

韩城矿区煤层气 地质条件及赋存规律

HANCHENG KUANGQU MEICENGQI DIZHITIAOJIAN JI FUCUNGUILU

王双明 等著

地质出版社

韩城矿区煤层气 地质条件及赋存规律

王双明 王晓刚 范立民 王生全
冯勤科 陈练武 强玉侠 端木合顺 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统研究了韩城矿区影响煤层甲烷含量与赋存的主要地质因素,根据煤层厚度、煤层埋深、甲烷含量、煤体结构、顶底板封闭性能和构造条件,划分了三种勘探开发类型,计算了煤层气资源量,选定了煤层气勘探开发目标区,进行了煤层气参数井施工和排采试验。

本书可供煤矿企业瓦斯排采科技人员、煤层气勘探开发研究人员和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

韩城矿区煤层气地质条件及赋存规律/王双明等著. 北京:
地质出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-116-05987-0

I. 韩... II. 王... III. 煤矿-煤层-地下气化煤气-石油天然气地质-研究-韩城市 IV. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 024257 号

责任编辑: 吴宁魁 李 莉

责任校对: 关风云

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324513 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京地质印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 14.5

字 数: 350 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2008 年 12 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

审 图 号: GS (2009) 157 号

定 价: 36.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05987-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

我国煤层气资源潜力巨大，埋深 2000m 以浅的资源总量达 $36.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约占世界煤层气总资源量的 13%，居世界第二位，与我国陆上常规天然气资源量相当。在全国 21 个大气田中，16 个为煤成气气田，煤成气大气田占到全国大气田总储量的 86.86%，同时是全国天然气总储量的 51.94%。

我国天然气供需矛盾突出，多数中小城市尚未用上天然气，预计到 2010 年，我国天然气供需缺口将达 $400 \times 10^8 \text{m}^3$ ，煤层气作为天然气的一个重要组成部分，其开发利用势在必行。我国煤层气资源探明程度低，经认证的储量不足全国总量的 0.01%，煤层气地面勘探开发刚刚起步，成藏机理不明确，开发工艺技术不成熟，规模化的煤层气产业尚未形成。进入 21 世纪后，我国能源形势十分严峻，能源供需矛盾直接威胁到国家的能源安全，燃煤造成的环境压力也要求目前国内煤炭占绝对优势比例的畸形能源结构必须得到改善。开发利用煤层气资源，不仅能够大幅度增加高效洁净能源的供给，直接减少煤矿甲烷排放量以有效缓解温室效应，同时有望遏制矿井瓦斯灾害以改善煤矿安全生产条件。加强煤层气关键基础科学问题的研究，推动并指导我国煤层气产业的形成与发展，是“开发新能源，实现能源利用与环境保护同步，保证可持续发展”的重大战略举措。

煤层气藏的形成机制和开发原理与常规天然气截然不同。我国埋深 2000m 以浅的、吨煤含气量大于 4m^3 的潜在可采煤层气资源量，94% 集中在贺兰山—龙门山以东的中国东部地区，并主要赋存于上古生界煤储层中。我国经历多期构造运动，盆地复合叠加现象明显，控气因素复杂，煤储层构造变形强烈，煤的多阶段演化和多热源叠加变质作用明显，煤层气多期生成并发生调整与再分配，资源分布非均一性显著，致使煤层气勘探难度加大，开发风险性极高，明显有别于美国的煤层气开发条件。复杂多变的地质历史，造成我国“三低一高”的煤层气地质背景，即煤储层含气非均质性高，而渗透性、储层压力和含气饱和度偏低。围绕煤层气成藏动力学、规律、条件、类型以及煤储层增渗卸压的岩石力学机理的关键科学问题，查明不同地质时期控气因素的配置关系，探讨各类地质场的互动过程，研究煤层气的成藏机制和分布规律，是实现我国煤层气经济高效开发的必由之路。

陕西省煤层气资源主要赋存于渭北石炭—二叠纪煤田韩城、澄合、铜川、

蒲白矿区，陕北石炭—二叠纪煤田吴堡、府谷矿区和黄陇侏罗纪煤田焦坪、黄陵、彬长矿区。其中，韩城矿区煤层气资源丰富，也是全省煤层气研究程度较高、开发试验最早的地区。目前，已经开始商业化开采。十余年来，对该区煤层气的研究大致分三个阶段：第一阶段为基础研究阶段，即1990~1993年，完成了煤层气资源预测与评价；第二阶段为靶区选择阶段，即1994~1997年，完成煤层气资源赋存规律及资源评价；第三阶段为勘探与参数井施工与排采试验阶段。在此基础上，完成了本书。参加编写的有王双明、王晓刚、范立民、王生全、冯勤科、陈练武、强玉侠、端木合顺。全书由王双明统稿、审定。

值得说明的是，地质成果历来是集体劳动的结晶，韩城矿区煤层气研究成果也不例外，十多年来，先后有数十余位工程技术人员参与此项工作，西安科技大学龙荣生、郑重、薛喜成，陕西省煤田地质局一三一队刘一志、郝兴超、许胜利、吕小俊、惠东远、俱养社、陈玲芬，一八六队杨文清参与了基础性研究工作和试验井施工，陕西省煤田地质局冯报东高级工程师参与了前期工作，陕西煤业化工集团及所属韩城矿务局的钱建峰、王苏建、刘德安、康志春、邬清泉、王社荣、宇建国、赵中星、闫连忠、高柏林、祁云望、薛志学等专家给予了大力支持和帮助，陕西省煤炭地质测量技术中心申涛、张红强两位工程师协助完成了插图编绘和文字校核。研究工作得到了中国煤炭地质总局、陕西省煤炭工业局、陕西省煤田地质局、中国地质大学、西安科技大学、西北大学、韩城矿务局及所属各煤矿、煤科总院西安研究院和陕西省煤田地质局一三一队、一八六队等单位的支持和帮助。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免不妥甚至谬误，恳请专家批评指正。

作者

2008年11月1日于西安

目 次

前 言

0 概 论	(1)
0.1 陕西省煤炭煤层气资源概况	(1)
0.2 国内外研究现状	(8)
0.3 研究区勘探与生产简况	(11)
0.4 主要研究内容	(12)
0.5 研究方法和工作量	(13)
1 煤层气赋存的地质条件	(16)
1.1 含煤地层与煤层发育特征	(16)
1.2 煤岩与煤质特征	(22)
1.3 地质构造特征	(24)
1.4 水文地质特征	(26)
1.5 研究区瓦斯(煤层气)的基本特征	(29)
2 煤层厚度、煤质及与煤层气富集的关系	(35)
2.1 煤层厚度及其变化规律	(35)
2.2 煤质特征及与煤层气富集	(46)
3 煤层围岩透气性对煤层气保存的影响	(51)
3.1 煤层围岩的岩性特征	(51)
3.2 煤层气围岩封闭类型划分	(73)
3.3 煤层围岩与煤层气保存的关系	(76)
4 各煤层的煤体结构特征	(78)
4.1 各煤层煤体结构分布规律	(78)
4.2 影响煤体结构变化的主要地质因素	(85)
4.3 煤体结构组合特征分级	(87)
5 地质构造对煤层气赋存的控制	(88)
5.1 构造类型与特征	(88)
5.2 构造发育与展布规律	(111)

5.3	构造演化阶段及动力学机制	(115)
5.4	构造预测分析	(122)
5.5	控气构造与构造控气分析	(127)
6	煤层气的赋存与地化特征	(134)
6.1	煤层气的组成特征	(134)
6.2	煤层气的赋存状态	(134)
6.3	煤层气的成分分带	(138)
7	煤层气的生储条件及富集规律与利用	(139)
7.1	气源岩的生气性能	(139)
7.2	储集层的储气性能	(145)
7.3	生储类型划分	(154)
7.4	煤层甲烷含量的分布规律	(155)
7.5	主采煤层瓦斯压力特征	(163)
7.6	影响煤层甲烷含量的主要地质因素	(165)
7.7	矿井瓦斯抽放利用现状	(172)
7.8	煤层气可抽放性评价	(174)
8	煤层甲烷含量的定量预测	(185)
8.1	灰色建模数学原理	(185)
8.2	模型建立及预测	(187)
9	煤层气资源量计算与开采试验	(196)
9.1	煤层气资源勘探开发类型(区)确定的原则	(196)
9.2	煤层气勘探开发类型划分结果	(197)
9.3	各勘探开发类型的资源量计算	(205)
9.4	煤层气开发目标区的选定	(207)
9.5	煤层气开采试验井施工及排采	(210)
10	结 论	(218)
	参考文献	(222)

0 概论

0.1 陕西省煤炭煤层气资源概况

陕西省煤炭资源丰富,含煤面积 $5.71 \times 10^4 \text{ km}^2$,埋深 2000m 以浅的煤炭资源蕴藏总量超过 $3800 \times 10^8 \text{ t}$,煤炭资源分布呈现北富南贫的特点,秦岭以北约占全省的 98%,以南不足 2%。成煤时代主要为石炭-二叠纪、三叠纪和侏罗纪,主要煤田有渭北石炭-二叠纪煤田、陕北石炭-二叠纪煤田、陕北三叠纪煤田、黄陇侏罗纪煤田、陕北侏罗纪煤田、商洛石炭-二叠纪煤田和镇巴侏罗纪煤田等七个煤田(图 0.1)。各个煤田均有煤层气分布,但具有资源价值的煤层气主要分布在陕北石炭-二叠纪煤田、渭北石炭-二叠纪煤田和黄陇侏罗纪煤田。全省 2000m 以浅煤层气资源量 $13095 \times 10^8 \text{ m}^3$,位居全国第三位。

0.1.1 陕西省主要煤田

渭北石炭-二叠纪煤田:东起韩城,西至耀县,地层走向由北东向南西展布,有渭北“黑腰带”之称。东西长约 220km,南北宽 37~50km,含煤面积近 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$,划分为铜川、蒲白、澄合、韩城四个矿区。总体构造为一向北西倾斜的单斜,倾角 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。蒲白、澄合两矿区断裂构造较发育,断层多成为井田自然边界。煤系为山西组和太原组,含煤 11 层,可采者 3~4 层,即 3[#]、5[#]、10[#]、11[#]煤层。煤类以瘦煤、贫煤为主。

黄陇侏罗纪煤田:东起黄陵,经宜君、旬邑、彬县、凤翔、千阳等,西至陇县,长约 280km,宽 30~40km,含煤面积约 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,为一向北倾斜的单斜。煤田内多出现宽缓的背、向斜,倾角多在 $3^\circ \sim 10^\circ$ 之间,个别地段 15° 左右。构造线以东西向或北东向为主。煤系为侏罗系中统延安组,含煤 4 层,可采者 1~2 层。划分为 4 个矿区和一个勘探区,即:黄陵矿区、焦坪矿区、旬耀矿区、彬长矿区、永陇勘探区。煤类主要为不粘煤、弱粘煤,黄陵矿区有少量气煤。

陕北三叠纪煤田:含煤地层分布范围包括延安、子长、子洲、安塞、米脂、横山等县、市,南北长约 75km,东西宽约 30km,含煤面积约 2200 km^2 ,为一向西倾斜的单斜,倾角 $1^\circ \sim 5^\circ$ 。煤系为三叠系上统瓦窑堡组,含煤 7~15 层,可采者 1~2 层,即 3[#]、5[#]煤层,主采为 5[#]煤。主采煤层的特点是薄而分布广,0.7m 以上厚度仅分布于子长县境内,现仅规划一个矿区(子长矿区)。煤类为气煤。

陕北侏罗纪煤田:东北起于府谷至西南的靖边、定边,经神木、榆林、横山等县、市,长约 300km,宽 25~80km,含煤面积约 17400 km^2 。地层倾角 $1^\circ \sim 5^\circ$ 左右,为一大型向北西倾斜的单斜。煤层赋存稳定,划分为神府矿区、榆神矿区、榆横矿区和靖边预测区。煤系为侏罗系中统延安组,分五个含煤段,分别含 5 个煤层组,自下而上编为 1[#]、

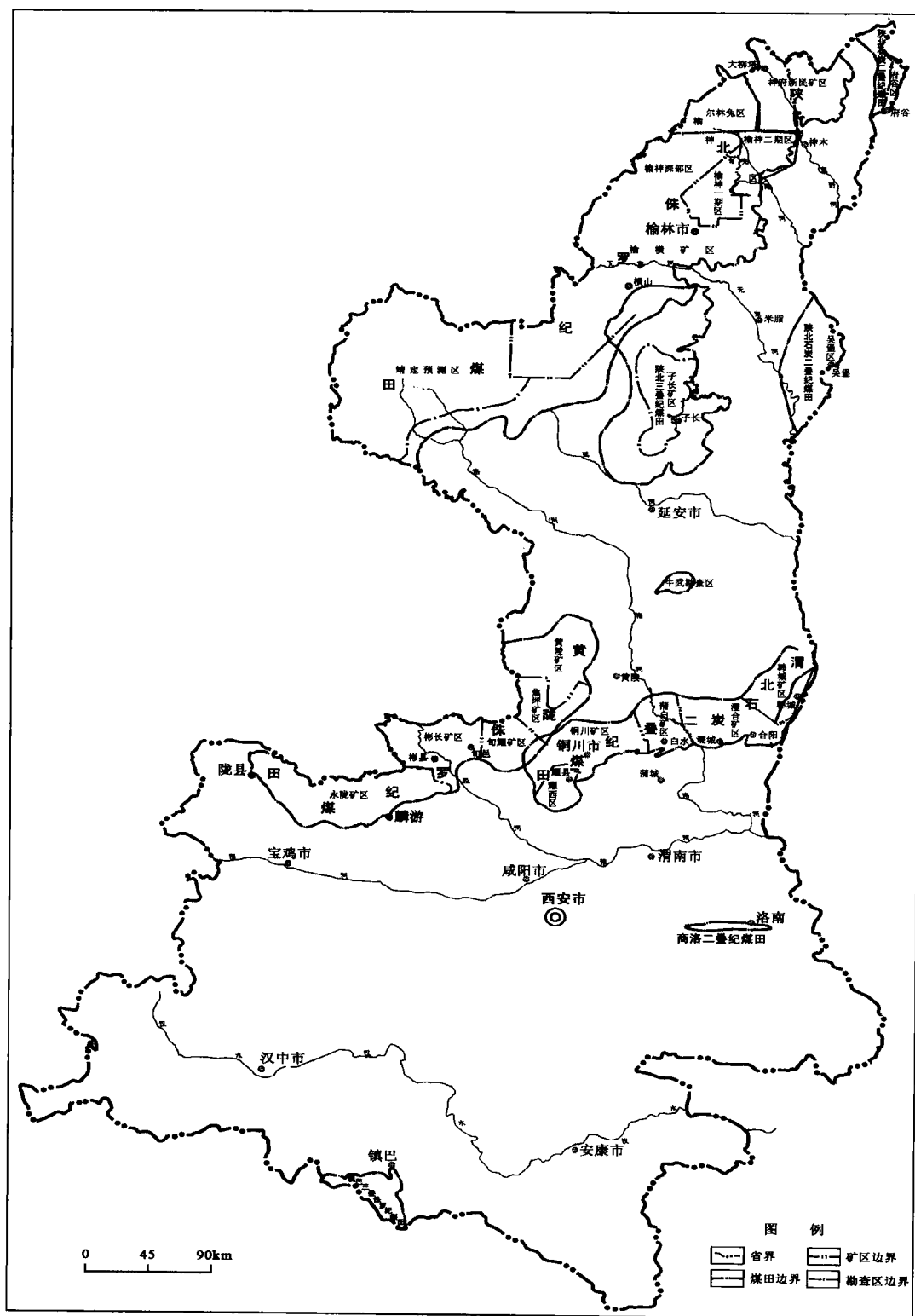


图 0.1 陕西省煤炭资源分布图

2[#]、3[#]、4[#]、5[#]，主采煤层为1[#]-2、2[#]-2、3[#]-1、4[#]-2、5[#]-2 五层。煤类主要为不粘煤、长焰煤，局部有弱粘煤。

陕北石炭二叠纪煤田：分布于府谷、佳县、吴堡沿黄河以西一带，是山西河东煤田西延部分。以煤层埋深 2000m 为深部界线，划分为两个不相连的分区，即府谷矿区和吴堡勘探区。府谷矿区与吴堡勘探区之间的佳县地区，因煤层埋深超过 2000m，未作规划分区。煤田地层走向近于南北，为向西倾的单斜，断层稀少，褶皱不发育，地层倾角 < 10°。煤系地层为山西组和太原组，含煤 10 层，主要可采煤层为 3[#]、8[#]、9[#] 三层。煤类为焦煤。

0.1.2 陕西省煤层气资源

0.1.2.1 煤层气区块划分和资源量

根据全省煤田地质勘探钻孔的瓦斯资料，全省的煤层气可按含气量及平面分布特点划分为 15 个含气区，其中：①单层可采煤层烃类气体含量 ≥ 4m³/t，具有一定分布面积的矿区或勘探区，有渭北石炭-二叠纪煤田的铜川、蒲白、澄合、韩城矿区和陕北石炭-二叠纪煤田的府谷矿区和吴堡勘探区六个含气区；②单层可采煤层烃类气体虽 ≥ 4m³/t，但分布面积较小，并以孤立点出现的矿区或勘探区，有黄陇侏罗纪煤田的黄陵、焦坪、彬长矿区三个含气区；③单层可采烃类气体含量小于 4m³/t 的矿区或勘查区，有陕北侏罗纪煤田的神府矿区、榆神矿区、榆横矿区、孟家湾勘查区和陕北三叠纪煤田子长矿区，共五个含气区。

根据全省煤层气赋存情况，对韩城、澄合、蒲白、铜川、府谷、吴堡 6 个含气区计算了煤层气资源量。对黄陵、焦坪及彬长矿区，估算了煤层气资源量。全省 1500m 以浅共蕴藏煤层气资源量约 13121 × 10⁸m³（表 0.1、表 0.2）。

表 0.1 石炭-二叠纪煤田煤层气资源量

矿区	埋深/m	韩城	澄合	蒲白	铜川	府谷	吴堡	合计	总计
煤层气资源量/10 ⁸ m ³	<1500	2009	760	256	212	590	1355	5183	13095
	1500~2000	922	289	137	174	2642	3749	7912	

表 0.2 侏罗纪煤田煤层气资源量（埋深 < 1500m）

矿区（井田）	黄陵矿区	焦坪矿区		彬长矿区	
	香坊区	崔家沟煤矿	上石节煤矿	其他区域	大佛寺井田
CH ₄ 含量/（m ³ ·t ⁻¹ ）	4.76	4.00	5.35	4.35	5.00
资源量/10 ⁸ m ³	3	0.4	5	14	3.5

通过对煤田煤储层展布、煤层气含量、煤层渗透率、煤变质特征、煤的吸附性能等条件的综合分析，认为渭北与陕北石炭-二叠纪煤田煤层厚度大（图 0.2），煤层埋深适中，甲烷含量较高，生、储、盖条件较好，目前有在建和生产矿井，是煤层气勘探开发的理想地区，并具有重要的理论和实际意义。

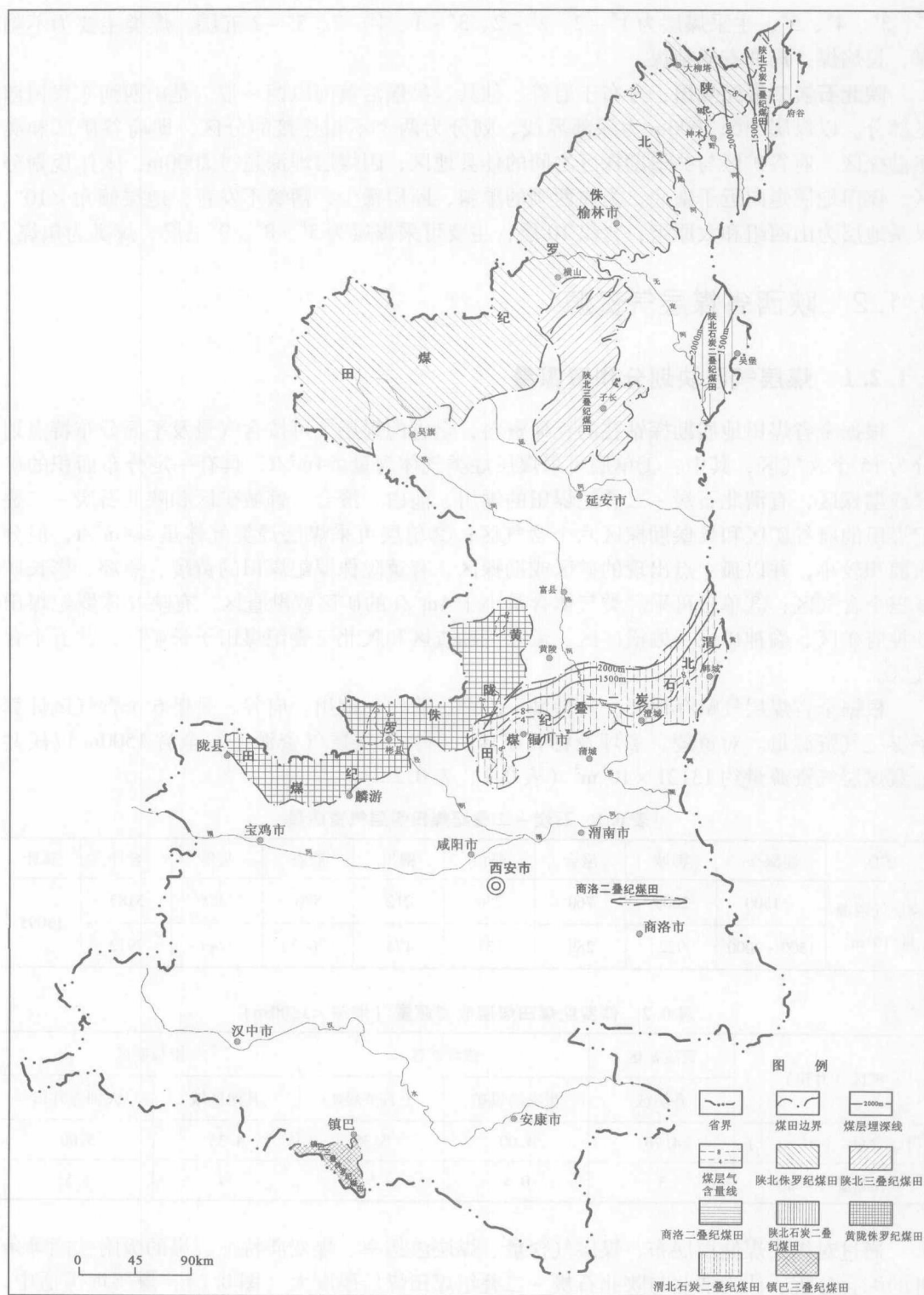


图 0.2 陕西省煤层气资源分布图

彬长矿区至2007年底,已有下沟、火石嘴、水帘、亭南、大佛寺等煤矿生产,其中有的矿井瓦斯涌出量每分钟超过 150m^3 ,从目前井下抽放获得的资料分析,本区具有良好的开发前景。

0.1.2.2 不同含气区煤层气地质特征

(1) 渭北石炭-二叠纪煤田

煤层的埋深主要受地形和构造的影响。煤田边浅部地层倾角较陡,一般 20° 左右,局部有直立甚至倒转现象,一般埋深小于 500m 。煤田的中深部,地层倾角变小,一般 $5^\circ \sim 10^\circ$,地形高差变化较大,在澄合、蒲白、铜川三矿区,地层倾向近于正北。黄土台塬区煤层埋深一般为 $600 \sim 1500\text{m}$,低山区煤层埋深一般在 $1800 \sim 2300\text{m}$ 之间。韩城矿区地层倾向北西,煤层在山区边部埋深仅为 $0 \sim 200\text{m}$ 。

3[#]煤层厚 $0.18 \sim 9.26\text{m}$,一般 3.0m ;4[#]煤层厚度 $0 \sim 3.56\text{m}$,一般 1.00m ;5[#]煤层在韩城矿区厚 $0 \sim 7.19\text{m}$,澄合矿区厚 $0.40 \sim 10.54\text{m}$,蒲白矿区煤厚 $0 \sim 8.28\text{m}$,铜川矿区煤厚 $0 \sim 8.18\text{m}$;10[#]煤层澄合矿区厚 $0 \sim 7.39\text{m}$,蒲白矿区厚 $0 \sim 20.25\text{m}$,铜川矿区厚 $0 \sim 6.62\text{m}$ 。

煤层裂隙、割理发育程度各可采煤层相近。一方面与宏观煤岩类型有关,光亮型和半亮型中,内生裂隙发育,一般为 20 条/ 5cm 。另一方面,煤层的割理与构造的关系较为密切。韩城北区压性、压扭性构造较发育,不利于煤层割理的形成,并常形成构造煤,阻止了煤层气的运移和逸散,有利于煤层气的富集,从而使北区各矿为高沼矿,相对涌出量较高,下峪口矿可达 $55.3\text{m}^3/\text{t}$,桑树坪矿可达 $56.09\text{m}^3/\text{t}$,但煤层渗透性很低,并常出现瓦斯突出现象。韩城南区张性构造发育,有利于煤层割理形成,煤层渗透率最高达 $2.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(2) 陕北石炭-二叠纪煤田

陕北石炭-二叠纪煤田煤层的内生裂隙较发育,割理不发育,就影响孔隙度和透气性的因素而言,陕北煤的变质程度较低,有利于煤中大孔隙的存在,推测煤层的透气性较高。煤层埋深主要受后期构造影响。地层倾向正西,煤田边浅部沿倾向约 $5 \sim 10\text{km}$ 的范围,煤层埋深从露头增加到 1000m ,中深部埋深在 1000m 以上,沿走向在佳县以西煤层埋深大于 2000m ,使煤田一分为二,即南部吴堡区和北部府谷区。

府谷矿区:东部以黄河为界,北以陕西与内蒙古自治区边界为界,西部延伸较远,但埋藏深度 1500m 的边界位于新民镇—三道沟乡一带。 1500m 以浅面积 893km^2 ,资源量 $140 \times 10^8\text{t}$,探明区面积 200km^2 ,资源量 $53 \times 10^8\text{t}$ 。矿区含煤地层为石炭系太原组和二叠系山西组,含可采煤层11层,自上而下编号为3[#]、4[#]、5[#]、6[#]、7[#]、8[#]、9[#]-1、9[#]-2、10[#]-1、10[#]-2、11[#],其中3[#]、4[#]煤赋存于山西组,其余赋存于太原组。主要可采煤层为4[#]、6[#]、7[#]、9[#]-2,其余为局部可采煤层,煤层埋深 $200 \sim 1200\text{m}$ 。根据总体规划,划分为西王寨、冯家塔井田等。西王寨井田4[#]煤层厚度 $0.96 \sim 12.41\text{m}$,平均 6.93m ,埋藏深度 $125.29 \sim 473.84\text{m}$;6[#]煤层厚度 $1.16 \sim 5.29\text{m}$,平均 2.29m ,埋深 $141.03 \sim 501.98\text{m}$;7[#]煤层厚度 $0.80 \sim 7.52\text{m}$,平均 1.74m ,埋深 $150.13 \sim 506.33\text{m}$;9[#]-2煤厚度 $1.41 \sim 8.60\text{m}$,平均 3.20m ,埋深 $171.76 \sim 543.60\text{m}$ 。煤类均为长焰煤—气煤,该区是陕西省炼焦配煤基地之一。

吴堡矿区:南起吴堡县城,北至丁家湾乡,呈长条形沿黄河西岸南北向展布,南北长

约26km,东西宽2.8~5.6km,面积93.1km²。按照总体规划,划分为柳壕沟井田和横沟井田,两井田以柳壕沟北断层为界。矿区内含煤地层为山西组下段和太原组,总厚度131m,含煤4~14层,其中可采煤层5层,可采煤层总厚度2.89~16.58m,平均9.05m,平均含煤系数9.4%。山西组含煤3层,自下而上编号分别是S3、S2、S1号煤层。其中S3煤层厚度0.31~1.34m,平均0.76m,埋藏深度284.24~952.50m,煤层底板标高-180~-360m,煤层整体向西倾斜,倾角5°左右;S2煤层厚度0.30~1.62m,平均0.99m,埋藏深度294.18~962.40m,煤层底板标高-190~-250m,煤层整体向西倾斜,倾角5°左右;S1煤层厚度1.20~5.10m,平均2.74m,埋藏深度301.41~969.92m,煤层底板标高-240~-350m,煤层整体向西倾斜,倾角5°左右。太原组含可采煤层1层,编号T1,煤层厚度3.51~8.98m,平均6.03m,煤层埋藏深度380.74~1074.28m,底板标高-285~-260m,煤层整体向西倾斜,倾角4.6°。1500m以浅含煤面积813km²,资源量90×10⁸t,其中探明区面积78.5km²,资源量15.3806×10⁸t。煤类为焦煤JM25为主,肥煤FM36、FM26次之,少量焦煤JM24、气煤QM34、瘦煤S13和S14、焦煤JM15及中粘煤1/2ZN23。由于埋藏较深、开采技术条件复杂,暂时尚未开采。

(3) 黄陇侏罗纪煤田

黄陵矿区:位于陕西省黄陵县境内,东距县城约55km。受沮水河及其支流长期切割和侵蚀,基岩裸露,沟壑纵横。区内森林植被广泛分布。地势呈西北高而东南低,最高点位于野猪窝附近,海拔1537m,最低点位于索罗湾一带,海拔1022.75m,相对高差514.25m。属地形较为复杂的中—低山区。延安组为含煤地层,地表无出露,属一套生油含煤内陆碎屑河、湖沼相沉积。厚度7.44~135.18m,平均92.30m,区内呈南薄北厚的变化规律,可采煤层有2[#]、3[#]两层,2[#]煤层厚度0.05~6.75m,平均3.91m。3[#]煤层厚0.85~3.80m,平均厚2.09m,煤层厚度变化较大。煤类以弱粘煤为主,少量1/2中粘煤。勘探阶段发现有3个孔煤层中甲烷含量大于4m³/t,分布面积约15km²,预计储量约3×10⁸m³。勘探阶段施工的1个水文孔,当钻进到延安组第二段时,孔内有煤成气逸出,气量不大,导管引出点燃后火焰呈淡蓝色,火苗短而弱,30~40cm。分2次采集气体样品进行了化验测试,第一次测试结果,氧含量6.31%,氮含量41.69%,二氧化碳含量0.16%,甲烷含量51.27%,乙烷含量0.37%,丙烷含量0.20%;第二次测试结果,氧含量0.25%,氮含量13.54%,二氧化碳含量0.06%,甲烷含量85.06%,乙烷含量1.09%。2004年5月20~21日对孔内气体压力进行了测量,采用0.6MPa压力表,每30分钟测量一次,其值介于0.05~0.145MPa之间。另有1个孔钻进到三叠系时,天然气喷出,导管引出,火焰高达1m。

焦坪矿区:焦坪矿区位于陕西省铜川市耀州区和印台区境内,距铜川市约70km,矿区南北长26.5km,东西宽3.84km,含煤面积103.1km²。现由陈家山、下石节和玉华煤矿开采。矿区含煤地层为侏罗系中统延安组,厚度105~147m。主采4[#]-2煤层和局部可采的3[#]-2煤层。4[#]-2煤层属全区可采,煤层倾角2°~5°,厚度一般6~14m,平均约10m。靠近煤层底板,普遍发育1~3m的劣质煤。煤层结构复杂,一般含矸2~3层,为炭质泥岩或泥岩,夹矸总厚度为0.1~0.5m。煤层直接顶为粉砂岩,厚度2~6m;老顶为中、粗粒砂岩,厚度10m左右;底板为根土岩及花斑泥岩,遇水极易膨胀,厚度4~12m。矿区4[#]-2煤层赋存较稳定,构造及水文地质条件简单。3[#]-2煤层仅局部可采(分

布于下石节煤矿，现未开采），煤层厚度一般4~6m，平均厚度5m。煤质特征是，原煤灰分产率15%，全硫含量小于1%，发热量25~32MJ/kg。矿区三矿属高瓦斯矿井，煤层属极易自燃煤层，发火期3~6个月，最短24天。由于开采中煤、油、气共生，所以焦坪矿区开采地质条件既特殊，又十分复杂。2006年在该矿区转角勘查区钻探施工时，遇到井喷，喷出气体以二氧化碳气为主。

彬长矿区：位于彬县及长武县境内，彬长规划矿区东西长70km，南北宽25km，详查区面积913km²。矿区地层总体为一倾向北西—北北西的平缓单斜，在单斜背景上有少量方向单一的宽缓褶曲，地层倾角小于9°，构造简单。含煤地层为侏罗系延安组，4[#]煤为主采煤层，位于延安组第一段的中部，厚度0.15~43.87m，平均10.64m。4[#]煤为本区主要气源层，最大埋藏深度700m，结构简单，厚度大，分布面积广，可采面积达577.39km²。煤层气与成煤环境、煤化程度、煤厚、沉积构造及围岩性质等关系密切。彬长矿区4[#]煤层气分带呈南北展布，即矿区东西部大面积范围内为煤层气风化带（CO₂-N₂带）。中部为N₂-CH₄带，局部地段为CH₄带。煤层埋藏深度、煤变质程度、镜质组含量、煤层的顶、底板泥岩厚度与煤层气含量呈正相关关系。在顶、底板泥岩厚度>4m时，其甲烷含量>2.5mL/g；当泥岩厚度<4m，其甲烷含量<2.5mL/g。

0.1.3 煤层气赋存规律

研究表明，煤层中甲烷含量与煤层埋深、上覆基岩厚度等呈正相关关系（图0.3，图0.4），在渭北石炭二叠纪煤田，煤层瓦斯含量不仅受控于煤层埋深，同时也受控于地质构造和煤层厚度。

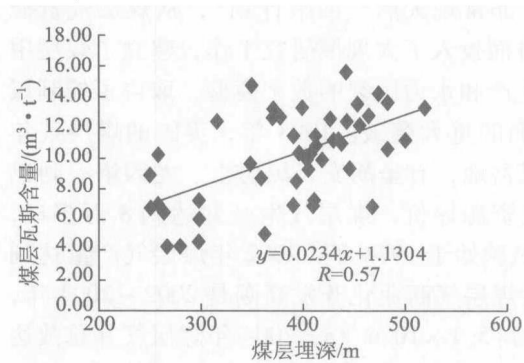


图0.3 煤层瓦斯含量与煤层埋深关系
(据闫江伟等, 2008)

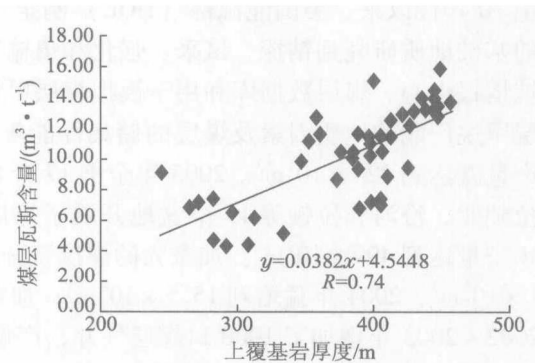


图0.4 煤层瓦斯含量与上覆基岩厚度关系
(据闫江伟等, 2008)

煤层气含量与构造的关系：一般在张性断裂发育的地区，煤层气含量低，如蒲白矿区杜康沟逆断层以南，有数条断距在100~300m的较大的正断层，呈北东向斜交于杜康沟逆断层之上，此处煤层气含量明显偏低。另外，在铜川矿区和澄合矿区边浅部以及韩城矿区的边浅部和南区，张性断裂也比较发育，因此，这些区域甲烷浓度和含量均较低。褶皱构造较发育的地区，有利于煤层气的局部富集，一般向斜轴部受挤压，孔隙少，吸附甲烷含量较背斜低，但易于保存；背斜轴部受到拉伸，裂隙、孔隙较发育，当顶板为泥质岩石

时, 甲烷含量高, 当顶板为砂质或脆性岩石时, 甲烷易于通过张裂隙散失, 甲烷含量低。

甲烷含量与煤层埋深的关系: 从渭北煤田四个矿区来看, 浅部基本上属于瓦斯风化带, 如铜川、蒲白、澄合三个矿区, 埋深 300m 以浅, 煤层气组分以 N_2 为主, 甲烷含量一般都小于 4mL/g 。各可采煤层甲烷含量 $>4\text{m}^3/\text{t}$ 的分布区, 韩城、澄合矿区多在煤层埋深 300m 以深, 蒲白、铜川矿区多在 400m 以深。而韩城矿区, 煤层埋深在 1000m 左右时, 甲烷含量已达到 $19.99\text{m}^3/\text{t}$ 。甲烷含量随深度增加而增大, 在本煤田中表现极为明显。

甲烷含量与煤层厚度的关系: 一般煤层厚度越大, 生、储气越多, 甲烷含量就高。从煤田中各可采煤层所采瓦斯煤样统计分析, 在正常情况下, 同一煤层, 深度相近时一般煤层厚的地区甲烷量较高。

0.2 国内外研究现状

煤层气是保留在生气母质——煤层中的气体, 其成分以甲烷为主, 是一种自生自储式的天然气。这种气体大多未经运移而分散在煤层中, 部分聚集成“瓦斯包”, 成为采煤中瓦斯突出的根源。长期以来, 煤层气被视为灾害, 以往很多工作都从煤矿安全的角度出发, 开展瓦斯赋存和运移规律研究及相应的排放工程试验, 在世界能源问题日趋严重的今天, 煤层气作为一种新型能源受到许多国家的高度重视。如俄罗斯已将煤矿床看作“煤-甲烷”矿床, 把甲烷视同煤一样进行开发利用。世界上 74 个发现有煤炭资源的国家中, 35 个国家开展了煤层气研究工作, 其中约一半的国家开展了煤层气专门探井和生产参数测试等工作 (图 0.5)。美国在煤层气研究开发方面一直处于世界领先地位, 自 20 世纪 70 年代以来, 美国能源部 (DOE) 制定了“非常规天然气回采计划”, 从煤层气资源的基础地质研究到钻探、试采、强化和集输等方面投入了大规模研究工作, 建立了煤层甲烷情报中心、煤层数据库和用于模拟煤层甲烷生产和水力压裂的数字模型, 取得了控制煤层甲烷产能的地质因素及煤层的储集性能等方面的重大突破。1998 年, 美国的煤层气年产量就达到 $324 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2005 年全美 17 个含煤盆地, 有圣胡安、黑勇士、尤因塔、阿巴拉契亚、汾河和拉顿等 13 个盆地开展了煤层气资源评价, 煤层气生产井达到 8 万多口, 年产量达到 $490 \times 10^8 \text{m}^3$ 。加拿大的煤层气开发试验始于 1978 年, 2002 年煤层气产量达到 $1 \times 10^8 \text{m}^3$, 2004 年猛增到 $15.5 \times 10^8 \text{m}^3$; 加拿大煤层气商业化开发高潮是 2002 ~ 2004 年, 2002 ~ 2003 年增加了 1000 口煤层气井, 产量达到 $5.1 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$, 2004 年煤层气井总数达 1900 口, 产量达到 $15.5 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$; 澳大利亚煤层气总资源量 $(8 \sim 14) \times 10^{12} \text{m}^3$, 1996 年以来到 2004 年, 年产煤层气 $12.85 \times 10^8 \text{m}^3$, 单井产量 $3000 \sim 7000 \text{m}^3/\text{d}$; 俄罗斯煤层气抽放始于 1951 年, 1990 年达到巅峰, 当年有 48 处煤矿抽放煤层气, 年抽放量 $2.16 \times 10^8 \text{m}^3$, 之后, 抽放量下降。英国目前有 9 口煤层气抽采井, 主要用于发电。德国煤层气总资源量 $3 \times 10^{12} \text{m}^3$, 1998 年的煤层气年抽放量就达到 $10.7 \times 10^8 \text{m}^3$, 1998 年和 1999 年修建了 2 座煤层气发电厂。印度煤层气资源较丰富, 但勘探程度低, 目前试验井的单井产量可达 $5000 \sim 6000 \text{m}^3/\text{d}$ 。波兰下西里西亚、上西里西亚和卢布林盆地煤层气资源量约 $3 \times 10^{12} \text{m}^3$, 政府将煤层气开发作为减少天然气进口的主要手段, 今后五年计划在上西里西亚煤田开采煤层气 $50 \times 10^8 \text{m}^3$, 下西里西亚煤田开采 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

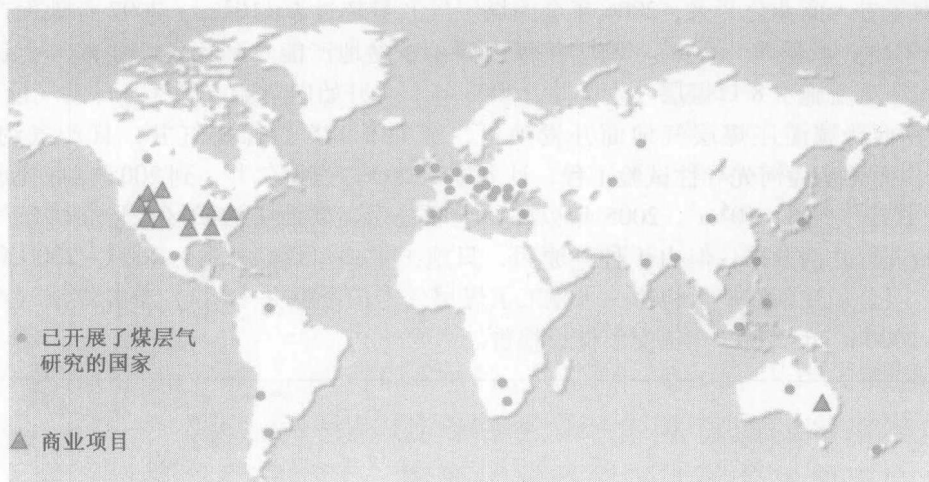


图 0.5 世界煤层气研发现状图

(据贾承造等, 2007)

全世界的煤估计含有 $3500 \times 10^{12} \sim 9500 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ① 的煤层气

我国煤层气工业起步较晚, 大致可分为三个阶段: 新中国成立后到 20 世纪 70 年代末, 主要是以煤矿安全为中心的瓦斯抽放和利用阶段; 从 70 年末到 90 年代初, 是资源调查与评价、地面勘探开发试验和井下抽放利用阶段, 韩城矿区煤层气地面勘探就是从 90 年代初开始的; 90 年代以来, 煤层气进入大规模勘探、开采试验和商业化开发利用阶段。预计 2050 年全国煤层气年产量将达到 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

“七五”期间, 我国设立了“中国煤层甲烷的富集条件和资源评价”科技攻关研究项目, 对中国煤层气资源远景进行了分类, 提出了选区意见, 估算埋藏深度 2000m 以浅的煤层气资源量 $31 \times 10^{16} \text{ m}^3$ 。“八五”期间设立了“煤层气勘探开发评价选区及工程工艺技术”和“有利区块煤层吸附气开发研究”攻关项目, 从生产角度在山西柳林, 安徽淮南等地施工十余口地面勘探井, 进行了测试、压裂和排采试验。1989 年开始, 我国陆续开展了煤层气勘探井或试生产井的实践工作, 从 1992 年开始, 原煤炭工业部在联合国开发计划署的资助下, 实施“中国煤层气资源开发项目”, 原地矿部、原石油部开展的“八五”国家攻关课题“85-102 项目”, 联合国资助的“深层煤层气勘探项目”、2002 年国家“973”“煤层气成藏机制及经济开采基础研究”等课题以及许多外国公司的投资咨询都为我国深入开展储层特性研究、开采技术试验研究以及经济可行性研究积累了丰富的经验。据国家新一轮油气资源评价办公室 2008 年 8 月 18 日的消息, 最新评价资料显示, 我国 42 个含煤盆地, 煤层气资源总量达 $37 \times 10^{16} \text{ m}^3$, 可采资源量 $11 \times 10^{16} \text{ m}^3$ 。

进入 21 世纪以来, 煤层气开发迎来了快速发展时期, 2006 年底全国登记煤层气探矿权区块 98 个, 总面积 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在沁水、铁法探明煤层气地质储量 $1130 \times 10^8 \text{ m}^3$, 经济可采储量 $523 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2007 年设立了 20 多个煤层气专项试验区 (图 0.6), 截至 2005 年底, 全国施工煤层气地面抽采井 615 口, 仅 2005 年就施工 330 口。山西潞安、晋城,

① $1 \text{ ft}^3 = 0.028 \text{ m}^3$ 。

安徽淮南等进入商业化开采, 2006 年全国煤层气产量超过 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2007 年地面产能达到 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$, 产量 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2007 年仅山西沁水盆地产能达到 $3.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。辽宁煤田地质局在阜新施工 8 口煤层气生产井, 2003 年 5 月开始向阜新市供气, 日供气量 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。山西晋城潘庄煤层气地面开发项目, 施工了 175 口煤层气井, 日产气约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$; 山西沁南潘河先导性试验工程, 计划施工 900 口煤层气井, 到 2005 年底完成钻井 100 口, 日产气约 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2005 年以来, 港联公司在陕西韩城矿区登记了煤层气采矿权, 开始进行井网开采, 但由于种种原因, 只施工了一口煤层气井。2004 ~ 2006 年中联煤层气有限公司在韩城矿区板桥一带施工了煤层气专门勘探井 11 口, 单井煤层气产量达到 $500 \sim 2000 \text{ m}^3/\text{d}$, 2007 年提交了储量报告。

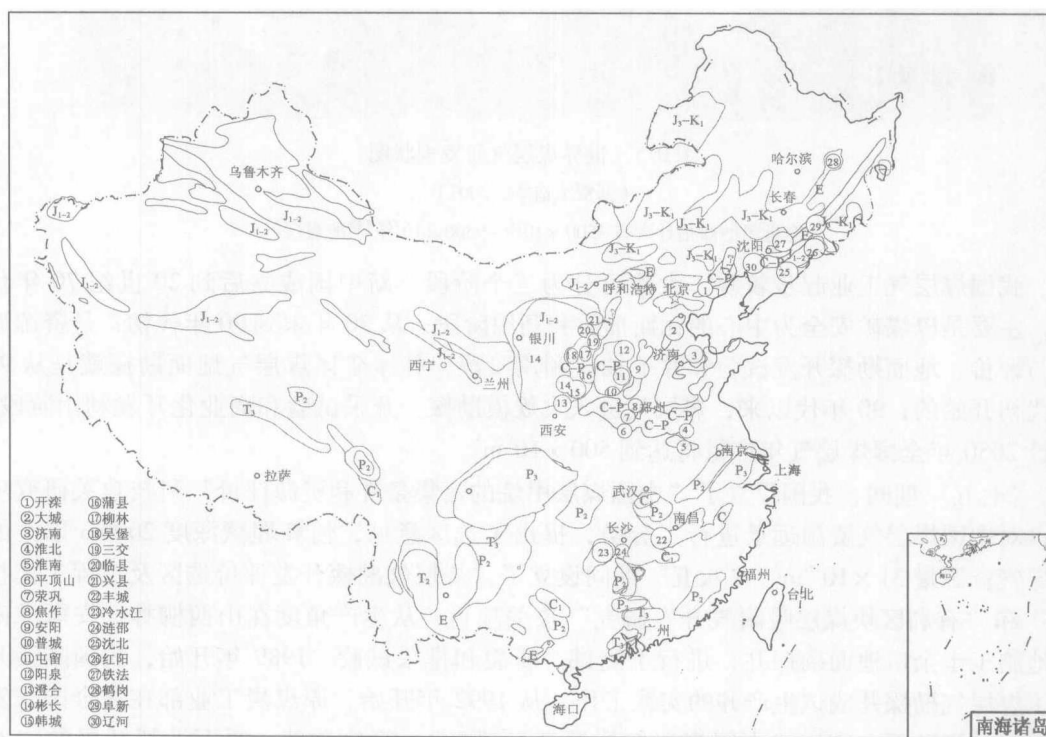


图 0.6 全国煤层气试验区分布图

(据贾承造等, 2007)

我国煤矿井下瓦斯抽采始于 20 世纪 50 年代初, 1952 年在辽宁抚顺矿务局龙凤煤矿进行了首次井下抽放试验并获得成功, 随后, 逐步推广到全国高瓦斯矿井。1957 年山西阳泉矿务局四矿试验成功了临近层瓦斯抽放, 本煤层长水平井抽放是目前的最先进技术。据统计, 20 世纪 50 年代, 全国有抚顺、阳泉、天府、北票等矿区的 6 对矿井进行瓦斯抽放, 年抽放量 $0.60 \times 10^8 \text{ m}^3$; 60 年代, 焦作、淮南、中梁山、南桐、松藻、包头、峰峰等矿区的 20 对矿井抽放瓦斯, 年抽放量达到 $1.6 \times 10^8 \text{ m}^3$; 70 年代增加到 83 对, 年抽放量 $2.42 \times 10^8 \text{ m}^3$; 80 年代 111 对, 年抽放量 $3.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2002 年全国 20 个主要瓦斯抽放矿区 95 对矿井抽放瓦斯, 年抽放量 $7.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经过 50 年的发展, 煤矿井下瓦斯抽采, 已由最初为保障煤矿安全生产到安全能源环保综合开发型抽采; 抽采技术由早期的对高透