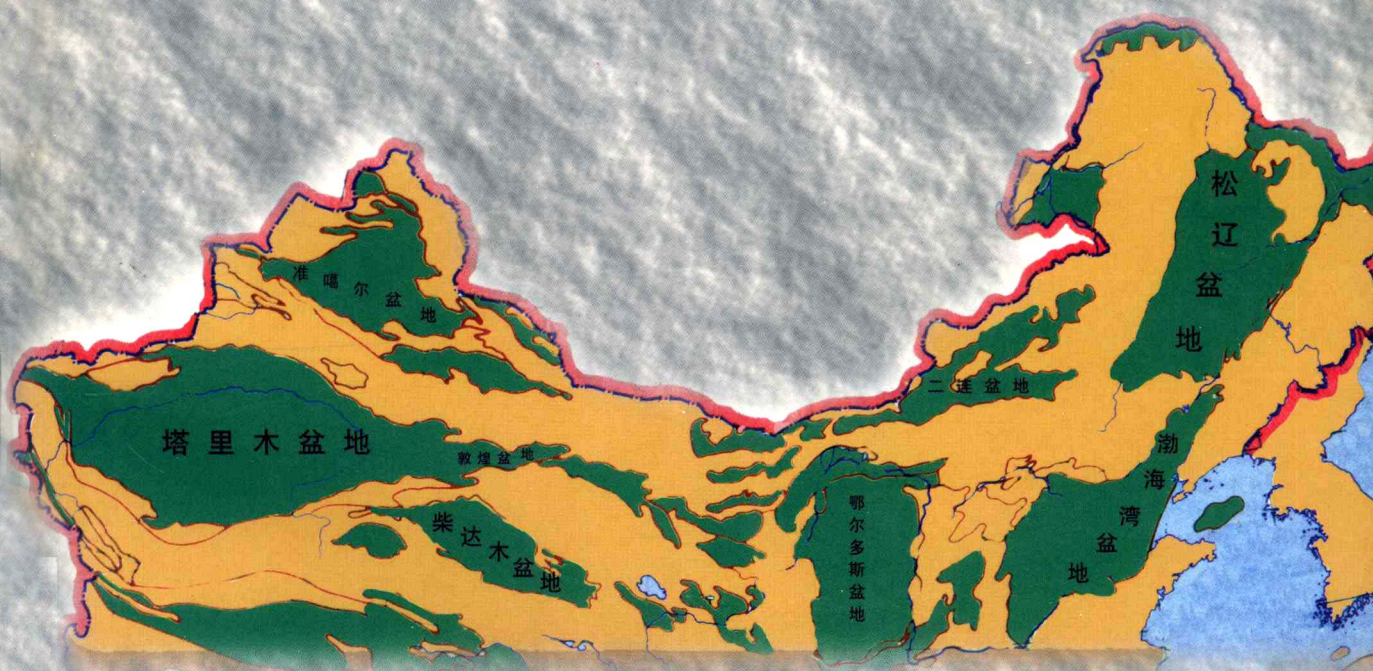


中国北方沉积盆地 构造热演化史研究

任战利 著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国北方沉积盆地 构造热演化史研究

任战利 著

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了沉积盆地热演化史研究方法 & 盆地热演化史恢复的思路; 以大量现代地温测试资料为基础, 以“活动论”及地质发展的“阶段论”思想为指导, 将区域地质背景与盆地构造演化史相结合, 应用多种古地温研究方法, 对我国北方诸盆地的热演化史及其与油气关系进行了全面系统的研究, 指出了油气勘探的有利区及进一步的勘探领域。

本书可供从事构造地质、石油及天然气地质研究的科研人员、现场工作者及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国北方沉积盆地构造热演化史研究/任战利著.
北京: 石油工业出版社, 1999.10

ISBN 7-5021-2752-6

I. 石…

II. 任…

III. 构造盆地—研究—中国

IV. P544

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 41681 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 270 千字 印 1—800

1999 年 10 月北京第 1 版 1999 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2752-6/TF·2161

定价: 30.00 元

序 言

沉积盆地热演化史与油气生成、运移和聚集有着十分密切的关系,日益引起人们的重视,并成为盆地分析及油气资源勘探研究的重要方面。同时,沉积盆地热演化史的研究在大陆动力学中亦占有十分重要的位置,也是当代地学研究的前缘课题。中国北方沉积盆地是我国主要的能源基地,也是今后石油工业重点勘探的地区之一。但盆地类型多样、构造变动复杂、演化历史各异,整体研究工作较为薄弱,同时还有不少空白区。

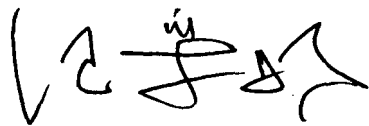
任战利副研究员所著《中国北方沉积盆地构造热演化史研究》一书,是作者十余年来对我国北方盆地构造热演化史与油气关系研究工作的总结,在大量实际工作及分析测试的基础上,采用多种古地温研究方法,将中国北方沉积盆地作为一个整体,并将构造演化、岩浆活动及后期改造结合起来,恢复了北方各沉积盆地热演化史并对其进行了分析对比,取得了一系列具创新性的成果。这种将盆地热史与盆地构造发展史研究相结合的作法值得大力提倡。综观全书具有以下几个特点:

(1) 实际资料丰富、基础工作扎实。作者通过十多年来的工作,系统收集、分析、整理了大量的第一手资料,测试了大量样品,工作量大,涉及范围广,填补了古地温研究的许多空白区。

(2) 采用多种古地温研究方法(如锆石、磷灰石裂变径迹法、包裹体测定法等)恢复盆地热历史,同时考虑盆地构造演化、后期改造,进一步深化了盆地热演化史的研究工作,取得的结论也更为可靠。

(3) 紧密结合生产实际,指导油气勘探工作。在盆地热演化史恢复的基础上,通过埋藏史、构造演化史和热演化史的综合分析,确定了油气主要生成期、运移期及成藏期,对中国北方油气勘探有实际指导意义。

在盆地热史研究方面,我们历来主张:①今、古地温必须并举;②应该将盆地热历史与整个区域构造演化史结合起来进行研究;③地质、地球物理、地球化学三位一体。作者在对我国北方沉积盆地进行热史研究时一直遵循上述原则,在研究方法和认识上均有不少创新。总之,该专著是全面系统论述和总结我国北方沉积盆地热演化史与油气关系规律性的第一本专著,不但具有很大的理论意义,而且具有重要的实际应用价值。它的出版发行必将对我国石油地质、盆地分析、大陆动力学研究及油气勘探工作起到积极的推动作用,我期待着它早日与读者见面。



中国科学院院士

1999年9月18日

前 言

含油气盆地热演化史研究是盆地动力学研究的重要内容,也是近年来地球科学研究的前沿领域。沉积盆地内蕴藏着丰富的石油、天然气、煤炭、地热等资源,沉积盆地热演化史不仅直接控制和影响着油气生成运移和聚集,而且在大陆动力学、盆地动力学恢复方面日益显示其重要性。

80年代以来,国际上已多次举办了盆地热演化史研究专题会议,并出版了相关专著,盆地热演化史研究方法不断出现和完善。从研究发展趋势来看,有两个明显的发展方向,一是热演化史模型的建立及不断完善,由定性向定量方向发展;另一个是多种古地温研究方法的综合对比研究。

中国北方是指昆仑—祁连—秦岭—大别造山带以北的广大地区,涉及华北板块、阿拉善地块、柴达木地块、塔里木板块、哈萨克斯坦板块及板块之间的造山带等不同大地构造单元。中国北方沉积盆地数量众多,类型各异,油气丰富程度不同。本书主要研究了松辽、二连、渤海湾、沁水、鄂尔多斯、酒西、酒东、花海、吐哈9个盆地的构造热演化史及其与油气关系。

不同单位和学者先后对中国北方松辽、渤海湾、塔里木、准噶尔、鄂尔多斯、吐哈等盆地进行过现今地温场及古地温的研究工作,取得了大量研究成果,为今后进一步的研究工作打下了坚实的基础。相比而言,二连、沁水、酒西、酒东、花海等盆地古今地温研究工作较薄弱,有些甚至是空白区。

研究程度较高的渤海湾盆地由于第三纪以来的拉张断陷,使中生代及其以下地层呈彼此分割的残留块体,多次构造活动已改变了侏罗纪及以前沉积面貌及构造格架,虽然前人已对新生代以来的地温演化史已进行了深入研究,但对于深层中生代及以前的古地温演化史研究还十分薄弱。

总体而言,对中国北方不同盆地之间构造热演化史总体规律性的认识有待进一步提高,还需更进一步的系统研究。加强这一地区的盆地热演化史及其规律性的研究不仅可以为盆地油气资源的勘探开发提供科学依据,直接为生产服务;同时也是大陆动力学和盆地动力学研究的重要内容,也可为陆内和板内变形研究提供地球动力学依据。

中国北方沉积盆地热史恢复及对比研究主要包括以下内容。

(1) 中国北方主要盆地现今地温场特征及其分布研究:根据钻孔测温、岩石热导率及生热率数据测试,计算盆地现今地温梯度及大地热流值。

(2) 中国北方主要盆地古地温演化史恢复:采用镜质组反射率,包裹体测温,磷灰石、锆石裂变径迹分析,粘土矿物转变及有机质转化指标等多种方法,结合构造演化史、岩浆活动及同位素测年等资料,恢复盆地热演化史。

(3) 中国北方不同盆地烃源岩主生烃期和达到最高热演化阶段的时期:根据盆地热演化史、构造演化史、埋藏史等确定烃源岩主生烃期,以及达到最高热演化阶段时期,分析主生烃期与圈闭形成期的配置关系。

(4) 中国北方不同盆地的热机制及不同演化阶段地温场对比研究:根据多种方法恢复不

同盆地的古地温梯度,将同一时期不同盆地的地温梯度进行对比,结合盆地发育的构造背景,分析盆地形成的地球动力学背景和可能发生热事件的影响范围、时期等。

由于中国北方是由不同板块及块体拼合而成的,所以发育其上的盆地类型和演化历史多有不同。中生代以来各盆地受到了多期构造运动的改造和破坏,早、晚时期盆地的相互叠置,使其热演化历史呈现十分复杂的局面。

因此恢复盆地不同时期的古地温场有一定的难度,为解决这一难题,作者以“活动论”及地质发展的“阶段论”思想为指导,采用多种古地温研究方法,对盆地进行整体、动态、综合的研究。在研究中突出以下几点:

(1) 整体性,中国北方各盆地处于不同构造背景上,在盆地演化、盆地类型、岩浆活动及地热场强弱等方面必然有其差异性。因此只有将中国北方作为一个整体,从秦—祁—昆造山带、太平洋板块、西伯利亚板块、兴蒙造山带、印度板块等与中国北方各块体相互作用来探讨中国北方各盆地发育的地球动力学背景及其差异,才能恢复盆地热史的本来面目。

(2) 综合性,采用裂变径迹法、包裹体测温、镜质组反射率、同位素测年等多种方法综合分析对比,提高古地温研究的准确性。不同的古地温研究方法都有其长和其短,不同方法的综合应用,不但可以相互印证,以提高古地温研究的准确性;而且还可尽可能多的提供古地温演化的信息,为热史恢复提供依据。

(3) 后期改造性,中国北方沉积盆地多为不同时期盆地叠置而成的多旋回沉积盆地,后期盆地的叠置往往对前期盆地的古地温场有明显的改造或改变作用。后期地温场对前期地温场的改造作用在我国含油气盆地中十分普遍,应当引起足够的重视。在古地温恢复及古地温场重建中,要特别重视后期地温场对前期地温场有无改造作用,尽量选择未经改造的地区直接进行古地温场的恢复。

(4) 多学科的相互配合,对于古地温已经过改造的盆地,不能直接应用古温标法进行热史的恢复,而应将地质、地球物理、地球化学等多方面的成果提供的信息,进行综合分析,提供热史的限定条件,以保证热史恢复的可靠性。

中国北方各盆地不同演化阶段往往以角度不整合或平行不整合面为标志。因此不整合面往往是划分不同古地温演化阶段的标志,有的不整合面往往也是古地温不整合面。作者在划分古地温演化阶段的基础上,充分考虑后期地温场对前期地温场的可能改造,选择适宜的地区或剖面。采用多种古地温研究方法,结合盆地构造演化史、岩浆活动史、埋藏史等恢复中国北方主要盆地不同演化阶段的古地温场,确定各盆地古地温场的动态演化史及其与油气的关系,揭示盆地油气成藏及其分布规律。

自1988年以来,作者一直从事北方沉积盆地热演化史与油气关系的研究工作,先后受到了国家“八五”攻关、原中国石油天然气总公司“九五”攻关等十多个项目的支持,本书是在大量实际地质工作及分析测试资料的基础上完成的。

本书共分十章,主要有以下认识:

(1) 中国北方东北地区的松辽盆地、二连盆地都为典型的裂谷盆地,具有相似的构造发展史。松辽盆地现今地温梯度为 $3.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,平均大地热流值为 $68.65\text{mW}/\text{m}^2$,现今地温场具有中部高,边部低,呈环状分布的特点。多种地温研究方法表明松辽盆地古地温高于现今地温,晚白垩世古地温梯度为 $5.00\sim 6.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,远高于现今地温梯度。

(2) 二连盆地热演化史研究十分薄弱,现今地温梯度为 $3.00\sim 4.30^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,其平均值为 $3.50^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,估算的大地热流值为 $56.21\sim 81.59\text{mW}/\text{m}^2$,平均为 $69\text{mW}/\text{m}^2$ 。二连盆

地凹陷众多, 分隔性强, 各凹陷现今地温梯度及生油门限明显不同, 生油门限受古地温控制。早白垩世地温梯度为 $3.50\sim 5.50^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 平均值约为 $4.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 中侏罗世古地温梯度更高。

(3) 华北地区鄂尔多斯、沁水、渤海湾盆地位于华北克拉通之上, 古生代华北盆地沉积、构造稳定, 地温梯度较低。中生代晚期华北盆地经历了一次强烈的构造运动, 这次构造运动使华北东部地区隆起, 西部地区拗陷。东部隆起区为降温过程, 西部拗陷区为增温过程。中生代晚期鄂尔多斯盆地古地温梯度为 $3.30\sim 4.80^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 主要集中在 $4.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 左右; 沁水盆地古地温梯度为 $5.56^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 华北东部隆起区约为 $5.25^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。新生代以来鄂尔多斯、沁水盆地整体抬升, 发生降温冷却, 而渤海湾盆地拉张断陷形成裂谷盆地, 地层温度逐步增高。

(4) 河西走廊地区的酒泉盆地群是两期不同性质、不同世代盆地叠加而成。晚侏罗—早白垩世为拉张盆地, 第三纪以来为挤压拗陷盆地。酒东、花海、酒西盆地现今地温梯度及大地热流值都较低, 地温梯度为 $2.51\sim 3.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 大地热流值为 $50\sim 57\text{mW}/\text{m}^2$ 。中生代晚期, 花海、酒西、酒东盆地古地温梯度高于现今地温梯度, 可达 $3.75\sim 4.50^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。花海盆地古地温高于今地温, 烃源岩热演化程度受古地温控制, 酒西、酒东盆地热演化程度主要受现今地温控制。

(5) 吐哈盆地为新疆境内三大沉积盆地之一, 现今地温梯度为 $2.50^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 大地热流值约为 $44.48\text{mW}/\text{m}^2$, 地温梯度分布总体上具有东高西低的特点。古地温恢复表明, 吐哈盆地晚侏罗—早白垩世地温梯度较高, 可达 $2.31\sim 3.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 平均值约为 $3.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 早、中侏罗世地温梯度较低, 小于 $3.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。吐哈盆地哈密拗陷、台北凹陷、托克逊凹陷构造热演化史差异较大。哈密拗陷、托克逊凹陷部分地区古地温高于今地温, 主生油期较早; 台北凹陷晚侏罗世以来虽然有短暂抬升剥蚀时期, 但总体而言, 一直处于持续埋藏增温过程, 有利于油气生成和保存, 现今主力烃源岩八道湾组、西山窑组仍处于成油高峰期, 是最为有利的勘探区。

(6) 中国北方古生代华北盆地、塔里木盆地位于稳定的克拉通之上, 克拉通面积大, 沉积构造稳定, 沉积层厚度薄, 具有低的地温梯度及低的古地温。吐哈盆地和准噶尔盆地位于哈萨克斯坦板块之上, 经历了拉张—裂陷作用过程, 构造活动性强, 地温梯度高于塔里木盆地及华北盆地。

(7) 中生代晚期, 中国北方受周围板块相互作用的影响, 活动强烈。根据其活动性可明显的分为 4 个区块: ①东北区二连、松辽盆地, 火成岩活动, 地壳发生裂陷作用, 形成侏罗、白垩纪断陷盆地, 地温梯度高; ②华北区鄂尔多斯、沁水盆地及渤海湾地区中生代晚期地温梯度明显升高, 东部的渤海湾地区发生隆升, 为冷却过程, 西部的沁水、鄂尔多斯盆地发生拗陷, 地温增高; ③阿尔金断裂以东的阿拉善及河西走廊地区的酒泉盆地群、银根盆地侏罗纪到早白垩世地壳发生伸展作用, 形成一系列的断陷盆地, 盆地构造样式与东北地区的二连盆地相似, 但火山活动较弱, 其地温梯度也较高; ④阿尔金断裂以西的吐哈、塔里木、准噶尔盆地中生代为挤压拗陷型盆地, 地壳增厚, 岩浆活动性弱, 地温梯度总体上较低, 反映岩石圈深部热活动性相对较弱。吐哈盆地活动性较塔里木、准噶尔盆地强, 地温梯度稍高于塔里木、准噶尔两盆地。

(8) 中生代晚期, 阿尔金断裂以东构造活动性强, 地温梯度高, 强烈的构造活动引发了岩浆活动及地壳深部热活动, 这是一次强烈的构造热事件, 具有区域规模。在不同构造区块

由于边界断裂的限制及调节,构造样式及活动强度有所不同,在火成岩活动区形成明显的地温异常。这次构造热事件对阿尔金断裂以东各盆地油气的生成、运移及成藏起重要控制作用。

(9) 新生代以来,华北东部渤海湾地区拉张断陷形成了渤海湾裂谷盆地,地温梯度及大地热流值都较高,沉积了巨厚的第三纪地层,属不断增温过程;华北西部鄂尔多斯、沁水盆地抬升隆起,遭受剥蚀,地温梯度减小,属降温过程。华北东部区二连、松辽盆地仍为地壳减薄区,地温梯度仍较高,分别为 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和 $3.70^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。中国北方西部由于印度板块的持续北移,地壳进一步缩短和增厚,吐哈、塔里木、准噶尔盆地及酒泉盆地群地温梯度及大地热流值均较低。

(10) 中国北方主要盆地热历史类型复杂多样,可分为冷却型、交替变化型、热事件型等多种类型。盆地热历史类型受其地球动力学背景及构造演化史控制。不同构造热演化史的盆地,其烃源岩热演化程度、生油门限、油气主生烃期明显不同。高温型盆地生油门限浅,有利于油气的快速转化,低温型盆地生油门限深,有效勘探深度段及勘探深度加大。

(11) 根据盆地构造热演化史、烃源岩发育及保存状况综合分析,认为松辽、渤海湾、鄂尔多斯、吐哈盆地是有利的勘探区,值得详细勘探。渤海湾盆地石炭、二叠系,沁水盆地石炭、二叠系,吐哈盆地台北凹陷深层二叠系及三叠系,酒东盆地的下白垩统是进一步勘探的领域。

本书是我在博士论文的基础上修改完成的,在完成博士论文及本书的写作过程中,导师赵重远教授给予了精心的指导,非常感谢赵重远教授多年来的培养和鼓励!同时也感谢多年来汪集旸院士给予多方面的指导和帮助,刘池阳、吴汉宁、王定一、车自成教授在科研工作中给予了热情的指导和帮助。张小会、陈刚、华洪博士,马团校、李进步硕士给予了多方面的支持。

本书为我多年科研工作的积累,是在大量实际工作的基础上完成的。在收集资料及科研工作中,得到了有关油田和研究院的大力支持。杨俊杰、赵文智、赵政璋、王捷、宋建国、张军、徐黎明、刘宝泉、罗强、张文朝、王雪平、袁政文、冯建辉、梁志刚、张世煥、陈建军、徐宏、白公正、薛军民等领导、教授、高工给予了热情的帮助。中国地质大学杨起院士,石油勘探开发研究院田在艺院士,中国科学院地质所沈显杰、汪辑安研究员,胡圣标博士,地质力学所魏大卫研究员,中国科学院地球化学所周中毅研究员,高能物理研究所王世成研究员等都曾给予过指导和帮助。向以上所有指导、支持、帮助过我的人们表示衷心的感谢!

在写作本书的过程中,我深感中国北方地区范围的广大、地质条件的复杂、油气勘探工作的艰难及研究工作量的巨大,本书反映的成果只是研究工作过程的阶段性成果。不足之处在所难免,敬请各位专家批评指正。

目 录

第一章 中国北方沉积盆地的基底性质及地层系统	(1)
第一节 板块构造位置及基底性质	(1)
第二节 现今地球动力学背景	(1)
第三节 地层系统及构造运动	(3)
第二章 沉积盆地热演化史研究方法	(5)
第一节 现今地温场研究方法	(5)
第二节 热演化史研究方法及存在问题	(7)
第三章 沉积盆地地温场与热演化史恢复	(15)
第一节 地球内部热状态	(15)
第二节 全球地热场分布及不同类型沉积盆地现今地温场特征	(16)
第三节 沉积盆地热演化史恢复的思路	(21)
第四节 不同勘探阶段的热史研究	(26)
第四章 松辽盆地热演化史恢复	(29)
第一节 盆地基本特征	(29)
第二节 现今地温场特征	(31)
第三节 不同时代地层热演化程度对比分析	(35)
第四节 盆地热演化史恢复	(37)
第五章 二连盆地热演化史与油气	(43)
第一节 盆地基本特征	(43)
第二节 现今地温场特征	(44)
第三节 不同层位热演化程度对比分析	(45)
第四节 盆地热演化史恢复	(47)
第六章 华北地区主要盆地热演化史恢复及构造热事件的确定	(59)
第一节 主要盆地基本特征及地质构造发展史	(59)
第二节 不同盆地现今地温场特征	(60)
第三节 鄂尔多斯、沁水、渤海湾盆地热演化史恢复	(67)
第四节 中生代晚期构造热事件存在的证据及发生时间探讨	(92)
第五节 从热演化史角度分析华北地块不同盆地油气前景	(97)
第七章 河西走廊地区酒泉盆地群热演化史恢复	(99)
第一节 酒泉盆地群发育的区域地质背景及基本构造特征	(99)
第二节 酒泉盆地群现今地温场特征对比分析	(103)
第三节 酒泉盆地群各盆地热演化程度对比	(106)
第四节 酒泉盆地群古地温恢复	(107)
第八章 吐哈盆地热演化史恢复	(123)
第一节 区域构造背景及地质构造格架	(123)

第二节	构造特征及分布规律·····	(125)
第三节	现今地温场特征·····	(126)
第四节	古地温演化史恢复·····	(127)
第五节	热演化史及其对生烃史的影响·····	(139)
第六节	沉积盆地构造热演化史与油气多期成藏·····	(142)
第九章	中国北方沉积盆地热演化史对比分析·····	(144)
第一节	中国大陆前中生代构造格架及各盆地地温场对比分析·····	(144)
第二节	中生代晚期中国北方沉积盆地构造格架及地温场对比分析·····	(147)
第三节	中国北方沉积盆地现今地温场的对比分析·····	(150)
第四节	中国北方沉积盆地的热历史类型·····	(152)
第十章	沉积盆地热演化史与油气关系·····	(154)
第一节	沉积盆地热演化史对油气生成、运移、成藏的控制作用·····	(154)
第二节	从热演化史角度看北方主要盆地的油气勘探前景·····	(156)
参考文献	·····	(158)

第一章 中国北方沉积盆地的基底性质及地层系统

第一节 板块构造位置及基底性质

中国北方沉积盆地众多,类型多样,且以中、新生代盆地为主。这些沉积盆地处于不同块体之上,沉积盆地本身受所处块体的大地构造性质及周边大地构造单元运动形式和相互作用的控制和影响。印支运动后,各主要块体碰撞、拼合,对古生代盆地进行了一定的改造,同时由于受印度、太平洋板块及自身所处块体的相互作用,也形成了不同类型的盆地。

华北区的鄂尔多斯、渤海湾、沁水盆地等发育于华北克拉通之上,具有稳定的基底,在古生代具有相似的沉积构造发育史。在中生代及其以后,克拉通由于受周缘板块作用强度、方式的不同,其演化历史、构造样式出现了较大差异。渤海湾地区活动性强,发育成为裂谷盆地;沁水盆地中生代以后抬升,遭受剥蚀成为残留构造盆地;鄂尔多斯盆地中生代继承发展,保留了较完整的中生代盆地面貌,成为继承性盆地。

花海盆地地处阿尔金地块、走廊过渡带、阿拉善地块的交汇部位,主体部分位于阿拉善地块北部过渡带之上,具有前寒武纪结晶基底及海西、加里东期褶皱基底,中生代晚期拉张断陷,新生代以来整体拗陷。

酒西、酒东、松辽、二连盆地位于古生代褶皱基底之上。古生代褶皱基底与华北克拉通的前寒武纪变质基底在物质组成、活动性上有明显的区别,具活动性强,易于变形特点。

松辽盆地是中、新生代板内断陷—拗陷型盆地,基底为古生界变质岩和海西期花岗岩。侏罗纪裂谷期,由于燕山运动的块断活动,形成相互分割的裂谷盆地,其规模大小不等,白垩纪盆地迅速沉降形成大型湖盆。

酒西、酒东盆地基底为志留纪末祁连海槽关闭后形成的祁连加里东褶皱带,海西期酒泉地区为海陆交互相沉积,印支、燕山期形成了断陷盆地,喜山期构造反转转变为挤压型盆地。

吐哈、准噶尔盆地位于哈萨克斯坦板块的东部,具有前寒武纪结晶基底,中、新生代以来吐哈盆地变形较准噶尔盆地强烈。

塔里木盆地坐落于塔里木板块之上,具有前寒武纪结晶基底,经历了多期次的成盆作用,属大型复合盆地。

第二节 现今地球动力学背景

在中国布格重力异常图上,重力场的总趋势是东高西低,东部和西部在异常形态上明显不同。东部异常形态走向以北北东向为主,西部异常走向以北西或北西西向为主。重力异常图上有三条规模巨大的重力异常梯度带,它们是大兴安岭—太行山—武陵山重力异常梯度带;贺兰山—六盘山—龙门山重力异常梯度带及昆仑山—祁连山—横断山—大雪山重力梯度带。这三条巨大的重力梯度带对应着巨型的深大断裂,以此将中国划分为东部重力异常缓变区,中部重力异常缓变区及西北部重力异常波状起伏缓变区和青藏高原重力异常缓变区。重

表 1-1 中国北方主要盆地地层

系	统	吐哈	准噶尔	酒西	酒东	花海	鄂尔多斯	山西沁水
第四系	全新统	Q ₄	Q ₄	酒泉组				
	更新统	Q ₃₋₁	Q ₃₋₃	玉门组	Q	Q	Q	Q
	上新统	葡萄沟组	独山子组	疏勒河组	疏勒河组	疏勒河组	三趾马红土层	静乐组
	中新统		塔西河组					侯家沟组
第三系	渐新统	桃树园组	河湾组	白杨河组	白杨河组	白杨河组	清水营组	
	始新统			火烧沟组		火烧沟组		
	古新统	鄯善群	安集海河组	柳沟庄组				
			黄泥泉子组					
白垩系	上统	库木塔克组						
	下统	连木沁组	连木沁组	中沟组	中沟组	中沟组	志丹群	
		胜金口组	胜金口组	下沟组	下沟组	下沟组		
		三十里大墩组	呼图壁组	赤金堡组	赤金堡组	赤金堡组		
侏罗系	上统	喀拉扎组	喀拉扎组					
		齐古组	齐古组					
	中统	七克台组	头屯河组				安定组	黑峰组
		三间房组	西山窑组	龙凤山群	龙凤山群	龙凤山群	直罗组	
	下统	西山窑组	三工河组				延安组	
		三工河组	八道湾组	常县组				
三叠系	上统	郝家沟组	郝家沟组				延长组	延长组
		黄山街组	黄山街组					
	中统	克拉玛依组	克拉玛依组	西大沟组	西大沟组		纸坊组	铜川组
							和尚沟组	二马营组
	下统	烧房沟组	烧房沟组				和尚沟组	和尚沟组
		韭菜园组	韭菜园组				刘家沟组	刘家沟组
二叠系	上统	锅底坑组		窑沟组			石千峰组	石千峰组
		梧桐沟组						
		泉子街组						
		塔尔朗组						
		大河沿组						
	下统	依尔希土组		大黄沟组		P ₁	下石盒子组	下石盒子组
石炭系	上统			太原组		C	山西组	山西组
	中统						太原组	太原组
							本溪组	本溪组

力异常缓变区与断块区、断褶带相对应，重力异常值常反映了这些地区的构造活动性及稳定性。

中国地壳厚度分布的基本规律是自东部向西部地壳厚度逐渐增厚，东部地壳薄，小于 39km，西部地壳厚，最厚达 70km，中部具过渡性质，厚度为 39~44km。地壳厚度分布图与重力异常图基本一致，也明显的具有三条地壳厚度陡变带，并与三条巨大的重大异常带相对应。地壳厚度陡变带之间对应地壳厚度缓变区，东部地壳缓变区对应着松辽、渤海湾等盆地，地壳厚度 32~36km。中部地壳缓变区包括鄂尔多斯、内蒙等地区，地壳厚度 38~44km。西北部缓变区对应着准噶尔、塔里木、吐哈以及河西走廊地区，地壳厚度大，达 50~55km。

中国北方沉积盆地形成于岩石圈构造演化的各个阶段和不同的构造环境中，按新生代以来盆地形成地球动力学背景的不同，以贺兰山—龙门山和大兴安岭—太行山为界可划分为东部的拉张型盆地、西部的挤压型盆地及中部的过渡型盆地。

东部拉张型盆地，在新生代以来，由于太平洋板块向欧亚板块的俯冲，引起弧后扩张，地幔上隆，发生裂陷作用，产生了一系列新生代裂谷型盆地，叠置在中生界、古生界和元古界的地块之上，如渤海湾盆地。

系统及接触关系对比表

临济地陷	冀中地陷	东濮地陷	济阳地陷	黄骅地陷	济源地陷	二连盆地	松辽盆地
Q 平原组	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
明化镇组	明化镇组	明化镇组	明化镇组	明化镇组	新安群	R	N
馆陶组	馆陶组	馆陶组	馆陶组	馆陶组			
东营组	东营组	东营组	东营组	东营组	济源群		
沙河街组	沙河街组	沙河街组	沙河街组	沙河街组			E
孔店组	孔店组	孔店组	孔店组	孔店组	孔店组		
	无极组		王氏组				明水组
K ₁	丰台组 芦沟桥组		西洼组	K ₁	韩庄组	赛汉组	四方台组
J ₃	辛庄组		蒙阴组	J ₂₊₃		腾格尔组	康江组(K ₂)
	密坡组		三台组			阿尔善组	姚家组(K ₂)
			坊子组	J ₁₊₂	马凹组	兴安岭群	青山口组(K ₂)
					鞍腰组	阿拉坦力群	泉头组(K ₂)
T ₂	T ₂	T ₂			谭庄组		
				T ₂	椿树腰组		
T ₁	T ₁	T ₁		T ₁	油房庄组		
					二马营组		
					和尚沟组		
					刘家沟组		
P ₂		P ₂	P ₂		P ₂		
P ₁		P ₁	P ₁		P ₁		
C ₃		C ₃	C ₃		C ₃		
C ₂		C ₂	C ₂		C ₂		

中部过渡型盆地受横贯欧亚的特提斯构造带造山运动和环太平洋构造带构造运动的双重影响，既具有拉张或张扭机制，又具有挤压或压扭机制，如鄂尔多斯盆地。

西部挤压型盆地，盆地形成的应力来自于印度板块向北推挤的造山运动，在碰撞挤压构造带之间形成大型复合盆地、山前盆地或山间盆地。大型复合盆地如准噶尔盆地，山前盆地如酒泉、民乐盆地，山间盆地如吐哈盆地和伊犁盆地。

第三节 地层系统及构造运动

一、北方主要盆地地层系统

从中国北方主要盆地地层系统对比表（表 1-1）可以看出，古生代在华北地台内部的鄂尔多斯、沁水盆地及渤海湾地区有广泛的沉积。沉积了下古生界碳酸盐岩及上古生界海陆交互相碎屑岩。酒泉盆地晚古生代也沉积了一套海陆交互相的含煤沉积。在吐哈盆地石炭纪—早二叠世为火山喷发岩及海相碎屑岩和碳酸岩沉积。晚二叠世开始进入陆相湖盆发育阶段。

三叠系集中发育于鄂尔多斯、沁水、济源地区，为大型内陆湖相沉积。渤海湾地区大部

分地区缺失或未沉积，在西部的吐哈、准噶尔盆地大面积分布，为河湖相沉积。

早、中侏罗世时，沉积主要集中于中部及西部地区，如吐哈、准噶尔、鄂尔多斯、济源、二连及河西走廊地区（以下简称走廊地区），为一套湖泊、沼泽相含煤沉积，晚侏罗世东部区火山活动剧烈，主要为隆起背景上沉积的碎屑岩及火山喷发岩。中部沁水、鄂尔多斯盆地及走廊地区的酒西地区普遍缺失，晚侏罗世西部准噶尔、吐哈盆地为连续沉积。早、中侏罗世煤系地层是普遍的含油层。

早白垩世地层广泛发育于中、西部地区及东北区的鄂尔多斯、酒西、酒东、准噶尔、吐哈、二连、松辽盆地，主要为一套河湖相沉积。在东部地区普遍缺失，仅在隆起背景上的小断陷中发育，为一套火山喷发岩及碎屑岩沉积。白垩系是松辽、二连、酒西盆地主要产油层。

第三纪以来，主要沉积区在华北东部渤海湾地区，西部的酒泉盆地区、吐哈、准噶尔盆地区以及松辽、二连盆地区，早第三纪古新统在东部区普遍缺失。第三系是渤海湾盆地的主要产油层。

二、地层接触关系及反映的构造运动

从中国北方主要盆地的地层接触关系来看，华北区下奥陶统与中石炭统为区域性平行不整合，代表了华北陆块加里东运动之后的整体抬升。侏罗系与三叠系之间的角度不整合在各盆地普遍存在，仅在鄂尔多斯盆地、临清拗陷变为平行不整合（表1-1），代表了印支期强烈的构造运动。在中国东部表现为大规模隆升，缺失了部分三叠系地层，在鄂尔多斯盆地为沉积区，三叠系末盆地整体抬升。在西部走廊过渡带印支期构造运动产生挤压抬升，使酒泉盆地普遍缺失了上三叠统。在吐哈、准噶尔盆地印支期构造运动使周围造山带不断隆升，在盆地内产生了一系列印支期构造。

白垩系与侏罗系之间为又一广泛分布的角度不整合，代表了燕山中期强烈的构造运动。这次构造运动不但产生了强烈的挤压褶皱、断裂活动，在中国东部还伴随着广泛的火成岩活动。这是中国北方一次十分强烈而普遍分布的构造运动。

白垩系上统与下统之间，以及第三系与白垩系之间普遍存在角度不整合或平行不整合接触关系，代表了燕山晚期又一次强烈的构造运动，这次运动也产生了强烈的构造变形，并伴随岩浆活动。

上、下第三纪之间在渤海湾、松辽盆地普遍存在角度不整合，代表了一次挤压运动。

第四系与第三系之间各盆地普遍存在角度不整合，代表了又一次十分强烈的构造运动，这次构造运动在西部地区由于印度板块不断向北推挤，盆地周围造山带复活，向盆地逆冲推覆，在盆地内产生了成排成带的构造，也使西部地区地壳厚度增大。

从中国北方各主要盆地接触关系来看，侏罗系与三叠系之间，白垩系与侏罗系之间，白垩系上、下统之间，第三系与白垩系之间，上、下第三系之间以及第四系与第三系之间普遍存在角度不整合，代表了六次构造运动的存在。其中第三系与白垩系之间，上、下白垩统之间，白垩系与侏罗系之间以及侏罗系与三叠系之间角度不整合最为普遍，也十分重要，代表了四次强烈的构造运动，前三次对应着燕山期构造运动，后一次与印支期构造运动相对应。以上四个区域不整合界面是划分盆地不同动力学演化阶段的重要依据。

第二章 沉积盆地热演化史研究方法

沉积盆地热演化史研究包括沉积盆地现今地温场及古地温场研究两部分，现今地温场研究是古地温场研究的基础。

第一节 现今地温场研究方法

沉积盆地现今地温场是现今岩石圈热状态的反映，不同类型盆地具有不同的地温场。现今地温场研究包括现今地温测量、大地热流测定及深部热结构等内容。

一、现今地层测温

目前井下测温仪器常用的有二类：一类为最高水银温度计，另一类为电阻温度计。

在油田的勘探开发中，钻孔有勘探井、参数井、开采井、注水井等多种类型。由于钻井过程破坏了地温的原始状况，井下温度的恢复需要一定的时间，时间越长，井液温度越接近于原始岩层温度。

人们把井孔温度经恢复达到平衡以后进行的井温测量称之为稳态测量。稳态测量的资料最为可贵，它对于原始温度场的评定和进行大地热流值的计算是不可缺少的。

在含油气区收集地温资料时应尽量选择那些完钻较早的老井，例如各油田打开油层的第一批探井。由于它们的油层未受后来采油和注水的影响，试油关井测压时所获井温数据完全反映了地温场的原始状况，是十分理想的地温资料。

二、热导率

用以表明岩石导热能力的系数称岩石热导率。不同的岩石由于其矿物组合与结构、胶结程度、孔隙率以及饱水含油气性等方面的不同，其传热能力也可以有显著的不同。即使是同一类岩石，由于其结构和所含杂质的差异，其热导率也常有差别，并在一定的范围内变化。因此，在沉积盆地地热研究中，需要对钻井岩样进行热导率测定。热导率测定可以视测试样品的不同，选用稳定平板热导仪、非稳态环形热源热导仪、非稳态导热探针及 QTM 型快速热导仪等不同的方法来测定。对于缺少岩心样品的钻井，可应用测井资料来确定岩石热导率。

岩石的含水量对热导率有影响，一般随其含水量的增加而热导率增高。主要原因是水的热导率大于空气的热导率。因此，对高孔隙的砂岩一般需在饱水条件下测定其热导率值，使其热导率值能代表在井下原位时的真实情况。对于埋藏深、压实紧密、孔隙度小的砂岩、灰岩和泥岩，由于干岩样热导率与饱水岩样热导率的差值较小，可以直接应用干岩样测试值。

三、大地热流

大地热流是一个综合的参数，是地球内热在地表直接测得的唯一物理量。它比其它单项地热资料（温度、地温梯度）更能反映一个地区地热场的基本特点。

按一维稳态传导公式即可计算热流值：

$$q = -k \left(\frac{dT}{dH} \right) \quad \text{或} \quad q = -kG$$

式中 q ——热流, mW/m^2 ;
 k ——岩石热导率, $\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$;
 T ——温度, $^\circ\text{C}$;
 H ——对应于 T 的深度, km ;
 $\frac{dT}{dH}$ ——地温梯度 G , $^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

所以热流是岩石热导率与地温梯度的乘积。只要测量地下某一深度间隔的地温梯度及相应段岩石的热导率, 即可求得热流值。初看起来, 似乎有了井下的地温梯度和岩石热导率两项数据, 就可以很容易获得热流值。但实际上, 要得到可信的有意义的热流数据并非易事。

热流值确定的关键是求取真实的地温梯度和热导率值。地温梯度值的求取, 首先要保证测温井段是在稳态下测量的, 其次得到的地温梯度必须是传导型的。在地下水活动强烈的地区和层段, 由于水—热对流的影响, 所得的结果不能反映地球内部的传导热流, 不能用于大地热流值的计算。在实际工作中要有意识地避开地下水活动影响的层段, 选择不受干扰或少受干扰的地区和层段来研究, 如盆地中部和钻井的井底段。确定地温梯度的方法有二: 一是利用一些钻井系统测温确定, 这是最准确的; 二是按地质条件相似的地区或油田区, 对井底温度或油层温度与深度的关系作统计, 求出该区或油田区的平均值, 或某一层段的平均值。

岩石热导率可以通过如下方法确定: 在一个地质构造区中, 按综合地质柱状剖面系统采集一套岩心标本, 分别测定其热导率, 并按各地层单元和岩类分别统计其平均的热导率。有了各层段各岩类的平均热导率, 根据岩屑录井和测井资料分别统计单井和某一层段, 或一个地区和该区中某个层段各岩类的累积厚度, 按下式计算其热导率 (k):

$$k = D \left(\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \dots + \frac{d_n}{k_n} \right)^{-1}$$

式中 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ——各岩类的平均热导率;
 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ ——各岩类的累积厚度;
 $D = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n$ 。

四、深部热结构

虽然在地壳浅部测量的大地热流是地球内部最为直接的显示, 并能给出发生于地球内部的各种作用过程之间能量平衡的深部信息。但是, 热流测试的大量实践表明, 一个地区在地表所观测到的热流值的变化范围很大。地表热流值的变化除受浅部的地质或环境因素影响外, 更有其深部根源。地表大地热流实际上由两部分组成: 一部分源于地壳浅部放射性元素 ($U, Th, ^{40}K$) 衰变所产生的热量, 这部分热流称为地壳热流; 另一部分来自于地壳深处及上地幔的热量, 称为深部热流。就某一地区或构造单元而言, 地壳热流部分可因放射性元素含量的变化而有所差别, 但深部热流一般比较稳定。不同构造单元深部热流变化很大, 因此深部热流普遍被认为是更能从本质上表征一个地区构造活动性的重要物理量。

一个地区深部热流值的确定, 关键在于从地表所观测到的总热流量中, 扣除掉由地壳浅部放射性元素富集层所提供的那部分热量或地壳热流。首先要给出一地区的地壳结构模型, 并确定出各岩层段放射性生热率之后, 即可采用“剥层”法逐层计算各层段所提供的热量, 从而得出各层段底部的热流值。

岩石放射性生热率 A ($\mu\text{W}/\text{m}^3$) 可根据 U (10^{-6}), Th (10^{-6}) 和 K (%) 的浓度用下

式求得：

$$A = \rho(9.51C_U + 2.56C_K + 3.48C_{Th}) \times 10^{-5}$$

式中 ρ ——岩石密度， g/cm^3 。

只要测定了不同岩石的放射性生热率，就可计算盆地各层段的平均生热率。

地壳深部温度计算通常采用一维稳态热传导公式：

$$T_z = T_0 + qH/k - AH^2/2k$$

式中 T_z ——深度 Z 处的温度；

T_0 ——各计算层段的表面温度（地表即为恒温带温度）；

q ——各层段的地表热流（最上层取地表热流值）；

H ——各层段厚度；

k ——岩石热导率；

A ——岩石生热率。

陈墨香等（1988）对渤海湾盆地的研究成果可作为沉积盆地现今地温场研究的一个范例。

第二节 热演化史研究方法及存在问题

盆地热演化史研究方法很多，主要有地球动力学模型法及古温标法两类。

一、地球动力学模型法

地球动力学模型法是通过盆地形成和发展过程中岩石圈构造（伸展、减薄、均衡调整、挠曲形变等）及相应热效应的模拟（盆地定量模型），获得岩石圈热演化史（温度和热流的时空变化）。不同类型的盆地，具有不同的热史模型，根据已知或假定的初始边界条件，通过调整模型参数，使得模型计算结果与实际观测的盆地构造沉降史相拟合，从而确定盆地底部热流史；进而结合盆地埋藏史，恢复盆地内地层的热演化历史。

不同类型的盆地由于其形成的地球动力学背景和成因机制的差异，导致盆地演化过程的不同。因而描述其构造热演化过程的数学模型也是不同的，P.A.Allen 和 J.R.Allen（1990）在其论著中对岩石圈伸展作用形成的盆地、挠曲盆地及与走滑变形有关的盆地的热史模型都作过详细地论述。

（一）伸展盆地

伸展盆地是目前研究较广泛、研究程度较高的盆地类型，裂谷、拗陷、拗拉槽和被动大陆边缘是其基本样式。在地壳和岩石圈伸展、减薄作用下形成，其主要的构造热作用过程包括：岩石圈的伸展减薄、地幔侵位、与热膨胀和冷却收缩以及沉积负载相关的均衡调整。裂谷是地壳中的拉张区，现代裂谷具有负的重力异常、高热流值和火山活动等特征，表明在深部存在某种热异常。裂谷分主动裂谷与被动裂谷两种类型。

1978 年 McKenzie 研究了被动裂谷或机械伸展模型的定量结论后，提出了瞬时均匀伸展模型。该模型假定地壳和岩石圈的伸展量是相同的（即均匀伸展）；伸展作用是对称的，不发生固体岩块的旋转作用。因此，这是纯剪切状态。构造沉降主要取决于伸展量、伸展系数（ β ）以及初期地壳与岩石圈的厚度比值。该模型可概括如下：①拉张盆地的总沉降量由两