

中国关闭煤矿区域生态恢复规划进展

周宏轩¹, 陶贵鑫¹, 徐辰¹, 王昭清¹, 汪秋菊^{2*}

1. 中国矿业大学建筑与设计学院, 徐州 221116

2. 北京联合大学旅游学院, 北京 100101

摘要 关闭煤矿区域的自然生态环境遭受严重破坏, 迫切需要国土空间层面的生态恢复规划指导具体的生态恢复工作。综述了关闭煤矿区域生态恢复规划研究的主要特点, 包括工作尺度、规划目标以及规划方法类型; 总结了前期学者在生态恢复规划方面取得成果; 从生态恢复规划方法、学科交叉融合与人才培养、先进技术应用及建立健全生态监测与普查机制等方面展望了关闭煤矿区域生态恢复规划研究的未来发展方向。

关键词 生态修复; 复合生态系统; 国土空间规划; 生态恢复专项规划; 废弃煤矿

中国能源资源的储量决定了煤炭作为主要能源的主导地位, 并在国家能源安全和经济健康持续发展方面发挥着重要作用^[1]。在煤炭能源的长期驱动下, 中国社会与经济持续发展, 但煤炭开采却带来了自然生态系统破坏问题。由于煤炭资源枯竭与供给侧结构性改革政策需要, 大量煤矿被迫关停^[2]。在“十二五”期间, 中国关闭煤矿数量多达7100处。中国工程院重大咨询项目“我国煤炭资源高效回收及节能战略研究”预测: 到2030年, 我国去产能关闭煤矿数量将达到15000处^[3]。

在煤炭经济繁荣时代, 煤矿区域社会活动频繁、基础设施完善, 集成了社会、经济和自然的多重属性, 甚至比城市区域更加具有吸引力, 属于一类小型的“社会-经济-自然复合生态系统”。早期粗

放式经济开发模式多是以牺牲生态环境为代价, 煤矿区域的自然生态环境已深度受损, 严重影响可持续发展, 多方面限制未来社会结构与经济体系转型。而且在煤矿关停后, 以煤炭开采和交易为主的经济活动停止, 一系列社会问题逐步浮现。至此, 关闭煤矿区域主要面临社会服务功能退化、经济发展受限、自然生态环境受损等挑战。此时关闭煤矿区域属于一类严重受损的“社会-经济-自然复合生态系统”, 制约可持续发展, 阻碍生态文明建设的进程。

出于人民福祉、社会和谐稳定以及民族未来等多方面的考量, 关闭煤矿区域必须进行生态恢复与转型开发, 继续在社会、经济和自然等方面的发挥重要作用, 实现从生态文明建设负担到抓手的

收稿日期: 2021-03-01; 修回日期: 2021-06-15

基金项目: 中国工程院重大咨询项目(2020-XZ-13, 2020SX5); 国家自然科学基金项目(51908544); 教育部人文社会科学基金项目(19YJC760169); 徐州市社会科学基金项目(21XSZ-113)

作者简介: 周宏轩, 副教授, 研究方向为矿区生态恢复规划、生态城市规划与设计, 电子信箱: zhouhongxuan@live.cn; 汪秋菊(通信作者), 教授, 研究方向为工业遗产旅游、旅游经济, 电子信箱: wqiuju@126.com

引用格式: 周宏轩, 陶贵鑫, 徐辰, 等. 中国关闭煤矿区域生态恢复规划进展[J]. 科技导报, 2021, 39(13): 18-28; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.13.002

转变。在生态恢复方面,“社会-经济-自然复合生态系统”中社会、经济、自然3个子系统是相互依赖、相互制约、协同发展的关系,任意一个子系统的发展,必将能够带动另外2个子系统协同进步。基于此,首先对受损的自然生态系统进行生态恢复是关闭煤矿区域整治的关键,也是继续生态文明建设的第一步;在转型开发方面,关闭煤矿区域仍有很高的资源禀赋可供矿井转型升级^[4],例如,大量自然资源(煤炭资源、非常规天然气资源和地热资源)、丰富的水资源、广阔的地下空间资源和多样的旅游资源等,可为后期的再次发展提供相应的能源与经济驱动力。因此,关闭煤矿区域不是社会发展滞后与退化的代名词,不是经济体系衰退与崩溃的象征,也不是生态环境损毁的标识,而是一种错位的资源,在科学的生态恢复规划和工程实践之后便可充分发挥其复合生态系统服务的禀赋。

综上所述,关闭煤矿区域的生态恢复规划是中国生态文明建设与发展的必由之路;国土空间规划的核心价值是优先进行生态文明建设^[5]。因此,关闭煤矿区域的生态恢复规划和国土空间规划均统一于生态文明建设。关闭煤矿区域生态恢复规划是国土空间规划的重要组成部分,需要国土空间规划在宏观方向和规划目标方面给予充分指导;另外,关闭煤矿区域生态恢复规划可以通过在制定过程中的研究基础,对国土空间规划进行适当反馈调整,以不影响国土空间规划的前提下满足当地实际情况与需要(图1)。中国关闭煤矿的生态恢复规划应充分应用生态学原理,以达成生态恢复的目标;可参考国际社会的成功案例,但绝决不可照搬照抄;必须走出一条具有中国特色的关闭煤矿区域的生态恢复之路。

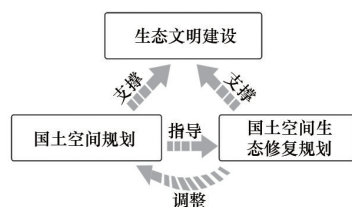


图1 生态文明建设、国土空间规划及国土空间生态修复规划关系

1 关闭煤矿区域生态恢复规划的含义与必要性

国土空间生态恢复关系到全民福祉,其本质是通过少量人工辅助,发挥大自然自我恢复的能力,完成受损生态关系的恢复与重建,并且在此过程当中收获生态系统服务^[6]。关闭煤矿区域生态恢复规划是站在动态发展的视角,基于大量基础资料、科学论证及专家决策的基础,对关闭煤矿区域受损的自然环境要素、物种组成、景观单元、生态关系的恢复制定合理的规划。关闭煤矿区域生态恢复规划需要在国土空间规划体系的指引下,执行国家生态文明建设方针,完成对煤矿区域受损生态系统的恢复。需要针对中国已关闭和未来可能关闭的煤矿区域,通过调查、预测和分析现存的以及未来可能产生的一系列生态问题,对生态恢复工程的规模和布局进行预估,并在时间、空间及保障措施上进行合理布局与安排^[7]。

不同时期关闭煤矿区域生态恢复规划的特点见表1^[8]。美国等发达国家关闭煤矿生态恢复规划领先于中国,如美国自第二次世界大战后颁布相关政策法规,用以强制执行关闭煤矿的生态修复。中国自20世纪80年代生态修复规划发展以来,早期人们保护生态环境的意识薄弱,大多数煤矿在建设时缺少预防性生态恢复规划,一般仅有少量治理性方案(通常只在环境评价中涉及煤矸石利用及其环境污染治理、采煤塌陷地治理以及土地复垦方案),甚至治理方案也一并缺失,如开采百余年的抚顺露天煤矿和扎赉诺尔煤矿;更加不会系统性地考虑和制定流域和全国层面的关闭煤矿生态恢复规划。因此,从煤矿建设到关闭,自然生态环境遭受持续破坏,包括地表形态变化、土壤污染和植被损毁等方面。所以,应该从“点”“带”和“面”不同层级上对已经关闭、即将关闭以及正在建设的煤矿区域制定生态恢复规划,以指导具体的生态恢复工作来重建因采煤被破坏的自然生态环境,为中国生态文明建设提供良好的自然本底,为国土空间规划实施夯实基础。

表1 关闭煤矿区域生态修复规划特点

时期	20世纪中期	21世纪发展后
理论方法	城乡规划程序与方法	国土空间生态修复规划
特点	生态学与城乡规划的浅层结合	景观生态学、测绘遥感、土壤发生学等学科深度融合
案例	北京门头沟煤矿,山西平朔煤矿,安徽板集煤矿,土耳其Seyitomer露天煤矿,美国阿巴拉契亚煤矿,捷克西北部褐煤矿区,匈牙利、捷克和德国联合煤矿	九大黄河流域煤炭基地,平顶山市平煤七矿,铜川市王石凹煤矿,波兰克拉科夫煤矿

2 关闭煤矿区域生态恢复规划研究尺度

关闭煤矿区域生态恢复应遵循生态学的基本原理——物物相关,切忌头痛医头脚痛医脚,合理选择恢复的尺度十分重要。中国早期对关闭煤矿区域生态恢复规划的相关工作以指导小尺度上的生态恢复工程实践为主,属于对“点”上生态环境损伤的修复。如今国土空间规划要求对全部疆土进行全局统筹,因此关闭煤矿区域生态恢复规划需要着眼于更为宏观的尺度,从“带”和“面”上进行规划,并且促进流域和全国尺度上关闭煤矿区域之间以及关闭煤矿区域与其他区域的互补与互惠。

2.1 矿区尺度

中国幅员辽阔,地大物博,关闭煤矿分散于不同地理环境和气候带之中,各类受损情况与生态环境问题具有较大的差异,制定较大尺度的生态恢复规划颇有难度。但是在较小的矿区尺度进行生态恢复规划研究中所涉及到的生态环境问题同质性较高,复杂性较低;另外,由于煤矿权属和行政权限等原因,大尺度的统筹治理方案制定难度很高,关闭煤矿区域的生态恢复规划研究一般仅集中在同一地区的一个或多个矿区。因此,在较小的矿区尺度上,各个矿区单独制定生态恢复规划、进行相应生态恢复工程的实践案例非常丰富,侧重点包括生态调控、土地复垦、景观重建和综合性全面规划。金家胜等^[9]以北京门头沟区——首都主要矿业基地为研究对象,使用生态共轭规划理念制定该区域的生态恢复规划,主要针对当地的景观结构、生态系统服务和生态过程修复提出对策和建议。王霖琳

等^[7]也对北京门头沟区的煤矿进行了生态恢复规划研究,提出了生态恢复规划的一般步骤,以及相应的生态恢复程序与方法,并指出煤矿区域的生态恢复具有一定复杂性,涉及多达十几门学科知识,是一项庞杂的系统工程。景明等^[10]在平朔矿区生态恢复规划中利用线性规划和数字高程模型优化了土壤调配,促成矿区内土方在时空上的合理分配,节约了时间和经济成本,并且规划设计良好的农田。高占平等^[11]对北京寨口矿区做出了较为具体的生态恢复规划,内容涉及土地复垦、植被修复、自然恢复、景观再造、灾害整治、文化遗产等多个方面,并提出相应的实施建议。王凯等^[12]针对平顶山矿区的生态环境现状进行沉陷区治理整体规划,并指出该矿区的绿化有悖于生态学规律,应该做出以防为主、防治结合的预防性生态规划以及治理性生态恢复规划。徐琳瑜等^[13]进行板集煤矿区生态恢复规划研究,对煤炭开采可能造成的地表塌陷和土地利用变化进行预测与分析,并按矿井开发建设期、开采期、封矿期进行预防性和治理性生态恢复规划,同时也制定了复垦土地利用方案。林祖锐等^[14]以规划学科的视角研究了徐州矿区塌陷地生态恢复规划,提出不仅自然生态环境需要恢复,同时也需要关注产业转型和经济发展。

由此可见,虽然不同学科背景的学者对关闭煤矿区域生态恢复规划理解与侧重点均不相同,例如生态调控、土地复垦、规划流程、预防与治理及矿区转型发展等,但最终目的均是创造和谐的自然生态环境,营造良好的人居环境,并为将来更好地进行可持续发展而服务。此外,关闭煤矿区域的生态恢复规划需要集成诸多学科的相关理论与实践经验,

需要不同学科领域的学者通力合作,完善关闭煤矿区域的生态恢复规划方法、体系与原则,为众多关闭煤矿区域的生态环境质量共同发挥力量。

2.2 流域尺度

流域尺度上良好的生态环境是“山水林田湖草生命共同体”繁荣的象征,也表征众多类型的生态系统,包括森林、草原、河流、湖泊、城市、矿区和乡村等生态系统之间的复合作用机制^[15]。但众多的重要流域均因为高强度国土开发和矿产资源采掘利用等因素影响而遭受严重破坏,生态系统退化严重,甚至丧失为人类生存和发展提供生境的能力^[16]。自党的十八大提出“山水林田湖草生命共同体”以来,流域尺度的生态恢复规划已经正式提上日程。与小尺度的生态修复规划不同,国土空间总体规划指导下的关闭煤矿区域生态恢复应考虑流域范围内所产生的生态环境问题,并且能对流域的生态环境起到调控作用。即在对上游区域生态环境治理的同时,尽可能惠及下游区域;同时下游区域的生态系统服务也可反哺上游区域。基于此,流域的生态恢复已经成为“全国生态总体规划”的重点工作内容。

在以往中国生态恢复研究当中,流域尺度的生态恢复规划比较罕见,大尺度流域生态修复技术与规划的研究也较少出现。其原因可归结为2个方面:一方面是大尺度生态恢复技术与规划方法不成熟;另一方面则是区域管辖权的限制,很少能够形成跨省域的生态恢复规划与工程。因此,早期的流域生态恢复规划研究尺度均较小^[17]或者仅集中在省域内^[18]。值得一提的是,流域尺度生态恢复的理念早在20世纪80年代已经出现。长江流域的生态工程从1988年开始,之后规模逐步扩大。这一生态工程主要针对水土流失及其相应后果。随后,一系列生态恢复工程相继实施并取得良好的生态恢复效果,长江流域的水土流失问题确实有所减缓。但是,早期的工程并未在国土空间规划层面上进行通盘考量,否则可能取得更好的生态恢复成效,这也正好映衬长江流域生态修复工程的关键对策是规划这一观点^[19]。这说明,流域尺度上的生态恢复工程需要总体规划和专项规划进行指导,突出生态

恢复规划的重要性。

《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》对黄河流域提出生态保护与恢复的要求,并将黄河流域列为重点生态区。黄河流域是中国第四大流域,也是中国重要能源流域,其中黄河中游地区是最重要的煤炭生产基地。早期的煤炭开采对生态环境造成严重损坏,加剧了水土流失和沙漠化速度,耕地生产力直线下降,生态恢复势在必行。“全国生态总体规划”指出,黄河重点生态区(含黄土高原屏障)在未来15年内需要进行重点生态保护和修复重大工程。基于黄河流域煤炭开采重任和生态恢复压力,中国工程院院士彭苏萍等^[20]提出黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术与战略,指出应根据黄河流域的地质构造和生态敏感特征研发关键技术,实现煤炭开采与生态恢复一体化,在煤炭开采的同时改善当地脆弱的生态环境技术战略。作为中华民族的母亲河,黄河流域需全方面生态保护与恢复,构建黄河流域生态安全格局^[21],并在此基础上实现全面协同发展^[22]。基于此,黄河流域需要科学制定生态恢复规划,落实生态保护与恢复,同时也需要针对不同分级和类别的国土空间规划指导,以实现高质量发展。

2.3 国家尺度

中国煤矿区域生态恢复规划研究主要聚焦于小尺度范围,通常为一个或几个矿区;而对较大尺度流域和地区的生态恢复关键技术以及生态恢复工程规划理念则刚刚列入“全国生态总体规划”中。这说明较大流域尺度和国家尺度的国土空间生态恢复规划仍然需要在目标和方法上推进。如何进行国土空间生态恢复规划、如何聚焦全国范围内关闭煤矿的生态恢复、如何落实具体的重大生态恢复工程,都将是值得着重研究的重大课题。全国范围内的关闭煤矿生态恢复规划尚未成功绘制清晰蓝图,打造“山水林田湖草生命共同体”仍需全民共同努力。

另外,目前中国煤矿关闭是循序渐进的过程,应确定存在的煤矿区的生态恢复方法和具体规划流程;也需要完善国土空间层面有关法规政策体系和技术标准体系,以确定关闭煤矿区和将要关闭的

煤矿区生态恢复实施保障和方法;还应基于国家总体规划发展要求,省、市总体规划给予煤片区的定位,结合自身特点,因地制宜地确定生态恢复后的发展定位,确定几种不同发展定位类型的基本规划、实施、监督体系。

3 煤矿区域生态恢复规划目标

中国工程院在 2017 年和 2020 年先后两次就“我国煤矿安全及废弃矿井资源开发利用战略研究”议题设立重大咨询研究项目,而废弃矿井生态开发与生态文明战略均列为其重要的子课题,说明中国在国家战略层面上非常重视关闭矿井在国家未来发展中的定位与走向。根据诸多学者对关闭煤矿区域生态恢复最终目标与成效的分析,关闭煤矿区域的生态恢复规划最终目标包括农业复垦、工业遗产开发、地下空间开发与利用和公共空间营造^[23-27](图 2)。

关闭煤矿再利用必须以生态恢复为前提。良好的自然本底,为资源开发利用和产业转型提供物质基础和生态资本。关闭煤矿区域生态恢复需要



图 2 4类生态恢复规划目标及对应案例 (图片来源于互联网)

以生态演替理论为指导,充分认识和利用生态演替过程规律,在最大程度上发挥自然恢复力量。根据中国植被区划分区和产煤基地分布情况,可以得到以自然植被区系为最终可达到的生态恢复目标(图 3);另外,依据国土空间规划视角指导关闭煤矿区域的不同定位,制定各个关闭煤矿区域相应的生态恢复规划目标,且处于生态演替进程之中,避免过度恢复。国土空间规划是由“五级三类四体系”构成。因此,关闭煤矿区的生态恢复规划首先应逐级满足国家级、市级、县级、乡镇级的国土空间规划要求,结合当地煤矿区的生态恢复规划特点,统筹考

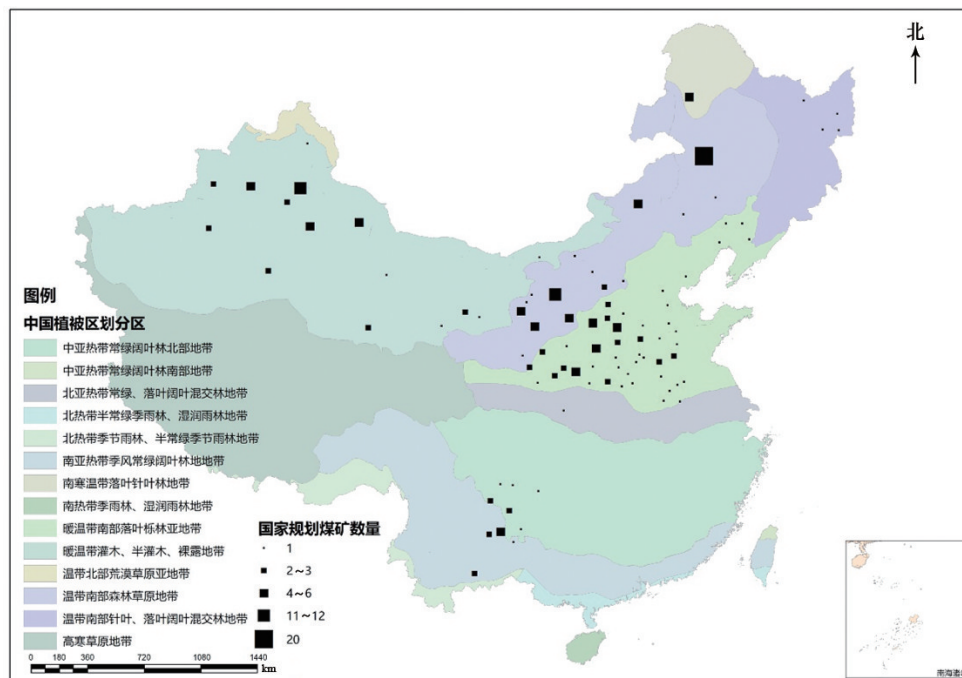


图 3 煤矿分布与植被区划分区(数据来源:《全国矿产资源规划(2016—2020年)》,中国生态系统评估与生态安全格局数据库)

虑各级开发规划要求;并基于总体规划和详细规划,从时间和空间上对煤矿区做出生态修复、保护和开发的具体实施性专门安排;在此基础上,在国土规划指导下的煤矿区生态恢复规划运行体系中,确定编制审批体系、实施监督体系、法规政策体系、技术标准体系等4个子体系。

3.1 土地复垦

土地复垦是中国煤矿区域生态恢复的常用技术,目标是使因煤炭开采受损的土地重新达到可以耕作进行农业生产的状态。自《土地复垦规定》1988年颁布以来,土地复垦已经成为中国耕地增加、土地资源保护及生态环境改善的重要技术手段^[28],并于2011年升级为《土地复垦条例》。长期以来,土地复垦方面一直缺少能够起指导作用的规划设计研究成果,反而土地复垦工程实践较多^[29]。目前,中国土地复垦率已经超过25%,复垦的土地既可以恢复传统农业,也可用作现代化设施农业的基石^[30-31],甚至也可以发展观光农业等旅游项目^[32]。同时,土地复垦也可结合当地自然灾害或者环境问题进行一并处理,如利用黄河淤积泥沙对采煤塌陷区土地进行充填复垦^[33],以便能够进行农业种植。

3.2 工业遗产旅游开发

逐步关闭煤矿区域内存在大量煤炭开采工业遗存,同时也是工业遗产旅游开发的基础。中国关闭煤矿的工业遗产在建筑形式、历史呈现、精神财富和文化特征方面均具有独特性,通过科学合理的开发路径便可实现其旅游价值^[34]。河北省唐山市开滦煤矿工业遗产开发与生态环境整治在相应规划的指导下取得了良好的效果^[35-36]。其余学者则是对关闭煤矿的工业遗产旅游价值和策略进行研究。范薇等^[37]对北京门头沟区煤炭工业遗产旅游资源保护与开发进行相应的研究,并提出了相应的策略,指出煤炭工业遗产资源必将成为未来煤炭行业新的经济增长点;罗萍嘉等^[38]对沿津浦铁路沿线的煤矿工业遗产进行了价值分析,构建了“点-线-面”的工业遗产廊道格局,并形成开发策略;此外,还有一些较为类似的研究,均阐明了关闭煤矿工业遗产旅游开发策略与构想。但是,目前的研究和项目均未在以生态恢复规划作为良好自然本底的基

础上进行,同时也未契合国土空间总体规划;更未与特定分级与类别的国土空间规划产生互动联系,构成协同改进的模式;尤其是跨省域的工业遗产旅游开发,并非单一省市可以完成,因此,关闭煤矿区域的工业遗产开发必然需要国土空间总体规划及生态恢复规划的双重指导。

3.3 地下空间开发与利用

中国关于关闭矿井再利用和开发的研究起步较晚,大部分研究主要针对国外的先进技术和案例。霍冉等^[39]分析了国外废弃矿井各类可再生能源利用技术,包括太阳能、风能、矿井水蓄热、抽水蓄能和压缩空气储能,并指出这些技术可以作为中国关闭煤矿再次开发的目标,但是必须要做到开发利用与经济发展协调、安全与成本并重以及局部和整体的统一。武志德等^[40]研究关闭矿井建设地下储气库的可能性,并给出要密切结合地质层次结构条件以判断可行性的建议。刘峰等^[41]提出地下空间储藏战略石油、特殊物资井下仓储、井下特殊场所与城市建设和井下新农业的构想,但同时对应关键技术难题攻克、国家政策与资金支持等方面提出了更高的要求。在国家战略的顶层设计中,上述研究对关闭煤矿区域地下空间利用与开发提出明确方向,需要国土空间规划做出方向性指导,也要靠生态恢复规划提供满足关闭煤矿区域地下空间利用与开发的自然本底蓝图,同时必须制定相应的原则、策略和保障措施。

3.4 公共空间营造

关闭煤矿区域自然生境的破坏以及经济系统的崩溃导致社会服务功能急剧下降。在以往研究中,对关闭煤矿和工业废弃地的常见恢复目标是将受损的生态环境进行景观型的改造,最终成为高品质的公共空间,继而发挥生态恢复后的社会服务功能。其中,最为常见的是矿山公园规划与建设。成方晔^[42]论述了矿山公园的5种表现形式,即国家矿山公园模式、湿地公园模式、休闲旅游模式、农业观光模式以及红色旅游模式。国内很多煤矿在关闭之后进行矿山公园建设,其中河北省唐山市的开滦集团下属的唐山矿对采煤塌陷区进行生态恢复,进而改造成为唐山南湖城市中央生态公园(国家的

AAAA级景区),距离市中心仅1 km,并在2016年成功举办了世界园艺博览会;同样,江苏省徐州市的贾汪煤矿区将塌陷区进行生态恢复并建设了潘安湖国家湿地公园(国家AAAA级景区),是市级重点现代服务业集聚区,并且成功举办多次国际音乐节;类似的案例还有很多^[43]。另外,艺术园区建设也是关闭煤矿区域进行生态恢复规划的目标之一。此类案例在国外的工业区转型中比较常见^[44],但是目前还未在国内见到直接由关闭煤矿改造而成的大型艺术园区,仅有在废弃工业区基础上进行改造而形成的艺术园区,例如北京的798艺术园区等。造成这种现象的原因可能是艺术园区的建设对当地城市人口规模、居民生活水平、关闭煤矿区位等因素均有较高的要求。因此,关闭煤矿生态恢复规划目标应该与当地的生态文明建设目标相匹配,使群落结构停留在适合当地生态文明发展的阶段,避免过度恢复,而当地的生态文明发展目标必须由国土空间规划来确定,生态恢复规划也需要按照国土空间规划指导进行制定。

4 煤矿区域生态恢复规划研究方法

党的十八大以来,生态文明建设被纳入中国特色社会主义事业的总体布局,城市生态恢复则是生态文明建设中的重要工作内容,尤其适用于262座资源型城市。尽管生态恢复规划研究在中国已经有一段时间的发展历史,并且也已经在矿山区域、河流区域、沿海地区和生态敏感地区完成过大量的实践项目和工程,但生态恢复规划的方法论还暂未得到有效发展,始终停留在简单借鉴和利用其他学科方法的阶段,具体包括生态恢复理论、生态区划、区域空间规划以及煤矿区域生态恢复工作方法。

4.1 生态恢复理论

生态恢复理论是当前生态文明建设中不可或缺的组成部分,也是城乡规划中需要重点参考的知识组成。生态恢复的工作方法需要以生态恢复理论为基础,再进行整体统筹、系统修复,最后完成生态恢复;整个过程顺应生态演替进程,尽可能让自然做功^[45]。与单一的景观恢复不同,生态恢复规划

必须尊重和依赖生态恢复理论;其中的工作又必须建立在科学地融合社会、经济和自然的基础之上,将关闭煤矿区域从时间、空间、数量、构成、秩序5个层面融入自然山水格局^[46];另外,生态恢复规划在方法和技术上均需要提升。

4.2 生态区划

生态区划方法主要是根据生态环境性质结构与功能的变化规律,来进行不同生态功能分区界限的划定,既强调生态系统整体性的规律,又注重人类与生态系统的互动特征。在生态恢复规划的研究工作中,生态区划可用来表达各专项研究的成果^[47-48],如生态敏感区划和水源涵养区划等。2015年由环境保护部和中国科学院联合发布的《全国生态功能区划》提出了中国生态功能区类型,也为生态恢复目标提供了依据,同时也指导着煤矿区域生态恢复规划的制定。

4.3 区域空间规划

区域空间规划的涵盖内容较多,包括地理、社会、经济、自然资源、可持续发展等领域。但由于区域空间规划的工作目标较为宏观,并且其自身定位更加偏重于整体空间系统的协调,因此在指导区域生态环境恢复相关工作时具有很强的局限性,欠缺精准度。但是,区域空间规划中所强调的整个空间系统的协调可以作为生态恢复规划的工作前提,尤其是对于关闭煤矿区域这类受损严重的“社会-经济-自然复合生态系统”的生态恢复规划工作具有较强的指导意义。

4.4 煤矿区域生态恢复规划工作方法

根据煤矿开采后的生态环境以及社会经济情况特点,煤矿区域生态恢复工作方法可以分为4类^[7],包括经验分析法、目标规划法、景观规划法和生态工程规划法。在实际规划过程中,往往不能单独依靠某一种方法,而是需要多种方法协同使用,或者根据既定修复目标,综合应用多种方法,才能得到较为科学的规划方案。在面对中国即将关闭的诸多煤矿,现有的生态保护和恢复工程方法仅适用于矿区尺度的生态恢复,在解决较大的流域尺度以及国家尺度的生态恢复问题时则会出现速度慢、精准度低等问题。因此,全国范围内关闭煤矿区域

急需能够统筹全局的生态恢复规划,以保证这些煤矿可以得到合理有效的生态恢复,继续为中国的生态文明发展提供可持续的生态系统服务和自然本底。

5 结论

科学合理的生态恢复规划是多个学科共同协作的结果,绝非单一学科可以独自胜任。面对国内现存以及未来持续增多的关闭煤矿,生态恢复的压力与日俱增,需要制定全国范围内关闭煤矿生态恢复规划。国土空间规划以及“全国生态总体规划”的颁布,标志着中国对国土空间规划的全局统筹以及国土空间生态恢复规划的系统性考量,这也是系统科学、规划科学、生态科学、水土保持科学、矿业科学等多个学科进步的标志,同时也给这些学科提出了相应的挑战,需要相关学科的科技成果应用于中国梦的实现进程中。此外,这些学科之间的配合与衔接程度也是执行和调整国土空间规划以及“全国生态总体规划”的重要保障。综合多学科的生态恢复规划可以为全国关闭煤矿生态恢复制定科学合理的时间安排,也能为全国关闭煤矿生态恢复勾勒适宜的空间格局,最终将生态恢复工程落实在关键点、关键带和关键面上,实现国土空间范围内的全局生态恢复,推进生态文明建设的进程,实现全域高质量发展。基于此,提出如下发展建议。

1) 探索具有中国特色的生态恢复规划方法并补充国土空间规划架构体系。

关闭煤矿的生态恢复规划方法建立在多学科交叉的基础之上,不应是多种方法的简单拼凑,而是有机的融合。关闭煤矿区域的自然生态环境的损毁情况具有特殊性,需要特别注意地表塌陷与损毁情况、相应的地表和地下水文情况、土壤肥力、持水能力和发生发育情况等,这些均需要纳入其生态恢复规划中。另外,中国关闭煤矿区域的生态恢复方法依托自身的生态环境特点和国土空间规划要求,必须以适应中国关闭煤矿区域的生态恢复为出发点,为生态文明建设服务。

中国关闭煤矿区域生态恢复规划依赖于国土

空间规划的指导,但是作为新生事物,国土空间规划架构仍未充分完善。不同于传统的规划架构,国土空间规划架构是一个需要迅速搭建的全新架构^[49],既不能照搬国外经验,也不能复制既有传统。此外,国土空间规划的全局统筹性一方面需要协调各种专项规划,例如恢复生态学等;另一方面则需要摆脱以前的空间性规划体系混乱的状况,并且应该能够探索构建属于中国的规划理论体系,既能服务于生态文明建设的需要,又能为世界提供中国的规划智慧^[50],体现大国应有担当。

2) 促进多学科交叉与融合、培养跨学科人才。

关闭煤矿区域生态恢复规划需要依托国土空间整体规划进行。作为国土空间规划体系的一部分,关闭煤矿的生态恢复规划也一样需要交叉与融合多个学科。生态恢复规划的制定需要考虑多学科所关注的不同问题:在生态学方面需要考虑当地的气候、地形、生物组成及演替可能性等要素;在水土保持学方面需要考虑水土流失等自然与工程要素;在土壤学方面则需要思考土壤质地、团粒结构、土壤发育等条件;在矿业与地质工程学方面需要思考煤炭开采过程与地质结构变化的耦合过程,及其造成地表损坏的可能性等问题;在城乡规划学方面则需要思考如何权衡土地的使用,恢复时序与空间格局;此外,还有很多学科(地理学、测绘学等)也应当在关闭煤矿区域生态恢复规划的制定中发挥应有的作用,真正做到学科的交叉与融合。

学科的交叉与融合需要通过不同学科的有效沟通与交流来完成,更需要通过跨学科的人才作为不同学科之间的桥梁,协助生态恢复规划最终高效成功制定,进而服务于已经或即将关闭以及即将筹建的煤矿区域。同样,多种学科交叉人才协同制定的生态恢复规划将既能在宏观层面上把控生态恢复的时间序列和空间格局,又能进行微观层面上技术的组合与集成。

3) 加强先进技术的应用。

大数据、人工智能、移动网络以及云计算都是当今最受关注的技术,在很多领域已经得到了广泛的应用,但是在关闭煤矿区域的生态恢复规划或生态恢复工程实践中应用还不多见。这些先进技术

在生态恢复规划之中具有非常广阔的应用前景;可以广泛收集数据,精准分析,快速传输与计算;并可以精确分析现状和预测未来的情况,这些优势辅以地理信息系统必将成为生态恢复规划更加可靠的基础数据。

另外,采煤活动是获取能源的重要方式,煤炭类能源将在未来很长一段时间内继续作为驱动社会、经济、自然协同发展。煤炭开采与生态恢复技术应该相互结合,实现采煤与生态恢复的高度同步:即在煤炭开采的过程当中,依托生态恢复技术,可改良当地的生态敏感程度;并可健全生态系统的反馈机制,使当地的自然生态环境更加具有韧性,生态系统更加稳定,抗干扰能力更强。这种先进技术作为生态恢复规划中的一个参数,可以让生态恢复规划更加精准。

4) 建立健全煤矿区域长期观测与生态普查机制。

关闭煤矿区域生态环境并非一成不变,可能由于持续沉陷或其他因素发生较大变化;也可能达到较为稳定的状态而维持一种动态平衡,其中不乏地质、气候和其他因素引起的扰动。因此,需要对关闭煤矿区域和当地的生态因子进行长期定点观测,以获取这些变化信息,提供最原始的数据,以便对当地的生态环境进行精确的预测与判定。另外,一些无法通过自动观测获取的基本生态环境信息需要定期定点借助人工生态普查的方法采集,为生态恢复规划服务。总之,需要在关闭煤矿区域建立健全长期观测与生态普查机制,为精准制定生态恢复规划提供依据。

参考文献(References)

- [1] 袁亮,姜耀东,王凯,等.我国关闭/废弃矿井资源精准开发利用的科学思考[J].煤炭学报,2018,43(1):14-20.
- [2] 袁亮.煤炭精准开采科学构想[J].煤炭学报,2017,42(1):1-7.
- [3] 张农,阚甲广,王朋.我国废弃煤矿资源现状与分布特征[J].煤炭经济研究,2019,39(5):4-8.
- [4] 谢和平,高明忠,高峰,等.关停矿井转型升级战略构想与关键技术[J].煤炭学报,2017,42(6):1355-1365.
- [5] 杨保军,陈鹏,董珂,等.生态文明背景下的国土空间规划体系构建[J].城市规划学刊,2019(4):16-23.
- [6] 俞孔坚.基于自然,让自然做功:国土空间规划与生态修复之本[J].景观设计学,2020,8(1):6-9.
- [7] 王霖琳,胡振琪,赵艳玲,等.中国煤矿区生态修复规划的方法与实例[J].金属矿山,2007,36(5):17-20.
- [8] 陶贵鑫,周宏轩,孙婧,等.关闭/废弃煤矿的生态修复研究进展及展望[J].中国矿业,2021,30(5):10-19.
- [9] 金家胜,王如松,黄锦楼.城市生态的共轭调控方法——以门头沟共轭生态修复为例[C]//2010中国可持续发展论坛暨中国可持续发展研究会学术年会.北京:中国可持续发展研究会,2010:5.
- [10] 景明,白中科,崔艳,等.基于线性规划和数字高程模型的排土场复垦土方调配优化[J].金属矿山,2013,42(2):130-134.
- [11] 高占平,何永,龙瀛,等.北京寨口矿区生态修复规划[J].矿业快报,2008,24(4):70-73.
- [12] 王凯,吴祥云,谷明川,等.平顶山矿区生态恢复规划及技术研究[C]//全国矿区环境综合治理与灾害防治技术研讨会论文集.北京:中国煤炭学会,2011:7.
- [13] 徐琳瑜,赵彦伟,刘桂友,等.板集矿区生态恢复规划研究[J].水土保持研究,2008,15(5):152-155.
- [14] 林祖锐,常江,王卫.城乡统筹下徐州矿区塌陷地生态修复规划研究[J].现代城市研究,2009,24(10):91-95.
- [15] 蔡庆华,吴刚,刘建康.流域生态学:水生态系统多样性研究和保护的一个新途径[J].科技导报,1997,15(5):24-26.
- [16] 吴钢,赵萌,王辰星.山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究[J].生态学报,2019,39(23):8685-8691.
- [17] 许杨,纪道斌,何金艳,等.基于生态修复治理下的茅洲河流域生态分区[J].三峡大学学报(自然科学版),2020,42(4):8-15.
- [18] 郑建英,卢春英,张盛钟.九龙江流域森林生态修复模式建立与评价[J].环境科学与管理,2010,35(8):115-119.
- [19] 蒲勇平.长江流域生态修复工程的意义及对策[J].水土保持通报,2002,22(5):9-11.
- [20] 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.

- [21] 王双明. 科学施策, 构建黄河流域生态安全新格局[J]. 科技导报, 2020, 38(17): 1.
- [22] 王金南. 协同推进黄河流域生态保护和高质量发展[J]. 科技导报, 2020, 38(17): 6-7.
- [23] 赵冰清, 白中科, 郭东罡, 等. 黄土区露天煤矿排土场人工林下植被发育动态[J]. 地学前缘, 2020, doi: 10.13745/j.esf.sf.2020.10.18.
- [24] 杜青松. 内蒙古扎赉诺尔矿业遗迹资源禀赋与保护再利用研究[J]. 中国矿业, 2020, 29(1): 68-74.
- [25] 谢和平, 高明忠, 刘见中, 等. 煤矿地下空间容量估算及开发利用研究[J]. 煤炭学报, 2018, 43(6): 1487-1503.
- [26] 李庭, 顾大钊, 李井峰, 等. 基于废弃煤矿采空区的矿井水抽水蓄能调峰系统构建[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(9): 93-98.
- [27] 张杰, 田蜜. 被遗忘的工人村落: 四川芭蕉沟村空间解析[J]. 规划师, 2018, 34(3): 147-148.
- [28] 胡振琪. 再论土地复垦学[J]. 中国土地科学, 2019, 33(5): 1-8.
- [29] 桑李红, 付梅臣, 冯洋欢. 煤矿区土地复垦规划设计研究进展及展望[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 243-249.
- [30] 李晋川, 白中科, 柴书杰, 等. 平朔露天煤矿土地复垦与生态重建技术研究[J]. 科技导报, 2009, 27(17): 30-34.
- [31] 王颖, 冯仲科. 平朔矿区开采受损及治理区土壤养分特征对比分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 91-97.
- [32] 周宏轩, 孙婧, 常江, 等. 基于政策导向的煤炭企业转型发展策略研究[J]. 中国煤炭, 2019, 45(6): 13-17.
- [33] 胡振琪, 邵芳, 多玲花, 等. 黄河泥沙间隔条带式充填采煤沉陷地复垦技术及实践[J]. 煤炭学报, 2017, 42(3): 557-566.
- [34] 汪秋菊, 刘宇. 废弃矿山工业遗产旅游开发战略与政策建议[J]. 煤炭经济研究, 2019, 39(5): 25-30.
- [35] 曹希绅, 金兴, 程国明. 开滦煤矿唐山矿区与遂昌金矿矿山环境治理运作模式比较研究[J]. 中国矿业, 2018, 27(6): 74-79.
- [36] 马中军. 开滦煤矿工业遗产景观营造[J]. 工业建筑, 2017, 47(5): 52-55.
- [37] 范薇, 孙超. 北京门头沟区煤炭工业遗产旅游资源的保护与开发研究[J]. 中国煤炭, 2018, 44(8): 40-43.
- [38] 罗萍嘉, 梁晓涵. 沿津浦铁路煤矿工业遗产廊道构建[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(4): 153-159.
- [39] 霍冉, 徐向阳, 姜耀东. 国外废弃矿井可再生能源开发利用现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 267-273.
- [40] 武志德, 郑得文, 李东旭, 等. 我国利用废弃矿井建设地下储气库可行性研究及建议[J]. 煤炭经济研究, 2019, 39(5): 15-19.
- [41] 刘峰, 李树志. 我国转型煤矿井下空间资源开发利用新方向探讨[J]. 煤炭学报, 2017, 42(9): 2205-2213.
- [42] 成方晔. 煤矿废弃地的景观重建[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [43] 王莹, 刘雪美. 资源型城市工业遗产旅游开发初探——以海州露天矿国家矿山公园为例[J]. 城市发展研究, 2010, 17(11): 90-94.
- [44] 韩巍. 独特的工业景观——析德国埃森矿业关税同盟工业遗迹的景观形态[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计版), 2009, 32(4): 124-130.
- [45] 白杨, 王忠杰, 顾晨洁. 转型发展阶段城市生态修复规划研究[J]. 城市规划, 2016, 40(增刊2): 19-24.
- [46] 王如松, 欧阳志云. 社会-经济-自然复合生态系统与可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 337-345.
- [47] 李果, 王百田. 区域生态修复的空间规划方法探讨[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 284-288.
- [48] 孙然好, 李卓, 陈利顶. 中国生态区划研究进展: 从格局、功能到服务[J]. 生态学报, 2018, 38(15): 5271-5278.
- [49] 赵燕菁. 论国土空间规划的基本架构[J]. 城市规划, 2019, 43(12): 17-26.
- [50] 朱雷洲, 谢来荣, 黄亚平. 当前我国国土空间规划研究评述与展望[J]. 规划师, 2020, 36(8): 5-11.

Ecological restoration planning in China's coal mine areas: A review

ZHOU Hongxuan¹, TAO Guixin¹, XU Chen¹, WANG Zhaoqing¹, WANG Qiuju^{2*}

1. School of Architecture and Design, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2. Tourism College, Beijing Union University, Beijing 100101, China

Abstract According to the situation that damaged natural eco-environment in closed coal mine areas has been impeding ecological civilization construction in China, it is urgent to develop ecological restoration plan to guide concrete actions at the national level. This paper reviews the main features of ecological restoration planning for closed coal mine areas, including scales of implementation, planning aims, and methods. Then achievements made in former studies of ecological restoration planning in closed coal mines are concluded. At last, four prospects of ecological restoration planning in closed coal mines at the national level are proposed, i.e., ecological restoration planning methodology, interdisciplinary integration and talent training, application of advanced technology, and establishment of long-term ecological monitoring and census.

Keywords ecological remediation; complex ecosystem; territorial spatial planning; special plan for ecological restoration; abandoned coal mines ●



(责任编辑 刘志远)