

高等级公路工程中的膨胀土研究

41-4458

李健

(江苏省交通规划设计院 南京 210005)

孙英学

(河海大学 南京 210098)

TU443

U461

摘要 结合宁—连一级公路相应试验资料,对路基膨胀土进行工程地质研究,认为塑性图是判别、划分膨胀土胀缩等级的可靠手段;路基土经击实后胀缩性有明显提高,施工应采用重型击实标准;掺6%~8%生石灰是膨胀土的理想改良措施,中、弱膨胀土经改性处理后可作为高等级公路的路基填料。

关键词 膨胀土 胀缩等级 施工击实 石灰效应 高等级公路

路基 施工改良

1 膨胀土的判别

吸水膨胀、失水收缩是粘性土的共性,膨胀土是粘性土的一种,因此如何准确地判别膨胀土是具有现实意义的。一般认为土体结构及其地质成因的研究是膨胀土研究的基础;矿物成分、微观结构对膨胀土胀缩性起控制作用。

1.1 判别方法

目前,国内外提出的判别膨胀土的指标很多,大体可分为两大类:第一类是反映土的自然结构与状态的指标,如压实性指标 K_d 、膨胀性指数 K_e 、吸水指标 K_w ,这类指标需用原状土样测定;第二类指标是反映土的物质组成成分的指标,如自由膨胀率 F_e 、液限 w_L 、塑性指标 I_p 、活动性指数 K_A ,该类指标可由扰动样品测得,所以在实践中多被采用。

国家建设委员会1985年草拟的《膨胀土地区建筑技术规范》(初稿)中推荐的根据自由膨胀率或蒙脱石含量的膨胀土判别准则,由于其自由膨胀率 F_e 的测定受试验操作方法、颗粒势能状态、外貌特征、介质 pH 值等多种因素影响,所以并不是一种较理想的判别指标;蒙脱石含量影响土的胀缩性,但并不是唯一决定因素,如广西南明和贵县的膨胀

土蒙脱石含量基本相同,但由于土体结构上的差异,宁明膨胀土具更强的胀缩性能。因此,膨胀土的判别应考虑多因素的综合,才能得到较为理想的结论。

国内外也曾采用塑性指数作为膨胀土的判别指标,但由于塑性指数是液、塑限的差值,不同液、塑限可取得相同的差值,亦即塑性指数相同,所以塑性指数相同的土其膨胀性却可能相差很大,这样就降低了单独运用塑性指数判别膨胀土的可靠性。

液限作为判别膨胀土的指标最近愈来愈得到广泛应用,这是因为液限是反映粘性土的粒度矿物组成及交换阳离子容量等的灵敏指标。众多土工试验结果证实,土的液限大体上与土的胀限含水量相当,缩限则大体上相当于塑限或略低于塑限。决定土的膨胀、收缩性能的这部分水恰好相当于浓度差渗透吸附结合水,即通常所称的弱结合水,其变化幅度主要受液限的高低控制,弱结合水多,液限就高,则土的胀缩性亦高。

用液限与塑性指数联合建立塑性图判别膨胀土方法已纳入国家标准(GBJ145—90)和交通部部颁标准(JTJ051—93)之中。前者取液限(76克锥) $w_L > 40\%$, A 线以上为膨胀土;后

第一作者简介:李健,男,高级工程师,从事交通线路工程地质勘察研究,曾发表《工程地质观测数据类型及取样》等论文。

者取液限(100克锥) $w_L \geq 50\%$, A线以上为膨胀土(图1)。用塑性图判别膨胀土的方法不仅物理概念明确,而且在实践上简单可行。

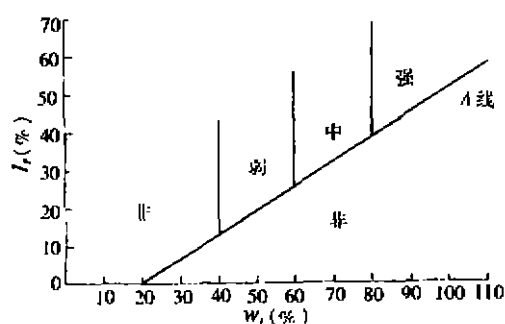


图1 按塑性图分类

根据塑性指数和小于 $2\mu\text{m}$ 颗粒的百分含量制作的威廉姆斯图也常用于判别膨胀土。这种判别方法在理论上是可取的,它既考虑了反映土水作用的塑性指数,同时也考虑了粘粒的百分含量,突出反映了粒度的影响。

1.2 宁—连一级公路研究路段膨胀土的判别

为了准确可靠地判别,运用塑性图、自由膨胀率联合液限及威廉姆斯图等方法,对宁—连一级公路研究路段路基土进行了综合分析判别。现列举几种典型膨胀土于表1。

2 膨胀土的等级划分

2.1 膨胀土的等级划分方法

目前常用的简易胀缩等级分类方法有以

表1 研究路段膨胀土物性指标

土样	采样地点	粒径小于 $2\mu\text{m}$ 颗粒含量(%)	粘土矿物成分及含量(%)	比表面积 $/\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$	自由膨胀率 $F_p(\%)$	塑性指数 $I_p(\%)$	液限 $w_L(\%)$	线胀缩总率(%)	离子交换容量(%)
灰色土	44K	51.9	I-M; 19, I; 56, V; 14, ch; 9	503.40	82	42.8	71.9	4.3	24.50
棕色土	52K+690	38.7	I; 58, ch; 9, V; 9	406.23	55	26.5	53.2	2.7	21.47
黑色土	125K+600	27.3	I; 37, M; 46, ch; 21, V; 7	670.55	55	35.0	57.7	5.8	25.12
灰黄色土	132K	35.5	I-M; 35, I; 39, ch; 20, V; 6	581.98	70	30.7	53.5	2.9	24.90
棕黄色土	47K+650	32.5	I; 71, V; 16, ch; 13	573.85	60	28.5	45.9	2.1	23.95
灰黑色土	47K+650	32.5	I; 69, V; 13, ch; 17	473.40	50	21.3	42.2	0.9	22.19

注: I-M表示伊利石-蒙脱石; I表示伊利石; M表示蒙脱石; ch表示绿泥石; V表示蛭石。

表2 按胀缩性分类

胀缩等级	无荷载下 体总胀缩率(%)	无荷载下 线总胀缩率(%)	线总膨胀率 $e_{ps}(\%)$	胀缩含水量 状态下的 体缩率(%)	自由膨胀率 $F_p(\%)$
强	> 18	> 8	> 4	> 23	> 80
中	12~18	6~8	2~4	16~23	50~80
弱	8~12	4~6	0.7~2	8~16	30~50

下四种:

a. 按塑性图分类。即按图1所示联合液限与塑性指数的分类方法。

b. 按胀缩指标分类,如表2所示。

c. 按膨胀土物质成分和物性指标分类,如表3所示。

d. 根据土中交换阳离子成分与交换容量的分类。一般认为含低价交换阳离子 Na^+ , K^+ , H^+ 等的土膨胀性强,含两价交换阳离子者为中等。按土的阳离子交换容量可分为:大于 $40\text{me}/100\text{g}$ 的土属弱膨胀土;30~ $40\text{me}/100\text{g}$ 的土为中等膨胀土;低于 $30\text{me}/100\text{g}$ 的土为弱膨胀土。

2.2 宁—连一级公路膨胀土的特性及等级划分

研究路段地处黄淮冲积平原,路线穿越三个地质单元:滨海泻湖沉积平原,废黄河、淮河冲积平原,洪泽湖湖积平原。

2.2.1 研究路段膨胀土的工程地质特征

按膨胀土的成因分类,研究路段膨胀土多为滨海相、湖相及残积相,河相膨胀土则较少。其矿物组成以粘土矿物为主,粒度成分特点是粘粒($<2\mu\text{m}$)含量高,属高分散性土,粘粒含量一般超过30%,大部分在40%左右。由X光衍射定量分析结果可知路段膨胀土中的粘土矿物均是以伊利石为主(含量大于等于50%),且均含有蛭石和绿泥石。

表3 按物质成分和物性指标分类

胀缩等级	粘粒含量(%)	粉粘含量(%)	液限 $w_L(\%)$	塑性指数 $I_p(\%)$	比表面积 $/\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$
强	> 50	> 40	> 48	> 25	> 300
中	35~50	40~50	40~48	18~25	150~300
弱	< 35	< 50	< 40	< 18	< 150

根据红外光谱鉴定还发现有蒙脱石存在。当膨胀土的矿物成分以蒙脱石为主时,由于蒙脱石钠活动性为 7.2、钙活动性为 1.5,显然土的胀缩机理是明了的。相比之下,研究路段膨胀土主要以伊利石为主,而伊利石的活动性为 0.9,在这种情况下土的胀缩机制为:第一,路基土含有一定量的蒙脱石,由于膨胀土都是粘粒含量很高的土,少量的蒙脱石就可导致明显的胀缩性;第二,伊利石是不稳定矿物,可失去钾离子而变成似蒙脱石;第三,伊利石并不是不亲水的,只是它的亲水性略小于蒙脱石而已;第四,研究路段膨胀土的结构类型有基质状、紊流状、层流状、海绵状等,而非膨胀土则多呈蜂窝状、骨架状。

2.2.2 研究路段膨胀土胀缩等级划分

研究路段膨胀土胀缩等级划分见表 4。

表 4 研究路段膨胀土胀缩等级

分类方法	灰色土	棕色土	黑色土	灰黄色土	棕黄色土	灰黑色土
塑性图	中	弱	弱	弱	弱	弱
胀缩性指标 (线胀缩总率)	强	强	强	中	中	弱
粘粒含量与液限	强	中	弱	中	弱	弱
离子交换容量	弱	弱	弱	弱	弱	弱

3 膨胀土填料的击实

3.1 击实膨胀土的探讨

3.1.1 膨胀土填料的击实特征

不同的膨胀土在相同的击实动能下,其压实效果有明显区别,这与它们各自的粘粒含量和矿物成分有密切关系。①一般粘粒含量高的土,其最佳含水量 w_0 较大;②亲水性矿物含量高的土其 w_0 也较大;③颗粒级配是影响土最大干密度的重要因素,级配差的土料,最大干密度就小。

3.1.2 击实膨胀土的胀缩特征

各类路基土经扰动击实后,胀缩性都有明显增加。较之天然原状土,其膨胀力要高出 7~11 倍。50 kPa 下的膨胀率,原状土均为负值,扰动击实土一般均增加 3%~12%,其值的大小排列与膨胀力大小相对应。根据

胀缩总率扰动击实后,原中弱膨胀土大多上升为强膨胀土。

3.2 施工击实标准

在膨胀土地区修建高等级公路时,仍然采用重型击实标准,理由是:①采用轻型击实标准虽可以降低路堤的膨胀,但同时又使路堤强度较低;②应考虑自重压力对膨胀土的影响;③应考虑收缩对路基的不利影响;④采用重型击实标准使透水性减弱;⑤路基设计采用防水、保湿、封闭坡面综合设计原则,对土体膨胀起了一定的约束作用。

4 膨胀土填料的掺石灰改良

膨胀土大多是粘性土,同时存在变形过大与承载力不足两个问题,因此对膨胀土进行处理应做到既减弱其胀缩性,又提高其承载力。目前,膨胀土的处理多用掺石灰法,此方法经济、安全、可靠。

4.1 膨胀土的石灰效应

石灰加入膨胀土中后,石灰与土之间发生强烈的、复杂的物理化学作用,使土的工程性质发生根本变化,这就是石灰效应。其中一系列物理化学作用包括离子交换作用、碳酸化作用、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结晶反应、灰结作用(火山灰反应)。可以认为,石灰加入土中后,经过物理作用和化学作用,石灰土发生团聚,随之有凝胶物生成,构成了凝胶团聚结构。随着龄期的增长,棒状及纤维结晶体生成,并不断生长,构成了结晶体的网架结构。随着龄期的继续增长,胶凝结构层加厚,结晶体的网架加密,形成了胶凝-结晶的网状混合结构。离子交换反应使粘土胶体凝聚,土的湿坍性得到改善,使石灰获得初期的水稳性;碳酸化反应与火山灰反应对提高石灰土的强度与稳定性,降低土的膨胀性起决定性的作用。当它们的生成物处于胶凝状态时,石灰土结构属凝聚结构,随着结晶网架的生成,逐渐向结晶缩合结构转化,其强度不断增大,胀缩性下降。因此可以断定,掺生石灰后,经测定已判别为非膨胀土的改良土已成为永久性的非

膨胀土,在路基设计中可以将上述改良土作为非膨胀土来考虑。

4.2 掺灰改良的效果及其影响因素

a. 对研究路段代表性膨胀土分别取样,掺入不同剂量(0,4%,6%,8%,10%,12%)的石灰作对比试验,确定最佳掺灰量。表5将最佳掺灰量状态下各种土的改良效果与原状土作了比较。

b. 影响掺灰改良效果的因素有:①土质差异是生石灰改良效果不同的最主要原因。粘粒含量高的土改良效果好;土的化学矿物成分不同,用生石灰加固的效果亦不同,粘土矿物以伊利石-蒙脱石混层矿物为主的膨胀土,由于蒙脱石类矿物的离子交换容量大,因此最佳掺灰量就高,可达8%;而以伊利石为主的膨胀土,最佳掺灰量则小,为6%;腐殖质含量高会显著降低掺灰改良的效果。②石灰剂量的影响。试验证明并非掺灰越多,改良效果越好。随剂量提高,石灰土的强度和稳定性均提高;当石灰剂量达2%~3%时,石灰仅起到稳定作用;当石灰剂量超过某一值后,过多的石灰在土中自由存在,导致石灰土强度降低。因而对应石灰土最大强度的石灰剂量即为最佳掺灰量。③龄期对掺灰改良效果的影响。无论从微观结构特征还是从宏观强度特征看,龄期对石灰改良效果的影响都是十分显著的,可以认为经改良后的膨胀土填料其改良效果是永久的。

5 对研究路段膨胀土工程地质评价的几点认识

a. 研究路段膨胀土粘粒中粘土矿物组

成很好地反映了各路段土层的地质成因特点。例如,滨海泻湖相堆积以伊利石-蒙脱石混层矿物和伊利石为主,废黄河、淮河堆积均多少含有一定数量的蒙脱石,这都很好地反映了膨胀土的物源性特点。

b. 粘土矿物组成成分是控制其亲水能力大小的内在因素之一,废黄河、淮河堆积物中虽含有一定数量的蒙脱石,但其天然土大部分都为非膨胀土,这是由于土中粘粒含量很少所致。由此可见,判别是否为膨胀土单凭粘粒的矿物组成不行,还必须考虑其粘粒的百分含量。

c. 依据交通部土分类标准(JTJ051—93),利用塑性图判别并划分膨胀土等级,同时利用其它方法加以校核,可以明确研究路段膨胀土为中、弱膨胀土。对于高等级公路,中等或弱膨胀土经改性处理后可作为路基填料。

d. 在交通部门,结构性膨胀土是不容忽视的,在施工中由于人工击实等外在因素使土体微观结构发生变化,而导致有些非膨胀土成为膨胀土。在研究路段中最典型的是天然含水量超过液限 w_L 的欠固结土,天然状态下无膨胀性而经人工击实后则成为强膨胀土。

6 结论与建议

a. 研究证明,塑性图是判别和划分膨胀等级的简便有效的手段,判别与评价宜分两步走,判别在先,评价在后。

b. 中、弱膨胀土经改性处理后可作为高等级公路的路基填料。

c. 天然原状土与击实土的胀缩性差异很大,这主要是受二者结构控制。

表5 研究路段膨胀土掺灰改良效果

土 样	采样地点	最佳掺灰量	膨胀力/kPa	50kPa下膨胀率(%)	线收缩率(%)	胀缩总率(%)	无侧限抗压强度 q_u /kPa
灰色土	44K+200	6%	587/33	11.8/-0.4	3.1/1.9	11.8/-0.4	崩解/893
黑色土	64K+300	6%	385/28	7.3/0.3	3.4/0.7	7.5/0.3	崩解/423
粒状黑色土	127K+300	8%	149/6	2.3/-0.1	2.5/1.8	2.4/0.9	崩解/1021
灰黄色土	132K	8%	276/37	5.5/-0.3	3.5/1.2	6.2/-0.25	崩解/1191
棕黄色土	47K	6%	164/15.8	3.2/-0.2	2.4/1.7	4.4/-0.3	崩解/731
黑色土	47K+650	8%	140/8	2.4/-1.0	2.0/1.1	2.4/-1.0	710/716

注:“/”前面数据为未掺灰状态;“/”后面的数据为最佳掺灰量状态。

(下转第58页)

结果,动态灌法全生育期无水层天数为44~50d,而习惯灌法无水层天数仅为23~40d。无水层期间水稻的棵间蒸发只是土壤表面蒸发,蒸发强度明显减少,植株蒸腾也明显减弱。因此,无水层天数多可以极大地减少腾发量,从而收到节水的效果。

b. 田间渗漏量减少。田间渗漏量主要与建立水层的时间和水层深浅有关,动态灌法以浅水和湿润为主,水层较浅,建立水层的时间显著减少,水的渗透压减小,渗漏速度减慢。无水层不但可以减少渗漏,而且水稻还可以利用毛细管和根系的作用吸收利用地下水,从而减少了用水量。

c. 降雨利用率提高。灌溉水层浅或无水层时间长,可以大大提高存蓄雨水的机会和能力。根据三年的实测资料分析,动态灌法降雨有效利用率为57.3%,而习惯灌法降雨利用率为40%,提高了17.3个百分点。

6 结 语

a. 根据试验和推广实测资料分析,动态灌溉、湿润灌溉、浅水勤灌与群众习惯灌溉相比有明显的增产节水效果。节水效果以湿润灌溉最高(25.6%),动态灌溉次之(18.0%);增产效果以动态灌溉最高(18.5%),湿润灌溉次之(16.57%)。上述资料,又一次佐证了江苏省水利科学研究所的研究成果,说明“深-浅-晒-间-润”动态灌溉技术不仅是水稻高产灌溉技术,同时也是良好的节水灌溉技术。

b. 在大面积推广中仅推广动态灌溉技术,主要考虑下述三个因素:①湿润灌溉以无水层为主,倘若田面稍有不平,就会有局部受旱现象。目前,机械化程度低,劳动力价格高,大面积平整土地困难较大,而动态灌溉前期以浅水勤灌(水层)为主,后期虽以湿润为主,但主要水源来自于天然降雨,因此实践中易于实施和操作。②湿润灌溉田间水分状况长期处于水稻高产生长的最低限,一旦供水不及时,就会影响产量。因此,湿润灌溉对水源要求高,灌溉周期短,灌水频繁,目前的用水管理水平很难适应这种要求。③动态灌溉

技术增产效果最好,对于江苏水资源相对富裕、粮食日趋不足的情况来说,群众更乐意选择增产显著的灌溉方法。事实上,动态灌法的综合经济效益也最高。

c. 江苏省普遍推广的水稻高产栽培体系是叶龄模式^[2],由于动态灌溉技术与叶龄模式紧密配合,直观易掌握,不但深受群众欢迎,而且也容易得到农业部门的支持。这是动态灌溉技术能够得到大面积推广的生命力所在。

d. 节水灌溉技术推广是一项技术性很强的工作,一定要加强领导,建立健全用水管理组织,广泛开展技术培训和宣传。在工程上,应加强量水设施建设和建筑物配套,确保用水有计量,杜绝跑水、自流水。

e. 需要说明的是,在推广过程中,由于用水管理的实际困难和群众对节水灌溉有所顾虑,在水层设计上适当放宽了一些,因此推广区的节水增产效果比示范区略低。

参考文献

- 1 吴玉柏. 根据水稻生育进程叶龄模式进行“深-浅-晒-间-润”合理灌溉. 灌溉排水, 1990, 9(3): 10~16
- 2 凌启鸿, 苏祖芳等. 水稻叶龄模式栽培技术. 北京: 农业出版社, 1986

(收稿日期: 1996-09-28 编辑: 张志琴)

(上接第44页)

d. 掺灰改良并非对所有土样都适用,同时对不同的土样其最佳掺灰量不同,范围6%~8%。

e. 掺灰改良的效果是永久的。

f. 施工采用重型击实标准,对于挖方或填方路段或场地,除作掺灰处理外还要考虑挖方或填方边坡的稳定性,设计中应考虑采用防渗与加固措施。

参考文献

- 1 李生林等. 中国膨胀土工程地质研究. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
- 2 汪春桃. 公路路基膨胀土填料的工程特性. 江苏交通工程, 1995(4): 39~45

(收稿日期: 1996-10-03 编辑: 熊水斌)