

对神龙汽车有限公司武汉总装配厂 地基土膨胀性的研究

机械工业部第三勘察研究院 温国炫

【摘要】 本文对神龙汽车有限公司武汉总装配厂厂区内分布的下蜀系粘性土及网纹状粘土的膨胀性问题进行了分析和评价。在此基础上笔者对膨胀土的判别方法提出了自己的认识, 强调了在判别过程中应加强对多项指标间的协调配合关系的研究。

【Abstract】 The analysis and evaluation on the expansibility of the clayey soil of Xiasu system and mesh structured clay distributed in the Wuhan Assembly Factory of Shenlong Motor Vehicle Limited Company are carried out in this paper. Based on above analysis, the distinguish method to expansive soil is proposed by our views and it is emphasized that the studies of the concert relationship between multiple indexes would be strengthened during the process of distinguish.

一、前言

粘性土一般都具有吸水膨胀失水收缩的特性。只有其胀缩性达到足以危害建筑物安全使用, 需要作专门处理时, 才把它作为膨胀土考虑。神龙汽车有限公司武汉总装配厂系国家机械行业重点工程, 该厂位于汉阳县沌口镇西北约3km处, 占地面积约1.45km²。厂区内分布有下蜀系粘性土及中更新统网纹状粘土, 由于这两种地层在其它地区相同地貌单元常属于膨胀土, 故正确认识与评价场地地基土的膨胀性是本厂场地工程勘察的关键问题之一。本文根据勘察成果资料, 对场地地基土的膨胀性作一介绍, 并对我国膨胀土的判别提出一些肤浅看法。

二、厂区工程地质概况

厂位于江汉平原东部, 为低垄岗状构

造剥蚀的亚丘陵地形。由于长期的剥蚀作用, 形成垄岗与冲沟洼地起伏相间的地貌景观。垄岗与残丘高程一般在33.0m以上, 最高达44.3m; 冲沟洼地高程一般在26.0~33.0m之间, 最大高差为17.0m。区域地貌属长江Ⅲ级阶地。

厂区内在20m以上的地层有第四系全新统(Q₄)一般粘性土、上更新统(Q₃)下蜀系粘性土及中更新统(Q₂)网纹状粘土。上述各土层的分布明显受微地貌控制(见图1)。各土层的简述见表1。

根据武汉市汉阳地区的气象资料表明, 厂区内年降水量大于蒸发量, 按气候分区应属于湿润区, 但是一年中降雨主要集中在4、5、6、7月, 约占全年降水量的60%以上。因此一年中旱季和雨季分明, 按气象资



图1 地质岩性剖面图

表 1 土 层 描 述

层号	地 年 层 代	土 名	颜 色	状 态	土 层 分 布	主要包含物及其它
①	Q_m^1	耕土及人工填土	褐色杂色		整个场地表层均有分布, 厚度0.3~0.4m。	以褐色粘性土为主, 富含植物根茎, 局部为人工填土。
②	Q_4^1	一般粉质粘土	黄褐色	可塑	分布于冲沟及洼地处, 最厚可达6m以上。	含氧化铁, 灰白色高岭土条纹。
③	Q_3^{1+2+3}	下蜀系粉质粘土	黄褐色~ 褐黄	硬塑~ 坚硬	分布于岗坡地段, 局部垄岗缺失, 层面起伏大, 最厚达8.9m, 近冲沟厚, 垄岗薄。	含铁锰质结核, 少量灰白色高岭土条纹, 闭合裂隙发育, 土块易碎。
④-1	Q_2^{1+2+3}	网状状粘土	棕红色~ 褐色	坚硬	厂区西北部缺失, 其余地段均有分布, 局面起伏大, 冲沟薄, 垄岗厚。	含高岭土。
④-2		粘土夹碎石	棕红色 褐黄色	硬塑~ 坚硬	厂区西部分布连续, 埋深浅起伏小, 厚度大, 东部不连续, 仅见于垄岗, 埋深大, 起伏大, 厚度薄。	西部碎石含量高, 东部碎石含量少, 含高岭土。
④-3		粘 土	黄色~草 黄色	坚硬	分布连续, 埋深较大。	含较多高岭土。

料算得湿度系数 $\varphi_w = 0.903$, 厂区大气影响深度 $d_a = 3.0m$, 大气影响急剧深度为1.35m。

厂区内浅部为较致密的粘性土, 地下水属于上层滞水, 主要赋存于冲沟洼地的第四系全新统(Q_4^1)的粉质粘土中, 补给来源主要为大气降水和地表水体灌溉下渗水。

三、厂区地基土的膨胀性研究

为了正确判别厂区的地基土膨胀性问题, 我们采用野外宏观场地工程地质特征调查与室内试验相结合的方法。野外调查分析可以从宏观上把握场地土膨胀性情况; 室内试验可以定量把握地层的基本性质、物质组成和微观结构。特别是室内试验指标之间的协调配合关系结合宏观地质调查的综合分析研究, 更有利于从本质上把握判别土层的胀缩特性。

1. 厂区工程地质特征调查分析

厂区内③层和④-1层硬塑~坚硬的粘性土大部分出露于地势较高的垄岗地段, 形成的1~2m高的直立陡坎(田坎)到处可见, 个别陡坎可达3~4m高。农田季节灌溉使这些陡坎经常处于浸水饱和与失水风干状态, 但均未出现浅层塑性滑坡与地裂。垄岗

地段新开挖的探井不论井壁规则与否都很稳定, 历经数月的风吹雨打和夏日阳光暴晒, 井壁无坍塌错落。旱季于深度1.0m以上的井壁出现失水收缩产生的裂隙, 其宽度上部一般为5mm。裂隙呈竖向平行排列, 向下延伸逐渐尖灭, 裂隙间距为20~25cm; 有少量水平向延伸的裂隙, 无斜交剪切裂隙, 裂隙面新鲜粗糙无充填物, 无擦痕。挖出的土块呈坚硬状态, 发育有一些不规则的闭合裂隙, 其间充填有少量褐色或黑色的铁锰结核, 压碎后呈颗粒状。平整场地时, 留下几个测量控制点的土柱, 高有数米, 四周近90°倾斜角, 历经一年多未发现坍塌和塑性滑坡现象, 场地平整后的地面没有出现地裂。

厂区内分布的④-3层粘土埋深较大, 目前大气变化对其影响非常小, 甚至没有影响。但从钻孔取出的土样中可以观察到该土层以黄色或草黄色为主, 坚硬状态, 土质细腻致密, 断面平整光滑, 有蜡脂光泽, 具擦痕, 其间充填有少量粉红色可塑粘土, 断面裂面倾角约40°。

对厂区范围及邻近地区7个村庄138幢

建造于③层及④-1层地基土之上的民房情况的调查结果如下:

(1)在138幢民房中产生裂缝的有29幢,其中19幢是由于其它原因引起的,有10幢民房的开裂与地基土的胀缩性有关,占调查民房总数的7%,损坏程度多属轻微型。

(2)开裂的民房多为无散水,基础埋深过浅,墙体勾缝强度或墙体结构刚度都相当低。

(3)10幢民房开裂的形态多呈倒八字型,裂缝部位多产生在山墙或结构薄弱的门窗处,但民房的裂缝随季节性变化的情况不明显。

(4)大岭小学围墙(对地基变形影响相当敏感的构筑物),经历十几年,目前尚未出现倒塌和墙体开裂损坏现象。

(5)郭徐岭乡多为2~3层民用砖房,在具有一定埋深及散水坡度的情况下,均未出现由于地基变形引起房屋开裂现象。

(6)油漆车间中部两幢民房,屋后有约2.5m高的陡坎,离墙体1~2m;房前为斜坡。地面蒸发作用差异明显,房屋建成多年,屋后陡坎稳定,墙体均未出现开裂。

综合上述对本场地工程地质特征的分析,可以认为③层下蜀系粉质粘土及④-1层网纹状粘土不具备膨胀土的特征。④-3层黄色~草黄色粘土具有一些膨胀土的特征。

2. 土工试验指标分析

土工试验指标及指标之间的协调配合关系是判别膨胀土的重要手段,也是定量计算的依据,本厂区③层、④-1层及④-3层土的胀缩性试验指标分布统计详见表2。

第③层下蜀系粉质粘土:其胶粒含量平均值为27%,与广西南宁明、贵县膨胀土比较明显偏低。自由膨胀率 $\delta_{ef} < 40\%$ 的指标占54.3%, $\delta_{ef} \geq 40\%$ 的占45.7%,说明土层中部分土具有弱膨胀潜势。经相关分析表明: δ_{ef} 与土中胶粒含量无明显关系,与液限有一定关系,但不明显。110组试验数据线性回归分析统计结果,其相关系数为0.535,与膨胀

土的高分散性及强亲水性不协调。50kPa压力的膨胀率 δ_{e50} 指标小于零的占94.3%,说明在50kPa压力下③层土不产生膨胀变形;卸荷至零时,仍有27.6%的膨胀率 δ_{e0} 小于或等于零, $0 < \delta_{e0} \leq 2\%$ 的占69.9%,即 $\delta_{e0} < 2\%$ 的指标占97.5%,说明在零荷载条件下,浸水所产生的膨胀量也是非常有限的,对一般混凝土地坪不会构成危害或破坏。这与其膨胀率非常小或几乎没有是一致的。收缩系数 $\lambda < 0.3$ 的指标占87.7%,与广西南宁明、贵县膨胀土比较明显偏低,据已有研究资料表明膨胀土的收缩系数 λ 应在0.3~0.5之间。根据国标《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87第2.3.6条以下式进行的地基分级变形量计算(大气影响深度以3m计)。

$$S_0 = \varphi \sum_{i=1}^n (\delta_{e50i} + \lambda_{si} \Delta w_i) h_i \quad (1)$$

式中 S_0 ——地基分级变形量;

φ ——计算胀缩变形量的经验系数,可取0.7;

δ_{e50i} ——第*i*层土50kPa压力下的膨胀率;

λ_{si} ——第*i*层土的收缩系数;

Δw_i ——地基土收缩过程中第*i*层土可能发生的含水量变化;

h_i ——第*i*层土的计算厚度。

其结果 S_0 均小于15mm,仅几毫米,且由于 δ_{e50} 绝大多数小于零,故分级变形量实际上是收缩变形量。从指标协调配合关系来看:③层土含水量低,呈硬塑~坚硬状态,结构致密,若是膨胀土应表现出较强的膨胀性,但以上各项指标反映的情况并非如此,说明其不具备膨胀土的性质。

第④-1层网纹状粘土:其胶粒含量平均值为37%,接近广西南宁明、贵县的膨胀土。自由膨胀率 $\delta_{ef} < 40\%$ 的指标占29.2%, $40\% \leq \delta_{ef} < 65\%$ 的占64.7%,说明土层中大部的土具有膨胀潜势。经相关分析表明: δ_{ef} 与胶粒含量及液限均无明显关系,线性回

表 2 胀缩性试验指标分布统计一览表

层号	年代及土名	自由膨胀率 δ_{ef} (%)				50kPa压力膨胀率 δ_{e50} (%)		
		$\delta_{ef} < 40$	$40 \leq \delta_{ef} < 65$	$65 \leq \delta_{ef} < 90$	$\delta_{ef} \geq 90$	$\delta_{e50} \leq 0$	$\delta_{e50} > 0$	
③	Q ₃ ^{1+D1} 下蜀系粉质粘土	个数	184	149	5	1	150	9
		%	54.3	44.0	1.4	0.3	94.3	5.7
④-1	Q ₂ ^{1+D1} 网纹状粘土	个数	309	684	65		631	131
		%	29.2	64.7	6.5		82.8	17.2
④-3	Q ₂ ^{1+D1} 粘土	个数		9	25	27	2	52
		%		14.8	41.0	44.2	3.7	96.3

层号	年代及土名	零荷载膨胀率 δ_{e0} (%)				收缩系数 λ_s				
		$\delta_{e0} \leq 0$	$0 < \delta_{e0} < 2$	$2 \leq \delta_{e0} < 4$	$\delta_{e0} \geq 4$	$0 < \lambda_s \leq 0.1$	$0.1 < \lambda_s \leq 0.2$	$0.2 < \lambda_s \leq 0.3$	$0.3 < \lambda_s \leq 0.4$	$\lambda_s > 0.4$
③	Q ₃ ^{1+D1} 下蜀系粉质粘土	个数	45	114	3	1	23	64	43	14
		%	27.6	69.9	1.8	0.6	15.5	43.2	29.1	7.5
④-1	Q ₂ ^{1+D1} 网纹状粘土	个数	79	651	24	3	89	284	241	97
		%	10.4	86.0	3.2	0.4	12.0	38.2	32.4	13.1
④-3	Q ₂ ^{1+D1} 粘土	个数	0	5	12	37	2	5	13	15
		%	0	9.3	22.2	68.5	3.7	9.2	24.1	27.8

层号	年代及土名	收缩系数 λ_s		膨 胀 力 P.(kPa)						
		$0.4 < \lambda_s \leq 0.5$	$\lambda_s > 0.5$	$0 \leq P_s < 10$	$10 \leq P_s < 30$	$30 \leq P_s < 50$	$50 \leq P_s < 70$	$70 \leq P_s < 90$	$P_s \geq 90$	
③	Q ₃ ^{1+D1} 下蜀系粉质粘土	个数	4		118	29	6	3		1
		%	2.7		75.2	18.5	3.8	1.9		0.6
④-1	Q ₂ ^{1+D1} 网纹状粘土	个数	20	12	421	224	40	36	3	
		%	2.7	1.5	58.1	30.9	5.5	5.0	0.4	
④-3	Q ₂ ^{1+D1} 粘土	个数	10	9		2	2	6	5	39
		%	18.5	16.7		3.7	3.7	11.1	9.3	72.2

归统计所得相关系数分别为0.021和0.107,与膨胀土的高分散性及高亲水性等基本性质不协调。50kPa压力的膨胀率 $\delta_{e50} \leq 0$ 的指标占82.8%, $\delta_{e50} > 0$ 的指标在厂区内呈随机分布,说明④-1层土在50kPa压力下浸水绝大多数不产生膨胀变形;卸荷至零后,其膨胀率 $\delta_{e0} < 2\%$ 的指机占96.4%,说明在零荷载的条件下浸水产生的膨胀量非常有限,不足以对混凝土地坪构成危害或破坏,

这与其膨胀力P.非常小或几乎没有是一致的。收缩系数 $\lambda_s < 0.3$ 的占82.6%,明显偏小。按公式(1)算得的地基分级变形量仅几个毫米,且由于 δ_{e50} 绝大多数小于零,故分级变形量实际上为收缩变形量。从指标协调配合关系来看:④-1层土含水量低,呈坚硬状态,结构致密,胶粒含量达37%。若是膨胀土应表现出具有较强的膨胀性,但以上的各项指标分析并没有反映出这一性质,说

明其不具备膨胀土性质。

第④-3层黄色~草黄色粘土:该土层胶粒含量平均值高达54%,与广西宁明、贵县的膨胀土相当,自由膨胀率 $\delta_{.f} \geq 65\%$ 的指标占85.2%。其中 $\delta_{.f} \geq 90\%$ 的占44.2%,说明④-3层土具有中~强膨胀潜势; $\delta_{.f}$ 与土中胶粒含量及界限含水量关系密切,经线性回归统计结果,相关系数均大于0.8,与膨胀土性质吻合。50kPa压力下的膨胀率 $\delta_{.50} > 0$ 的指标占96.3%,且 $\delta_{.50}$ 与土样浸水前的含水比关系明显。线性回归统计结果,其相关系数小于0.7;卸荷至零后其膨胀率 $\delta_{.0} > 2\%$ 的指标占90.7%,其中 $\delta_{.0} \geq 4\%$ 的占68.5%,说明其具有较强的膨胀性,可能对一般地坪造成危害。根据GBJ112-87规范的规定,对使用要求严格的混泥土坪需要进行构造处理。这与其膨胀力 P 指标72.2%大于90kPa所反映的强膨胀力性质是一致的。62.6%的收缩系数 $\lambda_s > 0.3$,与膨胀土的性质基本吻合。按公式(1)算得的地基分级变形量一般在15mm与35mm之间,达到GBJ112-87规范表2.3.5中规定的膨胀土地基的I级胀缩等级。从指标的协调配合关系来看与膨胀土的基本性质一致。

3. 化学特征、矿物成分及微观结构分析

③层及④-1层土的化学特征及矿物成份分析结果详见表3。从表中可知:这两层土的酸碱度pH值在6.70~7.64之间,呈中性。阳离子交换量每百克土在9.24~16.40毫克当量之间,低于膨胀土的同类指标。经计算土中蒙脱石的含量都不超过3%,根据已有研究成果,膨胀土的蒙脱石含量一般不低于7%。在电子显微镜下观察到③层和④-1层土的结构类型主要为骨架状的,少量为基质状的,集聚体中只有少量迭聚体。膨胀土的集聚体是以迭聚体为主,微观结构是以紊流状和层流状为主。因此从化学特征、物质组成和微观结构来看,③层和④-1层土都不具备膨胀土的特性。

纵观前文分析,可以确定③层和④-1层土不属于膨胀土,④-3层土是膨胀土。

四、膨胀土判别的认识

1. 膨胀土的定义

要判别膨胀土首先必须了解膨胀土这一定义所包含的内容是什么?在第二届国际膨胀土研究会上曾讨论过。其结论是:膨胀土是一种由于它的矿物成分对于它所处环境变化,特别是对于湿度变化非常敏感的土,其表现是发生膨胀和收缩,产生膨胀力,影响膨胀性的主要矿物成份是蒙脱石粘土矿物。

在我国以往的文献中所谓的“膨胀土”指的是一种具有吸水膨胀,失水收缩的粘性土。其主要矿物成份为蒙脱石-伊利石或伊利石-蒙脱石。

在我国现行国标《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112-87定义膨胀土应是土中粘粒成份主要由亲水性矿物组成,同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的粘性土。在该规范的条文说明中明确指出了膨胀土的意义及其所包括的内容(略)。

尽管这些定义存在差别,有待进一步完善,但内容上及所反映的意思应该说是大同小异,都强调了膨胀土具有膨胀和收缩两种变形特性,即吸水膨胀和失水收缩,并且胀缩变形具有可逆性。

2. 膨胀土的判别

对于膨胀土的判别方法,除了国标GBJ112-87规范中所介绍的方法外,目前国内外还提出了不少。例如:国内很多专家主张利用塑性图判别膨胀土,将A线 $[I_p = 0.66(w_L - 20)]$ 以上,液限大于45%的区域内的土判为膨胀土(见图2);印度对黑棉土的膨胀性提出采用多种试验指标的综合判别分类标准(见图3);威廉姆斯(Williams)于1958年曾提出联合使用塑性指数及小于 $2\mu\text{m}$ 颗粒的百分含量作图来对膨胀土进行判别分类。此方法经进一步修正,在第六届非洲膨胀土会议上得到推广(见图4)。前苏

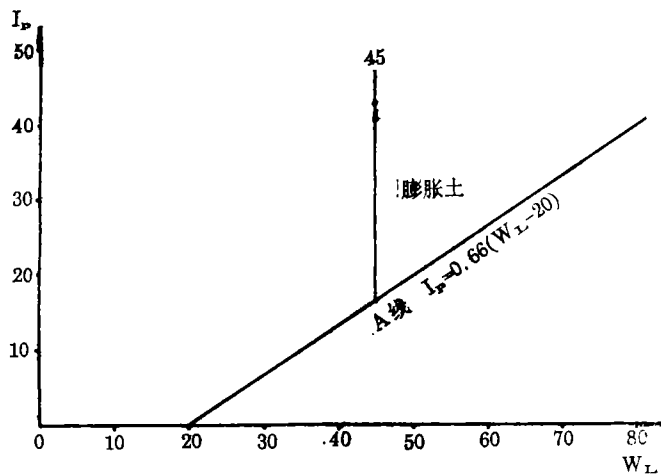


图 2 膨胀土塑性图判别方法

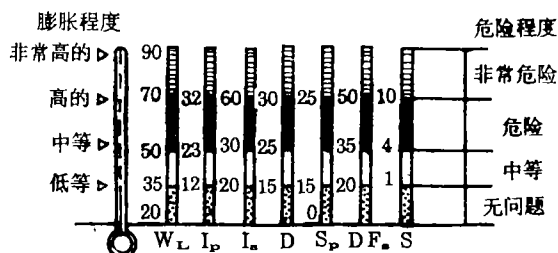


图 3 印度对黑棉土的判别分类标准

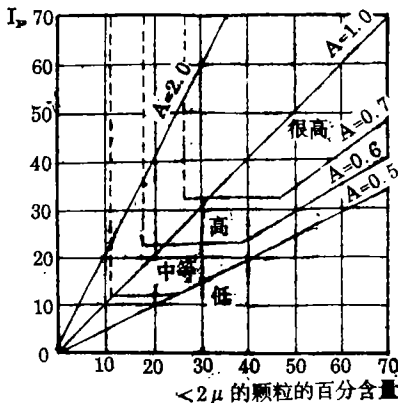


图 4 威廉姆斯对膨胀土判别与分类的标准

联全苏建筑标准与规则 СНИП II (15-74) 第 15 条规定：粘性土经水或化学溶液浸湿后体积增大，且在自由膨胀条件下（无荷载），其相对膨胀值 σ_{H} 按下式计算：

$$\sigma_{\text{H}} = (h_{\text{H}_0} - h) / h$$

式中 h_{H_0} —— 试样浸水膨胀后的高度；

h —— 试样浸水前的高度；

σ_{H} 大于 0.04 时属于膨胀土。

3. 膨胀土判别探讨

纵观以上判别方法，用于膨胀土判别的指标大体上可以归纳为三大类：第一类是反映土的天然结构与状态的；第二类是反映土的物质组成成份与水的相互作用的；第三类反映土在自然环境作用下的反应，即形成的一系列宏观地质特征。以往的判别方法主要是采取前两类指标，且侧重于土的基本性质

研究。但是工程实践都是与具体自然环境联系在一起的，因此作为工程实践解决具体问题，建议还应考虑第三类指标是比较适宜的，并且应研究三类指标之间的协调配合关系。国标 GBJ112—87 规范中对膨胀土判别考虑了场地的工程地质特征，而对土的基本性质只采用了自由膨胀率这一指标，虽然使用比较方便，但仅考虑自由膨胀率这一定量基本性质指标，笔者认为还欠严格。因为影响自由膨胀率的因素很多，诸如粘粒含量、介质的 pH 值和介质浓度等。场地的工程地质特征也具可变性，工程地质现象的形成离不开环境作用，环境作用的变化是非常复杂的，相同的地质体环境作用的变化可以形成不同的工程地质特征；不同的地质体也可以形成

(下转第 26 页)

厚0.0~0.8m不等的含有机质粘土软弱夹层。该夹层由于当时用人工麻花钻钻探未发现,故在工程地质剖面中未划出,其承载力仅70kPa。

1.3.3 原因分析

究其原因,造成主楼地段的严重沉降,主要是由于当时勘察“硬壳层”中的软弱夹层没有划出,误把本身存在的软弱夹层当作持力层一起考虑,致使这软弱夹层在超载的作用下受压而产生地基沉降所致。

从结构上分析,由于该工程采取了设置变形缝、圈梁、地梁等结构措施,加强了上部结构刚度和整体性,从而避免了因地基不均匀沉降而未使结构产生位移和未出现建筑物开裂的现象。

2. 几点认识

通过以上三个工程实例的总结,笔者有以下几点认识:

(1) 城市人工填土层的利用,是当今工程界研究的一个重大而棘手的问题。在填

土地基上营建建筑物,关键是取决于填土的性质,即均匀性、密实度和厚度,实例1便是一个很好的实例。

(2) 在工程地质勘察和基础设计中,必须把地基、基础和上部结构及荷载情况作为一个整体性来考虑,从而提高了勘察、设计和施工的质量,实例2便是一个很好的实例。

(3) 不论用何种勘察手段,如静探、钻探或手工钻,关键是要查明地基土的性质及其分布。对于工程地质意义重大的软弱夹层,如泥炭、有机质土等,必须划出。否则,则造成工程隐患,实例3便是一个深刻的教训。

参 考 文 献

- 倪宋英等. 石灰桩复合地基在多层框架建筑中的应用. 浙江省第五届土力学及基础工程学术讨论会论文集. 浙江大学出版社, 1992年12月

(上接第35页)

相似的工程地质特征,膨胀土的场地工程地质特征同样可以在非膨胀土地区出现。所以笔者认为更有效的膨胀土判别方法,应采取宏观工程地质特征调查与土的基本性质研究相结合的方法。对于土的基本性质研究尚应强调多项试验指标之间协调配合关系的综合研究:即一般物理力学性质指标与胀缩性指标之间的协调配合关系、胀缩性指标之间的协调配合关系。这些基本性质的指标不是孤立的,指标之间存在必然的内在联系。膨胀土的基本性质指标联系起来必定符合膨胀土的基本性质规律。若是非膨胀土,尽管个别指标可能与膨胀土指标相似,但是联系起来作为膨胀土考虑必然会出现许多无法解释的矛盾。如前文所述的④-1层土虽然自由膨胀率大部分大于40%,但其他物理力学性质指标、胀缩性指标及场地工程地质特征等方面

并不符合膨胀土特性,故我们认为不应将其定为膨胀土。因此对膨胀土的判别应当加强采用多项定性定量指标综合分析判别方法的研究。作为初步判别,便于工程实践操作可以采取一些已有的简便可行的方法。

五、 结 语

1. 神龙汽车有限公司武汉总装配厂厂区范围内所分布的③层和④-1层土,经采用多项定性定量指标协调配合综合分析判别,我们认为不属于膨胀土,而是武汉地区一般老粘性土,这一结论为该工程节省了大量投资,并对本地区今后开展的工程建设具有重要的指导意义。④-3层土为膨胀土,但埋藏较深,一般不会浅基础建筑物构成危害。

2. 对于膨胀土的判别宜采用多项定性定量指标综合分析并研究它们之间协调配合关系的方法,而不应根据某一项指标来判别是否为膨胀土。