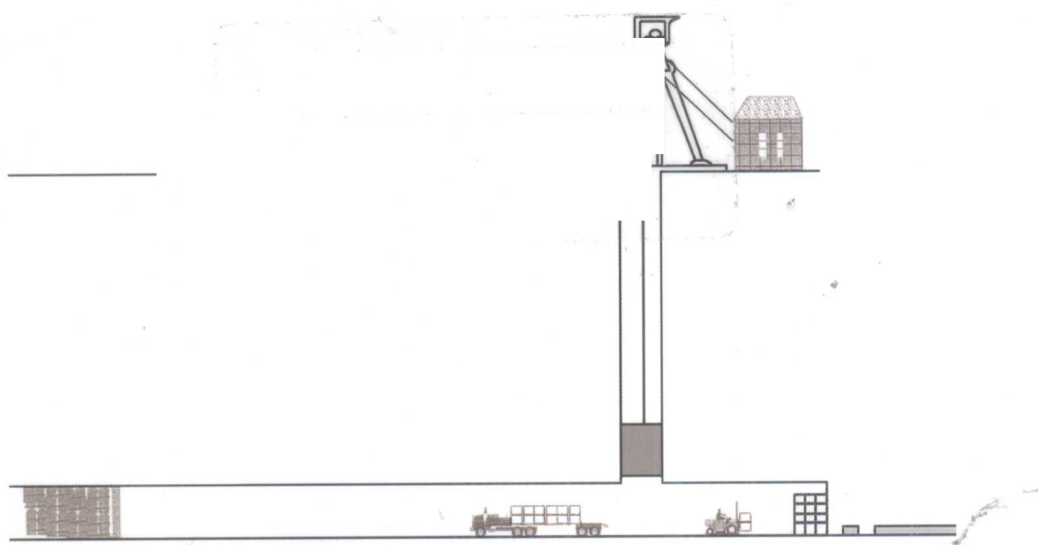


德国固体废物 地下处置技术

DEGUO GUTI FEIWU DIXIA CHUZHJ JISHU

赫英臣 席北斗 编著
薛玉伟 赫嘉豪



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

德国固体废物地下处置技术

TECHNOLOGIE FÜR UNTERTAGEDEPONIE IN DEUTSCHLAND

赫英臣 席北斗 编著
薛玉伟 赫嘉豪

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 提 要

本书共 11 章, 第 1 章~第 9 章主要介绍了德国固体废物地下处置技术发展概况、残存物质和废物在岩石空间的地下处置(填埋场和废物处置场的地质技术描述)、废物地下填埋场的地质条件约束、固体废物地下运输技术、转装技术、充填技术、运输总方案的评价方法以及放射性废物处理技术等。第 10 章和第 11 章介绍了德国 9 个矿井对固体废物地下处置的工作实例和充填技术规程。

本书适合矿山、科研设计院所、高等院校的采矿、环保专业的科技人员、大专院校师生以及管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

德国固体废物地下处置技术/赫英臣, 席北斗等编著. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-5024-5259-9

I. ①德… II. ①赫… ②席… III. ①固体废物—废物处理
—研究—德国 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010) 第 087240 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 张媛媛 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5259-9

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 6 月第 1 版, 2010 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 21.5 印张; 517 千字; 321 页

65.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)



中国环境科学研究院代表团在德国钾盐矿井 Sondershausen 参观地下填埋场
左起第一人是刘鸿亮院士，第三人是本书作者赫英臣教授，右起第三人是孟伟院长



中国环境科学研究院代表团在德国参观访问地下填埋场项目
左起第一人是孟伟院长，第二人是刘鸿亮院士，第三人是德国朋友、环境问题专家德国亚琛工业大学教授 Lutz Krapp 博士（已故），右起第二人是本书作者赫英臣教授

序

应德国联邦科技部航空航天德国中心国际办公室的邀请，我与中国工程院刘鸿亮院士作为中国环境科学研究院代表团成员于1999年8月参观了德国北部的一个固体废物地下填埋场。Sondershausen过去曾是一个开采钾盐的矿井，该矿井和Herfa-Neurode矿井（德国第一个固体废物地下填埋场）一样，主要用作危险性废物和一些一般性固体废物的地下填埋。我们参观了从地面废物供货、井筒和巷道运输，直至到堆填空间封闭的全部作业过程。

通过参观使我们了解到把废物输送到地下处置的可行性和一系列的优点，我们认为这确实是环境保护方面的一项有效措施。我国采矿业发达，地下空间容量大，把废物运到地下处置也是将来环保政策的发展方向。

为了将德国的废物地下处置技术向中国推广，德国亚琛工业大学的L. Krapp教授发挥了重要作用，在他的倡导下我们在1998年成立了项目组，为争取在北京西部门头沟地区建设第一个废物处置示范场地做技术准备。《德国固体废物地下处置技术》一书可以起到抛砖引玉的作用，也会启发我们更深入去研究固体废物的地下处置技术。本书内容丰富，除废物处置的技术方法外，还有运行实例和技术规范方面的介绍，该书还特别系统地介绍了德国北维州采矿委员会编写的《固体废物地下充填技术规程》。该规程的指导思想很明确，就是要使废物地下处置必须立足于安全；利于保护环境、保护矿床，利于矿井开采，确保作业人员人身安全；使废物处置一步到位，不出现二次污染，远离生物圈，确保生物圈的生态环境安全。因此，这个技术规程值得我们认真借鉴学习，深入研究。在此基础上也要考虑我国废物地下处置工作应该有一个什么样的技术规程作指导，应该有一个什么样的技术标准，应以哪些法律规定作为依据，这些问题是我们要面临的挑战，我们要尽快做好技术准备。相信在相关领域专业人员的共同努力下，不久的将来会出现中国的第一个地下固体废物处

置场或固体废物地下充填场。中国的煤矿有些矿井曾经搞过水力或风力的地下充填，被充填物主要是粉煤灰和矸石（采矿业废物），这方面的技术较成熟。因此，固体废物在地下空间处置，有基础、有条件在中国发展起来，相信让危险性废物远离生物圈的战略在不久的将来必定会实现。

当前我国的固体废物产生量大、种类多，我国已经并正在建设一大批垃圾填埋场，但这些填埋场的安全程度参差不齐。让废物处置远离人群，远离生物圈的战略应是长期性的任务。德国固体废物地下处置技术值得我们借鉴、学习和研究，希望在它的先进技术和成功运行的经验引导下，尽快地找到我国固体废物的处理和处置的出路，这也是21世纪环境问题解决的重要战略任务之一，希望环境工作者和各行业专业人员共同努力，攻坚克难，推进这一技术在我国示范及应用，更好地保护我们的美好家园。

中国工程院院士
中国环境科学研究院院长



2010年3月20日

前言（一）

高密度人口、工业蓬勃发展的国家废物产生量相当高，须对废物的安全处理应采取最优化的解决方案。废物中的有害物质的释出不仅对人类和环境带来危害，而且废物在密集的工业区内和其周围还占据着大量的土地。在 20 世纪 70 年代，欧洲和美国像当今发展中国家一样，废物也是无控制地在地面任意堆放，而现在这种现象被禁止了。

目前，欧洲许多老工业区为了治理以往残余废物的污染和保护环境安全，每年都要投入几十亿欧元的费用。然而，对于大型的废物体至今仍采取应急的简单覆盖或者其他仍达不到安全要求的场地处置措施。

自 20 世纪 80 年代起，工业发达国家已积极开展不同于过去的环境安全措施和治理技术工作，就是要最大可能地首先实行循环经济，在材料的循环再利用、开发资源节约途径以及在工业产品中尽量少使用有问题的原材料和化学药品，或者对有问题的原料使用替代材料。此外，工业发达国家在对处置废物的限制条件、焚烧和监测，多倍安全型填埋场工艺（多屏障系统）在科学和技术上也有了更进一步的发展。

对德国老重工业中心，特别是对鲁尔区以外的许多场地的系统调查，及寻求将废物送到煤矿深井采空区及其他地下空间进行安全处置，这个方案与已建的地面填埋场相比显示出众所公认的一系列优越性。其优点主要是：（1）现有地下空间的利用；（2）节省填埋场在地面的占地；（3）废物在采空区内经岩体冒落压实后稳定性增强；（4）减少了有害物质的释放；（5）废物地下填埋会远离生物圈和居民区。

该方案在技术方面也显示出一定的优越性，这种方法的应用必须要统筹和专门地实施，一般情况下首先要考虑什么样的废物适合作地下填埋处理，什么情况下废物必须经过预处理（如限制条件，惰性化处理），采取什么样的运输方式才能不出现较高的费用等。

对于任何废物地下填埋场地都要对它的地质条件，有关岩体结构的技术和水文地质条件，岩层的渗透性，与地表潜在的中、长期水力联系，岩体稳定性和安全密封性进行评价。

除了已开采和正在开采出的地下空间外（如对煤、岩盐、金属矿开采），还要有专门为地下填埋场开采的空间，如不立即关闭的硐室、井筒和矿囊等，

这虽然要发生很大的投资费用,但这个费用因在后续废物填埋时得到好的场地条件、花费较少的密封措施、有利的运输和堆填条件以及好的监控等得以抵消。

与废物深埋技术可行性相关联的是政府或有关部门要制定出相应的标准和规范,以使地下填埋场作业要保证执行安全和环保法规。在欧洲这个标准是环境立法的一部分,原则上在实践中不仅对深埋填埋场,而且对旧垃圾场的治理都要应用该法规进行环境影响评价。本书作者于20世纪90年代曾多次去德国鲁尔区考察和进修,对那里正在进行的项目和地下填埋场全部的技术发展过程进行了详尽的了解和实际的参与。

欧洲的地下填埋场工艺技术和环境标准引进中国是大有前途的,在中国环境科学研究院和中国煤炭科学研究院领导下的中德科研小组,有德国方面的科学工作者和工业伙伴参加,他们可以帮助中国建立一个填埋场的示范场地,在那里可以进行场地勘察和监测等一系列必要的项目。

示范项目的实施应包含技术标准制定、在中国的适用条件研究、场地优化研究、可行性和环境影响评价研究等6个阶段。除此以外还要制定与此相关的中国环境法规。

德国亚琛工业大学教授 Lutz Krapp

2001年9月10日

前言（二）

《德国固体废物地下处置技术》一书终于在中国出版了，该书的写作时间跨越了近20年。关于这方面的知识是作者于20世纪80年代在德国进修时了解到的。使作者很感兴趣的是，地下采矿形成的空间可用于对固体废物进行处置，这不仅能节约大量的土地面积，而且使废物处置远离人群和远离生物圈，确保了人的生存环境和自然环境的安全，这确实是环境保护的极好而可行的方案。

我曾在黑龙江鹤岗煤矿工作过20多年，鹤岗的兴安台煤矿是前苏联援建的，因为矿井位于河床上，为了防止地表水和地下水对采矿的影响，确保矿井生产安全而设计了水砂充填采矿法。水砂充填的涵义就是将煤开采出来之后，要用砂或矸石再将形成的地下空间充填充实，使地面不塌陷。这种开采方法实质上是用砂来换取煤，虽然确保了安全，但采矿成本相当的高，矿山企业难以承受。而今德国已把充填材料改用废物来替代，最常用的废物则是采矿本身产生的洗煤矸石、煤焚烧残渣、垃圾焚烧厂的灰渣、铸造厂的废砂以及几十种渣土类相互混合制成膏状的充填材料，充入采矿形成的采空区或岩石冒落区，既处置了大量的废物，又起到了支撑顶板的作用，既解决了采矿成本问题，又解决了环境问题，使采矿本身出现了多种效益。德国鲁尔区Warsum煤矿的经验表明，废物充填的效益要比采煤的效益大得多，即便社会效益和环境效益不计入成本，消耗1t废物要比采出1t煤的利润大得多，故采用废物充填采矿法的煤矿企业会取得至少是双倍的经济效益。因此，德国采矿法在2000年作出新的规定，在现有德国的生产矿井全部使用废物充填采矿法，原来普遍使用的全陷法采矿已被禁止，而且面临着将被废除的命运。

德国废物地下处置的第一个地下填埋场是于1972年在钾盐矿的Herfa-Neurode矿井建成并开始生产的（作者曾参观过），至今仍在生产作业，是德国废物累计处理量最大的矿井。目前德国已有近30个矿井从事废物地下处置工作，在本书的第2章有详细叙述。在德国从事废物地下处置的矿井多半是钾盐和岩盐矿井，因为钾盐和岩盐矿床具有良好的地质条件，大多数矿床上覆有300m以上的不透水黏土岩的盖层岩层，使岩盐地层隔水而不含水，因此在德国大部分岩盐矿井都没有水，基本上处于干燥状态，故是废物地下处置的最佳地质条件。除此之外，也有含水量小的煤矿、铁矿和其他金属矿从事废物地下处理

工作。

为了将德国的固体废物地下处置技术移植传播到中国,我在这方面做了大量工作,并多次到德国参观学习,搜集资料。在德国联邦科技部的航空航天中心国际办公室(Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e. v. Internationals Büro des BMBF)的支援下成立了中国废物地下处置技术项目组。德方有亚琛工业大学、普鲁士格公司等单位参加;中方有中国环境科学研究院、煤炭科学研究院、北京门头沟矿务局、河北工程大学等单位参加。这个项目于1998年开始工作,后因多种原因该项目没有继续下去,没有完成示范矿井的建设任务,这虽然是一个很大的遗憾,这么有意义的科研项目没有取得成果,但本书的作者们仍然坚持钻研下去。后来又得到“城市固体废物与转化机理研究”(973计划项目,课题编号为2005CB724203)课题的支持,使本书能够顺利出版。本书的出版将会对德国废物地下处置技术向中国传播起到一个抛砖引玉的作用,坚信在不久的将来废物地下处置技术一定会在中国开花结果。这将是城市,特别是大城市固体废物处置的可以选择的途径之一,也可能是最好途径。

在本书写作过程中,特别要提到的是德国亚琛工业大学的L. Krapp教授,他是将德国废物地下处置技术向中国传播的积极倡导者,并且在这方面做了大量工作。他是该项目的德方联络员和组织者,在项目进行期间多次来中国,想方设法使项目能顺利进行。现在,仅以此书的出版表示对他的极大感谢。我们将做更大的努力使他所希望的废物地下填埋场能在中国变成现实。

在此,还要感谢中国工程院院士刘鸿亮,中国工程院院士、中国环境科学研究院院长孟伟,他们在项目进行过程中做了大量工作和指导,亲自到德国进行技术考察,为项目的进行和本书的完成给予极大支持;还要感谢为此书的完成做了许多工作的贺静娜、张颖、李晔、何卓识、叶芳芳、惠媛、杨天学等人。

赫英臣

2010年1月30日

目 录

1 导论	1
1.1 概述	1
1.1.1 残余物质和废物区分的法律基础	2
1.1.2 地下填埋场作业内部运输	2
1.1.3 运输、转装和堆填工具的划分	4
1.1.4 基本概念与定义	6
1.2 地下填埋场的基本知识	7
1.2.1 地下填埋场的类型划分	8
1.2.2 地下填埋场的安全屏障	10
1.2.3 废物地下堆填作业方法	12
2 德国固体废物地下处置技术发展概况	17
2.1 概述	17
2.1.1 初步评价	19
2.1.2 任务与策略	20
2.2 定义与展现的有用空间的解释	20
2.2.1 定义	20
2.2.2 残余物质与废物的二元性	21
2.2.3 可提供的有用空间	21
2.3 地下填埋残渣种类和填埋地点	23
2.3.1 按废物技术导则规定的废物种类	24
2.3.2 焚烧残渣	28
2.3.3 其他产品残渣	35
2.3.4 混合残渣	36
2.4 至今地下填埋处置措施的环境影响	36
2.4.1 地下多组分填埋处置场（类型Ⅰ）	38
2.4.2 地下单组分填埋处置场（类型Ⅱ）	38
2.4.3 井下直接应用处置（类型Ⅲ）	39
2.4.4 间接应用地下处置（类型Ⅳ）	39
2.5 可选残渣类型的产生量评价	39
2.5.1 按废物技术导则确定的废物种类	40
2.5.2 来自化石能源载体的焚烧残渣	44

2.5.3 来自手工业生产和污染治理的残渣	46
2.6 为处置目的的地下空间潜力的调查	47
2.6.1 盐矿	48
2.6.2 煤矿	50
2.6.3 金属矿井	51
2.6.4 石膏矿井	52
2.6.5 石灰岩矿	53
2.6.6 花岗岩矿井	53
2.6.7 其他矿产开采的矿井	53
2.6.8 地下空间以及空间增长的地区分布概况	54
2.7 对废物地下处置将来发展的评价	54
2.7.1 地下应用	55
2.7.2 废物地下处理的效率和计划	56
2.7.3 对地下填埋场的需求	59
2.8 将来的填埋场场地	59
2.9 结论和行动计划	60
3 残存物质和废物在岩石空间的地下处置(填埋场和废物处置场的地质技术建议)	62
3.1 保护目标	62
3.1.1 概述	62
3.1.2 人的保护	62
3.1.3 环境的保护	62
3.1.4 对矿床的保护	63
3.2 残余物质和废物在岩石空间堆放的基本计划与证明方案	63
3.2.1 已有矿井	63
3.2.2 新开采的填埋空间	65
3.3 地层	66
3.3.1 概述	66
3.3.2 要求	66
3.4 屏障	67
3.4.1 概述	67
3.4.2 地质屏障	67
3.4.3 地质技术屏障	68
3.5 勘探、试验和监测	68
3.5.1 目的	68
3.5.2 项目管理	69
3.5.3 调查方法	70
3.5.4 成果的应用与评价	72
3.5.5 建档(资料汇编)	72

3.6 填埋残余物质和废物的岩石空间稳定性	72
3.6.1 概述	72
3.6.2 对稳定性的要求	73
3.6.3 稳定性证明	73
3.6.4 计算方法	74
3.6.5 建筑工程的观测	75
3.7 运移过程	76
3.7.1 概述	76
3.7.2 数据测定	76
3.7.3 长期安全分析	76
3.7.4 数学模型	77
3.7.5 释出计算的计算程序	78
3.8 保护目标实现的证明	78
3.8.1 证明的类型和范围	78
3.8.2 场址选择	79
3.8.3 场地勘探	79
3.8.4 安全考虑	79
3.8.5 建设和作业阶段	79
3.8.6 关闭	80
3.8.7 证明指示序列概况	80
3.8.8 法规与规范	81
3.9 附件	82
3.9.1 残余物质和废物地下填埋原则上适合的岩层	82
3.9.2 关键词	84
4 废物地下填埋场的地质条件约束	86
4.1 煤层开采后作为地下填埋场建设利用的地下空间	86
4.1.1 废物安全填埋	86
4.1.2 作为地下填埋利用的煤层开采空间的地质条件约束	87
4.1.3 水文地质条件	89
4.1.4 煤矿开采产生的地下空间类型	93
4.1.5 残余物质和废物充填的可能性	95
4.1.6 地下填埋可能性结论	101
4.2 特别要在岩石力学条件约束下来考虑地下填埋场的废物处理	101
4.2.1 环境保护与废物处理	102
4.2.2 废物经济计划	102
4.2.3 在地质介质中填埋的废物处置	104
4.2.4 废物填埋方案设计	105
4.2.5 安全证明的岩石力学观点	107

4.2.6 残余物质地下处置场	112
4.2.7 在盐矿床地层中矿囊填埋场的支撑状态是建立数学模型的典型成果	115
5 固体废物地下运输技术	122
5.1 垂直运输	122
5.1.1 借助罐笼和箕斗提升的井筒运输	122
5.1.2 天井自溜运输	126
5.1.3 螺旋溜槽	127
5.1.4 充填矸石自流管道运输	129
5.1.5 管道运输	131
5.1.6 阶梯式溜槽	133
5.2 垂直、倾斜和水平运输	135
5.2.1 稠流运输	135
5.2.2 稀薄流运输	138
5.2.3 气动运输	141
5.2.4 翻斗提升机和翻转轴运输机	144
5.3 倾斜和水平运输	147
5.3.1 轨道运输机	147
5.3.2 无轨车辆运输	160
5.3.3 连续运输工具	168
6 转装技术	179
6.1 堆垛机	179
6.1.1 结构与功能表现	179
6.1.2 潜在的危险	180
6.1.3 堆垛机的一般情况	181
6.2 吊车	182
6.2.1 结构与功能原理	182
6.2.2 潜在风险	182
6.2.3 吊车的一般情况	182
6.3 辊式运输机	184
6.3.1 结构与功能原理	184
6.3.2 潜在风险	184
6.3.3 辊式运输机的概况	184
6.4 矿仓与料仓	186
6.4.1 结构与功能	186
6.4.2 潜在风险	187
6.4.3 矿仓与料仓的一般情况	188

7 充填技术	190
7.1 重力充填方法	191
7.1.1 自重充填	191
7.1.2 自流充填	191
7.1.3 重力充填的潜在风险	192
7.2 机械充填方法	192
7.2.1 风力充填	192
7.2.2 抛掷充填	194
7.2.3 翻倒和滑动充填	195
7.2.4 堆垛充填	196
7.3 水力充填	197
7.3.1 水力充填	197
7.3.2 泵充填	198
8 运输总方案的评价方法	200
8.1 提升运输与转装技术决策方法的发展	200
8.1.1 评价方法的选择	200
8.1.2 评价方法内的程序	202
8.2 运输总设计	206
8.2.1 块状物品的例子	207
8.2.2 松散物品的例子	208
9 放射性废物处理技术	209
9.1 从最终处置观点对放射性废物的评价	209
9.1.1 在联邦德国放射性废物的产生量	210
9.1.2 对放射性废物提出的要求	210
9.1.3 常用的分类	212
9.1.4 放射性废物最终处置合理分类	213
9.2 放射性废物最终填埋研究	216
9.2.1 深埋研究所的工作和成果	217
9.2.2 研究所的将来工作	221
10 德国地下填埋场实例	223
10.1 实例1 Herfa-Neurode 地下填埋场	223
10.1.1 概述	223
10.1.2 地下填埋场建设的前提条件	223
10.1.3 地质条件	224

10.1.4 采矿技术	225
10.1.5 审批	225
10.1.6 废物堆填条件	226
10.1.7 可堆填的废物种类	226
10.1.8 包装	227
10.1.9 运输	228
10.1.10 堆填废物的安全	229
10.1.11 建立档案	230
10.2 实例2 Zielitz 地下填埋场	230
10.2.1 概况	230
10.2.2 地下填埋场建设的前提条件	231
10.2.3 地质条件	231
10.2.4 采矿技术	231
10.2.5 作业审批	232
10.2.6 废物堆填条件	232
10.2.7 可堆填的废物种类	233
10.2.8 包装	234
10.2.9 废物运输和堆填作业	234
10.2.10 已填埋废物的安全性	235
10.2.11 建立档案	236
10.3 实例3 德国北维州鲁尔煤炭公司杜依斯堡-瓦尔朱姆 (Duisburg Walsum)	
煤矿地下填埋场	238
10.3.1 下莱茵煤矿的地质和地质构造条件	238
10.3.2 Walsum 煤矿地质与矿床条件	239
10.3.3 Walsum 煤矿的煤层开采	241
10.3.4 采空区充填与废物应用	242
10.3.5 选煤	247
10.3.6 矸石经济	248
10.4 实例4 放射性废物地下填埋场 Gorleben	250
10.4.1 概述	251
10.4.2 在盐矿床上的最终填埋处置	256
10.4.3 Gorleben 盐矿地面勘探计划	259
10.4.4 地面勘探成果	261
10.4.5 对 Gorleben 盐囊的矿井勘探	266
10.4.6 井下地质技术勘探计划	270
10.4.7 最终填埋的安全问题	272

11 《固体废物地下充填技术规程》——德国北维州采矿委员会····· 275

第 1 部分 普通部分

1 委托	275
2 序言	275
3 问题的提出和目标	276
3.1 充填作业依据	276
3.2 充填任务	276
4 法律基础和条件	276
4.1 浸蚀保护法	277
4.2 废物法	277
4.3 水法	278
4.4 劳动和健康保护法	278
4.5 采矿法	278
4.6 结论	279
5 定义概念	280
6 对作为充填材料的废物应用的要求	281
6.1 序言	281
6.2 一般要求	281
6.3 在矿井里的堆放空间	282
6.3.1 地质与水文地质条件	282
6.3.2 水文化学和地球化学性质	282
6.3.3 对堆填空间作的采矿技术说明	283
6.4 充填类型	283
6.4.1 非硬质充填	283
6.4.2 硬质充填	283
6.5 充填方法	283
6.5.1 机械方法	284
6.5.2 风动方法	284
6.5.3 水力方法	284
6.5.4 容器充填物质输送	284
6.6 对劳动和健康保护的要求	284
6.6.1 概述	284
6.6.2 与废物交往的要求	285
6.7 对燃烧和爆炸保护的要求	286
6.8 对充填物质力学性质的要求	286
6.9 非限制的和限制的充填的边界值和方向值	287
6.9.1 劳动和健康保护安全的极限值	287