

中国煤层气地质与资源评价

张新民 庄 军 张遂安 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是中国煤层气研究的最新成果。全书共分七章,系统论述了中国煤层气地质背景和煤层气的成因及储集、保存条件,全面总结了我国煤层气控气地质规律。对煤层气藏的分类和形成条件、煤的吸附特征及深部煤层气含量预测、煤储层渗透性预测及评价、煤储层水动力特征与煤层气的关系、我国主要煤田现代地应力场特征及其与煤储层渗透性的关系等煤层气地质的基本命题进行了深入论证,提出了一系列独到的见解;建立起全新的我国煤层气资源分布区划体系,进行了新一轮全国煤层气资源预测,计算出在埋深 2000m 以浅煤田范围内,我国的煤层气资源量为 $31 \times 10^{12} \text{ m}^3$;对我国煤层气资源开发利用前景和相应策略进行了深入分析,并对各开发有利区块分别作了详细的资源评价。本书资料翔实、内容丰富,具有很强的科学性、创新性、资料性和实用性。

本书可供煤层气地质及勘探开发的科技人员,煤炭、石油、地质工作者,高校有关专业师生,煤层气开发利用管理人员及投资者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤层气地质与资源评价 张新民,庄军,张遂安主编. —北京:科学出版社,2002

ISBN 7 03 010863 9

. 中... . 张... 庄... 张... . 煤层-地下气化煤气-采矿地质学-中国 煤层-地下气化煤气-经济评价-中国 . P618 .110 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 068838 号

责任编辑:胡晓春 刘卓澄 责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平 封面设计:黄华斌

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 12 月第 一 版 开本:787 × 1092 1 16

2002 年 12 月第一次印刷 印张:19 1 4 插页:5

印数:1—800 字数:436 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换 杨中)

《中国煤层气地质与资源评价》

编委会及编写人员

主 任 李玉林
副 主 任 冯三利 张新民
编 委 (以姓氏笔画为序)
白清昭 庄 军 杨锡禄 张 群 张遂安
靳秀良
顾 问 杨锡禄 王煦曾 王梦玉
主 编 张新民 庄 军 张遂安
作 者 (以姓氏笔画为序)
王梦玉 冯三利 冯利军 庄 军 宋生印
员争荣 张 群 张 慧 张培河 张遂安
张新民 武彩英 庞湘伟 郑玉柱 钟玲文
席先武 韩宝山 靳秀良 雷崇利 穆 青

前 言

煤层气是一种新型洁净能源,开发这一新型能源对缓解能源的供需矛盾、实施可持续发展的能源战略、保护人类的生存环境、解决煤炭开采中的安全问题等都具有十分重要的现实意义,因而引起了世界各国的关注。我国已将煤层气列入国家重点鼓励发展的产业,并组建了中联煤层气有限责任公司(简称中联公司,下同),对全国煤层气进行行业管理。

我国把煤层气作为独立的能源进行资源评价是从“六五”煤成气国家科技攻关项目开始的,“七五”天然气国家科技攻关项目中设立了专题,进行煤层气资源预测研究。迄今文献和各种传媒所引用的我国煤层气资源量为 $30 \times 10^{12} \sim 35 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的数据,就是取自“七五”天然气国家科技攻关项目中,煤炭科学研究总院西安分院所承担专题的计算结果。后来,煤炭、地矿、石油系统的有关单位或个人,也进行过全国性的煤层气资源预测工作。限于当时的资料情况、工作程度、实验条件以及认识水平,加之没有统一的规范,各家的做法互不相同,致使结果和资料无法进行比较。

“八五”、“九五”期间,国家继续对煤层气给予扶持。20世纪90年代以来,随着美国煤层气技术的引进,我国煤炭、石油、地矿以及地方政府从多种渠道筹集资金进行煤层气地面勘探工作;联合国也在1991年和1992年先后两次资助我国进行煤层气资源勘探和开发利用工作;许多外国公司纷纷出资在我国进行煤层气风险勘探。这些项目都取得了丰硕成果,积累了大量实际资料。另一方面,我国煤层气资源分布范围广泛,地质条件复杂多变,如何根据煤层气的特殊性选择有利地带,以便集中力量进行勘探开发,是摆在中国地质工作者面前的一个十分现实的重大课题。在这方面可供我们借鉴的理论和技術不多,如国务委员宋健所指出的,中国煤层气地质条件与美国相比有很大差异,对美国的理论和技術要借鉴,但不能照抄照搬。我们必须结合中国的地质条件,研究和探索煤层气理论及勘探开发技术,总结出一套适合我国地质特征的煤层气资源评价选区方法,指出煤层气勘探的合理方向。

基于上述认识,中联公司从加强发展战略研究的角度,以探索具有中国特色的煤层气科技发展道路为目标,根据原国家计委的安排,组织实施“中国煤层气资源评价”项目(编号:[1997] 2301)。该项目下设3个课题,其中“全国煤层气资源评价”为其核心课题,由煤炭科学研究总院西安分院承担完成。“全国煤层气资源评价”课题的任务是:对华北聚煤区、六盘水含煤区、辽中地区、三江-穆棱河含煤区、湘赣地区、重庆地区和新疆主要煤田,共7个地区的煤层气资源开发前景分别进行评价,选择勘探开发的有利区块;编制一套中国煤层气系列挂图;在此基础上,进行全国汇总,提交“全国煤层气资源评价”报告。本课题要达到的目标是: 深入研究并阐明上述7个地区煤层气发育赋存的地质条件,分析其煤层气资源开发潜力; 编制一套实用的中国煤层气系列挂图,供有关部门和单位使用; 总结中国煤层气地质的基本规律和勘探开发经验,为创立有特色的中国煤层气地质学奠定基础; 在新的基础上进行新一轮全国煤层气资源量预测,分析探讨煤层气的开发利用前景,为我国煤层气产业的更大发展提供资源地质支持和科学的决策依据。

“全国煤层气资源评价”课题 1997 年 7 月开始,2000 年 3 月完成。煤炭科学研究总院西安分院院长赵学社研究员担任课题领导小组组长,中联公司副总经理冯三利高级工程师等任领导小组副组长;煤炭科学研究总院西安分院张新民研究员和庄军研究员为课题负责人,课题组成员由分别来自煤炭科学研究总院西安分院和中联公司的 19 位科技人员组成。课题组以现代煤层气技术理论(包括煤层气生产的基本原理、储层性质的测量技术、气藏数值模拟技术、煤层气井产量模型)为指导,在占有大量实际资料的基础上,利用系统编制的煤层气基础图件,综合分析影响煤层气生产的各种地质因素,即含气量、渗透率(性)、煤阶、沉积环境及煤层分布、构造条件、水动力学条件以及它们之间的相互作用和联系;结合地区经济和市场条件,分区块提出煤层气地质评价选区标准,优选有利区块;并对靶区的煤层气勘探开发部署提出具体建议。两年多来,本课题共完成了 10 个专题(专项)研究报告,一套中国煤层气系列挂图 5 幅,一份课题总报告;各专题的承担单位、负责人、完成时间等信息如《“全国煤层气资源评价”课题技术成果一览表》所示。

“全国煤层气资源评价”课题技术成果一览表

专题(专项)报告名称	完成时间	承担单位	负责人	备注
华北聚煤区煤层气资源评价及选区报告	1999.3	煤炭科学研究总院西安分院	庄军	
六盘水含煤区煤层气资源评价及选区报告	1999.3	煤炭科学研究总院西安分院	钟玲文	
辽中地区煤层气资源评价及选区报告	1999.3	煤炭科学研究总院西安分院	郑玉柱	
三江-穆棱河含煤区煤层气资源评价及选区报告	1999.3	煤炭科学研究总院西安分院	张培河	
湘赣地区煤层气资源评价及选区报告	1999.9	煤炭科学研究总院西安分院	庄军、雷崇利	
重庆地区煤层气资源评价及选区报告	1999.9	煤炭科学研究总院西安分院	钟玲文、员争荣	
新疆主要煤田煤层气资源评价及选区报告	1999.9	煤炭科学研究总院西安分院	张培河、张慧	
典型矿区地质构造与煤层渗透性关系研究	1999.1	西安矿业学院	王晓刚	中间成果
中国主要煤田地壳应力研究	1999.9	地震局地壳研究所	张景发	中间成果
水文地质与煤层气关系研究	1999.12	煤炭科学研究总院西安分院	冯利军	中间成果
中国煤层气挂图	2000.3	煤炭科学研究总院西安分院	张新民、郑玉柱	
全国煤层气资源评价报告	2000.3	煤炭科学研究总院西安分院	张新民、庄军	

2000 年 12 月,该课题通过了由中联公司组织的评审鉴定。中国工程院院士翟光明为鉴定委员会主任,中国科学院院士杨起教授、淮南矿业学院唐修义教授为鉴定委员会副主任,兰锡巨教授级高级工程师等 9 名专家学者为鉴定委员会委员。鉴定委员会对研究成果给予充分肯定和高度评价,将成果报告的水平评定 A 级;并建议尽快公开出版。本书即是在课题成果报告的基础上,经修改、补充、再创作而成的。有关中国煤层气系列挂图的内容,不包括在本著作之中,将另行处置。

本书包括正文 7 章、图版 8 版,按统一的思路和编写提纲,由有关人员分工负责编写。各章节的编著人员是:前言,张新民、张遂安;第一章,张新民、庄军、钟玲文、张慧、郑玉柱、韩宝山;第二章,庄军、张新民、靳秀良、钟玲文、员争荣、张培河、张慧、庞湘伟、郑玉柱;第三章,张新民、钟玲文、员争荣、王梦玉、雷崇利、庄军、张培河;第四章,郑玉柱、张新民、武

彩英、张遂安;第五章,张培河、雷崇利、冯三利;第六章,庄军、张培河、张新民、钟玲文、郑玉柱、员争荣、雷崇利、庞湘伟、韩宝山;第七章,张新民、张群、庄军;图版及图版说明,钟玲文、张慧。各成员所编写的内容,由张新民和庄军进行串写、汇总,最后由张新民统一修改、定稿。

在资料收集过程中,我们得到了鹤岗等 38 个矿务局,以及云南、贵州、山西、四川等省煤田地质局的大力支持;提供了大量资料及有关图件,协助采集煤层样品等。中联公司国际合作部和资料室提供了有关资料。原煤炭部四达矿业公司也协同收集了有关资料。在研究工作中,西安矿业学院和国家地震局地壳研究所与我们合作进行小构造和现代地应力研究;煤炭科学研究总院西安分院煤层气吸附实验室承担了全部煤样的吸附实验任务、数据库及软件研究室在计算机编图方面给予协助、照相室协助进行煤岩光片照相,西安分院杨锡禄、王煦曾、王梦玉 3 位教授级高工担任本课题的技术顾问,中联公司聘请的闫秀刚高级工程师长期来西安,进行联络;西安分院的叶道敏研究员、张秀仪、吴传荣、朱郎如教授级高工在技术和业务上给予帮助。西安分院的白清昭研究员、淮南矿业学院唐修义教授等专家对书稿的有关部分进行了审阅,并提出许多宝贵意见。

煤炭科学研究总院西安分院对本书的出版给予资助,赵学社院长、李玉林副院长自始至终对出版工作给予热情支持和具体指导。

因此,这是一项集体劳动的成果。借本书出版之机,对各有关单位,各位领导、专家和同志们多年来所给予的极大关心和大力帮助,表示最衷心的感谢。

目 录

前 言

第一章 煤层气的特征及形成条件	1
1.1 煤层气的基本特征.....	1
1.2 煤层气的生成.....	2
1.2.1 煤层气及生成机制	2
1.2.2 煤层气的组分及含量	6
1.2.3 煤层气地球化学特征及意义	9
1.3 煤的孔隙及煤层气赋存特征.....	14
1.3.1 煤的孔隙特征	14
1.3.2 煤孔隙的扫描电子显微特征	15
1.3.3 煤的割理系统	17
1.3.4 煤中气体的储存与流动	28
1.4 煤的吸附特征.....	32
1.4.1 吸附理论及其数学模型	32
1.4.2 煤对甲烷的吸附能力	36
1.5 煤储层压力.....	46
1.5.1 中国煤储层压力分布特征.....	47
1.5.2 煤储层压力影响因素	49
1.6 煤层气藏的形成和保存.....	51
1.6.1 煤层气藏的含义	51
1.6.2 煤层气藏的形成条件	52
1.6.3 煤层气藏的类型	58
1.6.4 构造-埋藏史	60
1.6.5 煤层围岩封闭性能	61
第二章 中国煤层气地质背景	65
2.1 中国大地构造背景.....	65
2.2 主要聚煤盆地形成及演化.....	69
2.2.1 主要聚煤盆地、煤盆地群的时空分布概要	69
2.2.2 聚煤盆地原型及构造类型划分	69
2.2.3 典型聚煤盆地演化特征	74
2.3 中国主要含煤地层及煤层.....	82
2.3.1 南方早石炭世含煤地层与煤层	83
2.3.2 北方石炭二叠纪含煤地层及煤层	87
2.3.3 南方晚二叠世含煤地层及煤层	95

2.3.4	晚三叠世含煤地层及煤层	98
2.3.5	早、中侏罗世含煤地层及煤层	103
2.3.6	东北早白垩世含煤地层及煤层	108
2.3.7	中国第三纪含煤地层及煤层	112
2.4	中国煤变质特征	114
2.4.1	煤变质作用	114
2.4.2	区域煤级展布	120
2.4.3	煤变质与煤层气关系	123
2.5	中国煤田主要地质构造类型	123
2.5.1	煤田的区域构造特征	123
2.5.2	煤田主要地质构造类型	124
2.6	中国的煤炭资源及其分布	129
2.6.1	不同赋煤区的煤炭资源	130
2.6.2	不同成煤时代的煤炭资源	131
2.6.3	不同变质程度的煤炭资源	131
2.6.4	不同埋藏深度的煤炭资源	133
2.7	中国主要煤田现代地应力特征	133
2.7.1	中国大陆构造及应力分区	134
2.7.2	主要煤田现代应力特征概述	136
第三章	中国煤层气的控气地质因素	138
3.1	煤层气含气性控制因素	138
3.1.1	煤层厚度及与煤层气的关系	138
3.1.2	煤层气含量及影响因素	140
3.2	煤层气可采性控制因素	152
3.2.1	煤层气解吸率及影响因素	152
3.2.2	割理系统渗透性及影响因素	154
3.3	煤层气储集性构造控制因素	166
3.3.1	构造控气的含义	166
3.3.2	煤田构造控气特点	167
3.3.3	储集性能的构造控制类型及特点	168
3.3.4	构造控气实例分析	172
3.4	水文地质条件与煤层气的关系	178
3.4.1	概述	178
3.4.2	地下水运动与煤层气的赋存	186
3.4.3	水文地质条件与煤层气开发	187
3.4.4	典型矿区水文地质条件与煤层气的关系	188
第四章	中国煤层气资源分布区划	202
4.1	煤层气区划基本原则	202
4.2	中国煤层气资源分布区划方案	204

4.2.1	煤层气大区	204
4.2.2	含气区	206
4.2.3	含气带	206
4.2.4	煤层气田	206
4.3	主要含气区特征	206
4.3.1	黑吉辽含气区	208
4.3.2	冀鲁豫皖含气区	208
4.3.3	华南含气区	208
4.3.4	晋陕蒙含气区	209
4.3.5	云贵川渝含气区	209
4.3.6	北疆含气区	210
4.3.7	南疆-甘青含气区	210
第五章	中国煤层气资源量预测	211
5.1	煤层气资源量的含义及计算范围	211
5.1.1	煤层气资源量的含义	211
5.1.2	计算范围的确定	211
5.2	煤层气资源量计算	212
5.2.1	计算方法	212
5.2.2	块段划分	212
5.2.3	参数确定	213
5.3	煤层气资源量预测结果	219
5.3.1	预测结果	219
5.3.2	比较与分析	220
5.4	中国煤层气资源分布状况	222
5.4.1	不同地域煤层气资源分布状况	222
5.4.2	不同埋藏深度煤层气资源分布状况	223
5.4.3	不同成煤时代煤层气资源分布状况	224
第六章	中国煤层气资源评价	225
6.1	煤层气资源评价内容及方法	225
6.1.1	煤层气资源评价内容及工作步骤	225
6.1.2	关于煤层气有利区带的标准	226
6.2	中国主要区块煤层气资源评价	227
6.2.1	三江-穆棱河含气带煤层气资源评价	227
6.2.2	辽西含气带煤层气资源评价	230
6.2.3	抚顺含气带煤层气资源评价	235
6.2.4	浑江-辽阳含气带煤层气资源评价	237
6.2.5	冀鲁豫皖和晋陕蒙含气区煤层气资源评价	239
6.2.6	新疆主要煤田煤层气资源评价	249
6.2.7	六盘水含气带煤层气资源评价	254

6.2.8	重庆地区煤层气资源评价	259
6.2.9	湘赣地区含煤地层煤层气资源评价	262
6.3	中国煤层气资源勘探开发现状	268
6.3.1	关于煤层气开发方式	268
6.3.2	发展阶段	269
6.3.3	主要成果	271
6.4	中国煤层气前景展望	273
6.4.1	煤层气产业发展前景	273
6.4.2	开发前景评价	275
第七章	结 论.....	277
7.1	主要成果和认识	277
7.2	工作建议	281
	主要参考文献.....	283
	英文摘要.....	286
	图版说明及图版.....	293

CONTENTS

Preface

Chapter 1	The features and forming conditions of CBM	1
1.1	The basic features of CBM	1
1.2	The generation features of CBM	2
1.3	The pore in coal and the occurrence features of CBM	14
1.4	The adsorption features of coal	32
1.5	The coal reservoir pressure	46
1.6	The formation and preservation of CBM reservoir	51
Chapter 2	The geological background of CBM in China	65
2.1	The geotectonic background in China	65
2.2	The formation and evolution of main coal-accumulating basins	69
2.3	The main coal-bearing strata and coal seams in China	82
2.4	The metamorphic features of coal in China	114
2.5	The main types of geological structures in coalfields in China	123
2.6	The coal resources and their distribution in China	129
2.7	The present stress features in main coalfields in China	133
Chapter 3	The geological factors controlling CBM in China	138
3.1	The controlling factors on the gas-containing property of CBM	138
3.2	The controlling factors on the recoverability of CBM	152
3.3	The controlling factors on the storage structure of CBM	166
3.4	The relationship between hydrogeological condition and CBM	178
Chapter 4	The regionalization of CBM resource distribution in China	202
4.1	The basis principles of CBM regionalization	202
4.2	The regionalization program of CBM in China	204
4.3	The summary of the features of main gas-bearing areas	206
Chapter 5	The prediction of CBM resource quantity in China	211
5.1	The implication of CBM resource quantity and the calculation scope	211
5.2	The calculation of CBM resource quantity	212
5.3	The prediction results of CBM resource quantity	219
5.4	The distribution situations of CBM resources in China	222
Chapter 6	The evaluation of CBM resources in China	225
6.1	The content and method of evaluation on CBM resources	225
6.2	The CBM resource evaluation in main tracts in China	227
6.3	The present situation of CBM exploration and development in China	268

6.4	The prospect of CBM in China	273
Chapter 7	Conclusions	277
7.1	The main results and recognition	277
7.2	The suggestion	281
Main references	283
English abstract	286
Explanation of plates and plates	293

第一章 煤层气的特征及形成条件

煤层气与常规天然气相比具有明显特征。常规天然气的形成需要生、储、盖、圈、运、保诸条件的有利组合。煤层气属于自生自储式的非常规天然气,不存在圈闭问题;煤层气也没有发生明显的二次运移。煤层气的形成主要受煤层生气能力、储气条件(吸附和气体压力)、保存条件(包括埋藏史和围岩封闭性能)的共同制约。本章就上述方面所开展的研究工作及有关问题和动态进行简要阐述。

1.1 煤层气的基本特征

从广义上讲,煤层气(coalbed gas),是指贮存于煤层及其围岩中的天然气,是由气体化合物与气体元素组成的混合物。其来源一般包括三种,第一种来源是有机质在煤化作用过程中生成的,第二种来源是由于火成岩侵入或碳酸盐受热分解生成的 CO_2 经断层等通道侵入到含煤地层之中,第三种来源是放射性物质蜕变过程生成的或地下水放出的放射性惰性气体氦及惰性气体氩。第一种为有机成因,第二、三种为无机成因。煤层气的组成一般以甲烷(包括少量重烃)为主,只在少数情况下以二氧化碳为主(如甘肃窑街矿区);氦、氩等稀有气体含量甚微。

从能源开发利用和煤矿瓦斯的角度,狭义上讲,煤层气(又称煤层甲烷,coalbed methane)是一种贮存于煤层及其邻近岩层之中的以自生自储式为主的非常规天然气(张新民等,1991)。所谓非常规天然气,是对产自常规储气层(如气藏气、气顶气和石油中的溶解气)之外的天然气的总称,包括水溶气、煤层气、页岩气、致密砂岩气等。煤层气的成分以甲烷(CH_4)(包括重烃)为主,其次为二氧化碳(CO_2)、氮(N_2)气等。

本书所论皆针对狭义煤层气而言,所有的煤层气含量、煤层气资源量均指甲烷(CH_4 ,包括重烃)的量。

从上述可以看出,对煤层气而言,煤层既是气源岩,又是储集岩。煤层具有一系列独特的物理、化学性质和特殊的岩石力学性质,因而使煤层气在贮气机理、孔渗性能、气井的产气机理和产量动态等方面与常规天然气有明显的区别(见表1-1),表现出鲜明的特

表 1-1 煤层气藏与常规天然气藏基本特征的对比

特征	煤层气	常规天然气藏
气藏类型	层状的沉积岩	局部圈闭
气源	自生	外源
储集层岩性	有机质高度富集的可燃有机岩,易受入井液、水泥浆等的伤害	几乎是100%的无机质岩石,不易受伤害

续表

特征	煤层气	常规天然气藏
双重孔隙结构	煤基质块中的孔隙是主要的孔隙, 占总空隙体积的绝大部分; 裂隙系统是天然裂隙, 占总空隙体积的次要部分, 它们基本上等间距分布, 并使煤具有不连续性	主要发育于石灰岩、白云岩、页岩及致密砂岩中。天然裂隙(包括节理、裂隙、溶道、洞穴等)将粒间孔隙分割成一个个方块, 裂隙是随机分布的
气体的贮存	气体的绝大部分被吸附在煤的内表面上, 在孔隙空间中很少或没有游离气	气体以游离态贮集在岩石的孔隙空间中
流动机理	在基质中的流动是由浓度梯度引起的扩散, 然后由于压力梯度的作用在裂隙中引起渗滤	流动是由压力梯度引起的层流, 并服从达西定律; 在近井地带可出现紊流
气产出机理	解吸-扩散-渗流	在气体自身的压力梯度作用下流动
气井生产状况	气产量随时间而增加, 直至达最大值, 然后下降。起初主要产水, 气水值随时间而增大	气产量开始最大, 然后随时间而降低。起初, 很少或者没有水产出, 但气水值随时间而减少
机械性能	由于煤具有脆性和裂隙较发育, 因而是一种较弱的岩石, 这使钻井的稳定性较差, 并影响水力压裂的效果。在一定条件下, 可采用特殊的洞穴完井技术。杨氏模量在 700MPa 范围内	岩石较坚硬, 通常钻井的稳定性不成问题。杨氏模量在 7000MPa 范围内
储层性质	易被压缩, 孔隙体积压缩系数在 0.01MPa^{-1} 范围内, 因而孔隙度、渗透性对应力较敏感, 在生产期间有明显的变化	压缩性很小, 孔隙体积压缩系数在 10^{-4}MPa^{-1} 范围内, 孔隙度、渗透性在生产期间的变化不明显

征。人们必须正视这些特征, 采用不同于常规油气工业的理论和技術, 才能正确评价和有效开发煤层气藏。

1.2 煤层气的生成

1.2.1 煤层气及生成机制

从总体上讲, 煤层气的生成包括三个阶段: 原生生物气阶段; 热成因气(含热降解和热裂解作用)阶段; 次生生物气阶段。但 Scott(1994)依据镜质组反射率值和产烃量, 将煤层气生成过程分为 9 阶段, 此方案反映了煤成烃量的变化过程; 戴金星等(1992)根据有机质成熟度, 将煤成气(包括煤层气)的生成过程划分为 3 个阶段; 本书根据煤有机质热演化程度(R_{\max})及后生变化、烃组分产量和性质, 将煤层气生成划分为 4 个阶段, 它基本反映了煤层气生成的全过程。具体划分意见如表 1-2 所示。

在讨论煤层气生成不同阶段之前, 有必要简单地阐述一下煤层形成的沉积环境。当有机质处在中位或高位沼泽时, 以氧化环境($E_h > 0$)为主, 喜氧细菌作用占优势, 在其分解作用下, 有机质开始腐烂分解为水分和二氧化碳等物质, 在这种环境中, 即使有机质十分丰富, 也难以保存, 也就不可能形成具有工业意义的煤层。而当有机质进入到隔氧层后, 厌氧细菌作用占优势, 形成还原或强还原环境($E_h < 0$)。此时大量有机质被保存下



随着煤层上覆地层厚度的不断加大,其温度场和压力条件也随之逐渐增加,煤变质程度也不断加深。当进入长焰煤阶段,煤及其生成物在不同热催化作用下,开始了热解生气作用;一直到无烟煤、号(即 R_{max} 为 0.50% ~ 6.00%),煤的累计生气量不断增加。在肥、焦煤和贫煤阶段为生气的高峰期;随着煤级的加深,出现了重烃和液态烃的生成过程;而且各种有机化合物和物理化学性质跟着变化, $^{13}C_1$ 值从低变质到高变质,由轻变重的特点;其演化序列如图 1-1 所示。热解生气作用又分为热降解和热裂解两个生气阶段。

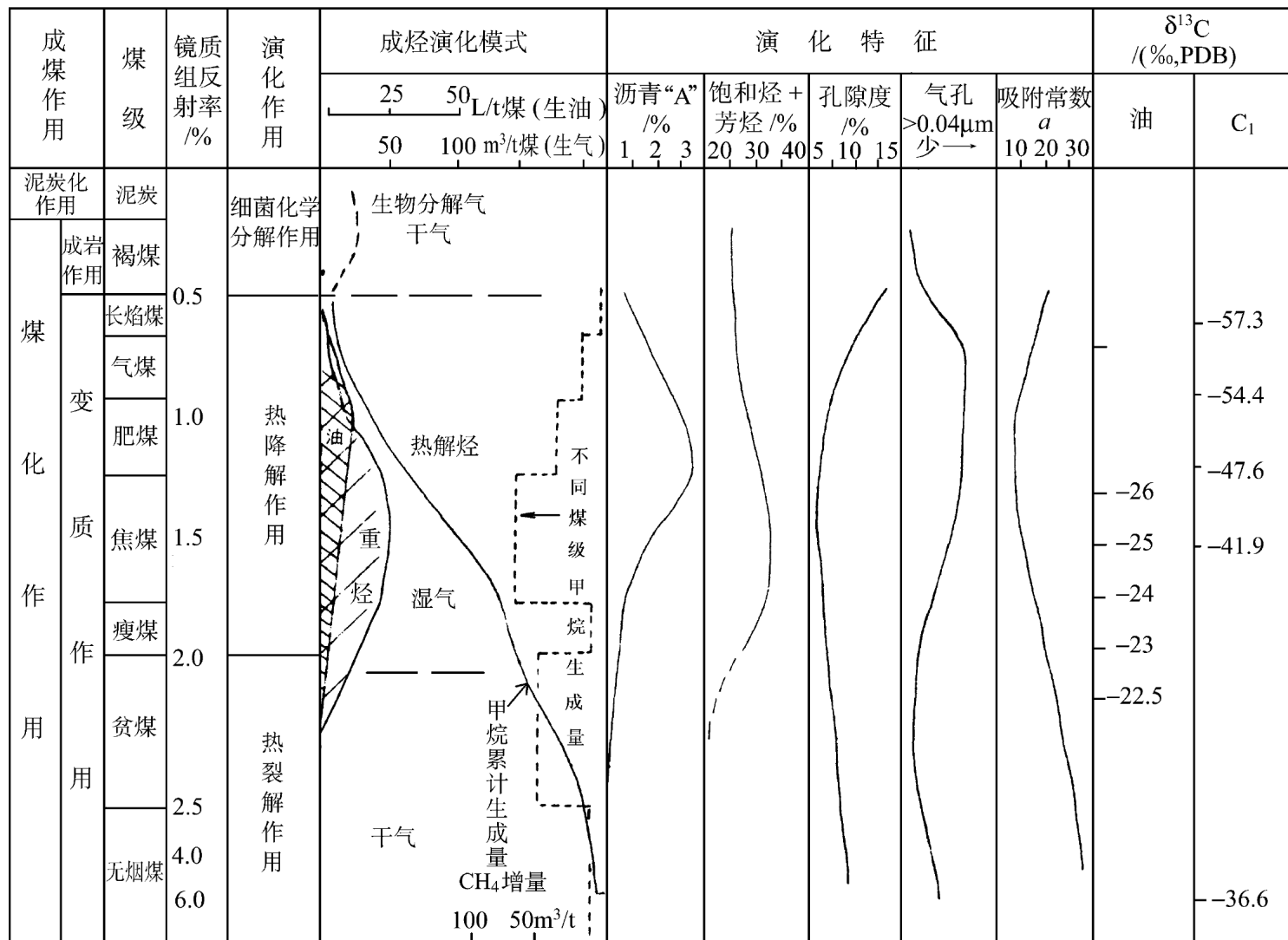


图 1-1 煤的成烃模式和有关演化特征(据张新民等,1991 修改)

2. 热降解气生成阶段

本阶段即 R_{max} 为 0.5% ~ 1.9%, 从长焰煤到瘦煤阶段。此期由于腐殖型或腐殖泥型母质(干酪根为 I_1 、 I_2), 温度小于 250℃, 生成大量烃类物质, 并以生气为主, 生油为辅, 且产出大量重烃气, 含量常大于 3%。在气、肥、焦煤阶段, 油、重烃和甲烷各自均有一次产出的高峰期。

3. 热裂解气生成阶段

本阶段即 $R_{max} > 1.9%$, 或 $> 2.0%$ 的贫煤和无烟煤初期阶段, 在高温(250℃)条件下, 残余干酪根、液态烃和部分重烃裂解形成甲烷, 为重烃气含量极低的干气。由于在正

烷烃中甲烷自由能最小,化学性质最稳定,而芳香烃在高温(250~300)条件下,自由能低于环烷烃及正烷烃,故在过成熟或超过成熟阶段,最终裂解产物主要是甲烷;重烃含量很低,一般<2%。

从热模拟试验结果证明,不同煤级的煤气发生率和煤在不同热演化阶段的气、液态烃产率是不同的(见表1-3、1-4)。从各家所做的试验证明,产烃率是随着煤级增加和温度的升高而逐渐增高。根据热模拟试验数据,为寻找最佳煤级进行勘探是一个重要的地质因素。由于不同煤级的孔隙、裂隙、吸附性和渗透性不同,因此,选择最佳煤级(即肥、焦、瘦煤级)是开发利用所必须考虑的重要问题。

表1-3 我国部分煤的热模拟试验煤气发生率数据表(引自张新民等,1991)(单位:m³t煤)

测试单位		褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
煤炭科学研究总院 地质勘探分院*(1987)	视煤气 发生率		3~25	10~54	27~102	55~170	108~246	134~333	268~393
	煤气 发生率	38~68**	41~93	48~122	65~170	93~238	146~314	172~401	306~461
石油开发研究院* (1985)	视煤气 发生率		4~31	7~58	26~108	48~176	86~230	114~321	168~390
	煤气 发生率	38~68**	42~69	45~126	64~176	86~244	124~296	152~389	206~458
地质矿产部石油地质 研究所(1985) (舒兰褐煤)	视煤气 发生率								
	煤气 发生率	0.55	1.06	4.25	24.32	55.9	94.77	127.72	221.13
徐永昌等(1986) (新疆乌苏褐煤)	视煤气 发生率		2.49	22.92	53.04	113.57		183.34	325.23
	煤气 发生率	1.61	4.10	24.53	54.65	117.18		184.95	326.84

* 为综合数据; ** 为引用国外文献数据。

表1-4 煤在不同热演化阶段的气、液态烃产量及气、液比率(据戴金星等,1992改编)

样品	模拟温度	250	300	350	400	450	500	550
山东 黄县 褐煤	实测 R _{max} 值 %		0.63	0.87	1.24	1.53	1.80	2.06
	气态烃产量 (m ³ t Cot)		0.63	3.57	13.13	28.06	68.21	128.85
	液态烃产量 (kg t Cot)		19.59	28.23	48.38	52.46	28.15	3.44
	气、油体积比		32.16	126.46	271.39	534.88	2423.09	37456.4
新疆 乌苏	实测 R _{max} 值 %	0.52	0.79	0.92	1.14	1.49	1.76	2.86
	气态烃产量 (m ³ t Cot)	2.65	3.78	16.44	38.49	124.63	202.59	251.333
	液态烃产量 (kg t Cot)	15.93	20.42	42.42	59.49	48.38	1.05	
	气、油体积比	166.35	185.11	387.55	651.49	2576.66	92942.86	