

岩土工程

污染土的研究现状及展望

陈先华^{1,2}, 唐辉明^{1,2}

(1. 中国地质大学研究生院, 武汉 430074; 2. 桂林工学院, 桂林 541004)

[摘要]从岩土工程角度,针对研究内容、测试与试验技术、分析与评价方法,探讨国内污染土研究的现状,并提出今后研究方向。

[关键词]污染土 环境 试验 机理 评价

[中图分类号]P642.5 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2003)01-0077-04

关于环境保护问题,人们很早就开展对空气、地表水、地下水、风景区和生态等的保护和研究工作,而对土地污染的研究和保护,是 20 世纪 70 年代才开始的,直到 1985 年 11 月,在荷兰 Utrecht 召开的第一届国际污染土会议才对污染土作了第一次世界性的学术交流^[1,2]。西欧等许多国家对土的污染问题愈来愈受到重视,充分认识到土的污染会给人、动物和植物以及农业带来严重的后果,对污染土的研究也取得了一定的成就,如美国的 Loveland, Legigh 大学,英国的 Thamesmead Arsenal,德国的 Georgswerder,荷兰的 Lekkerkerk 等地都有许多研究、治理污染土的经验^[18~20,22]。从 EI 上公布的国外有关污染土的研究报告和发表的论文来看,1992 年以前所发表论文较少,之后迅猛增加,仅 1995 年 EI 上就多达 136 篇,而且,开设了 Soil Pollution 和 Soil Pollution Control 专栏来报道有关污染土研究进展。国内自 60 年代开始就已经有单位(如化工部南京勘察公司)在一些老厂房的改造过程中,发现地基土被废液污染,导致土质改变造成建构物破坏的事故,从而开展了污染土的勘察和研究工作,但由于我国对环境保护工作起步较晚,环保意识薄弱,对土的污染研究工作严重滞后,对污染土缺乏系统的全面的研究,直到 80 年代同济大学在国家自然科学基金的资助下从环境保护的角度开展了对污染土性质、污染物离子在土层迁移规律以及废弃物处理的研究。目前,国内发表的关于污染土的研究成果也大多数是有关环境保护工程和土壤学方面的,而纯岩土工程意义上的成果却很少,而且多为工程实例

的报道^[3]。

污染土研究的课题是岩土工程研究领域中的一个崭新课题,与环境科学紧密相关的岩土工程问题,或者说属于环境岩土工程的范畴,其中包括:环境地质工程——用岩土工程的方法来抵御由于天灾引起的环境问题,如沙漠化、洪水、滑坡、地震等;环境生物工程——用岩土工程的方法来抵御由各种化学污染引起的环境问题;工程环境——人类工程活动引起的环境问题,如打桩的挤土、振动、噪音、基坑降水、边坡位移等,涉及到岩土工程、环境工程、土壤科学、化学与化工工程、生态学、卫生与防护以及测试技术等多学科领域,是介于这些学科边缘的交叉学科。目前,国内发表的关于污染土的研究成果也大多数是有关环境工程和土壤科学方面的,而纯岩土工程意义上的成果却很少,而且多为工程实例的报道。

1 污染土的研究内容

地基土体是否受污染和污染的程度以及污染后地基土体的性状如何,受很多因素的制约和影响^[9]。首先取决于土颗粒、粒间胶结物和污染物的物质成分,其次是土的结构和粒度、土粒间液体介质、吸附阳离子的成分及污染物(液体)的浓度等,再者是土与污染物作用时间和作用时的温度。主要的研究内容为:(1)调查地基土受污染前后的物理力学性质、矿物成分、化学成分等;(2)调查污染物的来源、化学成分和性质、污染途径、污染历史等;(3)研究土—污染物相互作用的方式、反应结果、时间效应和温度效应、生成物的性质及其影响;(4)调查地下水的分布及其与污染物作用的关系;(5)研究污染

[收稿日期]2001-12-11;[修订日期]2002-12-17;[责任编辑]李石梦。

[第一作者简介]陈先华(1964年-),男,1985年毕业于桂林冶金地质学院,获学士学位,博士生,副教授,现主要从事岩土工程专业教学工作。

土、水的侵蚀性;(6)查明污染土的空间分布,按不同污染程度划分污染区;(7)对污染土作出岩土工程评价;(8)提出治理污染土的措施和方法。

2 测试与试验技术

目前国内还没有专门用于污染土的勘察设备和分析、试验仪器,只能应用岩土工程勘察中的通用手段,如钻探、井探、物探、各种原位测试、室内土工试验等,近来国内也出现了一些特殊的测试技术,如有色长沙勘察院做了煮沸酸液试验^[4]、广西大学吴恒采用CT测试技术^[14]。国外,如荷兰发展了几种野外快速试验方法(石油探测盘、螺线钻等)和一些快速提取土中污染物质的方法(高热分解气体色谱法、固体光谱法等)^[21~22,24]。在室内试验中,除了常规的土工试验以及根据土的特性增加的特殊试验项目外,还必须进行化学分析,这是研究土—污染物相互作用所必不可少的。化学分析项目包括土的全量分析、矿物分析、某元素(或某化合物)的定量分析、易溶盐含量、有机质含量、pH值、对金属和混凝土的腐蚀性分析等项目。

据孔令伟、廖义玲^[1,16~17]等研究结果,在对土颗粒成分分析测试中,测试技术对测试结果有较大的影响,如在红粘土颗粒成分和胶结物成分的测定中,采用的分散剂对粒度成分的分析结果影响巨大。如同一种土的悬液中分别加入pH值为7.2、7.9和8.8的氨水、 Na_2CO_3 和NaOH溶液,测得粘粒含量分别为51%、53%和41%,而加pH值为7.5~8.5的偏磷酸钠、草酸钠、焦磷酸钠的溶液,粘粒含量达到70%~75%。

由于人们对污染土的特性还没有全面了解,在对污染土进行的研究中,一般都开展了一些污染模拟试验,目前开展的模拟试验主要有以下几种类型:

1)室内模拟试验:室内模拟试验主要是模拟土颗粒及其胶结物在不同类型和浓度的酸碱液的作用下,被腐蚀的程度或速度。目前主要采用以下两种方法:

(1)浸泡试验:赵以忠、邓承宗、范青娟和李琦等^[6~7,10,12]分别用脱离子水、污染废液以及不同浓度的酸液和碱液对一般粘土、黄土、红粘土等土的扰动土样进行了不同时间的浸泡,然后,分别测定土颗粒和浸泡液在浸泡前后的矿物成分、化学成分以及有机质等的变化,来分析评价土遭受污染的程度和过程。用来试验的扰动土样,往往是经过风干或烘干处理的土样,土中的天然水分被去掉了,土的天然

结构也被破坏,另外,浸泡试验溶液的重量是固定不变的,而天然状态下的地基土层中,溶液是流动变化的,因此浸泡试验只能模拟土颗粒及其胶结物被溶蚀的情况。

顾季威^[8]采用标准环刀将坡积粘土和粉质粘土的土样切好,上下用两块透水石覆盖浸入废碱液中进行模拟试验,此法可以测试土样浸泡前后的物理力学性质的变化。

(2)淋滤试验:淋滤试验要求用原状土样(保持土的物质成分不变,保持土的结构、水分以及土中原始溶液的化学成分也不变),模拟酸碱废液在土中的运移过程,来模拟土体受酸碱废液的溶蚀或腐蚀情况。由于天然状态的粘性土样具有一定的结构,透水性较弱,淋滤过程中难以使土颗粒与溶液充分接触发生化学反应,故难以取得预期的结果,很多研究者没有采用,只有侯玉等^[11]在深圳河疏浚污染土弃置研究中,进行了污染土淋溶水的模拟试验,获得污染土中污染物质淋溶结果及其对环境的影响,但对污染土自身的矿物成分、化学成分以及物理力学性质的变化没有作出研究。

2)现场试验:有关现场的污染土方面的模拟试验有两篇报道,边际等^[5]为了评价碱厂废液排放池内的 CaCl_2 溶液对相距1km的盐湖是否会受到污染,在现场进行了废液入渗和在土中运移的模拟试验,并从不同的角度作出了报道。其他也有一些已经被污染的土体的实际测试和试验结果的报道,如陈国政开展了盐渍土复合地基现场小型载荷试验的可行性研究。

3 污染土的分析与评价

对污染土及污染土地基或场地的分析与评价,除了常规的岩土工程评价内容外,还包括以下几个方面的内容:

1)对场地地基土污染程度作出评价,给出污染等级分区。地基土距污染源的距离不同,遭受污染的程度是不同的。为了能妥善地、合理地污染土进行工程治理,必须对污染土地基作出污染等级的划分。目前污染等级的划分标准是某一(或某些)标志参数的定量或半定量标准。如化工部南京勘察公司采用的标志参数是易溶盐含量,并参考了盐渍土等级划分标准。美国Lehigh大学在室内试验中区分不同污染程度的参数是pH值。

2)判定污染土对金属和混凝土的侵蚀性。由于污染土中含有大量的腐蚀性的酸碱废液和盐类,对

金属和混凝土都具有腐蚀性,目前,国内对污染土的腐蚀性评价,是沿用盐渍土的评价方法和标准来进行。但由于盐渍土的特殊形成条件,使得盐渍土的成分相对简单,而污染土是土体的二次作用结果,原土和污染源的物质成分的多样性、化学作用过程的复杂性以及容易受环境条件(如透水性、温度等)的制约和影响,其对金属和混凝土的腐蚀成分和强度与盐渍土是有一定区别的。

3) 确定污染土的承载力及其他强度指标。土体受污染后强度都有不同程度的降低,由于用来确定承载力的方法和一些物理力学指标,在污染土中没有得到充分的认识,有些指标具有假象,例如,作者在柳州市化冶公司的污染土现场^[13,15],观察到红粘土受 $ZnSO_4$ 污染后的状况, $ZnSO_4$ 在干燥状态下结晶成 $ZnSO_4 \cdot H_2O$ 后表现出良好的工程特性,结晶体需加热到 280 才会失去结晶水,但结晶体遇到水后会立即溶解,以离子的形式存在于溶液中,这种现象给常规方法的含水量、液、塑限的测定带来困难。因此,考虑到污染土的特殊性,现有的承载力表和经验公式不一定适用。

4) 提出污染土的治理措施和意见,也是污染土岩土工程评价中重要的内容,根据污染等级区划,提出相应的处理意见。

5) 预测污染发展的趋势。对可能出现污染的场地,或虽经治理,但污染源有可能没有根除,污染途径可能没有杜绝,土的污染还可能继续发展时,需对其可能产生的后果作出预测。预测内容应包括对污染物与土颗粒发生化学作用、由于时间效应和环境效应土体物理力学性质变化趋势的预测,而且应包括时间和空间预测两个方面。目前,关于污染土污染趋势预测方面的研究仍是空白。

4 结论

我国污染土的研究现状可以归纳为以下几个方面:

1) 国内从事这方面的研究工作的单位大部分为勘察设计单位,一般采用常规的勘察手段和试验仪器,多数是用原状土试样进行室内试验,个别也进行过室内和野外的浸酸或浸碱试验。有的已经考虑到污染物对仪器设备的腐蚀,采用了防腐措施,有的采用了 CT 测试技术。美国 Pennsylvania 州的 Lehigh 大学已经研究出一种用于危险和有毒物质渗透试验的三轴仪,用以研究污染物在土中的渗透性,并测定土的抗剪强度以及测定不同温度的影响。

2) 一般情况下的模拟试验都是模拟已经发生或可能发生的污染情况进行的,并且都已注意到了进行不同污染浓度的对比。国外已有对分离单矿物进行试验的,如 Lehigh 大学进行了几种粘土矿物在 pH 值为 2~12 的不同溶液中的试验,并注意到了烘干试样与天然风干试样的差异性。

3) 在土-污染物相互作用中温度效应和时间效应方面,一般都进行二三种不同污染时间的试验,考虑的时间从几天、几十天直到半年,最长达 6 年;在试验温度上,除了常温外,有的做了几种高温试验。如有色长沙勘察院做了煮沸酸液的试验。美国 Lehigh 大学做了 75~150 的 4 种温度的试验。

4) 在污染机理的研究方面,一般都从污染物与组成土的矿物之间的化学反应着手。国内有的学者研究了土受到污染后的显微结构变化。国外则考虑了吸附、淋滤、细菌作用、离子交换反应、热电、渗透等因素。

5) 根据岩土工程的实际情况,将污染等级进行了划分。如化工部南京勘察公司以土中易溶盐含量为分级标志将污染土分为强、中、弱和未污染 4 级。

6) 在污染土的治理方面,国外已有较多种手段着眼于保护环境,消除污染土对人和其他动植物的危害。其方法有水洗或其他溶剂洗涤、化学处理、热处理、微生物处理等。另外,还有挖除、固化、覆盖、隔断等方法。

总体而言,污染土研究还是处于探索阶段,没有成熟的理论、方法,也没有有效的模型用于污染趋势的预测,对污染机理的研究停留在面上的化学反应分析上。今后的研究方向和研究热点有:

(1) 废弃物堆放场地选择的地质、水文地质和岩土工程标准研究;

(2) 污染物的工程特性,包括现场和室内试验研究;

(3) 污染物与土颗粒及其胶结物作用机理的理论和试验研究;

(4) 污染物运移和渗透规律的研究;

(5) 对固-液的物理、化学作用过程及相互作用的定量研究;

(6) 建立污染物作用下土体物理力学特性变化的定量揭示和预测模型的研究;

(7) 在模拟土颗粒及其胶结物与废酸碱液作用的基础上,将土体工程特性、土体微观结构和污染废液的水化学过程耦合起来研究;

(8) 污染土场地勘察的取样、试验及监测的方法

和设备仪器的研究;

(9) 污染物及污染土的毒理学和环境岩土工程风险评价研究;

(10) 污染土物理力学性质及承载力的分析、测试和确定方法的研究;

(11) 污染土或污染物处理的环境岩土工程技术研究,包括污染土填埋技术、隔离技术、污染环境净化技术、污染废液滤出控制系统等研究,以及隔离材料的矿物成分、结构和孔隙的研究;

(12) 土质污染防范系统的研究;

(13) 土质污染等级划分标准的研究与建立。

[参考文献]

- [1] 傅世法,林颂恩. 污染土的岩土工程问题[J]. 工程勘察,1989,(3).
- [2] 李明清. 关于污染土[J]. 工程勘察,1986,(5).
- [3] 饶为国. 污染土的机理、检测及整治[J]. 建筑技术开发,1999,26(1):20~21.
- [4] 傅世法,赵玉林. 污染土地基岩土工程勘察实例[J]. 勘察科学技术,1991,(6).
- [5] 边 际,邵益生,蔡铨才. 碱厂废液入渗现场模拟试验及其在环境评价中的应用[J]. 工程勘察,1991,(5).
- [6] 邓承宗. 硫酸对地基的腐蚀[J]. 勘察科学技术,1985,(6).
- [7] 赵以忠. 某厂强酸性废水对红粘土地基侵蚀性的模拟试验[J]. 勘察科学技术,1988,(2).
- [8] 顾季威. 酸碱废液侵蚀地基土对工程质量的影响[J]. 岩土工程学报,1988,10,(4).
- [9] 刘全义. 软土地区化学侵蚀地基沉降机理初步研究[J]. 工程勘察,1998,(5).
- [10] 范青娟,马光锁. 浸胀膨胀对地基土的影响与处理[J]. 轻金属,1999,(9).
- [11] 侯 玉,卓建民,黄汉禹,等. 深圳河疏浚污染土淋溶水模拟试验[J]. 中山大学学报,1998,37(1):114~117.
- [12] 李 琦,施 斌,王有诚. 造纸厂废碱液污染土的环境岩土工程研究[J]. 环境污染与防治,1997,19(5):16~18.
- [13] 蓝俊康. 柳州市红粘土对 Zn^{2+} 的吸附平衡实验[J]. 桂林工学院学报,1995,15(3):265~267.
- [14] 吴 恒,张信贵,易念平,等. 水土作用与土体微观结构研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,3(2):199~204.
- [15] 陈先华. 柳州市红粘土变形与强度特征[J]. 桂林冶金地质学院学报,1993,6(2).
- [16] 孔令伟,罗鸿禧. 游离氧化铁形态转化对红粘土工程性质的影响[J]. 岩土力学,1993,14(4):25~39.
- [17] 廖义玲,余培厚. 红粘土的微观结构及其概化模型[J]. 工程地质学报,1994,12(1):27~37.
- [18] Sridharan A, Nagaraj T S, Sivapullaiah P V. Heaving of soil due to acid contamination[J]. Geotechnique,1980,2.
- [19] Ho Y A, Pufahl D E, Barbour S L. Effects of brine contamination on volume change behavior of fine-grained soils[A]. Materials from Theory to Practice, 1989 Proceedings of the 42nd Canadian Geotechnical Conference, Winnipeg, Manit, Can[C]. Oct 23~25 1989,272~279.
- [20] Rajput V S, Higgins A J, Single M E. Cleaning of excavated soil contaminated with hazardous organic compounds by washing[A]. Water Environ Res. Sept - Oct 1994 Water Environment Federation, Alexandria, VA, USA[C]. 1994,819~827.
- [21] Mulhare, Michael J, Therrien. Comparison of field and laboratory methods for the characterization of contaminated soils[A]. Geotech Spec Publ. n 46/1 1995 Proceedings of the Specialty Conference on Geotechnical Practice in Waste Disposal. Part 1 (of 2), New Orleans, LA, USA[C]. 1995,16~27.
- [22] Piccoll, Stefano, Benoit. Geo-environmental testing using the Envirocone[A]. Geotech Spec Publ n 46/1 1995 Proceeding of the Specialty Conference on Geotechnical Practice in Waste disposal. Part 1 (of 2), New Orleans, LA, USA[C]. 1995,93~104.
- [23] Okoye, Cyril N, Cotton. Application of resistivity cone penetration testing for qualitative delineation of creosote contamination in saturated soils[A]. Geotech Spec Publ n 46/1 1995 Proceeding of the Specialty Conference on Geotechnical Practice in Waste disposal. Part 1 (of 2), New Orleans, LA, USA[C]. 1995,151~166.
- [24] Hjeldnes, Erik, Bretvik, Steinar K, Skoglund, Kjell A. Experimental study of oil contamination spreading in sand[A]. Geotech Spec Publ n 46/1 1995 Proceeding of the Specialty Conference on Geotechnical Practice in Waste disposal. Part 1 (of 2), New Orleans, LA, USA[C]. 1995,373~388.

THE CURRENT SITUATION AND PROSPECT OF CONTAMINATED SOIL RESEARCH

CHEN Xian-hua^{1,2}, TANG Hui-ming^{1,2}

(1. Graduate College, China University of Geosciences, Wuhan 430074; 2. Guilin Institute of Technology, Guilin 541004)

Abstract: The paper discusses the current situation of research contents, testing techniques, and analysis and evaluation methods for contaminated soil in China from the view of geotechnique. Research future is also pointed.

Key words: contaminated soil, environment, test, mechanism, component, evaluation