

武汉绕城公路东北段主要工程地质问题研究

杜坤乾, 刘术湘, 刘敬先, 万凯军, 刘隆光

(中冶集团武汉勘察研究院, 湖北武汉 430080)

摘要: 为了给项目的设计和施工提供科学依据, 对武汉绕城公路东北段软土、膨胀土、砂土地震液化、岩溶、深路堑、高填路基、筑路材料等潜在的地质灾害进行了详细评价, 通过采用工程地质测绘及钻探、触探、物探、试验分析等多种勘探、测试手段, 对沿线的各种工程地质及其危害表现形式进行计算分析, 预测施工过程及工程建成后可能出现的岩土工程问题, 提出了相应的施工方法, 对同类工程的建设具有指导意义。

关键词: 沉降; 膨胀; 岩溶; 滑坡; 地基处理; 深路堑; 高填路堤。

中图分类号: U416.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0368-05

作者简介: 杜坤乾(1963—), 男, 高级工程师, 现从事岩土工程勘察设计及技术管理工作。

1 工程概况

武汉绕城公路东北段是京珠、沪蓉国道主干线在武汉交汇形成的环形公路, 是湖北省及武汉市规划的公路主骨架之一, 也是分流过境交通的重要通道^{①②}。拟建武汉市外环公路以东西湖区红羽村为起点, 经黄陂区、新洲区、青山区、洪山区至江夏区豹獬镇, 总长度 93.135 km。其主要工程技术经济指标: 计算行车速度 120 km/h; 公路等级为高速公路; 估算工程投资 34 2127 万元。沿线所经过区域主要属湖泊、冲积平原、剥蚀堆积垆岗平原和构造剥蚀残丘三种地貌单元。总的地势为东南高、西北低, 丘陵与平原相间, 呈波状起伏状。拟建路线所经区域最高点为武昌顶冠峰, 高程 197.7 m; 最低点为长江河床, 高程 -16.8 m。

2 主要工程地质问题

武汉绕城公路东北段的主要工程地质问题有软

土、膨胀土、砂土液化、岩溶、深路堑、高填路基、筑路材料工程特性等。

2.1 软土

区内的软土主要有淤泥质土和淤泥, 主要分布在东西湖、武湖、北湖及湖泊周边等地段, 路线上软土分布总长约 15 km, 占路线总长的 15%, 层厚 1~30 m。

2.1.1 物理力学性质 区内软土主要物理力学性质见表 1, 从表 1 可以看出, 软土具高压缩性、触变性和流变性的特点, 产生的工程地质问题主要表现为地基沉降(过量沉降)、地基不均匀沉降、基坑变形、路基滑移等。例如武钢北湖渣场东侧淤泥土在渣场填筑土的外荷载作用下产生压缩变形、触变及剪切破坏而导致滑移破坏, 引起地基土前端隆起, 产生裂纹达 15 cm。目前, 该渣场仍在继续填堆扩大, 相应软土破坏的范围也将随之扩大, 因此, 建议采取措施, 停止渣场的堆高及扩展(朝向绕城公路方向), 避免造成对拟建路基或桥基的破坏。

2.1.2 地基处理 地基处理可选用垫层及浅层处理、土工织物加筋、袋装砂井、塑料排水板、砂桩、碎石桩及加固土桩等^[1]。处理方案应根据当地的地质、水文、施工机具、材料及环境等条件进行经济、技术比较, 依据先简后繁、就地取材的原则决定。对于地下处理方案, 应注意各段间的缓和过渡, 以减少段间的差异沉降。当单一的处理方案无法满足稳定与沉

收稿日期: 2001-04-05

①刘术湘, 刘勇. 京珠、沪蓉国道主干线武汉绕城公路东北段工程地质勘察报告(初步设计阶段). 武汉: 中冶集团武汉勘察研究总院与湖北省神龙地质工程勘察院, 2000.

②刘术湘, 刘隆光. 京珠、沪蓉国道主干线武汉绕城公路东北段(第十、十一、十二、十三、十四、十五、十六标段)工程地质勘察报告(施工图设计阶段). 武汉: 中冶集团武汉勘察研究总院, 2001.

表 1 北湖地段软土主要物理力学性质
Table 1 Physical-mechanical properties of soft soil in North Lake area of Wuhan

土名	天然含水量	天然重度	天然孔隙比	液限	压缩系数	压缩模量	直接快剪		三轴快剪		灵敏度
	$\omega/\%$	$\gamma/(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	e	ω	a/MPa^{-1}	E_s/MPa	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa	S_t
I	45~60	1.57~1.65	1.50~1.88	50~89	0.80~1.85	1.2~3.0	1.3~5.0	4.8~8.8	0.4~1.5	11.0~18.8	2.2~5.9
II	38~47	1.70~1.81	1.00~1.30	45~68	0.50~0.83	2.2~3.8	5.0~14.0	10~20	1.0~3.48	25~33	1.3~3.4

I. 淤泥; II. 淤泥质粘土.

降的要求时,可考虑多种措施组合应用.

软土地基路基设计宜用动态设计方法,注意发现、搜集软基试验或工程施工过程中,影响设计的各种因素的变化情况,必要时应补充勘探、试验,及时修改原设计.设计时应考虑由于沉降变形对路基结构断面及将来施工产生的影响.

2.2 膨胀土

沿线的剥蚀堆积垄岗所覆盖的第四系上、中更新统洪冲积粘性土均具有一定的胀缩变形特征.在黄陂区六指、甘棠及江夏区的花山、豹獬分布有第四系上更新统冲积(Q_3^{al})层,自由膨胀率为 40.5%~65.0%,一般具有弱膨胀潜势,其野外鉴别特征表现为黄褐色—褐色,含铁锰质结核,夹灰白高岭土,地面标高一般 22~45 m,土样风干后,坚硬易碎.第四系中更新统冲、洪积(Q_2^{al})层,自由膨胀率为 40.5%~90.0%,一般具有弱—中膨胀潜势,其野外鉴别特征表现为棕红色,夹灰白高岭土,有网纹结构,地面标高一般 45~55 m,土样风干后,表现为龟裂.

该膨胀类土主要是在变质建造的片岩,沉积建造的砂岩、粘土岩等基岩广泛分布的基础上泥化而成.这些岩石都是自然界中含铝硅酸盐很丰富的岩石,为膨胀土的产生和发育提供了极丰富的物质基础,并在后期的风化过程中经氧化还原作用,淋滤作用和水解作用,在适合蒙脱石和伊利石矿物生成的有利气候条件和沉积环境中,经过成土作用而形成富有蒙脱石和伊利石矿物的膨胀土.膨胀土的不良地质特征主要表现在遇水膨胀,失水收缩,使强度降低,并产生裂隙.如处理不当,对该路段主要危害可能表现在路面的变形开裂,路堑、路基的浅层滑动,桥基变形等.

对膨胀土的治理可以从以下方面考虑:(1)构造物基础可采取深基础方案.即基础埋深大于大气层剧烈影响深度(武汉地区 $H \geq 1.35 \text{ m}$),胀缩变形计算至大气影响深度 d_a (武汉地区 $d_a \geq 3.0 \text{ m}$);(2)对挖方路基中放缓坡并进行坡面防护及采取防排水措

施;(3)对填方路基膨胀潜势过大地段则应加强路面刚度及路基填土进行掺灰、掺砂等改良处理.

2.3 地震液化

武汉地区的地震基本烈度为 6 度,当设计需提高一度设防时,拟建公路应考虑地震液化问题,根据《公路工程抗震设计规范》^[2]进行地震液化判定.结果表明,本段公路在东西湖及北湖的局部地段分布有液化土层,主要为第四系全新统冲积层.例如:北湖互通 EK1+100 根据标贯试验判断液化抵抗系数 C_u 为 0.7,地基强度折减系数 α 为 1/3.

处理措施如下:液化土层不宜直接用做路基和构造物的地基.当难以避免时,应探明其埋藏和分布情况并按规范采取抗震措施.在进行设计计算时,液化土层的承载力(包括桩侧摩阻力)、土抗力(地基系数)、内摩擦角和内聚力等,按液化抵抗系数予以折减,液化土层以下地基承载力可按规范规定予以提高,液化土层以上地基承载力不宜提高.在计算液化土层以下地基承载力时,应考虑其重力.

2.4 岩溶

根据武汉市水文地质与工程地质综合勘查资料,隐伏碳酸盐岩岩溶率分别为:石炭系碳酸盐岩 7.8%,下二叠统灰岩 10.1%,三叠系大冶组灰岩 6.57%.本次钻探揭露,拟建武汉绕城公路东北段部分地段有隐伏可溶性碳酸盐岩分布,上覆盖层较松散、粘性土较薄且地下水活动剧烈,潜在危害是产生岩溶地面塌陷及采用桩基时桩端溶洞顶板坍塌造成桩基失稳.

可溶性碳酸盐分布于武汉绕城公路东北段下列地段:府河大桥、陈家堰村小山北侧、花山北坡、父子山南坡、苏家墩南北两侧及顶冠峰东侧均有分布.岩溶分布的规律性明显,一般岩性接触带岩溶较发育.花山北坡附近下伏二叠系灰岩有溶蚀现象.据花山矿泉水井(该井位于拟建高速公路旁约 200 m)资料,井深 10.45~12.40 m 发育有近 2.0 m 高的溶洞,溶洞内充填有流塑状粘土,该井静止水位高出地表 1.50 m,涌水量为 200.45 m^3/d ,当该井投入生产

时,会导致该区段内地下水活动剧烈变化,水位变幅达 16.63 m,目前,该井未投入生产,该地区在自然条件下,不可能产生岩溶地面塌陷,但不排除该井长时间连续抽水时而诱发岩溶地面塌陷的可能。

处理措施:隐伏可溶碳酸盐岩地段,按有关规范、规程规定,应进行专门岩溶地质勘察(施工勘察),应具体查明岩溶形态、位置、规模、埋深、围岩、洞穴充填物性状和顶板的厚度以及地下水特征。根据上部结构荷载,对溶洞顶板岩层的稳定性进行计算,以确定构筑物采用桩基时桩端的位置,对一般路基,根据地质条件可采用静压注浆或高压旋喷进行处理。

2.5 深路堑

根据项目设计,工程建设中将开挖 22 段边坡,其中 17 段为土质边坡、5 段为岩质边坡。

2.5.1 土质边坡 开挖的土质边坡路段(总长约为 7 km),坡体主要由第四系中、下更新统棕红色网纹状粘土、黄褐色—杏黄色粘土、含砾粘土及卵砾石含粘性土组成,大多数坡段为膨胀土。膨胀土具有中—弱膨胀潜势,该类土裂隙较发育,在天气干燥,土的含水量减少时,地表表现为龟裂。工程开挖形成一临空面,改变了原始坡体的自然状态及内部的应力状态,导致土体中的裂隙更为发育,地表水、大气降水易渗入土体,降低其抗剪强度,坡体会向剪切变形破坏方向发展,产生滑坡、崩塌。白沙井组卵砾石含粘性土一般不具膨胀性,但其抗冲刷能力较差,边坡应注意进行全面防护。例如:K31+850—K32+880 段,按 $\gamma=5.99\text{ t/m}^3$, $c=73\text{ kPa}$, $\varphi=6.3^\circ$, 坡高 9 m, 坡角 40° 用图解法(泰勒法)进行安全系数计算,安全系数为 1.08(大于 1.05),处于稳定状态。

2.5.2 岩质边坡 京珠、沪蓉国道主干线武汉绕城公路东北段 5 段岩质边坡主要集中在江南段(北湖—豹獬),包括陈家堰东侧小山、花山、父子山及其附近小山、顶冠峰及同力小学处小山。坡体主要是泥盆系五通组和二叠系孤峰组地层,岩性主要为石英砂岩夹粉砂岩、泥质粉砂岩、粘土岩、薄层状硅质岩及灰岩。

由于拟建公路还未施工,基岩露头只有零星分布,稳定性评价根据路线经过地点测得的层节理的产状,运用赤平极射投影,对岩层边坡进行评价。例如:陈家堰东侧小山,本段路线长 420 m,开挖路堑高 20 m,岩石结构面为层面与节理,与坡向呈斜交,交角大于 45° ,倾角大于坡角。岩性为泥盆系石英砂

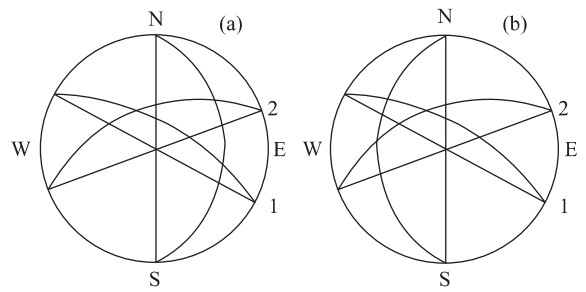


图 1 赤平极射投影图

Fig. 1 Stereographic projection

a. 开挖断面产状:SN/W $\angle 45^\circ$ (右); b. 开挖断面产状:SN/W $\angle 45^\circ$ (左)

岩。依据公路工程设计,均按 1:1 放坡标准估算。岩层产状 1: N 70° W/SW $\angle 75^\circ$;节理产状 2: N 55° E/SE $\angle 66^\circ$,如图 1 所示。据评估结果,左侧及右侧均为稳定边坡。建议左右侧均采用 50° 放坡。

根据现场调查,各处高丘未发现有大规模的断裂破碎带,有人工开采的人工边坡,未发现有关滑迹象。但应考虑人工开采、爆破对边坡的影响。对开挖的边坡应采取挡土墙支护、浆砌片石砌护,设置排水措施,坡脚处设置碎落台,对开挖揭露的大型结构面应予以锚固。

2.6 高填路基

拟建线路有 42 段填方路基,填方路基累计长约 58 km,占路线总长的 62%,最大填方高度大于 12 m。例如 K95+500—K96+900。填方路段大多分布有软土及膨胀土。软土具有触变性、流变性,膨胀土具胀缩性,高填路基增加了土体的自重,改变了原来土体的应力平衡,势必加剧软土、膨胀土地质灾害。

软土高填路基稳定性计算如下。参数 1:采用有效固结应力法,不考虑地震力,考虑超载,水平竖向固结系数之比为 1.000,土基排水为单向排水,沉降修正系数为 1.200。参数 2:自动搜索最危险滑裂面,条分法的土条宽度为 0.500 m。

(1)第 1 级加荷,前 6 个月,路基设计高度 12.000 m,路基计算高度(考虑沉降影响) 12.340 m,加载结束时稳定结果如下。最不利滑动面:滑动圆心 O 为(8.000,14.000)m,滑动半径 $R=23.214\text{ m}$,滑动安全系数为 $1.018<1.100$,总下滑力为 2 325.770 kN,总抗滑力为 2 368.227 kN,土体部分下滑力为 2 325.770 kN,土体部分抗滑力为 2 368.227 kN。

(2)第 2 级加荷,从 9~12 月,路基设计高度

表 2 叶松林湾取土场筑路材料物理力学性质

Table 2 Physical-mechanical properties of road-building materials taken from Yesongling Village

$\omega_1/\%$	$\gamma_1/(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	$\omega_1/\%$	$\omega_2/\%$	k	$n/\%$	$\omega_2/\%$	$\gamma_2/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	回弹模量 E/MPa			承载比 $\text{CBR}/\%$			压缩 **		直快剪切 **	
								0.90 *	0.93 *	0.95 *	0.90 *	0.93 *	0.95 *	a/MPa^{-1}	E/MPa	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa
8	1.982	34.2	19.5	14.7	26	7.5	2.12	128	138	143	8	14	19	0.10	15.2	0	28.1

* 指压实度; ** 表示压实度为 0.90,含水量处于最优; ω_1 . 最优含水量; ω_2 . 天然含水量; γ_1 . 天然重度; ω_1 . 液限; ω_2 . 塑限; k . 塑指; n . 自由膨胀率; γ_2 . 最大干容重.

12.000 m,路基计算高度(考虑沉降影响)12.412 m,加载结束时稳定结果如下.最不利滑动面:滑动圆心 $O/m=(9.000,13.000)$,滑动半径 $R=21.720\text{ m}$,滑动安全系数为 $1.037 < 1.100$,总下滑力为 2216.420 kN,总的抗滑力为 2298.574 kN,土体部分下滑力为 2216.420 kN,土体部分抗滑力为 2298.574 kN.计算结果表明,路基是不稳定的,因此,必须采取有效措施,对软土地基进行加固处理,确保高填路基的安全使用.

2.7 筑路材料

(1)第四系下更新统冲积(Q_4^{al})卵砾石层,其级配良好,是良好的筑路材料,其分布范围较大,可取土量较大,从毕铺及叶松林湾碎石场已开挖的断面看,可开采的最大深度约为 7~8 m,宽度约 100 m,长约 1~2 km,详细的物理力学性质详见表 2.从表 2 可以看出,第四系下更新统冲积(Q_4^{al})卵砾石层物理力学性质较好,不具膨胀性,是良好的筑路材料.当选用该土层作为筑路材料时,由于其垂向上,碎石含量不均,应加强监测,及时指导作业面的方向与层面,选取符合要求的筑路材料.

(2)京珠、沪蓉国道主干线武汉绕城公路东北段 5 段岩质边坡主要集中在江南(北湖—豹獬段),包括陈家堰东侧小山、花山、父子山及其附近小山、顶冠峰及同力小学处小山.坡体主要是泥盆系五通组石英砂岩夹粉砂岩.其中石英砂岩具有较好的物理力学性质,是良好的筑路用石材.

(3)经济效益明显,用其做筑路材料有如下优势:①物理力学性质好;②运距短;③可以解决原有高路堑形成的边坡;④四季均能开采,可以采用机械开挖.

3 结语

(1)武汉绕城公路东北段是湖北省双向四车道高速公路重要建设项目,软土、膨胀土、岩溶是线路主要工程地质问题,工程建设形成高填路堤、深路堑,引发路基滑移、崩塌、滑坡等地质灾害,同时会加剧软土、膨胀土地质灾害,且随着地下水的不断开采,地下水活动剧烈,有可能会诱发岩溶地面塌陷.(2)武汉市年降水量为 1100~1450 mm,4~10 月份洪涝期降水量约占全年的 84%~88%,降水是发生崩塌、滑坡的主要外动力因素.(3)线路内软土、膨胀土地段应根据上部荷载的出露形式,采用相应的基础形式及加固处理方式;对工程建设诱发的崩塌、滑坡采取挡土墙支挡、浆砌块石、种植被护坡、设置排水沟等措施处理,对重要的桥梁有隐伏碳酸盐岩溶发育地段,应进行专门的岩溶工程地质勘察,并进行相应的地基处理.

参考文献:

[1] 常士骧,张苏民,项勃.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.
[2] JTJ004—1989,公路工程抗震设计规范[S].

STUDY ON MAIN PROBLEMS OF ENGINEERING GEOLOGY
FOR NORTHEAST AREA OF WUHAN ROUNDING HIGHWAY

Du Kunqian, Liu Shuxiang, Liu Jingxian, Wan Kaijun, Liu Longguang

(Wuhan Surveying-Geotechnical Research Institute of China Metallurgical Group, Wuhan 430080, China)

Abstract: To provide scientific data for the design and construction, this paper evaluates in detail the existing or potential geologic hazards in the soft soil, swelling soil, liquefaction of sand, karst, deep cut, tall subgrade, and road building materials within the northeast area of the highway round Wuhan city. Various investigations and testing means (such as engineering geologic survey, drilling, penetration tests, geophysical exploration, testing and analysis) are used to compute and analyze all the engineering geologic problems and their harm on the highway, to forecast potential geotechnical problems during constructing and after completion, and to offer preventive measures and reasonable construction method.

Key words: subsidence; dilation; karst; landslide; foundation handling; deep trench; high embankment.

《地球科学——中国地质大学学报》
2001 年 第 26 卷 第 5 期 要目预告

G Bertrand 定律和 E D Weinberg 原理及推广	曹玉清等
庐山“星子变质核杂岩”中伟晶岩锆石 U—Pb 年龄及其地质意义	李武显等
盆地超压层段非幕式突破期的地热场模型数值解法	李 星等
大别山陆—陆点碰撞和构造超压的形成	武红岭等
淮南二叠纪煤及其燃烧产物地球化学特征	黄文辉等
燕山板内造山带中段近东西向中生代右行走滑构造系统	张长厚等
结构分析理论在地球化学空间场不均匀性分析中的应用	裴 韬等
东营凹陷生油岩中介形虫氧碳同位素的古湖泊学意义	刘传联等
激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA—ICP—MS)测定岩石样品中稀土元素	罗 彦等
滇西南昌宁—孟连带三叠纪牡音河组硅质岩地球化学特征及沉积环境	张振芳等