

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.04.01

基于风险管控的滑坡防治工程设计理念

——以三峡库区巫山干井子滑坡为例

马飞^{1,2}, 杜春兰³

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 重庆市地质灾害防治中心, 重庆 400700;
3. 重庆市地质灾害防治工程勘察设计院, 重庆 400700)

摘要: 风险管控是指对项目目标的主动控制, 以实现防治工程目标为目的, 对工程中出现的风险进行控制。本文以三峡库区巫山干井子滑坡防治工程为例, 在滑坡防治工程设计中引入风险管控理念, 在达到工程目的的基础上, 实现治理效果与经济效益双赢, 符合目前滑坡防治工程的发展需求, 也是今后滑坡防治工程的研究方向。

关键词: 风险管理; 滑坡; 工程应用

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)04-0001-06

Concept design for landslide prevention and control engineering based on risk management—a case study of Ganjingzi landslide

MA Fei^{1,2}, DU Chunlan³

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;
2. Chongqing Center of Geological Disaster Prevention and Control, Chongqing 400700, China;
3. Chongqing Survey and Design institute of Geological Hazard Prevention Engineering, Chongqing 400700, China)

Abstract: Risk management is the active control of engineering objectives, in which process risks occurring in prevention and control engineering are controlled with the aim to achieve the engineering objectives. The concept of risk management is introduced into landslide prevention and control engineering design, which achieves both control effect and economic benefits while fulfilling the engineering objectives. It conforms to the requirements for development of current landslide prevention and control engineering, and is also the research orientation of future landslide prevention and control engineering.

Keywords: risk management; landslide; engineering application

0 引言

风险管控^[1]最初来源于风险投资, 首先对项目的风险进行识别分析, 然后将这些风险量化, 对风险进行控制, 进而达到预期目标。在滑坡防治工程中, 对风险的识别、分析、控制也是必要的, 在对滑坡的认真调查、研究分析的基础上, 采取经济有效的工程措施进行治理, 达到工程治理的目标, 从而保障人民生命财产安全。滑坡防治工程有其特殊性, 但仍需要进行风险

管控。

1 滑坡防治工程现状及存在问题

1.1 滑坡防治工程现状

在众多的地质灾害中, 滑坡灾害尤其分布广泛, 凡有地势较陡的地方均可能发生; 发生频繁, 历年多雨季均可能发生; 对国民经济和人民生命财产造成极大的损失。由于城市发展和铁路、公路建设, 挖填方工程日益增多, 对原地形地貌进行大规模破坏, 导致滑坡灾

收稿日期: 2016-05-09; 修订日期: 2016-06-13

第一作者: 马飞(1968-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地质灾害防治研究。E-mail: cqsxdfb@163.com

害日益增多。

对滑坡灾害进行有效的管控,主要通过尽量避免灾害体的形成,避开灾害体和对灾害体进行有效防治。在整治已发生的滑坡和防治潜在滑坡的过程中,主要任务在于提高滑坡的稳定性,使滑坡稳定性系数大于安全系数,满足人们预期的安全储备,达到治理效果。

目前,无论在滑坡防治工程行业规范,还是三峡库区地质灾害防治工程相关技术要求,亦或者各省、市的地方标准中,对滑坡稳定性判断和治理安全标准均有明确的说明。

《三峡库区地质灾害防治工程设计技术要求》(三峡库区地质灾害防治工作指挥部,2012年7月)中,对滑坡防治工程抗滑稳定安全系数作出明确要求(表1)。防治工程安全等级为Ⅰ级的滑坡在最不利工况条件下最小安全系数为1.20,防治工程安全等级为Ⅱ级的滑坡在最不利工况条件下最小安全系数1.15,防治工程安全等级为Ⅲ级的滑坡在最不利工况条件下最

小安全系数1.10。防治工程安全等级越高,最小安全系数越大。

依据现有规范,各滑坡工程的防治工程安全等级确定后,按最小安全系数对滑坡进行防治工程治理设计,采取有效的措施进行治理,使滑坡满足预期的安全储备。

1.2 存在问题

现阶段,滑坡防治工程治理设计主要依赖于相关规范的规定,对各滑坡进行防治工程安全等级进行划分,确定最小安全系数,依据既定的最小安全系数,得到最终剩余下滑力,从而进行治理工程设计,以使得滑坡达到预期的安全储备为目标。

由于滑坡防治工程安全等级确定局限性,主要依据危害对象及可能造成的损失进行分级,危害对象及可能造成的损失的划分为一个区间值,从而使得未能对滑坡防治工程等级进行更加精确的划分,导致同一防治工程等级的滑坡工程差距极大,比如工程规模、危害性及工程投资等。

表1 滑坡防治工程设计荷载组合及抗滑稳定性安全系数^[2-3]

Table 1 Landslide control project design load combination and anti-sliding stability safety coefficient

涉水或非涉水工程	水库运行水位	工况组合编号	荷载组合内容	最小安全系数			涉水滑坡点位处水位线
				Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	
涉水工程	静止水位	1	自重+地表荷载+水库特征水位+N年一遇暴雨(q枯)	1.25	1.20	1.15	坝前水位接11月份20年一遇洪水水面线
		2	自重+地表荷载+水库特征水位+N年一遇暴雨(q全)	1.25	1.20	1.15	坝前162 m水位接汛期50年一遇洪水水面线,156 m,145 m接汛期20年一遇洪水水面线
	水位降落	3	自重+地表荷载+水库水位从175 m降至145 m+N年一遇暴雨(q枯)	1.20	1.15	1.10	坝前水位接11月份20年一遇洪水水面线
		4	自重+地表荷载+水库水位从162 m降至145 m+N年一遇暴雨(q全)	1.20	1.15	1.10	坝前水位接汛期50年一遇洪水水面线
不涉水工程		5	自重+地表荷载+N年一遇暴雨(q全)	1.20	1.15	1.10	

滑坡防治工程为实体工程,有其特殊性,工程位置、规模、范围、变形特征、危害对象、经济损失以及治理目标均不相同,使用同一治理标准来对不同的滑坡防治工程进行治理,是目前行业的普遍做法,然后此举也会导致部分治理工程项目工程难度及工程投资加大,远远大于预期,无形中造成了国家财产损失。

2 风险管控理念及实施建议

2.1 风险管控理念

风险管控是指如何在项目或者企业一个肯定有风险的环境里把风险减至最低的管理过程。认识风险,分析风险,以最经济的手段控制、降低风险,达到预期目标是风险管理关键。

风险管控同样适用于滑坡防治工程。对滑坡基本情况的认识,滑坡稳定性影响因素及形成机理的分析是滑坡防治工程的基础,采用经济有效的防治措施进行治理,达到预期的防治目标是滑坡防治工程的重点。

2.2 风险管控的实施建议

滑坡防治工程中的风险管控是在对滑坡基本情况的充分认识,滑坡稳定性影响因素及形成机理的透彻分析的基础上,采用经济有效的防治措施,以实现预期的防治目标为最终目的的防治理念。滑坡防治工程达到预期的防治目标,不等同于行业中普遍认同的使滑坡体满足一定安全储备的目标。在滑坡防治工程中,有时防治目标为使滑坡长期稳定,不发生滑动破坏;有时则是为了达到某种目的,对滑坡进行控制。以三峡

库区巫山干井子滑坡防治工程为例,滑坡防治工程的主要目标为保护长江航道的安全,防止滑坡体快速入江,防止引起剧烈涌浪。针对防治目标,干井子滑坡防治工程只要最终达到长江航道的安全不再受该滑坡威胁的目标,即达到治理效果^[4]。

3 基于风险管控的干井子滑坡防治设计

3.1 滑坡基本特征

干井子滑坡^[5]属于三峡库区涉水滑坡,斜坡地形高程 140 ~ 395 m,相对高差约 255 m,中前部高程 140 ~ 230 m 左右地形较平缓,总体地形坡角 25° ~ 40°。滑坡平面呈“U”型,滑坡纵长约 440 m,横宽约 220 m,面积 $9.68 \times 10^4 \text{ m}^2$,厚度 20 ~ 25 m,体积约 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$,属于大型土质滑坡。滑坡右前部强变形区纵长 170 m,横宽 100 m,面积 $1.70 \times 10^4 \text{ m}^2$,平均厚约 12 m,体积约 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

滑坡前缘剪出口位于长江水位线以下,分布高程 135 m 左右;滑坡前缘右侧发育一处强变形区,滑坡中部存在次级剪出口 I 和次级剪出口 II;滑坡后缘发育一长约 300 m 的弧形拉裂缝,后缘整体下挫 2.6 m,形成滑坡后壁,裂缝形态呈弧形,延伸长、贯通性好,为滑坡后缘边界,滑坡左侧边界冲沟为界,变形特征不明显,滑坡中后部右侧局部发育有纵向剪切裂缝,并伴有局部崩滑现象,其前部发育有一长 140 m,宽 1 ~ 5 cm 的剪切裂缝,裂缝与强变形区后缘拉裂缝贯通,判定为滑坡右侧边界。滑坡全貌位图见图 1。

3.2 滑坡的变形破坏特征

根据现场调查干井子滑坡变形主要集中在滑坡前缘强变形区、滑坡中部公路附近及滑坡后缘。

滑坡前缘强变形区:强变形区前部,在长江库水位涨落期间部分滑体发生滑动入江。后部发育一方量约 500 m^3 的滑塌,滑塌顶发育有多组方向垂直于主滑方向的弧形张拉裂缝,裂缝长 15 ~ 50 m,宽 5 ~ 30 cm,呈台阶状下挫,台阶宽度 1 ~ 3 m,下挫高度 20 ~ 150 cm,强变形区后缘主裂缝与右侧剪切裂缝贯通,强变形区左侧边界为一小冲沟,其后缘及右边界裂缝明显已经贯通。

滑坡中部:在次级剪出口 I 附近,公路附近发育有多组裂缝,特别是左侧的剪切裂缝与滑坡后缘拉裂缝贯通,滑坡中前部发育的裂缝长度较长、张开度较大,整体走向约 330°。同时伴有路堑挡墙鼓胀、道路附近房屋变形强烈、局部有小规模滑塌等现象。在次级剪出口 II 附近房屋后斜坡有明显的前移鼓胀。

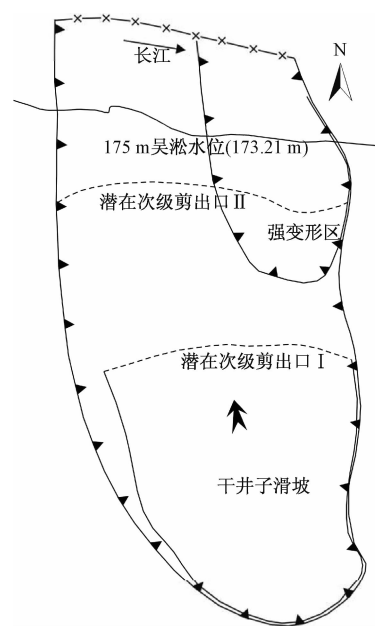


图 1 干井子滑坡全貌图

Fig. 1 Front-on view of Ganjingzi landslide

滑坡左前部:变形迹象不明显。

3.3 滑坡稳定性综合评价

(1) 滑坡前缘强变形区已发生明显的变形,其后缘张拉裂缝与右侧剪切裂缝贯通,已形成一个相对独立的滑体,监测资料显示强变形区后缘位移变形量较大,达到 34.90 mm,变形速率受降雨影响大,其自稳能力较差,稳定性计算结果显示在天然状态下处于基本稳定状态,在不利工况下处于基本稳定-欠稳定状态。

(2) 滑坡中部次级剪出口 I 左侧的剪切裂缝与滑坡后缘拉裂缝贯通发育的裂缝长度较长、张开度较大,同时伴有路堑挡墙鼓胀、道路附近房屋变形强烈、局部有小规模滑塌等现象,已形成一个独立的滑体,监测资料证实,该区域内位移变形量大,变形速率受降雨影响大,其自稳能力较差,稳定性计算结果显示天然状态下基本稳定,暴雨状态下基本稳定-欠稳定。

(3) 滑坡中前部次级剪出口 II 附近房屋后斜坡有明显的前移鼓胀,从地貌上看有局部临空,滑坡存在次级剪出的可能,监测数据显示该处存在位移变形,其自稳能力较差,稳定性计算结果显示天然状态下基本稳定,暴雨状态下基本稳定。

(4) 滑坡整体,滑坡体内发生的变形主要集中在前缘强变形区、滑坡中部及后缘,滑坡前缘强变形区及中部次级剪出口 I 区域均形成了明显的边界特征,为相对独立的两个滑体,而滑坡左前部变形迹象不明显,

监测数据显示表明,滑坡整体目前位移变形量趋于平缓,综合判定滑坡整体基本稳定,稳定性计算结果显示天然工况下处于基本稳定状态,在暴雨及水位降工况下处于基本稳定状态。

综上所述:滑坡整体处于基本稳定状态,整体入江的可能性小,强变形区及次级剪出口 I 在不利工况下趋于欠稳定,强变形区入江可能性大,引起涌浪的可能性大,其入江体积约为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$;滑坡次级剪出口 I 分布高程 259 ~ 265 m,距长江直线距离约 120 m,如果发生滑动,其入江的可能性不大。

3.4 滑坡治理工程设计

干井子滑坡发生险情后,对滑坡区内 9 户 64 人进行全部撤离;对长江航道进行了预警管制,夜间限制通航,大暴雨期间禁止通航,并设置预警机制对干井子滑坡进行全面管控。

干井子滑坡区内居民进行撤离后,滑坡威胁对象主要为下方的长江航道。在治理工程设计阶段,治理设计的目标为避免滑坡大规模下滑引起涌浪,威胁长江航道的安全。针对该防治目标,引入了风险管控的滑坡治理工程设计新理念。

干井子滑坡应急抢险设计过程中,改变传统的以达到安全储备为最终目标的思想,始终以避免滑坡大规模下滑造成涌浪灾害对长江航道通航造成威胁为目标,在应急抢险工程设计中引进风险管控理念,对干井子滑坡进行风险管控,最终实现应急抢险目标。

设计单位提出干井子滑坡防治工程设计方案“削方减载+锚拉桩支挡+排水工程”^[6]:滑坡后缘削方减载,减少滑坡次级滑动体量,提高滑坡稳定性,削方减载土石方约 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$;在滑坡前缘强变形区设置截面 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 锚拉桩 16 根,避免强变形大规模下滑,引起滑坡整体滑动;滑坡外围设置截排水沟,加强排水,提高滑坡稳定性。通过综合治理措施,提高滑坡稳定性,避免了滑坡大规模滑动,对长江航道造成威胁,工程总投资概算约 2200 万。治理工程剖面布置图见图 2,平面布置图见图 3。

3.5 对比分析

3.5.1 以安全储备为目标的滑坡常规治理设计

干井子滑坡为三峡库区地质灾害点。根据《三峡库区地质灾害防治工程设计技术要求》(三峡库区地质灾害防治工作指挥部,2012 年 7 月),防治工程等级为 I 级,设计最小安全系数为 1.2。

干井子滑坡纵长约 440 m,横宽约 220 m,面积

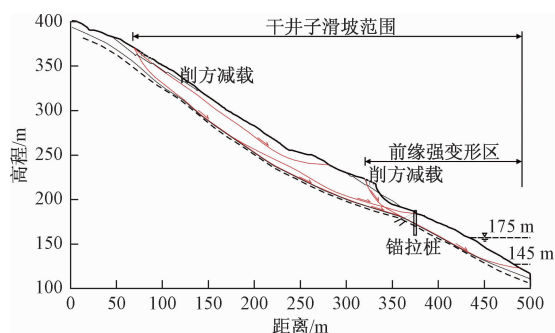


图 2 治理工程典型剖面布置图(风险管控处置)

Fig. 2 Typical profile layout of regulation project (risk control disposal)

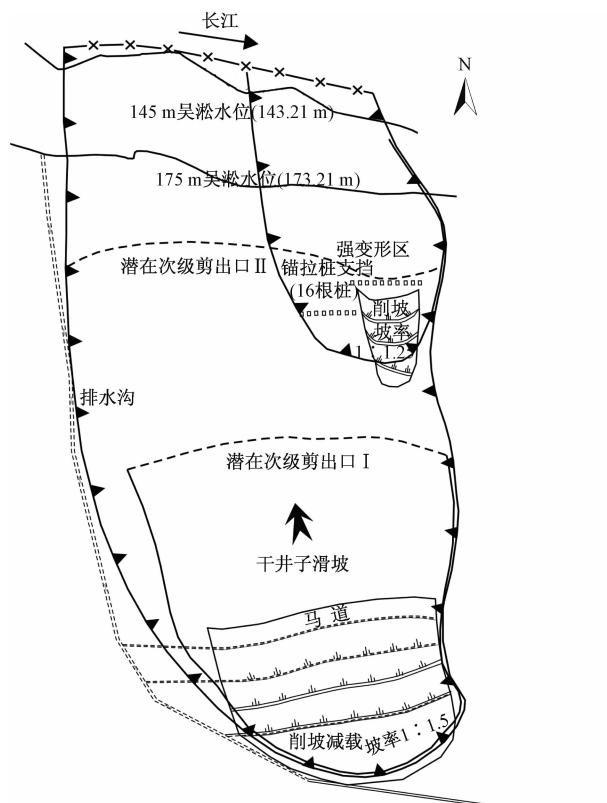


图 3 治理工程平面布置图(风险管控处置)

Fig. 3 Regulation project layout (risk control disposal)

$9.68 \times 10^4 \text{ m}^2$,厚度 20 ~ 25 m,滑体厚度大,滑面陡,滑坡范围广等因素导致干井子滑坡治理难度大,工程投资高。

经设计单位初步估算,干井子滑坡按达到最小安全系数 1.2 为目标进行防治工程设计,需在滑坡后缘进行大规模的削方减载,结合滑坡前缘和中部设置两级锚拉桩支挡。削方减载土石方约 $60 \times 10^4 \text{ m}^3$,截面 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 锚拉桩需 57 根,工程总投资将达到 1.5 亿。治理工程剖面布置图见图 4,平面布置图见图 5。

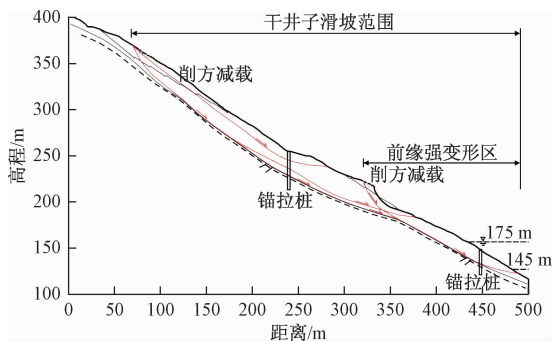


图 4 治理工程典型剖面布置图 (常规处置)
Fig. 4 Typical profile layout of regulation project
(routine treatment)

干井子滑坡治理工程,常规处置方法,按达到最小安全系数 1.2 为目标进行防治工程设计,通过采用削方减载和锚拉桩等手段,在现行规范条件下,实现了对滑坡灾害的彻底治理,滑坡整体及右前部强变形区达到防治工程为 I 级的安全储备。但工程投资较大,且施工造成次生灾害可能性大,施工困难。

3.5.2 基于风险管控的治理工程设计

引用风险管控理念,以不造成大的涌浪威胁长江航道为目标进行防治工程设计,通过采用局部削方减载和锚拉桩等手段消除了滑坡对长江航道的威胁最终实现保证长江航道安全的最终目的(图 5)。滑坡按防治工程安全系数 1.1 进行治理设计,在滑坡后缘下滑段削方减载,在滑坡前缘设置支挡及周边设置排水工程,工程实施后,滑坡稳定性系数大于 1.1,滑坡将不会沿滑动面整体滑动;受到滑坡区地形影响,滑坡中部局部存在缓冲平台,滑坡后部局部滑塌及坡面零星滚石将不会滑入长江,不会对航道造成威胁。干井子滑坡右前部强变形区治理后,消除了强变形区滑动形成大的涌浪(表 2)对长江航道造成的威胁,虽未对强变形区进行全部治理,但引入

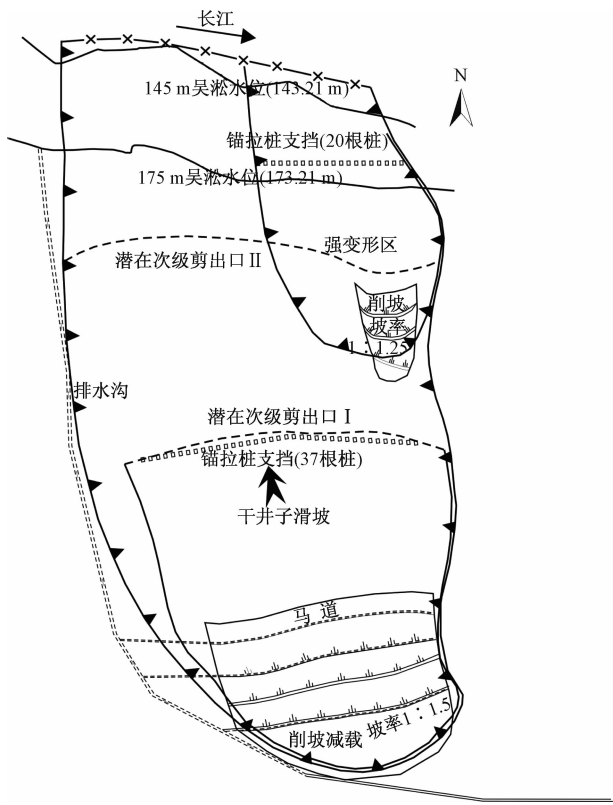


图 5 治理工程平面布置图 (常规处置)
Fig. 5 Regulation project layout (routine treatment)

风险管控理念治理后,治理工程量减小,工程投资降低,锚拉桩支挡前部未处理的坡体受长江水流影响发生塌岸滑动造成长江涌浪较小(浪高小于 0.5 m,见表 3),不会对长江航道形成威胁。通过风险管控,最终实现了应急抢险目标。

较传统的以安全储备为目标的滑坡常规处置,干井子滑坡防治工程引入风险管控理念后,不仅实现了保证长江航道安全的目标,又能够大幅度节约工程投资,在达到工程目的的基础上,实现治理效果与经济效益双赢。

表 2 干井子滑坡强变形区支挡前部塌岸滑动造成长江涌浪统计表

Table 2 Swell statistics caused by the sliding of strong deformation zone with retaining measures									
计算工况	滑坡的入水长度/m	滑坡的入水宽度/m	滑坡的入水厚度/m	滑坡的入水速度/(m/s)	滑坡入水处最大水深/m	滑动面倾角/(°)	滑坡入水断面的河道宽度/m	首浪高度	航道边界处(距入水处约 150 m)浪高
175 m 水位	110	85	4.65	5.34	120	29	532	3.19	0.46
145 m 水位	110	85	4.65	2.23	120	29	532	1.33	0.19

表 3 干井子滑坡强变形区滑动造成长江涌浪统计表

Table 3 Swell statistics caused by the sliding of strong deformation zone of Ganjingzi landslide									
计算工况	滑坡的入水长度/m	滑坡的入水宽度/m	滑坡的入水厚度/m	滑坡的入水速度/(m/s)	滑坡入水处最大水深/m	滑动面倾角/(°)	滑坡入水断面的河道宽度/m	首浪高度	航道边界处(距入水处约 150 m)浪高
175 m 水位	170	85	13	9.11	120	29	532	6.78	2.10
145 m 水位	170	85	13	6.22	120	29	532	4.63	1.51

4 结 语

风险管控理念以实现防治工程目标为目的,对工程中出现的风险进行控制,具体问题具体分析,有利于实现经济最大化,无论在滑坡前期应急处置,还是后期综合治理,均具有可操作性,符合目前滑坡防治工程的发展需求,为今后滑坡防治工程新的研究方向。

参考文献:

- [1] 曾华, 耿海波, 栗昊. 工程项目风险管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
ZENG Hua, GENG Haibo, LI Hao. Engineering project risk management [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2013.
- [2] 三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区地质灾害防治工程勘察技术要求[S]. 2012.
Work Headquarters of Geological Hazard Prevention and Control in the Three Gorges Reservoir. Engineering geological exploration technical requirements of geological disaster prevention in the Three Gorges Reservoir[S]. 2012.
- [3] 三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区地质灾害防治工程设计技术要求[S]. 2012.
Work Headquarters of Geological Hazard Prevention and Control in the Three Gorges Reservoir. Engineering design technical requirements of geological disaster prevention in the Three Gorges Reservoir[S]. 2012.
- [4] 单玉香, 鄂健, 黄敬军, 等. 江苏省突发地质灾害气象风险预警模型优化与应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(1): 122 - 126.
SHAN Yuxiang, E Jian, HUANG Jingjun, et al. The optimization and application about the weather risk early-warning model of abrupt geological hazards in Jiangsu province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26 (1): 122 - 126.
- [5] 重庆市地质灾害防治工程勘察设计院. 重庆市巫山县巫峡镇干井子滑坡应急抢险勘查报告[R]. 2015.
Geological Disaster Prevention of Engineering Exploration and Design in Chongqing Municipality. Emergency rescuing geological investigation report of Ganjingzi landslide in Wushan county[R]. 2015.
- [6] 重庆市地质灾害防治工程勘察设计院原重庆市三峡库区地质灾害应急抢险治理项目巫山县巫峡镇干井子滑坡治理工程初步设计[R]. 2015.
Geological Disaster Prevention of Engineering Exploration and Design in Chongqing Municipality. Geological disaster prevention and governance project during emergency rescuing in the Three Gorges Reservoir area: Governance project preliminary design report of Ganjingzi landslide in Wushan County [R]. 2015.

关于为《中国地质灾害与防治学报》征集照片的启事

为了使本刊论文内容更加形象、生动,便于读者清晰地识别地质灾害的各种地质作用及现象,反映治理措施及治后效果,我刊每期另附彩版照片。凡为彩版或封面提供照片者,每版应附 100 ~ 500 字说明,每张照片也应有相应说明。为保证出版效果,请提供原照片;若用数码相机拍摄,请采用 200 万像素以上的模式拍照。照片的分辨率应在 1600 × 1200dpi 以上(Fine 或 High 模式);如照片文件为扫描版,请采用 600dpi 以上的设置扫描。如用电子邮件发送,请提供照片的原电子文档 JPG 格式(勿自行用 Photoshop 或 ACDsee 等软件处理),以保证照片的清晰度。另请提供 1 份 Word 文档,但其仅供排版时参考,不能作为印刷、排版的原始稿件。提供的照片采用刊登后,付稿酬。欢迎各地、各界同仁踊跃选送各种典型照片(含国外照片)。

感谢您的支持与合作!

本刊网址: www.zgdzzhyfzxb.com; <http://zgdzzhyfz.paperopen.com>

电子信箱: nitx@mail.cigem.gov.cn zhaoh@mail.cigem.gov.cn

《中国地质灾害与防治学报》编辑部