

FAULT BASIN ANALYSIS AND
COAL ACCUMULATION

断陷盆地分析与煤聚积规律

CHIEF EDITOR LI SITIAN

李思田 主编

地质出版社

断陷盆地分析与煤聚积规律

——中国东北部晚中生代断陷盆地
沉积、构造演化和能源预测
研究的方法与成果

李思田 主编

Fault Basin Analysis and Coal Accumulation

——An Approach to Sedimentation, Tectonic
Evolution and Energy Resource
Prediction in the Late Mesozoic Fault
Basins of Northeastern China

地质出版社

GEOLOGICAL PUBLISHING HOUSE
BEIJING

内 容 简 介

本书阐述了断陷盆地分析的基本原理与研究方法,对中国东北部晚中生代断陷盆地的沉积作用、形成机制和构造演化做了规律性概括并提出了模式,这些成果曾成功地用于能源潜力分析和预测。

本书适于从事盆地分析以及煤和油气勘探的广大地质工作者、教师和研究人員、研究生和大学生阅读。

断陷盆地分析与煤聚积规律

——中国东北部晚中生代断陷盆地沉积、构造演化和能源预测研究的方法与成果

李思田 主编

Fault Basin Analysis and Coal Accumulation

——An Approach to Sedimentation, Tectonic

Evolution and Energy Resource

Prediction in the Late Mesozoic Fault

Basins of Northeastern China

Chief editor Li Sitian

*

责任编辑:牟相欣

地质出版社出版发行

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 23.375 铜版图: 21页 字数: 549,000

1988年7月北京第一版·1988年7月北京第一次印刷

印数: 1—1,305册 国内定价: 7.40元

ISBN 7-116-00175-1/P·159

致 谢

作者衷心感谢支持此项研究并提供了数量庞大的宝贵资料的单位：煤炭工业部地质局、东北内蒙古自治区煤炭联合开发公司地质局及其所属机构，特别是472、107、109和104等煤田地质队以及内蒙古自治区煤田地质公司及其所属队；阜新矿务局及所属各矿；阜新矿业学院；内蒙古自治区地质矿产局及其所属队；石油工业部规划研究院；华北油田设计研究院；下辽河油田研究部；大庆油田研究院；扎赉诺尔矿务局；沈阳地质矿产研究所；地质力学研究所；地质矿产部吉林石油普查勘探指挥所；黑龙江省地质矿产局研究所；煤炭科学研究院地质勘探分院以及云南省煤田地质公司等。没有上述单位及广大地质工作者提供的大量资料、信息及产业部门在工作条件上给予的长期支持，本项研究成果和著作是不可能完成的。

衷心感谢对此项研究和编著工作给予了热情支持和指导的老师：王鸿祯教授在研究思路 and 区域大地构造背景方面、马杏垣教授在裂隙作用和伸展构造方面、杨起教授在煤地质学方面给予的重要帮助；张炳熔教授在研究过程中多次就深化的方向给予了重要启示。

作者还衷心感谢对有关部分提出了许多宝贵意见和评论的同行以及埋头做了大量辅助工作的同志。特别要感谢产业部门许多有丰富实践经验的同志提供了大量重要信息，并亲自在野外所做的介绍，这些使作者在研究工作中能迅速抓到主要问题起了重要作用。

前 言

本书是作者在我国东北三省和内蒙古自治区晚中生代断陷盆地中从事了十余年科学研究的基础上编写的。断陷盆地在提供能源资源上占有重要地位。我国东北部百余个晚中生代断陷盆地的圈定及其能源潜力的查明是建国以来,特别是70年代以来地质战线上的重大成就。目前已发现或探明埋藏量达百余亿吨级的盆地多个,数亿至数十亿吨级的盆地几十个。这些盆地以含有巨厚的、宜于露天开采的煤层著称,一系列大型煤炭基地已经建成或正在建设中。此外,这些盆地的含油气的潜力亦经勘探得到证实。正因为此,吸引着作者长期坚持了研究工作,并试图在本书中阐述这些晚中生代断陷盆地的沉积作用、构造演化以及煤聚积的规律性。作者希望这些成果能提高地质工作者的预见性以发现和探明更多的资源。

本书在编写过程中侧重了盆地分析的原理与方法的论述,特别是运用沉积学关于环境分析、相模式和沉积体系研究以及盆地构造和区域大地构造领域的近代概念与方法,联系了大量典型实例进行分析。如果本书能超出区域性论述,而在思路和方法上给读者以帮助,那正是编著此书的一个主要目的。

本书凝聚了大批产业部门同志在生产实践中付出的巨大劳动。研究过程也吸取了前人的经验与成果。煤炭工业部组织的大型研究项目“全国煤田预测”的重要组成部分“东北煤田预测”(1973—1976),以及“内蒙古自治区煤田预测”,首次对我国东北部晚中生代断陷盆地系建立了轮廓的认识。作者们作为该项目的参加者从中得到的实践和学习机会会成为深入研究的前提。1980—1984年武汉地质学院煤田教研室沉积盆地组在地质矿产部科学技术局的领导支持下,将东北、内蒙晚中生代断陷煤盆地研究列入国家项目,并在煤炭工业部的大力支持下先后与472队、107队、阜新矿业学院地质系以及其它许多部门进行了各种形式的合作、协作,完成了包括50余万字和200余幅大、中比例尺图件的研究报告,包括《东北三省和内蒙古自治区晚中生代断陷盆地沉积、构造演化和聚煤规律》,《霍林河盆地沉积构造史和聚煤特征》以及《阜新盆地沉积、构造和聚煤作用演化》等三件并通过了国家验收。

上述三个研究报告提供了本书的基本内容。在此基础上本书作者又用两年时间对原成果进行了理论上的提高并按照统一体系重新编写,才使此书得以完成。

先后参与1980—1984年项目研究工作的地质工作者有:武汉地质学院煤田教研室沉积盆地组李思田、杨士恭、**黄家福**、吴冲龙、夏文臣、程守田、赵根榕以及该时期的研究生张新民、郭正义、张世平、解习农;472队参加霍林河及其邻近盆地分析的有李殿安、李桂良、丁晋麟、昌恩阁等;107队参加阜新盆地分析的有崔稔秋、李长泽、舒恩国、常征路、柴伏山等^①;阜新矿业学院参加阜新盆地分析的有张学义、张平安、王宇林。472队描图组李淑荣等、武汉地质学院绘图室崔宁等承担了主要描图任务。

武汉地质学院物探系黄智辉、陈耀岑在测井方面,刘本培、陈芬、孟祥营等在生物地层方面分别参与了协作或对项目给予了帮助。武汉地质学院历届毕业班30余人^②围绕研究

① 107队白会文、魏云等同志提供了大量资料信息,多次在野外进行现场介绍,对阜新盆地研究给予了巨大帮助。

② 为科研项目提供过资料的有林畅松、鲁跃、武法东、张涛、张天鹏、刘常青、周江羽、赵祖辉、唐照宇、陈能贵、刘玉强、张庆明、雷静、宋焕霞、王强等。

任务选择小型课题，完成了大量野外观测、室内鉴定和编图工作。

综上所述，本书每一章节的基础都是集体研究的成果。

本书由李思田担任主编，各章节的主要执笔人是：第一章：李思田、**黄家福**；第二章：李思田、杨士恭；第三章：李思田、程守田；第四章第一节：吴冲龙，第二节：夏文臣、郭正义，第三节：李思田，第四节：杨士恭、夏文臣；第五章：**黄家福**、李殿安、程守田、张新民；第六章沙海组：夏文臣、李长泽、李思田、柴伏山，海州组：杨士恭、吴冲龙、舒恩国、张学义；第七章：李思田、程守田、张学义、赵根榕；第八章：吴冲龙、赵根榕、李思田；第九章：李思田、赵根榕、王生维；第十章：李思田、崔稔秋、李桂良。

全书的最后编篡由李思田、夏文臣、吴冲龙担任。张学义、解习农、雒增强、张平安参与了出版前的技术加工工作。

本书定稿之前岳希新、关士聪、赵宝林、何镜宇、沙庆安、孙培基、周治安、谌建国和尹善春等同志分别对有关部分提出了重要审校意见。

由于作者的水平所限以及在繁忙的教学、生产工作同时完成此项庞大的编著任务，书中必有很多漏洞和错误之处。衷心希望读者给以批评指正。

目 录

前 言

第一章 研究思路与方法	(1)
第一节 断陷盆地分析的基本思路与参数.....	(1)
第二节 研究方法要点.....	(4)
第二章 盆地形成的区域地质背景和分布的规律性	(14)
第一节 早白垩世含煤岩系及其基底火山岩系.....	(14)
第二节 晚中生代裂陷作用.....	(17)
第三节 盆地的几何形态和构造样式.....	(21)
第四节 中国东北部晚中生代断陷盆地的分布及其分带性.....	(24)
第五节 东北亚晚中生代断陷盆地系.....	(29)
第三章 盆地充填序列和地层格架	(32)
第一节 盆地充填序列.....	(32)
第二节 盆地充填序列的成因意义和预测模式.....	(39)
第三节 盆地的地层格架.....	(41)
第四章 沉积环境和相	(45)
第一节 冲积扇.....	(46)
第二节 扇三角洲.....	(60)
第三节 湖泊沉积.....	(85)
第四节 河流沉积.....	(99)
第五章 霍林河盆地的古环境、古构造和聚煤作用演化——典型盆地分析之一	(112)
第一节 盆地地质概貌.....	(112)
第二节 盆地充填演化的阶段性.....	(117)
第三节 霍林河盆地主要含煤段沉积和聚煤作用演化.....	(124)
第四节 煤体形态和厚度的分带性.....	(141)
第五节 同沉积构造运动及其对沉积和聚煤作用的影响.....	(148)
第六章 阜新盆地古环境、古构造和聚煤作用演化——典型盆地分析之二	(153)
第一节 盆地地质概貌.....	(153)
第二节 盆地的成因地层构成及沉积序列.....	(154)
第三节 盆地的古地理环境演化与主要沉积环境类型及其空间配置.....	(171)
第四节 盆地的同沉积构造活动及其对沉积环境的控制.....	(195)
第五节 煤体形态和厚度分带及其控制因素分析.....	(200)
第六节 “聚煤规律”研究成果的应用.....	(217)
第七章 沉积体系域的演化和聚煤模式	(218)
第一节 沉积体系域.....	(218)

第二节 现代断陷盆地中沉积体系配置的类比研究·····	(222)
第三节 晚中生代断陷盆地的聚煤模式·····	(229)
第八章 盆地构造格架和形成机制分析·····	(251)
第一节 盆地构造格架及地质背景·····	(251)
第二节 低级别的同沉积构造·····	(267)
第三节 盆地形成、演化的力学机制分析·····	(284)
第四节 对东北亚洲晚中生代断陷盆地系形成的大地构造背景分析·····	(300)
第九章 煤化作用和古地热·····	(305)
第十章 断陷盆地模式及其分布规律研究在煤、油、气普查勘探中的应用·····	(315)
参考文献·····	(321)
附录·····	(325)
英文摘要·····	(326)
图版·····	(327)

Contents

Introduction

Chapter 1	An Approach to Fault Basin Analysis	(1)
Chapter 2	Geological Background and Distribution of the Fault Basin System	(14)
Chapter 3	Basin-fill sequences and Stratigraphic Framework	(32)
Chapter 4	Sedimentary Environments and Facies	(45)
Chapter 5	Evolution of Palaeoenvironments, Palaeostructures and Coal Accumulation of Huolinhe Basin—Typical Basin Analysis I	(112)
Chapter 6	Evolution of Palaeoenvironments, Palaeostructures and Coal Accumulation of Fuxin Basin—Typical Basin Analysis II	(153)
Chapter 7	Depositional System Tracts and Coal Forming Models	(218)
Chapter 8	Structural Framework and Mechanism of Basin Formation	(251)
Chapter 9	Coalification and Palaeogeothermics	(305)
Chapter 10	Application of the Basin Model for Energy Resource Exploration	(315)
References		(321)
Appendix		(325)
Abstract		(326)
Plates		(327)

第一章 研究思路与方法

第一节 断陷盆地分析的基本思路与参数

在东北三省和内蒙古自治区进行的晚中生代断陷盆地研究从其开始时期即以含煤性预测为主要目的,也即是需要阐明富煤带在盆地中的分布和位置,这样只有全面进行盆地分析,了解煤的聚积规律,才能达到预期目的。在多年从事能源盆地分析的实践中,特别是对断陷盆地分析的实践中,基本研究思路逐渐形成。综合前人经验和自身体会概括为下列四个方面,即整体分析,古环境和古构造结合分析、演化分析和背景分析(李思田、杨士恭、黄家福等,1983)。在研究过程中这四个方面相互联系,构成一个较为完整的思路。

早在60年代早期,P. E. Potter和F. J. Pettijohn即曾正确地指出:把盆地作为一个整体进行研究,为沉积物研究提供了一种真正统一的方法(P. E. Potter, F. J. Pettijohn, 1963第一版,1977第二版)。整体分析从来被盆地分析工作者做为此领域的一项基本要求。为了解决能源资源预测,特别是在相变剧烈的内陆断陷盆地预测,孤立地从若干剖面进行垂向层序研究或只对盆地局部块段分析都难以奏效。在元宝山、铁法、阜新和平庄等盆地曾做过统计,富煤带的面积占全盆地面积的 $1/30-1/100$ 或更小,但是在该面积内却赋存了占全盆地 $1/2$ 以上的资源量,这既表明聚煤作用在盆地中的不均一性,又表明认识资源富集规律,找到富煤带的巨大意义。这样,只有进行全盆地整体性研究才能发现煤分布的规律性。

古环境和古构造结合分析是盆地分析的基本内容,因为在盆地范围内古环境和古构造是控制聚煤作用的两个基本因素。其它因素如植物演化、古气候条件等在同一盆地、同一含煤岩系中往往没有显著改变。由于沉积环境直接决定着有利于形成泥炭沼泽的部位,所以盆地分析的大量工作是古环境的重建。沉积环境和煤聚积又受控于古构造因素,因此,只有把古环境分析与古构造分析密切结合才能有效地阐明煤聚积的规律性。古构造因素在断陷盆地中似乎比在其它类型盆地中有更为重要的影响,也更容易识别。除了盆缘控制性断裂之外,盆地内部基底上的断裂也常造成明显的差异沉降,并导致沉积厚度(包括煤层厚度)和岩相的剧烈分异,这种情况有时在几百米内就有明显表现,而在其它类型盆地,如近海的地台型盆地,有时要跨越几十公里甚至几百公里才能显示古构造的影响。

演化分析是近代盆地分析的一个明显特色,它要求恢复整个盆地的发展史,包括沉积史、构造史、聚煤史和有机物热演化史等。近代,由于对能源的急迫要求,对许多盆地进行了较充分的、其规模是前所未有的勘探和研究工作,从而使人们认识到盆地内部结构的复杂性。盆地的不同发展阶段,其沉积、构造面貌都在演变当中,沉积中心或富煤带位置也在迁移,这里除了缓慢的量变之外,还可能有质的变化,如在本研究区域发现的,在早白垩世本身区域构造应力场的变化曾使一些盆地根本改变了沉积、构造演化的趋势和格局。因此需要按照发展阶段分期、分层次地对盆地进行研究。

背景分析就是把沉积盆地本身的演化与区域大地构造、古气候、海陆分布和海水进退等因素相联系,即从大区域的地质背景着眼,研究和分析盆地的地质发展。背景分析更为主要的目的还在于发现新盆地和进行新区预测。李四光曾精辟地阐述了沉积盆地与大地构造格架的关系,他主张研究构造之间的联系与成因,研究构造体系对沉积物分布的控制作用,并把沉积盆地也看做地壳巨型形变的一种形式,是某种巨型构造体系的组成部分,按一定的样式组合、排列。显然,这种关系一旦被认识,就可以根据构造部位在掩盖区发现新的盆地或新的矿区。李四光的这种思想体现在他1931年对英国隐伏煤田的预测上(李四光,1976),并已为英国60年代的勘探工作所证实。在我国60年代找寻石油的工作中,这种思想得到了更充分的阐述:“如果我们把属于某一巨型构造体系的某些沉降地区(油区)做为由于这个巨型构造体系的构造运动而形成的第一级构造看待,那么其中的各个油田,就应该受到跟着这个第一级构造运动而产生的第二级、第三级乃至更低级再次构造的控制……构造体系和它对沉积物的控制作用,是这种指导思想的依据”^①。尽管对于具体的某一种构造体系和构造型式存在着争论,但把沉积盆地放到大地构造格架中分析,对沉积盆地的研究起了重要的推动作用。60年代后期到现在,板块构造学说的兴起给沉积盆地的研究带来崭新的变化,板块构造学者从板块相互作用的角度重新认识沉积盆地的成因和演化,也即是把沉积盆地放到板块构造的统一格局中,从板块运动的角度研究盆地的形成、分布以及各种类型盆地的特征,为能源预测提供了理论基础,并在找寻油气中取得了效益,充分表明背景分析的重要性。

按照上述思路确定了盆地分析的基本参数(或称基本要素),这些参数应该是盆地基本特征的反映,并与能源资源的形成、演化、分布有密切关系。在新区研究中这些参数应成为研究盆地的提纲。作者认为盆地分析的基本参数是:

1. 盆地的三维几何形态和规模;
2. 盆地的地层格架(stratigraphic framework),即盆地的内部几何形态,由组成盆地的岩性地层单元的形态和相互关系所决定。地层格架分析还必然包括古构造运动面研究;
3. 盆地充填的岩性和相;
4. 垂向沉积序列。在盆地整体分析中应首先认识最高级别的垂向沉积序列,即盆地充填序列(basin-fill sequence);
5. 沉积体系的空间配置;
6. 盆地的构造格架(structural framework)。在断陷盆地中盆地构造格架的主要成分是发育于基底上的控制性断裂;
7. 低级别同生构造的类型和配置;以及与之有密切关系的地层厚度分布;
8. 含煤层特征,特别是煤体形态分带和厚度分带;
9. 煤质参数和古地热特征(鉴于镜质组反射率是研究古地热特征的最有效标志,因此将古地热特征与煤质参数一并讨论);
10. 同期和准同期岩浆活动。

盆地分析的过程就是通过野外观察和勘探工程掌握上述基本参数,并认识其相互关系

① 李四光同志关于当前石油地质工作的几点意见(1966年4月1日)

的过程。这里需要指出,查明煤层和煤质特征本来是煤盆地分析的目的,但由于二者对古环境、古构造条件变化的反映都十分灵敏,因而它们又是反推古环境、古构造的良好标志。在部分施工的盆地中由已知区向新区扩展,更有条件使用煤层和煤质参数,如已知区煤层、煤质的分带性及带的延展方向常是掩盖区预测的最有力依据。

为了表明盆地分析的思路、程序以及各种参数的相互关系,80年代初作者设计了盆地分析的流程,并在实践中做了多次修改和补充,现表示于图1-1。

按照上述流程研究沉积盆地,其工作量无疑是巨大的,但实践表明这种研究能全面地揭示盆地演化史和能源资源形成与分布的控制因素,从而能有效地进行预测。

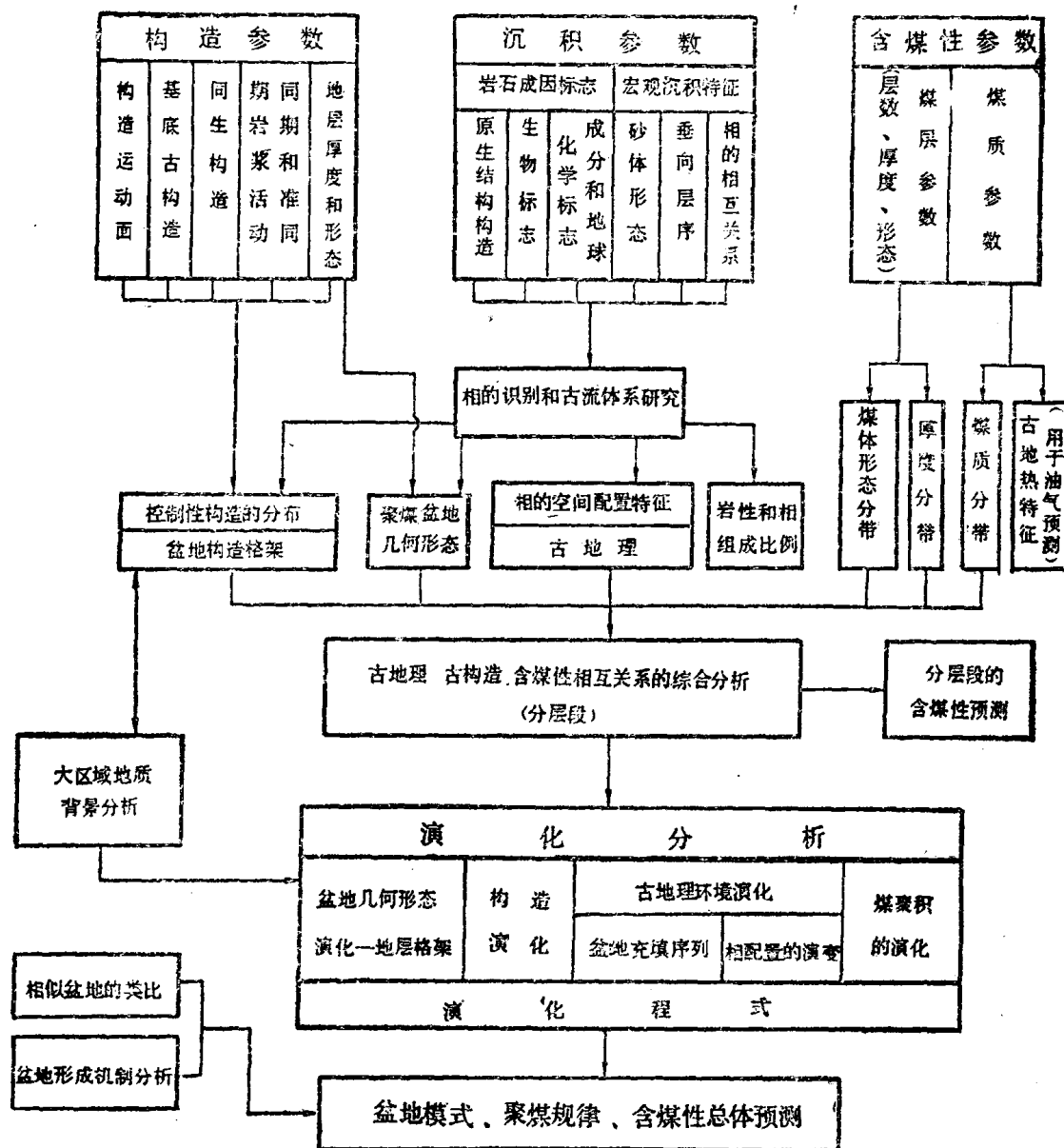


图 1-1 用于含煤性预测的聚煤盆地分析流程

Fig. 1-1 Flow chart of coal-forming basin analysis for the prediction of coal-bearing properties.

第二节 研究方法要点

本节将不赘述常规的地质基础工作,即基本的生物地层、构造、岩浆活动等方面的工作方法,尽管这些工作是盆地分析的基础,并需投入巨大的工作量。针对断陷盆地分析,作者曾使用了一整套行之有效的办法,叙述和介绍这些方法的要点或许对新从事盆地分析的地质工作者有参考价值。

一、环境分析中岩石成因标志的观察与宏观沉积特征研究的结合

近代任何类型的盆地分析工作对重建沉积环境提出了愈来愈高的要求。环境分析与相模式研究的进展已经使沉积学由过去的描述性科学发展为较成熟的成因科学。进入70年代,主要的相模式都已提出或建立,沉积工作者已经把主要精力放在国民经济许多领域中的应用上。但是,模式的类比和预测作用是有限度的,每个区域甚至每个盆地的沉积环境都有其特色,因而需要从最基础的观察描述开始做细致的工作。例如近年来(1980—1984)对东北晚中生代盆地研究的成果中所识别的潮湿型冲积扇、扇三角洲和深水湖泊中的水下重力流沉积组合均有其区域特色,而与已有的报道和模式有若干明显的差别。因此对已有模式的应用是有限度的,而过程沉积学分析应做为主要途径。

野外进行的岩石成因标志的详细观察研究仍然是沉积环境分析的最主要的基础工作,包括详细研究岩石结构、构造、颜色等物理标志,岩性成分和地球化学标志以及生物标志等。为此,在工作中实测剖面39条,约18000m;进行了详细描述,对100余个孔的全孔岩心,岩心长约100000m,从而获得了丰富的资料作为环境解释的基础。

在详细野外观察的基础上注意了另一重要方面——宏观沉积特征的研究,包括垂向层序、沉积体几何形态、沉积体展布方向和与盆地边界的关系、与相邻相的关系以及古流向等。

1. 垂向层序研究

垂向层序研究要求客观、详细地描述岩石成因标志在垂向上的变化、详细划分作用-成因单元,确定相及亚相的有规律组合和交替,并进行沉积过程分析。为保证垂向层序研究的精度,单孔环境分析柱状图均以1:200比例尺要求为准,并需经过测井资料对岩性、粒序、接触关系进行补充和校正。对重点层段,如互层频繁的浊流层序,实测柱状图比例尺放大到1:50或更大。主要野外剖面采用了连续照相,主要钻孔亦采取全孔照相以保留垂向层序的真实记录。控制性钻孔则进行系统取样和测试。

鉴于生产工作中首先获得的是钻孔资料,每个单孔研究成果是垂向层序,因而探索垂向层序类型与煤层发育的关系成为本次研究工作的一项重要内容。为此注意了同一沉积体系中不同部位的垂向层序特征,如冲积扇从近端到远端不同地带的垂向层序,并找到了与煤层厚度和煤体形态的密切关系,这种关系能够指导煤层预测。

2. 砂体几何形态、展布方向及其与盆地边界的关系

砂体形态是确定其成因的重要依据,为此特别注意了通过密集的钻孔资料恢复砂体形态;有条件的地区(如露天矿)并通过实际追索查明砂体的三维形态。在钻孔密集地区所圈的砂体形态如带状的河道砂、朵叶状的或拉长状的湖滨三角洲砂等均与根据成因标志观

察所获的结论相吻合。对于全盆地的一个沉积阶段,各种砂体的空间分布格局能很好地表现沉积格架。根据需要有时也要勾绘其它沉积体。

3. 相的共生关系

注意相的共生关系将能使环境分析中少出现“见树不见林”的错误,例如同样的一种沉积构造或沉积构造组合可出现于不同环境中,只有搞清相邻相的共生组合关系才能把握住总体背景。为此特别注意了不同相在横向上的过渡关系。由密集钻孔控制的详细沉积断面图不但可以反映各种成因沉积体的几何形态,而且反映了它们之间的相互关系。如详细研究了横切扇三角洲朵状体的走向和倾向的沉积断面发现:扇三角洲沉积复合体向盆缘方向与冲积扇的陆面部分过渡,向盆地中心分叉尖灭于湖泊沉积之中,这显然是确定古代扇三角洲沉积的必要依据;同时扇三角洲沉积复合体内部的构成也有特色,除了组成扇三角洲的三种主要沉积相(扇三角洲平原相、前缘相和前三三角洲相)总体构成进积式沉积层序之外,在其前缘相和前三三角洲相中水下重力流沉积特别发育及平原相中突发性洪水沉积发育,也是识别古代扇三角洲沉积的另一个重要标志。

为了建立相空间关系的正确概念,选择大型露天矿(阜新、海州和新邱露天矿)进行了砂体、煤体追索和大比例尺(1:5000或1:2000)填图,这种表示了不同成因砂体的变化和相的共生组合关系的图件为环境的确定提供了丰富的依据。

4. 古流向和分布样式分析

指向构造的系统测定对正确识别环境有重要作用,无论用玫瑰花图形式或用矢量表示的指向构造分布图对确定沉积环境、物源方向有重要价值。每种沉积体系都有其特有的指向构造分布样式,如冲积扇的指向构造分布图是放射状的,河流沉积的指向构造图有一个明显的优势方向,决口扇的指向构造方向与河道垂直并指向洪泛盆地等。指向构造和砂分散体系(通过编制各种类型的砂图来表现)研究的结合,是重建古水流体系、揭示沉积格架的简易而有效的途径(Potter, Pettijohn, 1963, 1977)。特别是对地下部分砂体的勾绘更需与浅部古流向资料互相对照,因为即使在钻孔相当密集的条件下,砂体展布方向和形态的勾绘仍常有多解性。本书所附阜新盆地海州组古环境有关图件的编制即充分参照了新邱、海州等大型露天矿和地面露头的指向构造资料。应用计算机对野外古流测量数据进行岩层产状的翻平校正和自动成图,更大大减少了综合整理工作上的繁琐性。

上述四个方面的宏观沉积特征研究与岩石成因标志的野外观察在盆地分析中是不可分割的整体。此外,还进行了必要的常规沉积岩实验室研究,这些工作为环境识别、古水流动力分析提供了辅助标志。

二、沉积体系分析与现代实例的比较

盆地整体分析需要揭示不同沉积相在整个盆地中的三维配置,揭示它们的相互过渡和共生关系,这是沉积矿产预测的最主要基础。为此,在工作中参考了美国学者Fisher等人对于沉积体系和沉积体系域的研究方法(Brown和Fisher, 1977; Fisher和McGowen, 1967)。这些方法源于对北美海湾盆地的研究,并在找寻油气藏上显示了重要指导作用。上述作者们认为每一种沉积体系,如河流和三角洲体系,都是地层记录,是被古沉积过程和沉积环境联系在一起的相的三维组合。同期的沉积体系可以联系起来构成一定的沉积体系域(depositional system tracts),随着构造背景的变化,盆地中的体系域也发生改变,也就是盆地演化过程中可能出现几种沉积体系域。Miall进一步指出沉积体系分析法的基础是

Walther's定律和相模式的概念用于大规模的沉积区域,甚至用于整个的盆地;其研究方法是成因地层方法,其注意的焦点是各种大的沉积体之间的相互关系(Miall, 1984)。沉积体系分析方法首先应用于含油气盆地。在煤盆地分析中过去还很少使用。

需要强调指出的是,沉积体系和体系域既有沉积学意义又有地层学意义,对它们的识别基于深入的环境分析,同时也必须注意几何形态的研究。因为沉积体系和沉积体系域都是三维的大型沉积体或地层体,是一种成因地层单位(genetic stratigraphic units)。

在实际工作中对沉积体系三维配置的研究却十分复杂,特别是在含煤岩系中,由于构造运动、海平面变化等多方面因素经常显示旋迴性,所以沉积体系垂向上的重叠和横向上的进退变化复杂、频繁。在工作中为揭示沉积体系变化的这种时空关系,Frazier(1974)提出和发展了沉积事件和沉积幕的概念(Galloway和Hobday, 1983)。他在海湾海岸盆地进行的沉积体系研究中提出:一个简单的沉积事件(depositional event)由三种相构成,即进积相(progradational phase)、同期的(更向盆地中心方向)垂向加积相(aggradational phase^①)以及最后形成的海进相(transgressive phase)。因此每一次沉积事件形成了一个相序。在盆地充填过程中多次重复的沉积事件形成一个较大的成因地层单元称为沉积幕(depositional episode),沉积幕在空间展布上更具区域意义。考虑到汉语的习惯不把幕和事件理解为地层体,故本书部分章节中建议把每次沉积事件形成的沉积体系称为体系单元(通常相当一个层序),多次重叠的体系单元构成一个较大的成因地层单位。

正如Frazier所指出过的有时传统的地层划分可能与沉积幕吻合或近似。同样,沉积事件的划分也可能与过去所划分的一定级别的旋迴近似。但是沉积事件和沉积幕都是以严格的沉积过程分析为基础,所划分的不同级别成因单元的界限也必须考虑沉积体系的演化。在阜新盆地所应用的沉积体系分析中使用的成因单位划分尽量考虑了原有的煤组划分,只是在界限上做了调整,以便于产业部门应用。

在有精确的地震剖面时,进行地震地层研究,为沉积体系分析和成因地层格架的确定提供了极为有力的工具。地震地层分析中所用的术语层序(sequence)和大层序(megasequence)都是三维地层体,并应与沉积事件和沉积幕大体对应。但是需要强调指出的是层序的界面是根据反射地震技术所确定的,其划分的详细程度和清晰性取决于物性差异和技术,因此与根据露头追索和密集钻孔所获成果不应等同看待(Hubbard, Pape 和 Roberts 1985)。

作者在阜新等盆地所应用的沉积体系分析方法是以天然露头、露天矿坑和密集的钻孔资料研究为基础的。在工作中首先进行深入的沉积环境分析,识别和圈定盆地各演化阶段的主要沉积体系,恢复其分布状况,查明其共生关系,并用一系列图纸如沉积断面图、砂体图和古环境图等表现相的三维配置,从而发现沉积体系的分布有其客观规律性,并构成了几种沉积体系域。每种沉积体系域又都受控于一定的构造背景。最主要的煤聚积区分布于体系域一定的部位,并与整个古环境、古构造背景有关。因此在体系域研究的基础上总结的聚煤模式可能比按各个单独的环境和相总结出的模式在预测中更为有效。

在一些被掩盖、环境标志资料少的地区,沉积体系的重建主要靠砂分散体系的圈定和编图,这种情况下对沉积体系的认识必然存在着多解性。为此需要借助于模式类比。一种模式的建立不仅取决于典型解剖是否深入、特征的复现性研究是否充分,还必须从形成机制

① 或译填积相。

上给以充分阐明。作者考察研究了包括岱海、滇池、呼伦池、星云湖和抚仙湖等一系列处于不同演化阶段的现代断陷湖盆，了解其沉积体系分布和决定因素。这样就使所概括的模式在一定程度上具有“过程模式”性质，从而可以在复杂多变的情况中发挥类比和预测作用。

三、地球物理测井曲线在解释沉积环境中的应用

盆地分析工作中应用地球物理测井曲线解释沉积环境已经成为必不可少的手段。对盆地的整体分析必然要求使用过去施工的许多钻孔资料，而这些资料往往只有非常简单的描述（多数情况下岩心没有保存）；正在施工中的钻孔也可能存在着岩心倒置、取心率偏低等方面的问题；许多重要现象如砂岩底界面的性质、砂岩层的粒序等往往在描述中没有受到重视。由于上述原因，所以在工作中必须大量使用测井曲线以补充必要的信息。在解剖典型的主要盆地中就应用了565个钻孔的曲线资料，得到了良好效果。

用于解释沉积环境的曲线类型有视电阻率曲线、自然电位曲线、天然放射性曲线以及人工放射性曲线等。在研究区域内视电阻率曲线（应用电位电极系）在解释沉积环境的应用中最为有效，已开始使用的数字测井（应用侧向测井）有更高的分辨率，而倾角测井则取得的信息更多，包括古流向信息，但后者尚未能推广。

测井曲线的功效，首先在于能解释岩性，为编制砂体图和其它等岩图提供基础数据。这对于了解无岩心孔、取心率低的钻孔以及过去编录质量过差、岩心颠倒而不能正确判明砂岩层粒序的钻孔无疑十分重要。

但测井曲线不能直接解释岩性，必须经过校正和统计分析。此项工作需根据一系列描述鉴定质量高的标准孔统计岩性与视电阻率值($\Omega \cdot m$)、人工放射性值(脉冲数/分)或其它测井参数的相关关系，并绘制判别图做为解释岩性时的参考。在霍林河、阜新以及宝日希勒等盆地和矿区所作的统计都表明各种岩石类型（主要据粒度）的视电阻率值变化很有规律（见表1-1）。尽管对岩性解释的精度还不及煤层，但已基本符合沉积环境分析的需要。

表 1-1 据 $A_m = 0.05m$ 电位电极系视电阻率曲线*

地 点	参 数 岩 性	不同岩性的视电阻率值 (Ωm)					
		砾 岩	含砾砂岩及粗砂岩	中粒砂岩	细砂岩	粉砂岩、泥岩	煤
阜 新		140—80	85—50	55—35	35—15	12—5	90—40
宝日希勒		43—28	30—25	24—16	18—12	16—10	65—38

* 阜新盆地的数据系据陈耀岑统计。

测井曲线解释所获砂体厚度资料可以编制出相当精美的砂体图（Kaiser, 1978a, Kaiser 和 Ayers, 1984）。本书所涉及的研究区内不取心孔不占主要比较，测井曲线解释岩性的作用主要在于数据上的补充及对取心和描述质量差的钻孔进行校正。

测井曲线用于环境分析的最主要方面是帮助进行垂向层序分析。由于合乎质量要求的曲线能很好地反映岩石物性，因此它可以表示垂向上不同岩性层的构成面貌。单层或总体粒度变化趋势可以很好地从曲线上了解，例如根据峰值变化和曲线形态识别总体向上变粗的粒序和总体向上变细的粒序。垂向上岩性的突变处在测井曲线上极为明显，如一个砂岩层其曲线特征表现为底部突变，则常常是冲刷面的反映，此种情况经常见于河道或其它水

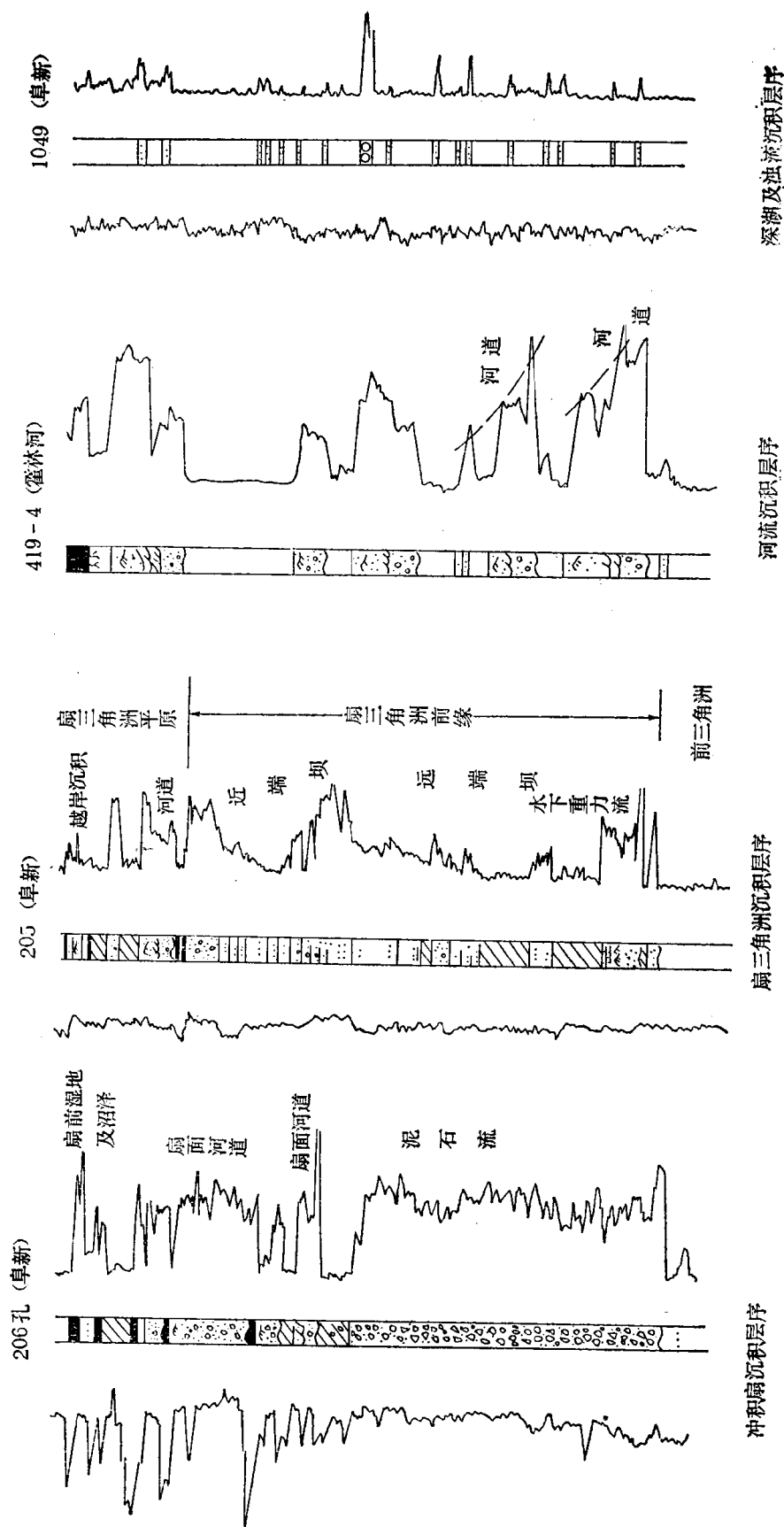


图 1-2 东北晚中生代断陷盆地中不同沉积环境的典型曲线 (与 107 队李长泽、柴伏山合作编制)
 Fig. 1-2 Typical logs of sedimentary environment of Late Mesozoic fault basins in northeastern China.