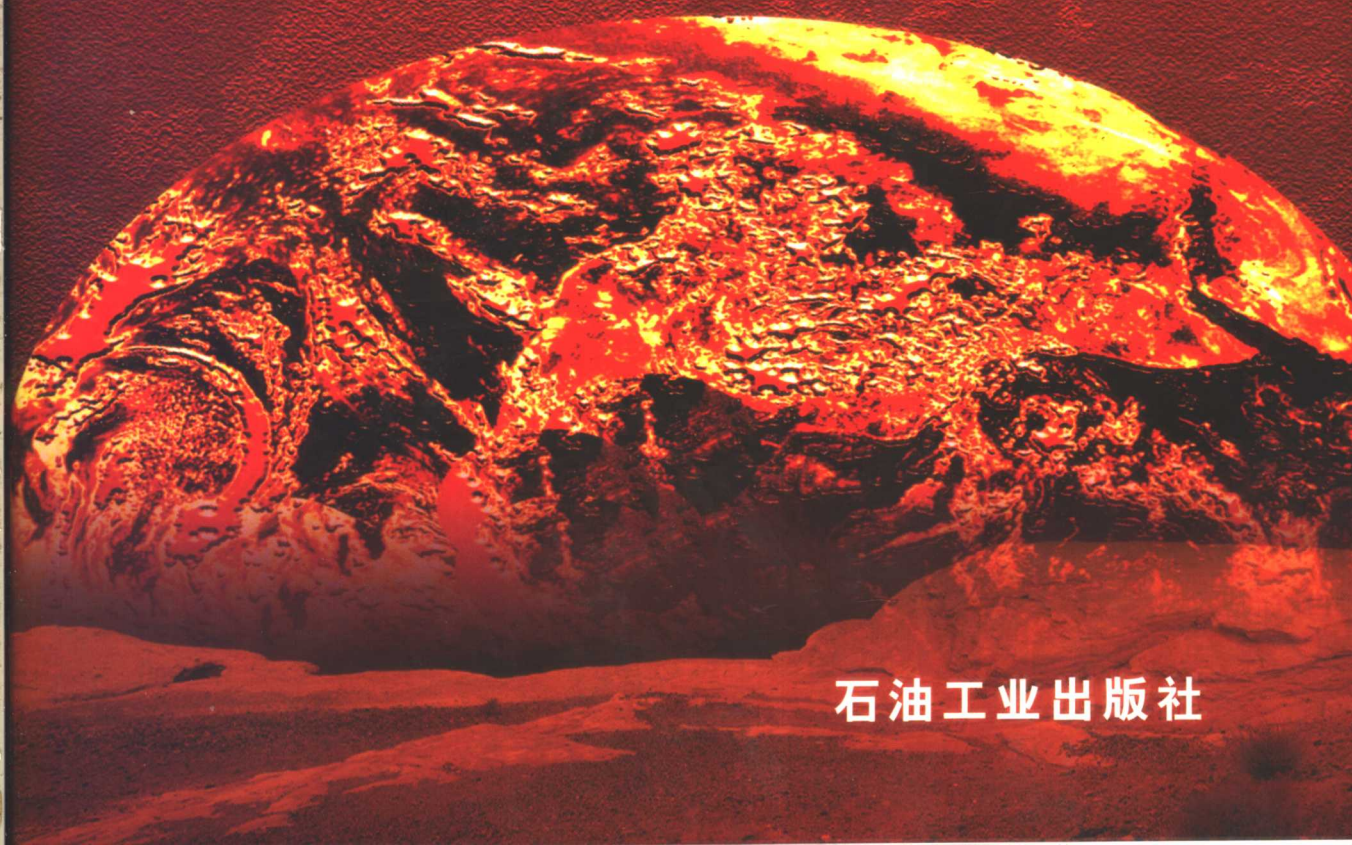


沉积盆地热体制研究的理论与应用

邱楠生 胡圣标 何丽娟 著



石油工业出版社

沉积盆地热体制研究的理论与应用

邱楠生 胡圣标 何丽娟 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从热传递和导热微分方程出发,介绍了地温和大地热流的测定方法及岩石热物理性质的测定,系统介绍了沉积盆地热体制和热历史研究的方法和理论。同时,针对目前国内外沉积盆地热演化研究中存在的问题,探索了一些古地温恢复的新方法。将区域地质背景与盆地的构造演化相结合,应用多种方法对我国西部主要盆地、东部的渤海湾盆地和部分海域盆地的构造—热演化历史进行了系统的研究。

本书可供从事构造地质、石油与天然气地质、油气成藏研究的科研人员、现场工作者及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

沉积盆地热体制研究的理论与应用/邱楠生,胡圣标,
何丽娟著. —北京:石油工业出版社,2004.8

ISBN 7-5021-4758-6

I. 沉…

II. ①邱…②胡…③何…

III. 构造盆地—地热学—研究

IV. P941.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 082257 号

沉积盆地热体制研究的理论与应用

邱楠生,胡圣标,何丽娟 著

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:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.75

字数:398 千字 印数:1—1000 册

定价:46.00 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

——仅以此书献给汪集暘院士的 70 寿辰

序

油田地热是地热学中的一门重要分支学科，而沉积盆地的热体制和热历史则是油田地热的核心研究内容。从另一个角度看，沉积盆地的热体制和热历史又是盆地基础地质研究的重要内容，更是油气勘探中不可或缺的部分。因为沉积盆地的热演化历史与盆地内油气的生成、运移和聚集有着密切的关系。同时，盆地热动力学及热史研究被认为是含油气盆地研究中的系统工程之一，在大陆动力学研究中也占有重要的地位，是当代地球科学研究的前缘。

我国系统的油田地热研究始于 20 世纪 70 年代初，但是由于种种原因，始终没有一部系统、全面阐述沉积盆地热体制理论和方法的专著问世。我的三位博士生即本书的作者是目前我国仍在兢兢业业从事这方面研究的少数学者，即将呈现给读者的《沉积盆地热体制研究的理论和应用》一书也是作者 10 余年来对盆地热体制的理论和应用研究的工作总结。本书从盆地热体制研究的基础——盆地的今、古地温场和岩石热物理性质研究出发，系统介绍了沉积盆地热体制和热历史研究的方法和理论，特别是针对目前国内外沉积盆地热演化研究中存在的问题，探索了一些古地温恢复的新方法。同时，将区域地质背景与盆地的构造—热演化相结合，应用多种方法对我国西部地区的塔里木、准噶尔和柴达木盆地，东部的渤海湾盆地以及部分海域盆地的地温场分布和构造—热演化历史进行了系统的研究，取得了具有创新性的成果，为沉积盆地的油气资源评价和油气勘探及盆地构造研究提供了重要的参数和基础资料。

我在“油田地热研究若干问题”（1998）一文中曾经提出过如下的研究思路，即：①油田地热研究必须今、古地温场并举；②油田地热研究必须将盆地热历史与整个区域构造热演化相结合；③油田地热研究必须结合地质、地球物理、地球化学三位一体。我欣喜地看到，本书作者在本专著中始终将盆地的热演化史与整个区域的构造—热演化研究结合起来，将盆地的现今地温场与古地温研究结合起来，并实行地质—地球物理—地球化学三位一体的研究方法。我认为这种研究方法在沉积盆地热体制研究中值得大力提倡。

该书是我国全面系统介绍沉积盆地热体制的研究方法和原理的第一本专著，在国际上亦不多见。书中除理论方法部分外，并有我国主要沉积盆地的研究实例，具有重要的实际应用价值。我相信，它的出版发行必将对我国石油地质、盆地分析和大陆动力学的研究及油气勘探工作起到积极的推动作用，我期待着它的早日问世。

中国科学院院士
2004 年 3 月 8 日

前 言

沉积盆地的热体制和热历史不仅是盆地动力学的重要研究内容,更是油气勘探研究中不可缺少的内容,是当代地质学研究的前缘课题之一。沉积盆地的热演化历史对于盆地内油气的生成、运移和聚集有着密切的关系。盆地的热动力学及热史研究不仅被认为是含油气盆地地质学研究中的系统工程之一,在大陆动力学研究中也占有重要的地位,盆地的动态演化研究、油气成藏的动力学研究都离不开古地温的研究。汪集暘院士早在“李四光教授倡导的中国地热研究”(1989)一文中,就指出我国的地热研究包括了大地热流研究、深部地热研究、区域地温场研究、地热数值模拟、地热实验和测试系统、地热资源研究、矿山地热研究和油田地热研究八个部分的内容。

20世纪80年代以来,我国逐渐认识到沉积盆地热体制研究的重要性。国家“八五”攻关项目专门列出了沉积盆地热体制和热历史研究的专题,此后的国家“九五”和“十五”攻关项目都有相关的研究专题进行沉积盆地大地热流和热历史研究。特别是中国石油天然气集团公司(CNPC)、中国石化集团公司(SINOPEC)、中国海洋石油总公司(CNOOC)、中国科学院、国土资源部等相关的生产部门和科研院所进行了大量关于沉积盆地热体制的研究。尤其是国家“973”项目将“典型叠合盆地的热体制和热历史研究”列为研究课题,反映了盆地的热体制和热历史在盆地的动力学和油气勘探中的重要地位。

沉积盆地古热场的恢复方法有许多,归纳起来为两方面:一是利用古温标方法(如镜质组反射率、粘土矿物的转化、磷灰石裂变径迹等)通过复杂的化学动力学方程来模拟热历史;二是利用盆地演化的地球动力学模型来计算热演化史(如拉张模型、挤压模型等)。各种方法对于具体盆地都有适用范围。而对于早古生代的海相碳酸盐岩地层及我国南方海相的高成熟地层所经历的热历史恢复,目前仍没有好的方法。本书针对这些问题,探索了一些古地温恢复的新方法并取得了一些创新性的成果。这对于西部下古生界和南方海相地层的油气勘探具有重要的意义。

笔者在汪集暘院士的长期指导下,始终坚持将盆地的热演化历史与盆地的构造演化史研究相结合起来、将盆地的现今地温研究与古地温研究结合起来、实行地质—地球物理—地球化学三位一体的研究方法,从事沉积盆地构造—热演化的基础研究。《沉积盆地热体制研究的理论和应用》一书,也是笔者10余年来对盆地热历史研究的工作总结。沉积盆地的热体制包括盆地的地温分布特征及其演化状况,它和热结构的分析是地热学在沉积盆地中的具体应用。沉积盆地地温分布的研究主要是分析盆地大地热流的分布状况、各层系地温分布、影响地温分布的因素及大地热流分布与盆地所处构造位置的关系等。在这些研究中,实际测温资料是重要的基础;热传递(传导、对流)模型的正确选择和岩石的热物理性质参数(岩石热导率、生热率、比热等)是地温分布研究的关键。

本书共两部分分为七章。第一部分主要介绍盆地热体制和热历史研究的基础理论与方法,由第一章至第四章组成。分别介绍了盆地现今地温场、热史恢复和岩石热物性研究的理论和方法。第二部分为实际应用部分,主要介绍我国西部盆地、东部渤海湾盆地和部分海域盆地的热体制和热状况研究成果。该书是我国全面系统介绍沉积盆地热体制的研究方法和原

理的第一本专著，并有我国主要沉积盆地的研究实例，不仅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、盆地分析和大陆动力学的研究及油气勘探工作起到积极的推动作用。

笔者首先要感谢汪集暘院士的指导和培养。汪集暘院士是我国从事理论地热和应用地热研究的先驱，为我国培养了一大批地热研究方面的人才。他领导下的中国科学院地质所地热研究室是我国重要的理论和应用地热研究的基地，他领导的课题调研组在 30 多年的研究工作中取得了国际上公认的成绩，所创建的一些理论和方法对我国乃至国际地热学界起到了深远的影响，他指导的学生遍布全球各地。笔者在攻读博士学位期间就一直在他的指导下进行学习和工作，仅以此书献给汪集暘院士的 70 寿辰！

本书的大部分成果是在国家自然科学基金委员会、科技部和中国三大石油公司（CNPC、SINOPEC 和 CNOOC）资助下的基金项目、国家攻关项目和部委攻关项目中完成的，在本书出版之际，向这些单位表示感谢！汪缉安研究员、熊亮萍研究员、王钧研究员、金之钧教授、汤良杰教授、庞雄奇教授、曾溅辉教授、吕修祥教授等在有关项目的研究中给予了指导和有力的支持，在此表示感谢！笔者还要感谢周礼成博士在盆地古地温研究和王良书教授在盆地热体制研究中的帮助！特别是衷心感谢在笔者从事研究过程中各个油田和相关生产部门给予的从测温数据、岩石样品到基础地质资料方面的大力协助，没有他们的帮助也不可能会有本书的成果！同时，笔者还要感谢我国广大从事盆地热体制研究的人员，本书参考了大量发表的文献和数据，在此向他（她）们表示感谢！

我们一直期待这一专著的出版，希望它的问世不仅有益于高等院校和研究院所的人才培养，更希望它能对我国的沉积盆地热体制研究、乃至盆地地质过程的定量研究起到积极的推动作用。由于笔者的水平有限，不足之处在所难免，敬请各位专家批评指正！

作者

2004 年元月

目 录

第一部分 沉积盆地热体制研究的理论和方法

第一章 盆地现今热状况研究的方法和原理	3
第一节 热传递的基本方式	3
一、热传导及其基本方程	3
二、热对流	6
三、热辐射	6
第二节 地温资料的解释和分析	6
一、恒温带、变温带和增温带	7
二、系统稳态测温	7
三、静井温度	8
四、其他温度数据	9
第三节 大地热流研究	10
一、大地热流的定义	10
二、实测大地热流值	10
三、估算大地热流值	11
四、大地热流分布	11
第二章 沉积盆地热物理参数	15
第一节 岩石热导率	15
一、岩石热导率的定义	15
二、岩石热导率的测量	15
三、岩石热导率的影响因素	17
四、主要沉积盆地岩石热导率	17
第二节 岩石放射性生热	22
一、岩石生热率的定义	22
二、岩石生热率的测定	22
三、西部主要盆地岩石生热率实例	22
第三节 其他热物性参数	24
一、岩石比热、热容	24
二、岩石密度	24
三、岩石热扩散率	25
第三章 深部地温与岩石圈热结构研究方法	26
第一节 深部地温研究	26
一、地球内部热源	26
二、深部地温计算	27

第二节 岩石圈热结构	29
一、岩石圈热结构的定义	29
二、地幔热流的获取	29
三、研究意义	31
第三节 盆地地温场控制和影响因素	34
一、地温分布的主控因素	34
二、地温分布的影响因素	34
第四章 盆地古地温场研究的基本方法	37
第一节 古温标种类及其动力学模型	38
一、有机质成熟度古温标	38
二、粘土矿物和自生矿物的组合关系	45
三、包裹体测温	46
四、磷灰石裂变径迹	48
五、盆地热历史恢复方法	53
第二节 盆地演化动力学模型	57
一、Mckenzie 拉张模型	58
二、统一混合模型	60
三、盆地演化动力学与古温标结合的模式	60
四、其他模型	61
第三节 古地温恢复新方法探索	62
一、激光诱导荧光方法	62
二、有机质自由基浓度古温标	65
三、盆地热演化波动模型	72
四、拉张盆地的多期拉张模型	77

第二部分 沉积盆地热体制研究应用实例

第五章 沉积盆地热演化概况	87
第六章 中国西部主要沉积盆地热体制特征	92
第一节 柴达木盆地	92
一、现今地温分布特征	93
二、构造—热演化特征	101
第二节 准噶尔盆地	109
一、现今地温分布特征	110
二、构造—热演化特征	115
第三节 塔里木盆地	122
一、现今地温分布特征	123
二、构造—热演化特征	124
第七章 渤海湾盆地热体制特征	133
第一节 济阳坳陷	135
一、东营凹陷	135

二、渤南洼陷·····	143
三、构造沉降史·····	149
第二节 昌潍坳陷·····	151
一、地温场分布特征·····	152
二、构造—热历史恢复·····	153
第三节 辽河盆地·····	160
一、东部凹陷大地热流·····	160
二、东部凹陷热历史·····	163
三、辽河盆地的构造—热演化·····	163
四、盆地构造沉降史分析·····	167
第八章 海域沉积盆地·····	169
第一节 渤海盆地·····	169
一、盆地现今热状态·····	169
二、盆地热史恢复·····	171
三、构造沉降史分析·····	174
第二节 东海和黄海盆地·····	175
一、地质概况·····	175
二、东海和南黄海盆地南部地区现今地温场·····	179
三、构造—热演化特征·····	185
第三节 南海—莺歌海盆地·····	190
一、南海盆地地热特征·····	190
二、莺歌海盆地地热特征·····	193
三、莺歌海盆地的构造—热演化·····	194
附表 中国大陆地区大地热流数据汇编·····	198
参考文献·····	224

第一部分

沉积盆地热体制研究的理论和方法

第一章 盆地现今热状况研究的方法和原理

沉积盆地现今热状况包括了地温和大地热流的分布。地温的测定和地温资料的分析是研究盆地热状况的基础。在微观上,温度是处于热平衡系统的微观粒子热运动强弱程度的度量。温度是地球最重要的物理性质之一,地球上的温度既有空间的变化又与时间相关。在位置向量 $\vec{X}$ 所规定的点上, t 时刻的温度可表示为:

$$T = f(\vec{X}, t) \quad (1-1)$$

各温度点的集合构成温度场,即某时刻温度的空间分布。一般而言,温度在介质中的分布状况是坐标(位置)和时间的函数,即

$$T = f(x, y, z, t) \quad (1-2)$$

温度场内任何点的温度都不随时间变化的为稳定温度场,随时间变化的为不稳定温度场。在稳定温度场中, $T = f(x, y, z)$;具有稳定温度场的热传导称为稳态热传导。如果温度场中的温度取相同的值则形成一个等温面。若温度场简化为二维空间,则成了等温线。温度梯度是等温面法线方向上单位长度内温度的增量,它是一个矢量,即 $\text{Grad}T = \frac{\partial T}{\partial z}$ 。其正向朝着温度升高的一面,负的温度梯度叫温度降低。

第一节 热传递的基本方式

热量的传递方式有传导、对流和辐射三种方式。传导通常发生于固体中,对流则是流体特有的一种传热方式,辐射不需借助任何介质即可进行。沉积盆地中的热量传递主要以传导和对流方式进行,而其中又以传导为主。对流仅在特殊情况下发生(如盆地内的流体活动比较活跃的层位或地区)。下面分别介绍这三种热传递方式的基本概念和有关的导热方程。

一、热传导及其基本方程

物体各部分之间不发生相对位移时,依靠分子、原子及自由电子等微观粒子的热运动而产生的热量传递叫热传导。如物体内部热量从温度较高的部分传递到温度较低的部分,以及温度较高的物体把热量传递给与之接触的温度较低的另一物体都是导热现象。这里先介绍导热的基本定律,再介绍导热的微分方程。

(一) 导热的基本定律(傅立叶定律)

根据傅立叶定律,单位时间内通过单位截面积所传递的热量正比于垂直于截面方向上的温度变化率,即:

$$\frac{Q}{F} \propto \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1-3)$$

式中 Q ——热流量, W;
 F ——面积。

$\frac{\partial T}{\partial X} = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta X}$, 即为温差与距离比值的极限, 代表温度变化率。引入比例常数 K , 则:

$$Q = -KF \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1-4)$$

这就是导热的基本定律或傅立叶定律, 当用热流密度 (q , 单位为 W/m^2) 表示时有:

$$q = -K \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1-5)$$

(二) 导热的微分方程

前面已讲过, 温度分布是坐标和时间的函数, 即 $T = f(x, y, z, t)$ 。温度不随时间而变动, 称为稳态温度场。否则为非稳态温度场。稳态温度分布的表达式简化为: $T = f(x, y, z)$ 。对于一维问题, 直接积分即可获得答案, 而多维问题则较复杂。以下以微元体 ($dx dy dz$) 为例进行分析 (图 1-1):

1. 若无内热源、稳态情况

在没有内部热源的情况下, 根据能量守恒定律, 在微元体中导入微元体的总热量应该等于导出微元体的总热量 (图 1-1)。

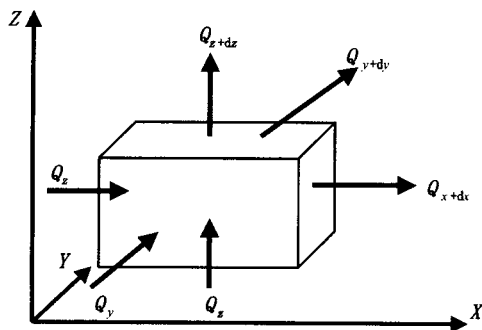


图 1-1 微元体导热示意图
(据杨世铭, 1980)

在面 X, Y, Z , 据傅立叶定律有:

$$Q_x = -K \frac{\partial T}{\partial X} dy dz$$

$$Q_y = -K \frac{\partial T}{\partial Y} dx dz \quad (1-6)$$

$$Q_z = -K \frac{\partial T}{\partial Z} dx dy$$

在面 $X+dx, Y+dy, Z+dz$, 同样有:

$$Q_{x+dx} = -K \frac{\partial}{\partial X} (T + \frac{\partial T}{\partial X} dx) dy dz$$

$$Q_{y+dy} = -K \frac{\partial}{\partial Y} (T + \frac{\partial T}{\partial Y} dy) dx dz \quad (1-7)$$

$$Q_{z+dz} = -K \frac{\partial}{\partial Z} (T + \frac{\partial T}{\partial Z} dz) dx dy$$

$T_x + dx = T_x + \frac{\partial T_x}{\partial x} dx$ 用泰勒级数展开前三项, 有:

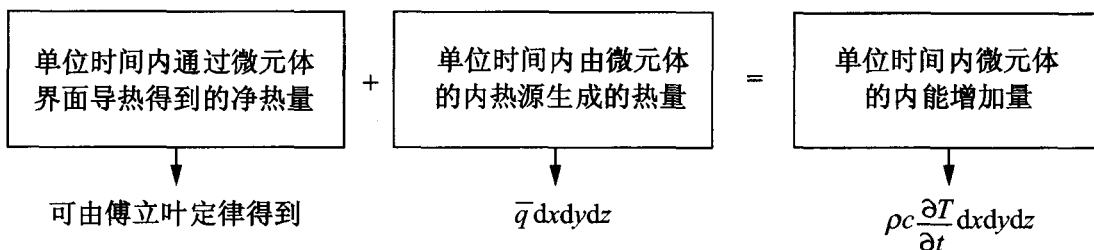
$$Q_x + Q_y + Q_z = Q_{x+dx} + Q_{y+dy} + Q_{z+dz} \quad (1-8)$$

$$K (\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}) dx dy dz = 0 \quad (1-9)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = 0 \quad (1-10)$$

对于均质物体, $dx dy dz$ 不为零, 上式即为三维稳态、无内热源的导热微分方程。

2. 非稳态、有内热源的情况



$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) dx dy dz + \bar{q} dx dy dz \quad (1-11)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) + \bar{q} \quad (1-12)$$

若 $\nabla^2 = \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}$ 为拉普拉斯算子, $\frac{K}{\rho c}$ 为热扩散率, 则可将上式写为:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho c} \nabla^2 T + \bar{q} / \rho c \quad (1-13)$$

这就是非稳态、有内热源情况下的导热微分方程的表达式。式中 ρ 为岩石密度, c 为热容, $\bar{q}$ 为内热源 (在盆地中相当于由岩石放射性生热产生的那部分热量)。该式为二阶非齐次偏微分方程。式中的内热源 ($\bar{q}$) 是非齐次项, 若内热源为零, 则上式为齐次方程。当 K 、 ρ 、 c 均为常量, $\bar{q}$ 为常量或是坐标与时间的函数时, 式 (1-13) 为线性偏微分方程; 当 K 、 ρ 、 c 为时间的函数或 $\bar{q}$ 为时间的函数时, 式 (1-13) 为非线性偏微分方程。

下面给出几种特殊情况的导热方程:

1) 无内热源, 即不考虑岩石的放射性生热时的稳态导热微分方程: $\bar{q} = 0$, $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = 0 \quad (1-14)$$

稳态温度分布的表达式简化为:

一维情况: $T = f(x)$

二维情况: $T = f(x, y)$

三维情况: $T = f(x, y, z)$

2) 无内热源的非稳态导热方程 (傅立叶方程): $\bar{q} = 0$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (1-15)$$

一维非稳态情况下的导热方程可写为:

$$T(z, t) = T_0 + q(t)Z/K(z, t) - A(z, t)z^2/2K(z, t) \quad (1-16)$$

式中 z ——深度, m;

t ——时间。

式中的热流、岩石热导率和生热率均是随温度变化的。

3) 有内热源, 即考虑岩石的放射性生热时的稳态导热方程 (泊松方程): $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \bar{q}/K = 0 \quad (1-17)$$

4) 有内热源非稳态导热方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) + \frac{\bar{q}}{\rho c} \quad (1-18)$$

二、热对流

对流是指流体各部分之间发生相对位移, 冷热流体相互渗混所引起的热量传递方式。对流仅能发生在流体中, 而且必然伴随有导热现象。工程上有自然对流和强制对流之分, 前者如暖气片, 后者如水泵、风机等。对流换热的基本计算式采用牛顿冷却公式:

当流体吸收热时:

$$q = \alpha(t_w - t_f) \quad (1-19)$$

当流体释放热时:

$$q = \alpha(t_f - t_w) \quad (1-20)$$

式中 t_w ——壁面的温度;

t_f ——流体温度;

α ——对流换热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, 它取决于流体的热导率、粘度、密度、比热容及换热表面的形状和位置等因素。一般空气的对流换热系数为 $3 \sim 10$, 而水自然对流的换热系数为 $200 \sim 1000$, 水强制对流的换热系数为 $1000 \sim 15000$ 。例如, 加热水时由于水的导热很慢 ($K < 0.5 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$), 若无对流传热, 将一壶水加热到沸点将需很长的时间。此外, 还有地幔对流等。

三、热辐射

物体通过电磁波来传递能量的方式为辐射, 其中因热的原因而发出辐射能的现象称为热辐射。热辐射可以在真空传播, 而导热、对流这两种热传递方式只有在物质存在的条件下才能进行。热辐射区别于导热和对流的另一特点是它不仅产生能量的转移, 而且还伴随能量形式的转化, 即发射时从热能转化为辐射能, 而被吸收时又从辐射能转变为热能。物体辐射的能力与温度有关:

$$Q = \epsilon F \delta_0 T^4 \quad (1-21)$$

式中 Q ——物体自身向外辐射的热量;

ϵ ——物体的黑度 (< 1);

δ_0 ——黑体辐射常数, 为自然数, 取 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$;

F ——表面积, m^2 ;

T ——绝对温度, K 。

第二节 地温资料的解释和分析

沉积盆地地温分布的研究主要是借助各种钻孔测试的温度数据, 这些数据包括试油温度数据、测井温度数据等。由于钻孔的目的是多种多样的, 因此对测温的要求也就不同。在油气田的勘探和开发中, 钻孔有勘探井、参数井、开采井及供水井等多种类型, 所以测温的目的和要求也就因之而异。勘探井和参数井主要了解油层的分布和生、储、盖层的特点并采取各参数, 对钻井测量的要求精度较高; 而开采井测温主要是了解钻井的密封程度, 采油前要求了解油层的压力和温度及油层的确切位置, 这时测量的是含油地层的静压和静温数据以及高压物理资料。而注水井和供水井则常用测井的方法 (包括温度的测量) 来了解水层的位

置、厚度及渗透性等参数。为上述目的而进行的钻井测温，获得的数据常因稳定时间的采用方法不同而具有不同的精度。因此，测温数据的来源是多途径的。但在区域地温场的研究中，必须选取具有一定深度的钻孔测温数据。如果钻井深度过浅，则受地表因素的干扰和影响；同时地下水的活动也常常影响对正常地温的了解。如地下水的径流速度，承压水层都会直接影响测温的结果。但在一定深度下可排除地表因素干扰（包括气温）的影响，而随深度的增加，地下水的径流速度将变得滞缓，这时岩温和地下水的温度将达到平衡。在一定深度上即可消除地下水的影响。

一、恒温带、变温带和增温带

地壳最表层的温度受地面温度周期性变化的影响是随着深度的增加而减弱的，至一定的深度这种影响即接近于消失，地温基本保持不变。地温常年保持恒定的层、带称为恒温带。年恒温带一般很薄，可看作一个面。恒温带以上由于太阳辐射热影响而具有周期性的变化，称为变温带或外热带。恒温带以下地温的变化受制于地球的内热，随着深度的增加而不断地增温，称为增温带或内热带。年恒温带的深度和相应的温度，在一定程度上反映一个地区近地表处浅层的热状况。在实际的地热研究中，它对区域地温场的评定及深层地温的预测、地热资源的普查与勘探都是十分有用的参数。一个地区恒温带的深度和温度可通过一个或一组浅孔的地温长期观测来确定。若一个地区无恒温带的资料，在实际工作中可将一个地区的年恒温带的深度大体估算为该地区气温日变化影响深度的 20 倍（表 1-1）。

表 1-1 我国一些地区恒温带数据（据余恒昌等，1991 修改）

地 区	深度 (m)	温度 (℃)	年平均气温 (℃)	平均地表气温 (℃)
辽宁抚顺	20~30	10.5	7.4	8.3
辽宁营口	20~30	10	—	—
河北怀来	14	9.0	8.5	10.6
河北唐山	35	12.7	10.7	12.9
天 津	32	13.6	12.8	13.5
河北雄县	15	13.9	—	—
山东东营	20	14.5	12.5	14.9
河南新郑	19	16.5	—	—
陕西蓝田	20	16.6	13.5	—
河南平顶山	15~20	16.9	14.8	17.2
河南确山	20	16.2	—	—
安徽淮南	20~30	16.8	15.5	—
安徽庐江	25	18.9	15	—
广西合山	20	23.0	—	—
广东湛江	15	26.0	23.0	26.1

二、系统稳态测温

地温分布研究的主要依据是钻孔测温。钻孔测温旨在借助于测量井液温度显示地下岩层的原始温度，这是研究区域地温场最直接的方法。在钻孔中要测得一条温度随深度变化的曲线一般都较容易做到，但要真正得到代表该地区的真实地温状况的地温曲线却不容易。首先