

地下热水普查勘探方法

地质出版社

山水林田湖草沙



1457/36

地下热水普查勘探方法

水文地质工程地质研究所编著

地质出版社

地下热水普查勘探方法
水文地质工程地质研究所编著
内部发行

*

地质局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1973年3月北京第一版·1974年8月北京第二次印刷
印数7,601—10,830册·定价0.50元
统一书号: 15038·新17

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

人们为着要在自然界里得到自由，
就要用自然科学来了解自然，克服自然
和改造自然，从自然里得到自由。

人类总得不断地总结经验，有所发
现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

地球是一个庞大的热库，蕴藏着丰富的热能资源。地下水作为一种导热物质把地下热能源源不断地带到地表，成为地下热水供人们利用。近几十年来，地下热水开始比较广泛地用于发电、工业锅炉、农业灌溉、医疗卫生、居民饮用以及提取矿物原料等方面。尤其是它作为一种新的能源，用于工业中，对节约燃料、改变燃料构成有着重要意义。

过去我国地质工作者，在某些地区对地下热水曾进行过研究，积累了一些资料，由于叛徒、内奸、工贼刘少奇反革命修正主义路线的干扰，进展缓慢。无产阶级文化大革命以来，在毛主席革命路线指引下，地下热水的开发利用工作得到了较大发展，目前已有二十几个省、市、自治区开展了地下热水的普查勘探工作。他们不仅在已知的地下热水露头点附近进行工作，而且在没有地下热水出露的平原区、隐伏的构造盆地打出了地下热水。

遵照伟大领袖毛主席“**要认真总结经验**”的教导，为了进一步推动地下热水的开发利用，我们将近年来我国广大地质职工积累的宝贵经验和资料，结合自己的体会，编写了这本《地下热水普查勘探方法》。在编写过程中，曾得到北京、天津、广东、辽宁、河北等省市有关部门和同志的积极支持与帮助。由于我们实践经验不足，水平有限，编写时间仓促，书中缺点错误之处，请批评指正。

目 录

前言

第一章 地热与地下热水的基本知识.....	1
一、地热	1
(一) 地球热能的来源	1
(二) 地热的分布状态	3
(三) 地热梯度的概念	4
(四) 地质构造对地温的影响	5
二、地下热水	8
(一) 地下热水温度分类	9
(二) 地下热水的水化学特征	10
第二章 中国地下热水的分布特点.....	20
一、地下热水与地质构造的关系	20
二、地下热水基本类型及其主要特征	27
(一) 隆起带地下热水	29
(二) 沉降带地下热水	30
(三) 近期岩浆活动带地下热水	31
第三章 地下热水的普查勘探方法.....	32
一、寻找地下热水的一些标志	32
(一) 地名	32
(二) 地植物和农作物的生长情况	32
(三) 积雪动态	33
(四) 地方病症	33
二、地质-水文地质调查	34
(一) 地质测绘工作量的确定	34
(二) 地质测绘中应注意的一些地质-水文地质问题	34
三、水文地球化学勘探方法	38
(一) 不同地热勘探阶段的水文地球化学工作	39

(二) 野外调查工作	40
(三) 资料整理及各种图件的编制	42
四、测温勘探方法 (地热异常调查)	47
(一) 直接测温	47
(二) 热测井	52
(三) 地表热流量的测定	54
五、地球物理勘探方法	55
(一) 电法勘探	55
(二) 重力勘探	64
(三) 其他方法	66
六、勘探网的布置原则和钻探工作	67
第四章 地下热水勘探工作中水文地质试验方法	70
一、地下热水钻孔的水文地质观测及其动态研究	70
(一) 钻孔水文地质观测内容	70
(二) 观测方法与要求	70
(三) 地下热水的动态研究	72
二、地下热水钻孔的温度测量方法	74
(一) 最高水银温度计	75
(二) 半导体热敏电阻温度计	75
三、地下热水钻孔孔口压力与地层压力的测量方法	80
(一) 孔口压力的测量	80
(二) 地层压力的测量	82
四、地下热水的水化学研究方法	83
(一) 化学成分分析	83
(二) 气体成分分析	84
(三) 放射性元素分析	85
第五章 地下热水的储量评价	87
一、地下热水的水动力特征	87
二、参数的确定及其计算	88
三、地下热水的储量计算	91
(一) 广东某地热区地下热水储量计算实例	91
(二) 地下热水勘探中伴生气体的储量计算问题	101
第六章 地下热水的综合利用	103

一、地热发电 103

 (一) “降压扩容”地热发电方法 104

 (二) “中间介质”地热发电方法 105

 (三) 地下热水发电的水资源评价 107

 (四) 注意的问题 116

二、工业及民用热供水 117

 (一) 用途 117

 (二) 水质要求 118

 (三) 注意的问题 118

三、提取工业原料 120

 (一) 一般情况 120

 (二) 提取品位 121

四、农业温室及育秧灌溉 121

五、地下热水的医疗作用 123

第一章 地热与地下热水的基本知識

地球是一个庞大的热库，储藏着无穷无尽的热能，通过火山爆发、间歇喷泉、温泉等途径源源不断地流向地表。它是开辟自然能源的新来源，对于节约煤炭、石油，改变燃料构成，减少城市公害有重要意义。但是，对这个极为重要的问题，至今还没有进行过全面的调查研究，让这个随地可以取得的能量为人类的生活和生产服务。毛主席教导说：“**人們为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。**”研究地热的基本任务就是认识和掌握地球这个大热库热现象的表现形式、热动态（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，即是关于地球的全部热现象和热史的一门科学。研究地热，对于开发新能源和研究构造地质学、水文地质学、地球化学、地球物理学、火山学以及探讨地球起源和内部构造、地壳运动等理论问题方面，均具有意义。

随着近代科学技术的发展，地下热能已开始用于工业、农业、医疗卫生等国民经济各个方面。下面就地热、地下热水的某些概念简单介绍如下。

一 地 热

（一）地球热能的来源

地球的热源问题，是现代地质学中比较重要而复杂的问题之一，它直接与地球的形成和地球经历的过程有关。目前，由于对地球深部的研究还很不够，因此在解释地热来源的问题上说法不一。

归结起来，主要有以下几种说法：放射热、地球转动热、化

学反应热及重力分异热等。上述热源虽然都是来自地球自身内部的原因，但它们在地球内产生热的性质，至今还不十分清楚，各种热源所占的地位也是不尽相同的。

放射热是由于地球内部广泛分布的放射性物质蜕变而产生的热。这一热量是很大的。经计算，一克镭完全蜕变而放出的热量达 3.7×10^6 千卡，相当燃烧一克煤炭所产生热量的五十万倍。有的资料提到在地球 500—1000 公里的深度内，放射性元素最多，再往下含量开始减少。在上述深度内，放射性元素蜕变所产生的热量，由于地下100—500公里深处存在着低导热层，而大量的集中于地球的深处。有人估计，放射热相当于 1.2×10^{28} 尔格/年(1尔格= 2.39×10^{-8} 卡)。由此可见，地壳中放射性元素的存在和它的热态有着密切的关系。

地球转动热在地球的热源中占有重要地位。它主要由于地球自转时角速度的变更，引起非均质的地壳岩层水平位移和挤压而产生的机械热。这一变化使地球的外壳产生巨大的应力集中，使地壳遭到破坏。根据计算，地球转动热相当于 4.81×10^{28} 尔格/年，即放射热的四倍。地球自转角速度的变化与地壳运动的发生是密切相关的，它严格控制着各种类型构造体系的形成和分布，同时也控制着各种矿产与地下热水的形成和分布。

其他，还有重力分异热（相当于 1×10^{26} 尔格/年）及化学反应热等，但与其他热源相比在地球的热源中所起的作用是比较微小的。

地球内部的热能，随时间而源源不断地向外界散失。但这种散失与整个地球深部不断产生的热能比较，还是很微弱的，估计为 1×10^{28} 尔格/年，仅仅相当于太阳照射地球热量的五千分之一。其散失情况如下：

地球由于导热性散失的热量	2×10^{20} 卡/年
火山及温泉带出的热量	1×10^{17} — 1×10^{19} 卡/年
发生地震时消耗的热量	2×10^{20} 卡/年
总计	4.2×10^{20} 卡/年

地球内部热能向地表散失的状况通常用热流密度来表示即单位时间内通过单位面积的热流量。它是一个重要的地热参数，其计算方法是岩石的导热率与已测过温度的钻孔中该岩石地温梯度的乘积。根据热流可以了解深部地质构造、地球物理条件及深部地层的地质特征。观察表明，由地下流向地表的热流密度，在不同地区变动在 $0.7 \times 10^{-6} \sim 2.7 \times 10^{-6}$ 卡/厘米²·秒之间。而对地球整个表面，其平均值为 $1.2 \times 10^{-6} \sim 1.3 \times 10^{-6}$ 卡/厘米²·秒（即每年一平方厘米约40卡）。

（二）地热的分布状态

地温观测资料的深度就目前所知，可深达5000—7000米（即接近地球半径的1/1000），但绝大多数地温观测深度不超过3000米。所以，在现阶段对地温变化规律的认识仅限于这个深度。

地壳中地热的分布状态大致可分为三带：可变温度带，常温带及增温带。

受太阳辐射能影响的地壳上层，称为可变温度带。其热能来源于太阳的辐射和地球的内部。地球由太阳得到的热量大约为 5.4×10^{31} 尔格/年，这些热量大部被大气层及地球表部所吸收，而对地球内部自身的温度影响则很小。在这一带可观察到温度的昼夜、年度、多年甚至是世纪的周期变化。其变化因各地受太阳辐射情况不同而产生差异。变化幅度按一定的规律随深度而递减。例如：一昼夜内温度变化幅度为20℃时，这种周期性变化传到地球一米左右深处，其变化幅度就变为0.004℃。可变温度带的厚度不等，从十几米至几十米，大多数为15~20米。

当地球表部的某一深度，温度的变化幅度等于零时，称为常温带。根据温度变化周期之不同，可以分为昼夜常温带及年常温带等。这一带的厚度很薄，其特征是：地球内部的热能与上层可变温度带的影响，在这个带相对地达到平衡，地温是接近常温的。昼夜常温带的埋藏深度一般在地表下1~2米；年常温带一般在20~30米，它与地球表部温度的年变化幅度、土壤及岩石的物理性质以及水文地质条件等因素有关。根据热传导第三定律

$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}}$ ，如果已知昼夜常温带的深度，可以粗略的估算年常温带深度，即年常温带深度为昼夜常温带深度的19倍。年常温带的温度各地不一，它相当于当地地表的年平均温度，这个数字略高于当地的年平均气温，在相当于海平面的地区约高0.8℃，在海拔200—500米高处，大约高于当地年平均气温1~2℃。

钻探资料表明，常温带以下越向深处温度就越高，这一带则称为增温带。这一带主要受地球内热所控制，一般温度稳定的向下增加。大多数情况下向深处增加的速率越来越小，但也有速率增加或不变的情况。

（三）地热梯度的概念

一般用地热梯度来表示地温增加的规律。所谓地热梯度（地热增温率）是指每一单位深度内温度增加的数值，一般以℃/100米或℃/1公里来表示。

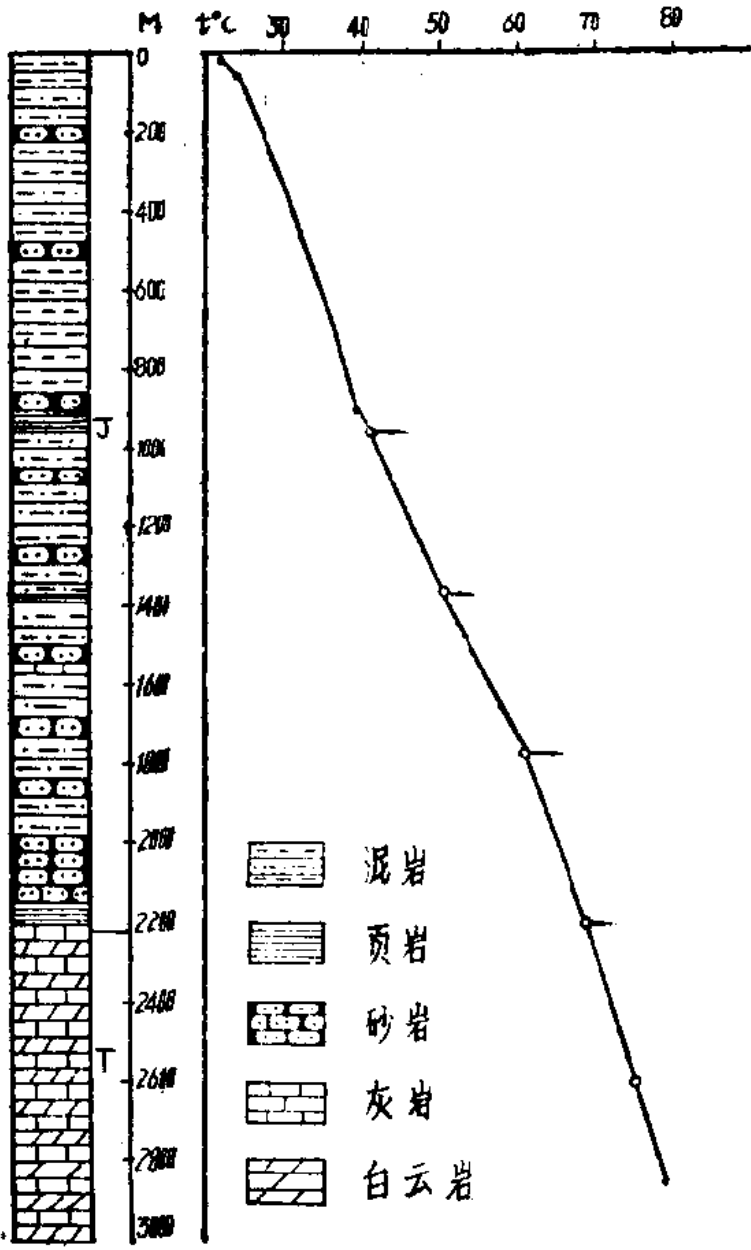


图 1 某深井岩性及温度变化图

地壳深处温度因地而异，变化颇大，甚至在相邻很近的几个钻孔中，也常常会测出不同的温度，因之地热梯度就不同。既使在同一个钻孔中，不同深度的地热梯度也不同，如广东省丰顺热水区某钻孔，在350米以下地热梯度由0.7℃/100米增至4℃/100米。也有相反的情况，如四川东部某深井，在2000米以上地热梯度基本保持在2.3—2.4℃/100米的范围（泥砂岩等）而在2000米以下则减为0.4~0.5℃/100米（灰岩、白云岩）。

从图 1 可明显的看出温度曲线的折曲处对应着岩层的分界面。

一个地区的地热梯度通常是根据该区的观测点的平均地热梯度得来。因此，它既包括每一钻孔横向的（观测点间）、也包括纵向的变化幅度。各地区的地热梯度值大致介于 $0.6\sim 10^{\circ}\text{C}/100$ 米之间，经常引用的 $3.0\sim 3.2^{\circ}\text{C}/100$ 米这样一个数字，是对沉积岩层测温资料的平均结果，是一个统计的平均值概念。这个数值与各个不同地质构造单元的地热梯度的实际数值有时差别很大。

下表是我国部分地区的地热梯度观测值，可以清楚的看出不同地区的差异（表1）：

我国部分地区地热梯度观测值 表 1

地 区	地 层 岩 性	平均地热梯度 ($^{\circ}\text{C}/100$ 米)	构 造 体 系
北京房山	花岗岩体	2.5	旋卷构造(?)
内蒙石拐子	侏罗纪砂页岩煤系地层 震旦纪(?)片麻岩	3.2 0.25—0.68	东西构造带
松辽平原	白垩纪伏龙泉组(砂岩、 泥岩层) K_2d_4 K_2d_3 K_2d_2 K_2d_1 白垩纪姚家组 白垩纪青口山组	3.2 3.4 4.2 4.5 3.0 4.4—4.7	新华夏系沉降带
四川某地	上侏罗纪砂岩泥岩	3.2	
华北某地	上第三纪泥岩、砂岩层 下第三纪泥岩、砂岩层	2.0—2.5 3.0—5.0	新华夏系沉降带

(根据地质力学研究所资料)

地热梯度的倒数称为地热陡度（地热增温级），即相当于温度每升高一度（ $^{\circ}\text{C}$ ）的距离，以米/ $^{\circ}\text{C}$ 表示。各地大致变化在12—180米/ $^{\circ}\text{C}$ 的范围内，如北京房山为50米/ $^{\circ}\text{C}$ ，四川某地为35米/ $^{\circ}\text{C}$ 。对整个地壳而言平均值为30~33米/ $^{\circ}\text{C}$ 。

（四）地质构造对地温的影响

地温分布的异常特征，与地质构造的型式和组成它们的岩石

性质有密切关系。

1. 地热梯度对每种构造单元都保持着一个相应的数值，即在有致密的古老结晶岩石组成的地区，地热梯度值最小，平均每100米不超过 $0.7-1^{\circ}\text{C}$ ；对于由致密碳酸盐岩石组成的古生代、中生代构造褶皱带及地台区，在每100米中为 $1\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ；在松软的（基本为陆相岩层）岩石所组成的新生代地块中，在每100米内达到 $2.5-6^{\circ}\text{C}$ ；而在现代火山活动地区每100米高于 10°C 。

这种规律性，一般解释为结晶岩体是由于致密的导热性良好的岩石组成；而在新褶皱带中的岩石导热性较低，并常有接近地面的侵入体存在的关系。

2. 在背斜构造的顶部，温度及地热梯度都较两翼为高。即使是在同一深度，由于构造

对应之温度分布

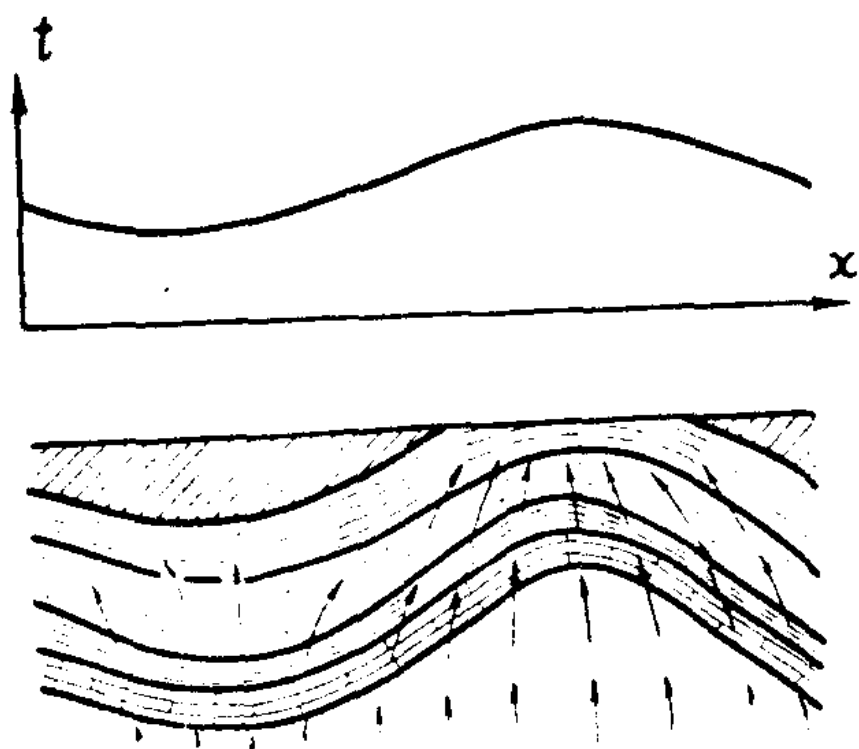


图 2 背斜及向斜区热流分布示意图

部位不同，顶部的温度比翼部的温度可高 $1-3^{\circ}\text{C}$ ，背斜构造顶部的热流密度也显著的增加，而在向斜区域热流密度、地热梯度较小，等地温面的间距加大。

这种特点，一般解释为沿岩石层面的导热性，大于垂直层面的导热性，因此，背斜构造顶部的热流密度大于两翼及向斜凹陷地方的热流密度（见图2）。这种现象同时也与岩石变质作用及沿裂隙深处的热水、热汽的上升有关。

如图3所示，根据温度平均梯度值与重力资料对比可以看出，局部重力高的范围，一般是热异常带，平均热梯度在 $4^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 以上；而在重力低的地区一般是低温区，平均地热梯度小于 $3^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。说明地热异常区基本上反映了基底的起伏情况。当然，这种关系也不是绝对的。在天津从现有资料看，除了上述构

变化（包括岩石密度随深度而增大）的情况，因为岩石的导热性是影响地球热状态的主要因素之一。由于各种岩石传热性能不同，在热流密度和其他条件相同的情况下，地热梯度与岩石导热率成反比，即导热良好的岩石（层）地热梯度小。其岩性不同所导致的地温变化可达1~2倍，甚至达10倍。表3列出了某些岩石的导热率数值：

某些岩石的导热率（卡/秒·厘米·℃）表 3

岩 浆 岩 与 变 质 岩		沉 积 岩	
花 岗 岩	5.8—9.8	石 灰 岩	5.2
安 山 岩	$3.1-6.9 \cdot 10^{-3}$	砂 岩	6.0
玄 武 岩	6.7	砂（干）	1.0
片 麻 岩	5.2—7.4	（湿）	8.2
大 理 岩	5.2	粘土（干）	2.5
片 岩	4.7—5.7	（湿）	3.5

根据岩石导热性的不同，可分为导热层（如砂、砂岩、页岩等）和隔热层（粘土等）。

地下的等温面一般不是平的，随地区和地带的不同而起伏不平。同时，等温面之间的间隔各地也是不同的，在等温面隆起的地方，间隔较小的地方就是热异常区。所以，热异常的调查是寻找地下热水、热汽的直接而有效的方法之一。

此外，地温测量在查明深部构造（主要是闭合构造、区域性断裂、上下层构造位移），岩层对比，确定含油构造的气顶及含气层位置，确定地下水流速、流向，确定含盐及含煤地层，以及确定放射性矿脉的延展方向等方面，可提供温度资料依据。对地下重大工程的设计和施工，也有着实际意义。

二、地 下 热 水

地下热水以其较高的温度，特有的化学成分和气体成分区别于一般地下水。由于这些特点，人类最先广泛的应用于医疗方面，而被称作医疗矿水。当地下热水中含有较多的某些盐类或成分而