造复杂，新构造活动强烈；地震基本烈度为Ⅶ度，属于区域地壳较稳定区；人类工程活动对地质环境的影响中等。据此，地质环境条件复杂程度为复杂。本区工程建设和运营引发、加剧或遭受上述地质灾害或不良工程地质问题的可能性小至中等，危害性和危险性小至中等，以中等为主。

危险性小区面积为 $105\,300\text{ m}^2$ ，占评估总面积的 30.22% ，主要分布在老 324 国道南西侧，岩土体工程性质较差，属较强烈岩溶区，不良地质现象主要为红粘土、耕作土和岩溶。工程地质、水文地质条件中等，地下水类型有孔隙水和岩溶水二类，

地下水富水性较强；区内地质构造不发育，地质构造简单；区域地质构造复杂，新构造活动强烈；地震基本烈度为Ⅶ度，属于区域地壳较稳定区；人类工程活动对地质环境的影响中等。据此，地质环境条件复杂程度为复杂。区内现状地质灾害不发育，未发现崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、地面塌陷、地面沉降等地质灾害。现状地质灾害不发育，地质灾害现状危害性和危险性小。

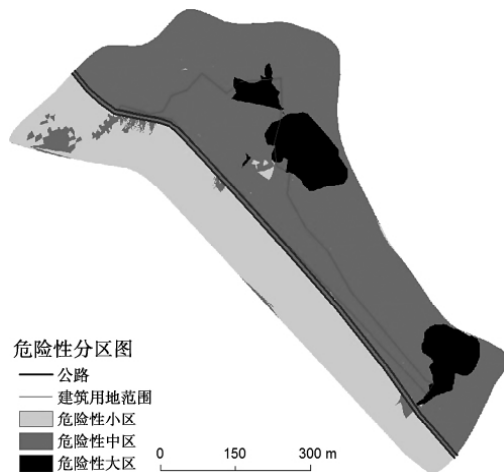


图 6 评估区地质灾害危险性分区图

Fig 6 Geological hazard subarea of the study area

5 结论

根据《地质灾害危险性评估技术要求》的分级标准和地质环境条件复杂程度分类之规定，本建设项目用地地质灾害危险性评估级别确定为一级。工程建设和运营引发的地质灾害和工程地质问题可以防治，工程建设诱发、加剧和遭受的地质灾害或不良工程地质问题的可能性小至中等，危害性和危险性小至中等，地质灾害的防治难度中等，评估区总体为基本适宜该项目建设。

地质灾害危险性评估是一项工作量大、工作复杂的任务，所涉及的影响因素种类繁多、范围广泛、影响程度难预测性和权重的不确定性，已难以用传统的专家打分法加以解决，GIS 空间信息技术地发展已逐渐成为解决上述问题的强大手段，本次研究采用实地调查与 GIS 空间分析技术相结合的方法进行建设项目用地地质灾害危险性评估，具有数据准确、方法实用、分析严密、结果可靠等特点。研究方法与技术对其它建设项目地质灾害危险性评估具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] D C W Nkhuwa. Human Activities and Threats of Chronic Epidemics in a Fragile Geologic Environment [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 1139—1145.
- [2] 朱良峰, 殷坤龙. 基于 GIS 技术的区域地质灾害信息分析系统研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12 (3): 79—83.
- [3] 温守钦, 李仁锋, 任群, 等. GIS 技术在地质灾害区划中的应用 [J]. 中国地质, 2005, 32 (3): 283—285.
- [4] Clemens DTPMEIER, Wemer GEIGER. Theme Park Environment as an Example of Environmental Information Systems for the Public [J]. Environmental Modelling & Software, 2006, 21: 1528—1535.
- [5] 杜亮. 基于 GIS 的温州市地质灾害时空分布及影响因子研究 [D]. 西安: 长安大学, 2009.
- [6] R Chowdhury P Flentje. Role of Slope Reliability Analysis in Landslide Risk Management [R]. BullEng Geol Env (2003) 62: 41—46.
- [7] 张春山, 张业成, 张立海. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害危险性评价 [J]. 地质力学学报, 2004, 10 (1): 27—32.
- [8] 孙广忠, 孙毅. 地质工程学原理 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [9] 吴宝和. 地表水和地下水对岩质边坡稳定性影响及防渗措施 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14 (3): 140—141.
- [10] 刘彦花, 吴湘滨, 黎洪浪. 基于 GIS 的建设项目地质灾害危险性评估 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19 (3): 77—80.
- [11] 杨秀梅. 基于 GIS 的地质灾害危险性评价 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [12] 余中元, 帕拉提·阿布都卡迪尔, 康健, 等. 地理信息系统在区域地质灾害危险性评估中应用研究——以新疆哈密市双井子 26 号铁矿区为例 [J]. 防灾科技学院学报, 2008, 10 (3): 76—78.
- [13] 穆鹏. 南峪水电站工程地质灾害危险性评估 [J]. 水电能源科学, 2010, 28 (11): 67—69.

BASED ON GIS CONSTRUCTION PROJECT GEOHAZARD DANGER EVALUATION METHOD RESEARCH

——EXAMPLED PEOPLE'S HOSPITAL IN SHIZONG COUNTY OF YUNNAN PROVINCE

LI Jun¹, HU Xiong-gang², JIN Yan-zhu², TAN Shu-cheng²

(1. Kunming Prospecting Design Institute of China Nonferrous Metals Industry, Kunming 650051, Yunnan China;

2. Geological Institute of Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract: Geohazard danger evaluation is not only very important in construction projects, but also an essential measures to protect people's lives and property, which evaluates land loss and damage degree of Geohazard danger activity. This paper realizes the research about land Geohazard danger evaluation of the construction project of people's hospital in Shizong County, Yunnan Province, by preprocessing basic data about evaluation area, determining the impact facts and giving them the corresponding weights, and building space superposition model to evaluate geohazard danger of study area on divisional processing. All of these processes are based on GIS technology. The research result provides powerful technical support for land geohazard danger evaluation of the construction project of people's hospital in Shizong county, and has practical application meanings for geohazard danger evaluation of other construction projects.

Key words: geohazard; danger evaluation; construction project; GIS, Shizong County