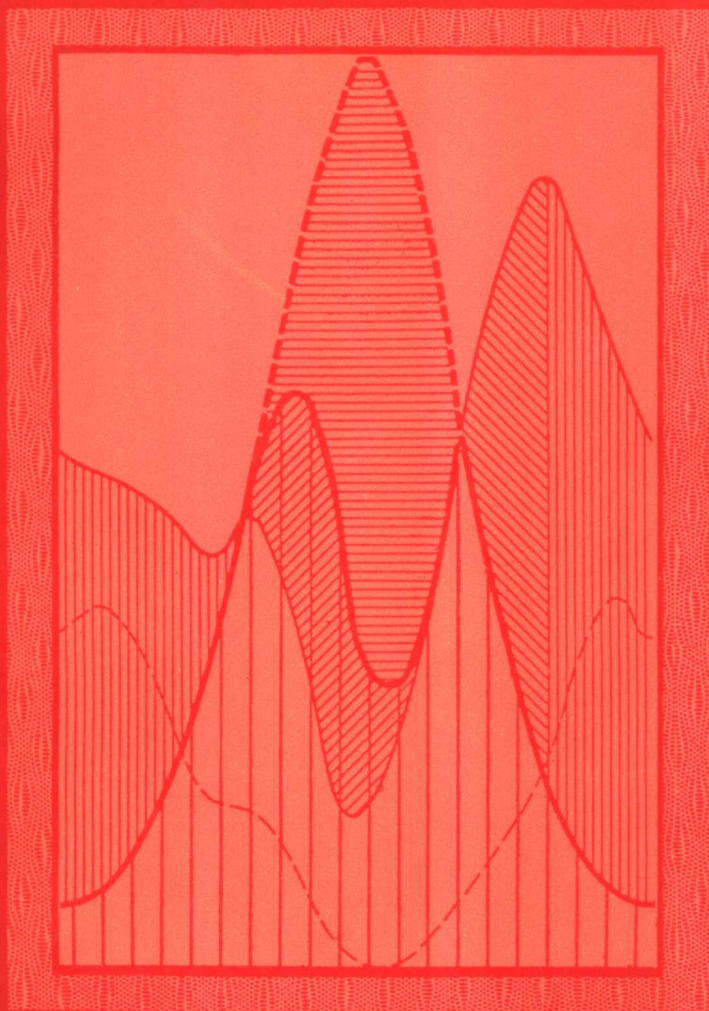


地热基础理论研究



地质出版社

地热基础理论研究

·王维勇 黄尚瑶等译选

地质出版社

地热基础理论研究

王维勇 黄尚瑶等译选

*

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：朱庆陞

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：11⁷/₈ 字数：316,000

1982年11月北京第一版·1982年11月北京第一次印刷

印数1—2,600册·定价1.90元

统一书号：15038·新817

目 录

地热基础理论研究及其在地热资源勘查与评价中的应 用	1
地球热学	31
地热研究中的环境同位素	77
日本的地热资源评价	104
拉德瑞罗地热区的水文平衡	117
地热系统的放射性	134
海洋扩张带中地热田的研究——以阿萨勒裂谷为例	151
人工地热储	170
采矿工业中利用干岩地热资源的理论和实验基础	186
岩石和水的非色散软x-射线荧光分析	206
利用汞勘探地热区——一种新的地球化学方法	212
冰岛西南部热水流的水文模型	228
地热储的多项多维模型	241
地热系统的数学模型	261
质量和能量在多孔介质中的传输	276
美国蒙大拿州马里斯维尔地热区的地质勘查与地球物 理勘探	291
斯洛伐克多瑙河流域中部洼地的地热资源	306
在深钻井中直接测量地温梯度的一种比较准确的新方 法	335
加利福尼亚州盖依塞尔蒸汽田第三纪前地质和地热资 源的构造控制	343
二氧化硅热流的解释方法：假设和应用	361

地热基础理论研究及其 在地热资源勘查与评价中的应用

黄尚瑶 郑克桠

前 言

地球内部蕴藏着巨大的热能，它通过火山爆发、间歇喷泉、温泉等途径源源不断地向地表散发。据近年来所取得的大量资料证明，高温地热资源的分布往往与近代火山活动、地壳断裂作用及年青的造山运动紧密相关，而且与地壳板块的边界和全球地震带的轮廓相一致。

地热学已逐步发展成为一门独立的学科。近年来，无论是理论地热学，还是应用地热学，都已取得显著的进展，地热基础理论的研究已为地热资源的勘查与评价打下了扎实的基础，成为地热工作的先导。

地热基础理论的研究与应用

地热学 (Geothermics) 或地球的热学，是地球物理学的一个重要分支，是从本世纪中期发展起来的一门新学科。随着地热基础理论研究的不断深入及其实际应用范畴的日益扩大，地热学又逐步发展为理论地热学和应用地热学两个组成部分。这两个组成部分之间有着密切的联系，前者是后者的基础，而后者的发展又不断以大量的实际资料丰富前者 (见图1)。

(一) 理论地热学研究的一些成果

理论地热学是关于地球全部热现象和热历史的一门基础科

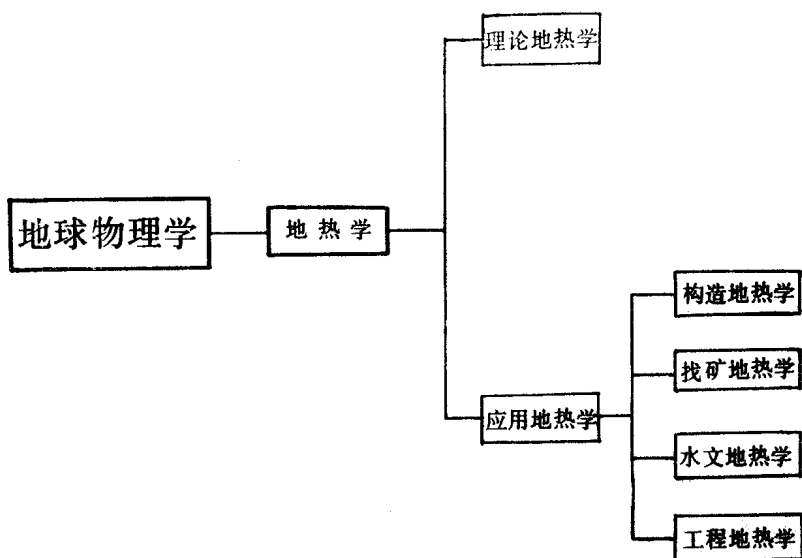


图 1 地热学的发展

学，其基本任务在于认识和掌握地球这个大热库中一切热现象的表现形式、热能的空间分布和变化发展过程、热能的来源及其发展运动的规律等。它所研究的内容主要包括地球热场随空间与时间变化的规律、地球内部的热源、地球内部的热状态、热历史以及与此相关的地球起源、演化与地壳运动等问题。世界许多著名地质学家（包括我国杰出的地质学家李四光）都对上述理论地热学研究进行了论述。尤其是近年来，某些问题的研究已取得了明显的进展。

(1) 地球热场随空间与时间的变化

地球的热场，也称地球的温度场、地温场或地热场，它与地球的电场、重力场、磁场一样，是地球的物理场之一。

地球的热场表示地球内部各层中温度的分布状态，是地球内部空间各点在某一瞬间的温度值的总和。

地球热场的数学表示式如下：

$$T = f(x, y, z, \tau)$$

式中 x, y, z 为空间座标, τ 为时间。此式指非稳定热场, 表示地球内部温度分布不仅取决于空间位置, 而且还随时间进程而变化。如果地球内部某点的温度随时间进程不变, 即

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = 0,$$

则指稳定热场。

通过钻孔与矿山测温获得的大量温度数据表明, 地球愈往深处, 地温愈高。从地球表面到地心, 地球按其构造可分为地壳、地幔及地核三层, 各层温度的分布状况和热场的特征都各不相同。人们通常所说的热场, 是指地球上部能够直接量测到的部分。

根据地壳表层七至八公里以内 (主要是在三公里深度以内) 的地温观测资料, 地壳中地温分布的状态大致可分为三带: 即变温带 (也称外热带)、常温带 (也称恒温层) 及增温带 (也称内热带)。地表及浅部的热场主要取决于太阳的辐射, 即进出地表的热量。由于太阳辐射热的影响, 地壳表部的温度常常发生明显的日变化、年变化和多年变化 (甚至世纪变化), 这就是所说的变温带。变温带又可分为日变温带 (深度1—2米)、年变温带 (深度约15—30米) 以及多年变温带 (分布在多年冻土区, 深度可达800—1000米)。温度的世纪变化深度有时可达1公里以上。变温带温度的变幅按一定的规律随深度而递减。变温带以下, 在地壳某一深度的地带内, 地球内部的热能与上层变温带的影响相对达到平衡, 温度不再发生变化, 即称常温带或恒温层。年常温带的埋藏深度, 也就是年变温带的影响深度, 因地区而异; 其温度各地不一, 主要与地区纬度、地理位置、气候、岩性及植被等有关, 一般都高于当地年平均气温1—2℃。常温带以下即进入增温带, 此带的地温状态及热场的分布主要取决于地球的内热, 一般地说, 温度是向地球中心的方向递增的。但到一定的深度后, 增温的速度变缓。为了研究地球内部或地壳个别地段的热场特征, 并获得其量的概念, 必须测定地壳某一确定点的温度, 了解不同地区的地温梯度或热流密度, 为此还必须研究岩石的热物理性质。

热流密度，即大地热流，或简称热流，是表征地球热场的一个重要物理量，一般用它来表示地球内部热能向地球表面散失的状况。所谓大地热流，系指单位时间内通过地球表面单位面积散失的热流量。根据稳定热传导原理，它等于岩石导热率与相应地温梯度的乘积，即：

$$q = -k \frac{dT}{dz}$$

式中： q —— 热流密度或热流，微卡/平方厘米·秒；

k —— 岩石导热率，微卡/厘米·度·秒；

T —— 温度，℃；

z —— 深度，厘米。

当岩石导热率恒定时，热流与地温梯度成反比。式中负号表示热量流向温度减少的方向，即由地球内部流向地表。热流通常以微卡/平方厘米·秒或 10^{-6} 卡/平方厘米·秒表示，其缩写符号为 HFU，称热流单位。

地球内部的热能向地球表面传递的方式有三种：热传导、热对流和热幅射。通常仅按上式计算传导热流，而没有考虑热对流和热幅射的热流值。实际上，在有些地区（如现代火山区及高温地热区），对流热流和幅射热流的综合影响还是很大的，近年来已引起一些学者的重视。

热流测量工作最早始于1939年，由 E. C. 布拉德以及 A. E. 本菲尔德分别在南非和英国进行的。到1955年止，全球热流数据还不足100个。以后，随着板块构造学说的兴起和发展，热流测量数据迅速增加，至1975年已增加到5417个，其中海洋的热流测量数据为陆地的两倍多。近年来，总的趋势是不断扩大热流测量范围，估计热流数据已在6000个以上。我国在七十年代以后才逐步开展此项工作，在华北地区取得第一批热流数据。

近20多年来获得的大量热流数据表明，海洋和大陆的热流值几近相等（大陆平均热流为1.46热流单位，海洋平均热流为1.47热流单位），这推翻了过去关于大陆热流量要大大超过海洋的论

断。这一现象已由板块学说的“对流模型”得到解释，即认为海洋地壳基于损失花岗岩层而不足的热流部分系由海壳之下海幔的对流所提供的。

全球热流数据还表明，地球热场分布随时间和空间的变化，与地壳运动和构造活动性之间有着密切的关系。目前，全球热流分布已成为板块构造学说的主要依据之一。1970年李氏按照热流标准偏差值 σ 制图，发现 $\sigma > 0.5$ 的地方，正好与活动地壳板块的边界相吻合。在大陆上，古老地盾的热流值较低，而现代火山带、新生代岩浆活动带有着显著的高热流。在大洋中脊发现高热流，而在深海沟处常具低热流。在岛弧地区的火山地带和边缘海亦见有高热流。地球内部温度场的这种分布，论证了板块构造学说，即上地幔高温炽热物质在洋中脊不断上涌并逐渐向两侧推移，直至海沟处冷却下来的岩石圈板块重新插入上地幔软流圈，渐趋消亡，构成“传送带”形式。

斯克莱特(1970)及波里亚克等(1968)根据大陆不同地质构造单元热流值统计结果，发现热流值、构造活动性与构造运动时代之间存在很好的一致性。T. 博尔迪扎尔(1970)计算了地壳各个不同时期的热流量，发现离现在最近的三次变化，即热流的高峰值分别在距今一亿八千万年、二至三亿年及三至五亿年前，在地质时期上分别与加里东、华力西及阿尔卑斯三次造山运动很相似，说明历史上和现今观测到的高热流，分别与历史上和现今的构造变动密切相关。

(2) 地球内部的热源问题

如上所述，地球内部热场的分布及其随空间与时间的变化，是受地球的内热所控制。但地球内部为什么能够产生这样大的热量，这个问题直接涉及地球的起源和演化的过程。关于地球的起源有种种假说，这些假说虽然在对地球的原始热状态及有无残余热问题上存在很大分歧，但都一致认为，在地球内部岩石和矿物中，具有足够丰度的，生热率较高且半衰期与地球年龄相当的放射性元素(如铀²³⁸、铀²³⁵、钍²³²和钾⁴⁰等)衰变时所释放的巨大

热量，构成了地球内部的主要热源。地球化学研究表明，这些长寿命的放射性元素在地球演化和分异过程中集中在上地幔顶部和地壳中，在大陆地壳的酸性岩浆(如花岗岩)中最为富集，而在基性、超基性岩(如玄武岩、橄榄岩、榴辉岩)中含量甚低。花岗岩、玄武岩和橄榄岩的生热率分别为 818.0×10^{-8} 、 120.5×10^{-9} 及 2.26×10^{-8} 卡/克·年，相差数倍至数百倍。近年来，还有人认为，在地球的初始加热中，短寿命的放射性元素，如铀²³⁶、钍¹⁴⁶、钷²⁴⁴和钷²⁴⁷等，也起过较大的作用，它们能在地球最初形成后 10^7 — 10^8 年间对地球加热。据估计，产生的热量大约 20 倍于钾⁴⁰所产生的热量。放射性元素衰变时产生的巨大热能形成了地球内部的增温，也影响到了整个地球的热状态及地表热场的形成和分布。

放射性衰变能(也称放射热)是地球内热的主要来源，构成地球内热的其他热源还有重力分异热、潮汐摩擦热、化学反应热等，但其所占比例较小。

(3) 地球内部的热状态和热历史

地球内部产生的巨大热能，通过岩石热传导、火山爆发、温泉、地震等形式不断地向外散失。地球内部的热状态与地球的热平衡状态，即其生热和散热的条件有关。

据推算，地壳热流量总计每年约 9.5×10^{20} 焦耳，在全球散热量中占主导地位，而火山、温泉、地震等所释放出的能量则居次要地位，大致分别为 3×10^{19} 、 2×10^{18} 及 $(4-7) \times 10^{17}$ 焦耳。另一方面，地球放射性元素衰变产生的能量，目前估算每年为 9.5×10^{20} 焦耳。上述两方面的支出和收入大致平衡，也就是说，地球的生热量及其散热量大体相等。因此，目前认为地球基本处于热平衡状态。

地球内部的温度分布，代表地球内部的热状态。迄今，地球深部的温度尚无法直接测得，因为当前的钻探能力最深只能打到 7000—10000 米，温度观测最深也超不过这一深度。在此深度以下的温度，一般则根据地球的初始温度和热源分布等边界条件求解热传导方程获得，或根据地球物理、地球化学资料间接进行推

断。最近，除利用地震波及电磁波等手段外，还用一种地质温度计（即辉石温度计）来估算地球内部的温度。许多学者对地球内部的温度都进行过估算，但由于所假设的边界条件不同，推断的结果也有差异（如古登堡、留比莫娃、维尔胡根等）。近年来，多引用 F. 普雷斯（1974）所给出的地球内部的温度数据。F. 普雷斯根据 D. L. 安德森等人所作高压下铁熔融试验曲线并结合地球物理探测资料，给出了地球内部温度曲线。曲线上几处有代表性的温度如下：100 公里（上地幔顶部局部熔融开始）——1100—1200℃；400 公里（上、下地幔边界）——1900℃；2900 公里（地幔、地核边界）——3700℃；5100 公里（内外地核边界）——4300℃；6371 公里（地心）——4500℃。

地球的热历史涉及地球的起源和演化问题。要计算和演绎地球的热历史，就必须了解地球的初始温度状况。目前，多数人认为，原始地球是由原始星际物质（即一些低温的尘埃，气体和陨石的混合物）在相互碰撞、积聚中形成的，这时它的大部分动能转换成热能。另一方面，开始堆积起来的原始星际物质，在重力作用下逐渐压密，在此过程中，位能也转换成热能。这些热能使原始地球内部的温度升高，有人估计原始地球内部的平均温度约在 1000℃ 左右。当原始地球形成后，星际物质撞击生热和重力压密转换热就逐步退居次要地位，而放射性衰变能取代成为主要热源。…在原始地球分异过程中温度起着决定性作用，地球内部的巨大热能构成了推动整个地球发展的主要动力。可以说，整个地球的发展史，在某种意义上，是一部地球的热发展史。

（二）应用地热学的发展

应用地热学是将地热基础理论与方法应用于研究和解决构造地质学、地热田、油气田、煤田和某些固体金属矿田地质与勘查、水文地质学和工程地质学（包括矿井或大型隧洞等地下工程温度预测）有关问题的一门新的应用科学。近年来，随着板块构造学说的兴起和发展，以及各种矿产资源（尤其是地热资源）的

研究与勘查工作的加强,应用地热学逐步发展成为地热学的一个重要分支。各地长时期积累起来的有关地热研究与实际应用方面的大量成果,为应用地热学的发展奠定了基础。

应用地热学涉及的领域很广。在1979年我们曾对地热学的应用范畴、研究和解决的问题以及采用的方法等进行了概括和综述。随着科学技术的发展及各学科间的相互渗透,应用地热学按其不同的应用范畴,又可细分出若干边缘的分支学科,如构造地热学,找矿地热学,水文地热学以及工程地热学等。现将有关问题简述如下。

(1) 构造地热学

近年来,在构造地质学中应用地热学理论与方法圈定地壳深部构造(如闭合构造及区域性断裂)及确定断裂的活动性,都已取得一定成果。地温场的分布与基底起伏及褶皱构造的形态常常具有很好的一致性,如我国某地以900米深度的温度值作比较,背斜构造顶部与翼部的温度差值可达3—7℃。从等温剖面上可以看出,构造隆起的地方等温面也有向上突起的趋势。因此,地温或热流测量的结果,常常能够有效地圈定基底构造形态及各种形态的褶皱构造。目前,这方面的工作尚有待深入。

(2) 找矿地热学

油气田地质与勘探。地热与油气田的关系十分密切。我国、美国和苏联在油气田勘探过程中获得大量的地下热水资源,而有的国家(如匈牙利)则在寻找地热过程中发现油田。这说明地球热场与油气生成、运移和聚集之间,存在着内在的联系。近年来,一些国家(如美国,苏联等)在油气勘探中大力加强地温研究工作,通过地热异常的研究寻找含油气有利构造并取得一定成果。此外,为了探索油气生成、运移和聚集规律与古地温环境的关系以指导找油,有的国家开展了古地温研究。我国一些科研单位与油田已着手研究油田地温(或古地温)分布与油气关系、研究成油规律及寻求找油的可能性。有的油田为解决油田开采中的结蜡问题和提高采油率,开展了岩石比热测定及利用油田热水回

灌的研究。许多国家（包括我国）在油气勘探中广泛应用井温测量，在钻孔剖面内有效地确定含油气层位及油气水界面。

煤田地质与勘探。由于煤层导热率小于周围岩层以及煤层可能发生氧化作用放热而形成局部热源，在钻孔煤层集中的井段，地温梯度显著增大，因此，一般根据煤田钻孔温度曲线，可以有效地确定煤层厚度和位置。此外，根据煤岩变质程度与古地温场关系来预测煤田远景的工作，需要着手进行研究。

某些固体矿产地质与勘探。近年来，国外在一些热异常区陆续发现含铁、锰、锌、铜、铅和金、银等金属及富含钾、铯、碘等的高矿化热卤水，如美国加利福尼亚索尔顿湖，盖依塞尔、苏联里海的切列肯和堪察加，以及红海、东太平洋中脊等地。这些热卤水在部分矿床金属元素的搬运和富集中起着重要作用。国外有人提出“现代热液成矿”的理论，并应用这一理论研究一些金属矿床的成因和指导找矿工作。看来，其经济意义，在某种程度上或许会大大超过地热卤水作为热能的利用。我国一些铀矿区已开展铀矿热液成因问题的研究。有的国家正在着手研究地球热力活动与某些金属矿床分布和形成的关系以预测矿床远景。在矿床勘查中，有些国家（如苏联，捷克斯洛伐克）在应用测温勘探方法找矿及根据钻孔剖面测温曲线的形态确定含盐层和硫化物矿体的位置等方面，都已取得良好效果。

（3）水文地热学

地下水的运动是影响岩石圈上部温度场分布的最活跃的因素。在不同的水文地质条件下，或对围岩起冷却作用，或起加热作用，并常常在隆起区相对低洼的地方或平原地区基底顶面相对隆起的地方，沿断裂构造带上涌形成局部地热异常（在后一种情况下为地热盲异常）。因此，可以应用地热学理论与方法去研究和解决水文地质学中的某些实际问题。目前，国内外都已普遍根据地下水温度与围岩温度的平衡条件、地热参数及等温线在水平方向和垂直剖面内的变化形态等，确定地下水的流速与流向以及自流盆地或承压水系的补给、径流和排泄条件。有的国家（如捷克

斯洛伐克)在岩溶地区根据岩石和气流温度的不同,应用地温测量来探测地下溶洞的位置,效果显著。在干旱、半干旱地区,国外已有人提出根据孔隙介质中气流和水流的温度差异寻找地下水源的可能性。此外,在水文地质及油气田勘查中,常常应用人工激发热场法,在钻孔剖面内确定进水带及强烈吸水带的位置并已取得良好效果。

(4) 工程地热学

矿山“热害”的研究。由于开矿深度不断增加,采矿工作面单产不断提高,井下“热害”问题已日益突出。目前,世界一些矿井最大开采深度已在1000米以上,如西德鲁尔矿区开采深度为1250米,井下岩石平均温度为38℃,最高达60℃。我国某矿开采深度已近1000米,井下温度达40—50℃。井下高温工作面因条件恶劣(巷道温度已大大超过规定标准),矿山生产与矿工身体健康受到严重威胁。有的矿山因井下高温而被废弃或暂缓开拓。我国一些煤矿、铅矿、氟石矿、铀矿、铜矿、铁矿等都在一定程度上先后遇到井下“热害”问题。有关部门已根据不同情况采取相应对策。煤炭部门自1975年以来举行了五次全国地温工作技术座谈会,制订了煤田地温工作规范。我国一些矿山配合有关科研和设计单位开展矿山地温研究工作,已取得显著成果。

地热研究除在矿山岩温预测及“热害”治理方面获得应用外,迄今尚未广泛应用于研究和解决有关工程地质问题,如地下大型隧洞工程岩温预测及岩石力学性质的变化与温度的关系等。近年来,有些国家(如波兰)为评价岩体的稳定性探讨了大地热流与岩石力学性质的关系。

地热资源勘查与评价

将地热基础理论与方法应用于地热资源普查、勘探与评价,是一项十分重要的工作。迄今,在世界各国已经勘查与评价的地热田,估计在五十处以上。地热基础理论与方法在这些地热区业

已获得有效的应用，本文将在下面介绍一些实例。但应指出，在个别热田勘查中，地热基础研究工作尚未引起足够重视，而是急于求成，匆忙上钻，结果适得其反。勘探结束后，虽已耗费大量资金，但热田地质构造、热储赋存条件及潜力等均未搞清，这方面的教训值得汲取。

在热田勘查与评价中，自始至终都要应用地热基础理论作指导，以查明地热异常的空间分布及其随时间的变化，摸清热田的地质背景、地热流体分布及形成特征、热田模型及热源性质等，并对其工业意义进行综合评价。要以最少的钻探工作量获得最大的勘探效果，以便最终有可能对地热田进行经济合理的开发。

（一）地热异常的形成及其区域分布规律的研究

在研究区域地热条件及地热资源的勘查中，首先应按热流值或地温梯度值，区分地热正常区和地热异常区。热流值或地温梯度值等于或接近地壳热流或地温梯度平均值的地区，称为地热正常区。热流值或地温梯度值高于（或低于）地壳热流或地温梯度平均值的地区，称为地热正异常区（或地热负异常区）。通常所说的地热异常，是指地热正异常。

在地壳上部、地温的分布是不均匀的，在等温面突起、间隔较小的地方，就是所谓“地热异常区（或带）”。如前所述，许多有用矿产，如石油、天然气、某些金属矿、盐丘及地热资源等，与局部地热异常有着密切的成因联系，地热异常成为寻找这些有用矿产的标志，这一点已为找矿地热学的发展奠定了基础。

研究地热异常的形成，首先要搞清热源的性质。地球内部的热源问题，是理论地热学研究的一个重要内容，这已在前面论及。这里要讨论的是地热区的热源问题，尤其值得探讨的是地球内部的热源，如放射性元素的衰变热是否能成为地热区的直接热源，上新世以前的火成活动是否还有残余热为现代地热活动提供热源等问题。

大家知道，放射性元素衰变产生的巨大热量，大量聚集于地

壳及上地幔顶部。据不同深度岩石的生热率估算热源分布的情况，0—100公里占50%；100—400公里占48%；在400公里以下仅占2%。放射性衰变热的聚集足以形成地球内部的增温，但在地壳上部，这一热量的积累是很微弱的，不足以形成对岩层及流体加热构成地热异常区的高温热源。目前，在世界各地比较普遍地见到放射性强的地下水水温不高，而放射性弱的地下水水温反而高，这种现象就是一个明证。不仅在放射性矿床勘探开发中发现热水，在其他矿产（如铁矿、铜铅锌等多金属矿、氟石矿、煤矿、油气等）勘探开发中也常常遇到热水。由此可见，那种认为放射性矿床的地下热水是由于放射性衰变热直接“烘烤”和加热的观点，是不正确的。

我们认为地热区的热源有两种，一种是来自近代火山作用及岩浆活动（火山热源及岩浆热源）；另一种是地下水在深循环过程中在地球内部正常增温的情况下所获得的热量。

在板块边界发生的近代火山作用与岩浆活动（地壳重熔作用）对地热异常的形成起很大的作用。在未冷凝的火山物质和侵入的岩浆体等高温热源体的强烈影响下，常常形成高强度地热异常区或高温地热区，其热流值及地温梯度值，一般要比地壳平均值高出几倍至几十倍。世界著名的高温地热区都分布在第四纪火山活动区，其热源与现代火山密切相关，因而具有很高的地温梯度值，如美国新墨西哥州瓦勒斯为 $18^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ ，意大利蒙特阿米亚特为 $20-30^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ ，新西兰怀腊开为 $30-40^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ ，日本白根山火山附近为 $24^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ ，苏联堪察加为 $10-100^{\circ}\text{C}/\text{百米}$ 。

据现有资料，我国有600多座火山，与近代火山作用有关的地热异常区仅分布在云南腾冲及台湾等地壳强烈活动地区。黑龙江省五大莲池火山群中老黑山和火烧山，虽于1719年和1720—1721年间两次喷发，距今不到300年，但在浅部未发现明显的地热异常，地下水为具有医疗价值的冷碳酸水（与火山期后的放气现象有关）。雷州半岛和海南岛北部一些第四纪火山区，地表也未发现地热异常，地下水为常温水。

我国在解释一些温泉区的热源性质时，通常习惯将其归结于岩浆活动余热的影响（如东南沿海一带广泛分布的燕山期花岗岩体）。我们知道，在漫长的地质史中，曾发生过多期岩浆活动。岩浆活动在形成地热异常中所起的作用大小，与岩浆侵入的地质时代有关——时代越新，所保留的余热就越多，所形成的地热异常区也就越强烈。当然，除地质时代外，侵入岩体的规模、埋藏深度及覆盖层保温条件也起着一定的作用。据估算，第四纪以前地质时期中岩浆活动所产生的余热是可以忽略的，因为在长期的地质历史过程中，热量早已散失殆尽。对于上新世以前的火山喷发活动，情况也是如此。

世界一些著名的高温地热田，如意大利的拉德瑞罗、土耳其的克泽尔代尔以及我国西藏羊八井等，无近代火山作用发生。这些地方高温地热异常的形成，被认为与近期岩浆侵入活动（地壳重熔作用）有关。

除上述火山热源及岩浆热源外，外成作用也能产生局部热源而形成地热异常。外成作用一般包括煤层和硫化物矿体的氧化作用、地下气体或煤层燃烧等，在其影响下，地壳上部的温度场有时可能遭到严重的破坏。苏联巴什基尔的杨甘陶“热山”地热异常的形成，可以作为一个典型的例子。这里，在巨厚的泥灰岩层中，由于有机物氧化作用的放热过程形成高温异常中心。地下50米深处温度为150—270℃，90米深处可高达380℃。在高温异常中心区以下，可观测到正常的温度梯度。

由地下水的深循环加热作用所形成的地热异常，无论是在板块内部的地壳隆起区，还是在沉降区，都有广泛的分布。地下水是强大的载热体，它将地下热能从深部传递到地表。大气降水渗入地壳内部，经正常地温梯度加热后，在静水压力作用下，沿构造通道涌出地表或赋存于地壳浅部，形成局部地热异常区。在后一种情况下，形成“盲异常”，即隐伏热异常。

目前，世界各处（包括洋底）的大多数地热异常区，无论是区域地热异常还是局部地热异常，都是地下热水、热卤水或地热