

山西南部煤层气地质

GEOLOGY OF COALBED METHANE
IN SOUTHERN SHANXI, CHINA

主 编 刘焕杰

副主编 秦 勇 桑树勋

中国矿业大学出版社

京)

22.5

山西南部煤层气地质

GEOLOGY OF COALBED METHANE
IN SOUTHERN SHANXI, CHINA

主 编 刘焕杰

副主编 秦 勇 桑树勋

作 者 (按姓氏笔画为序)

王继尧 云 武 刘焕杰

宋党育 张有生 范秉恒

秦 勇 贾玉茹 徐志斌

桑树勋 曾 勇

中国矿业大学出版社

前 言

煤层气作为一种宝贵的非常规性天然气资源,已被许多国家和地区视为 21 世纪洁净燃料和化工原料的重要来源。迄今为止,世界上已有 29 个国家和地区开展了有关煤层气的勘探、开发和研究活动,占世界产煤国的 39%,其中美国已经取得巨大成功。近年来,我国政府和有关部门也对煤层气资源给予了高度重视。

1994 年李鹏曾经指示:“我国煤层气工业要有一个大的突破。”中联煤层气有限责任公司总经理王慎言也强调:“煤层气将成为中国新的接替能源。”1996 年邹家华在中联公司成立大会上指出:“第一,从改善我国的能源结构、进而促进我国以煤为主的能源系统逐步向环境无害的可持续发展的模式转变方面来讲,开发煤层气这一新能源、形成能源新产业,无疑是具有战略意义的重大举措;第二,中国是联合国《气候变化框架公约》的签约国,减少温室效应强烈的煤层气排放量、保护全球环境,是中国政府忠实履行国际公约、主动承担相应国际义务的具体体现;第三,我要强调指出,采煤之前先开采煤层气,可以从根本上防治频繁发生、危害巨大的煤矿瓦斯事故,从而大大改善煤矿安全生产条件。”

在世界的能源构成中,石油占 38%~40%,煤炭占 25%~30%,天然气占 20%~22%。我国的能源构成中,煤炭约占 75%,天然气仅占 2%,这与世界能源构成有很大差距。目前我国在采煤过程中排放的甲烷量约为 194 亿 m^3 ,约占世界采煤排放甲烷总量的三分之一,既浪费能源又污染环境。建国以来,全国煤矿发生煤与瓦斯突出 15000 余次,约占世界同期煤与瓦斯突出总量的三分之一。随着石油和常规天然气资源的逐步减少,我国能源构成还将发生变化。为了保证煤矿安全和稳产高产,采矿工业界对包括瓦斯地质条件在内的矿井地质保障系统提出了更高的要求。所有这些,均要求我国的煤层气工业在不久的将来应当有一个大的发展。

迄今为止,在世界上开展煤层气勘探、开发和研究活动的 29 个国家和地区中,只有美国进入了商业性开发阶段,在 13 个含煤盆地进行了煤层气资源评价和开发试验,产气井达 6600 余口。自本世纪 80 年代以来,美国煤层气产量逐年增长。据报道,1993 年的煤层气年产量已达 7050 亿 ft^3 (约合 214 亿 m^3),占全国天然气年总产量的 5%,其中圣胡安盆地和沃里尔盆地的煤层气产量占美国煤层气年总产量的 96%。同时,美国实施了一批新的研究和试验项目,基本上解决了美国煤层气开发中遇到的主要地质基础理论、评价方法、开采工艺、设备和技术问题,为其他国家和地区的煤层气开发提供了宝贵的经验。

煤层气的开发可以采用两种基本方式:一是地面排采,二是矿井抽放。我国以煤矿安全为主要目的的矿井瓦斯抽放工作始于本世纪 50 年代。从广义上来说,我国是世界上煤层气开发比较早的国家之一。然而,矿井抽放的主要目的是为了煤矿安全生产,由于环境条件和技术方法的限制,难以达到大规模的商业性排采,因此矿井抽放目前只是煤层气商业性生产的辅助方法。

自本世纪80年代以来,我国有关部门、研究机构和高校先后进行了全国性、区域性和某些重点矿区或煤田的煤层气资源评价、开采技术条件和开发工艺的调查研究,在华北、东北和华南的近30个矿区或煤田施工了煤层气参数井和生产试验井110余口。通过这些工作,对我国煤层气的资源状况、赋存规律以及地质控制因素有了初步认识,并在选区评价、勘探技术等方面取得了一定的经验和某些重要的研究成果。

在煤层气资源调查方面:在国家“六五”重点科技攻关项目“煤层气的开发研究”中列有专题——“我国主要煤田煤成气赋存规律及资源评价”(煤科总院西安分院牵头),对于煤层气形成、聚集的地质条件和资源分布进行了研究,其主要研究成果已经以学术专著的形式公开发表。“七五”期间,在国家重点科技攻关54—01项目中,分别由煤科总院西安分院、淮南矿业学院和中国矿业大学负责,列项对我国煤层气资源进行研究,其中煤科总院西安分院负责的“我国煤层甲烷的富集条件及资源评价”专题的主要研究成果,已在专著《中国煤层甲烷》中发表。1986~1990年期间,煤炭工业部安全司委托焦作矿业学院对全国煤层瓦斯地质特征进行调查,完成了1:200万的《中国煤层瓦斯地质图》的编制任务。“八五”期间,国家重点科技攻关85—102项目中设立了课题和专题,分别由中国石油天然气总公司、地质矿产部和煤炭工业部的有关单位负责实施,在煤层气地质基础理论、实验测试技术、地质选区评价等方面进行了研究。1994~1996年,中国矿业大学与美国Amoco东方石油公司合作,对我国华北部分地区的煤层气资源及其开采地质条件进行了评价。“九五”期间,中国煤田地质总局、中联煤层气有限责任公司、中国石油天然气总公司等单位开始实施新一轮的全国煤层气的资源评估和调查,已经取得了阶段性研究成果。

在煤层气勘探开发方面:1992年以来,煤炭工业部利用联合国开发计划署全球环境基金开始实施“中国煤层气资源开发”项目,地质矿产部从1993年起利用该项基金启动了“深层煤层气勘探”项目。自90年代以来,石油、煤炭、地矿部门和地方政府独立或与国外机构联合在华北、东北和华南的近30个矿区或煤田施工煤层气参数井和生产试验井110余口,地矿部、煤炭部分别在山西柳林和河北开滦建立了煤层气开发示范区。“九五”期间,煤炭部、中联公司等将在沁水、淮北、淮南等矿区进行煤层气开发示范区的建设。此外,煤炭部曾经或正在抚顺、阳泉、松藻、天府、南桐、中梁山、芙蓉、六枝、焦作、鹤壁、铁法等矿区进行较大规模的煤层气抽放。

在煤层气勘探工艺及测试技术方面:地矿部华北石油地质局在“八五”期间列项对煤层气储层评价方法、实验测试技术和钻探工艺进行了重点科技攻关。煤科总院西安分院1992年以来利用联合国开发计划署全球环境基金项目建立起从钻井、完井、井孔测试到储层模拟的一整套工艺技术。中国石油天然气总公司新区事业部煤层气项目经理部近年来组织专门人员研究煤层气井的施工和煤层气的开采工艺。由煤科总院西安分院等单位牵头的国家“九五”科技攻关项目——“新集浅层煤层气示范开发成套工艺技术及专用装备研究”将在近期启动。同时,有关部门积极引进和消化国外技术,已在郑州、廊坊、西安等地建立起具有国际90年代水平的专业实验机构,中国矿业大学也利用国家“211”工程投资,引进了具有国际先进水平的煤层气测试设备。

近年来,我国煤层气勘探、开发和研究的学术交流气氛空前活跃。煤炭部1989年12月在沈阳召开了“煤层气开发研讨会”,1993年11月在唐山召开了“中国煤层气勘探开发方向研讨会”。1995年10月,煤炭部与联合国共同举办了“煤层气开发与利用国际会议”。1996年

10月,煤炭部与地矿部、中国石油天然气总公司在北京联合举办了“全国煤层气学术讨论会”,煤科总院同期在西安召开的国际采矿会议也列出专题对煤层气勘探开发经验进行交流。在联合国、美国能源部、日本通产省和亚洲银行的援助下,“煤炭工业部煤层气信息中心”于1995年正式成立,由煤炭部有关单位主办的《煤层气》和《中国煤层气》内部刊物近两年也相继问世。中国煤田地质总局、煤科院西安分院等单位在1995~1997年间,聘请国内外有关专家,举办了数期全国性的煤层气地质培训班。中国矿业大学、石油勘探开发研究院廊坊分院、煤科总院西安分院、中科院兰州科技文献中心、地矿部中南石油地质局和华北石油地质局等单位,陆续翻译、编译了大量煤层气勘探和开发方面的专题文献,进行内部交流或已经正式出版。这些活动,对我国煤层气地质人员的培养和勘探开发事业的发展,起到了有力的推动促进作用。

通过数年的研究,我国已在煤层气勘探开发方面取得了以下可喜成果:基本查明了我国煤层气资源的分布和赋存格局,对某些重点矿区煤层的含气性和控气因素有了一定程度的了解;我国煤层(特别是晚古生代煤层)具有低压、低渗、低饱和、构造煤发育、高煤级煤区打出高产气井等特点,这与美国圣胡安等盆地的情况有所不同;根据我国煤层气地质条件和特征对煤层气开采地质选区标准进行了研究和讨论,石油、地矿和煤炭系统的有关单位均采用自己提出的选区标准优选煤层气勘探目标区,分别提出和评价了有利区块,但迄今为止国内仍无统一的选区评价标准,给选区对比和勘探部署的决策造成了一定困难;适合于我国地质特征的煤层气基础地质理论正在逐步形成,但从系统工程的角度来看,我国煤层气基础地质研究的广度、深度和投入的力度尚嫌不足,从理论、方法到实践均有待于深化。

尽管我国在煤层气勘探开发方面进行了不懈努力并已取得初步成效,但要成功开发我国的煤层气资源,仍有某些技术难题需要解决:第一,我国煤层气的总体资源状况尚不真正明了,总资源量中能够回收的比例目前更没有明确概念,从而导致对资源量评价结果的可靠性往往无法加以估价;第二,一个盆地、煤田或矿区中高含气性、高渗透性和高产能区(sweet spot 或 fairway)的有效预测、寻找以及控气地质因素问题,包括总体思路、获取有效参数的途径和研究评价的方法;第三,煤储层渗透性的准确评价和机理研究,特别是极低渗、高应力、无水或少水煤层以及厚煤储层物性非均质性的评价;第四,煤层气储量、产量的有效预测和开发计划的优化,包括可采储量的多少、采收率的高低、开采时限的长短等;第五,新的或地质条件极为复杂的地区煤层气井的完井及激化,包括工艺、技术、设备以及激化机理等的研究;第六,煤层气开发的经济性评价和降低开发成本的有效途径。

在我国的几大聚气区中,华北地区煤层气开发前景最好。其中,位于山西南部的沁水盆地石炭—二叠系煤具有热变质成因,含气量高、含气饱和度大,储层物性及封盖条件较好,资源丰富,被公认为是我国最具煤层气勘探开发前景的地区之一,也是目前国内煤层气勘探开发活动最为集中的地区。鉴于此,作者对山西南部煤层气地质条件进行了深入研究,在煤层气生成保存条件、煤层含气性特征、煤储层与盖层物性、煤层气资源量分布等方面取得了系统认识,并对控气地质条件进行了探讨。在此基础上,作者进一步对山西南部煤层气勘探的有利区带进行了优选。作者期望,本书的研究成果能够对指导山西南部乃至华北地区的煤层气勘探开发实践以及发展适合于我国地层条件的煤层气地质理论有所裨益。

本书由刘焕杰教授主编,秦勇教授和桑树勋副教授任副主编。参加撰写的作者依次为:前言,刘焕杰和秦勇;第一章第一节和第三节,范秉恒;第二节,贾玉茹;第四节,云武;第二

章,徐志斌、王继尧和云武;第三章,桑树勋和张有生;第四章,秦勇和宋党育;第五章第一节和第二节,曾勇;第三节,贾玉茹;第四节,桑树勋;第六章,秦勇;第七章第一节,桑树勋和范秉恒;第二节,范秉恒和桑树勋;第三节,秦勇;第八章,刘焕杰。全书由刘焕杰、秦勇和桑树勋统稿。此外,韦重韬等也参加了部分野外考察和室内资料整理工作;地质调研得到了山西省煤田地质局、山西矿业学院和汾西、霍州、晋城、潞安等矿务局或地方煤矿的大力协助,在此一并致以衷心谢意。

主编谨识

一九九七年金秋于徐州

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 前 言 | I |
| 第一章 煤层气地质背景 | 1 |
| 第一节 地层与含煤地层 | 1 |
| 一 地层概述 | 1 |
| 二 含煤地层 | 3 |
| 三 岩浆活动史及岩浆岩分布 | 4 |
| 第二节 石炭—二叠系聚煤特征 | 4 |
| 一 含煤岩系沉积环境概述 | 4 |
| 二 成煤环境与聚煤模式 | 5 |
| 三 岩相古地理特征与聚煤作用 | 6 |
| 第三节 煤层与煤质 | 10 |
| 一 煤层 | 10 |
| 二 煤质 | 12 |
| 第四节 构造及其控煤作用 | 13 |
| 一 区域构造格架及其演化 | 13 |
| 二 山西南部地质构造 | 15 |
| 三 地质构造的控煤作用 | 18 |
| 第二章 区域构造应力场及其动力学 | 19 |
| 第一节 构造应力场的研究方法 | 19 |
| 第二节 中生代构造应力场特征 | 20 |
| 一 中生代区域地壳运动及构造层划分 | 20 |
| 二 中生代构造应力场的特征 | 20 |
| 第三节 新构造和现代构造应力场特征 | 29 |
| 一 新构造应力场特征 | 29 |
| 二 现代构造应力场特征 | 30 |
| 第四节 构造应力场有限元模拟 | 32 |
| 一 燕山期和喜马拉雅早期构造应力场有限元模拟 | 33 |
| 二 新生代和现代构造应力场有限元模拟 | 34 |
| 第五节 构造应力场演化及其动力学分析 | 37 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第三章 煤层气生成的物质基础 | 39 |
| 第一节 煤层有机质丰度 | 39 |
| 第二节 煤层有机质组成 | 44 |
| 第三节 煤层有机质成熟度 | 46 |
| 第四节 煤层原始有机质的恢复与生气率 | 49 |
| 一 生气率的概念 | 49 |
| 二 煤中原始有机质丰度的恢复 | 50 |
| 三 视煤气发生率 | 52 |
| 四 有效阶段生气率 | 53 |
| | |
| 第四章 古地热场特征与煤的生烃演化 | 54 |
| 第一节 煤层埋藏历史和煤层气保存潜势 | 54 |
| 一 煤层上覆地层原始厚度的恢复 | 54 |
| 二 煤层埋藏历史和埋藏阶段 | 55 |
| 三 煤层埋藏历史地质模式与煤层气保存潜势 | 56 |
| 第二节 古地热场特征与煤化作用 | 59 |
| 一 区域古地热场发展史 | 59 |
| 二 晚中生代古地热场特征 | 61 |
| 三 反演煤热演化历程的 EASY%R。法数值模拟 | 63 |
| 四 晚中生代异常古地热场形成机理 | 65 |
| 第三节 石炭—二叠系煤的生烃演化 | 69 |
| 一 各地质历史时期的生烃特征 | 70 |
| 二 二次生烃作用 | 71 |
| 三 生烃特征与煤层气富集 | 72 |
| | |
| 第五章 煤层气的储集和封盖特征 | 74 |
| 第一节 煤储层物性分析 | 74 |
| 一 主煤层割理系统 | 74 |
| 二 煤储层孔隙结构分布特征 | 77 |
| 三 煤储层渗透率 | 87 |
| 四 煤储层吸附性 | 89 |
| 第二节 盖层物性分析 | 91 |
| 一 主煤层顶板裂隙系统 | 91 |
| 二 主煤层顶板孔隙结构 | 92 |
| 三 主煤层顶板渗透率 | 97 |
| 第三节 煤储层及其盖层的几何特征 | 97 |
| 一 上主煤层及其盖层的几何特征 | 97 |
| 二 下主煤层及其盖层的几何特征 | 99 |
| 第四节 煤层气的有利储盖类型 | 102 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 一 | 煤储层的储集性能及其类型 | 103 |
| 二 | 盖层的封盖性能及其类型 | 104 |
| 三 | 有利储盖类型的分布与组合 | 105 |
| 第六章 | 煤层含气性分析与预测 | 106 |
| 第一节 | 推定区煤层含气性分布 | 106 |
| 一 | 煤层含气性区域分布 | 106 |
| 二 | 煤层含气梯度与煤层气风化带深度 | 110 |
| 第二节 | 推断区和预测区煤层含气性分析 | 115 |
| 一 | 含气性预测方法 | 116 |
| 二 | 沁水盆地深部预测区 | 118 |
| 三 | 沁水—翼城推断—预测区 | 119 |
| 四 | 临汾盆地预测区 | 120 |
| 第三节 | 煤层气可采潜势 | 122 |
| 一 | 可采潜势评价方法 | 122 |
| 二 | 煤层气解吸率 | 123 |
| 三 | 兰氏参数、视储层压力和临界解吸压力 | 126 |
| 四 | 煤层气采收率 | 130 |
| 第七章 | 山西南部煤层气资源评价 | 132 |
| 第一节 | 煤层气资源量计算方法 | 132 |
| 一 | 资源量计算流程 | 132 |
| 二 | 计算块段、资源量类别和计算单元 | 132 |
| 三 | 资源量计算基本公式和参数的确定 | 136 |
| 第二节 | 煤层气资源量分布 | 138 |
| 一 | 煤层气资源量类别及其层域分布 | 138 |
| 二 | 煤层气资源量地域分布 | 139 |
| 第三节 | 煤层气资源勘探前景综合评价 | 140 |
| 一 | 评价参数讨论 | 140 |
| 二 | 综合评价标准 | 141 |
| 三 | 煤层气有利勘探区段优选 | 141 |
| 第八章 | 结束语 | 146 |
| | 主要参考文献 | 149 |

第一章 煤层气地质背景

山西省南部包括沁水煤田中南段、霍西煤田和临汾盆地,是中国煤层气最有勘探开发前景的地区之一。该区地理坐标范围为东经 $111^{\circ}10'$ ~ $112^{\circ}45'$ 、北纬 $35^{\circ}40'$ ~ $37^{\circ}20'$,面积约为 30000 km^2 。区内地势复杂,东部的沁水盆地区和西北部的霍州—汾孝地区多为低山丘陵,中北部为太岳山区,西南部为临汾—洪洞平原(盆地)。区内煤田地质和区域地质调查程度较高,基础地质资料丰富,为研究该区煤层气地质背景奠定了良好的基础。

第一节 地层与含煤地层

一 地层概述

山西南部各时代地层的简要特征自下而上分述如下(山西地质矿产局,1989)。

1. 前寒武系

本区前寒武系包括太古宇和元古宇,是华北地台沉积盖层的古老基底,厚度巨大。研究区内地层露头主要见于霍山隆起区的古县至洪洞,呈 NNE 向长条状展布,在南部边缘及西部边缘亦见有零星露头分布。

2. 下古生界寒武系和奥陶系

该套地层与下伏前寒武系呈明显的角度不整合接触,在全区发育程度不一。寒武系厚度为 $215\sim 415\text{ m}$,自东向西有明显的超覆沉积现象,沉积厚度亦相应具渐次变薄之势。东南部从下统馒头组至上统凤山组均有沉积,而西部仅发育中、上寒武统。岩性以白云岩、白云质灰岩、鲕状灰岩、砾状灰岩、砂岩和泥岩为主。

奥陶系仅发育下统和中统下部层位,自下而上有下奥陶统冶里组、亮甲山组、下马家沟组、上马家沟组和中奥陶统峰峰组,地层厚度大于 400 m ,主要岩性为石灰岩和白云岩。研究区内上马家沟组或峰峰组直接伏于晚古生代沉积之下。

寒武系和奥陶系露头与前寒武系露头分布基本一致,唯奥陶系在含煤盆地内部常见有一些零星露头,使得原本连续的煤层出现小面积的缺失区。

3. 上古生界石炭系和二叠系

石炭系仅发育上石炭统的本溪组和太原组,本溪组地层厚度为 $0\sim 50\text{ m}$,在东部和东北部沁源、武乡一带较厚,向南和西南厚度渐趋变薄或缺失。岩性主要为砂岩、泥岩、透镜状石灰岩,偶夹薄煤层,与下伏奥陶系呈平行不整合接触。太原组连续沉积于本溪组之上,主要岩性为砂岩、泥岩、灰岩和煤层,是晚古生代主要含煤地层段之一。其底界以发育的砂岩层(K_1)为分界标志,顶界位于 K_7 砂岩层位底部,厚度为 $50\sim 135\text{ m}$ (何锡麟等,1995)。

石炭系在本区分布较广,除太岳山、浮山—翼城、汾西等地老地层出露区缺失以外,其它地区在地表或钻孔中均有揭露。主要出露区分布于灵石—霍州、沁水—晋城、古县和沁源西

部地区,其它地区直接被上覆地层所盖。

二叠系自下而上包括下二叠统山西组、下石盒子组 and 上二叠统上石盒子组、石千峰组。山西组位于 K_7 砂岩底至 K_8 砂岩底,地层厚度为 20~86 m,是主要含煤地层段之一。岩性主要为砂岩、砂质泥岩和煤层,颜色偏暗。下石盒子组直接沉积于山西组之上,位于 K_8 砂岩底至 K_{10} 砂岩底,以黄绿、灰绿、杏黄色砂岩和泥岩为主,顶部为紫色砂岩、泥岩,全组厚 60~160 m,一般为 100~120 m 左右。研究区中部存在一东西向地层薄带,厚度不大于 70 m,向南北两方向地层厚度均呈增大趋势。下石盒子组地层颜色趋于黄、绿、紫色,不含煤(或偶有煤线),辅以较为发育的 K_8 和 K_{10} 砂岩,较易于识别。上石盒子组(K_{10} 底~ K_{14} 底)是一套以河流相为主、夹少量湖泊相的杂色砂岩、泥岩、硅质岩地层。该套地层明显分为三段,分别以特征砂岩为分界标志。上石盒子组厚 300~644 m,东部地区沉积较厚(>500 m),而在西部诸如襄汾、汾阳—孝义等地厚度均小于 350 m。石千峰组是二叠系顶部地层,该组是自 K_{14} 砂岩开始至石膏泥灰岩顶的一套由砂岩、陆相泥灰岩和少量的石膏构成的河流—湖泊相沉积组合。主要岩性为紫红、砖红色泥岩,夹黄绿色、紫红色砂岩及陆相泥灰岩、泥质灰岩,厚度为 22~217 m,一般厚 90~110 m(常朝辉,1997;王自强等,1987)。

二叠系在本区主要出露于灵石—霍州、沁水—晋城、古县至沁源西部。山西组和下石盒子组保存较全,而上石盒子组和石千峰组在部分地区残留甚少或剥蚀殆尽。区内沁源东部、安泽、屯留、武乡、临汾、洪洞等地二叠系则被新地层所覆盖。

4. 中生界三叠系和侏罗系

三叠系自下而上包括下三叠统刘家沟组、和尚沟组,中三叠统二马营组、铜川组和上三叠统延长组,由一套陆相碎屑砂岩、泥岩组成。地层序列清楚,底部与二叠系逐渐过渡,顶部延长组与上覆中侏罗统不整合接触。

山西南部的三叠系露头主要见于东部地区,在沁水盆地范围内呈 NE—SW 向分布。临汾、洪洞一带被巨厚的新生代沉积所覆盖,据地震资料揭示其发育较好。西北部由于后期破坏,三叠系没有残留。区域内三叠系残留厚度见表 1-1。

表 1-1 山西南部残留三叠系厚度分布表 (单位:m)

| 地点 | 刘家沟组 | 和尚沟组 | 二马营组 | 铜川组 | 延长组 | 总厚 |
|----|------|------|------|-----|-----|-------|
| 武乡 | 575 | 248 | 488 | 413 | 77 | 1801 |
| 平遥 | 585 | 272 | 615 | 574 | 79 | 2125 |
| 沁源 | 343 | 193 | 675 | 554 | >30 | >1795 |
| 临汾 | 338 | 201 | 669 | 634 | 477 | 2319 |

侏罗系在区内仅见零星露头,主要分布于古县和榆社等地。保存层位为中侏罗统云岗组上部和天池河组,多不整合于下伏上三叠统延长组之上。其主要岩性为黄绿色、紫红色砂岩和砂质泥岩。

5. 新生界第三系和第四系

本区新生界主要包括第三系上新统和第四系。主要分布于新生代断陷盆地、山前黄土丘陵地带和山间盆地之中,其厚度不等,大多数地区零星分布,仅临汾—洪洞一带新生界分布面积较广且厚度大,最厚可达 1500~2000 m。

二 含煤地层

本区含煤地层主要由上石炭统太原组和下二叠统山西组构成。区内含煤地层平均总厚度为 145.95 m,含煤性较好(图 1-1)。

1. 上石炭统太原组

太原组(自 K_1 砂岩底至 K_7 砂岩底)是区内主要含煤地层组之一,由一套灰色中细粒砂岩、灰黑色粉砂岩、泥岩、石灰岩和煤层组成,具有明显的完整或不完整沉积旋回。地层厚度为 50~135 m,全区厚度分布东厚西薄,太岳山以东沉积厚度一般大于 100 m,西部区为 60~100 m。地层中海相石灰岩层数和厚度有自东向西递减的趋势,东部晋城、屯留一带石灰岩有 5~6 层、厚度大,而沁源—沁水一线以西石灰岩仅出现 3~4 层,厚度较小。

本组发育煤层 8~10 层,底部煤层 H_{15} 煤的厚度最大且稳定,为全区主要可采煤层,也是本次研究的主要目的层之一。该煤层在沁水煤田大多为单一煤层,称为 15 号煤;在霍西煤田多分为三层,分别称为 9 号煤、10 号煤和 11 号煤。尽管研究区内地层组合存在某些差异,但通过层序地层分析、生物化石等手段却可进行精确对比。太原组自下而上发育 6 个标志层(即 $K_1 \sim K_6$),层位稳定或较稳定,研究程度高,与不同的煤层具有一定的时序关系,易于辨识,为区内煤岩层划分和对比提供了可靠依据。尤其是 $K_2 \sim K_4$ 三层石灰岩,区内相当发育,且常为煤层的直接顶板,是对比主要煤层的直接依据。

2. 下二叠统山西组

山西组(自 K_7 砂岩底至 K_8 砂岩底)与下伏太原组连续沉积,为主要含煤地层组之一。主要由砂岩、砂质泥岩、泥岩和煤层组成,属滨海三角洲相沉积。地层厚度为 20~86 m,全区

| 年代地层 | 岩石地层 | 厚度 /m | 岩性柱状 | 标志层 | 煤层 |
|------|---------|-----------|-------|-------|---|
| 二叠系 | 下石盒子组 | 5.7~8.8 | | K_3 | |
| | 山西组 | 4.3~16.3 | | | H_1 |
| | | 3.1~9.2 | | | H_2 |
| | | 6.4~17.0 | | | H_3 H_4 |
| | | 3.6~6.7 | | K_7 | |
| 石炭系 | 太原组 | 7.9~12.8 | | K_6 | H_5 H_6 |
| | | 1.4~1.7 | | K_5 | |
| | | 14.0~24.8 | | | H_7 H_8 H_9 H_{10} H_{11} |
| | | 1.8~4.6 | | K_4 | |
| | | 6.5~11.4 | | | H_{12} |
| | | 3.7~4.5 | | K_3 | |
| | | 8.4~12.5 | | | H_{13} |
| | | 7.43~12.3 | | K_2 | |
| | | 12.2~23.4 | | | (H_{14}) H_{15} |
| | 1.0~3.6 | | K_1 | | |
| | 本溪组 | 9.3~12.5 | | | H_{16} |
| 奥陶系 | 峰峰组 | | | | |

图 1-1 山西南部石炭—二叠系含煤地层综合柱状图

变化规律明显,北厚南薄、东厚西薄,最厚处位于晋城、屯留、武乡、灵石等地,而沁源、霍州、襄汾等地较薄,厚度分布呈局限盆控型,明显区别于浅海背景下的太原组厚度变化规律。山西组含煤1~4层,其中霍西煤田范围内煤层层数多而单层薄,主要煤层为2号煤;沁水煤田煤层层数少但单层厚,主要煤层为3号煤。通过对比,两个编号不同的煤层形成于同一时期,统称为H₃煤层,为本次研究的主要目的层之一。

三 岩浆活动史及岩浆岩分布

据现有资料,山西南部岩浆岩地表露头主要见于襄汾—翼城—浮山之间的塔儿山—二峰山一带,在其它地区,如太岳山西部、临汾西佐、侯马紫金山等地,岩浆岩则沿一些较深的断裂断续分布。岩浆岩种类多样,主要见有花岗岩类、脉岩类、超基性岩类和基性岩类,岩体出露规模一般不大,产状有岩枝、岩墙、岩脉等。

区内岩浆活动主要集中于太古代—元古代和中生代两个地质阶段。太古代—元古代岩浆岩存在于前寒武系地层中,其岩体小、多以脉状产出,岩性以超基性岩、基性岩和酸性岩为主,主要分布于太岳山区。中生代(特别是燕山期)是华北地区岩浆活动的鼎盛时期,在山西南部也有清楚显示。岩浆岩体分布于研究区南部,多呈NEE向断续分布,其展布方向和形式受隐伏的基底断裂带控制,各侵入体在地表以近等轴状形态出露,多沿短轴背斜的轴部侵入,其围岩主要是奥陶系、石炭—二叠系和三叠系。

区内最大的出露岩体(塔儿山—二峰山)呈枝状产出,分布面积大于100 km²,与其呈侵入接触的最近地层是三叠系二马营组。根据同位素年龄测定结果,岩体侵入时代为白垩纪早中期。该岩体对附近石炭—二叠系煤的煤化作用具有一定影响,从而造成侵入体附近煤级呈环带状分布。

除暴露于地表或侵入煤系及其以上层位的岩体以外,区内存在隐伏岩浆岩岩体的可能性不容忽视。根据已有资料和区内岩浆活动规律分析,区内翼城、安泽、阳城、晋城范围内可能存在较大规模的燕山期隐伏岩浆岩侵入体,侵位较深。其主要证据有:①晋城—阳城一带可见零星出露的燕山期岩浆热液岩脉,属于岩浆后期产物,其下必有较大母岩体存在;②航测资料显示阳城—晋城—高平一带为正磁异常区,异常强度可达+100 γ~+250 γ;③浮山—翼城为断裂与岩浆活动强烈的块断隆起构造区,有燕山期岩体分布,其磁异常局部可达+700 γ,向东至阳城、晋城岩浆岩体呈东西向带状分布;④周边地区燕山期岩浆侵入到奥陶系—寒武系或下部层位的现象较为常见。研究区内隐伏岩体的存在,对于上古生界煤层的煤化作用有深刻影响。

第二节 石炭—二叠系聚煤特征

一 含煤岩系沉积环境概述

本区上古生界含煤岩系主要为一套陆表海碳酸盐台地沉积、堡岛—泻湖沉积和陆表海浅水三角洲沉积。前两者在近陆一侧以浑水碎屑岩沉积为主,远陆一侧则以清水碳酸盐台地沉积为主,清水、浑水沉积在陆表海广大范围内形成交互沉积;后者以河流作用占优势,三角洲平原相发育,而三角洲前缘相及前三角洲相则不发育。

1. 碳酸盐台地沉积体系

碳酸盐台地沉积体系主要分布于太原组和本溪组,进一步可分为开阔台地相、局限台地

相和台地潮坪相。开阔台地相主要为生物碎屑泥晶灰岩或泥晶生物碎屑灰岩,多发育狭盐性生物和反映开阔—动荡水体的生物遗迹化石组合,其 $\delta^{13}\text{C}$ 在 $-2.95\text{‰}\sim-2.72\text{‰}$ 之间,古盐度 Z 值为 $115\sim 127$ (表明咸水条件),古温度为 $22.7\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 29.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,不溶残渣含量为 $6\%\sim 9\%$ (表明水体较清澈)。本区的 $K_2\sim K_5$ 石灰岩多在此环境中形成。局限台地相海水含盐度正常或微淡化,其岩石类型主要为泥晶灰岩或生物碎屑泥晶灰岩、泥灰岩,其中广盐性生物种属单调,有反映平静—弱动荡水体的生物遗迹化石组合。本区东南部的 K_6 灰岩应属于局限台地相沉积环境类型。

2. 陆源碎屑堡岛—泻湖沉积体系

堡岛—泻湖沉积体系主要由一系列障壁岛(滩)、障壁后的泻湖和潮坪、潮汐三角洲和潮汐水道系统等沉积相组成。

障壁岛相岩性主要为细—粗粒石英砂岩,成分成熟度和结构成熟度均高,发育有冲洗层理和平行层理。本区太原组底砂岩(K_1)多在此环境中形成。

泻湖相岩性主要为黑色泥岩和粉砂质泥岩,常具水平层理,含有个体小、壳体薄、适应能力强的腕足和软体动物化石以及植物化石碎片,有大量菱铁矿结核以及反映水体平静的生物遗迹化石组合。泻湖相沉积广泛分布于太原组和本溪组,常形成煤层的伪顶板。

潮坪相主要由细粒石英砂岩、粉砂岩或与泥岩互层组成,潮汐层理极为发育,常具生物扰动构造和生物潜穴,在太原组中该相广泛发育,常形成煤层的底板。

潮汐三角洲相岩性主要为细—中粒石英砂岩,常具大型板状交错层理、冲洗层理和潮汐层理,粒度向上变细。潮道相常与下伏沉积呈冲刷接触,由细—粗粒砂岩组成,具大型板状交错层理和双向交错层理,在剖面上呈透镜状,常与潮汐三角洲相共生。本区西北部汾西至沁源之间的太原组中上部砂体(K_4 灰岩之上)多为潮道相沉积,而东部和南部呈席状分布的砂体应为潮汐三角洲相。

3. 陆表海浅水三角洲沉积体系

浅水三角洲相是本区山西组含煤岩系的主要沉积环境类型。在垂向上以三角洲平原相占优势,其中分流河道相又占主要地位,三角洲前缘相和前三角洲相不发育。本区三角洲平原相主要由分流河道相、泛滥盆地相、堤岸相和泥炭沼泽相等微相组成。

分流河道相具有河流相沉积特征,岩性主要为中—粗粒岩屑或长石石英砂岩,常见有大型硅化木,槽型和板状交错层理发育,底部常含有砾石为滞留沉积。泛滥盆地相以泥岩、粉砂岩沉积为主,含丰富的植物化石或其碎片。泛滥盆地可沼泽化而形成泥炭沼泽,故常为煤层顶、底板的沉积环境类型。堤岸相沉积可见于本区局部地段。

三角洲前缘相主要由河口沙坝、远沙坝和分流间湾微相组成。河口沙坝相主要由细—中粒石英砂岩或岩屑石英砂岩组成,杂基含量较高,沙纹层理和板状交错层理发育,变形滑塌构造常见。远沙坝相岩性一般为粉砂岩与泥岩互层。分流间湾相以黑色泥岩为主,常夹有砂岩透镜体,可含少量植物化石碎片,常为煤层顶、底板的沉积环境。在垂向上自下而上常构成一个完整的分流间湾—远沙坝—河口沙坝—分流河道的逆粒序沉积序列。

二 成煤环境与聚煤模式

本区有两种聚煤环境,即泥炭沼泽和泥炭坪。泥炭沼泽聚煤作用主要发育在二叠系的山西组,泥炭坪聚煤作用主要发育在石炭系的本溪组和太原组。

1. 泥炭沼泽聚煤环境

山西南部泥炭沼泽成煤环境主要为三角洲平原泥炭沼泽。它常由三角洲平原相中的有关亚环境进一步演变而成,因此三角洲平原泥炭沼泽成煤序列为:底部为三角洲前缘的河口沙坝相或分流河道相,向上过渡为泛滥盆地相或泥炭沼泽相,顶层被泛滥盆地相或分流河道相所覆盖。

2. 泥炭坪聚煤环境

热带、亚热带地区的潮间坪和潮上坪,在适宜的条件下可生长大量红树或类似红树生态的潮汐适盐植物,从而造成大面积的泥炭堆积。这种在潮坪上直接成煤的环境称为泥炭坪。它包括潮间坪和潮上坪,甚至包括部分局限潮下浅水带和潮沟(刘焕杰等,1983)。泥炭坪属海相范畴,它可以发育在受潮汐影响的各种环境中,如潮坪区、障壁岛后潮坪区、潮汐三角洲和碳酸盐台地的潮坪区以及分流间湾的潮坪区等。不同类型的泥炭坪具有各自的沉积特征和成煤特征。本区泥炭坪成煤环境可划分为以下五种类型。

① 泻湖泥炭坪:为发育在泻湖近岸潮坪区的泥炭坪,其垂向序列通常从障壁岛相或局限台地相开始,向上过渡为泻湖相、潮坪相和泥坪相,其上多由泻湖相或碳酸盐台地相所覆盖。在这种环境中形成的煤层分布广、厚度大、层位稳定、灰分产率中等—高、硫分含量高,如果有淡水补给硫分含量会产生明显变化。研究区太原组主煤层多属于泻湖泥炭坪成煤环境类型。

② 堡岛泥炭坪:它发育于堡岛后侧的障壁坪部位,呈带状分布,但在陆表海环境中堡岛往往低平而宽广,加之堡后冲积扇比较发育,故堡后泥炭坪可以向泻湖延伸较远,从而造成大面积的成煤环境。

③ 潮汐三角洲泥炭坪:它是在潮汐三角洲的潮坪上发育起来的成煤环境。本区东部潞安矿区和西北部霍东煤田中部 K_1 灰岩下的 10 号煤,多属于此成煤环境类型。

④ 碳酸盐台地泥炭坪:它在碳酸盐台地潮坪上发育,煤层上下均由局限台地或开阔台地碳酸盐岩所覆盖。本区南部 13 号煤多属于此成煤环境类型。

⑤ 分流间湾泥炭坪:它是在分流间湾的潮坪区发育起来的成煤环境。太原组顶部及山西组底部煤层多属于此成煤环境类型。

综上所述,泥炭坪成煤的主要特点是:煤层分布广,层位稳定,硫分含量高,厚度变化大,煤层多为复杂结构,灰分中等至高。上述各种聚煤环境并不是孤立存在的,其间存在着内在联系。泻湖泥炭坪、堡后泥炭坪以及三角洲间湾泥炭坪都可在相邻位置上形成,伴随着海平面变化,可沉积大面积的但属于不同成煤环境的同一煤层。

泥炭坪和泥炭沼泽是两种性质不同的成煤环境。伴随着海平面在时空上的演化,聚煤条件可以互相转化和替代,聚煤范围也可不断扩大,这是本区分布着大面积有开采价值煤层的重要原因。两种聚煤环境的分布特点可见聚煤模式图(图 1-2)。

三 岩相古地理特征与聚煤作用

1. 含煤岩系岩相古地理特征

本溪期沉积层厚度为 0~50 m,北厚南薄,夹灰岩 1~2 层、厚度可达 6 m,主要分布于汾西、沁源一线以北地区,南部缺失,表明海侵主要来自北东方向。定性和定量的岩相古地理分析表明:该期本区主要为陆表海环境,由于基底高低不平,造成海水连通性差,全区发育了以泻湖为主体、间有局限台地、障壁岛和潮坪相区的复合沉积体系。

太原期沉积厚度为 50~135 m,北厚南薄,北部含砂率高,显示物源区在本区北部。太原

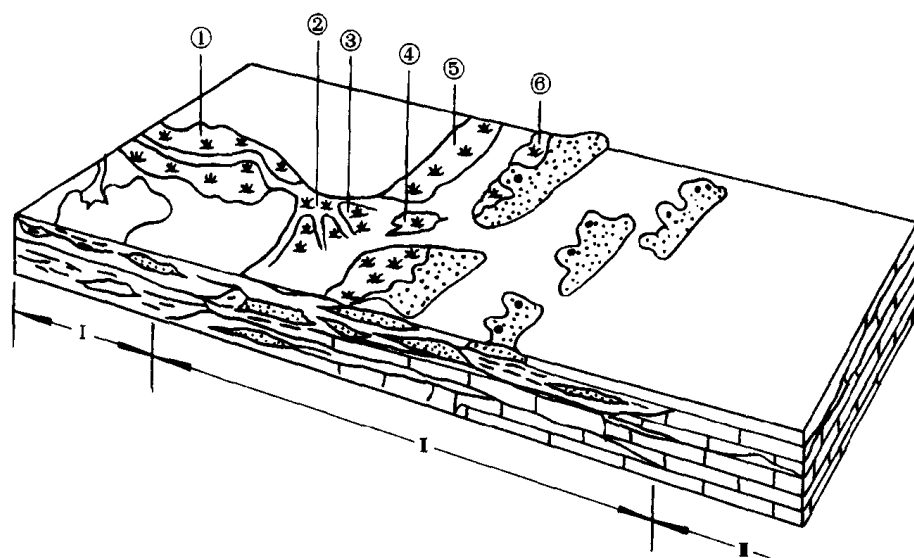


图 1-2 山西南部上古生界太原组和山西组成煤模式图

- I——三角洲体系；II——障壁岛体系和障壁岛—碳酸盐台地体系；III——碳酸盐台地体系
 ①——泛滥盆地泥炭坪；②——三角洲平原沼泽；③——分流间湾泥炭坪；
 ④——潮汐三角洲泥炭坪；⑤——泻湖泥炭坪；⑥——障壁岛后泥炭坪

期沉积了 3~6 层灰岩，其中发育较稳定的共 5 层($K_2 \sim K_6$)，总厚为 12~24 m，南厚北薄，表明海侵主要来自东南方向。 $K_2 \sim K_4$ 灰岩全区发育，代表海侵最大层位。到 K_5 灰岩沉积时，海侵范围缩小，仅在沁源县以南以及洪洞、临汾、襄汾以东地区有分布，表明当时海水自西北向东南后撤。 K_6 灰岩沉积时海水继续后撤。 K_6 灰岩仅在本区东南部阳城、晋城地区有分布。本区中北部以障壁岛—泻湖—潮坪沉积为主，沁源以南则以碳酸盐台地沉积体系为主。

下二叠统山西组厚 20~86 m，西北部厚、东南部较薄，北部含砂率较高，主要以三角洲沉积为主，可划分为二个相带。汾西、沁源以北以三角洲平原沉积为主，以南则以三角洲前缘沉积为主，总的古地理格局是南部靠海、北部靠陆，物源区在本区北部。

2. 聚煤特征与岩相古地理

本区山西组和太原组煤层多达 10 余层。太原组 K_2 灰岩的直接下伏煤层及其极近距离煤层(H_{15})为下煤组主煤层(简称下主煤层)，包括东部地区 15 号煤层以及中、西部霍东及霍西地区的 9 号、10 号和 11 号煤层，后几层煤的分叉合并现象较为普遍。山西组下部 3 号煤层(或 2 号煤层)在本区相当稳定，称为上煤组主煤层(简称上主煤层)，也是本区的主要煤层(H_3)。现就这两主煤层的分布状态和环境特点概述如下。

下主煤层广布全区，厚度大、稳定性好，除在安泽、良马一带其厚度小于 2 m 以外，其余地区均在 2.5~7 m 之间，西北部较厚，东南部较薄(图 1-3)。在煤层形成之前，本区中部广大地区以泻湖相沉积为主，东部及西北部则以障壁岛、泻湖和潮坪沉积为主，西南边缘由于靠近中条古陆，局部陆源物质供给充分，故以障壁岛相沉积为主(图 1-4)。由于海侵来自本区东南方向，聚煤作用首先发生在本区西部和北部地区，故煤层较厚。东南部地区由于水体较深，聚煤作用发生较晚，故煤层相对较薄。在本区中部，以潮坪相和障壁岛相沉积占优势，潮汐水流作用充分，是中部煤层分叉变薄和结构较为复杂的主要原因。

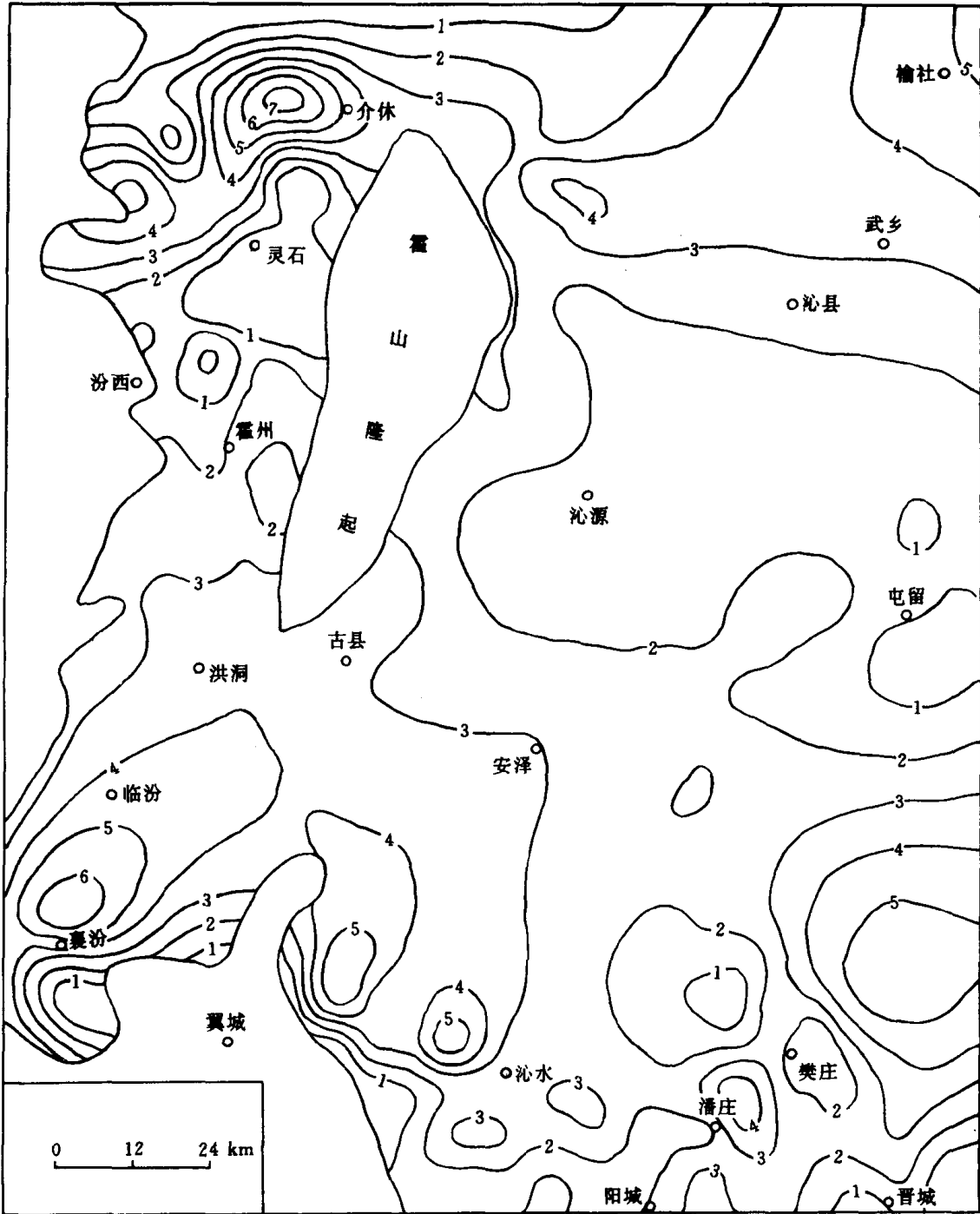


图 1-3 山西南部太原组主煤层(H_{15})厚度等值线图

在聚煤作用过程中,中部地区由于差异性沉降而形成了一个相对凹陷区。当沉降速度大于补给速度而不具备成煤条件时,发育了泻湖、障壁岛或潮坪相环境,这是造成煤层分叉的主要原因。在下主煤层(H_{15})顶板海相灰岩(K_2)形成时期,海侵方向是自南东向北西,故东南部地区聚煤作用结束较早,这也是东南部煤层发育相对较差的原因之一。

上主煤层广布全区,厚度一般在 1.0~7.0 m 之间,南厚北薄、东厚西薄,最薄处位于本区中部(图 1-5)。该煤层发育在三角洲沉积之上,北部广泛发育分流河道,分流河道的侧向