

矿山复垦土壤重构的概念与方法^①

胡振琪¹ 魏忠义² 秦 萍²

(1 中国矿业大学北京校区土地复垦与生态重建研究所 北京 100083; 2 沈阳农业大学土地与环境学院 沈阳 110161)

摘 要 本文从土壤学角度出发,对矿山土地复垦实践中的土壤重构问题进行了系统研究。提出了复垦土壤重构的概念,界定了土壤重构的内涵,对土壤重构进行了系统分类与概括,并提出了煤矿区土壤重构的一般方法。同时强调指出:土壤重构是土地复垦的核心内容;土壤剖面重构是土壤重构的关键;土壤重构需要与具体采矿工艺相结合;重构土壤的质量是检验土壤重构或农林草复垦成败的主要标准。

关键词 煤矿区;土壤重构;土地复垦

中图分类号 S158

我国人多地少,采矿等人为活动引起的土地和环境破坏,量大面广且欠账较多^[1]。截止到目前,我国各种工矿废弃地累计超过 400 万 hm^2 ,目前仍以每年 3.3~4.7 万 hm^2 的速度增加。因此,土地复垦已成为我国一项十分紧迫的任务。国土资源部从 2000 年起利用新增耕地有偿使用费上交国家的 30% 部分专门用于土地的开发整理复垦,并且每年批准数百项国家投资开发整理(复垦)项目,2002 年该专项费用已达数十亿元。

由于我国土地复垦工作开展的较晚,许多地方往往注重复垦的数量,缺乏对复垦质量的要求和控制,特别是对土壤重构重视不够,使得一些复垦工程失败或复垦效益低下。

土地破坏和复垦过程中都会对土壤进行了扰动^[2],复垦后的土壤条件直接关系到复垦的成败和效益的高低,因此,重构一个较高土壤生产力的土地一直是土地复垦技术革新的动力和方向。有关研究表明,现代复垦技术研究的重点应该是土壤因素的重构而不仅仅是作物因素的建立,为使复垦土壤达到最优的生产力,构造一个最优的土壤物理、化学和生物条件是最基本的和最重要的^[3],所以,土壤重构是土地复垦的研究重点和核心任务。

土地复垦是将工矿区破坏土地采取整治措施,使其因地制宜地恢复到可供利用的状态。矿区破坏土地通常可以复垦为农林草用地、水产养殖用地、建筑用地、风景旅游及休闲娱乐区等用途。相对于其他类型的土地复垦来说,耕作土壤的重构问题最

不容易解决,矿区破坏土地的复垦,最重要而且最困难的部分是耕作土壤的恢复与重构,国内外一直将其作为土地复垦研究的重点。

国外有关研究表明,现代复垦技术研究的重点应该是土壤因素的重构而不仅仅是作物因素的建立^[4],为使复垦土壤达到最优的生产力,构造一个较优的土壤物理、化学和生物条件是最基本的和最重要的内容。土壤重构是土地复垦最重要的组成部分之一,是土地复垦的核心内容。

西方工业国家对露天矿复垦土壤重构的研究较多,土壤重构措施与采矿工艺结合得较好,制定了相关的复垦法规或标准,并形成了自己的一些模式。但是,即使像美国、英国、加拿大等对土壤重构研究历史较长的国家,迄今也尚未形成系统的土壤重构理论与方法体系,对采煤沉陷地等类型的土壤重构研究更较少涉及。

土壤是植物赖以生存的基础,没有良好的土壤母质,作物与植被的建立就无从谈起或者说很难达到良好的效果^[5,6]。在土壤重构的前期和中期,应该十分明确土壤重构最为重要的任务是重构、改良与培肥土壤,作物与林草措施应该十分注重以土壤的重构和快速培肥为目的。重构土壤是植被重建的基础,复垦效果的评价,应该以重构土壤的质量作为主要标准,而不仅仅在于人工措施支持下的作物与植被的效果如何,重构土壤的质量是决定复垦成败与效益高低的关键。

^①国家自然科学基金项目(编号:40071045,49701010)资助。

1 复垦土壤重构的概念与内涵

土壤重构 (soil reconstruction, soil restoration) 即重构土壤, 是以工矿区破坏土地的土壤恢复或重建为目的, 采取适当的采矿和重构技术工艺, 应用工程措施及物理、化学、生物、生态措施, 重新构造一个适宜的土壤剖面与土壤肥力条件以及稳定的地貌景观, 在较短的时间内恢复和提高重构土壤的生产力, 并改善重构土壤的环境质量。

土壤重构所用的物料既包括土壤和土壤母质, 也包括各类岩石、矸石、粉煤灰、矿渣、低品位矿石等矿山废弃物, 或者是其中两项或多项的混合物。所以在某些情况下, 复垦初期的“土壤”并不是严格意义上的土壤, 真正具有较高生产力的土壤, 是在人工措施定向培肥条件下, 重构物料与区域气候、生物、地形和时间等成土因素相互作用, 经过风化、淋溶、淀积、分解、合成、迁移、富集等基本成土过程而逐渐形成的。

土壤重构的实质是人为构造和培育土壤, 其理论基础主要来源于土壤学科。在矿区土壤重构过程中, 人为因素是一个独特的而最具影响力的成土因素, 它对重构土壤的形成产生广泛而深刻的影响, 可使土壤肥力特性短时间内即产生巨大的变化, 减轻或消除土壤污染, 改善土壤的环境质量。另外, 人为因素能够解决土壤长期发育、演变及耕作过程中产生的某些土壤发育障碍问题, 使土壤的肥力迅速提高。但是, 自然成土因素对重构土壤的发育产生长期、持久、稳定的影响, 并最终决定重构土壤的发育方向。因此, 土壤重构必须全面考虑到自然成土因素对重构土壤的潜在影响, 采用合理有效的重构方法与措施, 最大限度地提高土壤重构的效果, 并降低土壤重构的成本和重构土壤的维护费用。

土壤重构的目的是重构并快速培肥土壤, 消除污染, 改善土壤环境质量, 恢复和提高重构土壤的生产力, 恢复土壤生态系统。对主要以土壤为重构材料的, 恢复重构土壤的生产力是主要方面; 对以矿区废弃物为主要重构物料的, 应该在恢复重构土壤生产力的同时采取相应的污染处理与防治措施, 减轻或消除土壤以及对作物的污染。

所谓适宜的土壤剖面是指建立在复垦所在区域土壤地理环境因素之上的, 与矿区采矿工艺、岩土条件、土壤利用方向等土壤重构条件相适应的, 能快速、高效、经济地恢复和提高土壤生产力, 并可

最终发育为较好地带性土壤的土壤初始剖面层次和组分构造。

鉴于复垦土壤重构物料的复杂多样性和不可选择性, “土壤”物料的元素构成可能与正常土壤显著不同。这就要求在培肥土壤的同时, 要十分注重土壤环境质量的改善, 并采取有效措施, 消除土壤污染, 尽量减小或避免其对周围环境的污染和损害。

土壤重构最经济、有效的方法是将矿区土壤重构与采矿工艺相结合, 在某些情况下, 可以不增加成本而构造出比采矿前更好的土壤。土壤重构过程与采矿工艺脱节必然导致复垦费用高、效果差。总之, 土壤重构应该与采矿工艺密切结合, 统筹考虑, 应该将土壤重构或土地复垦一开始就纳入矿山开采设计, 走在矿山开采之前。

土壤重构不是一次性的行为而是一个长期的过程。它开始于矿产资源的开采规划设计和土壤/介质剖面层次的重建, 终止于重构土壤生产力的恢复与提高、土壤环境质量的改善乃至区域生态的恢复, 贯穿于矿山开发及整个土壤重构过程的始终。

2 土壤剖面重构是复垦土壤重构的关键

土壤剖面 (soil profile) 在土壤学上是指一个具体土壤的纵切面。一个完整的土壤剖面包括土壤形成过程中所产生的发生学层次及母质层次, 不同层次的组合形成土体构型^[7]。土壤剖面重构 (soil profile reconstruction), 概括地说就是土壤物理介质及其剖面层次的重新构造。是指采用合理的采矿工艺和剥离、堆垫、贮存、回填等重构工艺, 构造一个适宜土壤剖面发育和植被生长的土壤剖面层次、土壤介质和土壤物理环境。可根据矿区具体条件, 考虑重构物料特性, 并分析所在区域的土壤形成条件, 预测土壤发育过程, 来制定土壤剖面重构计划。

土壤剖面重构是土壤重构最为基础的第一步。土壤/介质剖面重构是决定土壤重构成败与效益高低的关键, 人为构造一个适宜的土壤初始剖面层次是土壤重构最重要的任务之一。只有构造一个适宜土壤肥力因素发育的土壤介质层次, 才有可能以较小的投入在较短的时间内进一步有效地培肥改良复垦土壤, 达到土壤重构的目的和效果。土壤剖面重构与采矿工艺密切结合往往是最为有效的方法, 需要根据当地具体的区域土壤地理条件, 将矿山设计、开采与重构工艺融于一体。

土壤剖面的自然发育是极其缓慢的, 人类有目

的重构、培肥与改良措施可使重构土壤层次产生加速分化,在较短时间内形成与地带土壤相适应的耕作土壤剖面层次。土壤剖面重构必须全面考虑到区域各土壤形成因素对重构土壤发育过程的影响,要求不能有影响植物生长发育的障碍层次,也不能有潜在的能发育成障碍层次的层次存在。对含有有毒有害物质或具有较强放射性的物料,要采取有效的隔离、包埋及其他处理措施,防止其对土壤和周围环境的污染。

作者曾提出了“分层剥离、交错回填”土壤剖面重构的原理与方法^[8],建立了土壤剖面重构的数学模型,为矿山开采工艺与土壤重构工艺的有机结合奠定了基础,为实现采矿与复垦一体化提供了有效途径,在美、英、加、澳等国家露天矿开采与复垦中得到了广泛应用。“分层剥离、交错回填”的根本目的是要构造适宜的土壤剖面层次或者利于介质土壤化发育的层次。

3 复垦土壤重构的类型

按煤矿区土地破坏的成因和形式,土壤重构主要可分为以下 3 类:即采煤沉陷地土壤重构,露天煤矿扰动区土壤重构和矿区固体污染废弃物堆弃地土壤重构。排土场土壤重构是露天煤矿土壤重构的主要内容。沉陷地土壤重构根据所采取的工程措施可分为充填重构与非充填重构。充填重构是利用土壤或矿山固体废弃物回填沉陷区至设计高程,但一般情况下很难得到足够数量的土壤,而多使用矿山固体废弃物来充填,这既处理了废弃物,又复垦了沉陷区被破坏的耕地,其经济、环境效益显著,一举而多得。主要类型有:煤矸石充填重构,粉煤灰充填重构与河湖淤泥充填重构等。但某些废弃物可能造成土壤、植物与地下水的污染。非充填重构是根据当地自然条件和沉陷情况,因地制宜地采取整治措施,恢复利用沉陷破坏的土地。据分析估计,矿区固体废弃物只能满足约四分之一沉陷区充填重构的需要,还有约四分之三的沉陷区得不到充填物料,需要进行非充填复垦重构措施。非充填复垦重构措施包括疏排法重构、挖深垫浅法重构、梯田法重构等重构方式。

按土壤重构过程的阶段性,可分为土壤剖面工程重构以及进一步的土壤培肥改良。而土壤剖面工程重构是在地貌景观重塑和地质剖面重构基础之上的表层土壤的层次与组分构造。土壤培肥改良措施

一般是耕作措施和先锋作物与乔灌木种植措施。

按复垦所用主要物料特性的不同,可分为土壤的重构、软质岩土的重构、硬质岩土的重构、废弃物填埋场及堆弃地的土壤重构等等。

在不同土壤类型区,自然成土因素对重构土壤的影响和综合作用不同,土壤的发育和形成过程各异。按区域土壤自然地理因素和地带土壤类型来划分,复垦土壤重构可分为:红壤区的土壤重构、黄壤区的土壤重构、棕壤区的土壤重构、褐土区的土壤重构、黑土区的土壤重构等等。

复垦土壤重构可分为工程措施重构与生物措施重构。工程重构主要是采用工程措施(同时包括相应的物理措施和化学措施),根据当地重构条件,按照重构土地的利用方向,对沉陷破坏土地进行的剥离、回填、挖垫、覆土与平整等处理。工程重构一般应用于土壤重构的初始阶段。生物重构是工程重构结束后或与工程重构同时进行的重构“土壤”培肥改良与种植措施,目的是加速重构“土壤”剖面发育,逐步恢复重构土壤肥力,提高重构土壤生产力。生物重构是一项长期的任务,决定了土壤重构的长期性。

根据重构目的和重构土壤用途分类:土壤重构根据目的和用途可分为耕地土壤重构、林地土壤重构、草地土壤重构;其中耕地土壤重构的标准最高。

耕地土壤重构是将恢复后的土地用于作物种植,是沉陷区土壤重构的重点研究目标,它要求重构土地平整、土壤特性较好、具备一定的水利条件。工程重构结束后应及时进行有效的生物重构措施,进一步改良培肥土壤。

林地土壤重构是将重构后的土壤作乔灌木种植,是重构物料特性较差时的主要重构方式,它对重构土壤层的要求标准较低,地形要求亦不是很严,允许地表存在较大的坡度。林业重构一般侧重其环境与生态效益,在此基础上才能考虑经济效益。所选先锋树种应该对特定恶劣立地条件有较强的适应性。对未达到土壤环境质量的废弃地的重构,可栽植能吸收降解有害元素的抗性乔灌木品种,达到逐步净化重构土壤的目的。

草地土壤重构国内研究较少,西方发达国家相关研究较多,可与乔灌木措施相结合使用。

4 矿山复垦土壤重构的一般方法

矿山复垦土壤重构的方法因具体重构条件而异,不同采矿区域、不同采矿类型、不同采矿与复

垦阶段的土壤重构方法各不相同。因篇幅所限，具体的土壤重构方法作者将撰文另述。在此，只就土壤重构的一般方法及其依据进行分析讨论。

煤矿区土壤重构的一般方法概括地如图 1 所示。土壤重构方法的确定首先要考虑到具体的采矿工艺和岩土条件；其次，土壤重构方法应该考虑到重构后的“土壤”物料组成与介质层次要与区域自然成土条件相协调；第三，土壤重构还要考虑到破坏土地复垦后的利用方向、法律法规要求、复垦资金保证等其他一些相关因素。

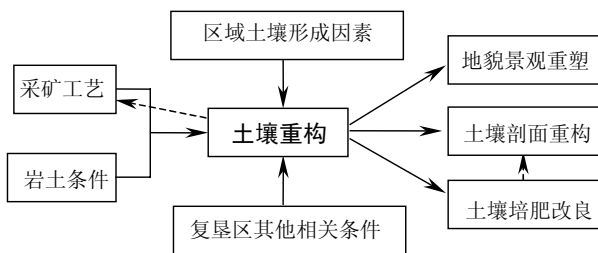


图1 复垦土壤重构的一般方法

Fig. 1 The general method of soil reconstruction

土壤重构是一个长期的过程，土壤重构的一般程序是：首先考虑的是地貌景观重塑，它是土壤重构的基础和保证；然后是表层土壤剖面层次重构，目的是构造适宜重构土壤发育的介质层次；最后是重构土壤培肥改良措施（主要是生物措施），促使重构介质快速发育，短期内达到一定的土壤生产力。特别是对于利用矿山固体废弃物作为主要重构物料的土壤介质，只有采取适当的生物措施才能使重构物料逐步发育，从而形成土壤特性。在土壤重构的设计和实施中，应注意以下问题：

(1) 采矿工艺及岩土条件对土壤重构方法的影响。土壤重构要以具体的采矿工艺和当地的岩土条件为基础，不同的采矿工艺和岩土条件要求采取不同的重构方式：井工采煤往往造成不同程度的地表沉陷，沉陷地的土壤重构可采用直接利用法、修整法、疏排法、挖深垫浅法、充填法等方法；露天土壤重构应该十分注重采排工艺的紧密结合，不考虑土壤重构的采排工艺必然会大大增加土壤重构的难度和成本，一般要求对表土进行剥离和回填，以及地质剖面重构及地貌景观重塑；对少土区来说，表土的剥离与回填最为关键；在无土区，则需要对各扰动层次进行样品分析，选择合适层次的物料作为

替代“土壤”覆盖于表层；黄土区土层深厚，对表土的剥离与回填要求不高，但需要采取有效的水土保持措施防止水土流失，恢复植被，重建生态；在土壤重构的初期，偏重工程措施和物理化学方法，复垦的后期则多用生物生态措施。

(2) 区域土壤形成因素对土壤重构方法的影响。区域土壤形成因素必然对重构土壤产生长期的稳定的影响，并最终决定重构土壤的发育方向。土壤重构虽然是人为构造和培肥土壤，但是，人工措施只有与自然成土因素相协调，全面考虑到自然成土因素对重构土壤的影响，才能有效地发挥作用，从而使重构土壤最终与生态环境相协调，降低重构土壤的维护和管理费用。

(3) 复垦区域其他相关条件对土壤重构方法的影响。复垦区破坏土地利用方向的依据是相关法律法规以及区域土地利用总体规划，它们决定了破坏土地是否恢复为农林草用途，此为土壤重构的依据。复垦的投资是土壤重构的资金保证，复垦资金的多少，关系到土壤重构工艺和措施的选择，从而影响到重构土壤的质量。

参考文献

- 1 龚子同, 张甘霖. 人为土研究的新趋势. 土壤, 1998, 30 (1): 54 ~ 56
- 2 Liu Zigang, Ma Xuehui. Effect of reclamation on soil environment in Sanjiang plain. *Pedosphere*, 1997, 7 (1): 73 ~ 78
- 3 McCormack DE, Carlson CL. Formulation of soil reconstruction and productivity standards. In: Carlson, Sarisher. eds. *Innovative approaches to mined land reclamation*. Southern Illinois University Press, 1986, 19 ~ 30
- 4 National Resources Council. *Surface mining: soil, coal and society*. Washington DC: National Academy Press, 1981
- 5 赵其国. 现代土壤学与农业持续发展. 土壤学报, 1996, 33 (1): 1 ~ 12
- 6 刘毅华. 我国耕地数量变化研究的回顾—进展及问题. 土壤, 2003, 35 (3): 193 ~ 197
- 7 林培主编. 区域土壤地理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1993
- 8 胡振琪. 煤矿山复垦土壤剖面重构的基本原理与方法. 煤炭学报, 1997, (6): 617 ~ 618

CONCEPT OF AND METHODS FOR SOIL RECONSTRUCTION IN MINED LAND RECLAMATION

HU Zhen-qi¹ WEI Zhong-yi² QIN Ping²

(1 *Research Institute of Land Reclamation and Ecological Restoration, China University of Mining and Technology, Beijing 100083;*

2 College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

Abstract From the viewpoint of agrology, this paper addresses systematically soil reconstruction in land reclamation, puts forward concept of soil reconstruction in coal mining areas, discusses its meanings, classifies and generalizes soil reconstruction and proposes a common method for soil reconstruction. At the same time it emphasizes that soil reconstruction is the core content of land reclamation; soil profile reconstruction the key content of soil reconstruction; and quality of reconstructed soil is the primary standard for evaluating effect of soil reconstruction.

Key words Coal mining area, Soil reconstruction, Land reclamation