

特种钻探工艺学

刘广志·编著

● TE ZHONG ZUAN TAN GONG YI XUE

● 地热钻探

● 海洋油气钻探

● 水域地质钻探

● 砂矿钻探

● 反循环钻探法

前 言

1986年我受中国地质大学(武汉)之约担任探矿工程系兼职教授。我深感当代学生基础理论课学得面广、扎实,专业课程即理论联系实际内容稍显不足,因此在选题过程中,力求学院教师们讲授过的,我不再重复,根据当前与今后一个时期我国钻探工程发展的需要编辑了七篇讲义,亦即划分七个课题,遴选了其中五个课题编著成《特种钻探工艺学》。五个课题是:地热钻探、海洋油气钻探、水域地质钻探、砂矿钻探与反循环钻探法,分列五个章。在收集资料中力求详实、广泛、实用,编著中力求通俗易懂,注重新技术新工艺的介绍,以便于学者能提高理论与应用水平。因此这本书是我从事钻探工作四十五年之际,献给我国钻探教学、科研、在校学生以及野外第一线钻探工作者的一本参考书。

考虑到本书所广泛收集的国外的图、表和公式等资料是供参考用的,此外,石油部门在井身结构、管材系列、泥浆参数等方面现今仍沿用API英制标准,故在本书中有些章节仍保留英制单位。

本书经俞承诚副教授反复审校,屠厚泽教授复审后送中国地质大学出版社付梓的,并得到中国地质大学出版社领导的大力支持,才得以顺利出版,至此一并深致谢意。

本书资料可谓取之于实践,又立论于理论,我深切感激那些为本书输送“营养”的教授、同事和生产第一线的有关同行们。

一个人的知识毕竟是有局限性的,其观点、理论难免不出现谬误,诚恳等待着您的批评指正。

刘广志

1991年6月10日补于上海

目 录

第一章 地热钻探工艺学	(1)
第一节 对地球地热资源的总估价	(2)
一、地球是一个庞大的热库	(2)
二、地热能的来源	(3)
三、世界地热的分布	(4)
四、中国地热资源分布	(5)
五、我国京津唐地热异常区	(7)
六、地热勘探方法	(8)
第二节 地热能源的利用	(8)
一、地热发电	(8)
二、地热水的民间利用	(10)
三、住房采暖	(12)
四、地热水的工业利用	(15)
第三节 地热田类型与发电原理	(15)
一、热水型	(15)
二、地压型	(17)
三、干热岩型	(17)
第四节 钻探是勘探与开发地热资源的唯一方法	(19)
一、地热井的分类	(19)
二、地热钻探的独特性	(20)
第五节 地热钻探的各种泥浆	(21)
一、地热钻探对泥浆的影响与分类	(21)
二、地热井泥浆的特点	(22)
三、膨润土含量与温度等因素的关系	(22)
四、海泡石	(24)
五、HTM-1 泥浆	(26)
六、地热泥浆的管理与调整	(27)
第六节 空气钻进	(28)
一、空气钻进的优点	(28)
二、空气钻进类型	(28)
三、空气钻进的地面设备	(29)
四、空气钻进对气流上升速度及风量要求	(30)
五、泡沫钻进	(33)
六、充气泥浆钻进	(33)
七、空气钻进空气量测定方法	(34)
第七节 地热钻探中的腐蚀与环境污染及其防治	(34)

一、地热钻探中产生的环境问题	(34)
二、地热钻井过程中硫化氢的危害及其防治措施	(35)
三、甲烷等气体微粒子扩散	(38)
四、化学腐蚀	(38)
五、噪音	(38)
六、地面沉降	(39)
七、管材磨蚀	(39)
第八节 地热固井水泥	(39)
一、高温地热井固井水泥需具备的条件	(39)
二、高温地热井水泥选择	(39)
三、高温水泥添加成分对固井水泥的效果	(40)
四、盖瑟斯高温气井用水泥	(40)
五、帝国谷地高温气井用水泥	(40)
第九节 利用金刚石绳索取心钻探设备钻探地热	(41)
一、联合国项目	(41)
二、美国西北太平洋实验项目	(43)
第十节 用石油钻机钻探开发地热	(47)
一、石油钻机的地面辅助设备	(47)
二、日本的地热钻探实例	(48)
三、美国地热钻探实例	(51)
第十一节 我国地热钻探与开发	(53)
一、北京中深地热井钻探经验	(53)
二、天津地热钻探工艺	(58)
三、西藏羊八井热田钻探	(66)
第十二节 地热井的测试工作	(73)
一、地热钻探过程各种检测项目	(73)
二、地热井各种测试仪器	(73)
第二章 海洋油气钻探	(76)
第一节 海洋钻探应用领域	(77)
一、滨海、海底地质钻探	(77)
二、滨海(近海)石油与天然气钻探	(77)
三、大洋科学考察钻探	(78)
第二节 石油、天然气资源的回顾与前瞻	(78)
一、1986年世界石油、天然气探明的储量	(79)
二、对石油工业发展的预测	(79)
第三节 滨海油气钻探	(80)
一、海底石油具有巨大潜力	(80)
二、适应不同水深的海洋钻井设施	(80)
三、海洋钻井设施的演进	(80)
四、安装在海洋钻井设施上的钻探设备	(83)
五、我国地质系统海洋钻井设备	(83)
六、海洋石油钻探的若干世界纪录	(83)
第四节 浮式钻井的海况知识	(84)

一、船体运动	(84)
二、两种船体运动的对比	(85)
三、船体运动的限制准则	(87)
四、船体的稳定性	(87)
五、锚泊定位	(89)
六、锚	(91)
七、锚缆	(92)
八、锚链	(93)
九、甲板抛锚机械	(94)
第五节 套管头与套管	(96)
一、井身结构与套管程序	(97)
二、临时井口盘架与永久导向架	(97)
三、各层套管的作用与下入程序	(98)
四、压裂梯度	(100)
五、泄漏测试	(101)
六、海下注水泥系统	(102)
七、套管密封	(103)
第六节 防喷器及其控制	(104)
一、防喷器及其附属器件	(105)
二、防喷器组	(106)
三、防喷器组的控制系统	(108)
四、防喷器测试	(110)
第七节 隔水管	(110)
一、隔水管部件	(112)
二、隔水管的检查与保养	(113)
第八节 海洋钻井水下设备	(114)
一、水下设备的组成	(114)
二、水下设备的主要功能	(114)
第九节 运动补偿	(115)
第十节 浮式钻井程序	(120)
第三章 水域地质钻探	(123)
第一节 小型钻探船	(125)
一、单体钻探船	(125)
二、双体钻探船	(136)
第二节 滨海地质钻探用小型钻探平台	(142)
第三节 沉浸式海底岩心钻机(潜水钻机)	(154)
第四节 柔杆钻探设备	(163)
第五节 水域钻探工艺概论	(171)
一、锚泊定位	(171)
二、升沉补偿与套管程序	(174)
三、钻探工艺	(178)
四、采取原状土(砂)样	(181)
五、原位测试	(184)

第四章 砂矿钻探	(188)
第一节 砂矿床的各种特点	(189)
一、地质特点	(189)
二、地理特点	(189)
三、钻探工作特点	(189)
第二节 砂矿床简易钻进工艺与取样工具	(190)
一、螺旋钻进法	(191)
二、冲击法	(194)
三、锤击钻进法	(196)
第三节 班加钻	(203)
一、班加钻发展简史	(203)
二、康拉德班加钻整套工设备	(205)
三、班加钻施工布置	(205)
四、班加钻施工程序	(205)
第四节 正循环与反循环钻进的取样法	(207)
一、正循环冲洗钻进法	(207)
二、反循环冲洗法	(207)
第五节 砂矿钻探机械	(212)
一、龙江-1 型砂矿钻机	(212)
二、SZC-168 型砂矿钻机	(212)
三、SZC-325 型砂矿钻机	(213)
四、我国试用于砂矿钻探的几种多功能工程钻机	(213)
五、荷兰产的几种砂矿钻机	(215)
第六节 钻探砂矿砾石层的新方法	(217)
一、震动锤击钻探(震锤钻探)法	(218)
二、共振钻探法	(221)
三、套管管下扩孔器钻探法	(222)
四、金刚石孕镶钻头钻进砂卵石层的方法	(224)
五、风动偏心潜孔锤钻进法——ODEX 钻探法	(226)
第五章 反循环钻探法	(231)
第一节 泵吸反循环钻探法	(232)
第二节 地面喷射反循环钻探	(236)
第三节 气举反循环钻探法	(238)
第四节 反循环连续取心(水力输送岩心)钻探法	(243)
第五节 中心取样 CSR 钻探法	(247)
一、CSR 应用范围	(248)
二、钻具	(249)
三、矿样采集	(251)
四、矿样缩分	(251)
五、经济效益	(251)
第六节 贝克尔锤击钻探法	(252)
一、贝克尔锤击钻探法操作	(253)

二、历史案例	(255)
三、结论	(256)
附表	(257)
附表 1-1 世界部分地热电站地热能生产情况	(257)
附表 1-2 世界部分地热电站热田情况	(259)
附表 1-3 1985 年日本地热电站运转情况	(261)
附表 1-4 利用地热能制取民用产品经济指标	(261)
附表 1-5 常用各类地热井(孔)钻孔结构与尺寸表	(263)
附表 1-6 干空气钻进空气需要量表	(263)
附表 1-7 雾化钻进需要空气量表	(265)
附表 1-8 COSO 地区热流量初步数据	(266)
附表 1-9 MR-7000 型钻机主要技术规格	(266)
附表 2-1 国外在 350m 以下深水工作的主要钻井装置	(268)
附表 2-2 地矿部海洋地质调查局石油钻井平台主要技术参数	(270)
附表 2-3 薄福风级表	(273)
附表 2-4 道格拉斯浪级表	(273)
附表 2-5 钢丝绳规格表	(274)
附表 2-6 美国船检局测试锚链要求	(276)
附表 2-7 海上钻井常用钻井结构、套管头、防喷器组、隔水管规格系列	(277)
附表 3-1 南海 503 号钻探船规格	(278)
附表 3-2 地矿部水域钻探承载设备现状表	(281)
附表 3-3 沉没式海底岩心钻机取心器主要性能表	(285)
附表 3-4 法国石油协会海底钻探设备和方法表	(286)
附表 3-5 E. C. S. M3 型洋底取心钻机主要技术规格	(286)
附表 4-1 砂矿床各种组分颗粒度分级表	(287)
附表 4-2 班加钻主要设备工具材料一览表	(287)
附表 4-3 龙江-1 型钻机所配主要机具表	(289)
附表 4-4 SZC-168 型砂矿钻机技术规格	(289)
附表 4-5 SZC-325 型、SH30-2 型、G-2 型、G-2A 型及 G-3 型钻机主要技术规格	(290)
附表 4-6 SUPER-150 型共振钻机技术规格	(292)
附表 4-7 ODEX 潜孔锤技术规格	(293)
附表 4-8 COP42 与 COP62 型无阀冲击器技术参数	(293)
附表 5-1 CSR-1000AV 型车装钻机技术规格	(294)
主要参考文献	(295)
后记	(297)

第一章 地热钻探工艺

近 40 余年来, 科学技术、工业、农业都得到了迅猛地发展。与此同时, 人类生活水平也得到相应地提高。随之而来的是对能源需求的日益增长。

以日本为例, 能源消费: 1955 年为 $234.46 \times 10^{12} \text{J}$ (560 亿千卡), 1973 年为 $1601.87 \times 10^{12} \text{J}$ (3826 亿千卡), 增加了 6 倍多, 该年是日本高速发展达到顶峰之年, 此后略有减少。1975—1985 年, 日本经济平均年增长率为 6%, 1985—2000 年如果年均经济增长率为 4%, 则进入 21 世纪的 2000 年时, 能源消费将为现在的 3.4 倍。

1983 年曾就世界动力平衡问题进行了一次估算, 数据列入表 1-1。

表 1-1

石油	天然气	煤	树木	水电	核能、地热、其他
30%	12%	20%	23%	8%	7%
93%					其中核能 1%

在美国, 20 年前 (指 1968 年左右) 人们就意识到世界能源结构和利用要出现变化。当时美国从一个纯石油输出国变成了一个纯石油输入国。1978 年美国的能源量为 $85 \times 10^{15} \text{Btu}$ (美热单位: $1 \text{Btu} = 1055.074 \text{J}$, $85 \times 10^{15} \text{Btu} = 0.085 \text{Q}$, $1 \text{Q} = 3570$ 万吨标准煤放出的热量, 1 吨标准煤放出的热量 $= 29307.6 \text{J}$), 其中 20% 来自国内的煤, 50% 来自国内的石油 Btu 和天然气, 20% 来自进口的石油和天然气, 10% 来自核能、水力和地热能。美国国内目前可供开采的能源总储量, 石油 1.18Q 、天然气 0.22Q 、页岩油 0.43Q 、煤 4.37Q 。

图 1-1 表示美国能源消耗量的变化, 到 2000 年能源消耗量将达到 $0.125 \sim 0.17 \text{Q}$, 地热能将占美国西部能源消耗量的 20%。

目前剖析日本能源现状, 仍有 78% 是石油资源, 而且全部依赖进口。

世界能源消费年增长率以 3.5% 测算, 到 2000 年则需要量将为现在的 2.5 倍, 要应付这种世界性的需求又谈何容易。

有人分析, 80 年代是石油增长的极限, 预计现有石油储量, 仅供开采 20~30 年, 即逐渐枯竭。

面临世界性石油短缺和能源资源不妙的远景, 迫使人们注意寻找和开发新能源。

新能源的概念是指: 太阳能、风能、潮汐、地热能以及生物质能等等。前四种能源又称为非枯竭性能源, 特别是地热中的干热岩体 (Hot Dry Rock) 被誉为非枯竭性能源。

还有人估计, 21 世纪太阳能、风能、氧气和地热能源将占据一定的比率。1980 年全世界地热发电量达 3000MW 。占全世界能源需要量的 10%, 到 2000 年达到 20% 就算很好了。

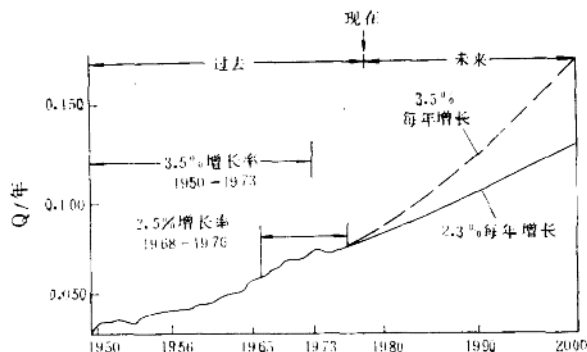


图 1-1 美国现在和未来能源的消耗

第一节 对地球地热资源的总估价

一、地球是一个庞大的热库

地球是一个直径约 12 700km 的略椭球体（一说半径为 6 371km），其核心部分为熔融岩浆，温度极高，估计达 4 500℃，蕴藏巨大的热能。地球外层（地壳）的温度随深度增加而增高。正常地温梯度为每 100m 3℃。在地热异常区，温度递增幅度远远超过正常增量。在地壳的底部，即莫霍面处，距地表 5—35km，地温可达到 320—1 000℃，因此从地球深处到地表存在“热流”，平均热流量大约是 1.5 热流量单位（1 热流量单位 = $6.28 \times 10^{-2} \text{J/m}^2 \cdot \text{s}$ ）。有些地区的热流量明显增高，要比上述平均热流量值大一个数量级，在有温泉、蒸气出露地区有明显显示，在隐浮天然地热区则需要测量热流量。超过热流量平均值 5—8 倍的地区称为地热区，存在地热资源。

地球蕴藏的全部地热资源是无法计算的。

据科学家们估计地壳厚度为 5—35km，在地壳与上地幔边界处（莫霍面温度至 220—1 000℃的范围内，一些深度为 5 000m 的超深井，井底温度竟达 200—300℃。粗略估计地心温度可达 4 500℃。如果从地球容积和岩石比热估计地热能量，简直是一个巨大的无限量的能源。人们称之为“非枯竭性”能源是当之无愧的。然而，地热能大部分蕴藏在目前钻探技术还无法达到的地球深部。即使如此，在地表以下 10 000m 范围内地热储量仍有近 1046.7J，约相当于 3.57 亿亿吨标准煤产生的热量。

美国地质学家穆夫莱尔和怀特曾推算，地壳 10 000m 深处地热能量约为 $4 \times 10^{23} \text{J}$ ，相当世界煤能源发热总量的几千倍。

另据美国《石油工程师》杂志（1979 年 4 月号）助理编辑 Ed. Walther 推算地球蕴藏地热能量为 $2 \times 10^{27} \text{Btu}$ 。

美国洛斯·阿拉莫斯科学实验室（LASL）是研究干热岩地热的权威机构，他们估计用干热岩法，美国可利用的地热能量达 $2 \times 10^{27} \text{J}$ ，大约相当于美国 1970 年耗用总能量（ $7 \times 10^{23} \text{J}$ ）的 3000 倍。因此，美国正大力研究与开发地热能。

二、地热能的来源

很久以来，一直认为地热的来源是古代熔融物质的余热，通过辐射对流而产生的。近年来美国先后发射了几颗地球资源卫星，用频道红外线探测。板块构造地质学的发展，科学家们认为地热的生成，主要有以下三个方面：

1. 形成地壳的岩石中，如花岗岩、玄武岩、橄榄岩等等，其中含有的放射性元素缓慢而不断的衰变，释放出来的热能，加热地下水或灌入地下的冷水。从某种意义上来说，地球本身又是一个天然的“核反应堆”。

2. 大地板块沿缝合线相互碰撞、错动并产生的摩擦热。

3. 地球内部通过地壳产生的热传导和热对流，形成地热储层；或沿断层带形成喷出地面的温泉、气泉或间歇喷泉等。

在上地幔处，炽热的岩浆可能呈熔融状态的浆糊处，温度可能高达 $1\,000^{\circ}\text{C}$ ，向地壳的裂隙、断裂处不断侵入，在地表以下数公里至数十公里处形成“岩浆储层”，与此同时，在十万年至数十万年中，连续不断地以辐射、传导方式释放热能，在有活火山地区，能源热能随时传至地表。“岩浆储层”的热能逐渐传至地壳上部，临近地表 $1\,000-5\,000\text{m}$ 深处的多孔隙地层中，加热地下水；或地面水沿多孔隙地层流入地下，被地热加温。被加了热的地下水储存在地下深部的“地热储层”中。当前，世界上钻探和开发的就是这些深埋地表以下 $1\,000-5\,000\text{m}$ 的地热储层。将热水或蒸气引到地面作能源利用，参见图 1-2 与图 1-3。

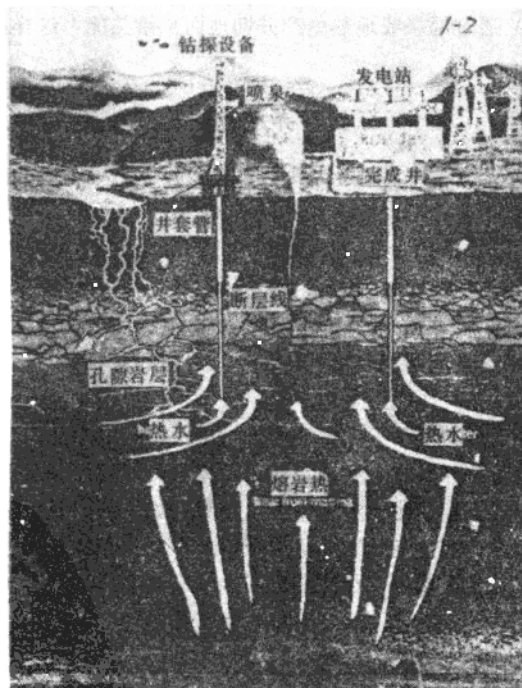


图 1-2 地热蒸气生成示意图

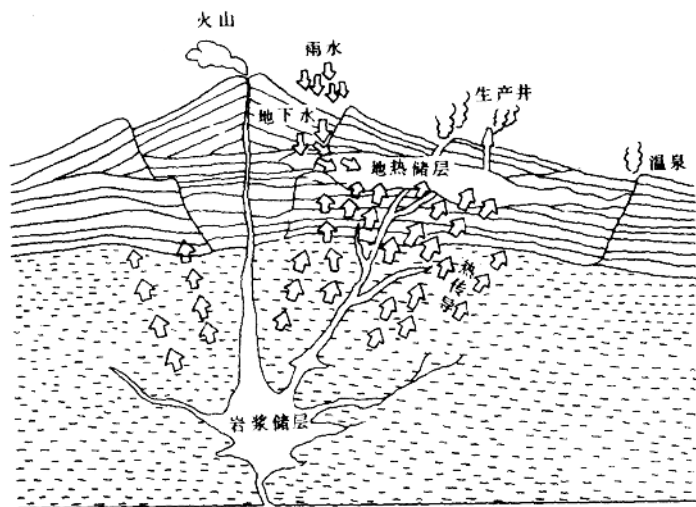


图 1-3 地球内部通过热传导、对流生成地热储层

此外，天空降下的雨水或地面、地下水沿断层带渗入热储层，向热储层补给了水源。加温后的热水（或蒸气）通过温泉或地热生产井向地面供给热能，这样就形成一个天然的对流供热系统。

三、世界地热的分布

基于上述理论，世界地热异常区多出现在板块接触带、火山带、地震带、造山运动带、大西洋中脊带，以及海沟区等。

1. 板块地带

迄今已发现赋存地热的板块地带有：

- ① 欧亚板块； ② 非洲板块； ③ 印度板块印度洋东部
- ④ 南极板块； ⑤ 南北美洲； ⑥ 太平洋板块东西两侧。

2. 火山带

经查明赋存地热的火山带有

- ① 环太平洋火山带（如日本、我国台湾、菲律宾、印度尼西亚、夏威夷群岛等）；
- ② 从地中海到中亚东西走向的地中海火山带（如法国、意大利、我国西藏云南等）；
- ③ 非洲大陆东侧，南北走向的东非火山带（如肯尼亚等）；
- ④ 大西洋中脊北端活火山带（如冰岛等）。

3. 地震活动的典型地区

环太平洋地带是由一系列岛弧、海沟、活火山、死火山组成的一个环形条带区，既是地震带，又是地热带，国外称之为“火山带”。

4. 阿尔卑斯和喜马拉雅造山运动带

造山运动带也是地热资源广泛分布区，如匈牙利、苏联、中国的部分地区。

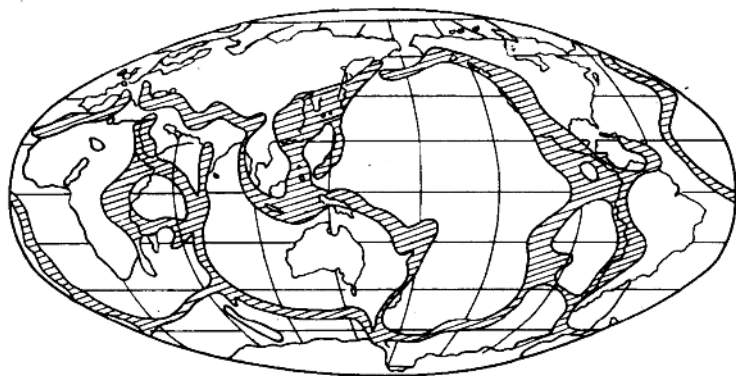


图 1-4 世界地热分布地带

四、中国地热资源分布

我国是个地热资源相当丰富的国家。根据现有资料，全国分布约有 2 000 多处天然温泉，地热水和蒸气显示多出现在东部和西南部。在矿产与石油勘探过程中在一些自流盆地也发现了地热水，主要是中低温型的。

中国地热资源分布见图 1-5。

我国城市地热分布见图 1-6。

根据已掌握的资料可分为六个地热带。

1. 藏滇地热带

主要包括冈底斯山，含青唐古拉山以南，特别是沿雅鲁藏布江流域，向东至怒江和澜沧江呈弧形向南转入云南腾冲火山区，这一地带水热活动强烈，地热显示集中，沿雅鲁藏布江北岸有长达 800km 的侵入体分布。腾冲地区除分布有燕山期花岗岩外，新生代以来有多次火山喷发活动。

在这个带上，新构造运动十分活跃，由于地壳不断抬升，火山活动频繁，地震活动也十分强烈。

该地热带属地中海—喜马拉雅地热带的一部分。属高温热水对流型水热系统。在滇西地区，高温温泉主要分布在腾冲火山群区。预计在一些主要地热田将能获得温度高于 150℃ 的、以温蒸气为主的地热资源。这可能是我国大陆上地热资源潜力最大的一个带。

2. 台湾地热带

台湾是新生代地槽褶皱带，属于环太平洋岛弧系的一部分，处于琉球和菲律宾两弧的结合地带。岛上火山活动十分活跃，可与日本、琉球以及菲律宾东岸火山带相连。台湾的地震活动也十分强烈，是我国地震最强烈和最频繁的一个地带，是强震集中发生的地方，台湾的地热主要集中分布在东、西二条地震带上，主要也是高温热水对流型地热资源，也是我国地热资源潜力较大的地区之一。

3. 东南沿海地热带

主要包括闽、粤以及江西和湖南的一部分，约有温泉 500 余处，尤其集中分布在广东和福建两省的沿海地带，温度也较其他地区高。60℃ 以上的热水点约占该两省热水点总数的

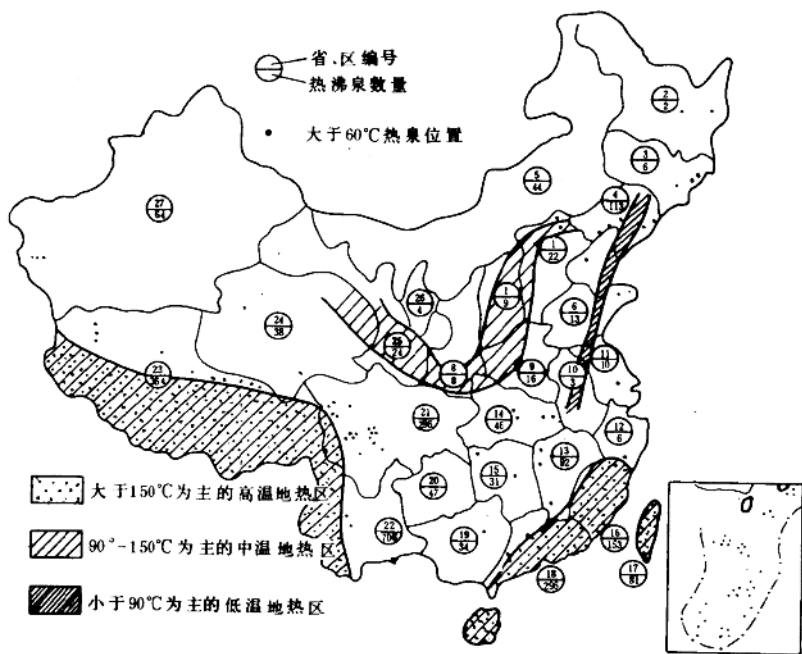


图 1-5 中国地热主要地区分布图



图 1-6 中国城市地热分布略图

35%。本带主要是中温和低温热水型地热资源，地下热水的分布和出露受一系列北东向断裂构造的控制。同时也与花岗岩侵入体和火山岩有一定关系。

从温泉和钻孔温度分布来看，西部地区的温度略低于东部沿海地区。大致沿广东境内莲花山断裂向北至福建漳州一线以东地带。地下热水温度增高，有90℃以上的温泉多处，一些地热区的钻孔水温已超过100℃，如广东东山湖温泉区102℃。福建福州钻孔温度>100℃，这一带也是我国地热资源较有远景的地区。

4. 郯城-庐江断裂地热带

郯庐断裂是我国东部最大和最长的一条北北东向深大断裂带，它自长江以南开始，往北经过鲁、辽、吉、黑等省境，一直伸入苏联远东地区。这是一条将整个地壳断开的至今仍在活动的深断裂，也是一条地震带。在断裂带上，从南至北大量分布着中、新生代侵入岩和喷出岩。

这条断裂带对地热的分布同样起着控制作用，虽然在断裂带上出露的温泉并不很多，温度一般也不很高，但根据断裂带上及其附近地区的许多矿山地温测量结果和地质勘探遇见的热水，地热梯度从3.42℃/100m到4.57℃/100m，江苏东海温泉区钻孔545m深温度到94℃，说明断裂带深部有较高温度的热水存在。

5. 川滇南北向地热带

主要分布在从昆明到康定一线的南北向狭长地带，本带温泉甚多但水温较低。一般在30—60℃之间。温泉的空间分布主要受南北向构造的控制。南北构造带主要由一群强大的压性和压扭性断裂和褶皱组成，是一个活动构造带，也是我国强震最集中的地带之一，在这些南北向断裂带上有大量的温泉出露，如小江断裂带和安宁河断裂带上温泉密集，计有100余处，但从温泉的温度来看，除个别地区以外，以低温热水为主。

6. 祁吕弧形地热带

包括冀热山地、吕梁山、汾渭谷地、秦岭及祁连山等地。在构造上属祁吕贺兰山字型。挽近时期的构造活动有明显的表现。地震活动频繁，而且活动强度很高，为近代地震活动带。在这个弧形带上，温泉分布较多，水温较低，一般在40—60℃。在东、西两翼，部分温泉水温较高，如阴山东段和西翼的一些温泉温度可达90℃左右。这些地区是几组断裂复合的部位。在一些盆地和谷地内，如汾渭谷地，陇东盆地和走廊平原出前带等都发现了热水。西安市地温梯度大致每千米55℃，陇东盆地地温较低。总起来看，本带以低温热水居多，属低温热水带。

五、我国京津唐地热异常区

京津唐地区广泛分布着中低温地热水资源，据对800多口井测温数据分析，以地温梯度3.5℃/100m的等温线作为地热异常边界，在整个平原区圈出地热异常区34个，控制面积达6416km²。但因地热地质工作不均衡，已探明地区有北京东南城区、小汤山；天津的万家码头、王兰庄、山岭子等，这些地区已逐步开采利用。

将34个地热异常区的分布列入表1-2。

表 1-2 京津唐地区地热异常区分布情况

地 名	异常区数	控制面积 (km ²)	地温梯度 (C/100m)
北 京	8	196	3—16°
天 津	10	3036	4—8.8°
河北唐山	16	3184	3.2—15.7°
合 计	34	6416	

六、地热勘探方法

近年来地热勘探方法与手段逐渐增多,为研究和验证地热能作为商业性能源加以利用,以美国为例,要求:

1. 查明、圈定和估计地下有用热源基础规模。他们收集全国石油与天然气井、水井和专门地热测温井的地温资料,予以整理、处理。编制全国地热能源有关图件,如编制 1/500 万比例尺的北美地温图,北美地热梯度图。估算出 150 C 以上地热能源总量为 $13 \times 10^6 Q$,据此编制近、中、远期地热开发计划。

利用航空红外扫描、地球资源卫星红外频道探查热异常区,圈出地热热储构造。

用机械手将地热温度计插入土壤或岩石,开发湖底、海底沉积之下的地温仪。

地热地球物探方面,利用天然与人工地震,大地电磁频率探测,以及高温高压测井技术等和大地热流量测量等。

2. 研究、开发、验证与评价,汲取和利用地热的实际系统。

3. 研究开发地热引起的环境保护、法律、社会、经济等方面的问题。讨论地热开发与运行中的可行性,即有利与不利的各种条件。

4. 正在施工的全国石油天然气井、水井、矿产勘探钻孔要作地温、地压、地层密度测量,取得资料要予以处理整理,以编制图件,提供更多的地热和地热梯度异常区,供勘探与开发。在地热钻孔还应采取地热 waters 样、蒸气样以备分析研究热储层状态。

5. 实行地热勘探,也分为地热勘探孔、地热开采井与探采结合井。

第二节 地热能源的利用

近年来,地热作为一种新型、新兴的能源,已普遍引起世界性的重视。目前已有近 50 个国家正在进行地热的研究、勘探与开发。联合国也援助一些能源奇缺的发展中国家,勘探开发地热资源。

一、地热发电

称得起地热地带的标准,主要是利用地热发电。目前是大单机发电容量已达到或超过 100 万千瓦的。从地热发电的技术观点出发,有急剧增加的趋向。

1. 地热发电有以下明显的优点:

①资源稳定,不受石油危机的影响。经日本为例,一个 5 万千瓦的地热电站的年发电量相当于 10 万千升原油,加上释放的蒸气涌出的热能,核算为一耗原油 30 万千升,约相当于新潟柏崎油田的全年油气产量。

②能量利用率高。水力发电能量利用率约45%，地热发电则高达90%。即一座100万千瓦地热电站，其年发电量约与200万千瓦水电站发电量相当。

③设备简单，维护保养检修方便，火灾危险少，人员少，易实现自动化无人操作。

④经济。无需另付燃料费用，气压小、温度低，设备简单，一次性投资比水力、核电站都低。因而大型地热电站电力成本低于大型火力电站，与核电站发电成本基本持平。

通过上述对比，尽管目前地热电站的规模尚小，但基于上述优点，确有广阔的发展前景。

在地热资源利用上，国外有这样说法：意大利最早，美国规模最大，冰岛利用的最广泛。

目前，大约有15个以上的国家建成地热电站，据报导，1979年世界地热电站总容量达2197.45MW。到1985年已超过预计的6432MW（表1-3）

表 1-3 世界各主要地热发电国家发电量表 (MW)

国 名	发电量	建设计划容量	国 名	发电量	建设计划容量
意大利	544.1	480	萨尔瓦多	60	100
新西兰	202.6	352	法属西印度群岛		30
美 国	923	3100	冰 岛	63	63
日 本	171.5	500	智 利		30
苏 联	5.75	26	中国台湾		10
墨西哥	112.5	310	中国大陆		
印度尼西亚		43	葡萄牙(亚述尔)		3
肯尼亚		30	菲 律 宾	110	1320
尼加拉瓜		30			
土耳其	5	5	总 计	2197.45	6432

注：按1970、1979年国际地热会议资料和1980年访意大利与美国技术交流资料汇编而成。

2. 用于发电的地热能量有下列几种：

①天然过热蒸气 (NSHS) (干蒸气田，以气为主)，又称干蒸气，以过热状态自地热储层中产生，以意大利的拉德瑞 (Lard-erello)、美国的盖瑟斯 (Geysers) 以及日本的松川等地热田为代表。

②热水分离蒸气 SS (湿蒸气田，热水为主)

热水热储是热力对流系统，天然降水从热源吸热后向上移动，到达孔口时，因压力降低，部分热水 (一般是15—25%) 将闪蒸成蒸气。其孔口压力通常为 1.47×10^5 — 4.61×10^5 Pa，温度高的可达300℃。分离出的蒸气送入涡轮机发电，热水回灌入热储。如新西兰的怀拉开 (Wairakei)、日本的大岳、八丁原、墨西哥的 Cerro、Prieto、Pathe 等热田为代表。

③低热焓地热水

苏联科学院热力学研究所西伯利亚分所开发应用了弗利昂涡轮机340kW地热发电。美国洛山矶 Magma 能源公司用 Ethopten (挥发性液体) 在内华达州 Brady 热田建成双循环发电所。

世界部分著名地热电站地热能生产情况列入表1-4。

表 1-4 国外主要地热田热储指标表

国别	地热田	热储流体	热焓 $n \times 4.1868$ (J/g)	含盐量 ppm	热储温度 (°C)	单井流量 (kg/h)
意	拉德瑞罗	蒸气	690	<1 000	245	23 000
美	盖瑟斯	蒸气	670	<1 000	245	70 000
	尼兰德	卤水	240	26 000	300	~200 000
日	松川	蒸气为主	500	<1 000	230	50 000
	大岳	水	~400	~4 000	200	100 000
新	怀拉开	水	280	12 000	270	—
冰	雷克雅未克	卤水	275	~40 000	280	~400 000
	纳马菲加尔	水	260	~4 000	280	400 000
墨	塞罗普利托	水	265	~15 000	300	230 000
新	布罗德兰兹	水	400*	/	280	150 000
萨	阿凡赛洛	水	235	10 000	230	320 000
冰	赫维拉杰边	水	220	~1 000	260	250 000
墨	波热特	水	195	3 000	200	60 000

摘自《地质科技参考资料》80.36#

世界部分地热电站地热能生产情况列入附表 1-1。

世界部分著名地热电站热田情况列入附表 1-2。

1985 年日本地热发电情况列入附表 1-3。

1985 年, 日本的地热电站已由 1980 年的 6 座增加到 9 座, 总装机容量为 228 000kW, 这与 1980 年地热电站的总装机容量为 174 500kW 的情况相比, 五年时间增长 30% 以上。目前建成的 9 座地热电站均运转正常, 1985 年地热电站总发电量为 $1\,497 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ (见附表 1-3)。9 座地热电站的年平均运转率为 95%, 负荷率为 84.4%。

1984 年日本计划在八丁原、葛根田地热电站各增设第 2 号发电机组, 装机容量分别为 5 500kW 和 5 000kW, 预计分别于 1989 年和 1991 年运转发电, 现正处于钻探施工阶段。此外, 日本为了增设和新建地热电站, 1985 年在北海道、青森县、岩手县、福岛县、长崎县以及大分县等 30 多个地区全面展开了普查勘探工作, 仅一年时间在这些地区共施工约 40 眼地热勘探井, 总进尺为 55 000m, 单井深度超过 1 000m, 其中两眼地热勘探井的深度均超过 3 000m。据通产省 1983 年提出的计划, 到 1982 年地热电站的总装机容量将达 820 000kW。

我国西藏著名的羊八井地热田, 属高温热田, 实测温度达 172°C, 地球化学温标测量达 180—200°C, 到 1986 年底已钻地热井 51 口, 建地热电站 1.3 万千瓦 (计 4 座 $\times 3\,000 \text{ kW}$ 、1 座 $\times 1\,000 \text{ kW}$)。

二、地热水的民间利用

多为热水型地热资源。世界上利用近代方法勘查开发和利用地热水已有上百年历史。利用天然温泉则有数千年。沐浴是最普遍的利用。据北京市 21 井调查, 地热水洗浴人数达 2.2 万人次, 对短期内能回收投资是最有效的, 但因用过的热水难于净化, 即行排掉, 这种一次性使用地热水的方法, 如不设法改为综合利用, 是对热能的极大浪费。一般地热水利用的可能性分类如下: