

废弃物填埋场设计

填埋场设计与除污措施的岩土工程技术建议
(GLR)

国际土力学及基础工程协会委托
德国岩土工程协会编辑

俞调梅 朱百里 译

同济大学出版社

内 容 提 要

本书由德、法、荷、意、瑞士和英国的环境工程、岩土工程专家共同撰写,书中介绍了废弃物填埋场的设计和施工,反映了西欧诸国在这一领域中的最新经验和观点,内容翔实,具有很好的参考价值。

本书可供环境工程、市政工程和岩土工程的管理、勘察和设计工程师以及大专院校相应专业的师生使用。对土工布和土工薄膜感兴趣的铁路、公路、机场和水利工程师而言,本书也具有相当的参考价值。

责任编辑 张 颖

封面设计 李志云

废弃物填埋场设计

俞调梅 朱百里译

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编:200092)

新华书店上海发行所发行

上海市崇明晨光印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:5.75 字数:160千字

1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

印数:1—4000 定价:10.00元

ISBN7-5608-1995-8/TU·295

本著作的原版由欧恩斯特父子建筑科学和技术科学出版有限公司(德意志联邦共和国柏林 13187,穆伦大街 33-34号),以《废弃物填埋场岩土工程工作委员会的建议(GLR)》的书名出版,欧恩斯特父子公司版权。

目 录

序言(第二版,1993年)	(1)
(附 AK11 成员、ETC8 成员、邀请专家名单)	(3)
序言(第一版,1991年)	(5)
(附 AK11 成员、ETC8 成员、邀请专家名单)	(7)
译者的话	(8)
R1 关于场地评估的建议	(1)
R1-1 场地勘察中岩土工程试验的类型及范围	(1)
R1-2 在废弃物堆场和污染场地的勘察中,地下水、 土和土中气体的取样及试样处理	(8)
R1-3 地球物理现场勘察	(13)
R2 关于设计原则的建议	(18)
R2-1 填埋场设计的岩土工程原则	(18)
R2-2 除污措施设计中的岩土工程原则	(21)
R2-3 复合型底部衬垫层	(21)
R2-4 封顶层	(24)
R2-5 在签订合同阶段,要考虑废弃填埋场和污染 场地恢复使用时的卫生与安全问题	(28)
R2-6 填埋场岩土工程设计中的废弃物力学原则	(30)
R2-7 衬垫层的抗剪强度	(35)
R2-8 矿物密封层的截污容量	(38)
R2-9 土工布和相关产品的使用原则	(39)
R2-10 土工薄膜的使用原则	(45)
R2-11 矿物密封层变形的评估	(48)
R2-12 滤出液的排放系统	(54)

R3	关于适宜性试验的建议	(59)
R3-1	矿物料封顶层和封底层的适宜性试验	(59)
R3-2	矿物密封料的适宜性试验	(63)
R3-3	矿物封底层的粘土矿物特性	(70)
R3-4	滤出液对矿物密封料的化学影响	(73)
R3-5	矿物料封底层和封顶层的现场试验	(75)
R3-6	在填埋场的外部稳定区段堆放废弃物的 适宜性试验	(79)
R3-7	矿物密封料对冲刷与潜蚀的抵抗力	(81)
R3-8	复合密封层的剪切性能	(84)
R3-9	土工布及有关产品的适宜性试验	(87)
R3-10	土工薄膜的适宜性试验	(90)
R4	关于施工方法的建议	(92)
R4-1	截水墙施工	(92)
R5	关于质量保证的建议	(101)
R5-1	质量保证的原则	(101)
R5-2	地基、矿物料封顶层和封底层的质量保证	(102)
R5-3	竖直截水墙的质量保证	(105)
R5-4	在填埋场外部稳定区段铺放废弃物的 质量保证	(111)
R5-5	土工布的质量保证	(112)
R5-6	土工薄膜的质量保证	(115)
R6	关于水力措施的建议	(118)
R6-1	污染物迁移的评估	(118)
附录	(123)
A2-9	衬垫层中的土工布(法国建议)	(123)
A2-10	衬垫层中的土工薄膜(法国建议)	(125)
A2-12	滤出液的排放系统(举例说明设计中的考虑)	(126)
A4-1	关于组合式截水墙中的土工薄膜	(133)

A5-5 法国的土工布颁证程序	(136)
A6-1 材料传输的参数	(139)
主要参考文献(按不同国家列出的规程)	(147)
中英德名词对照	(154)

序言(第二版,1993年)

《填埋场设计与除污措施的岩土工程技术建议》,即《填埋场的岩土工程建议》(《GLR》建议),已由国际土力学及基础工程协会(ISSMFE)委托德国岩土工程协会编辑完成。本书为1991年第一版的增订第二版。第一版列出18个建议和1个附录;第二版列出33个建议和6个附录。

《GLR建议》中的R1到R6涉及环境岩土工程的重要问题。这些建议反映当代技术水平,并试图对一些国家规程有所补充;但并没有企图提出最终的解答,而主要是从环境岩土工程的角度提出问题的基本原则。因此,必须由合格的岩土工程专家根据他的知识,参考这些建议来作出决策。

本书附有按不同国家分别列出的国家规程参考资料,以括号内拉丁字母(数字)表示,例如[I](包括法、德、意、荷、瑞士、英六国——译者);为个别建议列出的参考资料,用括号内阿拉伯数字表示,例如^[1],列在各项建议的末尾。

本建议由国际土力学及基础工程协会的第8欧洲技术委员会(ETC8)编制。1992年夏,ETC8在瑞士的Jaberg市召开讨论会,并邀请专家来宾参加。讨论会上提出了新的建议,并根据一些院校和研究所等单位提出的意见来评审第一版中的建议。

本建议分别列入下列六章:

- R-1 关于场地评价的建议;
- R-2 关于设计原则的建议;
- R-3 关于适宜性试验的建议;
- R-4 关于施工方法的建议;
- R-5 关于质量保证的建议;

R-6 关于水力措施的建议。

第二版列入了以下项目：

——地球物理现场勘探；

——衬垫层的抗剪强度，以及组合衬垫层的剪切性能；

——土工布及有关产品和土工薄膜的设计原则、适宜性和质量保证；

——截水墙施工；

——污染物迁移的评估；

——矿物密封层的变形；

——基层排放系统。

还有下列附录：

A2-9 衬垫层中的土工布；

A2-10 衬垫层中的土工薄膜；

A2-12 滤出液的排放系统；

A5-5 法国的土工布颁证程序。

这些是根据个别国家具体经验提出的建议。附录 A4-1 涉及组合式截水墙的土工薄膜；附录 A6-1 介绍物质传输方程中的材料参数。

英国环境部为德国岩土工程协会第 11 工作委员会(AK11)的德文建议^[1]提供了英文译本(草案),对此我们非常感谢。这个英译本(草案)是 ETC8 讨论的依据,据此编制了这个文件。最后的文字修改,是由我们的英国同行完成的。对于他们的帮助,以及若干单位和个人提出许多有益的意见和建议,我们表示衷心的感谢。

我们诚恳期望,积极从事环境岩土工程的工程师和科学家尽快提出各自的意见、问题和建议,寄给 Jessberger 教授,通讯处如

[1] Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten." ("填埋场和废弃物岩土工程"工作委员会的建议)——GDA der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2. Auflage, 1933.

下: Prof. Dr.-Ing. Hans L. Jessberger, Ruhr-University Bochum, Post-box 102148, 44721 Bochum, Germany.

出版公司精心准备了本书的出版, 为此表示感谢。

Hans L. Jessberger

ETC 8 主席

参加编辑人员(第二版, 1993年)

I. 第 11 工作委员会(AK11)成员, 1992 年

Hans L. Jessberger(主席)	Erwin Gartung
Eberhard Gläser	Wolfgang Hollstegge
Michael Kinze	Ewald E. Kohler
Klaus Krubasik	Quirin Laumans
Holger Meseck	Hermann K. Neff(副主席)
Volker Schenk	Heinz Steffen
Siegfried Steinkamp	Klaus Stief
Dieter Stroh	Karl R. Ulrichs

II. 第 8 欧洲技术委员会(ETC8)成员, 1992 年

瑞士——Christian Schlüchter, Bern 大学
法国——Bertrand Soyez, L. C. P. C. (桥梁道路试验中心), 巴黎
德国——Hans L. Jessberger(主席), Ruhr 大学, Bochum
意大利——Mario Manassero, 岩土工程师, Torino
荷兰——Pieter Ruardi, 住房、自然条件规划与环境部, Leidschendam
英国——Andrew Street, MRM Partnership, Bristol
Ralph Kockel(秘书), Ruhr 大学, Bochum

III. ETC 8——邀请专家, 1992 年

法国——Philippe Delmas, 比丁(Bidim)土工布公司, Bezons
德国——Ewald E. Kohler, Regensburg 工业大学

Hermann K. Neff, ETN 土工试验室, Hungen
意大利——Erio Pasqualini, Ancona 大学
荷兰——Wimter Hoeven, Heidemij 咨询局, Deventer
英国——Keith J. Seymour, NRA 国家河道局, Warrington

序言(第一版,1991年)

虽然人们有避免、减少及回收利用废弃物的强烈要求,但在合理处理废弃物的构思中,设置填埋场仍然是不可缺少的。建立填埋场设计与施工的原则,特别是关于填埋场的长期安全性,是环境岩土工程的一项重要任务。岩土工程十分关注对于废弃物填埋场与污染土地的除污措施,以及对于过去工业活动造成污染土地的除污措施。

岩土工程师与科学家的一项重要任务,是在他们的专业范围内,为保护空气、土地和水体作出贡献。要防止新的污染,也要清除土中已有的污染。这些新的、很复杂的问题,应由岩土工程界,特别是岩土工程协会,来制订恰当的解决方法。

1985年,德国岩土工程协会(Essen市)成立了填埋场及污染土的岩土工程委员会,即AK11工作委员会。这个委员会的16位成员(名单附在序言后)是环境岩土工程专家,他们代表建筑业、大学、咨询公司及管理机构。委员会的工作成果为20条建议(GDA建议)^[1],1990年出版。

1989年在巴西Rio de Janeiro召开的国际土力学与基础工程会议上,欧洲副主席Smolczyk教授建议组织一个欧洲技术委员会,从事环境保护方面的岩土工程,特别是关于填埋场与污染土问题的研究。第8欧洲技术委员会(ETC 8)的六位成员,来自欧洲国家(名单附在序言后),主席是由发起者德国岩土工程协会提名的。

[1] GDA——Empfehlungen des Arbeitskreises “Geotechnik der Deponien und Altlasten” (“填埋场和废弃物岩土工程”工作委员会的建议) der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1990.

ETC 8 在 1989 年 12 月举行第一次会议。该委员会的主要任务是工程实践提出建议,并计划在 1991 年 5 月在意大利的 Florence 召开的欧洲土力学及基础工程会议上提出 ETC 的第一个报告。

在上述第一次会议上,决定了委员会的工作将以德国岩土工程协会的 AK11 工作委员会的建议为基础。英国环境保护部为上述建议准备了英译稿,提供了有益的帮助。后来,参考欧洲国家的会后意见,修改了德国建议。在 1990 年夏,在德国的 Bochum 举行了一星期的讨论会,并邀请专家参加。

这本书是那次讨论会的成果,即关于填埋场与污染土的岩土工程建议的草案文本。虽然欧洲各国的立法不同,但这些建议应成为欧洲范围内环境岩土工程业务的框架。在参考文献中列举若干国家的规程和标准,及一些专门问题的参考资料。

本书包括 18 条建议和一个附录,附录是根据意大利小组建议制订的。每一条建议可联系到下列主题之一:

- R1 关于场地评估的建议;
- R2 关于设计原则的建议;
- R3 关于适宜性试验的建议;
- R5 关于质量保证的建议。

R4 将涉及施工与现场生产活动,尚在准备中。

本书应成为进一步讨论和达成一致意见的基础。希望岩土工程界的成员在 1991 年 10 月 1 日前把他们对本书的评论、问题和修改意见寄到下列通讯处:

Prof, Dr.-Ing. Hans L. Jessberger
Ruhr-Universität Bochum
Postbox 102148
44801 Bochum, Germany

对于 ETC 8 成员非常成功的合作,对于参加讨论会的和提了宝贵意见的同行们,谨表示衷心的感谢。十分感谢出版公司的出

色的配合。

我们希望这些建议将成功地应用于欧洲和其他地区。

Hans L. Jessberger

ETC 8 主席

参加编辑人员(第一版,1991年)

I. 第 11 工作委员会(AK11)成员,1989年

Hans L. Jessberger(主席)	Erwin Gartung
Wolfgang Hollstegge	Ewald E. Kohler
Klaus Krubasik	Quirin Laumans
Holger Meseck	Hermann K. Neff
Manfred Nussbaumer	Manfred Reinhardt
Volker Schenk	Heinz Steffen
Siegfried Steinkamp	Klaus Stief
Dieter Stroh	Karl R. Ulrichs

II. 第 8 欧洲技术委员会(ETC 8)成员,1990年

瑞士——Christian Schlüchter
法国——Bertrand Soyez
德国——Hans L. Jessberger(主席)
意大利——Mario Manassero
荷兰——Ton Puthaar
英国——Andrew Street

III. ETC 8——邀请专家,1990年

法国——Jean-Louis Bostvironnois
德国——Ewald E. Kohler, Holger Meseck, Hermann K. Neff
意大利——Francesco Belfiore
荷兰——Ton Jacobs
英国——Keith J. Seymour
Ralph Kockel(秘书)

译者的话

本书原名《填埋场设计与除污措施的岩土工程建议—GLR》，中译本简称为《废弃物填埋场设计》，是一本有关环保工程废弃物填埋场的专著，由国际土力学及基础工程协会所属欧洲第8技术委员会主席、德国鲁尔大学 Jessberger 教授和法、德、意、荷、瑞士和英国的专家共同撰写而成。综合反映了欧洲环境工程的最新技术水平 and 设计理论。

不能把废弃物简单地堆放在场地上，其气味会污染大气，有害的渗出液会污染地面水体，渗入地下又会污染地下水，利用岩土工程的成就，在选定场地建造地下防渗围护体和防渗人工封底层，然后分层填埋、压实，用粘土封盖，最后用粘性土做封顶层，上面进行绿化。抽出填埋体中的有害液体进行除污处理。将岩土工程技术与环保工程结合起来，从而形成一门新的技术学科——环境岩土工程，在设计中需要引用土力学理论，以解决填埋场的体系的原形、稳定性和其他风险。

在使用焚烧法处理废弃物时，应建立焚烧厂。废弃物经分选后，使塑料、玻璃废弃物得以再生利用，用磁吸法清除废钢，余下的有机质部分用自卸卡车送入贮仓，用抓斗送上传送带进入焚烧室，烟气经除尘后进入大气，灰烬用水冲法排入沉淀坑供造田之用，该法为最有效、最昂贵的处理方法，焚烧厂的建设与维修需要大量投资，日常运行要耗用大量电能，因此多应用于工业发达国家。

也可以建设堆肥厂来处理废弃物。废弃物经分选，回收可再生部分以后，余下的大量有机物送入堆肥厂，其关键性设备为若干台可以旋转的沤烂鼓中，经过切碎，加入微生物使之降解，经过振动筛使分选为生肥和熟肥两部分，熟肥即可投入农业使用，而生肥

则需堆放在场地上,上面用粘土覆盖,经过数月沤烂过程,使之成为高效有机肥,再用于农业生产。

究竟采用何种工艺来处理废弃物,应视其成分、国家或地区的经济发展水平、电能供应状态而选用。在一个发展不平衡的地区,不会只使用某一种方法。

我国的环保事业正日益受到重视,为了保护城镇的卫生、人民的健康,有必要采用经济而切实可行的方法来处理废弃物,并保护环境。

德国 Jessberger 教授和美国方晓阳教授出于对中国环境保护工程师的友好情谊,让中国同行分享欧洲同行的经验,特请同济大学将该书译成中文,以有益于中国的环境保护事业,关于知识产权的转让已由同济大学出版社与德国柏林欧恩斯特父子出版社多次磋商,订立了书面协议。由 Jessberger 教授代为支付版权费,德国出版社遂向同济大学出版社出让中译本版权,并可在全世界发行。据此,同济大学出版社对该书中译本拥有完全的版权,任何人不得复制,或发生侵犯本书版权的其他情节。

本书中译本由同济大学俞调梅教授和朱百里教授翻译、校核。由于环境岩土工程涉及工程地质学、地球物理学、土力学、有机化学和微生物学等学科领域,因此在工作过程中曾得到华东理工大学马纯俊教授、朱声逾教授、鲁尔大学 Jessberger 教授、荷兰环境及住房部 Pieter Ruardi 教授的帮助。同济大学土力学教研室全体在职和退休教师为本书的出版给予了热情的支持,为此,谨向他们致以诚挚的谢意。

译者

1997年10月

R1 关于场地评估的建议

R1-1 场地勘察中岩土工程试验的类型和范围

1. 任务

1.1 概述

废弃物堆场的设计和管理,应使进入生物圈和水域的有害物的量,不得超过容许限度(按照有关的国家规程)。废弃物堆场的设计思想,也取决于地基土的构造和性能。要特别注意地下水的保护和废弃物的力学稳定性。

堆场的规划、开发和管理,应当适应于地质和水文地质条件。按照国家规程选择废弃物填埋场的场地时,必须有详细的地质、水文地质和岩土工程的勘察[I]。

这样的场地勘察工作的类型与范围,取决于下列因素:

- 当地的地形和土层构造;
- 废弃物的种类和性能;
- 地质和水文地质条件。

同时,还要考虑以下各项:

- 设计要求(参见 R2-1);
- 总体安全的计划(参见 R2-1,第 2 节)。

为了评估某一废弃物堆场的场地是否合适,应当对地下水流的途径及边界(含水层和隔水层)的分布与水力特性、地基土的变形特性、以及改善地基土层水密性的可能性等,有准确的认识。还应当考虑到是否需要建立恰当的控制,以及事后的补救措施。为了评估作为废弃物堆场(场地面积或周边地带)的土层性质,应当

了解当地的地质总貌,包括以下的主要方面:

- 地貌特征;
- 露头地层的结构、延伸范围和地质年代;
- 地质构造;
- 较深的地基土层(如果存在着洞穴或可溶性岩石时);
- 含水层和地下水流;
- 是否存在地震和其他自然灾害的危险。

1.2 地表沉积层的成分和分布

为了评估堆积场地的地基土,必须了解下列各项:

- 土层的成分、物理性质和化学性质,以及土层的次序;
- 土层的侧向和竖向连续性,以及土层分布(地相的变化);
- 土层的孔隙性;
- 土层的渗透性(对于水、滤出液);
- 土层对于侵蚀和细颗粒被冲蚀的抵抗力;
- 应力与变形的性能。

1.3 坚实地层的结构和层次

由于区域地质因素和地貌特性,地表沉积往往较薄,因此在勘察中可能要包括坚实下卧层。应当考虑以下因素:

- 岩石的类型、矿物成分和地层次序;
- 风化状态和抗风化能力;
- 在水中、滤出液或其他侵蚀性溶液中的可溶性;
- 地质边界的类型和位置;
- 个别节理的范围、分割程度和宽度;
- 岩体中的构造地质和岩相的各向异性;
- 岩溶现象和塌陷的危险;
- 岩体的变形特性;
- 对于水、滤出液、瓦斯(气)和其他侵蚀性溶液(如碳氢化合物等)的渗透性。

1.4 测定水文地质数据