



刘广志 汤凤林 编著 廖谟圣 审校

特种钻探工艺学

TEZHONG
ZUANTAN
GONGYIXUE

上海科学技术出版社

特种钻探工艺学

刘广志 汤凤林 编著
廖谟圣 审校

上海科学技术出版社

内 容 提 要

21 世纪,全球共同面临人口、资源和环境三大课题,对于我国来说,这些问题尤为严峻,本书抓住资源和环境两个领域中的相关重大课题,在地热能源钻探开发、冻土层钻探技术、海洋油气资源钻探、深部矿产资源勘探、大陆科学钻探、反循环钻探工艺等领域做了系统的论述,书中内容紧扣我国工业与学科发展前景的需要,理论联系实际,既是我国多年来逐渐积累起来的钻探工程的经验精华的汇聚,又吸取了国外,例如美、英、俄等国家近年来积累的钻探工程进展的资料,既列举了国内外的典型工程实例及其成果,又总结、归纳、论述了工程实施的程序、关键技术及相应的设备和机具,从而开拓了读者的眼界,对从事相关领域的学者、技术人员、大专院校学生有很大的科学指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

特种钻探工艺学/刘广志,汤凤林编著. —上海:上海科学技术出版社,2005. 12
ISBN 7—5323—8226—5

I. 特... II. ①刘... ②汤... III. 钻探—特种工艺
IV. P634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 116471 号

世 纪 出 版 集 团 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号(临) 邮政编码 200235)
新华书店上海发行所经销
南京理工出版信息技术有限公司排版
苏州望电印刷有限公司印刷
开本 787×1092 1/16 印张 15.25 插页 4
字数 353 000
2005 年 12 月第 1 版
2005 年 12 月第 1 次印刷
印数 1—1 500
定价: 55.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

序 言

特种钻探是相对于常规钻探而言的,特种钻探的范畴包括某些新的钻探技术和工艺、因某一专门目的或特定条件而采取的钻探措施、有别于常规工艺的新钻探技术。因此,特种钻探包括范围甚广,具体的施工技术和工艺种类也甚繁多。但它是钻探工程迅速发展的一个领域。

刘广志院士是中国地质大学特聘的知名兼职教授,他不辞辛劳亲赴武汉为探工系师生们讲授了“特种钻探工艺学”专题课程,获得师生的一致赞许和好评。他的亲临授课不仅为师生们扩展了知识范围,而且形成了一门崭新的专业课程,拓宽了学科领域,提高了教学水平。

最近刘院士在原有的特种钻探工艺学教学用书的基础上又进行了认真细致的修订、精选和提高,并补充了许多新的内容,付诸正式出版。这种锲而不舍、精益求精、力争上游的编著精神,既是对作品的负责,又是对读者的负责,这样的作风永远是我们工作学习的楷模。

刘院士对我国能源的勘探和开发一直予以关注和重视,在本书中他对地热的钻探、开发和利用,对海洋油气钻探等都进行了详尽的阐述,并编排于首要篇章,表明了本书编著者为解决我国能源问题的迫切心愿。此外,本书编著者特邀了俄罗斯两院外籍院士汤凤林教授编写了“冻土钻探工艺”专门章节,这是明智之举。本书编著者远见卓识地为我国天然能源开发在理论上、技术上做了重要的准备工作。天然气水合物是当今世界关注的一种新态洁净能源,它们多储藏于海底和冻土地带之中,我国青藏高原有辽阔的冻土地带,随着交通日益方便,勘探开发必将加速。

本书还系统介绍了有关深孔定向造斜金刚石钻探工艺和反循环钻探工艺等方面的相关内容。这些技术经我国多年的研究和实践,取得了相当丰富的经验和创新,它们多是具有我国特色的钻探强项。通过本书介绍更便于它们在更加广阔的范围内开花结果、发挥更大的技术效益。

总之,《特种钻探工艺学》一书的出版和发行是我们探矿工程界的一件盛事。本书讲解系统详尽,且配有 168 幅插图,因此,具有很强的可操作性,这对我们这个实践性很强的专业来说是十分可贵的。本书的出版发行为我们广大读者提高学识和科技水平、提高科学能动性创建了条件。据此我们一定要做到科学打钻、科学勘探,以求获得更大的技术经济效益。

李世忠

2005 年元旦

于中国地质大学·北京

前 言

今天是 2005 年的元旦,按老习惯我已进入 82 岁。自 1947 年大学毕业后,我就“西出阳关遇故人,立志玉门学钻井”,希冀为发展祖国石油事业献上微薄之力。新中国成立后,我荣幸地受命,组织成立前所未有的探矿工程部门,至今匆匆从事这项工作已经 58 个年头了。时光过得真快呀!正如父亲在我七岁时对我说的:“时光易逝,似水流年”,“少小不努力,老大徒伤悲”的教导,现在才意识到,不知不觉地已进入了“耄耋之年”,但我依然像年轻同行们一样情系探矿工程事业。

1986 年受中国地质大学(武汉)之约,担任该校探矿工程系的兼职教授,但是我深深感到:当代学生学习的数理化基础理论扎实,如果使他们的数理化基础与专业课程密切结合起来,对未来探矿工程事业的创新与发展,必将会对学科发生巨大的推动力。当时我遴选了七项课题初步编成了《特种钻探工艺学》书稿。承蒙俞承诚、屠厚泽、李大佛、戴学恕、鄢泰宁等教授进行试教,之后又承蒙孙孝庆教授及众多科技人员、生产一线的工程师们提供宝贵资料。时光过去 20 几年了,我国的经济和科学技术飞速发展,对钻探工程需要的期望值更高了,诸如:勘探与开发我国的丰富的地热资源;勘探与开发丰富的海底油气;勘探与开发青藏高原永冻层内的天然气水合物(可燃冰,石油天然气的可替代能源);研究和开发用于勘探地层深部急需金属矿产资源的金刚石定向钻探技术;以及勘探与开发地下水一系列新的具有我国特色的反循环钻探法。如今我将原书稿内容重新划分成五章。还特别约请了我的多年老同事,中国地质大学(武汉)的俄罗斯两院外籍院士汤凤林教授,撰写了第二章冻土钻探工艺。这一章理论结合实际,将对我国首先勘探开发青藏高原永冻层中的可燃冰提供了理论与实践的基础,并为本书增光添彩。

编者还特别约请了我的富有多年实践经验的几位同事:廖谟圣教授级高工,黄仁山教授级高工,地热专家张振国教授级高工,天津地热开发专家李春华高工和周国荣高工等,为有关章节进行了重审,修改旧内容,增添新资料,以及约请了萧天鹏同志帮助整理本稿件。这些无私的帮助,为本书注入了新的内容,提高了本书的价值。我倍感荣幸。

在章节设置上,重新集中瞄准了国家急需的能源、深部固体矿产和人类三大需求之一的饮用水三大方面。期盼这是我一生中的“封笔之作”,奉献给我的同行们和同学们,作为学习的辅助资料。书中难免有错谬之处,欢迎批评指导。

我非常高兴地约请了中国高等学院中探矿工程学科主要奠基人之一、85 岁高龄的李世忠教授,为本书撰写了序言,为此,我表示最深切的荣幸和感谢。

中国工程院院士 刘广志

2005. 1. 1

目 录

第一章 地热钻探	1
第一节 对地球地热资源的总估价	2
一、地球热库	2
二、地热能的来源	2
三、世界地热的分布	3
四、我国地热资源分布	4
五、我国京津唐地热异常区	6
六、地热勘探研究和规划	6
第二节 地热能源的利用	6
一、地热发电	6
二、地热水的民间利用	8
第三节 地热田类型与发电原理	12
一、热水型	12
二、地压型	13
三、干热岩型	13
第四节 地热钻探的分类与特点	14
一、地热井的分类	14
二、地热钻探的独特性	15
第五节 地热钻探的各种泥浆	16
一、地热钻探对泥浆的影响与分类	16
二、地热井泥浆的特点	17
三、膨润土含量与温度等因素的关系	17
四、海泡土	19
五、HTM-1 泥浆	21
六、地热泥浆的管理与调整	22
第六节 空气钻进	23
一、空气钻进的优点	23
二、空气钻进类型	23
三、空气钻进的地面设备	24
四、空气钻进对气流上升速度及空气流量要求	25
五、泡沫钻进	27
六、充气泥浆钻进	28
七、空气钻进空气量测定方法	28

第七节 地热钻探中的腐蚀与环境问题及其防治	29
一、地热钻探中产生的环境问题	29
二、地热钻探过程中硫化氢的危害及其防治措施	29
三、甲烷等气体微粒子扩散	32
四、化学腐蚀	33
五、噪声	33
六、地面沉降	33
七、管材磨蚀	34
第八节 地热固井水泥	34
一、高温地热井固井水泥需具备的条件	34
二、高温地热井水泥的选择	34
三、高温水泥添加成分对固井水泥的效果	34
四、高温气井用水泥	35
第九节 利用金刚石绳索取心钻探设备钻探地热	35
一、联合国项目	36
二、美国西北太平洋实验项目	38
第十节 利用石油钻机钻探开发地热	41
一、石油钻机的地面辅助设备	42
二、日本地热钻探实例	43
三、美国地热钻探实例	46
第十一节 我国地热钻探与开发	48
一、北京中深地热井钻探经验	48
二、天津地热钻探工艺	53
三、西藏羊八井热田钻探	60
第十二节 地热井的测试工作	66
一、地热钻探过程中各种检测项目	67
二、地热井各种测试仪器	67
主要参考文献	69
 第二章 冻土钻探	 70
第一节 冻土钻探时的井内温度规程	70
一、冻土井内温度规程的数学模型	70
二、孔底冲洗介质温度的升高	74
三、防止冻结岩石中孔壁坍塌的条件	75
四、结论	76
第二节 冻土钻进时井内温度规程与钻井液的关系	76
一、正常钻进和井内温度的关系	76
二、井内温度规程与冲洗液冰点的关系	77
三、井内温度规程与钻井液初始温度的关系	78

四、井内温度规程与钻井液冲洗时间的关系	79
五、井内温度规程与钻井液类型和性能的关系	80
六、结论和建议	80
第三节 冻土钻探时压缩空气的冷却和干燥问题	81
一、压缩空气的冷却	81
二、压缩空气的干燥	84
三、结论	85
第四节 冻土钻探的实验室试验研究	85
一、岩心采取率、孔壁岩石解冻与钻进条件的关系	86
二、钻进效果与钻进过程参数的关系	87
三、岩心原始结构和钻进过程参数的关系	87
四、钻进过程参数对孔壁状态的影响	88
五、结束语	89
第五节 生产条件下冻结岩石钻进的试验研究	90
一、冷却空气洗井钻进生产试验	90
二、泡沫洗井钻进生产试验	92
三、冲洗液洗井钻进生产试验	92
四、结束语	93
主要参考文献	94
第三章 海洋油气钻探	95
第一节 海洋钻探应用领域	96
一、滨海、海底地质钻探	96
二、海洋石油与天然气钻探	96
三、大洋科学考察钻探	97
第二节 石油、天然气资源的回顾与前瞻	97
一、2002 年世界石油、天然气探明的储量	98
二、对石油工业发展的预测	99
第三节 海洋油气钻探	100
一、海底石油的巨大潜力	100
二、适应不同水深的海洋钻井设施	101
三、海洋钻井设施的演进	101
四、安装在海洋钻井装置上的钻井设备	107
五、海洋石油钻探的若干世界记录	108
第四节 浮式钻井的海况知识	110
一、船体运动	112
二、两种船体运动的对比	112
三、船体运动的限制准则	113
四、船体的稳性	114

五、锚泊定位	115
六、锚定器具	117
第五节 套管头与套管	120
一、井身结构与套管程序	121
二、井口盘与永久导向架	121
三、各层套管的作用与下入程序	121
四、压裂梯度	123
五、泄漏测试	125
六、海下注水泥系统	125
七、套管密封	126
第六节 防喷器及其控制	127
一、防喷器及其附属器件	127
二、防喷器组	129
三、防喷器组的控制系统	130
四、防喷器组的测试	133
第七节 隔水管	134
一、隔水管部件	135
二、隔水管的检查与维护	136
第八节 海洋钻井水下设备的组成与主要功能	137
一、水下设备的组成	137
二、水下设备的主要功能	140
第九节 运动补偿	140
一、张紧器	141
二、升沉补偿器	141
三、游动滑车补偿器	141
四、主动和半主动补偿器	143
五、缓冲短节	143
第十节 常用浮式钻井程序	145
一、下入井口盘	145
二、钻 36 in 井眼, 下 30 in 导管并固井	146
三、钻 26 in 井眼, 下 20 in 套管, 固井并下入安装防喷器组和隔水管系统	147
四、钻 17½ in 井眼, 下 13¾ in 技术套管并固井	147
五、钻 12½ in (或 12¼ in) 井眼, 下 9¾ in 技术套管并固井	148
六、钻 8½ in 井眼, 下 7 in 生产套管并固井	148
七、试油、封井、加盖防腐帽, 回收隔水管系统与 BOP 组等	148
八、我国海洋石油钻井实例	149
主要参考文献	152

第四章 勘探深部固体矿产的金刚石受控定向钻探	153
------------------------------	-----

第一节 我国地质矿产定向钻探成就·····	153
一、定向孔分类·····	153
二、应用实例·····	153
第二节 我国自行研制的机械式连续造斜器·····	156
一、LZ 系列连续造斜器·····	156
二、CK 系列连续造斜器·····	156
三、万向节式无楔造斜器·····	157
第三节 液动螺杆钻·····	157
一、螺杆钻定向钻探的推广效果·····	158
二、螺杆钻定向钻探的优点·····	159
第四节 美国先进钻探与掘进计划(NADET)提出的一些先进项目·····	160
一、各种传感器·····	160
二、受控定向全断面掘进机·····	161
三、灵巧可调方向的钻进系统·····	161
四、革命性的深钻可调钻进系统·····	163
主要参考文献·····	164
第五章 大陆科学钻探——入地“望远镜”·····	165
第一节 从“上天、入地、下海、登极”说起·····	165
第二节 科学钻探之花开遍全球,从深海、大洋到大陆·····	167
第三节 大陆科学钻探——地球科学的前沿·····	171
一、实施科学深钻的基本目的·····	171
二、近几年科学钻探的几项主要成果·····	171
第四节 我国科学钻探事业的开创·····	172
一、中国大陆科学钻探工程(CCSDE)选区的确定·····	173
二、钻探施工设想技术方案·····	175
第五节 中国大陆科学钻探工程的技术特点及先进钻探技术·····	175
一、科学钻探施工技术的特点和面临的难题·····	175
二、具有中国特色的钻探先进技术·····	177
结束语·····	183
主要参考文献·····	184
第六章 反循环钻探·····	185
第一节 概述·····	185
一、反循环钻探法引起重视与发展的背景·····	185
二、反循环钻探法显示的优越性·····	185
三、反循环钻探法的分类·····	186
四、反循环钻探法的基本原理与成效·····	186
第二节 泵吸反循环钻探法·····	187

第三节 地面喷射反循环钻探	190
第四节 气举反循环钻探法	192
第五节 反循环连续取心(水力输送岩心)钻探法	197
第六节 中心取样(CSR)钻探法	199
一、CSR 钻探法应用范围	199
二、钻具	200
三、矿样采集	202
四、矿样缩分	202
五、经济效益	202
第七节 贝克尔(打桩机)锤击钻探法	203
一、贝克尔锤击钻探法的设施	203
二、贝克尔锤击钻探法的操作	205
三、历史实际案例	206
四、结论	207
主要参考文献	208
附录 天津地热与探采开发实例	209
一、天津地区地热资源情况简介	209
二、上第三系地热井成井工艺	209
三、雾迷山组地热井成井工艺	210
附表	212
附表 1-1 世界部分地热电站地热能生产情况	212
附表 1-2 世界部分著名地热电站热田情况	213
附表 1-3 日本地热电站运转情况	214
附表 1-4 常用各类地热井钻孔结构与尺寸	214
附表 1-5 干空气钻进所需的空气流量	215
附表 1-6 雾化钻进所需的空气流量	216
附表 1-7 MR-7000 型钻机主要技术规格	217
附表 1-8 COSO 地区热流量密度初步数据	218
附表 3-1 世界 2000 年以来新建自升式移动钻井平台简表	219
附表 3-2 世界 2000 年以来新建半潜式移动钻井平台简表	220
附表 3-3 世界 2000 年以来新建钻井浮船式移动钻井平台简表	222
附表 3-4 我国现有海洋移动式石油钻井平台	223
附表 3-5 原地矿部海洋地质调查局(现属中石化集团)石油钻井平台技术参数	224
附表 3-6 蒲福风级表	225
附表 3-7 道格拉斯浪级表	226
附表 3-8 钢丝绳规格 6×19(光亮)	226
附表 3-9 钢丝绳规格 6×37(光亮)	227
附表 3-10 美国船检局测试锚链要求	228

第一章 地 热 钻 探

近 50 余年来,科学技术、工业、农业都得到迅猛的发展,人类生活水平也得到相应的提高。随之而来的是对能源需求的日益增长。

以日本为例,能源消耗:1955 年为 234.46×10^{12} J, 1973 年为 1601.87×10^{12} J, 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%,则至 2000 年时,能源消耗约为 1973 年的 3.4 倍。

1983 年世界动力消耗比例是:石油占 30%,天然气占 12%,煤占 20%,树木占 23%,水电占 8%,核能、地热和其他合占 7%,其中核能占 1%。

美国在 1968 年前后,人们就意识到世界能源结构和利用要发生变化。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 年美国的能源消耗量为 85 EBtu[Btu 为英热单位,1 Btu=1 055.074 J, 1 E(exa)= 10^{18} , 1 EBtu=3 570 万 t 标准煤发出的热量,1 t 标准煤发出的热量=29 307.6 J],其中 20%来自国内的煤,50%来自国内的石油和天然气,20%来自进口的石油和天然气,10%来自核能、水力和地热能。当时美国国内可供采用的能源总储量,石油 1.18 EBtu、天然气 0.22 EBtu、页岩油 0.43 EBtu、煤 4.37 EBtu。

图 1-1 表示美国能源消耗量的变化,到 2000 年能源消耗量达到 0.125~0.17 EBtu,地热能占美国西部能源消耗量的 20%。

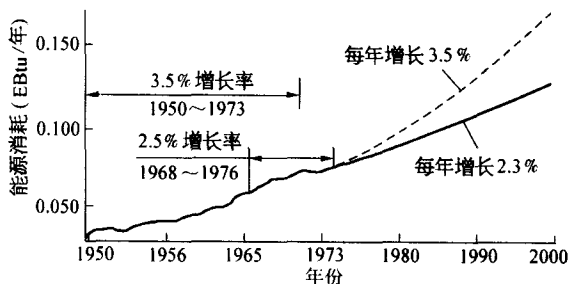


图 1-1 美国能源消耗量的变化

世界能源委员会分析,按 1998 年世界石油消费量,预计现有石油储量,仅供开采 40~50 年,随后即逐渐枯竭。

面临世界性石油短缺和能源资源不妙的远景,迫使人们注意寻求和开发新能源。

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。前四种能源又称非枯竭型能源,特别是地热中的干热岩体(Hot Dry Rock)被誉为非枯竭型能源。

还有人估计,21 世纪太阳能、风能、氢气和地热能源将占据一定比率。1998 年全世界主要国家地热发电装机容量达到 8 545 MW,占全世界能源需要量不足 2%,由于过去的 30 年

内地热发电年增长率为 8.6%，直接的非电利用率年增长率为 9.7%，因此到 2020 达到 1.5% 就算很好了。

第一节 对地球地热资源的总估价

一、地球热库

地球是一个直径约 12 700 km 的略椭球体(一说半径为 6 371 km)，其核心部分(地核)为熔融岩浆，1987 年美国加州大学和加州工学院的科学家一种新见解，地核的温度为以前估计温度的两倍，最高温度可达 6 880 °C，比太阳的表面温度高 120 °C，所以地球内部蕴藏着巨大的热能。地球外层(地壳)的温度随深度增加而增高。正常地温梯度为 3 °C/100 m。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 5~35 km，地温可达到 320~1 000 °C，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 = $6.28 \times 10^{-2} \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]，约为 60 MW/m²。有些地区的热流量明显增高，比上述平均流量值大一个数量级，在有温泉、蒸汽出露地区有明显显示，一般大于 100 mW/m²，在隐伏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，在地壳与上地幔边界处，莫霍面温度 220~1 000 °C 的范围内，一些深度为 5 000 m 的超深井，井底温度竟达 200~300 °C。而我国西藏羊八井地热田 ZK402 孔，井深 2006 m，测得温度为 329.8 °C。粗略估计地心温度可达 6 500 °C。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 10 000 m 范围内地热储量仍有近 $1\,046.7 \times 10^{18} \text{ J}$ ，相当于 3.57 万亿 t 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 10 000 m 深处地热能量约为 $4 \times 10^{29} \text{ J}$ ，相当世界煤发热总量的几千倍。

另据美国《石油工程师》杂志(1979 年 4 月号)助理编辑 Ed. Walther 推算的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 $2 \times 10^{27} \text{ J}$ ，相当于美国 1970 年耗用总能量 $7 \times 10^{23} \text{ J}$ 的 3 000 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，其中花岗岩放射性元素丰度高，含有放射性的元素缓慢而不断的衰变，释放出来的热量。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,炽热的岩浆呈熔融状态的浆糊状,温度可能高达 $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,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“岩浆房”。与此同时,在十万年以至数十万年中,连续不断地以传导方式释放热能,在有活火山地区,能源热能随时传至地表。“岩浆房”的热能逐渐传至地壳上部,临近地表 $1\,000\sim 5\,000\text{ m}$ 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在地表以下 $1\,000\sim 5\,000\text{ m}$ 的地热储层。将热水或蒸汽引到地面作能源利用,参见图 1-2 与图 1-3。

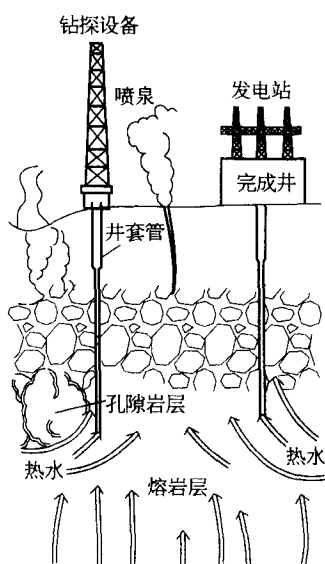


图 1-2 地热蒸汽生成图

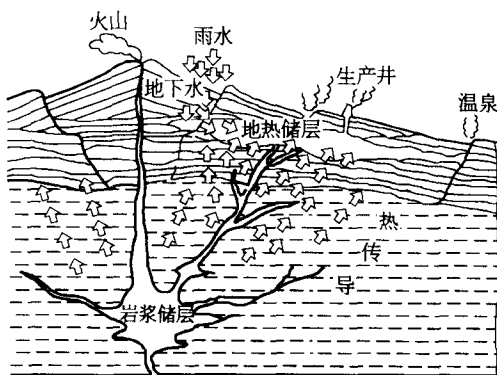


图 1-3 地球内部通过热传导、对流生成地热储层

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(或蒸汽)通过温泉或地热生产井向地表供给热能,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、造山地带、大洋中脊带,以及海沟区。

1. 板块地带

迄今已发现储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

经查明储存地热的火山带有:

- (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) 从地中海到中亚洲东西走向的地中海火山带(如法国、意大利、土耳其,以及我国西藏、云南等);
- (3) 非洲大陆东侧,南北走向的东非裂谷火山带(如肯尼亚等);
- (4) 大西洋中脊北段活火山带(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、前苏联和我国的部分地区。

四、我国地热资源分布

我国是个地热资源相当丰富的国家。根据现有资料,全国分布有 2 000 多处天然温泉,地热水和蒸汽显示多出现在东部和西南部。在矿产与石油勘探过程中,一些大型沉积盆地已发现了地热水,主要是中低温型的。

我国热沸泉统计见表 1-1。

表 1-1 我国热沸泉统计

省、自治区	热沸泉数量	省、自治区	热沸泉数量
黑龙江	2	贵 州	47
吉 林	3	四 川	296
辽 宁	113	云 南	706
内蒙古	44	西 藏	364
河 北	1	陕 西	3
山 西	9	宁 夏	24
山 东	13	甘 肃	4
江 苏	10	青 海	36
安 徽	3	新 疆	84
河 南	14	湖 南	31
江 西	92	湖 北	46
浙 江	6	广 西	54
福 建	153	广 东	296
台 湾	81	(包括海南)	

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,含青海唐古拉山以南,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 800 km 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 °C 的、以湿蒸汽为主的地热资源。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、西两条地震带上,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 °C 以上的热水点约占该两省热水点总数的 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 °C 以上的温泉地带多处,一些地热区的钻孔水温已超过 100 °C,如广东东山湖温泉区 102 °C。福建福州钻孔温度 >100 °C,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深大断裂带,它自长江以南开始,向北经过鲁、辽、吉、黑等省境,一直延伸到俄罗斯远东地区。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所遇到的热水,地热梯度从 3.42 °C/100 m 到 4.57 °C/100 m,江苏东海温泉区钻孔深 545 m,温度达到 94 °C,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 °C 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带和褶皱组成,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,除极个别地区外,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。在构造上属祁吕后贺兰山型。晚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。在该活动带上,温泉分布较多,水温较低,一般在 $40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。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 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。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为 $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,陇东盆地地温较低。总起来看,该带以低温热水居多,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 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 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 $6\,416\text{ km}^2$,见表 1-2。但因地热地质工作不均衡,已探明地区有北京的东南城区、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。

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($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)
北 京	8	196	3~16
天 津	10	3\,036	4~8.8
唐 山	16	3\,184	3.2~15.7

六、地热勘探研究和规划

如今地热勘探方法与手段逐渐增多,地热能的研究和验证已为开发商业性能源加以利用,要求:

(1) 查明、圈定和估计地下有用热源基础规模。收集全国石油与天然气井、水井和专门地热测温井的低温资料,予以整理、处理。编制全国地热能源有关图件,如编制 $1/500$ 万比例尺的地温图,地热梯度图。据此编制近、中、远期地热开发计划。

利用航空红外线扫描、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。

利用天然与人工地震,大地电磁频率探测,高温高压测井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) 为正在施工的石油天然气井、水井、矿产勘探钻孔作地温、地压、地层密度测量,测定地热和地热梯度异常区。

(5) 实行地热钻探,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

地热是一种可以开发的能源,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

称得上地热地带的标准,主要是利用地热发电。目前是大单机发电容量已达到或超