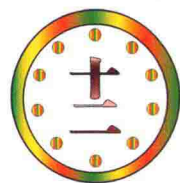


国外油气勘探开发新进展丛书

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



COALBED NATURAL GAS ENERGY AND ENVIRONMENT

煤层气 —— 能源与环境

[美] K.J.Reddy 编著
李文魁 刘岩 张茹 等译
Wendy Li 李文魁 审校

石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书 (十二)

煤 层 气

——能源与环境

[美] K. J. Reddy 编著

李文魁 刘 岩 张 茹 等译

Wendy Li 李文魁 审校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了天然气工业如何满足人口增长带来的不断攀升的能源需求,世界各地的煤层气开发情况以及煤层气在清洁能源供应中所发挥的重要作用。还专门介绍了产出水的水量、地球化学性质、水质、生态问题及管理方案。

作为一部多学科的综合书籍,本书将为能源工业、大专院校、工程领域和政策制定者提供重要信息,还可为能源科学与工程、地球科学、环境和自然资源等学科的高年级本科生和研究生提供有益参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤层气——能源与环境/(美)雷迪(Editor, K. J.)编著,
李文魁等译.——北京:石油工业出版社,2015.11

(国外油气勘探开发新进展丛书;12)

原文书名:Coalbed Natural Gas Energy and Environment

ISBN 978-7-5183-0851-4

I. 煤… II. ①雷…②李… III. 煤层-地下气化煤气-研究
IV. P618.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第198973号

Coalbed Natural Gas: Energy and Environment Edited by K. J. Reddy

Copyright© 2010 Nova Science Publishers, Inc.

All rights reserved.

本书经 Nova Science Publishers, Inc. 授权石油工业出版社
有限公司翻译出版。版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2012-8853

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010) 64523562 图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:24.5

字数:625千字

定价:120.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书（十二）》

编 委 会

主 任：赵政璋

副 主 任：赵文智 张卫国 石 林

编 委：（按姓氏笔画排序）

王屿涛 王俊亮 卢拥军 田 冷

刘德来 李文魁 周英操 周家尧

章卫兵

《煤层气——能源与环境》

翻 译 小 组

组 长：李文魁

成 员：刘 岩 张 茹 何春艳 李 钊

王 云 高明忠 武俊文 WENDY LI

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺，推动中国石油上游业务技术进步，本着先进、实用、有效的原则，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量，对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进，并翻译和出版。

从2001年起，在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上，从生产需求出发，通过优中选优已经翻译出版了11辑60多本专著。在这套系列丛书中，有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平，有些非常具有实用性，也是生产中所亟需。这些译著发行后，得到了企业和科研院校广大科研管理人员与师生的欢迎，并在实用中发挥了重要作用，达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。部分石油单位统一购买并配发到了相关的技术人员手中。同时中国石油天然气集团公司也筛选了部分适合基层员工学习参考的图书，列入“千万图书下基层，百万员工品书香”书目，配发到中国石油所属的4万余个基层队站。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可，三次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”，形成了规模品牌，产生了很好的社会效益。

2015年，在前11辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出了国外最新出版的6本专著，即《采油采气工程指南》《阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及实践（卷一：理论基础）》《稠油及油砂提高采收率方法》《煤层气——能源与环境》《控压钻井——建模、模拟与设计》《水力压裂化学剂与液体技术》，以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校工作，使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版，并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气集团公司副总经理

译者前言

本书译自 K. J. Reddy 组织编著的《Coalbed Natural Gas—Energy and Environment》一书。书中回顾了全球能源供应情况，世界各地（美国、加拿大、澳大利亚、新西兰、中国）煤层气勘探开发情况，随煤层气产出的地层水监测处理措施；评估产出水对土壤、植被、水体及空气等环境资源的潜在影响及提高采出水的利用效率；讨论了天然气工业如何满足人口增长带来的日益飙升的能源需求，能源与环境紧密相关性，有效的标准和管理政策建立，政府机构、行业协会和非政府组织的决策指导，以及煤层气在清洁能源供应中所发挥的重要作用。在过去 20 年中，美国煤层气开发业务的成功技术，有力地指导了世界其他地区的煤层气开发工作。

全书由李文魁组织协调中国石油勘探开发研究院、冀东油田分公司和四川大学有关人员翻译，其中摘要、第二章、第三章、第十章、计量单位、符号、术语由刘岩翻译，第四章、第五章、第六章、第八章、第九章、第十三章由张茹翻译，前言、第一章、第十一章由李钊翻译，第十七章、第十八章、第十九章由何春艳翻译，第十二章、第十五章、第十六章由王云翻译，第七章由高明忠翻译，第十四章由伍俊文翻译。全书由李文魁统稿并撰写译者前言，Wendy Li、李文魁审校。

限于译者水平，翻译错误与不当之处在所难免，诚恳希望专家、读者批评指正。

译者

2015 年 3 月

献词

谨以此书献给我的妻子 Jyothi（意为“光”）和美丽的女儿 Sweztha 与 Swathi。我的妻子在我的生命中播下勤奋、正直和慈悲的种子，但她还没来得及看到她播下的种子结果就英年早逝了。她的精神将永远与我们同在，她永远活在我们心里。

原书前言

能源与环境紧密相关，是人类社会不可分割的组成部分。近年来，人们已经普遍认识到，既要通过不断勘探煤、石油、天然气、煤层气、铀、页岩油、风能、太阳能、水力和地热等来满足日益飙升的能源需求，又要保护好大气层、岩石圈、水圈和生物圈等环境。由于能源开采越来越困难，对非传统能源的依赖不断增加，所以降低能源开发对环境的影响越来越困难。本书回顾了全球能源供应情况，由于经济和人口的不断增长，过去 30 年里天然气用量（包括煤层气 CBNG）持续增加，增量超过 30%。

第一章——能源与环境是人类社会紧密联系、不可分割的组成部分。既要通过不断勘探煤、石油、天然气、煤层气、铀、页岩油、风能、太阳能、水力和地热等能源来满足突然高升的能源需求，又要保护好大气层、岩石圈、水圈和生物圈等环境，近年来，人们已经越来越清楚认识到了这一点。由于开采越来越困难以及对非传统能源的依赖不断增加，降低能源开发对环境的影响变得越来越困难了。

第二章——不断增加的能源需求和对气候变化的担忧，使得当今社会不得不去寻找更多的清洁能源。煤层气——无法进行采掘的深煤层天然气，作为一种清洁能源，在美国和世界其他地区的能源供应中，其地位日渐突出。在煤层气开采中，为使煤层气开始流动，必须先要将煤层中的大量地层水排出。地层水的水质差异很大，需要采取不同的处理措施，才能避免对环境产生不利影响。

第三章——怀俄明州 10 个煤田中有 5 个煤田含煤层气，但是只有 2 个煤田自 2008 年开始大量开采煤层气，一个是怀俄明州东北部的 Powder River（保德河）煤田，另一个在怀俄明州中南部 Green River 煤田的东南边缘。自 1987 年开始开采以来，Powder River 煤田已经生产了 $3.2 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 生物成因煤层气；自 1990 年，Green River 煤田已经累计开采了生物成因和热成因煤层气 $43 \times 10^9 \text{ ft}^3$ 。Powder River 煤田，2008 年煤层气产量 $0.53 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ，预计该煤田煤层气可采储量为 $25.2 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ，探明储量 $2.7 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 。Green River 煤田东南的大西洋沿岸地区，2008 年煤层气产量为 $14.2 \times 10^9 \text{ ft}^3$ ，预计煤层气可采储量为 $1.5 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ；允许钻井 1800 口的环境影响报告完成后，该地区的煤层气开发将不断加速。Powder River 煤田大部分煤层气井是裸眼完井，而大西洋沿岸煤田的煤层气井采用套管射孔完井。2008 年，这两个地区的煤层气产量之和占怀俄明州天然气总产量的 21% 以上，也使怀俄明州成为全美国煤层气产量最高的州。而科罗拉多州以稍高于 $0.49 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 的产量成为 2008 年的煤层气美国生

产第二大州。

Wind River 煤田和 Hanna 煤田的一些煤层气开发试验项目也开采出了少量煤层气，但这两个煤田的煤层气产量因没有达到商业化生产的要求，而停止了试验。计划在 Wind River 煤田南部的 Beaver Creek 油田开展较大的一个新项目，但还未获得批准。

Powder River 煤田和 Green River 煤田的煤层气剩余可采储量都较高，加上未来其他地区勘探到的可采储量，怀俄明州总的煤层气可采储量将会很高。按目前的年产量，这两个煤田的煤层气可以开采 30~40 年。

第四章——阿拉巴马州黑勇士盆地自 1980 年已开始煤层天然气的商业化生产。区域内的预测资源量在 $(10\sim20)\times10^{12}\text{ft}^3$ ，累计产量超过 $2.1\times10^{12}\text{ft}^3$ 。该成熟盆地积累的大量数据和丰富经验，有力地指导了世界其他地区的煤层气开发工作。在黑勇士盆地，岩石组成、地质结构和盆地水文地理，不但是控制煤层气分布和生产能力的因素，而且对随煤层气产出的地层水的化学性质有重要影响。

在黑勇士盆地，有很多与煤层气开发相关的运行管理工作。由于地下煤矿中有采空区矿井和水平井，各地普遍使用直井来开发多层段煤层。阿拉巴马州煤层气工业面临的主要环境挑战是水的管理和完井方式，面对挑战也带来了新的机遇——不断改进开发方式、提高采出水的利用效率。黑勇士盆地的煤层具有巨大的储存温室气体的能力，与温室气体储存相关的提高天然气采收率项目，可能会明显增加本地区的基础储量。

第五章——在美国，煤层气是天然气的一个重要来源，原地储量估计为 $700\times10^{12}\text{ft}^3$ ，其中经济可采储量 $100\times10^{12}\text{ft}^3$ ，按美国当前的天然气消费速度可使用 5 年。尽管煤层气是一种清洁能源，但仍可能引起环境问题，其中主要是如何处理煤层降压过程中随天然气一起产出的地层水。解决该问题的关键是，制定策略，最大限度地降低产水量，同时尽量有效地利用产出水。该章介绍的两种极具潜力的煤层气产出水示踪剂，有助于实现这一目标。文中还说明了如何利用锶、碳同位素法确定以下内容：（1）产出煤层气的含水层的隔离程度；（2）产出水在地表水系中的去向；（3）产出水渗入浅层地下水系的情况；（4）煤层气产出水在农业上的有效利用情况。这些方法的使用通过怀俄明州东北部和蒙大拿州东南部的 Powder River 盆地的例子进行了说明，该地区的煤层气产量占全美国的 40%。

第六章——对于野生动物的健康及经济可行的畜牧业生产而言，水绝对是最基本的资源。但遗憾的是，在美国西部干旱平原和山间地区，水资源往往有限。在这种情况下，在牧场主和野生动物管理者眼中，能源生产中产生的产出水可能是天赐甘霖；但如果产出水水质不好，尤其是，如果会降低先前可使用水的水质，那么产出水也可能变成一场灾难。任何决策过程都首先要了解什么样的水质可供牲畜和野生动物饮用，才能决定是否将产出水用于牲畜和野生动物。虽然科学文献提供有各种相关数据，但遗憾的是，自 1972 年美国国家研究

委员会（NRC）发布《畜牧场用水》报告以来，几乎没有可靠的资料供生产者和监管者使用。

怀俄明大学的研究团队最近开展了一项研究，旨在建立一个怀俄明州畜牧养殖者关注的若干水质成分的数据库。虽然研究工作是专门针对怀俄明州的情况，但研究结果适用于大部分地区。该章将简要介绍确定“安全”饮用水标准的方法，简单总结研究工作。

第七章——一般情况下，煤层气产出水均被排放到气井附近修建的处理池中。目前，人们对于产出水的地球化学性质不甚了解。该章主要讨论在抽采过程中以及在处理池中，产出水发生的地球化学变化；还将讨论某些微量元素在处理池沉积物中的流动性。研究表明，可能由于蒸发等环境原因，处理池水的 pH 值，碱度及钠、钡、砷和硼的含量均有升高；因为方解石沉淀，处理池水中钙等其他元素的含量降低。沉淀作用和溶解反应控制着煤层气产出水中钙、铝、铜、钡的浓度；吸附作用和解吸反应控制着处理池中煤层气产出水中砷、钼、硼的浓度。在处理池沉积物中，虽然砷和硒的浓度很低，但这些元素以可交换的、与碳酸盐结合的形式逐年增多。砷和硒的浓度可能很快升高至使野生动物和家畜产生慢性中毒的程度。认清煤层气产出水发生的地球化学变化过程，将有助于联邦机构、州政府和土地所有者管理好这种潜在资源。

第八章——在过去的 10 年里，美国西部的煤层气开采量不断提高，弥补了不断增长的能源需求。长期监测研究对于优化利用 Powder River 盆地的煤层气产出水、保护自然资源（如土壤、植物、地表水和地下水）有着积极的意义。本章的具体目标是：（1）按 McBeth 等（2003）及 Jackson 和 Reddy（2007）提出的方法，连续 2 年以上监测 Powder River 盆地煤层气产出水排水口和处理池中的水；（2）测定排水口和处理池中的煤层气产出水的地球化学性质；（3）研究处理池中 pH 值、钠吸附比和微量元素的浓度随时间的变化规律；（4）测定煤层天然气处理池沉积物中微量元素可能发生的淋溶作用；（5）评价怀俄明州 Powder River 盆地煤层气处理池中水的潜在有益用途。

2006 年至 2007 年间，从 Powder River 盆地的 5 条子流域河流夏延河（Cheyenne River CR）、贝尔富什河（Belle Fourche River，简称 BFR）、小保德河（Little Powder River，简称 LPR）、保德河（Powder River，简称 PR）和唐河（Tongue River，简称 TR）采集了煤层气产出水排出口的水样、处理池中的水和沉积物的样品。分析了水样的 pH 值，电导率（EC），总溶解固体量（TDS），主要阳离子、阴离子和微量元素。采用毒性特性溶出程序（TCLP）分析了沉积物样品中的微量元素。利用 MINTEQA2 模型进行的地球化学数据分析，测定了物质形成、络合作用和矿物饱和的过程。通过统计分析，确定了不同流域沉积物的差异并建立了描述模型。

深入研究最近 7 年的水质监测数据（包括该章中所述的对处理池中煤层气产出水的研

究), 得出的结论是, 研究流域中水的 pH 值普遍超过灌溉用水、野生动植物和家畜用水以及水生生物需水的酸碱度界限值。但研究人员认为, 随着大气中的二氧化碳进入处理池, 研究流域水的 pH 值会逐渐降低。某些流域(例如 Powder River 和 Tongue River 流域)的钠吸附比超过了灌溉水的允许限值。对于这些流域, 可用斜发沸石(一种本地产的沸石)或反向电渗析工艺处理煤层气产出水, 降低钠吸附比, 最大限度扩大煤层气产出水在灌溉方面的应用。除铝和氟以外, 处理池水的钙、镁、钾等主要元素或微量元素(如铬、铁、钡、铜、锰、锌、硼、氯、硝酸盐、磷酸盐、硫酸盐、砷和硒)的含量均达到了各种应用(如灌溉用水、野生动植物和牲畜用水及水生生物需水)对 Powder River 盆地所有流域水体的水质要求。继续对 Powder River 盆地煤层气产出水排水口、处理池和沉积物渗出液进行长期的地球化学过程监测, 通过趋势分析预测处理池水中微量元素毒性、淋溶可能性, 找到 Powder River 盆地煤层气产出水的最佳用途。

第九章——甲烷(CH_4)是煤层气的主要组分, 一般被圈闭在深层承压煤炭矿床中。开采煤层气需要抽排地下水。煤层气产出水被排放到蒸发池中进行处理。公开发表的研究结果表明, 砷等微量元素在处理池中更易溶解和提取。该章的目的是了解煤层气产出水中砷元素的地球化学性质。通过统计分析和地球化学建模(可视化 MINTEQA 模拟软件), 对 Powder River 盆地煤层气产出水排水口和处理池中的 pH 值、氧化还原电位、温度、主要离子和微量元素等水质数据进行分析, 以确定排水口和处理池中砷元素的处理方法和运输方式。分析结果表明, 处理池中的砷浓度, 即使极低, 也高于相应的排水口处的砷浓度。例如, 排水口处的砷浓度平均为 $0.6\mu\text{g/L}$, 而在处理池中则达 $5.6\mu\text{g/L}$ 。但是, 这些砷浓度均远低于 $10\mu\text{g/L}$, 即美国环境保护局规定的人类饮用水中砷元素最高污染浓度(MCL)。砷浓度与处置池中的 pH 值存在着正相关的关系, 还与钼和硒存在着明显的正相关关系, 说明在排水口和处理池两处的吸附部位均存在竞争关系。通过地球化学建模, 预测了处理池中砷酸钡的沉淀情况。该章的研究结果将有助于理解怀俄明州 Powder River 盆地煤层气产出水中砷元素的处理措施。

第十章——随着科罗拉多州煤层气开发生产的不断扩大, 人们对土壤、植被、水以及空气等环境资源的担心也越来越多。本章将回顾煤层气开发对这些资源的潜在影响, 讨论本州的相关管理规定。煤层气开采涉及钻井井场、道路、压缩机及泵站等, 可能造成大面积的土壤扰动。一般来说, 工矿现场的干扰越少, 土壤的侵蚀就越小, 而且现场干扰将导致植被干扰。在现场施工保证书中要确定独特的植被群落, 包括原始森林和河岸地区, 而且通常(或者必须)要保证对这些植被群落没有干扰。尽管规定要求修复因煤层气开发而污染的土地, 但先前对现场修复和植被的研究表明, 在科罗拉多州东部的贫瘠土地上恢复植被需要 50 年。最近已经裁定煤层气产出水是商品, 因此煤层气排水需要用水权。煤层气产出水的

用途包括：直接排放到江河中、用于灌溉以及牲畜和野生动物的饮用水。灌溉用水需要考虑水的矿化度、渗透性维护能力（碱性）、营养平衡以及对作物主要离子的毒性。担心煤层气开发对空气资源的影响，主要是对挥发性有机化合物和颗粒物质的担心。尽管已经建立了一些与自然资源相关的管理规定，但是很多情况下还需要进行其他的监测以确定这些规定是否能够保护自然资源，以及是否需要其他的规定。天然气企业认为科罗拉多石油和天然气保护委员会管理规定的最新变化，只会成为经济负担，并将把他们调节出这个行业，而不会为自然资源提供更多保护。自然资源的监控数据需要合作收集，需要各方能平等地确定目前的监管是否适当、是否还需要其他的监管，以保护资源的可持续性。

第十一章——该章的目的是总结煤层气开发可能对鱼类和其他水生资源产生的影响。作者调研了美国各地的煤层气开发情况，并把怀俄明州 Powder River 盆地作为研究案例来说明一些相关问题。煤层气开发过程中采出的地层水的水质变化很大。许多煤层气产出水的总固体溶解量很高，对鱼类和其他水生生物的影响很大；如果煤层气产出水不经处理，可能对鱼类和水生生物产生毒害作用。在 Powder River 盆地一些地方要特别关注碳酸氢钠浓度升高对某些种类鱼苗和水生无脊椎动物的危害。盆地内直接受到产出水毒害的区域是上游源头和小支流。煤层气钻井和开采过程中使用的有机化合物对水质、鱼类和水生有机物的影响大小还不能完全确定。如果煤层气产出水的含盐量低，或者其中的盐分被处理掉后，则可以排放到季节性或永久性河流中。一些小河流流速加快会加剧土壤的侵蚀，影响鱼类和水生有机物的栖息地。在大平原地区的河流中，如 Powder River，鱼和水生无脊椎动物群落是在极端环境条件下形成的。在地面水流很少或者无地面水流的情况下，直接排放煤层气采出水可能改变水生生物群落结构。煤层气开发对鱼类和水生生物的其他影响还包括道路修建、管线铺设、道路穿越河流或季节河道、入侵生物扩散的可能性、有毒物质的泄漏以及捕鱼量的增加。

第十二章——天然气作为一种清洁的化石能源，正在不断被开采出来。开采煤层气需要把地下水抽排到地面，储存在处理池中，然后排入河流或回注到地下水层中。之前的研究表明处理池中微量元素的浓度较高，而对处理池中无脊椎动物群的情况却是一无所知。2008 年文章作者从每个煤层气产出水处理池中采集了 3 个底栖生物泥心（共 15 个处理池）。从 7 个目的昆虫、4 类软体动物和 3 类甲壳纲动物中共收集了 40 种生物；从无脊椎动物的密度来看，非昆虫类占 64%（以寡毛纲和线虫纲居多），昆虫类占 36%（摇蚊科、螺科以及四节蜉科居多）。对比无脊椎动物的密度与之前发布的微量元素含量（钙、铜、硒和铁）发现，随着处理池水中微量元素含量的升高，水生无脊椎动物群的多样性、丰富性不断降低。这一结果表明，微量元素浓度在一定程度上将影响煤层气产出水处理池中的水生无脊椎动物群。

第十三章——在进行非常规能源资源开发时，能源行业面临的障碍之一是制定高效

经济的产出水管理策略。在选择、设计合理的产出水处理工艺，将产出水转化为可用产品的过程中，产出水独有的化学性质和成分（如高浓度溶解盐和矿物质）给工程师提出了许多难题。事实上，虽然现有工艺能够将产出水处理达到饮用水质标准，但设计时必须仔细考虑产出水水源所在位置的独有特征以及产出水本身的特征。该章将探讨产出水管理常用的最具相关性的一些处理技术。这些技术统称为脱矿工艺，能够除去产出水典型的高浓度总溶解固体（TDS）。该章涉及的工艺包括离子交换、高压膜工艺以及非压力驱动膜工艺。尽管各种工艺的详细设计不在讨论范围内，但该章将介绍每项技术的基本要求和应用，论述各工艺的局限性和面临的挑战。

第十四章——在怀俄明州和蒙大纳州，Powder River 盆地（PRB）的煤层气相关活动，如开发、产出水利用等，改变了天然土壤的性质、营养物的循环、植被群落，破坏了当地野生动物栖息地，还引起了其他群落和环境的变化，因此影响了 PRB 的生态系统。对煤层气开发活动的主要担心是含盐、碱的产出水的利用问题，因为这种水进入河流或（和）用于农业灌溉时将引起土壤的分散，影响植物群落。不但从盐、碱关系方面，更要从带来的环境变化方面来确定钠对土壤性质的危害。尽管 Ayers 和 Wescot（1985）已经就如何评价钠对土壤的渗滤性危害提出了指导意见，但钠的危害程度与土壤质地、结构、黏土含量、矿物含量、有机质含量及植物群落等关系更大。此外，盐碱水灌溉过的土壤再用不含盐的水或雨水灌溉，由于土壤电导率和渗透率降低，钠的危害程度可能增加。遗憾的是，在维护井场完整性和环境质量方面，监管部门发放许可时常常没有考虑这些重要因素。研究表明，煤层气产出水给土壤的物理、化学和生物性质带来了负面影响。植被会对现场的管理及水质情况作出反应，有些现场出现了植物总量增加而多样性减少的现象。土壤改良和水处理将降低盐碱水的不利影响；需要监测现场对这些处理措施的反应，证实生态系统的完整性和生产能力。

在煤层气开发扰动现场之前、之中和之后，合理规划土地用途非常重要。基线研究和评估需要考虑如何使土地用途既满足土地所有者的要求，同时又兼顾潜在影响和植被恢复问题。规划中要考虑的因素包括景观设计、表层土性质、表层土保护方法、植被恢复优化和可利用的水资源等。土地规划的核心目的是通过确定某块土地的最佳用途，如种植庄稼、放牧、水处理或水利用，创造一个可持续的环境。煤层气开发扰动的现场、土壤和水的性质，对环境质量 and 可持续性起着至关重要的作用，因此在土地规划时必须确定这些因素。

第十五章——沿落基山脉 Front 岭受煤层气开发影响的 4 个州中，怀俄明州的煤层气气井最多、排水量最大。怀俄明州的大部分煤层气产自其东北角上的 Power River 盆地（PRB）。截至 2008 年 2 月，已经批准的气井有 46638 口，其中正在生产的气井 24423 口；预计怀俄明州煤层气气井将超过 100000 口，其中至少有 51000 口在 Power River 盆地。1987—2007 年间，Power River 盆地煤层气井的总产水量达到 617371 acre · ft。已经许可大部

分产出水在地面处理、进入临时河道或储存在蓄水池内。虽然 Power River 盆地的煤层气开发已经进入第二个 10 年，但产出水造成的土壤盐化、碱化问题以及产出水的储存与排放问题都还没有解决。为了有效利用产出水，降低对土壤、植被以及水体的影响，迫切需要建立一套行之有效的标准和管理政策。沿 Front 岭的怀俄明州、蒙大拿州、科罗拉多州以及新墨西哥州等 4 个州已经采用了不同方法来规范煤层气产出水的处理。怀俄明州环境质量局试图基于末端管道水质标准建立一项农业保护政策，但目前还存在争议。

第十六章——政府机构、行业协会和非政府组织的决策指导着怀俄明州 Powder River 盆地煤层气的开发；部分管理决策带来了令人意想不到的后果，导致民事诉讼和侵权诉讼，促进了立法改革。怀俄明州出台的有效利用煤层气产出水的决策，使其成为周边几个州中唯一一个规范煤层气开发的州。从法律角度看，一旦煤层气产出水采出地面，就应该可以有效利用，或排放于地表。Powder River 盆地影响煤层气开发的其他复杂因素还包括：地表土地和地下矿藏分散属于不同的所有者（地表土地通常为私有，地下矿藏通常为国有），地质条件限制了煤层气产出水的回注。因此，煤层气产出水的管理方法包括：直接排放于干涸的季节河或常流河、储存于有内衬或无内衬的蓄水池、处理后用于农业灌溉和牲畜饮用。监管机构和法院已经对煤层气行业在近 10 年中取得巨大进步作出了回应，希望通过不断煤层气产出水的管理与处理，减小其对环境 and 人类的影响。

第十七章——加拿大煤层气资源主要集中在加拿大艾伯塔省西部沉积盆地（WCSB）。艾伯塔盆地煤层气资源潜力超过 $500 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ($14 \times 10^{12} \text{ m}^3$)，储量预计为 $(43 \sim 130) \times 10^{12} \text{ ft}^3$ [$(1.2 \sim 3.7) \times 10^{12} \text{ m}^3$]。截至 2008 年底，艾伯塔煤层气总井数超过 12000 口，其中主要是新钻煤层气井和一部分二次完井的老井。

据艾伯塔省能源与公用事业局（AEUB）估计，艾伯塔省仅在 2005 年新钻煤层气井近 1600 口，由于这一年的钻井和气价达到历史最佳状况，当年又额外新增加了 1262 口煤层气井钻井许可。2004 年艾伯塔省的煤层气产量还很低，每天约为 $58 \times 10^6 \text{ ft}^3$ ，占艾伯塔省天然气总产量的 0.5%。2005 年起艾伯塔省煤层气产量稳步增加，从 2005 年底的 $100 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$ 增至 2006 年底的 $213 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$ 。2008 年底煤层气产量接近 $400 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$ ，预计到 2015 年达到 $700 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$ ，这将是艾伯塔省可销售天然气总量的 15%（艾伯塔地质调查局网站，2009 年）。

艾伯塔省 90% 以上的煤层气井分布在气候较干燥的 Horseshoe 大峡谷（马蹄大峡谷）区域，其中约 7% 井的产层位于 Mannville 煤层，而这 7% 的井却产出了大量盐水（Russum, 2005）。Horseshoe 大峡谷（HSC）煤层气藏是加拿大西部沉积盆地的主要气藏，2008 年底煤层气产量是 $250 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{d}$ 。随着开发生产范围的扩大，预计煤层气产量将不断增加，目前开发范围已经扩大到 Horseshoe 大峡谷走廊北部，越过了卡尔加里边界地区，最早在这些地

区进行商业化开发的是 MGV 和 EnCana 两家能源公司。经过几年的钻探，2005 年 Trident 勘探公司宣布在加拿大西部沉积盆地艾伯塔平原 Corbett Creek 地区 Mannville 煤层的勘探取得商业成功。但是，到目前为止，艾伯塔省和不列颠哥伦比亚省构造复杂的丘陵和山脉地区的开采煤层气的许多尝试，都没有获得成功。

第十八章——在过去 20 年中，随着美国煤层气开发业务的成功，澳大利亚和新西兰的多家公司也在积极探索和发展煤层气开采技术。特别是澳大利亚昆士兰州的 Bowen 盆地和 Sourat 盆地，进行了大规模的煤层气开发。遗憾的是，煤层气开采可能带来的环境问题却未受到广泛关注，相关的法规也不能满足快速发展的需要。

澳大利亚 Bowen 和 Sourat 盆地加煤层气总资源量估计为 10500PJ，吨煤煤层气含量高达 10m^3 。新西兰的煤层气资源规模没有官方数据，但初步估计达到 1300PJ，吨煤煤层气含量为 $1\sim 5\text{m}^3$ 。

由于地下水的层间流动，昆士兰州 Wallon 煤层组降压开采煤层气可能导致相邻深层水水位下降。煤层气开采公司一直将采出的地下水排入无内衬的大池塘，这不是处理产出水的最佳方法。昆士兰州的煤层气产出水具有煤层气产出水的典型地质化学特征（Van Voast, 2003），如果选择在地面处理这些产出水，可能会损害土壤、影响植物生长。在新西兰，尽管煤层气的大规模生产还没有开始，但勘探井的水质已经表现出上述特征。

一般情况下，煤层气产出水对环境的影响取决于含水层系、产出水量、水质以及水处理方法。只有了解了这些影响，才能采取有效方法处理煤层气产出水，将产出水对环境的影响降至最低；如果处理方法得当，煤层气产出水将得到有效利用，成为利益相关者的宝贵资源。

第十九章——在中国，深度 2000m 以内的浅部煤层气地质储量为 $36.81\times 10^{12}\text{m}^3$ 。深度小于 1500m 的煤层气可采储量为 $10.9\times 10^{12}\text{m}^3$ ，主要产于石炭系、二叠系与早、中侏罗统的煤层层系。这些煤层气资源主要分布在 41 个盆地（盆地群），其中 9 个较大盆地（盆地群）控制的储量超过 $1\times 10^{12}\text{m}^3$ ，15 个中等级盆地（盆地群）煤层气储量范围为 $(0.1\sim 1)\times 10^{12}\text{m}^3$ 。1990—2007 年，中国先后在 48 个煤层气勘探区块钻井共计 2454 口，其中包括 37 口多分支水平井。但到 2007 年时，只有 701 口煤层气排采井。中国煤层地质条件复杂，变形煤构造极其发育，因此采用地面钻井抽采和地下瓦斯抽放系统抽采两种方式开采煤层气。地面钻井抽采煤层气广泛采用空气/雾化欠平衡钻井技术、绳索取心技术、注入/压降法测试技术、套管射孔完井技术和煤层气活性水压裂提高采收率技术。地下瓦斯抽放系统抽采是在采煤之前将煤层及其顶层和底层、相邻煤层及其顶层和底层中的瓦斯气（煤矿甲烷 CMM）抽排出来。2007 年，地面钻井抽采煤层气产量 $3.25\times 10^8\text{m}^3$ ，而地下瓦斯抽放系统抽采煤矿甲烷产量是 $44\times 10^8\text{m}^3$ 。

目 录

第一章 绪论	(1)
参考文献	(2)
第二章 不断变化环境中的煤层气 (变化着的环境与煤层气开发)	(3)
一、引言	(3)
二、煤层气的成因	(4)
三、煤层气开采过程	(4)
四、煤层气开发的环境影响	(5)
五、结论	(6)
参考文献	(6)
第三章 怀俄明州的煤层气勘探开发	(8)
一、引言	(8)
二、含煤层气的历史证据	(11)
三、勘探目的层	(12)
四、开发	(13)
五、资源与储量	(18)
六、总结	(18)
致谢	(19)
参考文献	(19)
第四章 阿拉巴马州黑勇士盆地成熟区煤层天然气藏及其作业活动	(21)
一、引言	(21)
二、气藏地质情况	(23)
三、天然气和水的产出	(32)
四、环境挑战	(38)
五、结论	(39)
致谢	(39)
参考文献	(40)