DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.1997.01.005

土地复垦学研究现状与发展

胡振琪

（中国矿业大学采矿系，徐州 221008）

［摘要］ 介绍国内外土地复垦的基本情况和新进展，提出国内外重点研究的领域和我国土地复垦研究的薄弱环节，展望土地复垦发展趋势。

［关键词］ 土地复垦，生态学，侵蚀

1 引言

土地复垦就是对采矿等人为破坏的土地采取整治措施，因地制宜地将其恢复到可供利用的期望状态的行动或过程。因此，我们把研究破坏土地的产生机制及演变规律，破坏土地再生利用的政策、理论、方法、技术工艺、管理技术等相关学术问题称之为土地复垦学。它是土地科学和环境科学的重要分支，是一门多学科交叉的综合性应用学科。本文是作者进行国内外学术交流和科研工作的一些收获。

2 国外土地复垦学研究现状

2.1 基本情况

最早开始土地复垦的是德国和美国。美国在《1920年矿山租赁》中就明确要求保护土地和自然环境，20年代德国煤矿开始在废弃地上植树。50年代末，一些国家的复垦区已系统地进行绿化，许多工业发达国家加速复垦法规的制定和复垦工程实践活动，比较自觉地进入了科学复垦的时代。进入70年代，复垦技术集采矿、地质、农学、林学等多学科为一体，已发展成为一门涉及多行业、多部门的系统工程，并已形成比较完整的法律体系和管理体系。80年代以后，随着复垦技术的发展和复垦法规逐步完善，特别是世界各国对环境问题的日益重视，土地复垦工作呈现蓬勃发展的态势。

国外土地复垦工作开展较好的国家都有以下特点：（1）有健全的复垦法规；（2）有专门的土地复垦管理机构；（3）有明确的复垦资金渠道和建立了“复垦基金”；（4）将复垦纳入开采许可证制度之中；（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，并成立了土地复垦的学术团体和研究机构，学术活动十分活跃。

美国主要研究露天矿的复垦（特别是煤矿），重点研究复垦土壤的重构与改良、重新植被、

国家自然科学基金资助项目·
本文于1996年4月26日收到·

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

侵蚀控制和农林生产技术等；矿山固体废弃物的复垦、湿地复垦、复垦中的有毒有害元素的污染和采煤塌陷地复垦；生物复垦和复垦区的生态问题。为推动土地复垦的研究和技术革新，美国专门成立了“国家矿山土地复垦研究中心”(NMLRC)，并有土地复垦研究专项经费，组织多学科专家攻关。此外，美国露天采矿与土地复垦学会每季度出版一期会讯，每年组织一次全国学术会议。因此，美国的土地复垦研究是世界上最活跃的，且技术水平较高。

加拿大也在多个领域开展了土地复垦研究，最近对油页岩复垦以及由于石油和各种有毒有害物质造成污染的土地复垦研究给予高度重视。

英国也是开展土地复垦较早的国家之一，目前，主要以污染地的复垦和矿山固体废弃物如煤矸石的处理与利用等为研究重点。此外，澳大利亚、波兰、南非等国家对土地复垦研究也十分重视，复垦技术也较先进。

2.2 重点研究领域

(1) 干旱、半干旱地区土地复垦的方法与技术。干旱、半干旱地区水资源缺乏，复垦工作难度相对较大，对这类地区的复垦技术和方法的研究主要侧重于迅速恢复和保持植被技术、适宜的植物品种、保持水分防止侵蚀的地表覆盖(mulching)技术及地表覆盖材料的优选，以蓄积水分为目的的特殊地貌构造技术以及新型保水剂的应用等。

(2) 矿山固体废弃物的处理与复垦。研究的重点是矿山固体废弃物的处理与利用方式，减少废弃物中有害、有毒元素的迁移技术，迅速在废弃物上建立植被以减少侵蚀和吸收有毒、有害元素技术，施用石灰中和废石酸性的技术等。

(3) 提高复垦土壤生产力的土壤培肥措施。基于复垦土壤特点并运用农业研究的成果，探讨提高复垦土壤生产力的各种土壤培肥措施，特别是施以弥补材料如垃圾、农家肥和秸杆等。

(4) 矿山复垦土地的重新植被与牧草和农作物生产技术。主要是重新植被的品种选择和迅速恢复重建技术，重点研究在复垦土地上获得牧草或农业高产的各种生产技术。

(5) 矿山废弃地的复垦。矿山废弃地是在法律制定前破坏的土地，无复垦的法律义务，加上矿山资料往往缺乏，使这类复垦工作有很大的特殊性。这类复垦的研究主要侧重于矿山破坏土地的估计与评价、提出存在的问题、综合治理技术途径以及资金筹措等。

(6) 矿山酸性水的排放(AMD，Acid Mine Drainage)。主要研究矿山酸性水排放的预计、取样设计和方法，减少矿山酸性水排放的矿山设计以及矿山酸性水的被动治理技术(passive treatment)。对被动治理技术，一般研究其技术措施选择，被动治理系统的设计、建设、维护和去除污染物的操作系统。

(7) 湿地和滩涂的复垦。主要研究湿地和滩涂过去和现在的生物群落，复垦后的利用方向和生物群落的适应性，恢复和重建特定生物群落栖息环境，注重生物多样性，保护野生动植物和湿地资源。

(8) 复垦规划与复垦效果评价及相关的法规研究。研究复垦规划的内容与深度要求，评价复垦效果的指标体系以及相关的法律条款的修定。土壤生产力和各种生态标准评价复垦效果是目前研究的热点。

(9) 污染土地的复垦。矿产资源的开采在破坏土地资源的同时也污染了土壤，对这些污染土地的复垦主要是研究适宜的覆土厚度，有毒有害元素的存在形式、分布与迁移规律以及其治理技术，污染土地的重新植被技术等。目前，对于石油和油页岩开采导致的污染问题和

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿山土壤中重金属污染问题已引起广泛重视。

（10）生态复垦。主要研究复垦区域的生态重建和复垦地的植物生态等问题。

（11）开采沉陷及其复垦。侧重研究开采沉陷对土地的破坏预计和破坏程度分类方法，采煤塌陷对土地的破坏规律及其与开采过程的动态关系，开采沉陷地的复垦方法。

（12）计算机在土地复垦中的应用及软件开发。主要研制复垦的各种应用软件（如STRATIFACT，STATGRAPHICS和SURVCADD在废弃矿土地复垦设计和开采许可申请中的应用），开采沉陷的预计软件，开采与复垦一体化工艺的模拟软件等。

（13）矿山复垦土地的侵蚀控制。研究矿山复垦土地的侵蚀机理及水土保持措施。

（14）土地复垦设备及产品的研制。研究改良复垦土壤压实的深耕（松）机、表土改良剂或替代表土的生物土，以及各种侵蚀控制产品等。

2.3　若干新进展

（1）复垦土壤的侵蚀控制及其产业化[1]

复垦土壤是人造新土，地表极易被风或雨水侵蚀，因此，复垦土壤的侵蚀控制是土地复垦成败的关键之一。目前国外在这方面不仅技术先进，而且已实现侵蚀控制产品的产业化。主要几种技术与产品是：

侵蚀被（Erosion Mat或Erosion Blanket）。它由木屑、聚烯烃纤维、聚丙烯纤维、再利用的尼龙、椰子纤维、稻草、麦杆等编织而成，供铺设在土壤层面上以防止土壤侵蚀，同时又可使植物自然地穿过侵蚀被而生长。它的产品品种较多，依其功能分为："单层网被"、"含芯被"和"含芯含种被"。最常用的是"含芯被"，由各种纤维材料或稻草、麦杆、木屑等作为芯料经网织而成；"含芯含种被"是在芯层材料中含有植物种子；"单层网被"是用纤维编成的网格。侵蚀被的主要作用是将其铺设在地表阻止土壤流失，保持种子、加速种子萌发，迅速建立植被以及长期地防止侵蚀。它广泛应用于江河、海岸大坝的防护与稳定，河、海岸的植被，防洪沟渠或农业排灌沟渠以及陡坡的植被与稳定，易侵蚀土地的植被与保护。侵蚀被在复垦土地中的推广应用现还处于开始阶段，由于其成本较高，目前主要应用于矿山尾矿场、极易侵蚀土地、较难重新植被和比较特殊的复垦土地。

沉积控制技术与产品。主要利用各种侵蚀控制产品达到控制沉积物、限制侵蚀与污染面积。多由聚丙烯等化学材料编织而成，呈细小网状，具有强度大和透水性强的特点。实用中常制成"过滤墙"，仅让水通过"过滤墙"，而侵蚀的土壤却被挡在规定范围内。常用于采矿场、新复垦地和接近地面河沟的复垦土地边缘。

侵蚀控制构筑物。这些产品品种较多，其根本点是，用各种材料制成不同形状的构筑，铺设在地表达到控制侵蚀的目的。它主要分为混凝土构筑系列和三维软材料系列。混凝土系列是由混凝土作为原材料制成的砌块；三维软材料系列是用聚丙烯带制成的三维栅格，或用钢丝编成的"石筐"，内部均用碎石充填以达到防止侵蚀之目的。它们多用于复垦土地沟渠边坡（边壁）防护、坡地的保护、梯田边的防护及其他既要求美观又要求防侵蚀地带的保护。

（2）水力播种与覆盖（Hydraulic Seeding Mulch）

它是利用水力喷播机械进行水力播种。为了提高植物成活率和减少侵蚀，在种液中添加肥料和各种纤维覆盖物。纤维覆盖材料通常是木质或纸质纤维制成碎屑状（多为废弃的木、纸再生利用材料），与种子一起混合成种液。它主要应用于较难植被土地上的植被工作，能迅速

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

有效播种且促进种子发芽，添加的纤维覆盖物还可以防止侵蚀、加速植被成活及增加一定养分。这一技术与产品较广泛应用于复垦土地的重新植被工作，具有速度快、成活率高、覆盖率高等特点，常用于废物顶部、陡坡、大面积复垦地和干旱地区的复垦地。我国应大力研制和推广这一技术，尤其是西部矿区。

(3) 人造"表土"

复垦土地往往缺少熟化的表土或土壤贫瘠，一些人造表土可作为自然表土的改良剂或直接作为表土使用。如新近推出的"生物土"(biosoil)和"无毒土"(N-VIRO Soil)就是典型的两种。"生物土"是青霉素的副产品，是一种被称之为具有自然结构的肥料，含有78%的有机物质、6.38%的氮、1.7%的磷、3.8%的钾。施以正常量的"生物土"可使土地每年增加0.2%—0.3%的腐殖质，它对复垦土地的植被和土壤保持有很大作用，常作为土壤改良剂或肥料使用。"无毒土"是一种粒状、类似土壤的生物有机产品，其中含有碳酸钙、氮、磷、钾、有机质和生物活性，具有极好的外形和物理生物特性：它是通过回收富含有机质的废水(浆)(Sludge)和废气制成的，工艺流程简单并进行了消毒，因而是一种无毒产品，使用安全，价廉物美。无毒土覆盖在复垦土地的地表，通过调节土壤的pH值、固定金属元素、提高养分和增加有机质来改善土壤的耕性，从而提高土壤生产力。研究表明："无毒土"的应用可提高大豆产量14.3%和降低成本36.5%、提高玉米产量3%和降低成本26.3%。

这些人造表土因富含多种养分且经过加工处理，其价格比自然表土贵，其养分含量比自然表土高，因此，覆盖在表面的厚度就比自然表土要薄得多，但其效果并不次于自然表土。它不仅可用于缺乏表土的已破坏土地的复垦，也可用为复垦表土的改良剂或肥料。

(4) 保水剂的应用

保水剂是一种有机聚合产品，是近十几年发展起来的一种新型化工制剂。常用的保水剂有固态和液态两种，固态的又有粉末、颗粒、薄片和纤维状四种，新近的产品还添加有各种肥料。保水剂有吸贮水分的性能，能迅速吸收和保持达自身几百倍乃至上千倍的水。吸水膨胀后生成凝胶，水分不易离析，能被土壤和植物慢慢吸收，减少了50%以上的灌溉工作并可持续好几个季节。含肥保水剂还有缓释养分、提高肥料利用率的功能。因此，这种已形成产业化的保水剂广泛用于干旱、半干旱地区的复垦，并使植物生长良好和增产。

(5) 矿山固体废弃物复垦的新技术

新近矿山固体废弃物复垦技术主要有两项：一是微生物技术。在矿山固体废弃物中引入微生物，促进植物根瘤菌和菌根的生成，从而固定废弃物和加速废弃物风化成土，促进植物迅速生长。其中真菌 *Glomus mosseae*，*G. fasciculatum* 和 *Vesicular-arbuscular mycorrhizae*(泡状丛枝吸胞菌根)被认为可以达到取代覆盖表土的作用。研究表明：在酸性矿山剥离物上栽树时接种微生物，可使树木成活率达83%以上、发枝数增加89%—93%且生长量明显增加[2]。二是矿山尾矿的多层覆盖技术[3]。在矿山废弃物的上方加三层覆盖材料，并在覆盖材料中间加薄薄的地质滤网以阻止材料的上下混合。三层材料分别是：上层为约0.6 m厚土壤，供植被生长；中部为约1.2 m厚且渗透较好的石块覆盖层，增加材料透气性，促进水的水平流动；下部为有机材料，用以耗气和与S^{2-}和HCO_3^-发生反应。这种覆盖技术可使尾矿酸化最小、污染迁移也最小。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　我国土地复垦研究现状

我国在 50 年代就有个别矿山或单位自发地进行了一些土地复垦工作，经过近 30 年的自发摸索，到 80 年代，土地复垦才被真正得到重视，从自发、分散状态转变为有组织的复垦阶段。1989 年 1 月 1 日生效实施的国务院《土地复垦规定》，标志着我国土地复垦开始走上法制的轨道。

我国土地复垦现状主要有以下特点：(1) 复垦理论远远落后于实践，重复垦工程、轻理论研究；(2) 法规不健全；(3) 资金不落实；(4) 从事复垦研究的专家少且涉及的领域少。我国土地复垦研究主要是采煤沉陷地复垦、矿山固体废弃物复垦、复垦管理等。

我国土地复垦研究工作起步较晚，近年来的新进展和特色有：

(1) 煤矿沉陷地的生态工程复垦技术。采煤沉陷地是我国量大面广的破坏土地，沉陷深、面积大，在全世界具有典型性。我国对这种类型破坏土地常用挖深垫浅、充填复垦、疏排法等工程治理措施进行复垦。新近推出的生态工程复垦技术，就是将土地复垦工程技术与生态工程技术结合起来，综合运用生物学、生态学、经济学、环境科学、农业科学、系统工程学的理论，运用生态系统的物种共生和物质循环再生等原理，结合系统工程方法对被破坏的土地所设计的多层次利用的工艺技术。对复垦为农业用途的生态工程复垦，其实质是在破坏的土地上发展生态农业。

(2) 土地复垦学的概念及学科体系。土地复垦常被人们认为是一个纯工程性的问题，因而缺乏对土地复垦理论和其学科体系的研究。我国学者提出了土地复垦学的概念[4]，将研究破坏土地的产生机制和演变规律，破坏土地再生利用的政策、理论、方法、技术工艺、管理技术等项问题的学问称之为土地复垦学，认为土地复垦学是以破坏土地为其研究对象，以破坏土地的再生利用及其生态系统的恢复为其独特的核心任务，是土地科学和环境科学的重要分支，是一门多学科交叉的综合性应用学科。基础理论、方法论和应用技术三方面构成了土地复垦学的学科体系。

(3) 土地复垦的管理。由于土地的自然和社会双重属性和我国土地所有制的特点，土地复垦的管理在我国特别重要。经过一些学者多年来的探讨，形成了临时用地、以补代征、以地换地、股份制经营开发、农民集资复垦、政府复垦等多种土地复垦管理模式[5]，并在不少县市建立了行之有效的土地复垦工程全过程监督管理模式。

(4) 矿山固体废弃物的复垦[6]。在矿山固体废弃物堆（山）的整地技术、植被品种选择及种植技术等方面有了新的成果，并提出了鱼鳞坑法、15°小螺旋倾斜梯田、反坡环山带等整地技术。针对不同地区特点，选出刺槐、火炬树、侧柏等先峰树种，并研制出针对不同树种的种植方法，如常青针叶树的带土球栽植、落叶树的少量配土栽植等，同时还提出了一些实用的管理抚育方法。

4　土地复垦学研究展望

随着全球性的环境、土地和人口问题的日益严重，特别是“可持续发展”已成为当今世界的共同主题，土地复垦已越来越受到世界各国的普遍重视，日益成为研究的热点。未来土地复垦研究的主要趋势是：

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(1) 注重复垦的生态环境问题和生态持续能力的恢复，使土地复垦与生态环境重建有机结合，生态工程复垦将得到深入研究和推广。

(2) 建立土地复垦的学科体系与理论体系，使几十年的复垦实践得到理论升华。

(3) 农业、林业、生态等领域的新成果不断被引入土地复垦研究和实践之中，使复垦土地重构技术、重新植被技术、土壤改良技术（特别是生物措施）、侵蚀控制及各种生产技术更加合理和高效。

(4) 复垦土地及废弃物中有毒有害元素存在形式及迁移规律的揭示以及相应复垦技术研究将日益深入。

(5) 复垦寓于矿山开发全过程之中的管理、法律等问题，及各种复垦与开采的一体化工艺，将得到深入研究和推广。

(6) 土地复垦研究的国际化发展趋势十分明显，国与国之间的交流与合作将日益增多。

参 考 文 献

[1] 胡振琪．国外侵蚀控制新进展．中国水土保持，1995，(1)：15－16.

[2] Lumini E et al. Field performance of Alnus cordata Loisel Italian Alder inoculated with Frankia and VA mycorrhizal strains in mine-spoil afforestation plots. Soil Biology and Biochemistry，1994，**26** (5)：659－661.

[3] Wildeman Thomas et al. Design of a tailing liner and cover to mitigate potential acid rock drainage：A geochemical engineering project. In：Proceedings of 1995 National Meeting of ASSMR，Gillette，Wyoming．June 5－8，1995，681－687.

[4] 胡振琪，刘海滨．试论土地复垦学．中国土地科学，1993，**7** (5)：37－40.

[5] 胡振琪．市场经济条件下煤矿塌陷土地资源的再配置．中国土地学会第四次学术会议论文集（王家梁 主编）．北京：中国农业科学出版社，1994，98－101.

[6] 胡振琪．半干旱地区煤矸石山绿化技术研究．煤炭学报，1995，**20** (3)：322－327.

RECENT DEVELOPMENT ON LAND RECLAMATION SCIENCE

Hu Zhenqi

(*China University of Mining and Technology，Xuzhou* 221008)

Abstract Some recent developments on land reclamation science in foreign countries and China are introduced. The research focuses in this field are presented and future developments are forecasted.

Key words land reclamation，ecology，erosion

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net