

垃圾卫生填埋衬垫系统工程地质研究的若干进展与问题

曹丽文, 桑树勋, 姜振泉, 张 静

(中国矿业大学 资源与地球科学学院 江苏 徐州 221008)

[摘要] 总结了衬垫材料、结构、渗滤液运移规律、污染质与岩土体的耦合关系等方面的研究进展, 分析了我国城市卫生填埋衬垫系统在机理研究和工程实践中存在的问题。提出了衬垫系统的工程地质研究思路, 将垃圾体、衬垫作为统一的人工地质体系统, 利用工程地质学理论和研究方法, 研究这一人工地质体系统在渗滤液、填埋气体等作用下的工程地质规律与特征及其与天然地质体之间的矛盾协调关系。

[关键词] 衬垫系统; 进展; 人工地质体系统; 工程地质; 固体废物

[中图分类号] X705; P642 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)01-0096-05

Developments and Problems about Engineering Geological Research of Liner System for Sanitary Landfill of Solid Waste

CAO Li-wen, SANG Shu-xun, JIANG Zhen-quan, ZHANG Jing

(School of Resource and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu, China)

Abstract: The developments about research on the material, structure and horizontal seepage of liner system, the coupling between leachate and rock and soil system were summarized. The problems on the theory and practice of liner system in China are analyzed. This paper puts forward a new idea about the engineering geological research of liner system in which the waste and liner are taken as an unified system of man-made geological body. And by applying engineering geological theories and research methods the engineering geological rule and feature of the united system of man-made geological body influenced by leachate and landfill gas could be studied. Meanwhile, the contradiction and harmony relationship between the man-made geological body and the natural geological body could be also researched. On the other hand, it is important to strength the cross-study among engineering geology, environmental science and biochemistry.

Key words: liner system; development; man-made geological body system; engineering geology; solid waste

0 引言

衬垫是垃圾卫生填埋场结构的重要组成部分, 其作用是防止或最大限度地降低垃圾物质对地质环境污染的屏障, 控制填埋场渗滤液进入地层和地下水系统, 协调垃圾填埋体与天然地质体间的

关系。

防渗衬垫系统的工程地质研究主要涉及衬垫材料、衬垫结构、渗滤液(污染质)的运移及其与岩土体的耦合关系等方面。总结我国垃圾卫生填埋场衬垫系统的现有研究成果, 分析存在问题, 促进工程地质学在垃圾填埋衬垫系统研究中的应用和提升。

[收稿日期] 2005-05-30

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40372069); 中国矿业大学科学技术基金项目(0F4506)

[作者简介] 曹丽文(1969—), 女, 黑龙江佳木斯人, 副教授, 博士研究生, 从事环境工程地质及垃圾地质处置研究。

1 垃圾卫生填埋防渗衬垫材料

1.1 天然材料

天然材料成本低,吸附污染物的能力较强。严格地讲,一般粘土只能延缓渗滤液的渗漏,而不能完全阻止。20世纪90年代中期及其以前,中国大部分城市固体废弃物填埋场都采用压实的土壤作为衬垫^[1]。许多学者研究了土块大小、颗粒定向与土块结构的关系、砾石含量、冻融等因素对粘土渗透性的影响,并得到许多重要试验结果。对天然材料改进措施的研究不断得到人们的重视,如粉煤灰、砂土作为衬垫材料适用性的研究^[2-9]。史敬华等^[7]对复合土(石灰+粘性土+膨润土)作为改性衬里的可行性进行了实验研究。膨润土等被制成多种防渗材料进行研究并应用于工程实践^[8]。同时,粘土衬里破坏的机理得到了分析^[9]。从近期有关文献来看,有机处理的粘土衬垫及添加石灰以改进粘土衬垫性能方面的研究较为多见^[10-12]。

1.2 土工合成材料

土工合成材料不受场地限制,体积小、性能好。但对其耐久性、低成本、低维护费等优点还有不同看法。目前常用的地质合成材料主要有:土工膜、土工织物、土工合成材料粘土垫(GCL)、土工复合材料、土工格栅和土工网垫等。GCL自1986年发明以来,多用于双层衬垫填埋场的下部或最终封盖层^[13-15],其工程地质方面的研究主要侧重于它的透水性、膨胀和收缩性、冻结和融化性及抗剪强度等。目前,GCL已经发展到渗透系数小于 1.0×10^{-12} cm/s的聚合物防渗膜。自1996年起,HDPE(高密度聚乙烯膜)土工膜开始在中国得到广泛应用^[6],其研究主要侧重于各种拉伸试验确定土工膜的强度、土工膜与其他材料交界面之间的摩擦力等方面。Giroud和Bonaparte提出了计算土工膜的渗漏量公式^[17]。许多学者对填埋场防护层渗漏检测方法,从机理和方法上进行了一定研究^[18-20]。

废弃物也可以作为衬垫材料,如废旧汽车轮胎、粘土和轮胎碎屑混合物、城市建筑渣土、毛牛毡等在英国等国得到了应用^[21-23],但中国填埋场实践中利用废弃物作为衬垫材料的应用并不多见。

1.3 中国衬垫材料研究应用中存在的问题

1.3.1 机理研究方面

(1)天然材料的吸附性能、渗透性能和污染物

在土中的运移规律及其与衬垫层结构设计的综合应用等问题有待深入研究。其中,不同矿物颗粒对污染因子的吸附及其相互转换、运移、基于复合材料的复杂介质本构模型等有待进一步深入。现有衬垫材料对垃圾污染质的净化能力、阻隔能力和阻隔添加剂的研究有待于提升。对土工合成材料的材料类型、渗漏量估算、耐久性评价、应力特性、不同材料的应变协调性及接触面强度特性等值得深入研究。衬垫系统在特定环境(如渗滤液等)下,衬垫材料的物理力学特性、工程地质特性及其结构稳定性研究值得深入探讨。

(2)衬垫材料工程地质性能参数的实验确定,有待于深化。例如,国外一些国家要求对衬垫材料进行抗百年老化实验,在中国还未作明确规定。

1.3.2 应用方面

(1)忽视地质环境背景研究,不考虑国情,不重视天然材料的应用,盲目大量购买国外高性能土工合成材料等现象较为突出。

(2)衬垫材料的研究和选择中,有侧重“防渗”、忽视“截污”的现象。

(3)高性能渗透材料和排水材料的研究开发等方面与国外尚有较大差距。

2 衬垫结构

2.1 衬垫结构研究进展

国外设计的衬垫层实例最多达4层^[23]。美国常用的衬垫经历了单层粘土衬垫、单层土工膜衬垫、双层土工膜衬垫、单层复合衬垫和带有两层渗滤液收集系统的双层复合衬垫等几个阶段^[24]。

目前,中国垃圾填埋场的水平防渗方法有4种:①粘土防渗层;②膨润土防渗层,如北京的安定、北神树垃圾卫生填埋场;③HDPE防渗层,如深圳下坪卫生填埋场、北京六里屯填埋场,是目前中国应用较多的防渗方式;④土工合成材料膨润土垫(GCL)和HDPE双层防渗层,如北京高安屯垃圾填埋场,也是国外普遍采取的衬垫结构方式^[25]。

从工程地质学角度对衬垫结构进行研究,主要涉及填埋结构对地质环境的影响效应、衬垫系统稳定性问题、边坡位置多层衬垫系统的稳定性问题、材料性能及其相互作用而产生的稳定变形问题。在填埋场的沉降、静力和动力研究、堆体沉降和填埋边坡稳定性^[26-27]等方面的研究,取得了一定成果。

2.2 中国衬垫系统结构研究应用中存在的问题

2.2.1 衬垫结构研究中存在的问题

(1)垃圾卫生填埋场衬垫的设计及使用与城市垃圾土的力学和物理性质密切相关,但中国对垃圾土的研究起步较晚,有关垃圾物理、力学、水理性质指标的试验资料匮乏。

(2)不同的荷载水平(如废弃物自重、外荷载作用)条件下,衬垫层之间的界面特性、衬垫层的不均匀沉降、应力分析、弯曲应力以及衬垫层的冲刷与潜蚀等问题有待于进一步深入研究。

(3)前人从环境工程、材料学等学科角度,进行了很多研究工作,但从工程地质学基本原理和研究方法出发,将衬垫材料组成的衬垫系统作为在渗滤液和填埋气体影响下的人工地质体进行研究,研究其工程地质特性,并结合具体填埋场地质环境背景,描述其与天然地质体之间的矛盾协调关系,这方面的研究工作几乎是空白。

2.2.2 衬垫结构设计应用中存在的问题

(1)由于对复合防渗体系的系统性认识不够充分、各种材料的选择及其衔接不当,施工标准不具体,因此,研究有效而经济的防渗衬垫体系,并开发相应的检测技术是十分必要的。

(2)中国已建的填埋场中,有些是自行设计的,由于缺乏足够的知识和经验,所设计的填埋场不仅耗资大,且安全性也不十分理想^[15]。更多的填埋场则直接利用国外的先进工艺技术,但发达国家填埋场衬垫系统结构复杂、所用材料昂贵、种类多、施工难度大,且中国与国外发达国家的填埋体成分不同、施工工艺迥异,这种全盘采用国外设计的方式并不恰当。

3 渗滤液运移规律及垃圾(污染质)-岩土体耦合关系

3.1 研究进展

防渗结构层渗流运动是填埋技术最重要的研究内容之一,自 1973 年 Raghje 创立垃圾学以来,研制了渗滤液产生量计算模型和经验公式^[28-32]。研究了填埋场污染物在粘土衬垫和复合衬垫层中的迁移规律,渗滤液饱和流、非饱和流、饱和-非饱和流迁移理论特征^[33-40]。探讨了渗滤液对粘土、粘土添加剂和岩土的溶蚀作用及在土体中的扩散规律与模拟计算^[41-45]。有些学者对填埋场内释放气

体的运移规律和运移模型进行了研究^[46-47]。研究内容从单个污染组分与地下水或地层中矿物相互作用,向综合全面地研究垃圾处置场的环境工程地质效应方向发展^[48]。

废弃物性质、废弃物/土/水/土工膜之间的相互作用机理及渗滤液的产生、在土体中的运移、扩散规律等是衬垫系统研究的基础。以往有关耦合分析的研究中,多半侧重于流-固耦合分析,近来有将温度-化学作用引入耦合分析中的趋势。

3.2 存在的问题

(1)渗滤液在填埋气体影响下的运移规律研究重视程度不高。对于厌氧填埋,填埋场内不同的降解阶段,会产生不同成分、不同浓度的气体,这些气体在抽排或自然逸散过程中,对渗滤液的运移规律会产生重要影响。

(2)填埋气体对衬垫材料的防渗性能影响研究不够。具体研究成果较为少见。

(3)对于渗滤液(垃圾)、衬垫、天然地质体所组成的大系统,工程地质学系统思维方式的研究作用和意义还没有得到充分认识。

3.3 工程地质学、土力学等基本理论在填埋衬垫系统研究中的应用

有效应力原理、渗透固结理论、极限平衡理论、土的本构关系等在研究卫生填埋结构稳定性分析中得到了应用^[49-52]。离心模拟试验与有限元相结合研究了土工膜的应力应变状态^[53]。研究了衬垫层界面力学特性^[54-55]。多孔介质理论应用于探讨填埋场复杂松散多相介质的力学机制^[56]。

4 结论

(1)衬垫材料在防渗性能的研究与应用方面取得了重要成果,但在吸附特性、净化能力及在特定条件下的复杂介质本构模型等方面研究存在问题。

(2)衬垫结构方面,在双层防渗层结构的使用方面取得了重要进展,但在材料的选择及其衔接方面存在不足。

(3)渗滤液研究方面,认识了填埋场有机质及污染物在粘土衬垫和复合衬垫层中的迁移规律,得到了渗滤液饱和流、非饱和流迁移理论特征,但在渗滤液和填埋气体的综合作用下,衬垫系统工程地质性能特点方面的研究有待深入。

因此,进一步加强衬垫材料、结构、渗滤液等相

关问题的研究,不断探索新的研究思路,丰富衬垫系统研究内容,是至关重要的。垃圾填埋作为环境工程地质学的主要研究领域,充分发挥工程地质学系统性思维方式和工程地质学研究理论的优势,将工程地质学研究方法用于填埋衬垫系统研究中,利用工程地质学在天然地质体方面所取得的研究成果,不断探索、丰富垃圾填埋衬垫理论与技术。笔者认为,可以将渗滤液(垃圾)、衬垫看作一个统一的人工地质体系统进行研究,探索其内部矛盾存在与协调问题及其与天然地质体之间的对立统一关系,提高衬垫研究的理论水平。同时,根据中国国情,加强天然衬垫材料在填埋条件下的工程地质特性研究。另外,在衬垫结构研究与设计中,在考虑防渗的同时,加强衬垫材料对渗滤液的净化机制研究,拓宽衬垫结构设计思路。再者,工程地质学应该加强与环境工程、生物化学等学科的交叉与融合,发挥不同学科优势,深化衬垫系统的研究与应用。

[参 考 文 献]

- [1] 朱耀华,孙志良. 固体废弃物的填埋技术与衬垫材料[J]. 上海环境科学, 1995, 14(4): 36-39.
- [2] Prashanth J P, Sivapullaiah P V, Sridharan A. Pozzolanic Fly Ash as a Hydraulic Barrier in Land Fills[J]. Engineering Geology, 2001, 60: 245-252.
- [3] Palmer B G, Edil T B, Benson C H. Liners for Waste Containment Constructed with Class F and C Fly Ash[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, 76: 193-216.
- [4] 李 兵,赵勇胜,董 军. 固废处理粉煤灰在城市固体废物好氧填埋中应用的研究[J]. 环境工程, 2002, 20(6): 49-52.
- [5] 何俊宝,高 亮,王永盛,等. 垃圾卫生填埋场防渗衬层材料—复合土的试验研究[J]. 环境卫生工程, 1998, 6(4): 144-150.
- [6] 刘长礼,王秀艳,张 云. 垃圾填埋场砂土衬垫中膨润土添加剂的防渗能力[J]. 地球学报, 2000, 21(1): 98-103.
- [7] 史敬华,赵勇胜,洪 梅. 垃圾填埋场防渗衬里粘性土的改性研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(3): 355-359.
- [8] 白庆中,刘阳生,李 强,等. 新型人工合成膨润土防渗卷材的研制及其渗透性能[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 56-60.
- [9] 刘建国,聂永丰. 填埋场粘土衬里破坏机理分析[J]. 城市环境与城市生态, 2000, 13(6): 51-53.
- [10] 何连生,赵勇胜,郑连阁. 城市固体废物填埋场防护层天然材料研究[J]. 环境工程, 2002, 20(4): 50-53.
- [11] 韩丽荣,鲁怀安,郑 红,等. 有机膨润土吸附垃圾渗滤液中苯酚的研究[J]. 环境化学, 2001, 20(5): 460-465.
- [12] 林国庆,郑西来,崔俊芳. 有机改性膨润土防渗抗污染性能的研究进展[J]. 工程勘察, 2002(6): 1-4.
- [13] Christopher B R. Geotextiles in Landfill Closures[J]. Geotextiles and Geomembrance, 1991, 10(5/6): 459-470.
- [14] Koerner R M. Geosynthetic Clay Liners, Part One: An Overview[J]. Geotechnical Fabrics Report, 1996, 14(4): 22-25.
- [15] 钱学德,郭志平,施建勇,等. 现代卫生填埋场的设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [16] 周敬超. HDPE 土工膜在城市生活垃圾卫生填埋场中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(3): 53-56.
- [17] Bouazza A. Geosynthetic Clay Liners[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2002, 20(1): 3-17.
- [18] Daren L L, Glenn T D. Detecting Leaks in Geomembranes[J]. Civil Engineering, 1993, 63(8): 50-53.
- [19] White C G, Barker R D. Electrical Leak Detection System for Landfill Liners: A Case Study[J]. Ground Water Monitor Remediation, 1997, 17(3): 153-157.
- [20] 王 斌,王 琪,董 路,等. 垃圾填埋场人工衬层渗漏的电学法检测研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17(4): 63-66.
- [21] 逢辰生. 英国垃圾资源化技术发展与应用[J]. 节能与环保, 2002(7): 44-46.
- [22] Aitabbaa A, Aravithan T. Natural Clay-shredded Tire Mixtures as Landfill Barrier Materials[J]. Waste Management, 1998, 18(1): 9-16.
- [23] 薛江琴,速宝玉,盛金昌,等. 垃圾填埋场渗滤液的防渗措施和地下水的污染防治[J]. 安全与环境学报, 2002, 2(4): 18-22.
- [24] 孔德坊. 生活垃圾卫生填埋及地质环境效应概论[J]. 地质灾害与环境学报, 1999, 10(增刊): 1-11.
- [25] 栾智慧,王树国. 垃圾卫生填埋实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [26] 高德彬,倪万魁,郭社锋. 延安市凤凰山东麓滑坡危险斜坡的变形特征及稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 54-57.
- [27] 毛新虎. 公路膨胀土路堑边坡防护方案探讨[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 49-53.
- [28] Eifadel M, Findikakis A N, Leckie J D. Modeling Leachate Generation and Transport in Solid Waste Landfills[J]. Waste Management and Research, 2002, 20(5): 445-456.
- [29] Berger K, Melchior S, Miehlich G. Suitability of Hydrologic Evaluation of Landfill Performance(HELP) Model of the US Environment Protection Agency for the Simulation of the Water Balance of Landfill Cover System[J]. Environment Geology, 1996, 28(4): 181-189.
- [30] 聂永丰. 三废处理工程技术手册(固体废物卷)[K]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [31] Yalcin F, Demirel G. Performance Evaluation of Landfills with the HELP(Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) Model: Izmit Case Study[J]. Environment Geology, 2002, 42(7): 793-799.
- [32] 杨 青,廖 利,王松林. 填埋场渗滤液水力学研究进展[J]. 环境卫生工程, 2003, 11(3): 119-122.
- [33] Korfiatis G P, Demetropoulos A C, Bourodimos E L, et

al. Moisture Transport in a Solid Waste Column[J] . Journal of Environmental Engineering, 1984, 110(4): 780 - 796.

[34] McCreanor P T, Reinhart D R. Mathematical Modeling of Leachate Routing in a Leachate Recirculating Landfill[J] . Water Research, 2000, 34(4): 1285 - 1295.

[35] Haarstrick A, Hempel D C, Ostermann L. Modelling of the Biodegradation Organic Matter in Municipal Landfills[J] . Waste Management and Research, 2001, 19(4): 320 - 331.

[36] Katsumi T, Benson C H, Foose G J. Performance-based Design of Landfill Liners[J] . Engineering Geology, 2001, 60(1/4): 139 - 148.

[37] Olaosun O, Baheri H R. Impact of Three Different Hydraulic Conductivity Expressions on Modeling Leachate Production in Landfills[J] . Journal of Environment System, 2001, 28(4): 337 - 345.

[38] Rendra S, El-Fadel M, Manasseh C, et al. Degradation of Municipal Solid Waste in Simulated Aerobic and Anaerobic Bioreactor Landfills[J] . Journal of Solid Waste Technology and Management, 2003, 29(3): 145 - 153.

[39] 焦胜, 曾光明, 王敏, 等. 垃圾填埋场渗滤液有机物质量浓度的预测[J] . 中南大学学报, 2004, 35(2): 206 - 210.

[40] 钱学德, 施建勇, 郭志平, 等. 粘土衬垫系统污染物迁移规律研究[J] . 河海大学学报, 2004, 32(4): 415 - 420.

[41] Pusch R. Clay barriers for Isolation of Toxic Chemical Wastes, International Symposium[J] . Engineering Geology, 1985, 21(3/4): 199 - 382.

[42] 张澄博, 孔德坊, 许国琳, 等. 成都长安垃圾填埋场填土料对污染物质的吸附试验研究[J] . 矿物岩石, 1998, 18(1): 108 - 114.

[43] Prashanth J P, Sivapullaiah P V, Sridharan A. Pozzolanic Fly Ash as a Hydraulic Barrier in Landfills[J] . Engineering Geology, 2002, 60(1/4): 245 - 252.

[44] 郑红, 鲁安怀, 韩丽荣, 等. 有机膨润土对苯胺的吸附性能及其应用研究[J] . 环境化学, 2001, 20(5): 466 - 469.

[45] 余开彪, 胡斌, 张挺. 垃圾渗滤液在土体中扩散规律的模拟计算[J] . 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1944 - 1948.

[46] 陈家军, 王红旗, 王金生, 等. 填埋场释放气体运移数值模型及应用[J] . 环境科学学报, 2000, 20(3): 327 - 331.

[47] 曹国强, 梁冰, 包明宇. 温度作用下垃圾填埋气体运移规律的研究[J] . 辽宁工程技术大学学报, 2004, 23(1): 47 - 48.

[48] 刘长礼, 张云, 王秀艳. 垃圾卫生填埋处置的理论方法和工程技术[M] . 北京: 地质出版社, 1999.

[49] Schevon G R, Damas G. Using Double Liners in Landfill Design and Operation[J] . Waste Management and Research, 1986, 4(2): 161 - 176.

[50] 刘建国, 聂永丰, 白庆中. 卫生填埋场结构稳定性问题分析[J] . 重庆环境科学, 2001, 23(1): 62 - 66.

[51] 金宏, 张大群, 谭震江. 天津双口垃圾卫生填埋场工程关键技术问题的探讨[J] . 给水排水, 2002, 28(9): 19 - 52.

[52] 张季如. 垃圾填埋场设计中的若干问题研究——以襄樊洪山头填埋场为例[J] . 水文地质工程地质, 2003, 30(4): 42 - 45.

[53] 彭功勋, 施建勇. 卫生填埋场室内离心模拟试验研究[J] . 河海大学学报, 2003, 31(2): 172 - 174.

[54] Koutsourais M M, Sprague C J, Pucetas R C. Interfacial Friction Study of Cap and Liner Component for Landfill Design[J] . Geotextiles and Geomembranes, 1991, 10(5/6): 531 - 548.

[55] Stark T D, Poeppel A R. Landfill Liner Interface Strength from Torsional-shear Tests[J] . Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 20(3): 597 - 617.

[56] 李建锋, 吴爱祥, 尹升华. 垃圾填埋场复杂松散多相介质相关力学机制研究[J] . 湖南理工学院学报, 2004, 17(3): 78 - 81.

(上接第 78 页)

[参 考 文 献]

[1] Bruno Garguet-duport, Jachy Girek, Jean-Marc Chassery, et al. The Use of Multi-resolution Analysis and Wavelets Transform for Merging SPOT Panchromatic and Multi-spectral Image data[J] . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9): 1057 - 1066.

[2] David A Yocky. Image Merging and Data Fusion by Means of the Discrete Two-dimensional Wavelet Transform[J] . J Opt Soc Am A, 1995, 12(9): 1834 - 1841.

[3] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform[J] . Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(3): 235 - 245.

[4] 王智均, 李德仁. 利用小波变换对影像进行融合的研究[J] . 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(2): 137 - 141.

[5] 邱志成. 遥感图像数据复合方法的研究[J] . 测绘学报, 1990, 19(4): 290 - 297.

[6] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M] . 北京: 科学出版社, 1999.

[7] 邵巨良. 小波理论、影像分析与目标识别[M] . 北京: 测绘出版社, 1998.

[8] 李克鲁, 王霞. 小波变换的信息融合方法及结果评价[J] . 国土资源遥感, 1999(4): 46 - 52.