



西北地区 低煤阶煤层气地质

李贵中 孙粉锦 李五忠 陈振宏 编著



石油工业出版社

西北地区低煤阶煤层气地质

李贵中 孙粉锦 李五忠 陈振宏 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从含气系统和成藏动力学的视角,围绕西北地区低煤阶盆地煤层气成藏条件这一核心问题,深入剖析了准噶尔、吐哈等低煤阶盆地煤层气地质特征,归纳总结了低煤阶盆地煤层气地质的若干规律。初步查明了准噶尔、吐哈等西北地区低煤阶盆地煤层气资源的分布状况,分析了其勘探开发前景,优选了煤层气勘探目标区。

本书适合于煤层气勘探、开发和利用领域的研究人员、工程技术人员和决策管理人员阅读参考,也可作为能源地质领域研究生及本科高年级学生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

西北地区低煤阶煤层气地质/李贵中等编著.

北京:石油工业出版社,2012.3

ISBN 978-7-5021-8929-7

I. 西…

II. 李…

III. 煤层-煤成气-地质构造-研究-西北地区

IV. P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 012545 号

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:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:254 千字

定价:50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《西北地区低煤阶煤层气地质》编委会

主 编：李贵中 孙粉锦 李五忠 陈振宏

委 员：李安启 王 勃 邓 泽 庚 勳

孙 斌 孙钦平 陈 浩 田文广

陈 刚 杨敏芳 陈艳鹏 杨焦生

张 义 鲍清英 张继东

序

煤层气的主要成分和常规天然气一样,可作为一种高效洁净的新能源来使用,也可作为化工原料。我国煤系地层中煤层气资源丰富,发展前景十分广阔。在煤炭开采过程中所排放出的大量甲烷气体不仅给煤矿的安全造成了巨大威胁,同时也对自然环境造成了很大的负面影响,我国政府十分重视煤层气的开发利用研究。自20世纪80年代末期开始,中国的煤层气勘探开发活动进入了实质性试验阶段,到目前为止,在全国范围内已施工了500多口煤层气井,取得一批勘探成果。目前,国内煤层气地质研究和勘探开发工作主要集中于华北晚古生代近海型聚煤盆地,煤储层为中高煤阶,相比之下,西北地区低煤阶盆地煤层气资源的研究比较薄弱。西北中生代煤层约占我国煤炭资源量的1/3,煤层气资源量预计超过 $5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,煤层气资源潜力引起广泛的关注。西北地区低煤阶盆地发育巨厚的煤层,具有丰富的煤层气资源,煤层气成藏规律和勘探开发前景是煤层气地质学需要研究的重要课题。近期美国在粉河盆地、大绿河盆地对低煤阶煤层气藏的开发取得突破,对中国低煤阶盆地煤层气藏勘探有所启发和借鉴。准噶尔、吐哈、塔里木等盆地是西北部典型的大型聚煤盆地,有望成为中国低煤阶煤层气勘探开发新的热点。本书作者从20世纪90年代后期开始研究西北地区的低煤阶盆地,从煤层气含气系统和成藏动力学方面探讨,剖析了准噶尔、吐哈、塔里木等盆地煤层气地质特征,归纳总结了低煤阶盆地煤层气赋存规律,这对西北部煤层气资源的开发将起到积极的作用。

该书的作者,大都是长期从事煤田地质勘探工作并且在我国较早从事煤层气开发研究的人员,既有丰富的实际工作经验,也有扎实的理论基础。该书的优点在于与生产实践紧密结合,书中所提出的观点和认识,为我国煤层气勘探开发的正确决策提供了科学的依据,因而是一本很有价值的参考书。



(中国工程院院士)

2011年12月

前 言

世界煤层气资源总量为 $82 \times 10^{12} \text{m}^3$, 其中可采总储量为 $13 \times 10^{12} \text{m}^3$, 资源量最多的五个国家依次为俄罗斯、中国、加拿大、美国、澳大利亚。中国埋深 2000m 以浅气煤以上煤阶煤层的煤层气资源总量为 $22.5 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可采量约 $2.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。长期以来, 人们发现煤层中蕴含有一种可燃的伴生气体, 称为瓦斯气或沼气, 一直把煤矿中的这种气当作有毒、易燃、易爆、危害极大的有害气体, 都没有很好地开发利用。近 30 多年来, 随着科学技术的快速进步, 能源问题、环境问题和煤矿安全问题的日益突出, 人们认识到煤层气的开发利用可以较好地改善煤矿安全、保护生态环境, 并能增加一种优质洁净的新能源。21 世纪是天然气的世纪, 在我国未来几十年内天然气将获得飞速的发展。“西气东输”工程将穿越我国众多的含煤盆地, 西气东输的实施是煤层气产业发展一次难得的历史机遇。西北侏罗纪陆相盆地是我国重要的聚煤盆地, 煤炭资源量巨大, 煤层气资源丰富。这些盆地相对构造活动较弱, 煤层气地质背景的控气作用和分异性显著, 煤储层厚度大、层数多、煤阶低、含气量低、变化快, 煤储层含气饱和度较高、渗透性相对较好, 煤层气资源量和资源丰度大。国外低煤阶煤层气藏勘探开发的实践证实, 低煤阶煤层气藏可以获得工业气流, 达到商业开发规模, 并成为煤层气勘探开发的新领域。长期以来, 国内煤层气的研究重点和勘探开发工作都放在了中、高煤阶煤储层, 低估了低煤阶煤储层的成藏潜力和开发前景。近期美国低煤阶煤层气藏的成功开发和中国西部大开发战略的实施, 使得中国西部低煤阶煤层气资源受到国内煤层气勘探和研究部门越来越多的关注, 准噶尔盆地和吐哈盆地有望成为中国煤层气勘探开发新的热点地区。20 世纪 90 年代后期, 中国石油开始研究西北地区的低煤阶, 先后委托中国科学院和中国矿业大学对准噶尔、吐哈盆地进行了煤层气地质综合研究, 后来又开展了煤层气资源评价工作。本书的部分成果是这些煤层气地质工作者的辛勤结晶, 我们希望本书的出版能为进一步的研究工作提供必要的素材和有益的启示, 对中国西部低煤阶煤层气资源的勘探开发有所促进。

本书归纳总结了准噶尔、吐哈、塔里木、柴达木、三塘湖等盆地的地层发育背景、构造地质背景和沉积地质背景; 重点阐述了煤层气源岩与煤层气生成、煤层气

储层与煤层气储集、煤层气封盖环境与煤层气封存等煤层气成藏关键要素和煤层气成藏地质作用过程,探索了高分辨率层序地层分析应用于西北盆地煤储层区域单层对比的新思路,总结了低煤阶煤储层的部分特征;探讨了低煤阶煤层气成藏机理和成藏规律,提出了源岩的生气类型、储层的储集类型、封盖环境的组合类型及成藏要素的组合配置类型;讨论了煤层气资源量计算方法,测算了准噶尔、吐哈盆地煤层气资源量,初步查明了煤层气资源的分布状况,分析了西北地区低煤阶煤层气勘探开发前景,优选了煤层气勘探目标区。

本书由李贵中、陈振宏主执笔撰写,其他著者参加了研究工作并对撰写工作给予了具体配合。全书既汇集了国内煤层气勘探实践的大量实际资料,又是在国内煤层气勘探实践和实际资料基础之上,借鉴国外煤层气勘探开发成功经验的一次理论升华与提高。

本书既是中国石油勘探开发研究院廊坊分院近十年来研究成果的总结,也饱含着全国煤层气地质工作者的辛勤劳动,本书是集体智慧的结晶。在本书编写过程中,得到了中国石油勘探开发研究院廊坊分院的大力支持和帮助,并得到了中国矿业大学秦勇教授、姜波教授以及中国地质大学唐书恒教授的大力协助和悉心指导,在此表示真诚的感谢。

目 录

第一章 西北地区低煤阶含煤盆地地质背景	(1)
第一节 国内外低煤阶煤层气勘探开发现状	(1)
第二节 吐哈盆地煤层气地质条件	(4)
第三节 准噶尔盆地煤层气地质条件	(16)
第四节 塔里木盆地煤层气地质条件	(25)
第五节 柴达木盆地煤层气地质条件	(40)
第六节 三塘湖盆地煤层气地质条件	(47)
第二章 西北地区低煤阶煤储层特征	(51)
第一节 煤储层岩石学特征	(51)
第二节 煤储层几何特征	(56)
第三节 煤储层的孔渗特征	(73)
第四节 区域构造应力场演化与孔隙结构	(77)
第五节 煤储层吸附及其含气性特征	(87)
第三章 西北地区低煤阶煤层气成因及其类型	(97)
第一节 准东南煤层气地球化学特征	(97)
第二节 煤层气中的生物成因煤层气形成及富集条件	(104)
第三节 低煤阶生物成因的煤层气成藏模拟	(110)
第四节 低煤阶煤层气成藏成因类型	(117)
第四章 低煤阶煤层气成藏类型及成藏模式	(124)
第一节 西北地区低煤阶煤层气藏类型	(124)
第二节 西北地区低煤阶煤层气成藏模式	(128)
第三节 准噶尔盆地煤层气成藏规律	(131)
第四节 吐哈盆地煤层气成藏规律	(137)
第五章 西北地区煤层气资源分布	(142)
第一节 煤层气资源评价方法	(142)
第二节 计算单元划分原则	(144)

第三节 参数的选取方法 (146)

第四节 西北地区主要盆地煤层气资源量 (155)

第六章 西北地区低煤阶煤层气勘探开发前景 (160)

第一节 西北地区低煤阶盆地构造应力场特征 (160)

第二节 煤层气地质选区方法体系 (161)

第三节 西北各盆地煤层气勘探开发前景 (170)

第四节 煤层气的利用方向和产业政策 (172)

参考文献 (179)

第一章 西北地区低煤阶含煤盆地地质背景

第一节 国内外低煤阶煤层气勘探开发现状

一、国外低煤阶煤层气藏研究与开发

20 世纪 90 年代,随着煤层气产业的迅猛发展,美国煤层气的资源评价和开发活动不再局限于中煤阶煤储层发育的圣胡安和黑勇士盆地,资源评价和研究工作覆盖了 18 个主要含煤盆地或含煤区,在其中 12 个含煤盆地从事煤层气开发活动,煤储层的煤阶从中煤阶扩展到低煤阶和高煤阶,特别是发育低煤阶煤储层的含煤盆地因煤层气资源量较大而受到重视,以粉河盆地为代表的低煤阶含煤盆地煤层气商业开发的成功大大拓展了煤层气勘探开发的视野和领域。

据估算,美国 18 个含煤盆地或含煤区,煤层气总资源量达 $19 \times 10^{12} \text{ m}^3$,可采资源量 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。发育低煤阶煤储层的含煤盆地 6 个,煤层气资源量达 $10 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占总资源量的 53%,其煤层气地质背景和资源量见表 1-1。

表 1-1 国外低煤阶煤层气地质背景和资源量

含煤盆地	含煤面积 (km^2)	煤层最大 埋深(m)	主要煤 层层数	单井最大 总煤层(m)	单井最大 厚度(m)	最高煤阶	储层压 力类型	含气量 (m^3/t)	煤层气资源 量(10^{12} m^3)
大绿河	54600	1830	30	29	6.0	HVAB	U,N	15.4(1070)	8.89
粉河	67000	1220	24	91	60.0	SB	U	2.0(370)	0.85
温德河	21000	3660	6	30	8.5	SB	N,U		0.06
尤因塔	24000	920			7.6	HVAB		10.0(970)	0.28
北阿巴拉契亚	11400	610	6	6	3.7	HVAB	U	12.5(840)	1.73
伊利诺斯	13000	920	3	5	4.6	HVAB	U	4.2(210)	0.55

全球 20 世纪 90 年代以来煤层气最重要的进展在于低煤阶煤层气的勘探开发取得重要突破,如美国的粉河、尤因塔、拉顿、大绿河盆地,其中粉河盆地是低煤阶煤层气勘探开发最为成功的盆地之一,2009 年产量达到 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$,开发井超过 20000 口。拉顿盆地钻井超过 4200 口,产量达到 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$,大绿河盆地也是美国低煤阶煤层气开发相对活跃、研究程度较高的含煤盆地。大绿河盆地由绿河、大戴维特和瓦沙克、圣德维斯 4 个次级盆地组成。上白垩统岩

石泉组、威廉姆斯福克组和古近系尤宁堡组为主要含煤地层和勘探目的层,岩石泉组净煤厚度 33m,单煤层最大厚度近 7m,威廉姆斯福克组净煤厚度 30~60m,单煤层最大厚度 11m,尤宁堡组净煤厚度 3~43m,单煤层最大厚度 28m。在可开发的钻井深度内,煤级主要为亚烟煤和高挥发分烟煤 C($R_o < 0.8\%$),岩石泉组、威廉姆斯福克组煤层含气量小于 $0.03 \sim 16.80 \text{ m}^3/\text{t}$,一般小于 $6.30 \text{ m}^3/\text{t}$,尤宁堡组煤层含气量 $0.30 \sim 17.50 \text{ m}^3/\text{t}$,一般小于 $3.10 \text{ m}^3/\text{t}$,煤层气主要为早期热成因气和次生物气,深部为热成因气并存在烃类超压现象。大绿河盆地煤和气的资源量分别为 $11580 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $8.89 \times 10^{12} \text{ m}^3$,2286m 以浅煤和煤层气资源量分别为 $6240 \times 10^8 \text{ t}$ 、 $2.38 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。目前已施工煤层气井 500 余口,试采最高日产气量 2210 m^3 ,预测最高日产气量 34000 m^3 。水压力和烃类超压边界有高产的潜力,向深部随煤阶增高勘探开发潜势变好。

二、中国低煤阶煤层气藏研究与开发

中国低煤阶煤储层非常发育。全国垂深 2000m 以浅的煤炭资源量为 $55697 \times 10^8 \text{ t}$,已发现煤炭资源量 $10176 \times 10^8 \text{ t}$,其中褐煤占煤炭资源量的 12.7%,低变质烟煤占煤炭资源量的 42.5%,低煤阶煤储层占到煤储层的一半以上。低煤阶煤储层形成于早—中侏罗世、早白垩世、古近—新近纪等成煤期,其中早—中侏罗世、早白垩世是中国重要的成煤期,早—中侏罗世成煤作用主要发生在西北地区,煤炭资源量占全国的 35.5%,新疆准噶尔、吐哈、塔里木盆地是低煤阶煤储层发育典型的大型内陆盆地;早白垩世成煤作用主要发生在东北地区,煤炭资源量占全国的 7.1%。新疆准噶尔、吐哈、塔里木盆地煤层层数多,煤层厚度大,煤层最大累计厚度近 200m,最大单层煤厚逾 100m,煤层层数超过 50 层。

中国低煤阶煤储层煤层气资源量丰富。以中国煤层气资源量 $32.68 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 计,早—中侏罗世煤储层煤层气资源量 $15.13 \times 10^{12} \text{ m}^3$,早白垩世煤储层煤层气资源量 $0.40 \times 10^{12} \text{ m}^3$,古近—新近纪煤储层煤层气资源量 $79.04 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占总资源量的 46.28%、1.33%、0.02%。煤层气资源量达到 $1.00 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的含煤盆地共计 8 个,包括低煤阶煤储层发育的准噶尔盆地、吐哈盆地和鄂尔多斯盆地。

自国家“九五”科技攻关开始,低煤阶煤储层已纳入煤层气资源评价的范围,尽管不同单位、学者对低煤阶煤储层煤层气资源量的估算有很大差异。但对低煤阶煤储层煤层气勘探开发前景认识不足,研究工作非常薄弱,目前全国低煤阶煤层气探井约 40 口,分布在西北、华北及东北的广大区域内。其中中石油在淮南、二连、海拉尔及鄂尔多斯等区块见到较好显示,2009 年新疆油田实施的阜煤 1 井,平均含气量可达 $9.9 \text{ m}^3/\text{t}$,最高日产气 1020 m^3 。

但是,低煤阶煤层气勘探开发实践无法与中高煤阶煤层气藏的研究程度和勘探开发力度相比拟。这与中国发育的低煤阶煤储层、巨大的低煤阶煤层气资源量形成鲜明的反差。随着美国低煤阶煤层气藏商业开发的成功以及国内煤层气勘探开发工作的推进,近期低煤阶煤层气藏受到了越来越多的关注,有望成为新的研究热点和煤层气勘探开发新领域。

三、准噶尔、吐哈等盆地的煤层气地质研究概况

准噶尔、吐哈盆地是低煤阶煤储层发育的大型聚煤盆地,也是目前被认为低煤阶煤层气藏开发前景最好的两个盆地。由于两盆地目前尚无煤层气参数井和实验井,煤田地质勘探的瓦斯孔资料和煤炭生产矿井的矿井瓦斯资料成为认识低煤阶煤储层含气性的主要依据。40年来,在两盆地煤田地质勘探取得有价值的煤层瓦斯数据近150个,主要分布在准噶尔盆地南缘的乌鲁木齐河—白杨河矿区、乌鲁木齐西山—老君庙矿区、阜康白杨河—大黄山矿区和吐哈盆地西部的艾维尔沟矿区;生产矿井一般采深很浅,部分为露天开采,矿井瓦斯资料可用性较差。煤层气地质评价工作以地质背景为基础,大量的油、气、煤等资源评价和勘探工作积累了丰富的地质背景资料。

两盆地的煤层气资源评价工作始于国家“七五”科技攻关项目,乌鲁木齐矿区作为“我国煤层甲烷的富集条件及资源评价”专题的重点研究区之一,1987—1988年,煤炭科学研究总院西安分院对乌鲁木齐矿区煤层气地质进行了实地考察和初步室内测试研究,对矿区煤层甲烷的赋存条件、分布特征及影响地质因素取得了认识,编制了1:25000的煤层甲烷资源评价图,计算并得到矿区1500m以浅煤层气资源量 $(761 \sim 1201) \times 10^8 \text{m}^3$ 。

1993年,中国科学院兰州地质研究所完成了“准噶尔盆地南缘煤层甲烷气成藏条件”的研究工作,对煤层的烃源岩特征、生气特征和解吸气特征进行了研究,提出含油气封存体、构造低部位、向斜斜坡是煤层甲烷气藏的形成场所,并认为准噶尔盆地南缘煤层甲烷气前景广阔。

1995—1996年,作为原煤炭部计划项目“全国煤层气资源评价”前期工作的一部分,新疆煤田地质局开展了“新疆煤层气资源评价”工作,重点对乌鲁木齐河—白杨河、乌鲁木齐西山—老君庙、阜康白杨河—大黄山、艾维尔沟等矿区和库—拜煤田俄霍布拉克矿区的煤层气资源进行了评价研究,揭示了评价区的煤层气地质背景、煤储层一般性特征、煤层气资源状况,在准噶尔、吐哈两盆地4个评价区2000m以浅获得煤层气资源量 $2000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。同时,编制了新疆煤层气资源评价图和评价区煤层气基础地质图件31张(新疆煤田地质局,1996)。显然,研究工作低估了评价区外的煤层气资源量。

1997—1998年,煤炭科学研究总院西安分院受原吐哈石油勘探开发指挥部的委托,开展了“吐哈盆地煤层吸附气地质评价及勘探前景预测”研究项目,初步归纳了吐哈盆地煤层气地质背景,探讨了煤储层特征,预测了煤储层的含气性和渗透性,计算并得到盆地2000m以浅煤层气资源量 $27504 \times 10^8 \text{m}^3$,初步确定了有利区块。在此基础上,2000年吐哈油田公司勘探开发研究院完成了“吐哈盆地侏罗系煤层吸附气地质评价与勘探技术调研”项目,进一步明确了托北地区和哈参1井区为勘探有利区块,并得到两区块1500m以浅煤层气资源量超过 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$,提升了煤层气在天然气开发中的潜力和地位。

2000年,中国矿业大学受中国石油勘探开发研究院廊坊分院的委托,开展了“准噶尔、吐哈盆地煤层气评价研究”工作,并在前人工作基础上取得了进一步的成果:系统收集了两盆地

地质资料,总结了内陆盆地煤层气地质背景特征;对煤储层进行了较详细测试分析,研究了低煤阶煤储层发育特征;剖析了煤储层含气性变化规律,测评了煤层气资源量,两盆地煤层气资源量逾 $30000 \times 10^8 \text{ m}^3$;探讨了低煤阶煤储层成藏机制,初步建立了内陆盆地低煤阶煤层气藏成藏模式;优选了有利区带,并提出了勘探部署建议。

2008 年以来,中石油与 BP 公司、DART(道拓)等合作,深入开展准噶尔、吐哈盆地煤层气评价研究,并实施了多口探井。其中淮南已实施低煤阶煤层气探井 19 口,煤岩镜质组反射率一般小于 0.7%,含气量最高可超过 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

目前,“西部大开发”和“西气东输”战略的实施,为准噶尔、吐哈盆地煤层气勘探开发提供了机遇,加之两盆地良好的煤层气勘探开发前景,准噶尔、吐哈盆地有望成为中国煤层气勘探开发新的热点地区。

第二节 吐哈盆地煤层气地质条件

吐鲁番—哈密盆地(简称吐哈盆地)位于新疆维吾尔自治区东部,地理坐标:东经 $87^{\circ}37' \sim 94^{\circ}30'$,北纬 $42^{\circ}37' \sim 43^{\circ}27'$,是一个近东西延展的长条形盆地。盆地四周为高山及丘陵环绕,北以博格达山脉与准噶尔盆地相隔,南有觉罗塔格山围限,东西两端分别为哈尔里克山和喀拉乌成山所封闭,盆地东西长约 658km,南北宽约 60 ~ 132km,面积约 53500 km^2 。吐哈盆地地势呈北高南低,东高西低,总体为向西南倾斜的地貌景观。中部较平坦,多为戈壁滩及荒漠,海拔高度一般在 500m 以下,西部的艾丁湖洼地海拔为 -155m,为全国内陆最低点。

含煤地层主要分布于盆地北部,含煤地层为中一下侏罗统八道湾组和西山窑组,西山窑组除中部呈东西延展的塔克泉隆起和南湖隆起缺失外,其他地区均有分布,而八道湾组分布区小于西山窑组分布区,分布于北部区的十三间房以西和哈密一带。

盆地内煤炭资源丰富,近年来油气勘探开发已取得了很大成功,而储存于煤层中的煤层气资源研究甚少。深入了解该区煤层气地质背景,评价、勘探、开发盆地煤层气资源意义重大。

一、构造地质背景

1. 区域构造背景

吐哈盆地位于新疆北部东天山地区,所属大地构造位置位于哈萨克斯坦、西伯利亚、塔里木三大古板块的汇合部位,被不同时代和不同性质的构造活动带所环绕(图 1-1)。

南侧中天山山脉是准—吐古板块与塔里木古板块之间的晚古生代碰接拼贴造山带,中石炭世末期吐哈地体与塔里木古陆北缘拼贴并继之以陆内俯冲形式进一步挤压缩短,使其早古生代火山岛弧和晚古生代阿齐山—雅满苏石炭纪钙碱性火山岛弧带分别向北逆冲,于晚古生代末期隆起为觉罗塔格山,成为控制吐哈盆地形成和演化的一个重要边界条件,觉罗塔格构造

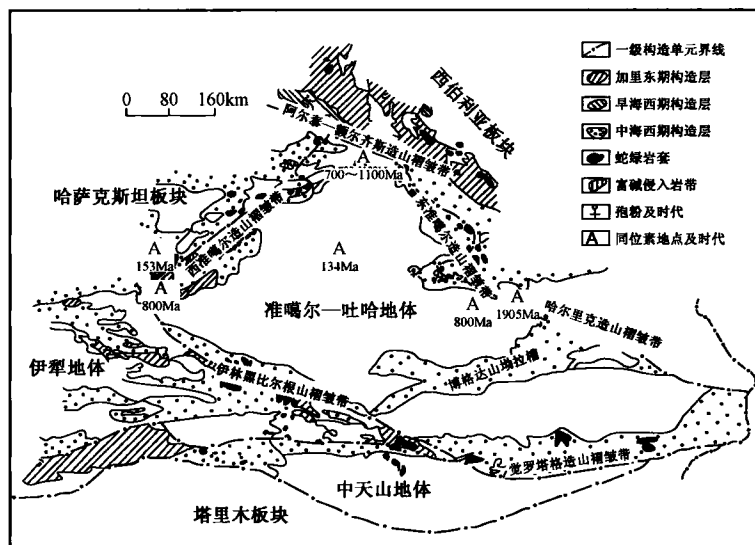


图 1-1 吐哈盆地及邻区古生代板块构造图

带及其北延南湖隆起是吐哈侏罗纪盆地,尤其是早、中侏罗世的主要物源区。盆地北侧为博格达—哈尔里克构造带,这两个构造带性质不同,博格达山体呈北东东向延展,哈尔里克山体呈北西西向延展,二者在巴里坤山七角井一带相交。哈尔里克构造带晚古生代时为塔里木—吐哈古陆北部边缘岛弧带,古天山洋于石炭纪末期消亡,陆—陆碰撞对接导致哈尔里克山隆起,成为中、新生代吐哈盆地东部重要物源区。博格达山构造带与古天山洋中脊斜交,在古天山洋壳消减过程中作为坳拉谷使吐哈盆地基底由哈萨克斯坦古板块中断裂出来,晚古生代末期,塔里木—准吐古大陆与西伯利亚古大陆碰撞对接后,博格达构造带作为陆内裂陷槽使准噶尔盆地水体与吐哈盆地水体相通,直到早、中侏罗世博格达山全面隆起,成为吐哈盆地北部主物源区。

2. 盆地构造演化

晚古生代末期,随着觉罗塔格山、哈尔里克山隆起及博格达裂陷褶皱回返,形成了吐哈盆地作为独立陆相盆地的雏形。成盆以后,吐哈盆地经历了三个主要演化阶段,现今的盆地是晚二叠世—三叠纪沉积盆地、侏罗纪沉积盆地、中生代晚期—新生代沉积盆地叠合的结果,其中盆地构造发生了两次反转。

1) 晚二叠世—三叠纪残留前陆盆地发育阶段(图 1-2a)

塔里木、准噶尔—吐哈、西伯利亚诸古陆于晚古生代末期完成拼贴对接,在吐哈地块南北分别形成中天山和克拉美丽—麦钦乌拉碰撞型造山带,吐哈盆地发育碰撞造山带前陆残留坳陷沉积。随着觉罗塔格造山带崛起并向北逆冲,吐哈盆地在晚二叠世—三叠纪期间形成南深北浅的不对称箕状盆地,沉积和沉降中心均位于盆地南部。据对博格达山前出露的晚二叠世—三叠纪地层的岩相分析,博格达裂陷槽于石炭纪末封闭后,尚未完全隆起成山,为一低隆

起,周缘发育以河湖相为主的沉积建造;而哈尔里克山可能已是盆地东北边界,发育山麓堆积的磨拉石建造。

2) 早、中侏罗世前陆伸展盆地发育阶段(图 1-2b)

中天山晚古生代碰撞造山带的应力松弛过程始于中生代早期,标志着区域构造进入新的演化阶段,吐哈盆地经历三叠纪末短暂的隆升,于侏罗纪再度接受沉积。早、中侏罗世新疆境内发育泛湖盆沉积,吐哈盆地与准噶尔盆地中、下侏罗统有一定的相似性,均为一套以含煤地层为特征的河湖沼泽相沉积。吐哈盆地从下侏罗统八道湾组至中侏罗统西山窑组,沉积范围逐步扩展,沉降沉积中心向北迁移,地层厚度向博格达山前加厚,岩性分析显示博格达山前边缘相不明显,甚至粒度变细,意味着博格达山前此时可能是湖盆沉积中心。沉积演化规律体现伸展扩张型盆地的沉积特征,同时早、中侏罗世同沉积正断层发育的地质事实,也是支持早、中侏罗世张性伸展盆地的有力证据。

碰撞造山期后的应力松弛导致造山带之间地幔物质运动激化,热扩容使莫霍面上隆,地壳上部处于引张应力状态,基底断裂以正断层位移形式造成断陷伸展,接受沉积并逐步扩展。受基底菱形断块差异升降控制,在总体为泛湖盆的古地理背景中,发育北东—南西向和北西—南东向的基底凸起凹陷带,分隔若干沉积中心。

盆地扩张与周缘造山带隆升在一定阶段达到动态平衡,从而引起盆地性质的转化。从吐哈盆地沉积—构造演化史分析,这一转化过程始于晚侏罗世,其标志是断层性质的反转、博格达山全面隆起和盆地沉积范围收缩。

3) 中生代末期至新生代挤压盆地发展阶段(图 1-2c)

吐哈盆地是一个典型的正反转构造盆地,侏罗纪与白垩纪之间的火焰山运动造成区域性不整合,标志着伸展盆地演化的最终结束和挤压盆地发展阶段的开始。印度大陆与亚洲大陆于古近纪古新世发生的板块碰撞,向板内传递挤压应力,从而在古陆块与古造山带之间的结合部位诱导构造分化。新疆地区的典型特征是造山带向盆地方向推覆。

周缘造山带向盆内逆冲推覆使吐哈侏罗纪伸展盆地发生构造反转,形成新生代挤压型山间盆地,早期张性构造形迹受到强烈改造。新近纪末,博格达山大规模崛起并向南推挤,博格达山山前“A”型俯冲带向南迁移至火焰山构造带,从而在盆地南部艾丁湖一带形成现代沉降中心,盆地构造面貌定形。

3. 吐哈盆地构造单元特征

鉴于本次工作主要研究对象为侏罗系含煤地层,对盆地构造单元划分主要考虑含煤地层发育特征、构造特征、沉降及沉积史等诸方面。经过对前人已有盆地构造单元划分方案的分析,将整个盆地划分为吐鲁番拗陷、了墩隆起、哈密拗陷、南部隆起等构造单元(图 1-3)。拗陷中发育厚薄不等的煤系地层,含煤层数多,煤层厚度大,具有形成煤层气藏的良好物质基础。主要单元特征简述如下:

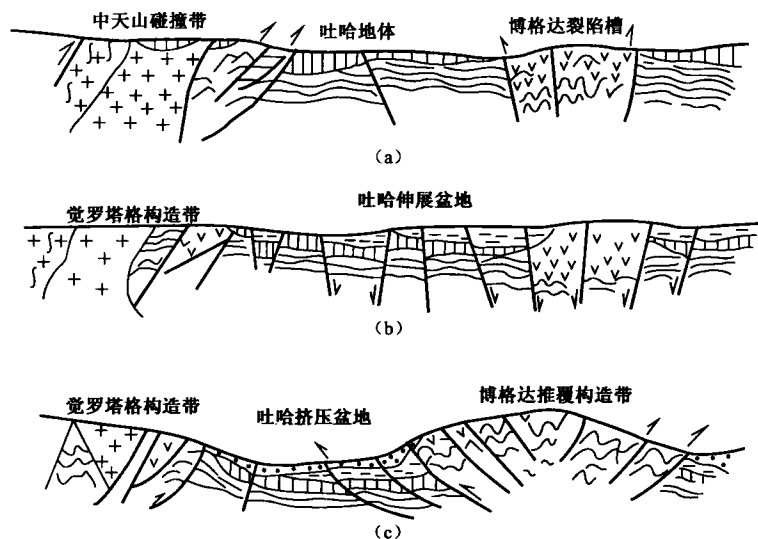


图 1-2 吐哈盆地构造演化示意图(据张鹏飞等,1997,修改)

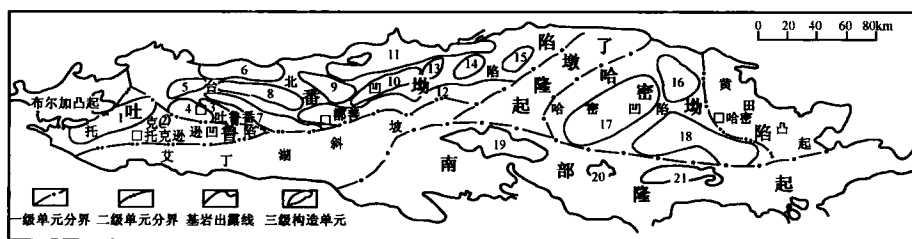


图 1-3 吐哈盆地构造分区图

- 1—伊拉湖构造带;2—大墩构造带;3—胜青构造带;4—维木西构造带;5—肯德克构造带;6—煤窑沟构造带;
7—火焰山构造带;8—胜北构造带;9—丘陵构造带;10—温吉桑构造带;11—鄯勒构造带;12—七克台构造带;
13—小草湖构造带;14—红台构造带;15—十三间房构造带;16—四道沟构造带;17—五堡构造带;18—火石镇构造带;
19—艾丁湖构造带;20—沙尔湖构造带;21—大南湖构造带

1) 吐鲁番坳陷

位于吐哈盆地西部,是盆地的主体坳陷,东部紧邻塔克泉隆起和了墩隆起,面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。主要特征表现为:① 地层发育较全,不仅发育了二叠系、三叠系,而且发育了巨厚的侏罗系—第四系;② 坳陷自侏罗纪末中燕山运动以来挤压作用愈演愈烈,形成的局部构造占盆地构造总数的 90% 以上;③ 构造样式具有典型性,发育了一系列的薄皮滑脱构造体系;④ 煤系地层分布广,厚度较大,含煤性较好。根据坳陷内部的特殊性,可进一步分为北部凹陷带,西部凸起—高隆带、南部凹陷带。最大的差异在南北凹陷带上,其中南部凹陷带形成历史偏早,如托克逊凹陷,结束大规模沉降也早,因而盆地的主发育期偏早,以二叠纪、三叠纪甚至

包括早石炭世为主。侏罗纪以后结束了盆地发展成为北部主体沉降区带的一个斜坡,艾丁湖一带侏罗系下部层位发育较差。北部凹陷带形成早,结束发育晚,如台北凹陷区,作为盖层发育了从上石炭统至第四系的完整层系,最大沉积岩厚度 8000~9000m,是盆地内发育沉积层系最全、叠置厚度最大的沉降带。北部凹陷带煤系埋深较大,煤层气勘探开发较困难,南部凹陷带埋深小,但保存条件以及煤变质程度有所不足。

2) 了墩隆起

面积约 $1.6 \times 10^4 \text{km}^2$,是盆地中分割东西坳陷的正向构造单元,在盆地发展的大部分历程中处于抬升背景以遭受剥蚀为主,在煤系地层沉积期,仅西山窑第三亚期、第四亚期有水漫过程,接受了较薄的沉积。从沉积层序的发育总体来说,地层发育不全;从构造发育来看,表现出以抬升为主,基岩裸露地表形成天窗与局部构造不发育的特点;从基底埋深看,是盆地最浅的区域,而且前寒武系结晶地块埋深也最浅。

3) 哈密坳陷

哈密坳陷是吐哈盆地的一个主体沉积坳陷,次级单元分为哈密凹陷(或三堡凹陷)和黄山凸起两部分,分布范围面积约 $1.2 \times 10^4 \text{km}^2$ 。在吐哈盆地的发育过程中,哈密坳陷一直独立于西部吐鲁番坳陷,直到中侏罗统两坳陷趋于联合形成统一沉积区,但其发育特点明显,主要表现在:①主发育期为二叠、三叠纪,沉降幅度显著,最大沉积厚度超过 4000m,而自侏罗纪开始相对呈抬升势头,沉积层序发育不全,厚度越来越薄;②本区相对西区凹陷,构造活动影响较早,但对区域影响较大的燕山运动又表现出活动弱的特点;③构造样式以基底卷入型背斜和断背斜为多,缺少薄皮滑脱构造体系;④相对西部区,煤层发育较差,在本坳陷,三堡 1 井附近煤层发育好于其他区。哈密坳陷煤层层数少,多发育于西山窑组下部,然而本坳陷含煤地层埋深较浅,大部分地区在 2500m 以内,封盖条件较好,是煤层气勘探评价的较理想地区之一。

4) 沙儿湖—大南湖凹陷

该区在吐哈盆地发展过程中,有不同于其他区的发育特点,古生代时期先后接受沉积,但沉降幅度不大,二叠纪开始受区域构造影响处于抬升状态,直到早侏罗世一直为隆起,斜坡遭受剥蚀。中侏罗世,整个盆地在构造运动缓和期,与周缘高差较大,盆内相对接受沉积的面积扩大,沙儿湖—大南湖一带在此期接受了西山窑期沉积,尔后这一带地形平缓,沉积时断时续,侏罗系以上沉积较薄,一般不超过 700m。沙儿湖—大南湖一带西山窑组含煤性较好,但煤成熟度偏低,生烃期偏晚,保存封盖条件差,对煤层气勘探评价来说意义不大。

4. 盆内构造特征概述

1) 断裂特征

吐哈盆地近些年来地震资料、钻探资料较为丰富,经地震解释并确认的断裂有几百条,其