

文章编号:1007-2993(2015)01-0001-04

南宁轨道交通一号线穿越膨胀岩区工程详勘探讨

黄钟晖¹ 唐迎春^{2,3} 杨磊¹

(1. 南宁轨道交通有限责任公司,广西南宁 530021;2. 广西大学土木建筑工程学院,广西南宁 530004;
3. 广西财经学院管理科学与工程学院,广西南宁 530003)

【摘要】 通过分析南宁盆地第三系泥岩工程地质及水文地质条件,并结合南宁轨道交通工程建设特点,探讨了 1 号线穿越膨胀岩区的岩土工程勘察方法、试验项目及相关注意事项。提出了南宁轨道交通穿越膨胀岩区详细勘察中对钻孔间距及封孔要求、现场描述等内容;其中对室内试验建议补充岩石矿物的鉴定、吸水率和饱和吸水率试验、耐崩解试验、膨胀性试验;原位试验项目建议增加地应力试验、现场基床系数 K_{30} 试验、现场浸水载荷试验、水平膨胀力试验项目。并针对一些特殊勘察项目,如现场测定基床系数 K_{30} 、热物理指标及水平膨胀力等提出一些建议。

【关键词】 地铁勘察;膨胀岩;基床系数;水平膨胀力

【中图分类号】 TU 412

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.01.001

Research on Nanning No. 1 Subway Geotechnical Engineering Investigation in Swelling Rock

Huang Zhonghui¹ Tang Yingchun^{2,3} Yang Lei¹

(1. Nanning Rail Transit Co., Ltd., Nanning 530021, Guangxi, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China;

3. College of Management Science and Engineering, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, Guangxi, China)

【Abstract】 Analyzing the engineering geology and hydrogeological conditions of tertiary mudstone in Nanning, and combining with the characteristics of the Nanning subway, geotechnical engineering investigation methods and test projects and the relevant matters on swelling rock area of Nanning rail transit line 1 were discussed. Content of detailed geotechnical investigation about space between boreholes and site description on the swelling rock area across in Nanning rail transit line 1 have been presented; it suggested that authentication on rock mineral, water absorption and saturate water absorption test, slake-durability test, swell ability test could be added into laboratory soil test; ground stress test, K_{30} coefficient of subgrade reaction in field testation, immersion static load field test and horizontal swelling force test is suggested into in-situ test. Some advises aiming at certain geotechnical investigation such as K_{30} coefficient of subgrade reaction in field test, thermal physics indexes and horizontal swelling force were presented.

【Key words】 subway exploration; swelling rock; coefficient of sub grade reaction; horizontal swelling force

0 引言

南宁作为广西壮族自治区首府,处于华南、西南、东盟经济圈结合点,是广西北部湾经济区核心城市,城市轨道交通的建设将带给南宁更多活力和机遇。南宁城市轨道交通线网规划由 8 条线路组成,其中轨道交通 1 号线一期工程自罗文至南宁东站,全长 29.5 km,共计 23 个车站,其中穿越第三系膨胀泥岩区域的线路长约 6.9 km,位于膨胀泥岩区车站 8 个,见图 1。

地铁岩土工程勘察覆盖面广,是系统性的地下工程资料调查,涉及不同的地貌单元、水文地质环境及工程地质条件。南宁轨道交通 1 号线工程穿越的大量岩土层为第三系泥岩,属膨胀性岩土,具有胀缩性、多裂隙性、超固结性和吸水膨胀失水收缩的典型工程特性。因此,其岩土勘察具有特殊要求,与一般地铁勘察相比更为复杂。本文通过对南宁第三系膨胀岩的水文地质和工程地质资料进行总结,针对南宁轨道交通 1 号线岩土工程详细勘察提出一些建议。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51168004);南宁市科技基金资助项目(201107020C)

作者简介:黄钟晖,1974 年生,男,汉族,广西横县人,教授级高级工程师,主要从事隧道及地下工程研究。

E-mail: huangzhonghui@126.com

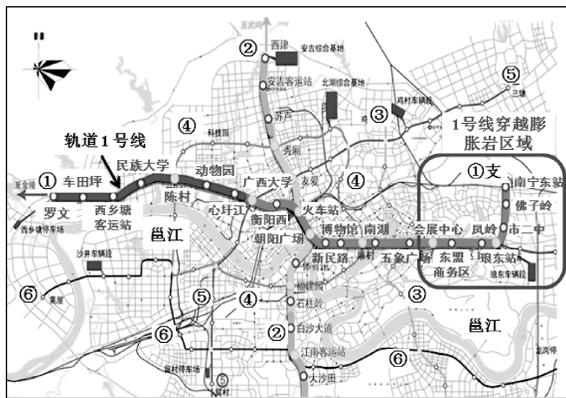


图1 南宁轨道交通1号线穿越膨胀岩区示意图

1 工程地质概况

南宁盆地第三系泥岩是介于岩石和粘土之间的半胶结、半坚硬状态的沉积岩,其成岩时间短,成岩条件差,结构疏松,胶结程度差,当有水进入岩体时,由于水的机械作用和水化作用产生应力集中,形成颗粒间结合水膜,极易导致泥岩膨胀和崩解^[1]。膨胀性泥岩的工程问题,主要与它们的强度低,易于膨胀、软化等特性密切相关。

南宁第三系泥岩分布较广,遍布在南宁盆地东部及南部,地铁线路无法避让。南宁盆地为走向北东—东向的向斜构造,南翼走向较完整,北翼大部缺失。自轴部往南翼由新至老出露第三系岩层依次为北湖组 E_3b 、里彩组 E_3l 、南湖组 E_3n 、底部岩组 E_3d 。其分布由新到老,泥岩占的比例渐少,胶结物质从“弱”到“强”,即从泥质胶结逐渐变为钙质胶结^[2],其分布见图2。

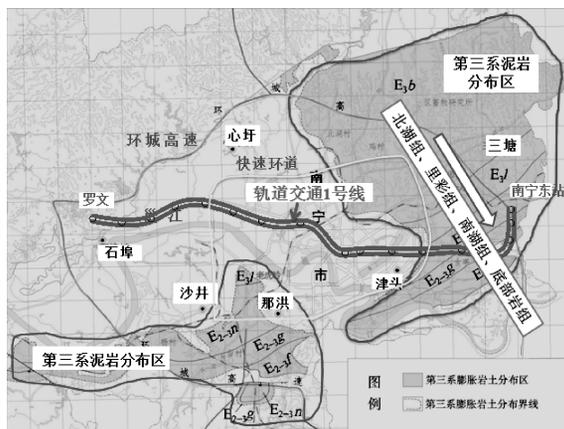


图2 南宁盆地第三系泥岩分布图

第三系泥岩层并非纯泥岩或纯粉砂岩,而是砂岩—泥岩的互层状产出,为“准透镜架迭状或鸡窝

状”。其中砂岩—泥岩系的胶结物质以泥质为主,亦有钙质、铁锰质和硅质,其强度及胀缩性随胶结物质变化,即胶结物质越强,强度越大,胀缩性越小,浸水崩解的可能性就越小。

2 膨胀岩区工程详勘要点

2.1 一般详细勘察要求

岩土工程勘察的主要目的是查明拟建场地地层分布、岩层接触等关系;查明岩土分布特征,各岩土层的物理力学性质并提出参数建议值,并对其进行工程特性评价;查明地下水的类型、分布、埋藏情况、渗透性、腐蚀性、补给来源、变化幅度等。其中对特殊土(膨胀岩)需要提出其特征和分布,查明成因、类型,判断其膨胀性和膨胀程度及其对地铁盾构或车站的危害程度。最新的《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)^[3],新增了对膨胀土的节理、裂隙等描述,并特别强调对微地貌、当地气象特点和建筑物破坏情况调查。

当前南宁市的岩土工程勘察中,一般室内试验按照《土工试验方法标准》(GB 50123—1999)执行,提供常规物理和力学参数。其中对一些特殊参数如静止侧压力系数、基床系数、热物理指标试验等,在南宁市现有勘察中尚未引起重视,积累尚缺,手段不成熟或精度不够,建议通过增加原位试验或者改进实验设备和测试手段以取得更加具有代表性的数据。第三系半成岩按照粘土要求进行,除一般性要求外,还应补充进行膨胀力和膨胀率等特殊试验。

原位测试工作可以避免室内试验的原位性和尺寸效应等方面的不足,试验参数能够很好地代表实际工况,应予以重视。常见的原位测试项目主要包括:动力触探、标准贯入、波速测试等。采取足量的合格的并且具有代表性的样品进行各种相关的室内试验。试样的采取在量上要有统计意义,在分布上要有足够代表性^[3]。南宁市岩土工程勘察中原位试验手段一般有标准贯入试验、动力触探等,测试手段比较单一,但有较多的工程数据和资料积累;而对旁压试验、扁铲侧胀试验、波速试验等勘察项目采用不多,工程经验积累较少。

对水文调查现场多进行现场抽水试验,但是效果不佳。

将一般岩土工程详细勘察的试验项目进行总结,见表1。

表 1 工程详细勘察试验项目

分类	获得参数	目的
工程地质测绘、调查	对土层进行描述;调查沿线区域地质条件,了解地下管线、建筑物的分布;调查深基坑支护方式与降水处理措施	
岩土试验	物理指标	颗粒级配、比重、天然含水量、密度、天然孔隙比、饱和度、液限、塑限、有机质含量、渗透系数
	力学指标	土体内摩擦角、粘聚力、压缩系数、压缩模量
	基床系数	垂直、水平基床系数
	热物理指标	导热系数、比热容、导温系数
	岩石试验	单轴饱和、风干抗压强度等
现场原位试验	标准贯入试验	承载力估算、盾构选型(表示土的强度及密实度);液化判定
	动力触探试验	判断土层的密实程度、判断压缩性能、估算承载力
	波速试验	划分场地土类型、计算场地卓越周期、判别地基液化地震反应分析所需的场地土动力参数
水文地质	地下水调查	调查历年最高水位、最低水位和回灌水位,分层查明地下水位、水量及含水层层位,地下水与地表水的水力联系和补给条件,测定有关地层的渗透性
	水的腐蚀性	地下水质中各代表性腐蚀性化学成分的含量,判断是否对地下结构物具有腐蚀性
	现场抽水试验	提供含水岩层的渗透系数、越流补给系数、含水层倒水系数、弹性释水系数、压力传导系数等;计算影响半径、涌水量等;确定降水方案

2.2 膨胀岩的工程勘察补充项目

南宁市轨道交通岩土工程详细勘察一般性勘察项目主要参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)^[3]、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2009)^[4]执行,其中对于涉及膨胀岩段区段的勘察还应结合《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ—112)^[5]、《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB 10038—2012)和《广西膨胀土地区建筑勘察设计施工技术规程》(DB45/T 396—2007)^[6]要求,补充相应的勘察技术要求。

针对南宁第三系泥岩的工程特性,南宁市轨道交通穿越膨胀岩区的工程详细勘察应注意以下几点:

1) 勘探孔距、孔深:因膨胀岩属于复杂场地,隧道区间勘探孔距不大于 30 m,车站勘探孔距不大于 25 m;孔深应进入基底以下 5 m。考虑到膨胀岩试验项目较多,建议取样试验及原位测试孔数量不少于总孔数的 75%。其中在勘察钻孔过程中,特别注意:①膨胀岩对水分变化特别敏感,因此对钻孔取样后封孔要有严格的要求,在钻孔完成取样描述和现场测试后必须及时严格要求封堵;②对膨胀性泥岩取样时,特别注意水的影响,根据规范^[3]要求取土样钻孔不应采用送水钻进,避免土样物理力学及胀缩性质差异,影响胀缩等级评价。

2) 地质测绘、调查:在岩土层的描述中,除符合

规范要求外,特别需要查明地质构造、岩层产状和风化程度,应补充描述:有无原生裂隙,裂隙面形态,有无钙质、铁锰质结核、浸染;明确泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩的分层、分界。

3) 室内试验项目:应满足设计施工及运行管理等对岩土指标的要求,其中力学指标试验项目主要包括:土体内摩擦角、粘聚力、压缩系数、压缩模量,无侧限抗压强度、地基系数、静止侧压力系数等。还应补充三轴压缩试验和高压固结试验;其中三轴压缩试验—泥岩、粉砂质泥岩的不饱和 CU 试验(以原位地应力做固结压力);高压固结试验——通过 $e - \lg P$ 曲线整理成果,求出前期固结压力。岩土试验除按规范执行(即土工常规试验和膨胀土常规试验)外,对于膨胀岩必要时应选做粘土矿物成分、体膨胀量和无侧限抗压强度试验、易溶盐、难溶盐试验、泥岩、粉砂质泥岩的崩解试验^[4]。

4) 原位试验:除了进行常用的原位勘察手段外,针对南宁轨道交通 1 号线膨胀岩的工程特性,规范建议“重要建(构)筑物或工程设施的承载力宜采用载荷试验或浸水载荷试验确定。”因此,在详细勘察阶段,且作为 1 号线为后续线路勘察积累经验,建议选典型地层进行现场浸水载荷试验、地应力试验、原位基床系数 K_{30} 试验、水平膨胀力试验。

对南宁轨道 1 号线中膨胀岩区工程详细勘察补充项目进行总结,见表 2。

表2 膨胀岩补充工程勘察项目

分类	试验项目	分类	试验项目
室内试验	1. 自由膨胀率	室内试验	8. 易溶盐、难溶盐试验
	2. 一定压力下的膨胀率		9. 三轴压缩试验
	3. 收缩系数		10. 高压固结试验
	4. 膨胀力	原位试验	11. 现场浸水载荷试验
	5. 体膨胀量		12. 地应力试验
	6. 岩石矿物成分分析		13. 基床系数 K_{30} 试验
	7. 岩石耐崩解性试验		14. 水平膨胀力试验

3 地铁勘察中几个特殊参数

针对南宁市第三系膨胀(岩)土的工程特性,结合地铁勘察要求,对一些重要参数建议在勘察中予以重视。

1) 基床系数

基床系数是用于设计计算地层反力的重要参数,在初步勘察阶段可根据地基土的分类、密实度,按照地铁勘察规范附录查表选用,但在详细勘察阶段应通过试验方法确定。针对南宁第三系膨胀性泥岩这类半土半岩的特殊岩层,而规范中各附表针对的是一般性岩土,对其基床系数的取值缺少针对性。

勘察规范及规程给出了两种基床系数的测试方法,即 K_{30} 载荷试验和室内三轴试验或固结试验。 K_{30} 载荷试验是指采用直径 30 cm 载荷承压板垂直或水平加载进行载荷试验,测定岩土水平基床系数 K_x 和垂直基床系数 K_v ,称之为 K_{30} 载荷试验,得到基床系数亦称为基准基床系数。三轴试验得到基床系数,是指室内宜采用三轴试验或固结试验的方法测得地基土的基床系数 K 。

目前该参数在南宁市可供参考的工程数据较少,几乎没有现场 K_{30} 载荷试验的基础数据。 K_{30} 载荷试验确定基床系数是测定地基土基床系数最直接的办法,可以认为是基床系数定义的渊源,但是其工程量大,造价不菲,不可能沿线大量进行。因此在岩土工程勘察时应选择具有代表性区段做几组试验,同时与三轴试验做数据对比。

2) 热物理指标试验

岩土热物理指标是非常重要的暖通设计参数,且膨胀岩土力学特性对湿热较为敏感,在初勘阶段,一般根据岩土的含水量、密度按规范查表取值;但在详细勘察阶段应通过试验确定。可采用面热源法、热线比较法及热平衡法,测定岩土热物理指标。

目前一般勘察单位都没有专门测试热物参数的设备和经验,常见做法是选取几组土样送至科研机

构,通过室内试验测得热物参数,且一般一个标段几公里取 3~4 组试样。这种做法容易造成试样数量过少,且存在取样扰动,土样状态改变等问题,同时取样时选取某一段试验柱块体以代替整个深度各土层,代表性有待商榷。因此建议在每个地质区域都测定一个热参数指标范围作为参考。现场原位测试虽然准确但存在难度,建议委托专门机构做各土层综合热物理参数测试研究,为后续各地铁线路设计参数取值提供参考。

3) 水平膨胀力试验

南宁市第三系泥岩具有膨胀性岩土特性,根据《膨胀土地区建筑规范》(GBJ112—2013)^[6] 要求“对于地基基础设计等级为甲级和乙级中有特殊要求的建筑物,必要时,可进行现场浸水载荷试验、桩的浸水胀拔力试验和现场水平膨胀力试验。同时对高度大于 3 m 的挡土墙等支挡结构设计计算土压力时,应根据试验数据或地方经验考虑土的水平膨胀力及土体的抗剪强度衰减的影响。”地铁车站埋深一般 16~20 m,都属深埋挡土墙,因此水平膨胀力对地铁车站的设计尤为重要。

膨胀力大小和分布与设计密切相关,根据前期南宁多个工程勘察资料统计显示,第三系泥岩的膨胀率为 40 % 左右,属于中等偏弱膨胀岩,但膨胀力数值变化较大,最大值超过 300 kPa。在南宁市虽然分布着广泛的第三系胀缩性泥岩,但甚少有水平膨胀力实测数据,因此进行水平膨胀力实测数据工程意义非凡。

4 结语

1) 地铁勘察是覆盖面广的系统性地下工程资料调查,大多在最繁华的城市公共场地进行,地面建筑、交通、地下管线等成为制约勘察施工因素,但同时也存在大量既有的相邻建筑资料,因此对研究区域内已建各工程勘察报告资料进行统计和总结将会使勘察工作事半功倍。在统计时应注意对岩层组的分类和整理划分,对每一组岩层组的工程勘察数据进行统计、分析。通过数据统计,得到各参数取值范围,使设计参数取值更具代表性,同时减少一些重复性的试验项目及试验数目。

2) 针对膨胀岩地层特点,应注意特殊性勘察项目的补充。岩土热物理参数测试,现有勘察规定中尚未有取样和试验数目的明确规定,但是该参数在地铁的通风和换热计算中非常重要,建议选择代表性试样并适当增加试验组数。而对于地层温度测试、长期地下水位等,则可以广泛调研,多部门资源

(下转第 13 页)

外,余下 132 页中均有一个 33 行 9 列的表格。

序号	桩号	桩径长 (m)	桩长 (m)	桩工桩 (m)	检测日期	检测数量	备注	工程相关资料
1#	2#	7.32#	8.59#	1000#	2013.12.11#	3#		工程地质和检测工报告...
2#	2#	7.32#	6.6#	1000#	2013.12.11#	3#		本工程位于...区...
3#	3#	8.5#	7.78#	1000#	2013.11.27#	3#		汉水河道...
4#	4#	9.21#	8.59#	1000#	2013.12.12#	3#		基地采用(嵌岩桩/摩擦桩),...
5#	5#	11.24#	11.52#	1000#	2013.12.07#	3#		(有/无)嵌岩桩,嵌岩等级...

图 4 Word 中的桩基检测数据

由此可见,通过 VBA 编程可极大地方便工程技术人员处理工程数据,既能减少繁重的重复性工作,又能避免错误发生,因而能大大提高工作质量和工作效率。

3 结 语

本文结合实际工程,利用 Microsoft Office 软件中的 VBA 编程方法编制了桩基检测信息自动批量生成程序,极大地方便了对桩基检测数据的处理,为

工程数据的处理提供了一个新的思路。该程序已经在实际工程中所应用,大大减轻了工程人员的劳动强度,节省了人力投入,同时满足了桩基检测进度的要求,保证了检测信息的及时性和准确性,已初步显现出良好的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 张明. Excel 2007 VBA 办公范例应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 王汉雄,乔景顺. Excel VBA 在测量数据处理中的应用[J]. 测绘科学,2008,33(2):210-212.
- [3] 郝才超,薛霆虢. Excel VBA 批量处理在录井砂地比统计中的应用[J]. 工程地球物理学报,2012,9(2):145-150.
- [4] 廖长岗. 工程中桩基检测工作的重要性[J]. 城市建设理论研究,2012,20:105-110.
- [5] 胡西海,姜兰芳. 基桩工程中检测工作的重要性[J]. 科技与企业,2012,1(上):105-110.
- [6] 史宝慧. Visual Basic 基础教程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2000.
- [7] 李媛媛. Excel VBA 基础与实例应用[M]. 北京:中国青年出版社,2008.

收稿日期:2014-05-13

(上接第 4 页)

共享,搜集整理本地区已有数据。

3)对一些重要参数如基床系数、水平膨胀力测试等建议与科研机构合作,设立专门的科研课题进行分析研究。建议前期对南宁市地铁穿越岩土层的工程地质特点进行研究,广泛调查本地区已有的勘察成果,同时汲取类似地质条件下其他地区的地铁勘察经验,在勘察内容和精度上满足设计要求,同时注意引进新型手段,提高工作效率,为南宁市地铁建设顺利开展做好准备。

4)地铁勘察完成后,注意对地铁 1 号线的岩土工程勘察成果进行总结和整理。该勘察成果不仅可为后续南宁地铁各线路的勘察设计积累经验,也对国内膨胀岩的城市地铁勘察和建设提供借鉴,同时还为南宁市本区域的工程勘察、设计参数取值提供参考。

参 考 文 献

- [1] 范秋雁. 膨胀岩与工程[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 广西壮族自治区南宁市地质系列图集[M]. 南宁:广西壮族自治区地质矿产局,1988:5-11.
- [3] GB 50307—2012 城市轨道交通岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国计划出版社,2012.
- [4] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范(2009 年版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] GBJ 112—2013 膨胀土地区建筑规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [6] DB45/T 396—2007 广西膨胀土地区建筑勘察设计施工技术规范[S].

收稿日期:2014-02-11