

贵州省贵定县定东小学滑坡形成机制

史文兵^{1,2}, 黄润秋¹, 左双英², 梁 风²

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,
四川 成都 610059; 2. 贵州大学 资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘 要: [目的] 贵州省贵定县定东小学滑坡发生后,造成学校食堂、住宿楼地面、墙体出现开裂,直接威胁学校建筑物及附近民房、道路安全,迫切需要查明其形成的机制,为滑坡工程治理提供可靠的依据。[方法] 采用了钻探、浅井、高密度电法等手段和方法调查了滑坡体结构和变形特征,并用 Adina 软件分析了滑坡在自然和暴雨情况下应力应变场和变形破坏特征。[结果] 人工填土和降雨是滑坡形成的主要原因,滑坡破坏模式为蠕滑拉裂型。特殊的地形地貌和低压实度填方是导致滑坡最主要的内因,而长时间的降雨入渗是外因。[结论] 不合理的人工填土是滑坡发生的直接原因,滑坡会沿填土与黏土层交界面处发生滑动。

关键词: 人工填土; 滑坡; 形成机制; ADINA

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0287-04

中图分类号: P642.22

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.052

Landslide Formation Mechanism at Dingdong Primary School of Guiding County in Guizhou Province

SHI Wenbing^{1,2}, HUANG Runqiu¹, ZUO Shuangying², LIANG Feng²

(1. *The National Key Laboratory of Geological Hazard Prevention & Geological Environment Protection in Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;*

2. *Resource and Environmental Engineering Department, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550003, China*)

Abstract: [Objective] A landslide occurred at Dingdong Primary School which is located in the southeast area of Guiding County in Guizhou Province. The canteen, accommodation, the ground floor and wall of Dingdong Primary School were cracked. The landslide is a direct threat to the safety of school building, the nearby houses and road, so it is necessary to find out the mechanism of its occurrence, and to provide a scientific basis for landslide treatment. [Methods] The methods such as drilling, well, high density resistivity were used to investigate the structure and deformation characteristics of the landslide, combining with geological and environmental conditions, and the formation mechanism of the landslide are studied. At the same time, the stress-strain field and deformation failure features of the landslide is analyzed by means of Adina software under conditions of the nature and rainstorm. [Results] The artificial fill and rainfall is the main reason for the formation of the landslide and the landslide failure mode belongs to creep-crack type. The special topography and low compaction degree filling is internal cause of landslide, and longtime rainfall infiltration is external cause. [Conclusion] Unreasonable artificial fill is the direct reason of the landslide, and landslide could slide along the interface between filling and clay layer.

Keywords: artificial fill; landslide; formation mechanism; ADINA

由于工程建设的需要,工程需要进行人工填土, 其他大型堆载工程,若不充分重视和及时采取对策, 如高速公路路堤、水利工程堤坝、铁路路堤的填筑和 往往会引发边坡失稳甚至滑坡灾害等重大工程事故,

收稿日期:2013-12-17

修回日期:2014-01-07

资助项目:贵州省国土资源厅项目“贵州省地质灾害监测预警与决策支持平台建设”(黔财[2010]464号);贵州省科技厅重大专项“贵州典型地质灾害成灾模式及预警预报关键技术研究”(黔科合重大专项字[2011]6004);贵州大学青年基金项目“岩溶山区公路边坡变形破坏模式及治理对策研究”项目(2007045)

第一作者:史文兵(1980—),男(汉族),安徽省枞阳县人,博士研究生,讲师,研究方向为地质灾害评价与治理。E-mail:wbshi2007@163.com。
通信作者:黄润秋(1963—),男(汉族),贵州省黄平县人,博士,教授,主要从事工程地质和岩土工程方面的教学与研究工作。E-mail:hrq@cduet.edu.cn。

国内在这方面也有一些深刻教训^[1-4]。山区尤其是西南地区因其特殊的岩土类型、气候条件和复杂的地形地貌构成了其特殊的建筑环境条件,长期以来建筑用地非常紧张,为解决人口居住问题,不得不在斜坡上进行各种工程建设和房屋开发,这势必带来了边坡岩土体稳定问题^[5-6]。本文以贵州省贵定县定东小学滑坡为例,在对钻孔、地形及高密度电法等资料总结的基础上,分析滑坡形成的机制,为下一步进行滑坡工程治理提供了可靠的依据,也为未来同类型的填土工程在避免地质灾害方面提供借鉴。

贵定县定东小学滑坡位于定东乡农庄村龙田组,定东小学共有 2 栋教学楼及 1 栋学生宿舍楼,该小学修建于陡立斜坡之间的缓坡平台上,于 2012 年建成并投入使用,定东小学共有师生 121 人,滑坡影响区内居民有 137 户 541 人。2013 年 9 月 19 日 22 时,定东乡农庄村龙田组居民房屋、定东小学食堂、住宿楼地面以及墙体多处出现平行裂缝,通过监测且呈不断加大变化趋势,滑坡隐患直接造成定东小学食堂、学生住宿楼、操场以及 4 户民房开裂,受损严重,迫切需要查明原因并提出有效治理措施。

1 滑坡地质环境条件

1.1 地形地貌

滑坡区定东小学位于较陡斜坡上,依山而建,原为黔桂铁路老线的龙田车站职工生活区,后因铁路改线,将部分区域填平修建成操场,定东小学教学楼和宿舍楼修建于操场填方区上方的缓坡平台上,操场填方区前的铁路高路基改为当地村民车辆通行的公路。

研究区最高点位于滑坡南侧山顶,高程为 1 182.39 m,最低点为流经研究区内的关坝河,高程为 1 028.76 m,高程相差近 154 m。定东小学位于滑坡区的南侧,滑体总体地貌为一个北低南高的单面长斜坡地貌。剖面形态呈前缓后陡的折线形,滑坡体后缘坡体较陡,1 079 m 高程以上平均坡角约为 38°,滑坡体前缘地形减缓,坡角约为 22°。

1.2 地层岩性

滑坡区岩土层复杂,在非填方区主要由第四系的耕作土、黏土及志留系中统翁项组(S_2w)基岩组成,而在填方区还需加上表层的填土。根据钻探资料揭示,填土(Q^{ml})厚度一般为 4.7~6.4 m,黄褐色,主要由黏土夹碎石构成,结构松散,堆积时间约 2 个月至 1 a,耕土(Q^{pd})及残坡积黏土(Q^{el+dl})层,呈可塑—硬塑状,沿地形厚薄不均,定东小学区域内厚度为 1.7~5 m,含有少量碎石,约占 10%。

滑坡区基岩(S_2w)为志留系中统翁项组深灰色

粉砂岩及泥质灰岩夹页岩,属硬质夹软质岩类工程地质岩组,遇水易软化。受岩体构造影响,节理裂隙发育,岩体完整性为较破碎,岩体基本质量等级为 IV 级,岩层产状平缓,倾向 300°~330°,倾角 8°~12°。强风化层厚度一般为 0.6~6 m,部分地段缺失,以下为中风化层。

1.3 地质构造及地震

区内有一条走向近东西的正断层,倾角 80°左右,断距约 100 m。根据《中国地震动参数区划图》,研究区地震动峰值加速度为 0.05 g,地反应谱特征周期为 0.35 s,相应地调查区地震基本烈度为 6 度,研究区整体稳定。

1.4 水文地质条件

滑坡区地下水类型可分为第四系松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙水。松散岩类孔隙水赋存于第四系(Q)松散岩类含水岩组滑坡填方、坡积、残积的黏土中;碎屑岩类裂隙水赋存于志留系中统翁项组(S_2w)深灰色粉砂岩及泥质灰岩夹页岩中,地下水总体上由北西向南东径流,最终排泄于地势低洼地带,汇入关坝河。据调查,研究区内填方区内以前有泉眼出露,但由于填方修筑覆盖了,填方区(铁路路基南侧)内原有一条自然水沟和路基排水涵洞,也因为弃土堆积和填土给掩埋了。

2 滑坡基本特征

2.1 滑坡规模及形态

滑坡区前缘为农田,有天然河流(关坝河)穿流而过,河流由西向东流,滑坡体位于冲沟南侧天然斜坡之上。滑坡体纵长约 275 m,横宽约 370 m,平均厚度为 8 m,体积 $8.14 \times 10^5 \text{ m}^3$,属于中型滑坡。滑坡体主滑方向 8°。整个滑坡平面呈“圈椅状”,滑体总体地貌为南高北低的单面长斜坡地貌。剖面形态呈前缓后陡的折线形。

滑坡前缘为流经区域内的关坝河,滑坡边界主要受地形控制,后缘以陡崖壁为界,两侧则以凹形地貌为界。

2.2 滑坡的结构特征

为查明滑坡发生的原因,在野外采取了钻探、浅井和高密度电法等方法调查了该滑坡的结构特征。

(1) 滑坡物质组成分区特征明显,其物质组成依次为人工填土、残坡积黏土夹碎块石、强风化泥质灰岩和粉砂岩及中风化泥质灰岩夹页岩,滑坡体厚 3~10 m,人工填土呈黄褐色,成份较复杂,主要由黏土夹碎石构成,结构松散;残坡积黏土裂隙较发育,土体结构块状为主,见风化残块,似层状分布,厚度约为

4.5~7.6 m;强风化泥质灰岩呈灰黄色,岩芯呈土状、砂状;中风化泥质灰岩呈灰黄—灰绿色,节理裂隙发育,层面见泥质充填,岩芯呈块状。

(2) 滑坡后缘小学教学楼附近开挖的 5 m 深浅井揭示:在未填方区,表层有 30 cm 厚的耕作土。其下(0.3~3.7 m)为黏土,黄色、硬塑,含有少量块石,棱角分明。底部(3.7~5.0 m)为粉质黏土,软塑状,含有少量强风化块石,为冲积形成,浅井底部可见渗水,井壁四周湿润。

(3) 为了直观了解滑坡体纵向上物质结构组成,该次野外采用 E60 DN 高密度电法仪沿滑坡体纵剖面方向上布置了测线,测线长 92 m(共用 24 根电极),根据物探测试结果分析得知,滑坡体呈现明显的分带性,从上到下依次为填土层、残坡积土层、强风化基岩层和微风化基岩层,操场下部填土厚度不均,靠近教学楼侧较薄,厚 2.5 m,前缘靠近铁路路基较厚,厚 8 m。残坡积土黏土在教学楼底部较厚约 5.5 m,其余区域厚约 2.5 m,强风化层厚度较为均匀,平均约 2.0 m。

(4) 滑坡钻探和高密度电法勘探过程中未直接探测到滑动面具体位置,说明目前滑坡变形主要以浅表层蠕变为主,覆盖层内尚未有贯通性的深部滑面存在,滑坡变形属于蠕滑—拉裂型^[7-9]。

3 滑坡变形特征

根据现场调查,滑坡可见变形破坏的迹象,主要表现在地面拉裂、围墙拉裂,房屋开裂等现象。该滑坡在近期降雨作用下,目前变形特征较为明显。在滑坡前缘的小学操场区,出现数条与滑坡方向垂直的张拉裂缝,走向 60°~90°,长 20~100 m 不等,张开宽度 10~30 cm 不等,裂缝间可见灰黄色填土层。滑坡后缘宿舍楼北侧外墙地面也有多条裂缝,裂缝张开宽度 7~30 cm,上下错动在 5~20 cm。裂缝走向大致与滑动方向垂直,局部有上下错动,延伸长度长且裂缝持续在贯通。由于降雨的作用,变形区裂缝在勘查工作期间仍在进一步发展发育。整体上,滑体内发生的地面变形裂缝的走向以近似垂直坡面方向为主。

4 ADINA 有限元数值模拟

4.1 计算工况

基于上述地质勘察和滑坡成因机制分析,坡面因为填土可能存在潜在滑动面,同时由于填土孔隙率较大,在雨季充水饱和,在极端天气条件下可能会造成大规模深层滑塌。因此,主要考虑 4 种计算工况^[10-11]:(1) 原始边坡自然工况。(2) 原始边坡暴雨

工况。(3) 回填边坡自然工况。(4) 回填边坡暴雨工况。计算中自然工况按自重应力考虑,暴雨工况中的水压力以 ADINA 软件中提供的侧向体积力的方式施加。

4.2 计算参数的选取

根据室内土工和岩石物理力学试验,结合工程类比法,综合确定边坡介质在天然及暴雨状态下的物理力学参数见表 1。

表 1 岩土体物理力学参数

指标名称	填土	残坡积土	强风化岩	中风化岩	
变形模量/MPa	5.00	55	900	3 580	
泊松比	0.45	0.35	0.30	0.27	
重度/ (kN·m ⁻³)	天然状态	18.51	18.6	23.8	26.3
	暴雨状态	19.72	19.2	24.3	26.8
黏聚力/kPa	天然状态	5	50	630	1 000
	暴雨状态	0	35	220	600
内摩擦角/(°)	天然状态	18	15	36	42
	暴雨状态	13	10	34	40
抗拉强度/kPa	天然状态	8	12	300	700
	暴雨状态	0	8	60	450

4.3 Adina 有限元模拟结果分析

为了分析填土边坡变形破坏机理,采用 ADINA 有限元软件建立了二维模型,采用强度折减法对该边坡回填前及回填后的各工况的稳定系数进行了计算分析,给出了填方边坡在暴雨工况下的应力、位移、塑性区分布规律,并据此给出了评价。

(1) 各种工况下的稳定系数。各工况下剖面的稳定系数计算结果见表 2。计算结果表明,原始边坡在天然和暴雨工况下均处于稳定状态,甚至在火车的振动荷载作用下路基也没有产生任何问题;而在路堤靠山坡内侧回填后,天然和暴雨状态分别处于欠稳定和不稳定状态。计算结果与滑坡稳定性定性判定相符合。

表 2 滑坡稳定性系数计算结果

工况	原始边坡		填方边坡	
	自然状态	暴雨状态	自然状态	暴雨状态
稳定系数	1.56	1.25	1.17	0.96
滑带位置	土岩界面	土岩界面	填土与坡积土界面	填土与坡积土界面

(2) 填方边坡暴雨状态有限元分析结果(折减系数 $F_s=0.96$)。当折减系数 $F_s \leq 0.96$ 时,有限元计算可以收敛,否则达不到收敛条件,因此,该边坡在暴

雨状态下的稳定系数为 0.96。此时,该边坡的应力、位移、剪应变和塑性区分布详见附图 25—28。

边坡第 1 主应力主要表现为 y 方向,随着深度的增加而逐渐增加,在坡面上局部位置出现了拉应力(附图 25);第 3 主应力全部表现为压应力,受地形影响呈层状分布(附图 26)。最大拉应力值为 78.98 kPa,最大的压应力为 1.16 MPa。

从 Y 方向的位移分布(附图 27)可以看出,在边坡填土层与残坡积土分界面附近位移错动不连续,说明容易发生沿界面的滑移。最大 Y 方向位移发生在填方距路基约 $1/3$ 的位置,此处填方最厚,最大水平位移约为 3.5 cm。

边坡最大剪应变发生在填土层与残坡积土分界面处,从填方顶部一直延伸到坡脚,基本全线贯穿(附图 28),说明该条带为潜在滑动带,同时在剪切带后缘存在少量的拉裂区,说明该滑坡属于蠕滑拉裂型。

5 滑坡形成机制

上述滑坡的变形破坏特征表明,定东小学滑坡的形成,主要受人工填土性质和降雨因素的影响。

(1) 定东小学操场人工填土采用夹有碎块石的残坡积黏土。根据调查,该最大厚度达 8 m 的人工填土,几乎没有碾压,压实度较低,处于松散状态,导致渗透性较高,利于坡体内的渗流发展;另外,松散土,在接近饱和状态时,由于受到增长的空隙水压力限制而导致松散填土发生静态液化,松散填土将向坡下运动。可见,填土压实度较低是导致定东小学滑坡的重要内因。此外,由于人工填土将原有雨水排泄通道毁坏和掩埋,导致水在填土体内聚集,增大孔隙水压力,也不利于坡体稳定。大量的人工填土加载于原有坡体,也会诱发原坡体的不稳定,可以预见如果任其继续变形,会引起定东小学坡体内深层滑动。

(2) 降雨通过人工填土边坡坡面进入土体,使得操场下面一定深度范围内土体湿润或饱和,从而降低了填土强度;另外在水的作用下滑带岩土体软化或泥化,物理力学参数降低,坡体稳定性降低,滑坡体表面就会出现蠕滑—拉裂变形迹象,在坡体上出现连续分布的地裂缝。滑坡体整体位于斜坡体前缘,后缘地下水下渗会流经滑坡体内,由于人工填土的阻隔,大量的地下水会聚集于滑坡体内部,下渗不畅,也会不利于滑坡的稳定。

由此判定,该滑坡为蠕滑—拉裂型变形破坏模式,属于浅表层滑动,还未达到深层滑动(原黏土层沿基岩滑动),滑动面为人工填土与原黏土层交界处。

6 结论

(1) 采用钻探、浅井、高密度电法等方法调查了滑坡体结构和变形特征,采用 ADINA 有限元方法进行了数值模拟,分析了滑坡形成机制。

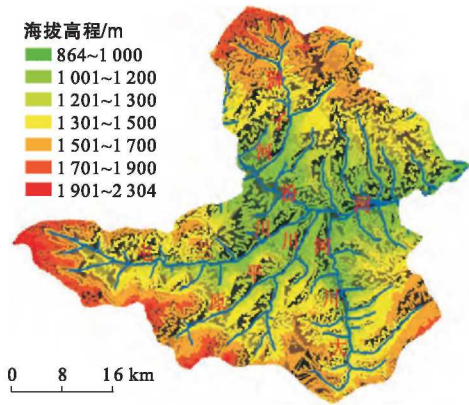
(2) 野外调查及有限元结果分析表明,定东小学滑坡是由于人工填土和降雨共同作用下引发的,其独特的地形地貌和低压实度是导致滑坡最主要的内因,而长时间的降雨入渗则是外因。

(3) 山区的工程建设,常常需要大挖大填,为此,需要提醒相关建设者,在工程建设前,必须做好填土区适宜性评估,才能预防类似的地质灾害发生。

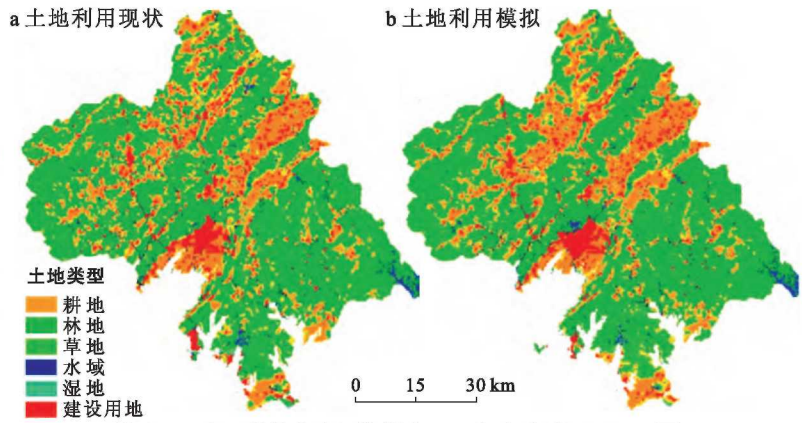
致谢:本文得到了贵州省地矿局 104 地质大队罗康生副队长和吴治明总工的帮助,特此致谢。

[参 考 文 献]

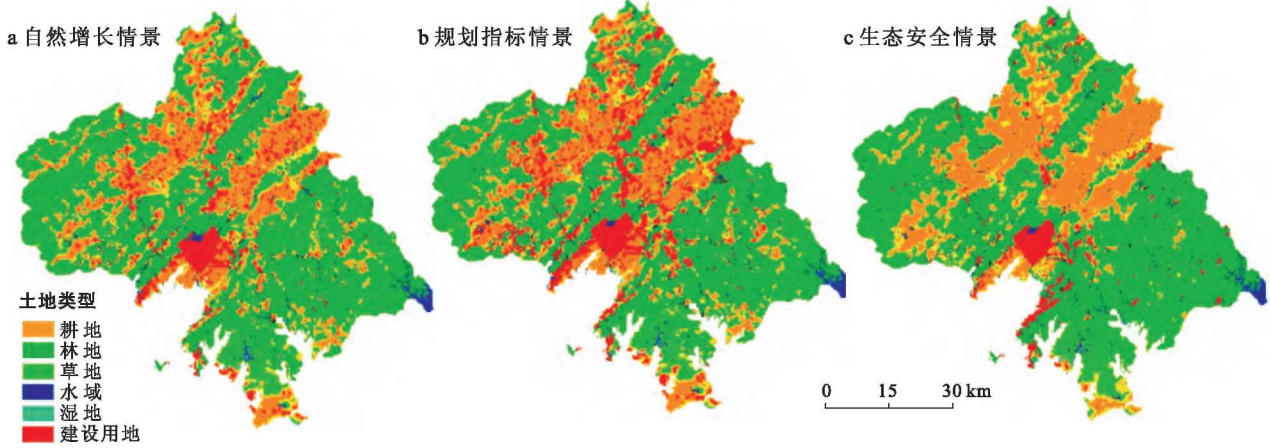
- [1] 梁茂田,年廷凯. 1976 年香港秀茂坪人工填土边坡滑坡灾害评析[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(1): 114-117.
- [2] 应宏伟,潘秋元. 某大型填土工程滑坡机理分析与治理[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 198-201.
- [3] 赵春宏,戴福初. 深圳某填土滑坡破坏机理研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(2): 1-8.
- [4] 蒋忠信. 某山区机场倾斜基底高填方滑坡与防治[J]. 岩土工程技术, 2003, 16(1): 16-18.
- [5] 彭元生. 由弃土引发的某复合型滑坡的特性分析与治理[J]. 岩土工程界, 2007, 10(3): 49-51.
- [6] 张悼元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [7] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [8] 郑书彦,李喜安. 黄土滑坡稳定性及其整治对策研究:以明圣宫滑坡为例[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 25-27.
- [9] 黄润秋,许强. 中国典型灾难性滑坡[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [10] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0218—2006 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [11] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0219—2006 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.



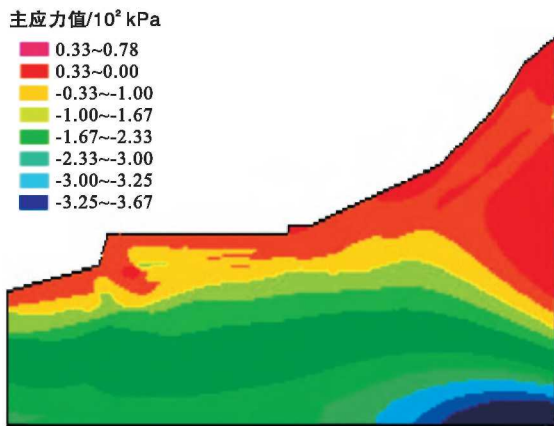
附图22 山西省古交市水系与地形图(275页)



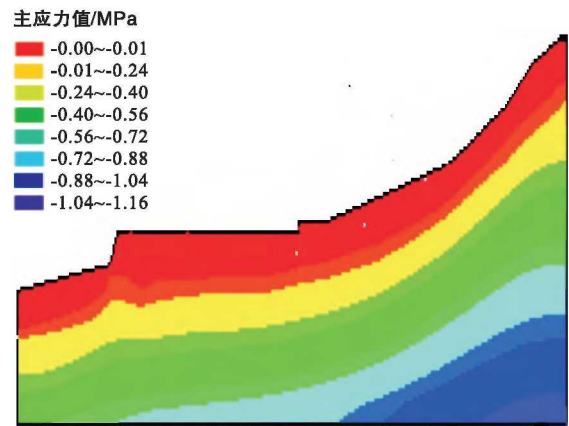
附图23 广西壮族自治区钦州市2010年土地利用图(284页)



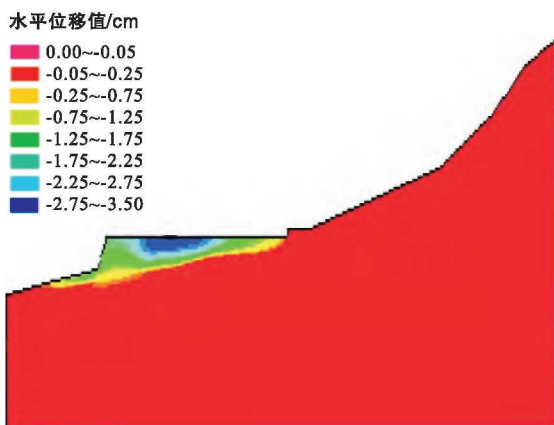
附图24 广西壮族自治区钦州市2020年不同情景模拟图(285页)



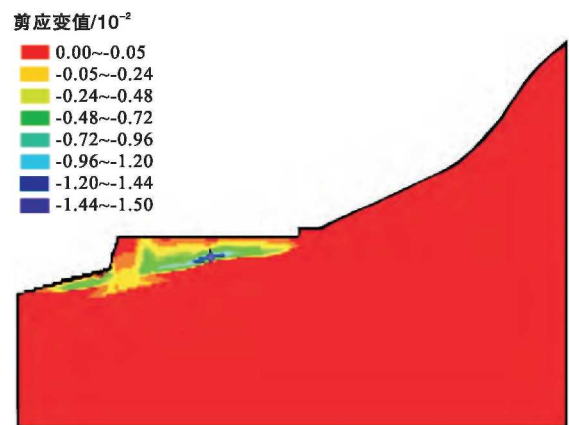
附图25 滑坡主剖面第1主应力分布图(暴雨,290页)



附图26 滑坡主剖面第3主应力分布图(暴雨,290页)



附图27 滑坡主剖面Y方向位移分布(暴雨,290页)



附图28 滑坡主剖面剪应变云图(暴雨,290页)