【文章编号】: 1672 - 4011(2006)04 - 0232 - 04

广西南宁市第三系膨胀岩土分布区地质灾害发育特征

磨英飞[1],李　轶[2],劳　伟[2]
(1. 广西地质环境监测站,南宁 530003; 2. 广西大学,南宁 530004)

【摘　要】:在南宁市第三系膨胀岩土分布区,近年来人类工程活动引发的地质灾害频繁,为了减轻和防治地质灾害,对该区地质灾害现状进行了调查分析研究,阐述地质灾害的发育特征及成因,并提出防治措施和建议。

【关键词】:膨胀性;地质灾害;成因;防治措施
【中图分类号】: TU47　　【文献标识码】: B

1　前　言

近年来南宁市第三系膨胀岩土分布区成为城市重点开发地区,而该区因人类工程活动引发的地质灾害频繁。据统计,从 1990年以来本区发生地质灾害 37起,直接经济损失约 610.75万元,成为南宁市地质灾害发生率最高、经济损失最严重的地区。

2　地质环境概况

2.1　地形地貌

南宁市第三系膨胀岩土分布区主要分布在南宁盆地东部及南部(见图 1),属剥蚀 - 堆积成因的低缓丘陵地貌。丘陵呈垄状、馒头状,主要有垄状低丘区、垄状高丘区,丘陵地面标高 90 m～150 m,相对高差 10 m～40 m,局部地段分布有邕江高阶地。

2.2　地质条件

丘陵上覆第四系残坡积粘性土,局部丘陵顶部覆盖第四系冲积成因粘性土、圆砾。下伏第三系地层自上而下依次为:

北湖组(E_3b):中 - 厚层泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩夹少量钙质泥岩。

里彩组(E_3l):中 - 厚层砂岩、石英砂岩夹泥岩、粉砂质泥岩,泥岩、粉砂质泥岩夹层厚度薄。

南湖组($E_{2-3}n$):厚层泥岩、砂质泥岩、钙质泥岩夹泥质粉砂岩、粉砂岩。

古亭组($E_{2-3}g$):厚层石英砂岩、细砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩、泥岩,粉砂质泥岩、泥岩夹层厚度较薄。

凤凰山组($E_{2-3}f$):以厚层细砂岩、粉砂岩为主,局部为厚层状泥岩、粉砂质泥岩。

瓦窑村组($E_{1-2}w$):厚层细砂岩、粉砂岩、钙质砂岩、钙质泥岩、泥灰岩、砾岩。

南宁市第三系岩性以湖相沉积的泥岩、粉砂岩为主,半成岩,属软质岩,岩石天然抗压强度 4.32～11.77Mpa^{-1},软化系数 0.19～0.29。泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩含有大量亲水矿物,矿物成分以高岭石为主,石英次之,少量伊利石、蒙脱石,具有膨胀性,由于各组地层岩性存在差异,其膨胀性差别较大。

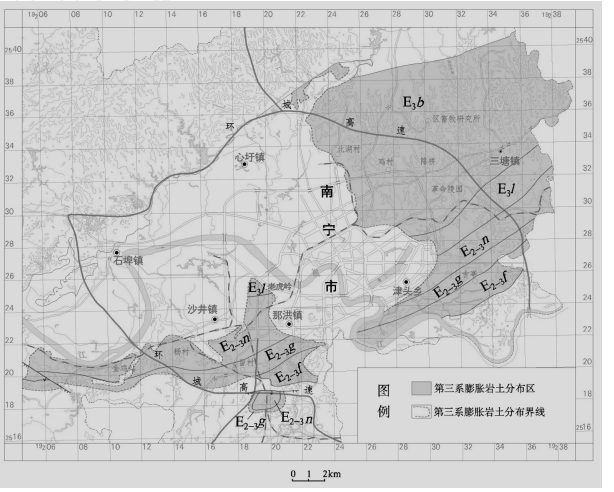


图 1　南宁盆地第三系膨胀岩土分布简图

膨胀土的判别主要根据国标《膨胀土地区建筑技术规程》(GBJ112 - 87)和《广西膨胀土地区工业与民用建筑勘察、设计、施工和维护条例》的分类判别和分级指标进行判定和分级。

根据 GBJ112 - 87第 2.3.2条及表 1判定岩土的膨胀性及膨胀潜势。

表 1　岩土体膨胀性指标表

分类名称		分级标准 δ_{ef}
非膨胀性		δ_{ef} < 40% 4
膨胀性		δ_{ef}≥40% 4
膨胀潜势	弱	40% ≤δ_{ef}≤65%
	中	65% ≤δ_{ef}≤90%
	强	δ_{ef}≥90%

根据《广西膨胀土地区工业与民用建筑勘察、设计、施工和维护条例》判别和分级,第三系膨胀岩土中,粘土质岩及其风化形成的粘土为Ⅰ1亚类;粉砂质粘土岩及其风化形成的粉质粘土为Ⅰ2亚类。各类膨胀土的判别指标界限值见表 2,膨胀土的胀缩等级划分见表 3。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　第三系膨胀岩土判别指标界限值

土　类	自由膨胀率 δef(%)	液限 WL (%)
I_1	>47	>46
I_2	>41	>29

注:判别时如有一项指标不满足,则判为非膨胀土。

表 3　膨胀土胀缩性等级划分表

胀缩等级 \ 胀缩指标	胀缩总率 eps(%)	膨胀率 ep0.5(%)
强　的	>4.5	>0.7
中等的	2.5～4.5	0.0～0.7
弱　的	1.0～2.5	0.0～0.7

注:确定等级时,要两个指标同时满足表中规定,如有一个指标符合较高等级,一个符合较低等级,则判属低级别。

另外,岩土体液限、自由膨胀率指标值低于膨胀性判别指标,而胀缩性等级指标已达到膨胀性指标,根据实地情况,发育有膨胀岩土胀缩变形而产生了地面开裂,也判定为膨胀岩土。

多年来,各建设单位对第三系岩土进行了大量的膨胀性测试,为本次统计提供了大量的基础资料,经统计分析,综合比较各组膨胀性 (见表 4),北湖组、南湖组、古亭组膨胀等级中等～强,以强为主;里彩组弱～中等,以中等为主,凤凰山组弱～中等,以弱为主。从岩性分析,泥岩及其风化形成的残坡积粘土为中等～强膨胀土,以强为主;粉砂质泥岩及其风化形成的残坡积粘土为中等～强膨胀土,以中等为主;泥质粉砂岩为弱膨胀土,局部达中等级。

表 4　第三系岩土体膨胀性指标表

岩层 \ 性质		样数	液限 (%)	自由膨胀率 (%)	膨胀率 $E_{p0.5}$ (%)	胀缩总率 E_{ps} (%)	膨　胀　等　级
北湖组 (E_3b)	最大值	23	53.1	78	4.07	8.88	中等～强,以强为主,23个样中强级占 52.2%,中等级 47.8%。
	最小值	23	21.0	28.1	0.34	2.40	
	均 值	23	31.1	41.9	1.18	4.53	
里彩组 (E_3l)	最大值	7	71.0	65	0.22	8.65	弱～中等,以中等为主,7个样中中等级 71.4%,弱级占 28.6%。
	最小值	7	26.4	21	0.00	1.30	
	均　值	7	39.5	42.4	0.09	4.48	
南湖组 ($E_{2-3}n$)	最大值	7	55.5	61.89	1.77	8.27	中等～强,以强为主,7个样中强级占 57.1%,中等级 42.9%。
	最小值	7	30.2	30	0.21	3.15	
	均　值	7	43.4	48.0	0.97	5.57	
古亭组 ($E_{2-3}g$)	最大值	9	48.0	57.8	2.39	7.29	中等～强,以强为主,9个样中强级占 77.8%,中等级 22.2%。
	最小值	9	37.2	35.16	0.25	2.61	
	均　值	9	41.2	46.6	1.29	5.30	
凤凰山组 ($E_{2-3}f$)	最大值	7	48.0	43	0.73	5.25	弱～中等,以弱为主,7个样中弱级占 57.1%,中等级 42.9%。
	最小值	7	29.4	26	0.00	1.75	
	均　值	7	37.46	32.7	0.29	2.85	

3　基本现状

本区现状地质灾害 (包括隐患点)发育 57处,类型主要有:滑坡、崩塌、膨胀岩土胀缩变形、不稳定斜坡等,其中滑坡 32处,崩塌 9处,膨胀岩土膨胀变形 8处,不稳定斜坡 8处。地质灾害以滑坡为主,规模以中小型为主,体积在 10×10^4 m^3以下,个别达 100×10^4 m^3,滑坡体物质组成有堆积层 (包括残坡积层、冲积层)滑坡、岩层滑坡、堆积 - 岩层滑坡。

4　地质灾害发育分布规律

4.1　空间分布

本区属低缓丘陵地貌,存在利于地质灾害发生发展的临空面,滑坡一般发生在坡度 10以上的丘陵边坡,边坡坡度越大,越容易发生地质灾害,坡度小于 10的边坡也发现有滑坡发生。人工边坡高度大于 5m就易发生滑坡、崩塌地质灾害。

本区地质灾害发育主要受地层岩性的控制。大部份滑坡发生在丘陵边坡上部第四系覆盖层,滑床面为岩土体接触面;一部分滑坡体还包括下伏第三系岩层,滑床为岩层中的强风化与中风化层面或粉细砂岩与泥岩层间接触面,经统计,本区 32处滑坡中土质滑坡占 65.6%,岩质滑坡占 34.4%。从地层分布上,滑坡主要分布在北湖组 (E_3b)、南湖组 ($E_{2-3}n$)、凤凰山组 ($E_{2-3}f$),这三组中泥岩、粉砂质泥岩岩层或夹层厚度较大;而里彩组 (E_3l)、古亭组 ($E_{2-3}g$)由于泥岩、粉砂质泥岩岩层或夹层厚度较薄,滑坡发育较少,各地层滑坡发育数量见表 2。滑坡主要发生在膨胀性中等至强的泥岩、粉砂质泥岩分布区,共发育 28处,而膨胀性弱的泥质粉砂岩才发育 4处。

表 5　滑坡发育与地层关系表

序号	地　层	数 量 (处)	比 例 (%)
1	E3b	13	40.6
2	E3l	4	12.5
3	E2 - 3n	5	15.6
4	E2 - 3g	2	6.3
5	E2 - 3f	8	25.0

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2 时间分布

地质灾害发育与大气降雨密切相关，并受近期人类工程活动影响强烈。

南宁市雨季为每年的 4～9月，而在 5～8月降雨呈连续降大雨或暴雨，降雨间隔天数短，一般连续降雨后间隔二三天又连续降雨，或每天有降雨，而 4、9月降大雨或暴雨一天或两天后间隔 7天至 10天才降雨，降雨间隔天数较长。调查统计：滑坡、崩塌发生的时间主要集中在 5～8月(见图 2)，且多集中在持续降大雨或暴雨中后期或暴雨过后两三天内，与南宁市降雨特征关系密切。本区发育的 32处滑坡中，1950年至 1989年发生的 6处，1990年至 2005年发生的 26处，与近年来人类在该区工程活动密切相关。

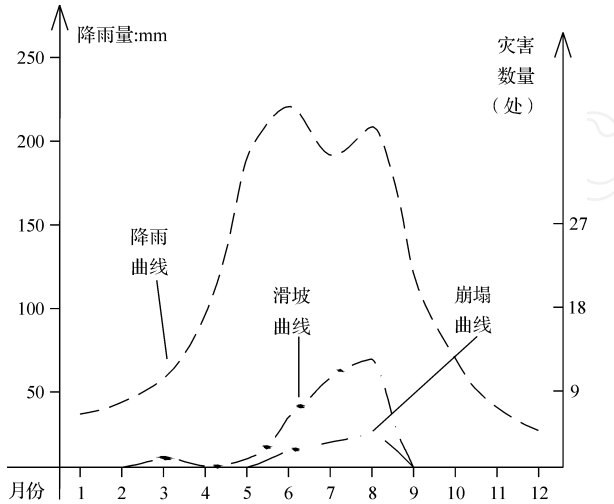


图 2 滑坡、崩塌与多年月平均降雨量关系图

5 成因分析

5.1 主要形成条件

地质灾害形成主要受地形地貌、地层岩性的控制。

5.1.1 地形地貌

地质灾害发育要存在临空面，本区属低缓丘陵，丘陵边坡天然坡度 10～25°，冲沟发育，存在有利于地质灾害发展的临空面。

5.1.2 地层岩性

地层岩性是地质灾害发生的主导因素。本区第三系膨胀岩为半成岩，属软质岩，力学强度较低，而滑坡主要发生在泥岩、粉砂质泥岩分布区中，滑床面多为岩土接触面或岩层面。本区丘陵上覆残坡积土体较松散，透水性强，层厚 5～15 m，而下伏泥岩属隔水层，降雨雨水入渗，地下水下渗至泥岩层面受阻后沿层面流动，泥岩吸水膨胀其抗剪强度明显降低，在泥岩层面形成软弱夹层，而且边坡土体含水量增加，重力增加，强度降低，边坡土体自然力学平衡状态被破坏，沿岩土接触的软弱夹层面滑动形成土质滑坡。岩质滑坡形成主要是因为人工切坡使边坡前缘临空，或因坡后加载，破坏了边坡的自然平衡状态，降雨入渗后，使边坡强风化岩石软化，力学强度降低，重量增加，沿强风化与中风化层面滑动，或因地层为泥岩、粉细砂岩互层，降雨入渗地下水沿粉砂岩层迳流，在泥岩层面膨胀性岩土吸水后力学强度下降后滑动，形成岩质滑坡。

南宁市第三系膨胀岩土由亲水性矿物质组成，具有膨胀性，吸水膨胀，失水收缩，膨胀岩土的力学强度受含水量影响，如含水量较低呈干硬状态，强度也较高，当含水量较高时强度明显降低，因此岩土的膨胀性与地质灾害有密切关系，主要表现为膨胀岩土含水量对抗剪强度的影响。天然状态下膨胀岩土处于不饱和状态，非饱和膨胀岩土的抗剪强度随含水量变化而变化，有关这方面的研究，前人已做了不少的研究工作，利用水分特征曲线来研究水分迁移对膨胀土的力学特性的影响，缪林昌等[2]提出了吸力对非饱和土强度的贡献观点，非饱和土强度随吸力变化而变化，吸力对膨胀土体的强度有较显著的影响，土体中的含水量不同对应的吸力就不同，含水量高吸力小，饱和状态时吸力为零，强度最低。因此天然状态下的膨胀岩土受降雨影响吸水后，强度明显降低，容易发生膨胀变形、滑坡、崩塌地质灾害，而干旱失水收缩含水量低，吸力大，抗剪强度较高，不容易滑坡、崩塌，因收缩产生地面开裂。

经统计，本区地层中北湖组 (E_3 b)、南湖组 (E_{2-3} n)、凤凰山组 (E_{2-3} f) 中泥岩、粉砂质泥岩岩层或夹层厚度较大，滑坡发生的频率高；里彩组 (E_3 l)、古亭组 (E_{2-3} g) 由于泥岩、粉砂质泥岩岩层或夹层厚度较薄，滑坡发育较少。膨胀性较强的泥岩、粉砂质泥岩分布区滑坡发生的频率高，共 28处，而膨胀性相对较弱的泥质粉砂岩分布区滑坡仅发生 4处。

5.2 主要诱发因素

5.2.1 人为因素

人类工程活动是本区滑坡、崩塌形成的主要诱发因素，从 1990年以来，人类工程活动诱发的滑坡 28处，占 87.5%，自然因素诱发的滑坡 4处，占 12.5%。人类工程活动引发地质灾害的形式主要有两种：

(1) 无严格治理措施的边坡开挖

城市建设开发对原地形地貌破坏严重，工程活动普遍存在大规模削坡、切坡，使边坡坡脚开挖临空，或形成高陡边坡，导致边坡岩体结构受到破坏，岩石被揭露风化，力学强度降低，且支档、护坡措施失当，使边坡的自然平衡状态遭到严重破坏，诱发滑坡、崩塌的形成和发生。如长湖路与快速环道交叉路口山体崩滑，于 2004年 9月 15日上午发生，主要是开挖边坡无支挡引起。因边坡开挖诱发的地质灾害 (包括隐患点) 占本区地质灾害总数的 57.89%。

(2) 不合理的人工堆填土

边坡开挖产生大量的废弃岩土方，在丘陵边坡、冲沟不合理地大规模堆填土，多形成松散的高填土边坡，雨季雨水入渗导致土体滑动形成滑坡。如凤岭沟口高陡填土边坡，在 2004年 7月暴雨时产生滑坡，使高压电杆倒塌，供电中断。在丘陵边坡大规模堆填土使边坡加载，引发边坡滑坡。如荣和山水美地北部滑坡，由于人为在山坡上大量堆土，并修建楼房，边坡加载，诱发了老滑坡重新活动。因堆填土诱发的地质灾害 (包括隐患点) 占本区地质灾害总数的 14.04%。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5.2.2 气象因素

(1) 降雨是诱发本区滑坡、崩塌形成的重要因素，本区滑坡、崩塌形成的时间主要集中在 5～8月，在持续大雨或暴雨中后期或暴雨过后两三天内，很容易发生滑坡、崩塌地质灾害。如新乌石铁路边坡滑坡、南宁凤凰食品厂滑坡、凤岭沟口填土边坡滑坡等都是暴雨时候发生的。

(2) 膨胀岩土具吸水膨胀失水收缩特性，与气象条件有密切关系，干旱季节膨胀岩土失水收缩开裂，呈杂乱无章展布，导致两层以下建筑物开裂。

6 防治措施及建议

6.1 防治措施

根据本区地质灾害类型、成因以及社会、经济发展状况，对不同的地质灾害类型，采用不同的工程治理措施。

防治滑坡、崩塌采用工程治理措施有：

开挖清除 ——将不稳的岩土体开挖清除。若滑坡体不大，厚度较薄，可以考虑进行开挖清除，但须注意的是边坡开挖后的其稳定性是否发生变化。

削坡减荷 ——滑坡体厚度较大，可以考虑适当挖去一部份，减轻滑体重力，使坡度变缓，提高其稳定性。

截排水 ——很多边坡在水的作用下易产生滑动，截排地表水和地下水，防止或减少地表水和地下水下渗，可以起到防滑作用。

支挡 ——在边坡下部或崩塌、滑坡前缘修筑支挡工程如挡土墙、抗滑桩等，提高滑体的抗滑力。

护坡 ——边坡坡面可以用砌石、喷射混凝土、栅格状结构进行护坡，或采用坡面植草种花护坡。

反压坡脚 ——在滑坡前部、前缘堆土加载，降低滑坡体滑力，提高其稳定性，同时消除滑坡前缘的临空面。此方法较适用于坡度较平缓的滑坡。

防治膨胀岩土胀缩变形可采用改土、换土、垫砂砾石等工程。

综合治理滑坡、崩塌，用单一的工程措施往往不是最佳方案，需采用几种措施进行综合整治。对于规模较大的滑坡、崩塌隐患点，需进行详细的工程勘察论证，才能有效治理，常见的工程治理措施有削坡、护坡、挡土墙、抗滑桩、坡脚反压、截排地表水等，一般采用多种措施结合进行综合治理。对于开挖较高的边坡，采用多台阶式边坡，并进行坡面护坡，坡脚设挡土墙或抗滑桩，在斜坡后缘修建截排水沟导排水。特别指出的是，由于本区岩土体具膨胀性，对边坡的设计及防护要求较高，对滑床面为岩土接触面的土质滑坡或较浅的岩质滑坡，稳定性计算时宜采用膨胀岩土饱和状态下的力学强度指标；对滑床面较深的岩质滑坡，在稳定性计算时应采用滑带土的物理力学指标。

经实地调查，铁路沿线边坡坡度多在 23～35°，坡脚修挡土墙，坡面多采用砂浆砌片石护坡，坡顶水泥铺面防渗处理及设截排水沟，效果较好，多年来边坡较稳定；其次在坡脚有效布设抗滑桩的边坡也稳定，效果较好；而近年来公路边坡如环城高速边坡坡度多在 24～27°，较高边坡采用多级台阶，其防护多采用坡脚修挡土墙，坡面棱形栅格护坡并种花草，坡顶水泥铺面防渗处理及设截排水沟，这种边坡设计和防治方法对坡面防渗效果较差，实际中尚未经过风化膨胀的考验，其防治效果尚无法对比，但在调查中有多处边坡坡脚产生膨胀、坡面的栅格内土体滑落、局部栅格开裂破坏等现象，这种防护方式对泥岩、粉砂质泥岩边坡效果相对较差。因此第三系泥岩边坡的设计防治应以小坡角、抗滑防风化膨胀为主，如坡脚修挡墙、抗滑桩，坡面砌石或喷射混凝土护坡防止岩体风化膨胀，坡顶截水防渗处理效果较好，抗滑桩费用较高，以挡土墙及坡面砌石或喷射混凝土护坡防较为经济，对边坡的防治以取得最佳效益为好。

6.2 建　议

地质灾害防治要采取“以防为主，防治结合”的方针，尽可能避免和减少地质灾害的发生，将损失和危害降低到最低限度，按照“谁诱发，谁治理，谁受益，谁投入”的原则，建立适应市场经济要求的治理地质灾害新机制。

对主要灾害隐患点，建立群测群防监测体系，汛期加强监测，发现险情及时提出处理对策，并制定好灾害发生时群众的撤离路线。

地质灾害防治应建立在充分可靠的地质研究基础上，以成灾条件为依据，地质结构为中心，采取的防治措施具有针对性、适宜性，使地质灾害防治收到最好的效果。

7 结　论

本文对南宁市第三系膨胀岩分布区地质灾害的分布、发育特征及成因进行了简要的分析，该区地质灾害发育受岩土物理力学性质控制，特别是岩土的膨胀性对地质灾害的影响强烈，而人类工程活动和降雨是地质灾害的主要诱发因素。因此，在城市建设中，应加强对地质灾害的防治，采取切实可行的防治措施，尽可能避免和减少地质灾害的发生。

多年来边坡防治经验，第三系泥岩边坡的设计防治应以小坡角、抗滑防风化膨胀为主，如坡脚修挡墙、设抗滑桩，坡面砌石或喷射混凝土护坡防止岩体风化膨胀，坡顶截水防渗处理效果较好。[D: 2631]

参 考 文 献

[1] 缪林昌. 非饱和膨胀土变形与强度特性研究 [D]. 南京：河海大学，1999.

[2] 缪林昌，殷宗泽，严明良. 膨胀土边坡稳定中的吸力预测 [J]. 水利学报，1998，(7)：46～49.

[3] 磨英飞，黄超海. 广西南宁市地质灾害调查与区划，内部资料. 2004

[4] 林孝松. 滑坡与降雨研究. 地质灾害与环境保护. 2001. 9 (3).

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net