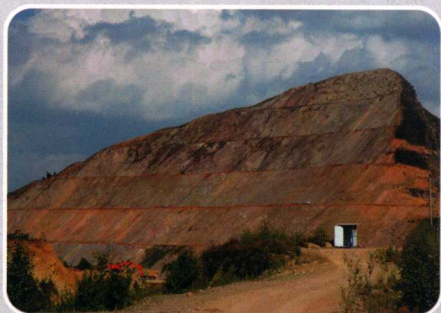


$$D_{PG} = \min\{D_{PL_1}, D_{PL_2}, \dots, D_{PL_n}\}$$

$$F_i(x_p, y_p) = f_0 \ln(2l + b + 2\sqrt{l^2 + bl + c}) - f_0 \ln(b + 2\sqrt{c})$$

矿山土地复垦理论与方法

方 星 等 编 著



地 质 出 版 社

$$f(x_p, y_p) = f_0 \frac{1}{r} \begin{cases} x = x_{i-1} + t \cos \alpha \\ y = y_{i-1} + t \sin \alpha \end{cases}$$

矿山土地复垦理论与方法

方 星 徐良骥 黄 河 李宗尧 丁增成 编著
崔良忠 许权辉 胡 映 宛传俊

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以矿山土地复垦为主线,从我国矿山开采类型和土地损毁类型划分研究、土地复垦适宜性评价入手,拓展和完善了矿山不同土地损毁单元、复垦方向的复垦质量控制标准;通过对矿山土地复垦所涉及的测量、岩土工程、地质灾害防治、农田水利、土壤重构与修复、植被重建等技术的集成,搭建了较为系统的矿山土地复垦技术与方法构架。同时,结合国土资源部《关于组织土地复垦方案编报和审查有关问题的通知》要求,就《土地复垦方案》编制时的重点、难点进行了解析。

本书可为正在全国范围内开展的矿山土地复垦工作中所遇到的普适性问题答疑解惑,为编制矿山土地复垦设计、复垦方案、土地复垦工程验收、监管等提供技术依据,亦可为矿山土地与地质环境管理人员、高等院校相关专业的师生系统地了解矿山土地复垦理论与方法提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山土地复垦理论与方法/方星等编著. —北京:
地质出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-116-09404-8

I. ①矿… II. ①方… III. ①矿区-复土造田-研究
IV. ①TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 210136 号

Kuangshan Tudi Fuken Lilun yu Fangfa

责任编辑: 祁向雷 苗永胜 田 野

责任校对: 王洪强

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554692 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554686

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 889 mm×1194 mm^{1/16}

印 张: 24.75

字 数: 800 千字

版 次: 2015 年 8 月北京第 1 版

印 次: 2015 年 8 月北京第 1 次印刷

定 价: 138.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-09404-8



(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

采矿业在我国历史悠久，矿产资源的开发利用，对人类社会文明与进步起到了巨大的、不可替代的作用。但随着我国矿业的迅速发展，自然生态环境也遭受到了严重的破坏，矿区土地资源大量损毁，严重威胁着我国的耕地红线和生态红线。如何合理开发利用矿产资源，保护生态环境，实现国民经济可持续发展，已成为广大矿山土地与地质环境管理人员和相关科研工作者面临的科学问题。

从《土地复垦规定》到《土地复垦条例》的颁布与实施，虽已逾二十年，但在复垦理论与技术方法研究层面，总体滞后于复垦工作的实际需要，存在如矿山土地质量复垦标准尚不完善、技术与方法体系不够健全、土壤生态修复技术水平不高等问题，这在一定程度上影响了矿山土地复垦的质量和复垦率。该书作者贴近实际，以需求和问题为导向，围绕矿山土地复垦这一主线，在基础理论知识研究、完善矿山土地复垦质量标准、集成和搭建矿山土地复垦技术方法体系等方面进行了有益的尝试。

该书具有明显的原始创新特色。如：进行了矿山土地损毁类型 5 大类 20 亚类的划分；首次提出了采煤塌陷损毁土地复垦建设用地质量控制参考标准、损毁土地复垦国家矿山公园质量控制参考标准等；首次开展了光纤传感技术应用于采煤塌陷残余沉降量监测的实验；开展了不同复垦单元复垦林（草）地土壤工程重构典型剖面构成研究；提出了岩质高陡边坡植生槽与团粒喷播联合技术。

该书注重技术集成与推广创新。根据矿山土地复垦工程的需要，将地质学、矿床学、采矿学、水文地质学、工程地质学、土壤学、生物学、水利学、林学、岩土工程学、生态学、灾害学、环境科学、建筑学等学科的相关内容进行了有机的集成和融合。根据科学技术的发展，在复垦工程中引入和推广了新技术、新方法，如介绍了三维激光扫描技术在矿山土地复垦测量上的应用、D-InSAR 技术在采空塌陷测量上的应用，总结了各类边坡植被重建技术。

该书普适性强。矿山土地复垦和生态修复是一项正在全国范围内开展的浩大工程，编制矿山土地复垦方案是全国十几万座矿山企业的一项任务。该书回答和解决了在矿山土地复垦工作中所遇到的普遍性理论与技术方法方面的问题。书中虽有部分理论探讨和复杂的算式，但更多的则是务实操作、经验判别和成熟技术的介绍。它不仅可为编制土地复垦设计和方案的技术人员提供科学依据，也可为政府职能部门监管提供技术支撑，同时也可为高等院校相关专业的师生系统地了解矿山土地复垦理论与方法，打开“一扇窗”。

总之，该书在矿山土地复垦理论研究方面有一定的深度，在适用性技术和方法方面有相当的广度，且系统性和针对性较强，并结合矿山土地复垦技术工作，将现行的土地、矿产、环境管理方面的法律法规与政策做了很好的宣传与贯彻，值得一读。

中国科学院院士
中国工程院院士

常印佛

2015 年 4 月 28 日

前言

我国是一个矿业大国，已发现矿产 168 种，潜在经济价值 93.63 万亿元，居世界第三，其中有 30 余种矿产资源在世界上具有优势地位。矿业开发已成为我国国民经济的重要支柱产业之一。矿产资源在为国民经济发展注入“血液”，提供“食粮”的同时，也给自然生态环境造成了巨大的破坏。据不完全统计，2010 年全国矿山有 11.25 万座，累计损毁土地面积达 38680 km²。

我国矿山土地复垦起步于 20 世纪 70 年代，发展于 80 年代后期，但因土地复垦没有制定出严格的法律法规、复垦资金得不到切实保障、复垦技术方法粗放等原因，多年以来矿山土地复垦率只维持在 15%~20%，远低于发达国家的 50%~80%。面对关闭矿山损毁土地得不到及时复垦、在生产和新建矿山损毁土地面积逐年增加、已复垦的土地质量不高的严峻形势，从 2000 年起国土资源部相继下发文件、布置工作，推进矿山土地复垦工作。尤其是 2011 年经国务院批准的《土地复垦条例》实施以来，我国逐步建立健全了矿山土地复垦法律法规体系，制定了土地复垦质量控制标准，实施了土地复垦保证金制度，使矿山土地复垦、矿山地质环境保护与治理工作进入了常态化、标准化、规范化、法制化的轨道，矿山损毁土地复垦进度有所加快，土地复垦质量明显提高，部分地区土地复垦率已经达到了 40%~50%。

矿山土地复垦，是指采矿权人按照矿产资源和土地管理等法律、法规的要求，对矿山建设和生产过程中，因挖损、塌陷、压占、污染等造成损毁的土地，采取整治措施，使其恢复到可供利用状态的活动。从其定义可见，矿山土地复垦具有政策性强、技术要求高、涉及专业面广的特点；在技术和管理层面，这为诸如矿山土地复垦方案或复垦设计的编制、矿山土地复垦工程实施及验收、土地复垦监测与监管等造成了一定的困难；因而，迫切需要一部较为系统和全面地介绍关于矿山土地复垦理论与方法的书籍，这就是编著本书之初衷。

基于本书既有理论探讨，又有多专业技术方法的集成，加之编者专业、地域所限，定有很多不妥或值得商榷之处，敬请读者斧正。

本书为安徽省国土资源厅科技项目——“矿山生态修复理论与方法研究”的成果之一。

全书由方星等编著，其中前言、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第十章、第十二章由方星编写；第七章由徐良骥、方星编写；第八章由黄河、方星编写；第九章由李宗尧编写；第十一章由方星、丁增成编写。胡映、崔良忠、宛传俊、许权辉参加了资料收集和部分编纂工作。

藉此图书出版之际，向对本书编纂予以支持的领导及同仁表示感谢！向对本书给予肯定并亲自作序的常印佛院士表示感谢！向编著本书时，学习、参考、引用的书籍和论文的各位作者表示感谢！

目 录

序	
前 言	
第一章 矿山土地复垦概述	1
第一节 国内外矿山土地复垦进展	1
一、国外矿山土地复垦进展	1
二、我国矿山土地复垦进展	3
三、典型地区矿山土地复垦进展	6
第二节 矿山土地复垦定义	8
第三节 矿山土地复垦特点	9
一、矿山土地复垦必须严格执行各项政策法规	9
二、矿山土地复垦设计须参照相关规范规程	10
三、矿山土地复垦目标和标准要体现地域差异	10
四、矿山土地复垦是一项系统工程	10
第二章 矿山开采与矿山土地	12
第一节 矿山分类	12
一、矿种分类	12
二、矿山生产建设规模划分	12
第二节 矿山主要开采方式	14
一、露天开采方式	15
二、金属矿地下开采方式	16
三、煤矿地下开采方式	17
四、岩盐水溶法开采方式	18
第三节 矿山土地分类	18
一、我国的土地分类体系	19
二、矿山土地复垦适用分类体系	20
第四节 矿山土壤类型	25
一、土壤的形成	25
二、土壤的理化性质	27
三、土壤分层	29
四、土壤类型划分	30
五、中国土壤类型分布特征	33
第三章 矿山土地损毁类型	34
第一节 矿山土地损毁类型划分	34
第二节 矿山土地损毁特征	35
一、露采矿山挖损土地	35
二、采空塌陷损毁土地	37
三、地面沉降损毁土地	39
四、压占损毁土地	39
五、污染损毁土地	40
六、地表地质灾害损毁土地	42
第四章 矿山土地损毁预测及损毁程度分级评价	49
第一节 矿山土地损毁预测	49
一、露采矿山土地损毁预测	49

二、井工煤矿开采塌陷土地损毁预测	50
三、井采金属及非金属矿塌陷土地损毁预测	60
四、排土场、矸石堆场、表土堆场等压占土地损毁预测	62
五、尾矿库、堆浸场等污染土地损毁预测	62
第二节 矿山土地损毁程度分级评价	62
一、矿山土地损毁程度综合分级	62
二、矿山土地损毁程度分类分级评价	63
三、采用数值法评价矿山土地损毁程度	68
第五章 矿山土地复垦适宜性评价	74
第一节 矿山土地复垦适宜性评价原则和依据	74
一、评价原则	74
二、评价依据	75
第二节 矿山土地复垦适宜性评价体系与方法	75
一、评价体系	75
二、评价方法	79
第三节 矿山土地复垦适宜性评价步骤	81
一、评价范围和评价单元的划分	81
二、复垦方向的初步确定	82
三、适宜性评价体系与方法的选择	84
四、评价指标体系和标准的建立	84
五、适宜性等级的评定和最终复垦方向的确定	92
六、复垦单元的划分	93
七、土地复垦时序的确定	94
第四节 矿山土地复垦适宜性评价常用方法的应用案例	94
一、极限条件法在某露采矿山适宜性评价中的应用案例	94
二、综合指数法在某露采矿山适宜性评价中的应用案例	98
三、综合模糊法在某露采矿山适宜性评价中的应用案例	101
第六章 矿山土地复垦质量控制标准	104
第一节 土地复垦质量指标体系的建立	104
第二节 矿山土地复垦标准的建立	109
一、矿山土地复垦质量控制标准确定的原则	109
二、矿山土地复垦质量控制标准的建立	109
第七章 矿山土地复垦中的测绘与监测	125
第一节 矿山露采场和塌陷区的地形图测绘	125
一、地形图坐标系统及成图比例尺的选择	125
二、地形图控制测量	125
三、地形图测绘	135
四、露采高陡边坡测量	143
五、采空塌陷积水区的地形测量以及 D-InSAR 技术的应用	145
第二节 矸石和渣土堆场（尾砂）测绘	148
一、矸石和渣土堆场测绘主要方法	148
二、特殊位置的堆场测量	150
三、闭库后尾矿库测量	151
第三节 矿山建（构）筑物压占土地测绘	151
一、建（构）筑物压占土地面积测绘	151
二、建（构）筑物体积及拆除量计算	152
三、地下工程管线测量	153
第四节 复垦配套工程测绘	153
一、灌溉沟渠测量	153
二、截排水沟测量	155

三、道路测量	155
四、水工建筑物设计、建设和维修时的测量	156
第五节 矿山土地复垦中的土石方量测量	157
一、断面法计算土石方量	157
二、方格网法计算土石方量	158
三、等高线法计算土石方量	158
四、DTM法计算土石方量	159
第六节 矿山采空塌陷变形监测	160
一、矿山采空塌陷变形监测网的建立	160
二、地表移动变形监测网的设计方法	163
第七节 矿山土地复垦监测	166
一、矿山土地损毁监测	166
二、矿山生态环境及土地复垦成效监测	170
三、矿山地表地质灾害监测	171
四、矿山地表地质灾害治理工程监测	172
第八章 矿山土地复垦中岩土工程与地质灾害防治	174
第一节 土石方工程	174
一、表土剥离	174
二、土石方开挖	176
三、土石方回填	183
四、土石方平衡分析与计算	185
第二节 采空区稳定性评价及井下充填工程	187
一、采空区稳定性评价	187
二、井下充填工程	188
第三节 井口封堵及建筑物拆除工程	190
一、井口封堵工程	190
二、建筑物拆除工程	191
第四节 尾矿库闭库工程	191
一、尾矿库闭库有关要求	191
二、尾矿库安全整治工程	193
第五节 边坡支护工程设计	194
一、边坡防护等级划分与安全系数确定	194
二、边坡稳定性评价	195
三、边坡支护设计	199
第六节 矿山地表地质灾害防治	206
一、崩塌地质灾害防治	207
二、滑坡地质灾害防治	216
三、泥石流地质灾害防治	217
四、矿山岩溶塌陷防治	221
第九章 矿山土地复垦中农田水利工程	224
第一节 复垦水利工程设计标准	224
一、灌溉标准	224
二、排水标准	225
三、防洪标准	226
第二节 矿山复垦土地平整工程规划与设计	227
一、矿山复垦土地平整工程规划	227
二、不同类型矿山复垦单元土地平整工程设计	232
第三节 坑塘水面设计	235
一、塌陷积水区域形态与水质特征	235
二、塌陷积水区域坑塘水面规划	235

三、不同塌陷深度复垦单元设计	236
第四节 截排水工程设计	238
一、截水工程	238
二、排水工程	239
第五节 田间道和生产路设计	247
一、田间道工程	248
二、生产路工程	250
第六节 灌溉工程设计	251
一、灌溉水源工程	251
二、灌溉渠道工程	254
三、露采场底盘的养护水塘、露采场坡顶高位水池设计	261
四、喷灌、微灌工程	262
第十章 矿山土地复垦中的土壤重构与修复	266
第一节 矿山土地复垦中的土壤重构	267
一、土壤剖面工程重构	267
二、不同复垦单元的土壤工程重构	267
第二节 重构土壤的改良	268
一、重构土壤养分(肥力)分级评价	268
二、重构土壤改良途径与措施	270
三、土壤重构中改良剂的使用	272
四、人造土壤	275
第三节 污染物土壤的隔离与防渗	277
一、隔离与防渗垫层	277
二、表面覆盖	280
三、淋滤废水的处置	282
第四节 污染土壤治理与修复	282
一、物理化学方法	282
二、植物方法	283
三、动物方法	287
四、微生物方法	287
第五节 矿山水污染评价及污染废水处理	288
一、地下水污染评价	288
二、地表水污染评价	291
三、矿山污染废水处理	295
第十一章 矿山土地复垦中的植被重建	300
第一节 露采边坡植被重建	300
一、边坡植被重建技术主要类型	300
二、生态植被毯植被重建技术	300
三、格室植被重建技术	302
四、喷播植被重建技术	304
五、植生袋、植生槽(钵)植被重建技术	309
六、高陡岩质边坡植生槽与团粒喷播联合植被重建技术	312
第二节 矿山复垦土地植被重建品种选择	314
一、复垦区植被品种选择的基本原则	314
二、不同复垦单元的植被品种选择	315
第三节 矿山土地复垦植被重建工程技术要点	318
一、植被工程设计	318
二、整地	326
三、不同复垦单元的植被重建工程设计	328
四、种苗处理	330

五、造林时间选择	330
六、播种和栽植	331
七、后期抚育与管护	333
第十二章 矿山土地复垦方案编制要点解析	335
第一节 矿山土地复垦编制程序	336
第二节 矿山土地复垦方案编制前期工作	336
一、资料收集要求	336
二、野外调查	337
三、拟定初步方案和征求意见	338
第三节 矿山土地复垦方案编制	338
一、编制背景及过程	338
二、复垦方案摘要	338
三、编制原则及依据	339
四、矿山概况	340
五、矿山土地复垦区与复垦责任范围确定	341
六、矿山土地损毁分析与预测	341
七、矿山土地复垦区土地利用状况	342
八、矿山生态环境影响分析	342
九、矿山土地复垦适宜性分析	343
十、矿山土地复垦水土资源平衡分析	343
十一、矿山土地复垦目标任务	343
十二、矿山土地复垦质量要求	343
十三、矿山土地复垦措施	344
十四、矿山土地复垦工作计划	345
十五、矿山土地复垦效益分析	345
十六、保障措施	346
十七、公众参与	346
十八、矿山复垦土地权属调整方案	346
十九、矿山土地复垦方案成果形式	348
第四节 矿山土地复垦投资估算	358
一、投资估算基本概念	358
二、投资估算编制依据	358
三、投资估算费用组成	359
四、复垦费用保障措施	361
五、投资估算注意事项	361
六、预算书案例	363
主要参考资料及文献	380

第一章 矿山土地复垦概述

矿业开发伴随着人类文明、社会进步、科技发展的全过程,面对矿山土地损毁与复垦这一共性问题,矿产资源丰富、矿业开发历史悠久的发达国家,从20世纪70年代开始,就陆续颁布了土地复垦的相关政策、法规,并使它们得到了有效的执行;其中部分国家将矿山土地复垦率控制在了80%左右。

我国是一个矿业大国,已发现矿产168种,潜在经济价值93.63万亿元,居世界第三,其中有30余种矿产资源在世界上占据优势地位。矿业经济早已成为我国国民经济的主要支撑之一,我国95%以上的能源、80%以上的工业原料、70%以上的农业生产资料都来自于矿产资源。持续的矿业开发,造成了矿山土地的大量损毁、生态环境不同程度的破坏。据不完全统计,2010年全国矿山有11.25万座,累计损毁土地面积达38680 km²,且损毁面积以每年330~400 km²递增。以安徽省为例,截至2010年底,全省有生产矿山4173座,筹建矿山112座,损毁土地面积760.43 km²,其中井采矿山损毁土地504.12 km²,露天开采损毁土地221.01 km²,尾矿及固体废弃物压占土地21.75 km²,采矿损毁土地面积年递增50~60 km²。仍处于工业化进程中的我国,矿业开发总规模在一个相当长的时期内将维持较高的水平,因而,损毁土地面积也将处于增加的趋势之中。

第一节 国内外矿山土地复垦进展

一、国外矿山土地复垦进展

国外矿山对土地的保护与复垦工作起步较早,且各有特色,部分国家的土地复垦率已达到了80%以上,复垦理论与技术方法研究也较为成熟。

(一) 法规制度方面

美国是世界上最早开展土地复垦的国家之一。1939年美国西弗吉尼亚州颁布了第一个管理采矿复垦的法律——《复垦法》,随后其他各州也陆续地制定了相关土地复垦法规。1977年,美国国会通过并颁布了第一部全国性的土地复垦法《露天采矿管理与土地复垦法》,在全美建立了统一的露天矿管理和复垦标准,使美国土地复垦走上了正规化的法制轨道。同时,美国实行了严格的土地复垦政策制度,建立了完善的管理体制,如建立健全法规体系、开采许可证制度、矿山复垦保证金制度和金属矿复垦制度等。

澳大利亚的矿山环境管理采取联邦政府与各州共管的体制。联邦政府确定立法框架并制定各种管理制度,同时各州根据自身情况制定法律条文,土地复垦一直是各州均规定的矿山开发的一个重要内容。其中与土地复垦有关的法律主要包括《采矿法》、《原住民土地权法》、《环境保护法》和《环境和生物多样性保护法》等。澳大利亚政府规定,复垦应贯穿于矿业项目规划、实施和闭矿的全过程。各级政府,特别是州政府的主管部门以及矿方都必须遵循土地复垦相关法律法规。

德国的土地复垦工作历史悠久,现已形成一套较为完善的土地复垦法。1950年,德国政府颁布了该国第一部复垦法规《普鲁士采矿法》。此外,既有专门的立法,如《废弃地利用条例》,又有其他相关立法,如《土地保护法》、《城乡规划条例》、《水保护法》、《矿山采石场堆放条例》、《矿山采石场堆放法规》和《控制污染条例》。这些法律法规对土地复垦的程序、内容、操作步骤都进行了详尽的规定,同时也规定了矿业主的法律责任,使土地复垦有了法律保障。德国主要是露天煤矿复垦,非常注重矿区的景观生态重建,政府颁布的《联邦采矿法》、《矿产资源法》等就是德国矿区景观生态重建

的重要法律依据。这些法律法规均对采矿后矿山复垦工作如何开展有明确的要求和规定。

加拿大作为矿业大国，对矿山土地复垦亦十分重视，同时也有一套较为成熟的法规制度。20 世纪 70 年代后期，《露天矿和采石场控制与复垦法》的颁布实施，为土地复垦制定了严格而科学的法律法规，明确了复垦资金的来源，规定了政府各级部门的职责以及土地复垦的技术标准。联邦和省市政府对土地复垦分别有独立的立法权限，因此各省均制定有相关的法律。例如，不列颠哥伦比亚省矿山复垦相关的法律法规包括《矿山法》、《环境评价法》、《废料管理法》和《水管理法》等；安大略省《矿业法》中有专门与矿山恢复有关的条款，规定所有生产和新建矿山必须提交矿山闭坑阶段将要采取的恢复治理措施和恢复治理计划。

（二）组织管理方面

美国设立了矿山土地复垦机构，矿山复垦的管理工作主要由内政部牵头，由内政部露天采矿与复垦办公室负责实施。内政部的其他部门也依法进行与本部门有关的土地复垦的管理，其中矿业局、土地局和环境保护署等是核心部门，协助开展与本部门有关的土地复垦工作。各州资源部负责辖区内矿山的复垦工作。

澳大利亚日常的土地复垦管理工作由资源开采主管部门负责，而矿山的土地复垦管理工作主要由环境局负责。土地复垦自上而下专门的组织管理机构共同使土地复垦贯穿于采矿的全过程，将矿业生产对环境的影响降到最低程度。澳大利亚注重土地复垦中的部门监管、审查要求、复垦抵押金（保证）制度的建立与执行、每年度的环境执行报告书、矿山监察员巡回检查制度等各项工作，以及注重充分发挥公众舆论的监督作用，使得澳大利亚被认为是世界上先进而且成功处理扰动土地的国家。

德国中央政府虽没有专门负责土地复垦的机构，中央政府和州政府只负责制定原则性的土地利用规划，但地方政府，特别是社区政府负责具体的土地复垦利用规划的制定和土地复垦工作。地方政府负责土地复垦的机构有环境保护部门、矿产管理部门、经济管理部门等，按照有关的法律规定，各司其职，共同推动土地复垦工作。法律健全、执法严格是德国土地复垦工作最显著的特点，它不仅有一整套的法律法规、完备的管理机构、严密的工作程序，更重要的是能够按批准的规划严格组织实施，并由地方政府、采矿公司和当地群众联合组织验收。复垦后景观完全符合复垦规划所制定的标准，环境质量很高。复垦后的土地由采矿公司负责管理并拥有土地所有权和处置权。

加拿大各省均采取保证金制度作为复垦的保障和激励机制，规定矿山企业从取得第一笔矿产品收益开始，必须从中提取部分资金作为复垦基金或保证金。矿山企业要严格按照政府通过的矿区恢复治理方案，来确保矿山闭坑后的矿区土地复垦工作。否则企业缴纳的保证金将不予返还，并另找其他企业对前者破坏的环境进行修复。同时，为全面掌握废弃矿山情况，加拿大部分省份实行了建立废弃矿山信息系统的管理办法。该系统收集了所属区域所有废弃矿山的相关信息及文件材料，通过对信息的充分利用，来加强废弃矿山的土地复垦。

（三）复垦措施方面

不同国家在具体的复垦措施上各具特色。其中美国要求矿主在开采过程中就要采取一系列的保护措施来控制水流的侵蚀和有害物质的污染。通过先进的矿山废水处理技术处理酸性和有害污水，注重矿产废水资源的多级利用和重复利用。同时要求在矿产开采过程中，要保持地表土与矿山废物分类摆放，并铲除陡坡，使其恢复到近似等高的状态。在复垦中遵循“原样复垦”的基本原则，恢复原有土地利用景观，改善公共环境和生态环境。

澳大利亚十分重视复垦措施和技术的应用，对废弃矿场的复垦和植被恢复技术处于世界先进水平。澳大利亚矿业公司实行先进的复垦工艺，采取了种子采集、表土剥离、分层堆放、分层回填、地貌重塑、土地平整、恢复植被等一系列复垦措施。通常在采矿之前就为复垦做好准备，采矿与复垦并举，许多开采过的矿山，如今都是国家公园，复垦过的地方几乎看不到采矿的痕迹。例如为保护名贵的红木林，他们的做法是在采矿前首先清除植被，对土壤取样，采集被清除植被种子，妥善保存，便

于复垦时恢复原貌作参考；上部土壤层、岩石层分开转移到合适的地方保存，最后剥离岩层进行采矿。

德国《矿山法》对开发和复垦也提出了严格的环保要求和质量标准，如必须对因开矿所占用的森林、草地进行异地等面积的恢复；对露天开挖出来的表土层和深土层，要分类堆放，以便按原土层复垦；复垦为耕地的要种植作物 7 年并变为熟地后，才予验收。德国还将房地产开发及各项建设工程开挖的表土收集起来用作复垦区的表土。另外，德国将采掘机、运输皮带及推土机组成了露天矿区完整的采运系统。不同的矿层被分层开采，分皮带运输，使伴生矿藏得到开发和利用。同时表土层也被单独剥离，在保证土质不变的前提下被重新利用。土地复垦根据规划中规定的各种用途而采取不同的措施，从而使复垦后的环境能满足规划中的要求。

加拿大的矿区土地复垦与生态恢复工作贯穿于矿业活动的每一个环节。在矿山开采前，必须对当时的生态环境状况进行研究并取样，作为复垦时的参照；在矿区勘查阶段，管理部门也要正确引导，尽可能地减少周围生态环境的影响；在采矿权申请阶段，矿山企业必须同时提供矿区环境评估报告和矿山闭坑复垦环境恢复方案，由相关主管部门共同组织专家论证和举行听证会。环评报告和复垦方案通过后，企业必须严格执行。另外，加拿大的闭坑复垦要求因地制宜，可以根据具体情况进行复垦，但总要求不得低于原有的生态水平。

（四）科学研究方面

一些发达国家早已将土地复垦学科研究工作作为矿山复垦工作的重要组成部分，受到政府部门、行业学会、科研单位、院校，以及矿山甚至一些民间学术组织的重视。

澳大利亚在复垦科学研究上投入十分庞大，其复垦研究领域主要包括以下几个方面：

a. 建立稳定地表、控制侵蚀的研究：主要注重堆场适宜坡度研究，通过大量现场实验，研究了坡形、坡比变化与控制侵蚀的关系；控制侵蚀的研究工作，多集中在控制侵蚀覆盖材料种类的选择、控制方法的选择等方面。

b. 再种植研究：主要包括改进草场、农作物、特殊树种以及天然草、灌木和树种的综合群组研究，适宜品种选择研究，肥料应用研究，种植技术研究。

c. 建立自我维持的生态系统研究：其研究热点是复垦质量检验标准，特别是生态系统建立并能自我维持标准的研究；废弃物及其堆场复垦后深度利用研究等。

d. 其他方面的特色研究：如抗污染研究，包括抗酸性、碱性、盐化以及消除低放射性污染的复垦条件研究等方面。

德国矿区景观生态重建、土地复垦从最初的植树、绿化到多功能复垦区域的建立，经历了由简单到综合、由幼稚到成熟的过程。景观生态重建的理论研究也经历了三个阶段：以经济利用为主的矿区景观生态重建/土地复垦的理论研究，以景观构造为主的理论研究，以可持续发展为主导思想的理论研究。

综上所述，国外土地复垦工作开展较好的国家都具有以下特点：①有健全的复垦法规；②有专门的土地复垦管理机构；③有明确的复垦基金渠道，并建立了复垦基金；④将复垦纳入采矿许可证制度中；⑤实行复垦保证金制度；⑥建立严格的土地复垦标准；⑦重视土地复垦的研究和多学科专家的参与合作；⑧有土地复垦的学术团队和研究机构，且学术活动十分活跃。

二、我国矿山土地复垦进展

我国矿山土地复垦，原称为废弃地生态恢复，始于 20 世纪 70 年代末。初期由于政策、经济和技术方面的原因，矿山废弃地生态恢复工作长期处于规模小、低水平的状态。近二十多年以来，我国矿山土地复垦有了长足的发展，复垦规模不断加大，技术水平有所提高。

（一）法规建设方面

在矿山土地复垦法规建设方面，1988 年国务院颁布了《土地复垦规定》。这是我国第一部关于土

地复垦的专门法规，它明确了土地复垦的宗旨、含义、范围；确立了“谁破坏，谁复垦”的基本原则；确定了土地复垦工作的管理体制。对有矿山土地复垦任务的建设项目，其土地复垦的主要形式、复垦资金渠道、复垦土地使用等均在法规中作了具体、严格的规定。它的颁布与实施，在我国土地复垦历史上有着划时代的里程碑意义，标志着我国土地复垦工作开始纳入法治化的轨道。此后，我国采矿塌陷地、矸石山、露天采矿场、排土场、尾矿场和砖瓦窑取土坑等各类破坏土地复垦工作均受到了全社会的高度重视，并取得了明显的进展。

1995年，原国家土地管理局发布施行《土地复垦技术标准（试行）》。这是我国第一个土地复垦行业标准。它包含四个具体标准：《采矿废弃地土地复垦标准》、《建设破坏废弃地土地复垦技术标准》、《工业排污破坏土地复垦技术标准》、《水毁土地复垦技术标准》。这四个标准对各种类型损毁土地复垦的责任、技术、管理等进行了规定。

2000年，国土资源部部署了全国矿山地质环境调查工作。

2005年，国务院印发《关于全面整顿和规范矿产资源开发秩序的通知》，明确提出了“积极推进矿山生态环境恢复保证金制度”和“制定矿山生态环境保护与综合治理方案”的要求。

2006年，为进一步加强生产建设项目破坏土地的复垦工作，国土资源部、发展与改革委员会、财政部、铁道部、交通部、水利部、环保总局七部委联合下发了《关于加强生产建设项目土地复垦管理工作的通知》（国土资发〔2006〕225号）。进一步明确了“谁破坏，谁复垦”是土地复垦工作的基本原则。即凡从事开采矿产资源、烧制砖瓦、燃煤发电、修建公路铁路和兴修水利设施等生产建设活动造成土地破坏的单位或个人是土地复垦法定义务人（以下简称复垦义务人），必须对被破坏的土地承担复垦责任和义务。明确要求所有复垦义务人在生产建设活动中要按照“统一规划、源头控制、防复结合”的要求，尽量控制或减少对土地资源不必要的破坏，做到土地复垦与生产建设统一规划，把土地复垦指标纳入生产建设计划。有复垦任务的生产建设项目，其可行性研究报告和设计任务书应当包括土地复垦的内容；设计文件应当有土地复垦的章节；工艺设计应当兼顾土地复垦的要求，并据此编制土地复垦方案，落实土地复垦费用。露天开采的生产项目以及交通、水利等建设项目要尽量做到土地复垦与生产建设同步设计、同步施工，努力实现“边生产、边建设、边复垦”；进行地下采掘或施工的，应尽量采取充填等复垦措施，尽可能降低和减少土地塌陷程度和范围。明确规定复垦义务人必须根据破坏土地面积和类型、采出原矿量、复垦标准等，依法缴纳土地复垦费，确保土地复垦责任的落实。同时要求国土资源管理部门要切实履行对土地复垦行政管理、监督检查的职责。在建设用地上预审或采矿权审批时，有审查、审批权的国土资源管理部门应当对生产建设项目土地复垦方案进行审核，对没有方案或方案不符合要求的，要责成复垦义务人补充、修改或完善。改扩建生产建设项目在申请新的用地或办理采矿权延续、变更手续时，要对土地复垦任务的完成情况进行审查，未按规定完成任务的，将不予办理新的审批手续。

2007年，国土资源部下发了《关于组织土地复垦方案编报和审查有关问题的通知》（国土资发〔2007〕81号），建立了土地复垦方案编报审查制度，规定经评审通过的土地复垦方案是建设用地上采矿权申请的必备要件之一。

2009年国土资源部颁布了《矿山地质环境保护规定》。

2011年3月国务院批准实施《土地复垦条例》。这是我国土地复垦发展史上的一个新的里程碑。该《条例》较以前的《土地复垦规定》有以下几个特点：①进一步明确了复垦的责任主体；②针对性地完善了监督制约机制，明确了各级管理的责任义务；③在土地复垦中引入市场机制和激励措施，提高了复垦多方的积极性；④加大处罚力度，落实监管职责，明确法律责任界线。

为了敦促复垦义务人自觉履行复垦责任，《条例》还规定了一系列具体制度和措施：①建立土地复垦方案编制与审查制度；②加强对土地复垦实施环节的监督管理；③建立土地复垦资金保障机制；④完善土地复垦验收的程序和要求；⑤强化对土地复垦义务人不履行土地复垦义务的制约手段。

2011年国土资源部相继组织编制、印发了《土地复垦方案编制规程 第一部分：通则》、《土地复垦方案编制规程 第二部分：露天煤矿》、《土地复垦方案编制规程 第三部分：井工煤矿》、《土地复垦

方案编制规程 第四部分：金属矿》、《土地复垦方案编制规程 第五部分：石油天然气（含煤层气）项目》、《土地复垦方案编制规程 第六部分：建设项目》、《土地复垦方案编制规程 第七部分：铀矿》等 7 项推荐性行业标准，对各类型矿山损毁土地的复垦方案编制要点提出了要求。

2013 年国土资源部组织编制并颁布了《土地复垦质量控制标准》作为行业标准，对不同土地复垦类型区、不同复垦方向的土地复垦技术要求和质量要求作出了规定。

2012 年国土资源部布置了工矿废弃地复垦利用试点工作，并在试点省份开展了工矿废弃地治理工作。随后，国土资源部又在全国部署开展了“矿山复绿”行动。

土地复垦法律法规的不断完善、复垦技术标准的初步建立，逐步使我国矿山地质环境保护与治理、矿山土地复垦工作进入了法制化、标准化、常态化的轨道。

（二）组织管理方面

根据《土地复垦规定》第六条规定，各级人民政府土地管理部门负责管理、监督、检查本行政区域的土地复垦工作；各级计划管理部门负责土地复垦的综合协调工作；各有关行业管理部门负责本行业土地复垦规划的制定与实施。这种以政府为主导、以国土部门为行业管理主体的管理体系，在矿山土地复垦和生态修复中发挥了重要作用。通过立法，确保了土地复垦作为矿山建设的一项重要内容；通过实施土地复垦方案编报制度，将土地复垦作为申报矿业权的硬性要求，极大地推进了土地复垦工作；治理恢复保证金的设立，为矿山环境治理和生态修复提供了资金保障；国土部门从部到乡的管理体系，为矿山土地复垦工作的监管提供了组织保障。但多头管理、监管手段缺乏等也困扰着土地复垦管理工作的有效开展。

（三）复垦措施方面

经过多年的不断探索和发展，我国在土地复垦方面取得了一定的成果。土地复垦率达到 30%，部分矿区甚至达到了 50%，有效地恢复和保护了露采区和开采沉陷区的土地资源和生态环境；同时，还摸索出了一套符合我国国情的矿山复垦技术和方法，如边坡复绿、挖深垫浅复垦、疏排法复垦、平整土地与修建梯田复垦、充填复垦等；从采取单一的工程措施，发展到生态修复措施的综合运用，而且还在重点工矿区建立了一批全国土地复垦示范区，如淮北、淮南、济宁等地。这些示范区坚持“因地制宜、综合治理”的原则，积极探索、创新土地复垦机制，创建了具有中国特色的复垦模式。

（四）学术研究方面

随着矿山复垦工作的推进，我国在矿山复垦理论、技术方法的研究方面也取得了一定的进展。我国从事矿山土地复垦研究、管理的技术工作者从不同专业角度出发，以专业书籍、学术论文、案例分析、研究报告、示范实验、生产实践等形式，对矿山土地复垦理论、复垦技术与方法进行了研究和总结。

张国良（1997）主编的《矿区环境与土地复垦》一书，第一次较为系统地叙述了采矿对环境的影响，介绍了矿区土地复垦理论、技术、管理、经济评价和法规等内容。

白中科、赵景逵等（2000）编著的《工矿区土地复垦与生态重建》，阐述了工矿区采矿工艺对新造地形的影响、土地破坏与调查、土地复垦与生态重建工程技术、污染土壤修复、废弃物利用等方面内容。

周启星等（2004）著有《污染土壤修复原理与方法》，该书较为系统地论述了污染土壤修复的基本原理、基础理论和技术方法。

胡振琪等（2008）编著的《土地复垦与生态重建》，较为全面地阐述了采矿对土地与环境的影响；介绍了相关的基础理论知识；详细讨论了土地复垦与生态重建的十大技术。

雷海清等（2010）编著的《矿山废弃地植被恢复的实践与发展》一书，通过浙江废弃地植被修复研究与工程经验，阐述了边坡加固稳定技术、适生植物与生长基质、植被修复等理论与方法。

郑九华等（2010）著有《用固体废弃物构造土地复垦基质的理论与实践》，对矿山重金属污染的物理、化学、农业、植物、动物、微生物修复理论与技术方法进行了评述。

周连碧等（2010）著有《矿山废弃地生态修复研究与实践》，概述了矿山废弃地生态修复国内外

进展、生态修复的概念以及理论与方法，介绍了矿山废弃地土壤改良、植被选择等相关内容。

国土资源部土地整理中心（2011）组织编著了《土地复垦方案编制实务》，其核心内容包括土地复垦管理、法规建设、土地方案编制规程解读、复垦方案编制要点等。

赵永红等（2014）编著了《有色金属矿山重金属污染控制与生态修复》，该书概括总结了有色金属矿山废水、尾矿、矿区土壤中重金属污染现状及治理技术；从生态修复的角度，论述了矿区生态修复的方法和技术。

我国很多高校也专门设置了土地复垦与管理的院（系），培养不同学历层次的专业技术人员；建有专门研究土地复垦理论与方法的实验室和研究所，如煤矿生态环境保护工程国家实验室、土地复垦与生态重建研究所等。

中国煤炭学会会同有关专业委员会已连续数年召开土地生态修复方面的国际研讨会，聚焦土地生态修复，交流技术与方法，促进了我国该领域的国际交流、合作和科技进步。

三、典型地区矿山土地复垦进展

（一）唐山市

唐山是我国重要的能源和原材料工业基地，中国第一座现代化煤井、第一条标准轨铁路、第一台蒸汽机车的诞生地。举世闻名的开滦矿务局始建于1878年，其所属煤田范围670 km²，煤田内有开滦等11座大型煤矿、50余座县办煤矿和近百座乡镇个体煤矿，全矿区原煤年产量约4280×10⁴t，目前尚有可采储量50×10⁸t。开滦矿区开采130多年来，历尽沧桑，为中国和世界提供了大量优质能源，但长期开采也造成了较为严重的地表塌陷，对周边生态环境和人民生产生活带来了不同程度的影响。

近二十多年来，矿区各级政府和农民群众为采煤塌陷地开发复垦与生态重建进行了积极努力与探索，大致经历了四个阶段：

一是自发性粗放零散复垦阶段。改革开放初期，矿区农民自发平整塌陷地种植农作物、栽果树、利用积水坑养鱼等，基本是处于无序、无政府管理状态。

二是政策性引导复垦阶段。1989年1月1日国务院颁布实施《土地复垦规定》后，本着“谁破坏，谁复垦”，“谁投资，谁受益”的原则，政府鼓励企业和个人投资开发复垦，并采取了“占一补一”的新增建设用地与土地复垦挂钩措施。

三是示范性综合复垦阶段。1995年，古冶区范各庄乡采煤塌陷地农业综合开发项目，被国家农业综合开发办公室和国家土地管理局批准为全国首批示范项目。该项目分两期，历时六年，总投资4393万元。完成了土地整理、水电路基础设施建设、林网建设、畜牧水产养殖建设、高效农业园区建设五大类工程。成为了土地复垦与生态重建综合治理、农林牧渔全面发展的成功示范。

四是总体规划、科学发展阶段。通过推广示范区经验，全市矿区制定了采煤塌陷地土地复垦与生态重建专项规划，实现了“三个转变”，即：由抓典型示范向抓总体规划全面推进转变；由只抓农作物种植向因地制宜、综合发展转变；由偏重经济效益向经济、生态、社会效益并重转变。

唐山市为国家级采煤塌陷地综合治理示范区，在塌陷区的综合治理中取得了显著的效果，特别是复垦模式的创新。1990年以来，我国学者对唐山市矿山土地复垦做了大量的研讨工作。

杨居荣等（1999）以生态学及生态经济学理论为指导，在对唐山市开滦煤矿古冶区塌陷地的生态复垦进行了试验研究，提出了从生态合理及生态经济可行双向选优和完善复垦模式的思路和方法，介绍了复垦规划的制定、适宜于不同塌陷类型土地复垦的典型模式。

赵玉霞等（2000）运用综合指数法和环境经济学对唐山开滦矿区几种复垦农业利用模式的可持续性进行分析与比较，并据此为该区域的土地复垦提出了可行的方案建议。

杨福海等（2000）对唐山铁矿土地复垦实施推广的四种复垦模式进行归纳：以马兰庄铁矿为代表的河滩围池尾矿复垦模式；以汉儿庄铁矿为代表的尾矿充填低洼地模式；以兴旺寨选厂为代表的双围池排放尾矿交替排满后外运沤肥垫地改良土壤模式；石人沟铁矿尾矿库在干坡段分期分段植树种草改

善生态环境模式。

陆建华(2000)总结了唐山采煤塌陷区的生态农业复垦、矸石充填复垦、电厂粉煤灰充填复垦、渔业养殖与综合利用、可移动蔬菜大棚栽培等复垦利用技术途径和模式,供我国同类矿区借鉴。

李富平等(2003)在分析唐山地区铁矿资源开发特点及其对生态环境破坏的基础上,提出了适合该地区的“生态农业复垦”、“废弃尾矿库无覆土、直接种植”、“围池尾矿复垦”、“尾矿改良土壤”等土地复垦模式。

张清军等(2009)应用循环经济原理,开展了唐山采煤塌陷地复垦的导向作用研究,提出了采煤塌陷地发展生态农业模式、塌陷区基建复垦及生态园林建设模式等几种行之有效的生态复垦模式。

肖欣洁(2009)对唐山市采煤塌陷地复垦模式进行研究,总结出浅层塌陷区复垦耕地模式、深层塌陷区水产养殖模式、塌陷复垦地人工林种植模式、塌陷区多元高效生态农业模式、塌陷地稳沉区工矿企业建设用地模式、塌陷区兴建生态公益事业模式等六种模式。

除了上述复垦模式和方法的探讨和推广以外,学者们还就复垦资金筹措、复垦体制机制等方面进行了研究:

郭锋等(2006)在对复垦实践进行总结分析的基础上,详细介绍和总结了“加强法制、改革体制、搞活机制、依靠科技”的复垦管理与创新经验。

张清军等(2008)提出了在矿区复垦项目中引入 BOT (Build-Operate-Transfer, 建设-运营-移交) 融资模式,解决土地复垦融资中投资主体单一、融资渠道狭窄等问题,促进唐山市复垦事业的持续发展。同时对唐山市采煤塌陷地复垦中存在的责任主体转移、拟复垦土地产权关系界定不清、土地复垦融资困难、土地复垦缺乏成熟理论技术等问题进行总结,提出了成立专门土地复垦公司、厘清复垦土地产权关系、拓宽融资渠道进行多元化融资、吸收国内外先进复垦理论和技术等相应对策。

(二) 淮北市

安徽省淮北市是国家重要煤炭资源型城市之一。然而随着煤炭的开采,采煤塌陷地的大面积出现,不仅破坏了当地生态环境,影响了人们正常的生产生活,而且已成为制约能源型城市发展的瓶颈问题。截至 2011 年底,全市采煤塌陷土地已达 186.7 km²,且每年以约 5.3 km² 的速度递增;失地农民达 30 余万人;400 多个村庄因塌陷而遭到破坏;地下水平衡被破坏,已形成近 300 km² 的地下水降落漏斗区。

为改善矿区生态环境,解决塌陷区失地农民的生产生活问题,实现经济社会可持续发展,淮北市高度重视采煤塌陷区综合治理工作,先后制定了一系列的规章制度,如《加强采煤塌陷土地高效开发利用的若干意见》、《加强采煤塌陷土地高效开发利用的若干意见》、《淮北市土地开发复垦整理暂行办法》、《淮北市土地开发复垦整理项目招投标办法》、《淮北市(城市规划区)矿山地质环境治理规划》等。这些规章制度确定了基本原则,明确了目标任务,并积极进行试点、推广,使复垦工作做到了有章可循。2009 年又启动了采煤塌陷区综合治理规划、压煤村庄搬迁用地规划的编制工作,并建立备选项目库,对符合治理要求的项目及时入库,统一管理,有序推进。

2009 年和 2010 年淮北市还先后成立了采煤塌陷区综合治理工作领导小组、采煤塌陷区综合治理办公室,将采煤塌陷区综合治理工作纳入年度责任考核目标,并将年度整理复垦开发任务分解下达各县区。对完成目标任务的,在安排用地计划和土地整理复垦开发项目资金时给予倾斜;对未完成目标任务的,责令其限期整改,整改期间暂停受理其农用地转用报批。

随着矿区土地复垦工作的成功开展,目前淮北市已经成为全国土地复垦先进示范区。与此同时,学者们对淮北市矿区土地复垦的模式也给予了高度关注。

罗爱武(2002)指出淮北矿区被破坏和废弃的土地共有五类:采煤塌陷地、废弃物堆积占地、挖损迹地、滩涂荒地和其他零星闲散地,并根据淮北矿区的实际情况,提出了采煤塌陷区土地复垦的五种模式:已稳定的以复土造田为主,农林牧渔综合发展的浅层塌陷复垦区;已稳定的以开挖精养鱼塘为主,畜牧结合的深层塌陷复垦区;已稳定的以粉煤灰充填造林二次利用复垦类型区;已稳定的以煤矸石充填基建用地复垦类型区;未稳定的水产、水禽混养类型区。