

山水林田湖草综合生态修复研究综述

许向宁, 张丹丹, 向国萍, 李雪萍

(四川省地质矿产勘查开发局四〇五地质队, 成都 611800)

摘要: 工业文明以来, 人类社会飞速发展, 与此同时, 生态环境遭到严重破坏, 环境污染、自然资源枯竭等问题愈发突出, 综合生态修复作为实现人类生存和可持续发展的手段被提出。本文回顾了国内山水林田湖草综合生态修复研究的理论发展历程、内在联系, 概括了综合生态修复治理现有技术, 分析了其在现实应用中的优势与不足之处以及指出了当下综合生态修复研究存在的问题和未来的发展研究对策。

关键词: 理论发展; 综合生态修复; 治理技术

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A

COMPREHENSIVE ECOLOGICAL RESTORATION OF MOUNTAINS, RIVERS, FORESTS, FIELDS, LAKES AND GRASSLANDS

XU Xiang-ning, ZHANG Dan-dan, XIANG Guo-ping, LI Xue-ping

(405 Geological Brigade of Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources, Chengdu 611800, China)

Abstract: Since the industrial civilization, human society has been developing rapidly. At the same time, the ecological environment has been seriously damaged, environmental pollution, natural resource depletion and other problems have become more and more prominent. Comprehensive ecological restoration has been proposed as a means to realize human survival and sustainable development. This paper reviewed the theoretical development and internal relations of the research on the comprehensive ecological restoration of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasslands in China, summarized the current technology of comprehensive ecological restoration, analyzed its advantages and disadvantages in practical application, and pointed out the existing problems in the current comprehensive ecological restoration research and countermeasures for future development.

Key words: theoretical development; integrated ecological restoration; treatment technology

1 前言

随着工业文明的到来, 人类加深了对自然的认识, 促进了自然资源的利用, 这从根本上提升了社会的

生产力, 推动了社会的发展进步^[1]。但同时, 对自然变本加厉地索取与破坏, 超出了自然所能承受的程度, 造成了自然资源枯竭和生存环境污染, 带来了草原荒漠化、森林植被破坏、河流污染、矿山地质灾害、

湿地资源萎缩等全球性生态问题。寻求社会发展与自然环境的相处之道,成为当前人类发展亟需解决的一个重要问题。生态文明被提出来,它着重强调人与自然的和谐共处,其中综合生态修复是人类应对生态环境问题、实现可持续发展的重要手段^[2]。

国际上,随着全球生态系统恢复十年计划(2021~2030年)的启动,联合国强调了生态恢复对解决土地和水资源退化、气候变化和人类生存环境恶化的重要意义^[3]。国内,实施了一大批生态修复工程,生态环境保护取得一系列傲人成绩^[4]。形成了习近平生态文明思想,提出绿水青山就是金山银山的理念,为正确处理发展与生态保护问题理清了思路,坚持山水林田湖草是一个生命共同体,从系统和整体观两方面治理和修复生态环境^[5]。在2016年,我国三部部门联合启动了“山水工程”,该工程结合了75个大型项目,从综合生态修复的角度出发,使受损的生态系统得到恢复^[6]。近年来,我国正全力推动综合生态系统修复行动,生态保护和恢复成就巨大。

2 综合生态修复理论发展

改革开放以来,我国经济迅速发展,但同时产生了一系列生态环境问题,导致国民生活水平降低。由此,我国开始实施一批生态修复工程,助力经济发展和国民生活水平提高,在这个过程中“生态-环境-地质”理论体系不断发展,在指导生态修复工程的同时根据反馈不断修复完善自己的理论框架,并产生了符合中国生态环境实际的“山水林田湖草”生命共同体理论^[7]。

2.1 理论发展历程

目前国内“山水林田湖草”生命共同体理论的发展主要以“生态-环境-地质”的内在联系为主要研究方向,两者所涉及的理论和框架体系基本一致,可以将“山水林田湖草”生命共同体理论理解为“生态-环境-地质”理论以中国实情为基础的理论发展。

我国相对于欧美等国生态环境地质学理论起步较晚,张宗祜、袁道先^[8]就指出生态环境地质学在环境地质学中处于研究前沿。之后,我国越来越多的学者将目光投在这个新兴学科领域。生态环境地质学刚开始的研究是基于单个生态系统单元,例如城市、河流、湿地、森林等单个生态系统。在对国内各种生态系统单元进行评价时,由生态地质环境理论带来的应用研究也逐渐走入研究人员的视野,包括森林退化、草原沙化、矿山修复、水资源治理等多个研究领域,对不同生态系统的内在要素联系进行了一定的分析,为后面的研究积累了丰富了理论和方

法^[9-11]。2013年习近平总书记提出了“山水林田湖是一个生命共同体”的理论,意味着我国的生态地质环境研究进入一个新的阶段。2017年国家相关文件发布,“草”被加入“山水林田湖草”生命共同体,使得该体系更加完善全面。2020年三部部门联合印发《山水林田湖草生态修复保护工程指南》对我国山水工程实施具有重要指导意义。

2.2 理论内在联系

“山水林田湖草生命共同体”的理论来源于自生态学、环境、地质学和可持续发展理论,旨在说明生态系统内人类及其他生态系统要素之间相互依存的关系。地质环境能够承载生态环境,反之生态环境保护地质环境,相对生态环境而言,地质环境具有不可恢复性^[12]。“山水林田湖草生命共同体”是一个多层次、关系复杂且有序的系统,系统内各要素相互影响,单个要素的变化都会在其他要素中反映出来^[13]。

3 生态修复治理技术

近年来,生态修复技术不断完善,从传统的植树造林到水、土、气、生四相结合进行综合治理,开展生态修复工作。生态修复应用技术主要介绍以下方面:污染土壤修复、工程创面修复、草地沙化修复、森林退化修复、河流污染修复

3.1 污染土壤修复技术

长期以来,人们一直在使用一些技术来治理有害的重金属。传统的重金属污染修复方法一般基于物理、化学和生物方法,这些方法可以相互结合使用,将重金属污染土壤清除到可接受和安全的水水平^[14]。

当前物理修复技术一般可分为热脱附修复法、电修复法、污染土壤置换法等方法。热脱附修复法是指将受污染的土壤进行加热,使重金属离子从土壤中挥发出来。该方法除污能力较强,但也存在着消耗能源过大的问题,使得除污成本较高。电修复法是指在土壤中插入电极,形成电场,收集土壤中的重金属离子^[15]。它的使用范围比较广,受土壤中其他因素的影响较小^[16]。污染土壤置换法是指用未污染土壤置换被污染的土壤,使其对周边环境的影响降到最低,但是造价昂贵,工程量比较大,因此适用于面积小、污染严重的土壤^[17]。

化学修复技术主要是通过使用各种化学试剂将土壤中的污染物溶解或迁移,分为化学还原、化学淋洗和化学固定3种^[18]。其中化学淋洗技术是通过水力带动淋洗剂进入受污染土壤中,与重金属离子

结合,然后分离出除带有重金属离子的溶液,应用最广泛,治理效果好。但也存在着修复成本高、修复过程复杂、容易造成二次污染、破坏土壤有机质和结构,同时需要消耗大量的能源的问题^[19]。化学修复简单易行,而且修复过程中可以将工业副产品作为改良剂,因此成本相对较低,适用于大面积污染土壤的修复工作。

生物修复是通过生物的代谢活动降低土壤重金属的含量或通过改变其形态而降低毒性,以达到修复目的。常用的生物修复技术有:植物修复、动物修复和微生物修复。植物修复是利用特定植物能够吸收土壤中重金属的能力,修复土壤的技术^[20]。微生物在土壤中含量和数目种类较多,新陈代谢和吸收快,因此利用微生物来吸附土壤中的重金属离子,可以达到改善土壤环境的目的。微生物生长速度快,吸附能力强,与植物生长结合紧密,在土壤修复中前景良好。

3.2 工程创面修复技术

工程创面是指人类在生产建设中所实施的各种工程措施而在地表出现的破坏了原有自然环境的创伤面,主要由水利、城建、矿山、公路等施工过程产生,工程创面生态修复技术主要有植生带技术、液压喷播技术^[21]。

植生带技术是指将多种类型的植物种子通过机器均匀的播撒在纤维物制成的无纺布上面,其中无纺布具有一定的温度与养分,提升植物种子的发芽率。同时将植生带覆盖于泥坡岩体表面后,能够有效减轻雨水的冲击,保护易触水崩解的表土及植生材料、种子等,不被雨水携运流失^[22]。运用植生带技术可以在气候环境差、植物难以播撒及生长的区域,形成植物群落,降低当地的水土流失,尤其适用于工程创面形成的裸漏边坡。

液压喷播就是把植物种子、肥料、有机胶、保水剂、草纤维、着色剂等固相材料与水按一定比例均匀的混合成悬浊液,然后通过液压喷播机直接喷敷于坡面的绿化方法,属于典型的湿喷法。由于所喷播的混合物中不包含种植土,因此液压喷播护坡绿化仅适用土质或风化极为剧烈的岩质边坡,同时又由于喷播未采取挂网、锚固等辅助措施,因此多局限于缓边坡^[22]。

3.3 草地沙化修复技术

草地沙化已成为世界性的问题,给当地的生态安全 and 经济发展带来严重威胁,目前应对草地沙化修复技术主要有围栏封育技术、生物固沙技术、化学固沙技术。

围栏封育就是在一定时期内将草原封闭起来,不进行放牧等生产活动,草原能够“修养生息”得到充足的恢复,改善草地的生产能力,是一种简单、有效的草地修复技术^[23]。围栏封育时间的长短,应该依据草地的实际承载能力、退化严重程度等来确定,时间过短,草地不能得到恢复,但时间过长,既不利于当地生产发展,又阻碍了野生动植物之间的交流活动^[24]。

生物固沙技术是利用人工种植植被,实现沙化治理,改善荒漠化土地的一项技术。通常与工程固沙紧密联系,在工程固沙的基础上,栽种植物,保持水土,治理沙化。

化学固沙是利用有机或无机材料在流动的沙地表面形成一层覆盖层,把松散的沙土凝结起来,以达到阻止沙粒被风搬移,固定流沙的目的。具有造价成本低、施工便捷快速、见效快的优点,但有因为使用有机材料,会造成野生动物误食、环境二次污染的缺点,所以研发低成本、无污染、可降解的无机材料将会是以后的重点方向^[25]。

3.4 森林退化修复技术

森林能够产生氧气、吸收工业废气、调节气候、防风固沙、涵养水源是生态系统不可或缺的关键环节。当前森林生态修复主要治理技术有森林被动恢复技术、成核繁衍技术、多样性种植技术。

森林被动恢复技术指依靠生态系统的自然恢复能力使遭到破坏的森林景观恢复。被动恢复有时也被称为自然(或自发)再生,依靠人工对恢复区域进行保护,避免受到遭受破坏森林进一步恶化,使得区域内部的植物群落进行自然恢复和演替,恢复森林生态系统的物种多样性^[26]。这种恢复方法适用于森林退化程度不高、还存有部分林地的区域,因此适用范围较广。

成核繁衍技术包括在生态恢复场地种植小片树木,以该小片树木作为核心,从而促进新树木的种植,随着时间的推移扩大森林面积。已经在垃圾填埋场、地中海林地、热带森林以及其他生态系统的生态恢复方面显示出了较好的应用前景^[27]。

多样性种植技术是指人工种植各种本土植物,使生物多样性恢复到森林破坏前。在具有高度多样性本地物种的情况下进行人工造林,以创造具有生物可行性的森林恢复,并在景观尺度上促进长期生物多样性的持久性^[28]。

3.5 河流污染修复技术

河流是城市的生命线,关乎人民的幸福感,受污染河流的治理技术一般可分为物理方法、化学

方法及生物方法^[29]。

物理方法主要有垃圾处理、底泥疏浚、截污分流。对于一般河道来说,安装过滤网,将河道表面塑料垃圾拦截收集起来,能够有效增加河道中氧气,增加水生物生存空间。安排船只专人清理河底淤泥,疏通河道,增加河道流量。针对水中悬浮物、颗粒物,设置分级沉淀池的方式,进行分离。企业增加除污设备,达标后排放,建立污水管网,将工业、城市废水收集起来统一处理。物理方法简单便捷,针对不溶于水的污染物能够进行清除,但溶于水的污染物难以处理^[30]。

化学方法是通过向河流中喷洒相应的化学试剂,使其产生化学反应,进而转化、分解、沉淀水中的污染物,除去有害物质,改善水生环境。河道受到污染或营养物质过剩,会产生大量藻类,遮挡河面,消耗水中氧气,致使水生生物死亡,进而加剧河道污染。利用化学试剂,如高锰酸钾、硫酸铜可以除去水中藻类,进而喷洒凝絮沉淀剂,使其凝结物理除去。部分高污染工厂排放未处理的废水,重金属沉淀在河道底部,加入碱性物质,将重金属离子转化为难溶沉淀物除去。化学除污法具有见效快、除污彻底等优点,针对河道中不同的污染物,采用相应的化学试剂除去,但是对水体污染检测,方案实施要求较高,若使用不当会造成河流二次污染,因此,在河道应急治理中出现次数较多^[31]。

生物方法主要利用生物的吸附、分解功能,去除水中污染物。植物修复法主要被用来治理重金属污染、河道中营养物质过剩、污染水体问题,通过种植水生生物、沉水植物,利用植物根部吸收水中重金属离子、营养物质,以此达到净化河道的目的。微生物具有繁殖速度快、吸附能力强的特点,可以用来除去水体中的有机物质,成本较低,但需要注意投放的微生物种类及数量,以防止二次污染^[32]。

4 结论

目前,我国山水林田湖草系统治理已初见成效,人们生活幸福感也日益增加,但综合生态修复研究发展过程中也存在一些问题,需要我们关注。

应加快生态保护修复标准体系建设,建立生态保护修复标准化工作专门机构,这不仅能够指导综合生态修复工程的实施,而且还可以使各部门明确生态保护与修复工作的职责与范围^[33]。

生态修复工作具有明显的公益性、盈利较低、项目风险高等特征。当前我国市场化投入机制不够健

全,应建立健全社会资本引进机制,加大政府与市场的多元化投入^[34]。

对生态修复的系统性和整体性认识不够,部分地区仍是“头痛医头,脚痛医脚”,工程独立施工,综合生态修复各要素不能组合起来,这表明生态修复保护整体性、系统性规划不够合理,要加强对国土空间规划的总体统筹和科学合理的系统性规划和整体性空间部署,以此达到国土空间整体功能的提升的目的^[35]。

目前,关于生态修复领域的法律法规不够完善,在治理环境污染时,政府直接负责,而污染企业仅作为参与者,治理积极性不高。因此对不同主体要明确责任划分,加强山水林田湖草法治保障建设,建立相应的生态修复管理与规划评价制度,借鉴国外相关生态修复法律法规,坚持生态优先、绿色发展的理念^[36]。

参考文献

- [1] Harris J A, Hobbs R J, Higgs E, et al. Ecological Restoration and Global Climate Change [J]. *Restoration Ecology*, 2006, 14(2): 170-176.
- [2] Liu M, Li S, Yue J. Research on ecological restoration strategies of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses in Mount Tai [J]. *Academic Journal of Environment & Earth Science*, 2022, 4(8): 30-34.
- [3] Adil E S, Chirakkuzhyil A P. Need of transdisciplinary research for accelerating land restoration during the UN Decade on Ecosystem Restoration [J]. *Restoration Ecology*, 2021, 29(8): 13531.
- [4] 王丙晖,康蒙,金美英,等.山水林田湖草生态保护修复工程研究[J]. *工业安全与环保*, 2022, 48(7): 84-86.
- [5] 龚维斌. 百年以来党领导生态文明建设的成就和经验[J]. *行政管理改革*, 2021, (10): 4-11.
- [6] 洪勇刚. 打造生态保护与修复综合治理新样本[N], 2021-07-08.
- [7] 成金华,尤喆. “山水林田湖草是生命共同体”原则的科学内涵与实践路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(2): 1-6.
- [8] 张宗祜,袁道先. 我国跨世纪的重大地学问题——环境地学发展前景[J]. *电子科技大学学报*, 1995, (5): 60-69.
- [9] 刘兴土. 我国湿地的主要生态问题及治理对策[J]. *湿地科学与管理*, 2007, 6(1): 18-22.
- [10] 张进德,田磊,张德强,等. 矿产资源开发与矿山环境保护战略研究[J]. *环境与可持续发展*, 2013, 38(6): 53-55.
- [11] 赵慧颖. 呼伦贝尔草原沙化现状及防治对策[J]. *草业学报*, 2007, 68(3): 114-119.
- [12] 江露露,曹光明,李越,等. 基于生态环境地质的特征与破坏成因研究[J]. *世界有色金属*, 2020, (24): 206-207.
- [13] 陈义飞. 巢湖流域山水林田湖草一体化保护和修复研究[J]. *山东化工*, 2021, 50(11): 260-261.

- [14] Khalid S, Shahid M, Niazi N K, et al.. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2016, (182): 247-268.
- [15] 简彦涛,齐劭乾,靳潇锐,等. 国内重金属污染土壤修复技术研究进展[J]. *中国金属通报*, 2022, (3): 176-178.
- [16] 秦端端. 土壤重金属吸附材料的筛选及机理探讨[D]. 扬州大学, 2017.
- [17] 徐国栋. 纳米气泡对空心莲子草修复镉污染水体的影响机制[D]. 山东建筑大学, 2022.
- [18] 杨刚. 钢渣用于 Ni/Pb 污染土壤原位固化稳定化修复的研究[D]. 西安建筑科技大学, 2020.
- [19] 刘军,刘春生,纪洋,等. 土壤动物修复技术作用的机理及展望[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2009, 40(2): 313-316.
- [20] Guanyan L, Lijun Y, Xiangmeng C, et al. Phytoremediation of cadmium from soil, air and water[J]. *Chemosphere*, 2023, (320): 138058.
- [21] 顾卫,崔维佳,许映军,等. 工程创面生态恢复产业化问题初探[J]. *水利水电科技进展*, 2008, 28(6): 66-70.
- [22] 申剑,周明涛,田德智,等. 我国喷混植生护坡绿化技术浅析[J]. *人民长江*, 2020, 51(3): 61-64+80.
- [23] 古琛,贾志清,杜波波,等. 中国退化草地生态修复措施综述与展望[J]. *生态环境学报*, 2022, 31(7): 1465-1475.
- [24] 汪海波. 长期围栏封育对三江源区人工草地植被群落的影响[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2022, 52(5): 34-38.
- [25] 铁生年,姜雄,汪长安. 化学固沙材料研究进展[J]. *材料导报*, 2013, 27(5): 71-75.
- [26] 蔡琳,杨予静,种玉洁,等. 亚热带退化森林不同恢复方式对土壤团聚体胶结物质及稳定性的影响[J]. *生态学报*, 2023, (9): 1-10.
- [27] Gann G D, Mcdonald T, Walder B, et al.. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition[J]. *Restoration Ecology*, 2019, 27(s1): 1-46.
- [28] Rodrigues R R, Gandolfi S, Nave A G, et al.. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil[J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 261(10): 1605-1613.
- [29] 李宝磊,刘舒,曾乐,等. 我国污染河流治理与修复技术现状[J]. *科技创新与应用*, 2020, (1): 137-138.
- [30] 李渭印. 流域污染现状及治理措施研究[J]. *广东化工*, 2021, 48(11): 103-104.
- [31] 马堂文. 河道整治中的水污染治理方法[J]. *现代盐化工*, 2021, 48(6): 81-82.
- [32] 潘嘉立. 对城市河流水污染综合治理方法的分析[J]. *环境与发展*, 2019, 31(5): 42+44.
- [33] 李红举,宇振荣,梁军,等. 统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8771-8779.
- [34] 侍昊,高虹,霍霄霄,等. 山水林田湖草生态保护修复江苏实践与思考[J]. *环境监控与预警*, 2022, 14(2): 85-90.
- [35] 许闯胜,刘伟,宋伟,等. 差异化开展国土空间生态修复的思考[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(2): 384-394.
- [36] 吴鹏. 生态修复法制初探——基于生态文明社会建设的需要[J]. *河北法学*, 2013, 31(5): 170-176.

作者简介: 许向宁(1971—),男,博士,教授级高工,主要研究方向为地质灾害防治与生态环境保护。E-mail: 450247363@qq.com