

“十一五”国家科技支撑计划 “村镇退化废弃地恢复关键技术开发”

(项目编号: 2006BAJ05A08)

国家科技支撑计划 “城市废弃工矿区土地再利用技术研究”

(项目编号: 2006BAJ14B07)

新世纪优秀人才支持计划资助 (NCET-07-0805)

基于煤矿区复垦的 水土资源优化利用研究

渠俊峰 李 钢 张绍良 著



*Jiyu Meikuangqu
Fukun De
Shuitu Ziyuan
Youhua Liyong
Yanjiu*

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

技支撑计划“村镇退化废弃地恢复关键技术开发”

(项目编号:2006BAJ05A08)

“十一五”国家科技支撑计划“城市废弃工矿区土地再利用技术研究”

(项目编号:2006BAJ14B07)

新世纪优秀人才支持计划资助(NCET-07-0805)

基于煤矿区复垦的水土资源优化利用研究

渠俊峰 李 钢 张绍良 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书借鉴了煤矿区复垦已有的研究成果,结合复垦内涵不断地发展,运用了土地经济学、区域规划学、土壤学、水利学、环境科学、开采沉陷学、自然地理学等原理和方法,并对煤矿区水土资源的扰动实地调查、观测、系统分析,基于煤矿区复垦对水土资源时空配置和优化利用等进行了研究。本书选择徐州有关煤矿区作为典型研究对象进行研究,阐述了煤矿开采沉陷对煤矿区水资源的分布扰动和土地生产力、产出率下降的原因,揭示了煤矿区水资源天然循环受采煤扰动后的演变规律。作者根据系统原理和可持续发展的理念,以煤矿区所在的小流域为研究背景,以实现煤矿区生态环境和社会经济的协调发展为最终复垦目标,提出水土资源配置型复垦的理论与方法,阐述了水土资源配置型复垦理论依据、实践基础、理论内涵、理论框架等,从水土资源的优化配置和高效利用角度拓展了复垦的内涵,通过煤矿区水资源的调控、分配、利用等提高煤矿区的复垦质量,并根据系统耦合原理,提出了煤矿区复垦的生态环境和社会经济评价方法,对水土资源配置型复垦后的煤矿区进行生态环境和社会经济系统耦合评价,评价煤矿区复垦的综合效益,为煤矿区复垦评价提供了新的思路。

图书在版编目(CIP)数据

基于煤矿区复垦的水土资源优化利用研究/渠俊峰,

李钢,张绍良著. — 徐州:中国矿业大学出版社,

2010.11

ISBN 978-7-5646-0875-0

I. ①基… II. ①渠…②李…③张… III. ①煤矿—
矿区—复土造田—资源利用—研究—中国 IV. ①TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 219486 号

书 名 基于煤矿区复垦的水土资源优化利用研究

著 者 渠俊峰 李 钢 张绍良

责任编辑 孙 浩 齐 畅

责任校对 徐 玮

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail:** cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 **印张** 10.5 **字数** 200 千字

版次印次 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤炭资源为我国社会经济的高速发展提供了强有力的驱动,但同时煤炭开采也对矿区的水土资源的时空分布产生了损毁与扰动,改变了水资源的天然循环条件和土地的产出条件,严重影响了煤矿所在区域的社会经济和生态环境的协调发展。

当前我国人均耕地面积逐年减少,人地矛盾愈加突出,粮食安全问题是社会稳定的一项重要内容。从20世纪50年代末至今,我国在煤矿区的土地复垦和生态重建等方面取得了丰硕的科研成果,我国一大批专家、学者围绕着矿区复垦新增耕地的目标,在工程措施复垦、生物措施等方面形成了一套完整的技术体系,为矿区复垦的发展奠定了良好的基础。复垦土地的产出能力决定于新增耕地面积和耕地质量,复垦新增耕地质和量需要并重,为适应当前生态环境和社会经济的协调发展要求,确保以新增耕地为主要目标的同时,更需要提高资源的利用效率和产出率,特别是经过煤矿区的综合治理,使复垦区域达到可持续、高效的生产能力。

煤矿区水土资源的时空配置与优化利用是复垦中的一个重要的研究领域,涉及生态环境、资源、土地利用规划等多学科交叉,针对煤矿区的复垦将水资源与土地资源结合起来一起研究的成果较少。在借鉴已有的复垦成果和相关理论的基础上,根据系统理论和矿区复垦的实践经验,从煤矿区的水资源、土地资源利用的多目标特性出发,通

过人工措施建立水土资源调控、配置、开发、利用体系,推进复垦区的水土资源优化配置利用,使其达到生态环境和社会经济效益的协调发展。本书中提出了以水土资源配置优化利用为目标的复垦理论框架,并结合煤矿区的复垦实例,在取得煤矿区实地考察和相关数据的基础上,提出了一些水土资源优化利用的分析方法、规划方法和综合效益的评价方法。

本书的重点内容在于阐述煤矿区复垦中水资源和土地资源时空分布的调控与优化利用的理念、理论、规划模型和相关的方法,通过水土资源的科学调控与利用,提高煤矿区复垦质量和综合效益。

由于作者水平有限,书中的部分观点、思路等不免存在疏漏,错误和不足之处在所难免,恳请广大读者给予批评指正。

作者

2010年10月28日

摘 要

我国人均耕地占有量逐年下降,煤矿区土地复垦是保证耕地占补平衡的重要举措。本书通过总结当前复垦研究中的趋势,从水土资源配置、高效利用的角度研究煤矿区的复垦问题。

在已有复垦研究成果的基础上,提出了煤矿区水土资源配置型复垦理论,阐述了水土资源配置型复垦的概念、内涵和客观条件,并建立了水土资源配置型复垦的理论框架。

水土资源配置型复垦理论强调复垦区条件研究,为此以系统理论、资源系统理论等为依据,提出了“煤矿区—小流域”复合系统观,构建了煤矿区生态环境系统和社会经济系统框架,系统分析了煤矿区土地生产力下降、生态演变、地形地貌变化和水土资源时空赋存条件改变等内容。

复垦决策与水土资源最优化配置是水土资源配置型复垦理论的关键技术之一。本书根据煤矿区系统的层次性特征,利用层次分析方法(AHP)对煤矿区水土资源配置型复垦决策,以煤矿区所在小流域为背景,从宏观尺度调控煤矿区的水资源量,解决煤矿区内部水多、水少的空间不均衡性。煤矿区复垦后土地利用结构、产业结构和可供水量具有动态特征,水土资源配置引入了动态规划方法(DP),解决可用水量一定的情况下水土资源多目标分配问题,并制定了综合效益最大的水土资源多目标分配方案,从理论上为煤矿区复垦多目标水土资源平衡分析提供新的方法。

水土资源配置型复垦理论要求突出复垦区的灌溉系统设计,农业复垦一直是我国煤矿区的复垦核心,农业用水所占比例最大,本书在多目标供水分配的基础上,针对水源型缺水的干旱煤矿区,引入灌水量与作物生产关系原理和水分生产函数模型(Jensen 模型),建立农作物的优化灌溉制度,探讨了复垦区灌溉系

统的管道规划设计,通过实证研究,管道灌溉系统节水、节地、节能、增收等效益明显。

水土资源配置型复垦理论还特别注重复垦后的评价,认为复垦实现的最终目标是生态环境和社会经济的协调发展。在遵循系统理论与方法的基础上,本书研究分析了煤矿区采煤前至复垦后不同阶段生态环境和社会经济的变化特点,引入了系统耦合理论与评价方法,根据煤矿区系统的具体特征,划分生态环境和社会经济评价指标体系,建立生态环境和社会经济指数的综合函数模型,通过煤矿区生态环境和社会经济系统的耦合度、耦合协调度、综合指数等,分析水土资源配置型复垦所实现的综合效益。生态环境与社会经济系统耦合的评价方法能够系统评价复垦的综合效益,具有全面、可操作性等特点,为煤矿区复垦综合效益的评价提供了新模式,突破了当前复垦按新增耕地指标、成本核算等单一评价的局面。

水土资源配置型复垦理论是在已有的复垦成果上提出来的,突出了复垦区水、土两大资源的综合协调和优化配置理念,树立了复垦的系统观,将这一新的复垦理论推广应用到煤矿区生态修复与复垦是下面需要重点研究的问题。

目 录

前言	1
摘要	1
1 绪论	1
1.1 选题背景	1
1.2 国内外煤矿区治理研究综述	7
1.3 煤矿区治理的研究趋势	10
1.4 课题来源	12
1.5 主要研究内容	12
1.6 本书结构	15
1.7 本书的研究方法	16
2 煤矿区水土资源配置型复垦理论框架	17
2.1 水土资源概念及相互关系	17
2.2 煤矿区复垦的概念及发展	21
2.3 水土资源配置型复垦的基本概念及内涵	23
2.4 水土资源配置型复垦理论依据	26
2.5 水土资源配置型复垦的理论框架	34
2.6 水土资源配置型复垦理论与现有复垦理论的比较	37
2.7 本章小结	39
3 煤矿区水土资源系统分析及复垦决策	40
3.1 采煤对区域的扰动分析	40

3.2	稳沉煤矿区地类划分	47
3.3	煤矿区水资源调控模式	49
3.4	水土资源配置型复垦的决策方法选择	49
3.5	本章小结	57
4	基于煤矿区复垦的水土资源调控研究	59
4.1	“煤矿区—小流域”水循环控制模式	59
4.2	煤矿区土方挖填平衡与水资源调蓄规划	65
4.3	本章小结	70
5	复垦区水土资源配置的规划方法及应用	71
5.1	水土资源配置方法概述	71
5.2	水土资源的供需平衡方案及结构	72
5.3	复垦区水土资源多目标动态规划方法	73
5.4	复垦新增耕地和农业水资源的高效配置利用	80
5.5	复垦新增耕地灌溉制度的优化	83
5.6	本章小结	89
6	煤矿复垦区水土资源规划关键技术研究	91
6.1	高潜水位采煤沉陷区人工湿地的规划方法	91
6.2	高潜水位煤矿区人工湿地规划实例	94
6.3	复垦区管道灌溉系统设计内容及方法	98
6.4	本章小结	106
7	煤矿区水土资源配置型复垦综合效益评价研究	107
7.1	生态环境与社会经济系统	107
7.2	生态环境与社会经济系统耦合	109
7.3	煤矿区复垦的生态环境和社会经济评价方法	114
7.4	煤矿复垦生态环境和社会经济评价实例 ——以徐州市九里煤矿区为例	121
7.5	本章小结	131

8 煤矿复垦土地的产权配置与经营	133
8.1 煤矿复垦区土地权属管理	133
8.2 新增复垦耕地股份合作经营管理模式	135
8.3 新增耕地股份合作经营管理框架	136
8.4 本章小结	138
9 结论与展望	140
9.1 结论与创新点	140
9.2 本书的不足与展望	141
参考文献.....	143
致谢.....	158

1 绪论

1.1 选题背景

1.1.1 我国水资源状况

水土资源是人类生存、发展所必需的最基本的自然资源,随着人口增长和经济的迅猛发展,人类活动对水土资源的使用强度越来越大,随之带来的人地矛盾、资源短缺、环境劣变等问题日益突出。据联合国报告,全世界可利用水资源为 $4.7 \times 10^{13} \text{ m}^3$, 1930 年人均约 $23\,500 \text{ m}^3$, 到 1997 年人均仅为 $7\,800 \text{ m}^3$, 预计到 2025 年人均占有量只有 $5\,500 \text{ m}^{3[1,2]}$ 。据统计,20 世纪以来,全世界淡水需求量增加了 8 倍,其中农业用水增加 7 倍,城市生活用水增加 12 倍,工业用水增加 20 倍,而且每年仍在以 5% 左右的速度递增,大约每 15 年用水量要增长 1 倍,人口及行业对水资源需求的剧增是人类 21 世纪所面临的严峻问题^[3,4]。而且全球的水资源时空分布极不均衡,人均水资源占有量差异很大,这进一步限制了水资源缺乏国家和地区的可持续发展。

我国多年平均水资源总量为 $28\,124 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中地表水资源 $27\,115 \times 10^8 \text{ m}^3$; 地下水资源,地表水与地下水转换重复量为 $7\,279 \times 10^8 \text{ m}^3$), 水资源总量居世界第四位,占世界水资源总量的 7%。但我国人均水资源总量仅为 $2\,304 \text{ m}^3$, 且仅占世界平均水平的 30% 左右^[5,6], 排在世界第 109 位,属水资源脆弱国。目前,我国人均水资源占有量约 $2\,183 \text{ m}^3$, 仅相当于世界人均水平的 1/4, 美国人均的 1/5, 加拿大人均的 1/50, 随着人口的增长,我国人均水资源占有量还在下降。我国亩均耕地水资源占有量为 $1\,700 \sim 1\,800 \text{ m}^3$, 是世界亩均径流量 ($2\,400 \text{ m}^3$) 的 71%~75%^[7]。我国在 600 余座城市中有 300 多座缺水, 其中严重缺水的就有 100 多座, 日缺水约 1 500 万 t, 水资源问题已成为我国经济社会发展的严重制约因素^[8~10]。同时,我国对水资源的需求量还在急剧增长,2003 年为 $5\,320.4 \text{ 亿 m}^3$, 较 1993 年的 $5\,198.0 \text{ 亿 m}^3$ 增加 122.4 亿 m^3 。另外,我国水资源的空间分布也很不均衡,长江及其以南拥有全国水资源总量的 81%, 但其耕地面积只占全国的 38%; 淮河以北耕地占全国的 62%, 而其水资源总量仅占全国

总量的 19%^[11]。长期以来,我国人口、资源和环境处于紧张状态,21 世纪我国将达到 16 亿人口高峰,人均占有水资源和耕地资源量更少,而且粮食的需求量会更大,水资源和耕地资源两大因子是决定粮食生产的主要条件,我国农业用水量占总用水量的 70% 以上,要保证 16 亿人口所需粮食的 95% 靠自给解决,水土资源必将承受很大的压力。随着社会经济的发展和城市化水平的提高,水资源的供需问题将是关系我国 21 世纪经济发展和社会进步的重大战略问题。

1.1.2 我国土地资源状况

我国国土面积为 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$,列世界第三,但我国人均土地和耕地占有面积仅为世界平均水平的 1/3 左右,森林面积不足世界平均水平的 1/5,可再生水资源拥有量不足世界平均水平的 1/3,草原面积仅为世界平均水平的 1/2 左右^[12]。我国各类土地资源与世界总体情况及其他国家的对照见表 1-1,我国土地资源状况见表 1-2。

表 1-1 我国土地资源与世界总体情况及其他国家的比较

类 型	单 位	中国	世界	俄罗斯	美国	印度	加拿大	法国
土地面积	总量/万 km^2	929.10	13 048	1 688.85	915.91	297.32	922.10	55.01
	人均/ $\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$	0.74	2.20	11.40	3.35	0.31	30.54	0.937
耕地面积	总量/万 km^2	95.15	1 465.81	133.07	187.78	169.57	45.50	19.39
	人均/ $\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$	0.076	0.247	0.898	0.686	0.174	1.507	0.330
森林面积	总量/万 km^2	133.32	3 454.38	763.5	212.52	65.01	244.57	15.03
	人均/ $\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$	0.106	0.583	5.154	0.776	0.067	8.100	0.256
可再生水资源量	总量/万 km^2	280.00	4 102.20	431.27	245.91	185.00	284.95	18.00
	人均/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	2 231.00	6 918.00	29 115.00	8 983.00	1 896.00	94 373.00	3 065.00
草原面积	总量/万 km^2	400.00	3 410.20	86.86	239.17	11.42	27.90	10.83
	人均/ $\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$	0.319	0.575	0.586	0.874	0.012	0.924	0.184
人口密度	人/ 10^3 hm^2	1 321.00	442.00	88.00	294.00	3 177.00	32.00	1 060.00

* 资料来源:《世界资源报告——全球环境指南》,中国环境科学出版社,1995 年版。

表 1-2 我国土地资源状况

项 目	2008 年主要地类面积/亿亩
耕地	18.257 4
园地	1.77
林地	35.41
牧草地	39.27
其他农用地	3.82

续表 1-2

项 目	2008 年主要地类面积/亿亩
居民点及独立工矿用地	4.04
交通运输用地	0.37
水利设施用地	0.55
其余为未利用地	—

* 资料来源:中华人民共和国国土资源部官方网站 <http://www.mlr.gov.cn/zygk/tdzy>.

早在 1996 年原国家土地管理局公布土地详查数据表明:当时全国耕地面积为 $1.3 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占国土总面积的 13.54%, 人均耕地 0.11 hm^2 , 不及世界人均水平的 1/2; 有 666 个县域(占总县级数的 23.7%)人均耕地低于联合国粮农组织所确定的 0.053 hm^2 警戒线, 其中人均耕地低于 0.035 hm^2 、仅具有“保命田”耕地水平的县有 463 个, 占警戒线以下总县数的 69.52%^[6]。

然后时至 2005 年, 国土资源部又公布了全国土地利用变更调查结果: 全国耕地面积 18.31 亿亩, 2005 年度全国耕地比 2004 年度净减少 542.4×10^4 亩。根据 2005 年第 5 次人口普查结果, 全国总人口数为 12.953 3 亿人, 全国平均人口密度为 132 人/ km^2 , 人均耕地为 0.093 hm^2 , 而世界人均耕地面积为 0.25 hm^2 。“十五”以来我国经济社会快速发展和生态建设力度加大, 加之农业结构调整频繁, 全国耕地面积净减少 $9\,240 \times 10^4$ 亩, 由 2000 年 10 月底的 19.24 亿亩减至 2005 年 10 月底的 18.31 亿亩, 其中建设占用耕地 $1\,641 \times 10^4$ 亩, 灾毁耕地 381×10^4 亩, 生态退耕 $8\,065 \times 10^4$ 亩, 因农业结构调整减少耕地 $1\,293 \times 10^4$ 亩, 共计减少耕地 $11\,380 \times 10^4$ 亩, 同期土地整理、复垦、开发补充耕地 $2\,140 \times 10^4$ 亩(《经济日报》2006 年 4 月 12 日), 至 2008 年我国耕地面积 18.257 亿亩, 1999~2008 年我国耕地资源变化情况见图 1-1。而且我国耕地质量总体水平不高, 中低产田面积所占相对密度较大, 据统计我国耕地资源中坡耕地面积约占耕地总面积的 35.1%, 其中缓坡耕地占耕地总面积的 29.63%, 陡坡耕地占 5.47%^[12]。

1.1.3 我国土地资源存在的问题

除了我国人均耕地资源占有量严重低于世界平均水平外, 我国土地还存在土壤侵蚀、沙化、盐渍化、退化污染等。20 世纪 90 年代末全国水土流失总面积 $356 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积的 37.08%, 其中水力侵蚀 $165 \times 10^4 \text{ km}^2$, 风力侵蚀 $191 \times 10^4 \text{ km}^2$, 而且每年新增水土流失面积 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前, 我国沙化土地面积约有 $175.17 \times 10^4 \text{ km}^2$, 当前土地荒漠化的面积每年还在以 $2\,400 \text{ km}^2$ 的速度增长, 相当于每年就有一个中等县的土地面积荒漠化^[13,14], 另外山体滑坡、泥石流、洪涝等灾害破坏我国大量耕地, 每年汛期尤为严重。我国未利用土地面

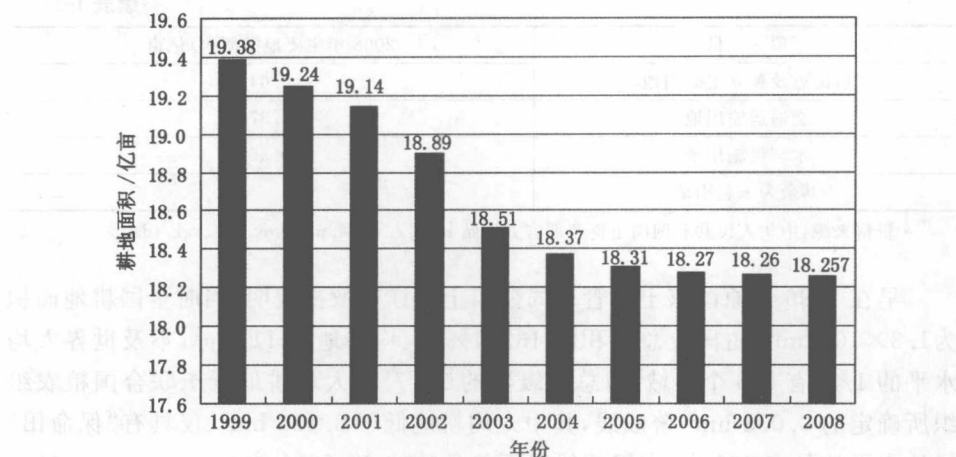


图 1-1 1999~2008 年全国耕地面积变化情况

资料来源:中华人民共和国国土资源部编,《2008 年中国国土资源统计年鉴》,地质出版社,2009 年版。

积近 $2.60 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 占全国土地面积的 $1/4$ 以上, 主要分布在我国北方和西北部, 未利用土地中荒漠、戈壁、裸岩石砾地占 72% , 由于受到热量、水资源、风沙盐碱等自然条件限制, 后备资源开发难度较大。2007 年我国地质灾害构成情况详见图 1-2。

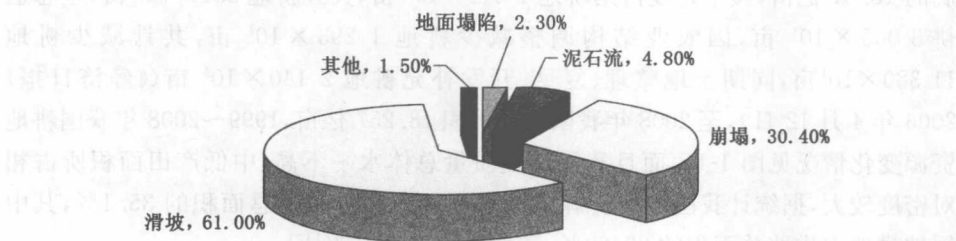


图 1-2 2007 年发生的地质灾害构成情况

资料来源:中华人民共和国国土资源部编,《2008 年中国国土资源统计年鉴》,地质出版社,2009 年版。

被评为“世界最有影响的 22 位经济学家”之一的美国世界观察研究所所长莱斯特·布朗(Lester R. Brown), 曾在 1994 年提出了“谁来养活中国”(who will feed China)的质疑^[15]。文章针对中国人口增长、耕地减少、土壤恶化、水资源短缺, 以及粮食增长率的递减等问题, 提出了中国必将出现粮食短缺进而造成世界性的粮食危机的论调, 当时为国内和世界所震惊。2008 年《环球时报》记者在北京对莱斯特·布朗进行了专访, 时隔 14 年, 他仍坚持“谁来养活中国”的观

点没有改变,中国耕地与水资源短缺仍是焦点问题。尽管莱斯特·布朗先生对于中国国情了解也许不够全面和具体,预测可能存在一定的偏差,但是从多年来我国人口增长、水资源、土地资源的变化趋势分析,粮食安全问题足以给我们敲响警钟。解决粮食安全问题的关键是确保一定面积的耕地和满足相应的生产条件,实现水土资源可持续利用战略将是我国耕地资源安全的重要保证,这就要求我们在保证粮食安全过程中要科学地配置利用好有限的耕地和水资源。

1.1.4 我国缓解人地矛盾的主要措施

我国在保持经济快速发展的同时还要解决 13 亿余人口的吃饭问题,而土地整理、复垦和开发是增加耕地面积和确保耕地占补平衡的一项重要措施^[16,17]。我国土地复垦、开发的研究始于 20 世纪 50 年代末^[18],1989 年我国颁布了《土地复垦规定》后,煤矿区土地复垦等研究进入了蓬勃发展的阶段,并取得了一系列的成果。近年来,国家加大了对土地整理、开发、复垦的投入,得到了社会各界的普遍关注,土地开发复垦也逐渐成为土地管理研究的热门话题。1999~2007 年,我国通过土地整理、复垦、开发措施新增耕地面积情况,详见图 1-3。

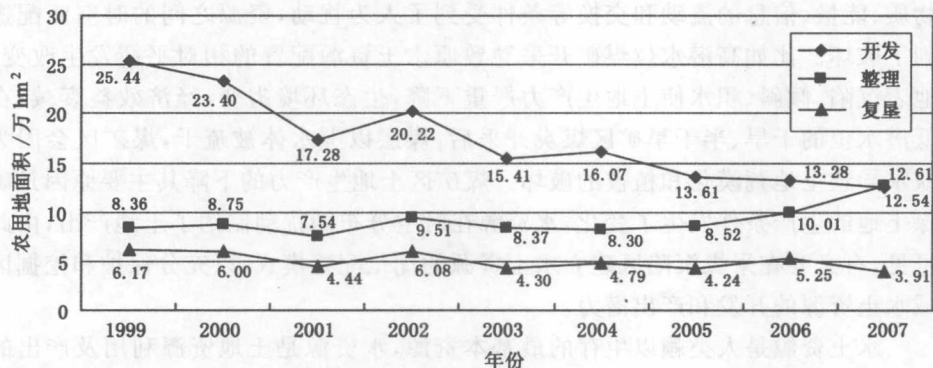


图 1-3 1999~2007 年土地整理、复垦、开发增加农用地面积情况

资料来源:中华人民共和国国土资源部编,《2008 年中国国土资源统计年鉴》,地质出版社,2009 年版。

确保粮食安全和经济的发展不仅仅要增加耕地面积,而且要提高耕地的质量,要增加的耕地是具备灌溉条件和高效产出能力的土地,土地的产出除了光热、气候、人工施肥、种子等条件外,水资源和土地资源的时空匹配状况是影响粮食生产的最重要因素,水资源的时间、空间的分布条件始终影响着土地的产出能力,水多、水少、水脏的问题困扰着土地的产出率。人类活动将不可避免地导致土地利用/覆盖的变化,从而引起土地生态系统和自然环境的变化,比如土地利用/覆盖的变化会导致水循环过程中的径流量、渗漏和地下水位等受到影响,而

土地利用/覆盖变化导致的自然生态系统变化又会反作用于土地的利用和产出^[19,20]。

我国针对煤矿开采沉陷区的土地复垦研究中,在围绕新增耕地等复垦技术方面取得了显著成效。采煤沉陷区土地复垦是我国新增耕地的重要来源,为保证我国经济发展和耕地的占补平衡发挥了重要作用。我国煤矿分布十分广阔,其中井工开采方式占96%左右^[21],井工开采使地下采空区上部的岩层应力平衡遭到破坏,采空区上方依次发生冒落、断裂、弯曲等移动变形,地表出现裂缝、沉陷等破坏,形成一个比采空区面积大得多的下沉盆地,即采煤沉陷地^[22]。2005年底统计数据表明,全国采煤沉陷面积累计已超过70万 hm^2 ,其中造成耕地沉陷约21万 hm^2 ,并且随着煤炭的开采每年持续增加约2万 hm^2 的沉陷地^[23]。据统计,采煤排放的煤矸石量一般占原煤总量的15%~20%左右^[24],堆放矸石风化产生酸性物质在集中降水期间被雨水淋溶,造成水体和周围土壤的酸性污染和重金属污染。

煤炭开采沉陷不仅破坏了地形、地貌,同时也改变了地下潜水位的赋存条件,生态环境、经济与社会条件失去了原有的平衡^[25],采煤沉陷区的水热循环、物质、能量、信息的流动和交换等条件受到了人为扰动,资源之间的时空匹配遭到了破坏。比如高潜水位煤矿开采导致原水土资源配置的相对平衡发生改变,地表沉陷、倾斜、积水使土地生产力严重下降,生态环境劣变、经济效益衰减;在低潜水位的干旱、半干旱矿区煤炭开采后,煤层以上水体被疏干,煤矿区会因为缺水导致土地荒漠化和植被的破坏。煤矿区土地生产力的下降其主要原因是确保土地的生产条件发生了变化,水资源在时空分布的扰动制约了土地产出,由此可见,有必要在采煤沉陷区建立水土资源的优化配置模式,以充分保护和挖掘区域水土资源的开发和产出潜力。

水土资源是人类赖以生存的最基本资源,水资源是土地资源利用及产出的重要因子和制约条件,也是保持生态相对平衡的重要资源。长期以来,随着人口的不断增长和经济的快速发展,人类对水土资源利用的广度和强度不断增加,各部门、各行业之间争地、争水的矛盾日益尖锐。但由于水土资源管理部门的条块分割,水资源和土地资源分开研究的较多,结合两种资源研究区域生态环境和社会经济的成果较少。特别是煤矿区开采破坏了当地的水资源平衡、生态平衡等,已有的复垦模式是利用工程措施增加耕地,对于因采煤沉陷导致的水资源和土地资源如何高效配置并产生综合效益方面缺乏研究。我国经济建设要求增加耕地面积的同时,还要求耕地的集约利用和高产出率,所以仅以增加耕地面积为核心的工程型复垦难以适应当前矿区复垦发展的需要。从增加耕地面积、耕地质量和建立生态环境与社会经济效益的协调发展出发,有必要建立以水土资源配

置为理念的复垦理论与方法,研究并建立煤矿区水资源和土地资源在时间、空间的合理调控模式,修复和改良煤矿区水资源的分布条件,土地与所需水资源在时空上呈合理分布。

1.2 国内外煤矿区治理研究综述

1.2.1 国内煤矿区治理研究进展

我国在煤矿区土地复垦和生态恢复等科研方面取得了丰硕的成果,采煤沉陷区复垦研究成果从工程角度包括充填复垦(矸石粉煤灰回填、土壤重构等)、非充填复垦(挖深垫浅、疏排法等)等诸多方面,还有改善生态环境和提高土地经济产出的生物措施(肥化土壤、种植结构调整等)等。水土资源是保持生态相对平衡的重要资源,煤炭开采不仅造成地表沉陷,同时还破坏了煤层以上水资源的空间分布,使土地产出能力下降,通过人工措施实现水土资源的时空再分配领域需要进一步研究。

土地利用覆盖的变化会对水文效应造成影响,包括水的质量、数量、赋存条件和水自身循环都会发生改变^[26,27];煤炭从地层深处被搬运至地表以后,煤炭中一些有害物质会对周围环境造成一定的危害^[28~30],因为开发过程使整个地下水、地表水系统产生人为扰动^[31]。1979年原煤炭工业部组织开展了“煤矿塌陷地造地复田综合治理研究”,这是首次把煤炭开采及其引起的环境问题共同进行考虑,并采取技术措施修复煤炭开采造成的破坏。煤矿区土地的复垦主要是采用填埋、剥离、覆土等工程措施将废弃地改造成为耕种土地以实现煤矿区土地耕种目标。随着研究的开展,开始注重综合利用煤矿区土地资源及相关基本环境工程问题,使土地复垦趋于系统化和效益的综合性,矿区土地资源可持续利用和矿区环境生态重建为目标的工程复垦。1989年我国颁布《土地复垦规定》,这标志着我国的土地复垦研究得到了长足发展。龙花楼(1997)定性分析了煤矿区景观稳定性的破坏,提出人与自然和谐发展的生态重建思路^[32];卞正富(1998)提出了将土地生产力恢复和生态系统平衡的恢复作为土地复垦的两个基本目标,提出复垦土地生产力的熵流模型,分析了高潜水位煤矿区塌陷后大面积积水对景观和农业生产的破坏,并在生态重建等方面提出了一套可行的成果^[33,34];石晓枫(2003)提出对环境和景观两方面单独评价,按照离差系数评价人工建筑对环境的协调度研究^[35];胡振琪等(1993)认为煤矿区积水、坡地、裂缝是高潜水位平原煤矿区农业生产影响的三大因素,并对治理塌陷地土壤重构的剖面进行研究^[36,37]。

国内对沉陷区水域的研究主要集中在煤矿塌陷积水的遥感动态监测、塌陷积