

山地公园群发地质灾害致灾因子分析及防治建议

邓祖保, 龚恩德

(安徽省地质矿产勘查局 327 地质队, 合肥 230011)

摘要: 通过分析群发地质灾害的主要致灾因子, 可为地质灾害防治提供依据。对某山地公园内地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水与地表水、植被、人类活动和大气降水等因素进行分析, 统计得到各致灾因子和地质灾害分布的关系, 进而确定地面坡度、土层厚度、地表径流流线、道路和大气降水是公园内的主要致灾因子。对基础性致灾因子的相关性分析表明各致灾因子均对公园内地质灾害的发生有较大的影响。在致灾因子分析的基础上提出针对性的防治措施建议。

关键词: 山地公园; 群发地质灾害; 致灾因子; 相关性

中图分类号: P694 **文献标识码:** A

ANALYSIS OF THE FACTORS INDUCING GROUP GEOLOGICAL DISASTERS IN A MOUNTAIN PARK AND SUGGESTIONS FOR CONTROL MEASURES

DENG Zu-bao, GONG En-de

(327 Geological Team, Anhui Bureau of Geological and Mineral Exploration, Hefei 230011, China)

Abstract: The control measures can be provided based on analyzed the main factors inducing group geological disasters. Through the analysis of the factors such as topography, stratum lithology, geological structure, groundwater and surface water, vegetation, human activities and precipitation, the paper was obtained the relationship between the disaster-inducing factors and the distribution of geological hazards in the park. Then the main disaster-inducing factors in the park were determined, which were slope, soil layer thickness, surface runoff flow line, road and precipitation. The correlation analysis of basic disaster-inducing factors shows that each factor has a greater impact on the occurrence of geological hazards in the park. Based on the analysis of disaster-inducing factors, the paper puts forward the corresponding control measures.

Key words: mountain park; group geological disasters; disaster-inducing factors; correlation

1 前言

2020年7月初,旌德县出现连续强降水,造成面积约0.35 km²的某山地公园内出现多达70处崩塌、滑坡和泥石流地质灾害,损毁面积占园区总面积

约9%(图1)。该公园于2017年4月开始建设,至2018年底全面完工,至地质灾害发生时才运行一年半。本次群发地质灾害虽未造成人员伤亡,但公园内的树木、道路、排水设施等损毁严重,并影响到公园外市政道路的行车安全。

地质灾害通常由强降水、洪水、人类活动或地震等因素诱发的,其基础性因素包括地形地貌、岩土体类型、地质构造、水文地质条件、水系和植被等^[1,2]。在不同区域和不同类型的地质灾害形成条件不完全相同^[3],但对某一特定的区域,一次性的群发地质灾害,其致灾因子基本相同。对于山地公园而言,因其具有地形复杂、地质条件不稳定、气候多变^[4]等特征,造成地质灾害频发,威胁到游客及公共设施的安全。通过对山地公园内群发地质灾害的致灾因子分析,可为地质灾害防治提供科学的依据。

本文通过资料收集、现场调查,获取了大量的第一手资料,在 GIS 平台下,对地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水与地表水、植被、人类活动和大气降水等信息数据进行分析,统计各致灾因子和地质灾害分布的关系,确定造成公园内地质灾害群发的主要致灾因子,采用因子分析法分析其相关性,并在此基础上提出针对性的防治建议。

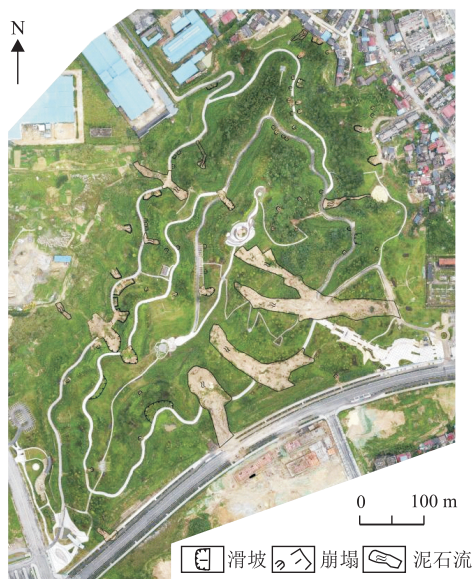


图1 地质灾害分布图

2 地质灾害特征

2.1 崩塌

公园内崩塌点较多,有 52 处,崩塌体的最大体积约为 $1\ 000\ \text{m}^3$,规模均属小型。现场调查发现,崩塌位置多处于公园内道路切坡较陡地段,坡度一般 $>40^\circ$ 。崩塌体均为残坡积土和全风化花岗闪长岩,堆积物结构零乱,多呈锥形,坡面多覆盖小型灌木和草本植物。

2.2 滑坡

调查发现滑坡 8 处,滑坡体最大体积约为 $1\ 000$

m^3 ,均为小型滑坡。滑体均为残坡积土和全风化花岗闪长岩。大多数的滑坡已经完全滑动变形,另有 3 处滑坡处于蠕动变形阶段,其后缘产生裂缝和错断,两侧产生剪切裂缝。

2.3 泥石流

调查发现泥石流共 10 处,最大堆积量约为 $6\ 000\ \text{m}^3$,均属于小型泥石流。泥石流物源主要是斜坡上的残坡积土和全风化花岗闪长岩,按物质组成为泥流型。泥石流的流通区最长约为 300 m,在泥石流流经的地段树木完全损毁,道路被掩埋。下游堆积体受地形影响形状不规则,堆积厚度约 2~5 m,堆积区的土体含水量较高。

3 致灾因子分析

3.1 地形地貌

公园所在地貌属高丘,地貌单元单一。公园内地形起伏较大,高程为 183.50~292.80 m,最大高差为 109.30 m,自然地形坡度一般 $<40^\circ$ 。

地形地貌是崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害产生的主控因素^[5]。影响地质灾害发育的主要微地貌因子通常包括斜坡的坡度、坡向、地形起伏度、海拔和地貌单元等因子。经现场调查和地形分析,坡向、地形起伏度和海拔等因子与公园内地质灾害的影响没有明显的关系。

根据公园建成后所测的地形图,在 ArcGIS 中生成栅格图,进行坡度分析。在坡度图层中提取各地灾点发生前的地面坡度数据进行统计,可见所有的地灾点均发生在地面坡度 15° 以上的斜坡上, 20° 以上的地灾点占总数的 90%; $25^\circ\sim 40^\circ$ 之间的地灾点分布密度远大于平均密度 $2.16\ \text{个}/\text{hm}^2$ (图 2)。但地质灾害的数量和密度并不是随坡度增加而增加的,坡度 $<15^\circ$ 的斜坡,由于地形平缓,不易产生地质灾害;而坡度 $>40^\circ$ 的自然边坡,一般为岩质斜坡,其自稳性高,发生地质灾害的可能性也会降低。

3.2 地层岩性

公园内岩土体主要由上覆冲洪积物及下伏风化花岗岩组成,各地层自上而下分别为:①残坡积土,灰黄色,结构松散,干-稍湿,主要为砂质黏性土夹碎石,层厚 2.00~9.00 m;②全风化花岗闪长岩,灰白色、棕黄色,可塑-硬塑,由上而下土质渐密实,灵敏度高,饱和状态扰动后易流动,层厚 1.50~9.00 m;③强风化花岗闪长岩,灰白、棕黄色,呈散体状结构,局部见有少量球状风化现象,最大揭露厚度 5 m;④中微风化花岗闪长岩,暗灰色,粒状结构,块状构造,坚硬,较完整,岩石质量等级为 II 级,厚度大。

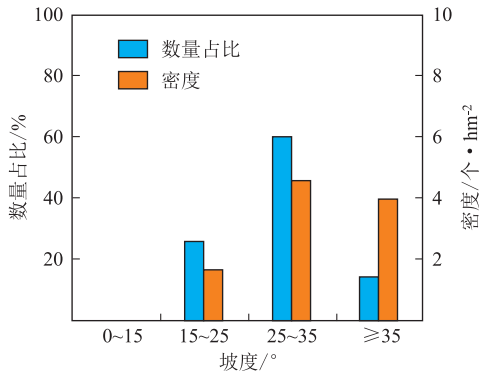


图 2 坡度与地灾点分布

不同的地层岩性及其结构特征,是影响斜坡的稳定性内存因素之一。公园内发生的崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害的主要物质为残坡积土和全风化花岗闪长岩,岩性单一。残坡积土和全风化花岗闪长岩具有结构松散状态、黏粒含量低、孔隙率大等特征,在饱水状态下自重增加,抗剪强度降低,易产生崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害。因此,当斜坡上的土体(包括残坡积土和全风化花岗闪长岩)厚度越大,越容易产生地质灾害^[6]。根据勘察资料,生成土体厚度栅格图,提取各地灾点发生前的土体厚度进行统计,其中土层厚度小于 3.0 m 的地灾点约占 10%,3.0~6.0 m 的约占 21.4%,大于 6.0 m 约占 68.6%;土层厚度在 3.0~6.0 m 的地段,地质灾害密度较大(图 3)。

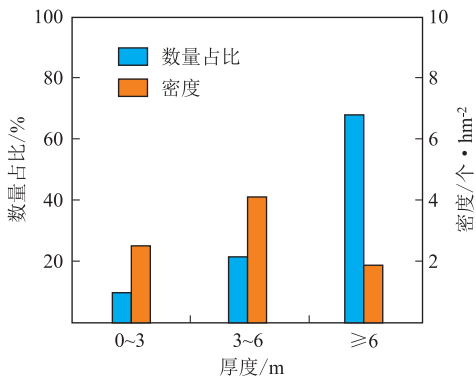


图 3 土体厚度与地灾点分布

作为土岩结合的斜坡,土岩接触面往往是滑坡的滑动面,厚度较大的斜坡产生滑坡的可能性就越大;对于坡度较陡的斜坡,土层越厚,产生崩塌的可能性也越大;泥石流的主要物源也是松散的土体,土体厚度越大,则泥石流的规模也相应增大。但影响土层厚度分布的因素很多,如在地势平缓的地段土层的厚度一般也较大,而发生地质灾害的可能性却很低。因此土层厚度大且坡度较大的地段,发生地

质灾害的可能性才会增大,即土层厚度因子受坡度因子控制。

3.3 地质构造

公园内及附近断裂构造不发育,未发现全新活动断裂,所以本公园内地质灾害与地质构造无关联。

3.4 地下水与地表水

公园内的地下水主要为赋存于①残坡积土和②全风化土层中的潜水型地下水,主要接受大气降水补给,水位和水量受大气降水影响较大,雨后水位较高、水量较大,天晴后水位低或无地下水。因此在通常情况下,地下水对地质灾害的发生影响较小,只在强降雨时,地表水入渗形成的地下水水头压力对斜坡的稳定性产生影响。公园内,由于地层结构基本一致,地下水的影响和斜坡上的土体厚度有很大的关联性,因此可不考虑地下水对地质灾害的影响。

公园内无较大地表水体,因此地表水体对地质灾害的发生无影响。但在大气降水形成的地表径流,冲蚀斜坡岩土体,易产生崩塌、滑坡和泥石流地质灾害,特别是在地表径流的流线两侧(即冲沟),强降雨的汇集和冲刷,地质灾害的强度、发展速度和发生频率会增大,在地面坡度较大且土层较厚的地段很容易形成泥石流^[7,8]。经调查,公园内产生的泥石流均分布于地表径流的流线上。根据地质灾害发生前的地形数据,提取地表径流流线,按 15 m、30 m 进行缓冲分析。经统计可知,位于流线 15 m 以内的地灾点占比约 48.6%、密度达 2.42 个/hm²,15~30 m 和 30 m 以外的地灾点分布并无明显规律(图 4)。

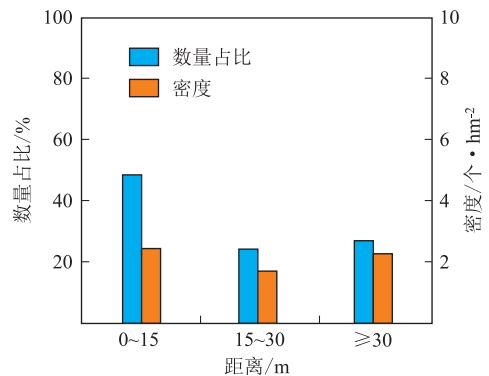


图 4 冲沟与地灾点分布

3.5 植被

公园北部多为原生植被,以松木和杉木为主,其下灌木及藤蔓植物丛生,植被茂密。公园南部多为 1 a 前栽植的各类乔灌木和草本植物,品种繁多。根据地质灾害发生前的航拍影像进行解译,按 5 m×5 m 网格间距计算植被覆盖度,并与地灾点进行耦合

分析,可知,植被覆盖度高的地段,地灾点数量并未降低(图 5)。由于公园内的植被多为新近栽植,生长周期短,根系尚不发达,对边坡的防护能力较弱。大量的研究也表明,植被的主要作用体现在水源涵养和水土保持功能,并不能有效阻止地质灾害的发生^[9,10]。因此,本公园内地质灾害的发生与植被覆盖度没有必然的关联性

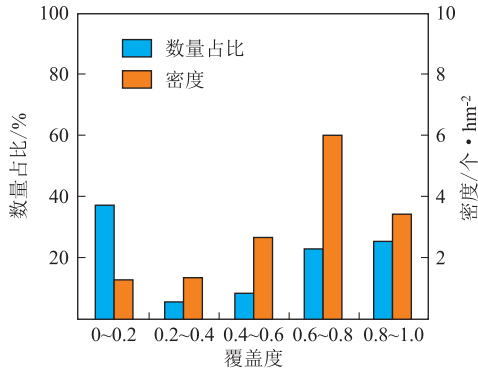


图 5 植被覆盖度与地灾点分布

3.6 人类工程活动

由于地质灾害发生时公园已经建成,因此人类活动不是诱发地质灾害的因素。但在公园道路修建时进行切坡和堆填坡,其中切坡破坏了原始边坡的安定角,导致不稳定斜坡产生;堆填坡由于未进行有效的压实,其稳定性差。现场调查,公园内道路切坡的坡度一般为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,高度一般 $< 10\text{ m}$ 。

由于道路两侧的坡高较低,其影响范围有限,因此对道路两侧按 15 m 、 30 m 进行缓冲分析。可见距离道路越远的地段,地灾点数量越少、密度越低,其中位于道路两侧 15 m 以内的地灾点占比约为 72.9% 、密度达 $3.64\text{ 个}/\text{hm}^2$, $15\sim 30\text{ m}$ 内约占 17.1% , 30 m 以外的约占 10% (图 6)。

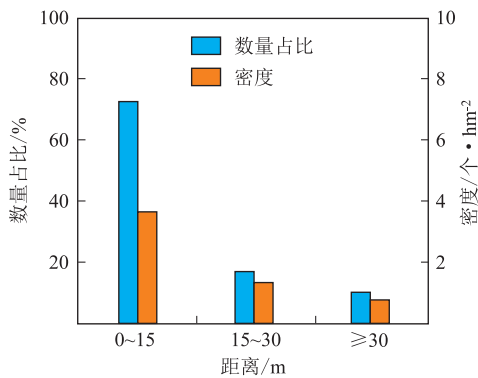


图 6 道路与地灾点分布

3.7 大气降水

本次群发地质灾害的直接诱因为持续的强降雨

水。根据旌德县气象局提供的降水资料,2020 年 5 月以来,旌德县降水明显增多。其中日降水量达到 10 mm 以上的天数,5 月份为 7 d ,6 月份为 8 d ,7 月份前 20 d 达到 11 d (图 7)。7 月份前 20 d 的累计降水量就达到 653.6 mm ,超过此前 10 a 的月降水量的最大值 554.2 mm (2011 年 6 月)。7 月 6 日的降水量为 153.9 mm ,比前 10 a 的日降水量极值 150.9 mm (2019 年 5 月 26 日)还要大;特别是 7 月 2 日至 7 月 7 日这 6 d 的降水量就达 425.8 mm ,超过前 10 a 中 9 a 的月降水量极值,仅比 2011 年的极值 554.2 mm 略低,而这 6 d 恰是公园内地质灾害发生的时间。

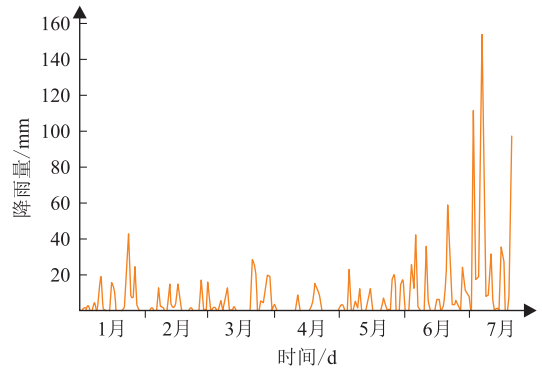


图 7 7月20日前日降水量

4 致灾因子相关性分析

通过对公园内各致灾因子分析可知,导致公园内地质灾害群发的直接诱因是连续的超强降水。持续的强降雨导致土体饱和,土体自重增加,土体的力学性质降低;地表水对斜坡的渗透,对潜在的滑裂面起到润滑作用,导致坡面稳定性降低。山地地形坡度较大,结构松散的土体、人类活动形成的陡坡以及地表径流的汇聚,是造成地质灾害群发的基础性因素;而植被覆盖度的高低与地质灾害的发生没有明显的相关性。

为了分析致灾因子之间的相关性,确定其对地质灾害发生的贡献大小,通常以各因子权重来衡量。因子权重计算通常有层次分析法、因子分析法、熵值法以及综合法等,其中因子分析法能较为客观地反映因子之间的关联性。

各致灾因子在其各划分等级内的灾害点密度可以用来表征其对地质灾害发生影响程度的大小,据此对各致灾因子的不同划分等级分别赋值,见表 1。并基于 GIS 平台,提取每个地灾点致灾因子赋值图层上的值,组成原始数据矩阵,通过因子分析法,得到成份矩阵 $A = \{a_{ij}\}$,见表 2。

表 1 致灾因子等级划分与赋值

致灾因子	等级划分与赋值				
	划分标准	0°~15°	15°~25°	25°~35°	≥35°
坡度 F_1	赋值	0	3	10	8
厚度 F_2	划分标准	0~3 m	3.0~6 m	≥6 m	
	赋值	1	5	10	
道路 F_3	划分标准	>30 m	15~30 m	0~15 m	
	赋值	0	3	10	
冲沟 F_4	划分标准	>15 m		0~15 m	
	赋值	0		10	

表 2 成份矩阵

成份因子	1	2	3	4
坡度 F_1	0.735	0.202	0.128	0.635
厚度 F_2	0.402	0.755	0.172	-0.489
道路 F_3	-0.605	0.288	0.704	0.237
冲沟 F_4	-0.451	0.616	-0.582	0.281

各因子 F_j 对全部变量的方差贡献为矩阵第 j 列元素的平方和,即 $V_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}^2$ 。 V_j 越大,表明 F_j 的贡献越大,因此可用公共因子的方差贡献率作为权重^[11,12],即

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j}$$

计算得各因子的权重见表 3。

表 3 各致灾因子权重

致灾因子	坡度	厚度	道路	冲沟
特征值 V_j	1.270	1.072	0.880	0.777
权重 W_j	0.318	0.268	0.220	0.194

从表 3 中可看出,坡度所占的权重最高,土体厚度次之,距离道路和冲沟的距离权重相当。从总体而言,这 4 个致灾因子的权重差距不大,表明其对本公园内地质灾害的发生均有较大的影响。

5 防治建议

通过上述分析,导致公园内地质灾害群发的主要致灾因子为降雨量、坡度、土体厚度、道路切坡、地表径流流线(即冲沟)。针对引发本公园内地质灾害的主要致灾因子和公园建设现状,提出以下防治建议:

(1) 完善排水系统

连续的超强降水是造成本次地质灾害发生的直接诱因。现场调查发现,公园内多处排水沟设置不合理,如沟底坡降过大,造成下部被冲毁;排水沟的过水断面小,不能满足超强降水排水要求,大量雨水从排水沟中溢出,从而直接冲刷坡面;存在断头的排

水沟等。在防治时,应对公园内的排水系统进行完善,具体措施包括:根据本次地质灾害发生时的降雨数据,重新确定排水沟的过水断面;对排水沟坡降过大处设置多组跌水构造,降低水流速度;在适当位置设置沉砂池,防止泥沙堵塞排水沟;排水沟应修建至自然排水通道处。

(2) 道路边坡防治

单因子分析表明道路两侧 15 m 以内的地灾点占比超过 70%,其中以崩塌和滑坡为主。现场调查发现,公园内切坡路段均为土质边坡,部分路段两侧切坡的坡度较陡,且均未采取防护措施,从而造成大量的崩塌。由于公园内的切坡高度通常较低,可根据不同路段的特征,采取削坡、砌筑挡土墙等防治措施。

现场调查发现,道路两侧的自然斜坡因坡体土质、地表水汇流等因素影响,有 3 处处于滑坡的蠕变阶段。可采用坡顶设置截水沟、坡脚砌筑重力式挡墙进行防治。

(3) 泥石流沟防治

位于流线 15 m 以内的地灾点约占一半,主要以泥石流和滑坡为主,其中泥石流造成的损毁面积大,影响范围广,危害最严重。可根据泥石流沟损毁状况和不同部位,采取不同的防治措施。物源区,可根据坡度大小,分别采用锚杆格构挡墙、重力式挡墙或栽种植物进行加固和防护;流通区,可根据坡度大小采用砌筑拦石坝进行拦挡或植物防护。对于泥石流规模较小的冲沟,应以植物防护为主,如设置生态排水沟、栽植灌木等。

6 结论

(1) 某山地公园内一次连续超强降雨,引发多达 70 处崩塌、滑坡和泥石流地质灾害。通过对公园内地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水与地表水、植被、人类活动和地质灾害发生前大气降水等信息数据进行分析,探讨造成地质灾害群发的主要因子。发现地质灾害发育程度随着坡度和土体厚度的增加而逐渐增加,但在达到一定数值后,地质灾害点发育程度呈下降趋势;地质灾害发育程度距离道路和地表径流流线(即冲沟)越近,发育程度越高,越远则越低。

(2) 利用因子分析法对基础性致灾因子进行关联性分析,发现坡度所占的权重最高,土体厚度次之,距离道路和冲沟距离远近的权重相当,但总体上各个基础性致灾因子的权重差距不大,表明他们均对本次群发地质灾害有较大的影响。

(3) 分析主要的致灾因子,可有利于地质灾害防治时选择有针对性措施,提高防治工程的科学性。应对强降雨,应完善排水系统;对于道路两侧可采用削坡和重力式挡墙等防治措施;冲沟附近可采用支挡护坡、植物固源、砌筑拦石坝、设置生态排水沟等防治措施。

参考文献

- [1] 王昆,马丹萍. 控制或引发眉山市地质灾害发育的主要因素分析[J]. 西部探矿工程,2020,32(4):17-18,28.
- [2] 罗昌谟. 福建省地质灾害与地形地貌的关系探讨[J]. 地质学刊,2014. 38(增刊):358-361.
- [3] 韩冲,袁运许,曹颀,等. 唐山市崩塌地质灾害与地形地貌的关系[J]. 科技资讯,2018,16(9):128-129.
- [4] 段展展,周建华,周芸. 基于自然生态观的山地公园建筑规划设计[J]. 安徽农业科学,2011,39(12):7226-7227. 2014. 38(sup):358-361.
- [5] 任凯珍,冒建,陈国游. 关于地质灾害孕灾因子权重确定的探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报,2011,22(1):80-86.
- [6] 雍军,莫运松. 浅谈灌阳县花岗岩区地质灾害分布特征及其与风化土层厚度关系[J]. 地球,2016,(6):13-13.
- [7] 焦洋. 山区突发性地质灾害形成条件及影响因素分析——以天津市蓟州区为例[J]. 中国房地产,2019,(13):72-75.
- [8] 熊若蔚,高荫岐. 土地利用演替与冲沟、山地自然灾害发展趋势分析[J]. 云南师范大学学报(自然科学版),1994,(4):80-88.
- [9] 曾令科,许模,方琼,等. 植被与地质灾害发育分布关系初探[J]. 地质灾害与环境保护,2010,21(3):97-100.
- [10] 郑晓刚. 福建省植被与地质灾害关系初探[A]. 2010年海峡两岸地质灾害防治学术研讨会论文集[C]. 2010:39-44.
- [11] 耿金花,高齐圣,张嗣瀛. 基于层次分析法和因子分析的社区满意度评价体系[J]. 系统管理学报,2007,16(6):673-677.
- [12] 孟祥瑞,裴向军,刘清华,等. GIS支持下基于因子分析法的都汶路沿线地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报,2016,27(3):106-115.

作者简介: 邓祖保(1975—),男,安徽寿县人,高级工程师,注册土木(岩土)工程师,主要从事岩土工程勘察、岩土工程设计和地质灾害防治工作。E-mail:323218570@qq.com