

矿山土地复垦与生态修复领域“十四五”高质量发展的若干思考

胡振琪^{1,2}

1.中国矿业大学 环境与测绘学院; 2.中国矿业大学 能源资源战略发展研究院

党的十九届五中全会通过了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，其中有33处提到“生态”这一关键词，体现了生态文明建设在新时代党和国家事业发展中的地位，并明确指出“坚持绿水青山就是金山银山理念，坚持尊重自然、顺应自然、保护自然，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主，守住自然生态安全边界。”生态环境问题归根到底是资源过度开发、粗放利用、奢侈消费造成的，根本是资源利用和保护问题。要落实粮食安全、水资源安全和能源安全三大安全，“十四五”需要通过国土整治与生态修复，实现国土空间规划优化，提高水土资源配置的效率，主要污染物排放总量持续减少，实现生态屏障的稳固与生态环境的显著改善与提高。

煤炭开采在对国民经济发展发挥重要作用的同时，也对生态环境造成严重影响。在生态文明建设和绿色发展已经成为国家战略的今天，煤炭行业必然要走绿色发展的道路。因此，矿山土地复垦与生态修复是矿山实现绿色发展的根本保障^[1]。

我国开始实践和重视矿山土地复垦与生态修复已近40年，取得了一定的成绩，该领域已经从“冷门”变成了“热门”，笔者在“十四五”即将开始之际，就其未来如何高质量发展谈几点思考。

1 矿山土地复垦与生态修复领域面临千载难逢的机遇

2019年我国煤炭产量约为38.5亿t，同比提高

4%，消费量占能源消费总量的57.7%，比2018年下降1.5个百分点^[2]。尽管消费占比在逐年下降，但原煤总产量仍在持续增长，在未来一段时间里，煤炭仍将是我国的主体能源。煤炭的生产消费为国家经济发展提供了坚实的能源保障，同时带来空前严峻的生态环境问题：一方面，地表土地资源与生态伴随开采而受到扰动和破坏，如挖损压占土地、地表塌陷等；另一方面，大量废气、废水、废渣等有害物质的产生严重污染了矿区的空气、水系和土壤，进而影响区域的生产生活环境。近年来，祁连山、呼伦贝尔草原、青海木里等矿区因采矿导致生态环境破坏的事件不断曝光，凸显了矿区生态环境问题的严重，作为解决这类问题的必要手段，矿山土地复垦与生态修复领域迎来千载难逢的历史机遇。

以习近平同志为核心的党中央高度重视生态文明建设，将其置于中国发展的国家全局战略来考量，“绿水青山就是金山银山”的论断已深入人心。党的十九大后习近平首次调研考察就来到了曾是采煤塌陷区的徐州潘安湖国家湿地公园，指出“资源枯竭地区经济转型发展是一篇大文章，实践证明这篇文章完全可以做好”。对于祁连山生态破坏问题，习近平多次做出批示，强调“要筑牢生态安全屏障”。此外，社会经济的发展目标也为生态修复带来新的发展动能，当前我国经济从高速发展转向高质量发展，经济高速发展遗留众多待修复的矿区，而经济高质量发展要求昭示矿山安全、高效、绿色、智能的发展方向，为了实现矿山绿色开发，生态修复是关键。可以预见，矿山生态修复领域将在“十四五”进入快速发展时期。



2 矿山土地复垦与生态修复领域“十四五”研究重点与展望

尽管矿山土地复垦与生态修复面临千载难逢的机遇，我国近40年的矿山生态修复实践也取得很大成绩，但在矿山土地复垦与生态修复理念、基本理论、关键技术等方面仍存在许多不同的观点和亟待攻克的难题，直接影响煤炭行业的可持续发展：如2020年11月内蒙古自治区已下令不再新建露天煤矿，其主要原因在于露天矿山的生态修复无法满足要求；有的矿山或矿区因生态修复达不到标准影响区域生态环境而被关闭等等。在当前矿区生态修复已变成热点，多学科领域的专家和队伍蜂拥而入的情况下，更需要清醒认识本领域存在的问题，把握好研究重点和方向，促进该领域在“十四五”取得更大的进步，保障煤炭行业的高质量发展。基于多年的研究和实践，未来的研究重点和方向是：

1) 矿山土地复垦与生态修复理念的研究。

一个学科领域的发展理念至关重要，直接影响学科大发展方向和技术的革新目标。目前，矿山生态修复领域存在3种修复理念：第1种是先损毁、后治理的末端治理理念，就是先开采损伤生态环境，然后再修复治理，特别是对于开采扰动时间长、多次扰动损毁的（如多煤层开采），人们往往倾向于这种理念；第2种理念是源头控制，即从开采方法上进行源头控制损伤，认为只有通过开采方法的革新，才能从根本上减轻或避免生态环境的损伤，最理想的状态是采用绿色开采技术，实现地表生态环境“零损伤”^[3]；第3种理念是边开采边修复理念^[4]，即将生态修复与矿山开采紧密结合，在煤炭开采的全过程（全生命周期）进行生态修复，它包括3种情况：一是考虑地表生态环境保护需求的煤炭绿色开采减损或避免损伤，二是基于开采过程，超前或动态地进行地面生态修复，三是地上和地下同时采取措施的采复一体化修复^[5]。

我国煤炭资源的地质采矿条件复杂多变，不同开采方法造成的生态损伤有着较大的空间差异，不同区域生态环境的特征和阈值以及生态服务的目标也存在明显分异，因而采用的生态修复策略与技术也不同的。我国近40年的矿山生态修复的实践与经验，为矿山生态修复理念的研究与发展奠定了良好基础，通过“十四五”的研究，矿山生态修复理念将更加明晰，将为我国矿山生态修复技术的研发以及生态修复事业

发展发挥巨大的引领作用。

2) 矿山土地复垦与生态修复基础理论与共性技术的研究。

矿山土地复垦与生态修复近40年的实践表明：修复理论远落后于实践。为了修复矿山开采导致的生态环境损伤，许多地方自发进行修复利用损毁的土地生态环境以满足人类对土地和生态环境的需求。对于人口稠密、经济发展快的地区，矿山生态修复的实践往往推动较快。但该领域的基础理论、修复的技术原理研究，迄今还是十分缺乏，急需要进行深入研究，以支撑和促进该领域的发展。

矿山土地复垦与生态修复基础理论将得到深入研究的同时，共性技术的研究在“十四五”也应该得到更多重视和深入探讨。尽管生态修复技术多种多样，但生态修复往往存在一些基础性的共性技术，是生态修复的关键。水是生命之源、土是生命之基，植物是生命之根，因此，水、土、植物是生态修复的3大要素，围绕这3大要素的修复技术就是共性技术：地貌重塑、土壤重构和植被恢复。师法自然地进行地貌重塑、土壤重构和植被恢复已经成为共识，但如何实现还是亟待解决的难题和瓶颈问题，由于重构地貌不合理、重构土壤生产力低、植被种群配置不当导致的矿山土地复垦与生态修复失败的案例较多^[6]。为此，地貌重塑、土壤重构和植被恢复三大共性技术将在“十四五”期间得到深入研究，并期待取得重要突破。

3) 矿山生态损伤诊断与预警及监测的研究。

矿山生态环境损伤诊断是矿山土地复垦与生态修复的基础，直接影响修复治理技术的优选。磨刀不误砍柴工，科学、精准的生态环境损伤诊断是生态修复的关键。目前，在修复治理前进行科学、全面的生态损伤诊断距离要求差距还是很大，有的修复工程是边诊断边规划边施工，往往是头痛医头、脚痛医脚，导致修复治理效果较差，此外，复垦与治理后的长效监测措施的缺失，使得治理措施纠错与调整缺乏科学依据，因此，“十四五”期间，对矿山生态损伤诊断与预警的研究将获得更大的关注。

矿山生态损伤诊断技术往往需要遥感、无人机等先进的空间信息监测技术，重点对矿区生态损伤驱动力、损伤要素、损伤程度、损伤风险、损伤时空分布及未受影响的参照生态系统等进行诊断^[7]。同时，在关注显性损伤信息获取的同时，也要对隐伏损伤信息和潜在损伤进行科学的诊断与预测。在对矿山生态



损伤监测诊断后，应结合开采技术和过程，探讨矿山生态损伤的机理和规律，为生态减损绿色开采技术的革新奠定基础。由于该方向的研究涉及摄影测量、遥感、人工智能等多种高新技术和装备，因此，该方向的研究将在“十四五”取得重要进展。

4) 源头减损技术研究。

绿色开采由钱鸣高院士^[8]提出并得到广泛重视和研究。在绿色发展成为国家战略的情况下，通过绿色开采，从源头上控制和减轻生态损伤是首要任务。为此，充填开采、条带开采、离层注浆、保水开采、协调开采等绿色开采技术将会得到进一步研究^[9]。未来的研究，除了继续革新技术工艺、降低成本和提高工效外，将加强与生态保护修复目标的结合，做到技术经济的合理。

5) 边采边复（采复一体化）技术研究。

采复一体化是国际先进的矿山生态修复理念。国外在露天矿采复一体化研究和实践方面有很多经验和成功案例，保障了国外在环境保护要求日益严格的情况下，露天煤矿开采占比仍然在70%以上。我国露天煤矿数量占全国煤矿数量6.9%，占总产能16.6%^[10]，且该比例在不断提高，同时大型露天煤矿多处在干旱、半干旱的生态脆弱区。因此，露天矿采复一体化及仿自然生态修复将是未来我国露天矿土地复垦与生态修复的重点。井工矿的采复一体化相比露天矿困难，笔者2013年提出了“井工煤矿边开采边复垦”的概念、内涵、基本原理、技术分类与关键技术^[5]，又于2020年“再论煤矿区生态环境‘边采边复’”^[4]，进一步完善了煤矿采复一体化的边采边复理念、原理和技术体系。边采边复实际是基于采前分析-采矿动态损毁预测-修复模拟的多阶段多参数驱动的修复方案

优选技术，需要考虑开采导致的损伤特点、治理修复过程的动态性、系统要素的均衡性、整体价值的最大化。边采边复强调开采工艺与复垦（修复）工艺的充分结合，以保证按采矿计划同步进行。其基本特征是以“采矿与修复的充分有效结合，也即采矿修复一体化”为核心，以“边采矿，边修复”为特点，以“提高土地恢复率、缩短修复周期、增加修复效益”为表征，并以“实现矿区土地资源的可持续利用及矿区可持续发展”为终极目标。核心技术在于解决“何时修复”“何地修复”“如何修复”这3个问题。“十四五”期间边采边复（采复一体化）技术将会得到深入研究，也必将在技术原理、技术工艺方面取得更大的进步。

6) 保耕地复垦技术研究。

矿产资源大都深藏于地下，矿产资源的开采不可避免地造成土地的破坏，进而影响地表生态系统。土地是人类赖以生存和发展的物质基础，同时也是不可再生的珍贵资源。煤炭资源与耕地资源高度重合，有关研究表明，我国保有煤炭资源量与耕地的重合面积占我国耕地总面积的10.8%^[11]。如果这些煤炭资源全部开采，将有大约 1.3×10^7 hm²耕地损失，因此，只有通过土地复垦才能保障煤炭资源开采的同时又保护耕地。经历2020年新冠肺炎疫情和正值百年未有之大变局的国内外新形势下，耕地的保护和粮食安全对人多地少的我国来说就显得十分重要。如何更多、更好地恢复耕地将是未来的研究重点：一方面如何通过边采边复和绿色充填复垦保护和恢复更多的耕地，另一方面通过科学的土壤重构，保障复垦耕地的质量。“十四五”期间，耕地复垦技术将是会得到重视和突破。



7) 黄河流域煤矿区生态修复研究。

黄河流域是我国重要的生态流域,也是我国重要的能源流域,国家14个煤炭基地中的9个都位于黄河流域^[12]。因此,黄河流域煤矿区的生态修复对实施黄河流域生态保护与高质量发展的国家战略具有重要作用。

黄河流域分为上游、中游和下游,各自的地理地貌、生态特征差异很大。黄河流域上游地区是水资源涵养地、黄河中游存在大量生态脆弱的风积沙地和黄土沟壑、黄河下游是拥有大量粮食基地的冲积平原。煤炭资源的开采不可避免引发生态环境的损伤,加剧水土流失、耕地损失、植被退化。如何在该流域加强生态保护的同时又开发煤炭资源以保障国家能源安全和促进经济发展,就成为我国亟待解决的难题。

“十四五”期间将重点围绕黄河流域上游的保护性开发、中游的脆弱生态系统修复和下游的水陆两相生态系统修复而展开,在中游的干旱半干旱煤矿区人工诱导的自然修复和生物修复将得到深入研究与实践,在下游平原矿区的边采边复、塌陷地复垦、水生态重建等修复技术将会有所突破。

8) 煤矿区污染控制与修复技术研究。

以往我国矿山土地复垦与生态修复往往侧重于物理损毁生态系统的恢复,对矿山污染生态的重视还不够。随着国家对生态环境的高度重视,尤其是水土污染的重视,矿山开采导致的环境污染将成为未来矿山土地复垦与生态修复研究的重点和难点。《中共中央关于制定国民经济第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》,中明确提出“十四五”要深入开展土壤污染防治,在更高水平上实现“吃得安心、住得放心”。

煤矿区往往存在采煤、选煤、发电、煤气化等多种产业的煤炭产业集聚区,同时产生、煤矸石、粉煤灰、脱硫石膏等固体废弃物,对区域土壤、水和大气都造成不同程度的污染和环境累积效应,煤矿区污染控制与修复将得到重视,在煤矿区污染物清单和污染迁移转化规律、污染源头控制、土壤和地下水污染修复、固废堆场修复等方面将有重要研究进展,进一步丰富和完善矿山土地复垦与生态修复领域的发展。

■ 责任编辑:郭鑫



参考文献

- [1] 胡振琪,肖武.关于煤炭工业绿色发展战略的若干思考:基于生态修复视角[J].煤炭科学技术,2020,48(4):35-42.
- [2] 能源情报研究中心.中国能源大数据报告(2020)[J].电力决策与舆情参考,2020,(18):22.
- [3] 王金华,谢和平,刘见中,等.煤炭近零生态环境影响开发利用理论和技术构想[J].煤炭学报,2018,43(5):1198-1209.
- [4] 胡振琪,肖武,赵艳玲.再论煤矿区生态环境“边采边复”[J].煤炭学报,2020,45(1):351-359.
- [5] 胡振琪,肖武,王培俊,等.试论井工煤矿边采边复垦技术[J].煤炭学报,2013,38(2):301-307.
- [6] 李新举,胡振琪,李晶,等.采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J].农业工程学报,2007,23(6):276-280.
- [7] 胡振琪,李勇,陈洋,等.2019年土地科学研究重点进展评述及2020年展望:土地工程与信息技术分报告[J].中国土地科学得到的,2020,34(2):93-102.
- [8] 钱鸣高,许家林,缪协兴.煤矿绿色开采技术[J].中国矿业大学学报,2003,(4):5-10.
- [9] 许家林.煤矿绿色开采20年研究及进展[J].煤炭科学技术,2020,48(9):1-15.
- [10] 李浩荡,余长超,周永利,等.我国露天煤矿开采技术综述及展望[J].煤炭科学技术,2019,47(10):24-35.
- [11] 胡振琪,李晶,赵艳玲.矿产与粮食复合主产区环境质量和粮食安全的问题、成因与对策[J].科技导报,2006,24(3):21-24.
- [12] 彭苏萍,毕银丽.黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术与战略思考[J].煤炭学报,2020,45(4):1211-1221.