

Theory and Planning of Abandoned Mine
Land Restoration Oriented by Urban GI:
A Case Study of Xuzhou

城市GI引导下的采矿迹地生态恢复 理论与规划研究

——以徐州市为例

冯姗姗 常江 著

非外借

中国建筑工业出版社

城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复
理论与规划研究——以徐州市为例
Theory and Planning of Abandoned Mine
Land Restoration Oriented by Urban GI:
A Case Study of Xuzhou

冯姗姗 常江 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复理论与规划研究——以徐州市为例/冯姗姗, 常江著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-112-22759-4

I. ①城… II. ①冯… ②常… III. ①矿区-生态恢复-研究-徐州 IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 226039 号

本书围绕 GI 引导下的采矿迹地生态恢复, 从理论、方法、实证进行深入的研究: 基于景观生态学与恢复生态学学科融合的背景, 以城市景观生态恢复为核心思想, 从明确概念及内涵、设定生态恢复具体目标, 到开展生态恢复区划评价及制定分区恢复策略, 再到空间规划协调机制及实施保障策略的建立, 构建了 GI 引导下的采矿迹地生态恢复研究的基本理论体系。本书共 8 章, 包括第 1 章 绪论, 第 2 章 采矿迹地对城市发展的影响机理, 第 3 章 城市 GI 引导的采矿迹地生态恢复理论框架, 第 4 章 采矿迹地和 GI 的关联性分析, 第 5 章 城市 GI 引导的采矿迹地生态恢复评价模型设计, 第 6 章 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复空间规划协调框架, 第 7 章 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复规划的实施保障机制, 第 8 章 结论。

本书可供矿区生态恢复研究人员及相关高校师生参考使用。

责任编辑: 王华月
责任设计: 李志立
责任校对: 王 瑞

城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复 理论与规划研究——以徐州市为例

冯姗姗 常 江 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 10 $\frac{1}{4}$ 字数: 213 千字
2018 年 10 月第一版 2018 年 10 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-22759-4
(32877)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

前 言

我国疆域辽阔、资源总量丰富，但矿山开采在带动国民经济发展的同时伴随着大量采矿迹地的产生，对自然生态系统带来强烈破坏。东部平原地区煤炭城市的生态空间，面临着采矿活动及快速城市化带来的“双重压力”，城市绿色基础设施（GI）受到威胁，采矿迹地生态恢复成为城市 GI 重建的重要途径之一。

传统的采矿迹地生态恢复以项目为主导，局部生态恢复与城市整体生态功能提升结合不紧密，难以发挥出最大的生态效益。本书试图在城市 GI 与采矿迹地之间建立一种联系，将采矿迹地置于矿、城、乡统筹的生态空间背景中，以城市 GI 完善为目标对采矿迹地生态恢复时序及区划进行研究，构建适合于我国平原地区煤炭城市特征的、以优化城市 GI 系统为目标的采矿迹地生态恢复理论体系、方法模型、规划协调机制及保障体系，为实现科学、整体的采矿迹地生态恢复决策及城市生态空间规划提供依据。

本书将围绕 GI 引导下的采矿迹地生态恢复，从理论、方法、实证依次展开：

基于景观生态学与恢复生态学学科融合的背景，以城市景观生态恢复为核心思想，从明确概念及内涵、设定生态恢复目标，到开展生态恢复区划评价及制定分区恢复策略，再到空间规划协调机制及实施保障机制的建立，构建了 GI 引导下的采矿迹地生态恢复基本理论体系。

以徐州市为例，研究采矿迹地的空间分布及生态系统特征；同时通过对城市 GI 构成要素、布局特点的研究，表明煤炭城市 GI 受采矿活动和快速城市化的影响，出现城市生境破碎化、景观连通性减弱等问题。从生态系统服务功能视角，探讨采矿迹地与 GI 的功能关联性，证明采矿迹地具有完善城市 GI 的潜力。

基于 ArcGIS 平台，以完善城市 GI 为目标，从采矿迹地内部属性及外部结构两个层面，采用基于 PSR 方法的生态重要性评价及基于 Conefor Sensinode 2.6 的景观连接度评价，建立 GI 引导下采矿迹地生态恢复评价模型，计算得出采矿迹地完善 GI 的贡献度指数 (C_{gi})，并以此作为生态恢复区划的标准。

从规划目标、编制内容、管控范围等视角剖析我国煤炭城市“多规并存”空间规划体系，研究分析了采矿迹地规划管控“失效”的现象及原因，进而从法定规划、非法定规划以及专项规划三个层面入手，构建以促进城市 GI 完善的采矿迹地生态恢复空间规划协调机制。从政策法规、组织机构、资金来源和生态理念的视角，建立 GI 引导下采矿迹地生态恢复实施保障机制。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状与发展趋势	4
1.3 研究内容与方法	22
1.4 技术路线	23
第 2 章 采矿迹地对城市发展的影响机理	26
2.1 东部平原煤炭城市采矿迹地的形成机理	26
2.2 采矿迹地对城市发展的影响	33
2.3 采矿迹地生态恢复面临的困境及原因分析	36
2.4 本章小结	43
第 3 章 城市 GI 引导的采矿迹地生态恢复理论框架	44
3.1 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的理论基础	44
3.2 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的基本内涵	47
3.3 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的目标原则	51
3.4 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的研究尺度	54
3.5 城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的研究框架	55
3.6 本章小结	58
第 4 章 采矿迹地和 GI 的关联性分析	59
4.1 研究区采矿迹地与 GI 分布及特征	59
4.2 采矿迹地的生态潜力	68
4.3 采矿迹地与 GI 的空间关联性	71
4.4 采矿迹地与 GI 的功能关联性	73
4.5 本章小结	76
第 5 章 城市 GI 引导的采矿迹地生态恢复评价模型设计	78
5.1 技术路线及数据处理	78

5.2	内部：采矿迹地生态重要性评价模型·····	83
5.3	外部：采矿迹地维持景观连接度重要程度评价模型·····	96
5.4	城市 GI 引导下的采矿迹地的生态恢复区划评价模型·····	103
5.5	本章小结·····	111
第 6 章	城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复空间规划协调框架·····	112
6.1	我国空间规划对采矿迹地的作用机理·····	112
6.2	采矿迹地生态恢复“无规可依”的症结剖析·····	118
6.3	城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复的规划协调框架·····	124
6.4	本章小结·····	129
第 7 章	城市 GI 引导下的采矿迹地生态恢复规划的实施保障机制·····	130
7.1	政策法规体系化：城市 GI 引导下采矿迹地生态恢复的保障·····	130
7.2	组织机构协作化：城市 GI 引导下采矿迹地生态恢复的框架·····	134
7.3	公私投资融合化：城市 GI 引导下采矿迹地生态恢复的途径·····	138
7.4	生态理念优先化：城市 GI 引导下采矿迹地生态恢复的核心·····	142
7.5	本章小结·····	144
第 8 章	结论·····	145
8.1	研究结论·····	145
8.2	研究创新点·····	147
8.3	研究不足与展望·····	148
	参考文献·····	150

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 研究背景

(1) 东部平原地区煤炭城市生态空间面临着采矿及城镇化的双重威胁

跨越江苏、山东、安徽、河南四省的东部黄淮海平原含煤区，是我国东部能源战略的重要保障基地，为我国建设独立完整工业体系做出重大贡献，徐州、淮北、枣庄等具有百余年开采历史的重要煤炭城市皆分布其中。这一地区主要以井工开采为主，由于 20 世纪我国矿产资源经济利益导向下的持续粗放开采，缺乏生态保护和修复的理念和有效的规划指导及开采控制，导致这些煤炭城市出现大面积以沉陷区为主的采矿迹地，这些土地的土壤及水文结构遭到破坏，植被及生物生境不复存在，农田经济产出丧失，致使城市生态空间萎缩、生态结构被破坏、生物多样性降低，城市整体的生态功能及生态承载力薄弱，城市可持续发展的生态基础岌岌可危。

平原地区的煤炭城市不仅仅面临地形地貌彻底改变带来的生态挑战，而且快速城镇化也不断侵蚀城市生态空间。东部平原地区是全国城镇化发展快速地区，尽管煤炭城市空间结构分散、土地利用粗放，这些城市在城镇化的热潮中同样表现出“积极”姿态，不断寻求城市扩张途径，大部分城市建设用地的指标增长趋势惊人，高资源、高消耗下的城市扩张不断蚕食着生态空间，急功近利的转型动机使得景观资源和城市发展的自然生态本底遭到进一步蚕食和破坏^[1]，煤炭城市生态空间面临“城与矿”的双重威胁，城市周边土地严重浪费，新区建设中也 不乏频繁上演着“空城计”。

在此背景下，生态文明建设及生态空间重建是破解煤炭城市可持续发展难题的必由之路。尤其是城市发展的基本生态空间必须进行优先保护和恢复，在最新发布《全国资源型城市可持续发展规划（2013~2020 年）》中，明确提出“结合工矿废弃地整理，建立总量适宜、景观优美的城市绿地和景观系统，走一条发展中保护、保护中发展的可持续之路”。因此，如何针对煤炭城市建立城市背景

的区域环境保护和修复机制,重构城市的基本生态空间、维护城市生态系统的稳定性及完整性,是未来研究和实践的重要方向。

(2) 采矿迹地生态重建是煤炭城市生态空间建设的重要课题之一

东部平原地区的采矿迹地位于高潜水位区域,形成大面积的沉陷积水,具有较高的生态潜力,是煤炭城市生态空间重塑的关键要素。大量研究证明,采矿迹地已经被证明具有一定的自我生态重建能力和稀有物种生存潜力^[2-3],修复为林地、湿地、水体后的采矿迹地更有利于促进生物多样和生态演替^[4]。这些受损生态空间由于长期以来未进行治理和未被干扰的自由发展,形成了新的具有较高生态价值的核心区域,为许多在其他地区生存受到威胁的物种提供了生存庇护所^[5]。同时采矿迹地为城市空间扩展提供了“缓冲”空间,塌陷形成的大面积水域或湿地可以作为城市的绿色斑块或廊道,重新连接分散的绿色基质,在一定程度上控制了城市的无限蔓延,为未来城市内部创造游憩空间提供可能性。

因此,采矿迹地为重构城乡生态网络提供了契机,这类土地生态修复后是补充与提升城市生态网络系统、改善水土质量及特殊栖息地保护的珍贵资源。《国家新型城镇化规划(2014~2020年)》也提出“闲置、污染及生态受损土地”向“生态用地”转变对于健康城镇化的积极作用,其中第十八章第一节提出:“合理划定生态保护红线,扩大城市生态空间,增加森林、湖泊、湿地面积,将农村废弃地、其他污染土地、工矿用地转化为生态用地,在城镇化地区合理建设绿色生态廊道”。采矿迹地向生态用地的转变,不仅仅意味着土地用途向生态用地的改变,而是强调如何进行整体的布设功能并确定恢复时序,从而达到城市生态空间结构优化的目的,促使城市生态系统服务功能最大化的发挥。

(3) 项目主导的采矿迹地治理忽视城市整体生态功能的恢复

任何生态空间的研究与管理、保护与恢复都需要一种整体性的方法,因此要实现城市生态空间功能的整体提升,必须将采矿迹地置于一个矿城乡融合的景观界面,进行从局部到整体的综合生态重建研究。在我国,如何将“土地复垦”的单一目标向“区域生态重建”综合目标转换是我国土地复垦理论界一直探讨的问题^[6-7],但目前我国采矿迹地土地复垦仍以项目为主导,土地复垦专项规划以数量调控为主,围绕新增耕地和复垦调整利用挂钩的具体指标来确定复垦区域,缺乏科学的景观生态评价以及空间管控,存在“重局部、轻整体”和“重指标、轻生态”的现象。

首先,目前采矿迹地生态修复从属于国土资源部门的土地整理与复垦工作,多以“孤立”的单一地点或单一生态系统所采取的工程措施为主,对周边环境背景考虑较少,忽视地块自然演替能力及其在整个景观体系中的生态位和生态功能,均不能有针对性的解决区域尺度的自然生态问题^[8]。因缺乏系统及整体生

态观念进行生态重建导致的问题众多,如刚建成不久的塌陷湖区公园出现了再次沉陷和二次污染现象;由于对区域水文条件的信息缺失,复垦后的鱼塘在枯水期出现无水现象;已经复垦为高质量农田的塌陷区域在短期内又重新规划为旅游景区。

其次,采矿迹地的生态重建也多受限于我国空间规划的“经济”导向,并没有真正从生态学的角度对其进行恢复和再利用。采矿迹地的生态价值并没有得到重视,各级规划的生态敏感度及生态指向缺失,景观规划缺位,我国耕地保护政策要求大部分采矿迹地复垦为农用地,在《土地复垦条例》第一章第四条中明确指出:“复垦的土地应当优先用于农业”。土地复垦和生态重建主要依赖数量或者用近期经济效益衡量,对长期的经济效益和生态环境效益重视不够^[9]。此外,“城乡建设用地增减挂钩”等政策鼓励将偏远地区废弃工矿建设用地复垦为农业,置换城市建设用地占用耕地指标。从某种程度上,土地饥渴症下的地方政府通过采矿迹地复垦“造地”已成为媒体争议的焦点,这又一次体现了政府追逐经济利益导向下催生的复垦模式。

由上可知,要实现煤炭城市生态空间的整体生态功能最大化,必须改变项目为主导、指标为控制的采矿迹地生态恢复机制,于是作者思考,是否可以尝试一种以整体(绿色基础设施)思维来指导局部(采矿迹地)工作的研究方法,因此“城市GI引导下的采矿迹地生态重建”的理念应运而生。而将两者联系起来确定该课题,还源于作者在德国留学期间的所见所闻。2011~2012年笔者在德国柏林工业大学景观与环境规划学院进行交流期间,感受到德国在矿区环境治理方面的丰富经验,表现在国家到地方完善的自然保护政策框架,不同层级严密的景观规划体系和环评制度等方面。调研中也发现在德国采矿迹地生态重建中,始终将生态系统服务功能恢复、生物多样性保护置于非常重要地位。而我国在采矿迹地生态恢复实践中更多侧重于土地复垦及可供利用状态的恢复,生态恢复研究与实践脱节,因此考虑是否可以从景观生态学视角重新审视我国的采矿迹地生态重建问题。同年作者在德国莱布尼茨生态城市与区域发展研究所访谈时,有幸了解了景观生态学下的GI概念,发现GI作为区域内相互连通的基本生态网络,其概念及规划方法是协同解决采矿迹地生态恢复和煤炭城市生态空间重建的有效平台,“城市GI引导”为东部平原地区采矿迹地生态恢复提供了一种区域的视角和新的思维方式。

1.1.2 研究目的及意义

(1) 研究目的

本书研究的中心目的在于讨论如何实现煤炭城市GI优化整体目标对采矿迹地生态恢复的引导作用,以及实现该目标的空间规划协调框架。该目标具体分解

为对以下三个问题的解答：

1) 如何认知采矿迹地与 GI 的关系。

认识采矿迹地与 GI 的关系，是构建 GI 引导下采矿迹地生态恢复理论及方法体系的基础。本书将从生态结构和功能两方面，论证二者之间整体与局部的关系，即采矿迹地是补充及优化 GI 的重要资源，GI 是提高大尺度采矿迹地生态恢复效率的整体框架。

2) 如何实现“GI 引导”对于采矿迹地生态恢复在空间上的统筹安排。

本书认为，传统偏重经济导向的采矿迹地生态恢复方式对于城市整体生态功能提升作用有限，如果在生态优先的“GI”框架下，对采矿迹地生态恢复的优先级和区划管制策略做出科学判断，可以促进城市走向可持续发展道路。

3) 如何通过空间规划工具实现以上目标。

空间规划是实现 GI 引导下采矿迹地生态恢复的关键途径。本书以我国空间规划体系现状为背景，从法定空间规划、景观生态规划、土地复垦规划等专项规划三个层面入手，讨论新思路下规划体系调整和协同的新要求，建立矿、城、乡融合的多规协调机制。

(2) 研究意义

本研究将 GI 理念和方法运用到采矿迹地的生态修复研究中，建立城市 GI 引导下采矿迹地的生态潜力评价模型，明确其在城乡区域背景下的恢复时序和恢复分区，并通过建立规划协调框架，将其融入现有城乡空间规划体系中。本研究的结果具有重要理论及实践意义：

1) 丰富大尺度采矿迹地生态恢复的理论研究体系；

2) 有效补充非建设用地生态保护的相关研究；

3) 为煤炭城市总体规划、土地利用规划、土地复垦专项规划的协调提供科学构想；

4) 为规划师及政府决策提供一种生态导向的土地更新方法和思路。

1.2 国内外研究现状与发展趋势

1.2.1 相关概念

(1) 采矿迹地

“采矿迹地”的概念最早出现在龙花楼于 1997 年发表的《采矿迹地景观生态重建的理论与实践》一文，随后陈志彪（2002）、常江（2005）、李富平（2010）、闫德民（2013）等学者运用了这一概念进行了矿区景观恢复的相关研究^[5,10-12]。但这些学者对采矿迹地并未提出明确的定义，大都从景观生态学的角度出发，认

为采矿迹地是景观结构和功能受到采矿活动影响而变化的区域。事实上,与这一概念相似的,还有被大量使用的“矿业废弃地”一词,矿业废弃地强调土地经济效益的丧失,是从人类的角度将其定义为“废弃”土地的,大多学者都遵循蓝崇钰最早提出的定义:“因采矿活动所破坏和占用的,经治理而无法使用的土地”^[13-14];少数学者从生态角度,将其定义为:“采矿及其相关活动形成的、生态系统结构和功能已全部或部分丧失的非经治理而无法恢复的区域”^[15]。

尽管如此,作者更倾向重新使用“采矿迹地”这一概念,它相比“矿业废弃地”更加宽泛及清晰,解决难以界定土地是否“废弃”的问题。作者将“采矿迹地”定义为:“一切受到采矿活动影响、景观结构和功能受损的区域,包括位于矿业城镇内、周边以及乡村地区的,由于正在进行或已停止的采矿活动导致损毁、塌陷、压占进而闲置或低效利用的土地、水体及其周边流域”。

该定义强调只要是因采矿而引发的生态受损区域都可以称为采矿迹地,其主要类型包括①露天采矿形成的地表损毁土地;②井下开采造成的地表沉陷土地;③堆放采矿剥离物、废石、矿渣、粉煤灰等固体废弃物压占的土地;④工业广场等生产建设活动占用损毁的土地,从空间分布上看,既涉及城市建设用地,也包括农业用地等非建设用地。从使用状态来看,既包括闲置废弃矿业用地,也包括仍在惨淡经营的老矿区,从土地规模上看,既可以是大面积的采矿作业区及塌陷区,达到上千公顷,也可能是小片的工业用地、办公生活区。本课题的研究对象为煤炭城市的采矿迹地,因此主要围绕因煤炭开采而造成的采煤沉陷地、煤矸石压占地、煤炭企业用地等展开研究,尚不包括其他类型矿产引发的采矿迹地。

(2) 绿色基础设施 (GI)

GI目前仍是一个颇具争议①、炙手可热②的概念^[16],不同学科背景、不同国家对GI的内涵、层次、研究内容具有差异,尚未有广泛认可的界定。

总体而言GI具有两种显著不同的含义,一个理解是指“灰色基础设施的生态化”,为了响应《美国清洁水法》(Clean Water Act)的颁布,解决城市雨水径流对水质影响问题^[17],美国环境保护署(EPA)将GI定义为:“通过自然系统或模拟自然系统的地方雨水径流管理设计,包括绿色屋顶、植被、雨水公园、集雨设施、生态调节沟、人工湿地、透水道路”。除了美国,加拿大的GI不仅仅指给排水和洪涝灾害预防等城市径流问题,而且还包括用生态化手段减缓或补

① 作者在《英国饱受争议的GI概念的发展历程》中证明,GI像是“可持续发展”(sustainable development)一样是个模棱两可的概念,同时对概念模糊产生的原因进行阐述,认为概念的模糊是GI发展的必经阶段。

② 美国景观设计师协会(ASLA)以及国际景观设计师协会(IFLA)分别于2008、2009年将其作为大会主题,英国景观设计协会也于2009年发表立场声明强调GI的诸多效益以及在应对各种挑战时的重要作用^[19]。

偿道路工程、能源设施等灰色基础设施给环境带来的影响^[18]，即实现传统基础设施的生态化及绿色设计。

另一角度理解的 GI，本质上不是一个全新的理念，具有悠久的理论沉淀，其延续“绿道”（Greenway）、“绿带”（Greenbelt）、“生态网络”（Ecological

network）、“生态安全格局”（ecological security pattern）等自然保护概念而来（图 1-1），从最初的一个战略概念到目前与规划体系融合并落实，经历了十几年的迅速发展。根据 Firehock (2010)，这个含义的 GI 最早出现在 1994 年“佛罗里达州绿道委员会”提出的土地保护策略报告中，其意图强调自然土地和生态系统像“灰色基础设施”一样重要^[20]。随后 1999 年 5 月美国总统可持续发展委员会在《可持续发展的美国：争取 21 世纪繁荣、机遇和健康环境的共识》报告中，指出 GI 是“一种积极寻求理解和平衡，评价自然资源系统不同的生态、社会和经济功能，指导可持续土地利用和开发模式，保护生态系统的战略措施”^[21]。GI 最早被认可的定义于 1999 年在美国提出。在人地矛盾突出、城市化进程急剧加速的背景下，美国自然保护基金会和美国农业部林业局共同组建联合小组，将 GI 定义为：“绿色基础设施是美国自然生命支持系统，由水道、湿地、林地、野生动物栖息地及其他自然区域；绿道、公园及其他保育场所；工作农场、牧场及森林；荒地以及其



图 1-1 GI 理念发展时间轴

(图片来源：作者自绘)

他支持本土物种、保持自然生态进程、涵养大气和水资源，并对美国社区及人们身心健康和生活方式有贡献的开敞空间”^[22]。同样在欧盟，GI被认为是一种具有高质量绿色空间及环境特征的、战略性的生态网络（A strategically planned and delivered network），在欧盟 Natura 2000 中受到保护区域都被列入 GI 的核心区内。总之在欧美国家，GI 已经成为自然保护的一类相当重要的政策及空间实体。

GI 的以上两个含义迥然不同，但也有学者试图通过“景观途径”将这两个内涵统一起来，一些文献中的 GI 既包括微观的雨水处理系统，也包括绿色空间网^③^[17,23-25]。

不论这种争议如何激烈，作者认为，这种争议是 GI 概念发展的必然路径，GI 的两种含义都是城市可持续发展的重要内容。但在本研究中，作者从土地利用和规划实施角度，采用较为狭义的 GI 概念，即认为 GI 是保证城乡可持续发展的最基本的连续的生态空间网络。将其定义为：“GI 是一切自然、半自然区域，城市及乡村的绿地空间，陆地、淡水及海洋上一切促进生态系统健康发展、丰富生物多样性、惠及人类社区的生态空间网络”^[26]。该概念强调人工与自然并存、城市和乡村融合、陆地和水域并行、生物和人类共赢，实现保护自然生态系统与为人类提供多种效益的双重目标。作者界定的 GI 强调两点本质：①GI 是网络化的连续生态空间；②GI 是最基础的“生命支撑系统”。

景观生态学为 GI 提供了“落实”生态空间实体的新思路和新途径。目前学者公认的是，GI 是由斑块（Core area）、廊道（Corridor）、缓冲区（Buffer）及踏脚石（Stepping stone）组成的天然与人工化的绿色空间网络（图 1-2）。GI 具有不同于传统概念的更多特征，包括系统性（systematicness）、多功能性（multi-function）、连接性（connectivity）、弹性（resilience）、前置性（preposition）、等级性（priority）。

（3）生态恢复

1975 年美国弗吉尼亚召开的“受损生态系统恢复”的国际会议拉开了恢复生态学的序幕，因此生态恢复成为自 20 世纪 80 年代以来生态学领域最活跃的关键行动之一。进入 21 世纪，由于国内外社会及研究界对地球生态环境退化和健康的关注，使得生态恢复的研究又向前迈进了一步^[28]，矿区生态恢复是其中重要内容，1996 年在美国召开的恢复生态学国际会议的主要议题便是矿区废弃地的生态恢复。

生态恢复（Restoration）的概念同 GI 一样，自产生以来经历了众多次的重

③ 如 Schneekloth（2003）认为城市 GI 由城市中可以发挥调节空气质量、水质、微气候以及管理能量资源等作用的自然及人工系统和元素组成，本质上是指城市系统所依赖的生态基础部分^[27]。

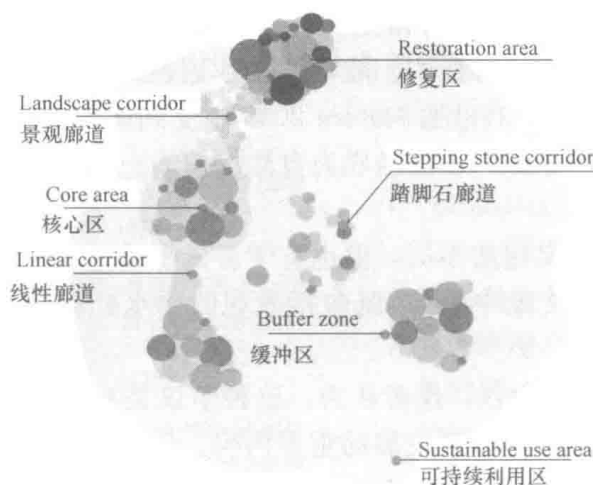


图 1-2 GI 的基本结构

(图片来源：作者改绘)

新定义和概念界定。其中最早给出定义的是恢复生态学的先驱人物 Bradshaw，他认为“Restoration 是一种提高受损土地质量或等级，恢复受破坏土地的使用价值，且使其处于生物潜势被恢复状态的行为”^[29]。随后各国学者对 restoration 概念展开不同见解和激烈讨论，目前被广泛接受的为国际生态重建学会于 2002 年的最近一次定义：“生态重建是协助一个遭到退化、损伤或破坏的生态系统恢复的过程”。这里的“恢复过程”是一个实现生态整体性的修复与管理过程，包括恢复区域的生物多样性、生态过程与结构、实现生态动态平衡，建立与周边自然环境和谐的生态系统等。

在国内，生态恢复同土地复垦 (Reclamation)、生态修复 (Remediation)、生态复原 (Rehabilitation)、再植 (Revegetation) 等概念一起活跃于生态恢复研究领域。这些概念大致相似，但其内涵略有不同，国内有学者对于这几个概念进行了科学的辨析和界定^[28,30-31]，尤其与目前矿区环境治理中常用的“土地复垦”概念相比较，认为生态恢复具有最为综合的科学含义和技术，涵盖了矿坑回填、矿区土地平整、露天矿表土覆盖、种植与植被再植等土地复垦内容^[32]。我国的土地复垦内涵与目标正向“生态恢复及重建”进行扩展，从过去只重视复垦的数量、农业目标的土地整治工程，扩展为综合考虑生物多样性、自我持续性与生态演替、社会经济生态效益的生态系统重建。

因此，作者认为“生态恢复”强调生态结构和功能的共同恢复，亦强调人与自然的共生，城市 GI 引导下的生态恢复是从区域视角对采矿迹地的审视，对于煤炭城市空间的可持续发展起到重要作用。

1.2.2 采矿迹地生态恢复研究进展

(1) 国外研究及实践进展

采矿迹地的生态恢复研究是恢复生态学研究的一个重要分支。恢复生态学亦是一门新兴学科,其概念于1973年美国弗吉尼亚理工大学举办的“受损生态系统恢复”国际会议上提出,学术界普遍认为,1980年Bradshaw及Chdwick合著的《The restoration of land, the ecology and reclamation of derelict and degraded land》一书的出版和1993年《restoration ecology》杂志的创刊,标志着恢复生态学从雏形走向成熟,至此恢复生态学在自然保护与开发中起重要的桥梁作用^[34]。

美国、联邦德国、加拿大等发达国家很早就意识到煤矿开采对环境造成的严重危害及其引发的社会矛盾,对于采矿迹地生态恢复的实际工作在19世纪末已经展开,人们开始试验性地植树、造林,国家层面先后制定矿区生态恢复和土地复垦方面的法律法规,采取各种措施防止土地荒芜和矿区经济的滑坡^[35]。而大规模的矿区生态恢复工程于20世纪中期展开,且主要集中在农业、林业复垦方面,实际上还是属于土地平整、土壤环境修复的范畴。

然而生态恢复不仅是植树种草^[36-37],自从20世纪70年代开始,受到可持续发展思想的影响,各界生态保护意识崛起,生态恢复目标开始从修复土壤环境和生产力层面的复垦工作,上升到了恢复与重建生态系统、保证系统自我持续性的层面,即在人为辅助的控制下,关注生物多样性恢复,利用群落演替和自我恢复能力,使受损生态系统恢复到接近于它受扰动前的自然状态^[38]。目前,这些国家由于拥有完整的矿山环境影响评价和土地复垦法律制度体系,因此新开垦的矿山复垦率接近100%,对于历史遗留的采矿迹地,政府协同大量民间机构、社区民众及其他利益团体一直进行着不懈的努力,复垦率不断升高^[39]。

美国的采矿迹地土地复垦及生态恢复工作一直走在世界前列。美国的煤矿主要以露天煤矿为主,早在1918年,美国就在印第安纳州某矿区的矸石山上进行了植被恢复试验。20世纪30年代开始,美国26个州先后制定了露天煤矿土地复垦和生态恢复相关规定,最终在1977年8月份通过并颁布了第一部全国性的土地复垦法,即《露天采矿管理与土地复垦法》(Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977, SMCRA),使美国的土地复垦工作走上了正常的法制轨道,明确规定必须将遭到损害的生态系统资源恢复至开采前状态,法律颁布后出现的采矿迹地一律实行“谁破坏、谁复垦”,采取边开采边复垦的模式^[38]。1994年7月29日美国内政部部长发布公告,纪念《露天采矿管理与土地复垦法》颁布17周年,总结美国土地复垦与生态恢复取得的成就,表明土地复垦不仅仅是恢复土地的使用价值,更重要的是保护生态环境,实现可持续发展^[40]。

采矿迹地的景观生态重建是德国长期追求的目标。德国同美国相似,矿区生态恢复始于 20 世纪 20 年代,大规模土地复垦在 20 世纪 60~80 年代全面展开,已经从最初的植树、绿化到多功能复垦区域的建立,经历了由简单到综合,由幼稚到成熟的过程^[41]。主要的采矿迹地生态恢复理论包括:①以经济利用为主的矿区土地复垦理论与实践,主要集中于农、林复垦地表土层的重构及生产力的提高、受开采破坏的地表水及地下水的整体治理等;②以景观构造为主的理论与实践,强调以公园、露宿营地、体育场、自然教育用地等休闲场所的建立,重塑地面景观,关注人类需求与生态恢复的融合,在德国鲁尔矿区及劳其茨矿区,休闲开敞空间已经成为采矿迹地生态恢复的重要功能之一;③以可持续发展思想主导的研究与实践,德国在采矿前后生物资源的调查、采矿活动环境影响评价及补偿措施、基于不同层级景观规划的生态恢复规划等方面的工作较为成熟,特别强调的是,德国完整而严密的空间规划体系是其能够实现生态环境保护和恢复的最有效的手段^[42]。

纵观各国采矿迹地生态恢复的研究及实践历程(表 1-1),可以总结出以下共性特征:

① 采矿迹地生态恢复目标不限于农、林等某一类土地功能,而以区域生态系统重建为目标;

② 采矿迹地相关法律法规的严密性及其执行的有效性,保证责任清晰;

③ 空间规划体系对于采矿迹地生态恢复的起到关键作用;

④ 重视采矿迹地生态恢复过程中公众参与,强调自然、社会、经济协同发展。

国外土地复垦研究与实践进展

表 1-1

(表格来源:参考文献 [43] 绘制)

阶段	理论	技术	复垦目标	特点
第二次世界大战以前	认识到土地复垦的重要性,提出土地复垦	废弃物简单处理,污染地覆土	农业为主	少量零散的工作、研究
二战后至 20 世纪 70 年代初	提出土地复垦概念及在复垦作物选择上开始相关研究,法律法规开始出现	土地平整,裂缝填充,植树种草	农业、林业等以经济利用为主	各国开始重视土地复垦,开始了相关科学试验研究及小范围的土地复垦工作
20 世纪 70 年代至 80 年代末	各国陆续出台了相关的法律法规,土地复垦理论体系初步建立	回填、土壤重构,修筑相关农地设施,鱼塘设施	农业、林业、渔业、牧业、旅游业,因地制宜以景观构造为主	理论研究活跃起来,土地复垦工作逐渐步入正轨,大规模地开展

续表

阶段	理论	技术	复垦目标	特点
20世纪90年代以来	法律法规逐渐健全,理论体系完善	生物技术、化学技术及计算机、GIS、RS、GPS等科学技术	林地、草地、湿地等以生态复垦、可持续发展为导向	注重矿区可持续发展,以生态复垦为主,并大范围使用高科技技术

(2) 国内研究及实践进展

相对而言,我国采矿迹地生态恢复的研究和立法于20世纪80年代才得到重视,主要围绕“农业复垦利用”展开,研究对象单一,利用方式简单,但已逐渐从自发、零散状态转变为有目的、有组织、有计划、有步骤的复垦阶段^[44]。1989年生效实施的《土地复垦规定》提出“谁破坏,谁恢复”的原则,标志着我国采矿迹地生态恢复工作进入有法可依的新阶段,1998年国家颁布《土地管理法》,并在2001年开始实施“国家投资开发整理项目”。2006年我国采矿迹地生态恢复工作追溯到开采破坏源头,将“土地复垦方案”强制性纳入开采许可、用地审批程序中。2011年2月22日由国务院发布的《土地复垦条例》,标志着我国土地复垦工作向法制化、规范化道路迈进了一大步。

进入21世纪以后,采矿迹地生态恢复的研究及工程实践取得长足发展。山西平朔安太堡露天矿、安徽及两淮流域的徐州、济宁、淮北等大型矿区先后展开土地复垦及生态恢复实践项目,使得这些地区复垦率显著提高。但同时由于采矿迹地的损毁及生态监测、诊断及预警技术不足、基础资料缺失等方面问题,加之管理机构的交叉、空间规划的不完善,许多项目的法规执行力度和生态修复效果还存在问题^[45-46]。与发达国家相比较,我国采矿迹地的生态恢复实践之路仍任重道远。

近20年,采矿迹地的生态恢复科研人才培养队伍也逐渐壮大,高素质的科研团队使得我国土地复垦理论在短时间内取得了丰硕的成果,不同学科的交叉促进了研究的多角度开展,如,采矿迹地生态重建的基础理论及方法、生态恢复制度、法律及政策、采矿迹地生态现状及生态损害评价、生态恢复相关规划、包括土壤改良、植被恢复在内的生态恢复技术手段、采矿迹地生态恢复过程监测与效益评价、特殊地域或开采条件下的采矿迹地生态恢复等。从以下各方面审视国内相关研究进展及演变趋势:

1) 理论:从土壤改良、植被恢复、地形重塑到区域生态重建

土壤改良与植被恢复、地形地貌恢复等是采矿迹地生态恢复最为传统而核心的研究内容。进入21世纪后这些方向得到了长足的发展,我国在矿区退化土壤的物理和化学修复、矿区污染土壤的植物-微生物及动物协同修复等方面有了一