

MEITAN KUANGQU

JIENENG JIANPAI FANGZHEN YANJIU

煤炭矿区节能减排 仿真研究

郭金陵 李兰兰 李如鑫 於世为 著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

中国矿业大学北京

能源与动力工程学院

煤炭矿区节能减排 仿真研究

冯建刚 李国恩 李树刚 孙树华 等著



中国矿业大学北京

能源与动力工程学院

本书出版受到教育部人文社科青年基金项目

“失模型与减损路径优化研究”(No. 10YJC630356)资助

煤炭矿区节能减排仿真研究

MEITAN KUANGQU JIENENG JIANPAI FANGZHEN YANJIU

郭金陵 李兰兰 李如鑫 於世为 著



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

煤炭矿区节能减排仿真研究/郭金陵,李兰兰,李如鑫,於世为著.
—武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2011.5
ISBN 978-7-5625-2618-6

- I. ①煤…
II. ①郭…②李…③李…④於…
III. ①煤矿-矿区-节能-研究
IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 068769 号

煤炭矿区节能减排仿真研究		郭金陵 李兰兰 著 李如鑫 於世为	
责任编辑:姜 梅		责任校对:张咏梅	
出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司 (武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮政编码:430074	
电 话:(027)67883511	传 真:67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn	
经 销:全国新华书店		http://www.cugp.cug.edu.cn	
开本:880 毫米×1230 毫米 1/32		字数:162 千字 印张:6	
版次:2011 年 5 月第 1 版		印次:2011 年 5 月第 1 次印刷	
印刷:湖北赛智印务有限公司		印数:1—500 册	
ISBN 978-7-5625-2618-6		定价:32.00 元	

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景、目的及意义	(1)
1.1.1 研究背景	(1)
1.1.2 研究目的和意义	(5)
1.2 国内外节能减排研究现状	(6)
1.2.1 国外节能减排研究现状	(6)
1.2.2 国内节能减排研究现状	(14)
1.2.3 对已有研究的评述	(19)
1.3 研究内容和方法	(20)
1.3.1 研究思路及技术路线图	(20)
1.3.2 研究内容	(20)
1.3.3 研究方法	(22)
本章小结	(23)
第2章 节能减排的基础理论	(25)
2.1 能源与环境	(25)
2.1.1 能源的概念与分类	(25)
2.1.2 能源节约	(27)
2.1.3 环境的概念与分类	(28)
2.1.4 环境污染	(28)
2.1.5 本书概念的界定	(29)
2.2 节能减排的相关理论	(30)
2.2.1 可持续发展理论	(30)
2.2.2 循环经济理论	(34)

2.2.3 工业生态学理论.....	(37)
2.2.4 环境污染控制理论.....	(39)
本章小结	(41)
第3章 煤炭矿区生态环境质量评价	(42)
3.1 生态环境与煤炭矿区生态环境.....	(42)
3.1.1 生态环境的概念.....	(42)
3.1.2 矿区生态环境的定义.....	(43)
3.2 煤炭生产各环节对环境的影响.....	(44)
3.2.1 煤炭勘查对环境的影响.....	(44)
3.2.2 煤炭开采对环境的影响.....	(46)
3.2.3 煤炭贮装运对环境的影响.....	(48)
3.2.4 煤炭消费对环境的影响.....	(49)
3.3 煤炭矿区生态环境问题.....	(50)
3.3.1 大气污染.....	(50)
3.3.2 水污染.....	(51)
3.3.3 土地资源破坏.....	(52)
3.3.4 煤尘污染.....	(53)
3.4 煤炭矿区生态环境质量综合评价.....	(54)
3.4.1 模糊综合评价法.....	(55)
3.4.2 煤炭矿区生态环境质量评价指标体系.....	(56)
3.4.3 煤炭矿区生态环境质量模糊综合评价模型.....	(59)
3.4.4 超化矿区生态环境质量综合评价.....	(63)
本章小结	(71)
第4章 超化矿区能耗和排放现状分析	(72)
4.1 超化矿区能源消费结构.....	(72)
4.2 超化矿区主要能耗分析.....	(75)
4.2.1 煤炭生产流程.....	(75)

4.2.2	物耗和主要能耗设备	(80)
4.2.3	主要能源消耗	(89)
4.3	超化矿区污染排放与综合利用	(89)
4.3.1	废气	(90)
4.3.2	固体废弃物	(92)
4.3.3	废水	(92)
	本章小结	(94)
第5章	煤炭矿区节能减排系统动力学模型	(96)
5.1	系统动力学概述	(96)
5.1.1	系统动力学中的基本概念	(97)
5.1.2	系统动力学的建模步骤	(100)
5.1.3	社会经济系统与系统动力学	(101)
5.2	煤炭矿区节能减排模型的总体结构	(102)
5.2.1	系统边界及子系统划分	(102)
5.2.2	主要因果回路	(103)
5.3	资源开发子系统模型	(106)
5.3.1	资源开发子系统的流图	(106)
5.3.2	资源开发子系统的因果关系分析	(108)
5.4	能源消耗子系统模型	(110)
5.4.1	能源消耗子系统的流图	(110)
5.4.2	能源消耗子系统的因果关系分析	(112)
5.5	污染排放子系统模型	(115)
5.5.1	污染排放子系统的流图	(115)
5.5.2	污染排放子系统的因果回路分析	(117)
	本章小结	(120)
第6章	超化矿区节能减排系统的仿真与调控	(122)
6.1	系统参数的确定	(122)

6.2	模型的有效性检验	(122)
6.3	超化矿区节能减排系统的仿真与分析	(125)
6.4	系统的政策调控与分析	(134)
6.4.1	政策参数的设置	(134)
6.4.2	经济快速发展方案及其仿真结果	(135)
6.4.3	节能减排发展方案及其仿真结果	(137)
6.4.4	协调发展方案及其仿真结果	(140)
6.4.5	四种方案仿真结果的比较分析	(142)
	本章小结	(147)
第7章	超化矿区节能减排的路径分析	(148)
7.1	煤炭矿区节能减排的实施路径	(148)
7.2	节能减排路径案例 1: 矿井水井下处理	(153)
7.2.1	项目概况	(153)
7.2.2	设备技术简介	(153)
7.2.3	节能减排的优势分析	(155)
7.2.4	成本效益分析	(156)
7.3	节能减排路径案例 2: 设备改造	(163)
7.3.1	水源热泵替代锅炉的节能减排潜力分析	(163)
7.3.2	水源热泵的工作原理	(164)
7.3.3	水源热泵的设计范围	(166)
7.3.4	成本效益分析	(166)
	本章小结	(170)
第8章	总结与展望	(171)
8.1	结 论	(171)
8.2	下一步的工作	(172)
	参考文献	(174)

第1章 绪论

1.1 研究背景、目的及意义

1.1.1 研究背景

能源是世界发展和经济增长的原动力,是人类赖以生存的基础。自工业革命以来,人类社会进入以科技、机器为主的社会化大生产,经济飞速增长,对能源的需求也迅猛增加。人类在享受能源带来的经济发展、科技进步等利益的同时,也遇到了能源短缺、资源争夺和环境污染等重要问题,威胁着人类的生存与发展。

改革开放 30 多年来我国迅速崛起,经济高速增长,使得我国的能源环境问题日益突出。2003—2005 年我国单位 GDP 能源消耗、二氧化硫排放量和化学需氧量都逐年上升,单位 GDP 能耗分别比上年上升 4.90%、5.54%、0.16%;二氧化硫排放量分别比上年上升 12.04%、4.47%、13.06%;化学需氧量 2004 年较上年上升 0.4%,2005 年又较上年上升 5.6%,都呈现持续上升趋势^①。我国政府一直高度重视并贯彻实施能源节约政策,而且取得了巨大的成就。近几年单位 GDP 能耗、二氧化硫排放量和化学需氧量都得到了一定的控制,2007—2009 年单位 GDP 能耗分别为 1.17t 标准煤/万元、1.118t 标准煤/万元和 1.077t 标准煤/万元,分别比上年下降 5.7%、4.4%和 3.7%;二氧化硫排放量分别为 2 468 万 t、2 321 万 t 和

① 中国统计年鉴(2004—2006 版)。

2 214万 t,分别比上年下降 3.2%、4.4%、3.2%;化学需氧量排放分别为 1 382 万 t、1 321 万 t 和 1 278 万 t,分别比上年下降 4.7%、6.0%、4.6%^①。但是我国的节能减排工作还面临着很多问题,主要表现在以下几个方面(吴国华,2009)。

第一,由于发展阶段的限制和体制上存在的弊端,我国粗放的经济增长方式并没有发生根本性转变,总体上还没有走出“三高一低”的老路。粗放式的经济发展方式使得我国能源利用效率很低。从单位产值能耗看,2006 年,我国单位 GDP 能耗高达 13.65t 标准煤/美元,分别是日本(1.60t 标准煤/美元)的 8.5 倍,美国(2.62t 标准煤/美元)的 5.2 倍。按官方汇率计算,2006 年,我国 GDP 占世界的 5.5%,却消耗了世界 39%的煤炭、9%的石油、30%的钢材、54%的水泥。从单位产品能耗看,我国电力、冶金等 8 个高能耗行业的单位产品能耗平均比国际先进水平高 40%以上。

第二,高速增长的能源消费需求使得国内能源供应短缺。自 2001 年起,在经济增长和城市化进程引起的一轮大规模基础建设投资的推动下,钢铁、建材、房地产等产业出现了改革开放以来罕见的高增长,我国经济事实上进入了一个重工业加速发展、能源消耗快速增长的阶段。1990 年,我国重工业占国内工业总产值的比重为 50%,2000 年上升到 60%,2008 年高达 71.3%,2009 年稍微有所下降,但仍然高达 70.5%。重工业尤其是高能耗产业的快速发展以及资源利用效率低下是导致我国经济产出与资源投入不成比例的主要原因。2009 年,我国的 GDP 约占世界总量的 8.7%,但能源消耗总量为 30.66 亿 t 标准煤,占世界能耗总量的 17.5%。然而,以资金密集和技术密集产业为主导的深加工、重型化的发展阶段,在我国短期内还不会结束,因此,巨大的能源需求使得我国现有的能源供应体系显得力不从心。

① 中国统计年鉴(2008—2010 版)。

第三,由于能源消费量的迅速增长直接导致各种有害气体和其他污染物的排放量持续上升。2009年,我国二氧化硫的排放量比2000年增加了11%,全国出现酸雨的城市比例为52.8%,重酸雨($\text{pH}<4.5$)城市比例占8%;全国地表水COD环境容量是740万t,而2009年的排放量为1277.5万t;全国大气 SO_2 环境容量是1200万t,而2009年的排放量是2214.4万t,这两种主要污染物排放量均超限将近1倍。目前,我国二氧化硫(SO_2)排放量世界第一,二氧化碳(CO_2)排放量世界第二,均占全球排放量的14%左右,对全球大气污染和气候变化有着重要的影响。

由此可知,我国的能源供给与环境保护问题已经到了迫切需要解决的时候。如此严峻的形势,使得节能减排问题成为我国国家最高决策层的重大议事日程。2006年,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》明确规定,到2010年,我国单位国内生产总值能源消耗比“十五”末期降低20%左右,主要污染物排放总量减少10%。然而,要实现这一目标是一项非常艰巨的任务。节能和减排是紧密相关的两个方面,对于我国来说,节能除了能够有效提高能源利用效率,减少能耗总量以外,节能还是最大的减排。因为我国75%的二氧化硫排放量、75%的二氧化碳排放量、85%的二氧化氮排放量、60%的一氧化氮排放量和70%的悬浮颗粒物等都来自于以燃煤为主的能源消耗。

我国石油、天然气资源少,煤炭资源相对丰富的能源赋存条件决定了我国的能源消耗以煤炭为主,自改革开放以来到1997年,煤炭在我国一次能源消费中一直占70%以上。1998年开始下降到69.6%,2001年最低为65.3%,之后又开始回升,2007年又超过70%,上升为71.1%,2008年为70.3%,2009年为70.4%。以煤炭为主的能源消费结构导致能源利用效率低、污染物排放多,我国当前出现的大气污染、水污染、生态破坏等环境问题,大多与我国以煤炭为主要能源的消费结构密切相关。

一是,大部分大气污染和相当一部分水污染直接或间接来自煤炭燃烧或加工。目前我国每年消费 20 多亿吨煤炭,其中直接燃烧的有 15 亿 t 左右。煤炭燃烧产生的 SO_2 约占总量的 90%, CO 占总量的 71%, CO_2 占总量的 85%,氮氧化物占总量的 70%,灰尘微粒占总量的 61%。

二是,煤炭的过量开采,不仅产生高能耗,而且造成矿区生态环境的严重破坏。2009 年我国煤炭采选业能耗 7 170.8 万 t 标煤,在 42 个工业行业中能耗排名第七,“三废”排放总量达 91 818.5 万 t,排第七位^①。对生态环境的破坏主要表现为煤炭开采造成的大气污染;开采过程中对水资源的破坏和污染;地表沉陷、裂缝,水土流失,加剧土地荒漠化;远距离运输的煤炭损失和沿线环境污染等。

煤炭开采形成的废气主要是矿井瓦斯,甲烷是矿井瓦斯的主要成分,其温室效应是 CO_2 的 23 倍。据统计,2006 年全国煤炭矿井瓦斯的排放量有 160 亿 m^3 ,仅利用 10 亿 m^3 ,剩余 150 亿 m^3 直接排入大气,其中瓦斯含量约为 40 亿 m^3 ,相当于 860 亿 $\text{m}^3 \text{CO}_2$ 产生的温室效应。煤炭资源的开采对地表水和地下水系统的破坏是不可避免的。据计算,每挖 1t 煤损耗 2.48t 的水,按年产 20 亿 t 煤计算,每年需要损耗 50 亿 t 的水资源。另外,我国煤矿每年产生排放的各种废水约占全国总废水量的 25%,而且大面积的地下开采使煤层遭到破坏,导致地下水渗漏至矿井作为矿井水被排出,这些矿井水被净化利用的不足 20%,对矿区生态环境形成新的污染。煤炭资源的井下开采会引起土地塌陷、裂缝,露天开采会破坏地表植被和土地。据统计,我国因煤炭开采而造成的土地塌陷总计达 $30 \times 10^6 \text{km}^2$,而且正在以每年近 200km^2 的速度继续增加。在煤炭开采、加工、储运、消费的过程中都会产生大量的粉尘,对矿区的环境造成严重污染。据统计,2006 年全国铁路运煤量为 137 864 万 t,经公路运输或中转到

① 中国统计年鉴(2010 版)。

铁路的煤炭量达 12 亿 t,经公路运输直达用户的 10 亿 t,根据初步测算,煤场装卸造成的扬尘致使煤炭损失 0.3%,公路运输损失 0.8%,铁路运输损失 0.6%,假设运输按 0.5% 的煤尘损失计算,因运输向环境中排放的煤尘达 1.2 亿 t,在造成环境污染的同时,直接经济损失超过 350 亿元人民币。

由此可以发现,大量燃煤产生的污染和煤炭过量开采给我国造成了巨大的损失。据世界银行估计,中国空气和水污染造成的经济损失,大约占 GDP 的 3%~8%。我国有学者甚至认为,中国环境污染的不完全经济损失大约相当于当年 GDP 的 2.1%~7.7%;中国生态破坏的经济损失大约相当于 GDP 的 5%~13%,两者之和大约为 7%~20%。因此,我国的节能减排工作刻不容缓,而煤炭行业的节能减排又是重中之重。

1.1.2 研究目的和意义

快速增长的能源消耗、持续上升的污染排放和日益严重的生态破坏,已成为制约我国煤炭企业以及国民经济快速健康发展的主要瓶颈。而我国以煤炭为主的能源消费结构在短期内是不会改变的,煤炭燃烧和煤炭开采是我国大气污染和生态环境破坏的主要来源,因此研究煤炭矿区的节能减排问题具有重要的现实意义。目前对节能减排的研究大多停留在定性分析的层面上,从政策方面着手,提出宏观的建议和对策,可操作性差。如何运用定量的方法研究节能减排,制定节能减排的具体目标和方案就成为一个突出的问题,亟待解决。

本书在可持续发展理论、循环经济理论、工业生态学理论、环境污染控制理论等理论基础上,以煤炭矿区为研究对象,引入系统动力学模型,选取典型煤矿区——郑煤超化矿为研究案例,对煤炭矿区节能减排进行仿真模拟。研究煤炭开采与能源消耗、环境污染之间的关系,考察系统内部的运行机理,寻找煤炭矿区节能减排的主要方

向,为煤炭矿区制定节能减排措施提供科学的依据。

1.2 国内外节能减排研究现状

1.2.1 国外节能减排研究现状

国外学者对节能减排的研究是从能源与经济、环境之间的关系着手的,20 世纪 30 年代的经济大萧条使得经济学开始被重视,关于能源经济学的研究成为这一时期的研究热点。20 世纪 70 年代,尤其是第二次石油危机以后,能源消耗带来的环境问题越来越严重,全球对能源的关注开始从经济领域转向能源环境领域。面对日益严重的环境问题,挪威前首相布伦特兰夫人于 1987 年首先提出了可持续发展思想,防止全球变暖和控制温室气体排放成为人们普遍关注的问题。1972 年丹尼斯·米都斯提交给罗马俱乐部的研究报告——《增长的极限》,其对经济增长极限的悲观性论调,引起了经济学家重新思索人类社会经济发展的新方案。经济学家纷纷从以前研究单一经济活动领域扩展到生态学、物理学、化学等其他学科,从不同学科间交叉融合的角度,来研究能源消耗与人类经济社会发展之间的关系。下面分别从政府制定节能减排政策和学术界对节能减排理论、技术方法等方面总结国外节能减排的研究现状。

1. 国外节能减排政策。本书分别归纳了美国、英国和德国这三个典型发达国家的相关节能减排政策措施。

(1)美国。美国是世界第一经济强国,同时也是能源消耗和温室气体排放大国,其能源消耗占世界能源消耗总量的 23%, CO_2 排放量约占世界排放总量的 1/4。美国政府的节能减排政策不仅直接影响美国国内的节能减排行为,同时也对全球的节能减排合作造成重大影响,表 1-1 给出了美国各届政府制定并实施的相关节能减排政策。

表 1-1 美国节能减排政策

	政策措施	具体内容
福特政府	1975 年 《能源政策和节约法》	减缓全球气候变暖
布什政府	1992 年 《1992 年能源政策法》	促进节约能源、提升能源使用效率、促进可再生能源使用及国际能源合作等
克林顿政府	1993 年 《气候变化行动方案》	表示美国 2000 年的排放量将减少 1.09 亿 t 碳,回归到 1990 年水平
	1997 年调整 《气候变化行动方案》	将温室气体减排目标由 1993 年的 1.09 亿 t 碳下调至 0.769 亿 t
	1999 年,颁布“提高能效管理、建设绿色政府”的政府令	要求行政部门必须在 2010 年比 1990 年减排 30%
小布什政府	2002 年宣布 《全球气候变迁行动》	设定减排目标为 2012 年,美国温室气体排放密度(单位 GDP 温室气体排放量)较 2002 年减少 18%,由每百万美元 183t 排放量水平将至每百万美元 151t 排放水平
	推出自愿性和鼓励性计划提高各行业的能源效率	《气候愿景伙伴计划》、《气候领袖计划》、《温室气体资源报告计划》
	重视科学研究和技术开发	提出《气候变化技术项目》和《气候变化科学项目》等
奥巴马政府	构建联邦总量-贸易新体系	支持总量与贸易体系实现减排,2020 年的排放量将下降到 1990 年水平,2050 年排放量将减少 80%
	投资绿色能源领域	计划十年内投资 1 500 亿美元开发使用清洁能源
	提高建筑物能效和汽车能效	十年内,新建筑物能效提高 50%,已有建筑物能效提高 25%;汽车消费税激励政策

资料来源:根据上海期货交易所博士后科研工作站的周秋玲发表的《浅析美国节能减排政策的现状与趋势》整理。

纵观美国历届政府颁布的节能减排政策可以发现,克林顿政府注重温室气体的减排,各项温室气体减排政策都设定了明确的减排目标,但是在制定减排目标时低估了温室气体的排放情况。由于当时美国经济处于快速成长时期,温室气体的排放飞速上升,使得减排效果并不明显。相比之下,小布什政府在承担温室气体减排的责任上不是很积极,他设定的减排目标并非是减少 CO_2 的排放总量,而是减少单位产出 CO_2 的排放密度。由此可见,他主要遵循不损伤经济发展的原则来制定减排目标。但是他比较重视提高能源效率的科学研究和技术开发。奥巴马推行的节能减排政策相比以往政策都更为积极,他支持总量与贸易体系,排放配额将全部拍卖,政府将拍卖所获得的利润全部用于清洁能源的开发和提高能效以帮助家庭缩减能源开支。同时,他积极投资绿色能源领域,提高建筑物能效和汽车能效。总体而言,美国的节能减排政策在法律法规和具体措施的制定方面都较为完善,值得借鉴和学习。

(2)英国。英国是西方发达国家,其人口只占世界人口的 1%,而资源的消耗和碳的排放量所占比例却超过 2%。19 世纪中期以后,英国的工业化进程不断加快,经济飞速发展,同时,工业革命所带来的生态和环境破坏也是前所未有。从 19 世纪晚期起,英国政府就陆续推行了一些包括环境卫生、食品标准、资源和能源的利用节约等方面的社会立法。20 世纪后期,随着英国城市化水平的提高和人们经济收入的增长,人们对生活质量提出了更高的要求,环境污染和资源的匮乏引起了社会的广泛关注。英国政府先后采取了一系列节能减排的举措,见表 1-2 所示。

英国的节能减排措施取得了良好的效果,对我国的节能减排政策主要有以下几个方面的启示:第一,综合利用价格、财税、信贷等经济手段,建立促进节能减排的激励约束机制和政策体系;第二,合理制定不同阶段节能减排指标,严格控制能耗和污染排放增量;第三,促进产业结构调整,构建节能降耗型产业结构;第四,大力发展循环

经济,支持可再生能源的开发和利用。

表 1-2 英国节能减排政策

方案	措施	具体内容
健全法律法规制度	制定专项法律防治污染	从源头上限制矿产资源企业污染排放;40多部关于规划的法律法规;强制要求企业控制大气污染;《工业发展环境法》、《空气洁净法》、《烟气排放法》和《环境保护条例》等;严格限制企业取水排污;《水资源法》和《水工业法》等
	出台国家节能计划和《家庭节能法》	1995年,颁布实施《家庭节能法》;2006年,再次出台建筑节能新标准,规定新建建筑必须安装节能节水设施,使其能耗降低40%
	实施《气候变化法案》	设定二氧化碳减排目标;到2020年,英国境内二氧化碳排放量在1990年的基础上必须消减26%~32%;到2050年,二氧化碳排放量必须消减至少60%
强化对企业的约束和激励	对第二产业严格限制	限制矿产资源开采企业生产;约束高能耗高污染生产型企业
	帮助企业节能减排	征收气候变化税;设立碳基金和减排基金;建立“碳信贷”的排放交易制度
	对第三产业节能减排的鼓励	大型商业机构对节能减排的促销宣传和自发节能减排行动;减少一次性塑料袋的使用;鼓励企业开发利用新能源和产品促进节能
狠抓建筑节能和新能源开发	建筑节能	规定2008年中央政府机关建筑物能耗要在1990年基础上降低20%,卫生保健部门2010年能耗要在2000年的基础上降低15%
	重视利用可再生能源	2007年公布《英国能源白皮书》,为英国可再生能源的开发设定了具体目标;在2020年将煤炭在英国能源总量中的比重由35%降低到20%,核能比重由19%降为5%,可再生能源的比重将由目前的6%扩大到35%,远远超出欧盟对各成员国的基本要求

资料来源:张志峰.发达国家节能减排政策及成效分析[D].吉林:吉林大学,2010:10~12;陆捷.青岛市节能减排内涵、评价和战略研究[D].青岛:青岛大学,2010:3;周冲.英国节能法律与政策的新特点[J].节能与环保,2009(7):21~23.