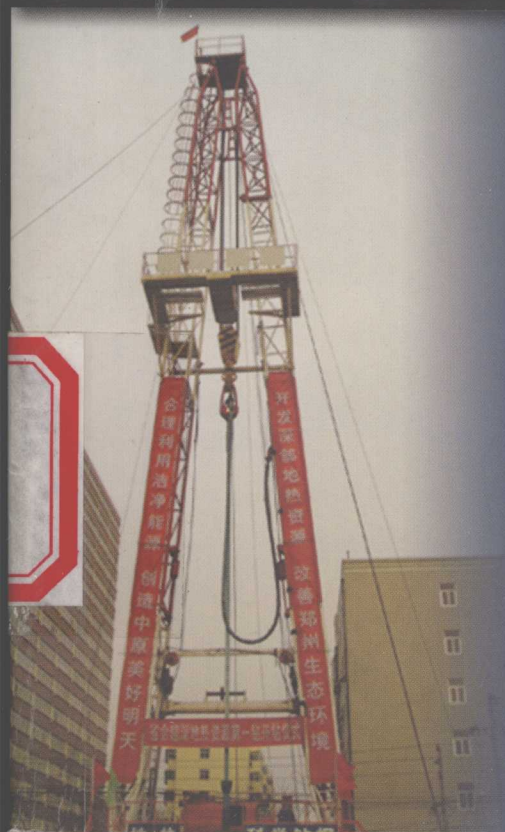


QIANMI DIREJING
SHIGONG JISHU

千米地热井 施工技术

刘志国 等编著



黄河水利出版社

千米地热井施工技术

刘志国 刘新丽 刘丕新 王现国 编著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

千米地热井施工技术 / 刘志国等编著. — 郑州:
黄河水利出版社, 2004.10

ISBN 7-80621-833-5

I. 千… II. 刘… III. 地热井—施工技术
IV. TK521

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 098566 号

策划编辑: 王路平 ☎ 0371-6022212 E-mail: wlp@yrcp.com

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371-6022626

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 850 mm × 1 168 mm 1 / 32

印张: 6.375

字数: 160 千字

版次: 2004 年 10 月第 1 版



印数: 1—2 000

印次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-80621-833-5 / TK · 6

定价: 15.00 元

序

改革开放以来，随着经济的高速增长，我国已成为世界上第三大石油消费国，已由过去的石油净出口国成为了世界上第二大石油进口国。近两年来，在许多地区和大城市又出现了电力紧张的情况。面临石油短缺和电力的供不应求，我们必须寻找和开发新能源，其中地热资源就被誉为非枯竭性能源。

地球是一个庞大的天然热库，蕴藏着巨大的热能。其热量源自深部岩浆和岩石中放射性元素衰变释放的能量和板块相互碰撞、错动产生的摩擦热。当地热能封闭在距地表较近的距离并可开采利用时，就成为了地热能源。如果按平均垂直地热梯度 $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 估算，世界范围内陆地 3 km 深度以内储存的热量相当于近万亿吨石油，其中约 20% 的热量储藏在地下流体中，约 80% 储藏在地下岩石中。迄今，世界上已形成了新兴的“地热工业”。我国也已发现地热点 3 000 余处，各省市区几乎都有地热资源。

目前，钻探（井）仍是勘探与开发地热资源的惟一手段。天津、北京、西安等城市及福建、山东、河南、广东等省正兴起钻井的热潮。例如，中原地区 1 km 深度左右分布着许多沉降盆地构造断裂地热田，地下热水具有多层、承压、水量稳定的特点。近十几年来，郑州、开封、新乡等地市均钻成了深达千米以上的地热井，取得了重大的经济效益和社会效益，这其中就包含了刘志国同志的辛勤劳动与聪明才智。

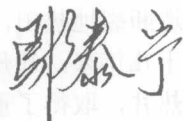
刘志国曾是我的学生。1986 年暑假我带他们班同学赴河南桐柏山区进行钻探实习的情景还历历在目。“士别三日当刮目相看”，

当年的班干部，今天已成长为河南省地质工程公司的党委书记、高级工程师、建筑施工企业一级项目经理、优秀科技模范带头人。他长期从事水文水井及地热井的施工与技术管理工作，积累了丰富的经验。

刘志国同志具有强烈的事业心，不仅在技术和行政工作中精益求精，而且坚持边工作边攻读硕士学位，不断提高自己。2004年5月，我作为他研究生论文答辩委员会的主席，亲自审阅了他的硕士论文，并聆听了他的论文答辩。他题为“中原地区千米地热井施工技术”的论文洋洋十余万字，在分析中原地区千米地热井施工现状的基础上，指出了其技术工艺方面的不足；结合中原地区地层情况，吸取成熟的石油钻井技术、成井工艺，理论联系实际地提出了中原地区地热深井施工的技术工艺，具有创新性和实用性。论文层次清晰，资料翔实，图文并茂，逻辑合理，结论可信。评委们一致认为，这是一篇几乎可以作为地热钻井“参考手册”的优秀论文。

“长江后浪推前浪”，老师为学生在地热钻井领域取得的不凡成就感到高兴。值此《千米地热井施工技术》一书出版之际，我要感谢刘志国、刘新丽伉俪为繁荣钻探（井）工程学科付出的辛勤劳动，希望他们在事业上继续“求索”，“欲穷千里目，更上一层楼”。

政府特殊津贴获得者、教授、博士生导师



2004年7月于中国地质大学(武汉)

前 言

地热能源是 21 世纪大力推广的绿色能源, 它的开发利用必将推动地热钻井技术的进一步发展。在地热开发利用上, 许多新工艺、新方法、新技术将不断涌现。本书试图对现有地热井施工中存在的不足, 经过从设备配置入手, 结合国产化情况, 提出了采用牙轮钻头, 合理配置钻柱, 选择泵压、泵量以及钻井液的不同特性, 来提高地热钻井速度, 确保钻井质量, 提出了“地热开发钻井是基础、成井是关键”的思路。成井过程设计流程明确, 环节要求严格, 既有对过去技术经验的总结, 也有对未来技术的展望, 更注重现有的实用性。事故处理方面借鉴或引进了石油钻井事故处理的方法, 达到快速、有效。

技术展望, 提出了现阶段所应推广使用的气举反循环钻井技术, 以及未来钻井技术的难点及技术保障, 对于地热钻井技术将来的发展作了较好的预测。科学打钻将深入人心, 并随着多学科技术的发展, 将得到全面推广。

总结本书有以下特点:

(1) 针对中原地区千米地热井施工存在的技术问题, 经过理论与实践的分析, 综合采用了地质与石油钻探的技术优势, 二者充分结合用于地热井施工。

(2) 针对地热井施工特点, 经过理论与实践的检验, 在设备选用上以轻便、快速为原则; 经过大量的实践及理论研究, 确定以新的牙轮钻头为主要破岩工具。

(3) 着重介绍了实现快速钻井的方法选择, 提出了钻井参数由模拟石油钻井向石油钻井参数发展的新思路。特别提出了钻具

配置趋向于大直径系列, 钻压控制在 $80 \sim 150 \text{ kN}$ 范围内, 泥浆泵以高泵压大排量为; 通过钻井液流变参数调整实现钻井的“快速”, 确保井内的“安全”。

(4) 在理论与实践经验的指导下, 筛选出了一套对于地热钻井和成井具有重要指导意义的公式或模型, 以便在实际工作中使用。

(5) 在成井技术方法上有创新, 如常温贴砾管技术、非填砾技术、遇水膨胀橡胶技术等, 把新工艺、新材料用于实际生产, 具有重大的指导意义。

(6) 在事故处理方法上, 综合地质钻探和水文水井钻探技术, 引进了石油钻井事故的概念及方法, 达到快速有效。

(7) 提出了未来地热井施工斜井的观点, 突破了传统地热水井打直井的思维定势。同时对地热井处理提出了独到的见解, 尤其是在侧钻开窗技术及射孔技术等方面。

(8) 对未来技术进行了展望, 倡导现阶段推广使用气举反循环钻井技术, 同时积极倡导复合钻井技术(冲击+螺杆等一体化), 实现钻井的科学化、智能化。

在本书出版之际, 要特别感谢中国地质大学(武汉)的乌效鸣教授、张晓西教授等老师一直给予多方面的关心和支持。鄢泰宁教授细心审阅书中的一些重要章节, 提出了许多宝贵意见, 并为本书作序, 在此一并表示衷心的感谢。

由于地热钻探(井)涉及的专业知识面很广, 而作者的阅历有限, 因此书中肯定会存在不少欠缺或不妥之处, 希望读者批评指正。

作 者

2004 年 9 月

目 录

序	鄢泰宁
前 言	
第一章 地热工程概况	(1)
第一节 地热——绿色能源	(1)
一、地热资源	(1)
二、地热能利用与展望	(4)
三、国内外地热勘察技术	(13)
第二节 中原地区地热概况	(20)
一、千米范围内的地热情况	(20)
二、中原地区千米井施工状况	(21)
第二章 设备配置及施工布置	(23)
第一节 设备选择	(23)
一、设备选择的原则	(23)
二、钻机的选择	(23)
三、泥浆泵的选择	(24)
四、钻塔及动力选择	(26)
第二节 施工布置	(28)
一、地基承载力计算	(28)
二、施工布局	(31)
三、设备的拆、迁、安和运输	(31)
第三章 钻井工艺	(33)
第一节 钻孔结构	(34)

一、	钻孔结构选择原则	(34)
二、	常用的钻孔结构	(34)
三、	钻孔直径的选择与水量的关系	(35)
第二节	钻进方法	(35)
一、	钻头的选择与使用	(36)
二、	受力分析与设计	(41)
三、	钻进参数选择	(68)
第三节	钻井液	(84)
一、	钻井液的性能	(84)
二、	钻井液的配制	(90)
三、	钻井液固相控制	(95)
四、	防漏与堵漏	(101)
第四节	直井防斜技术	(105)
一、	井斜原因	(105)
二、	防斜钻具	(106)
第四章	成井工艺	(109)
第一节	成井工艺选择	(109)
一、	成井工艺流程选择	(109)
二、	地球物理测井	(110)
三、	取水段选择	(112)
第二节	通孔与破壁	(113)
一、	通孔(井)	(113)
二、	破壁	(113)
第三节	井管安装	(114)
一、	井管受力与质量选择	(115)
二、	井管结构及下入方法	(117)
三、	井管的连接	(120)
四、	下管注意事项	(121)

第四节	冲孔换浆	(122)
一、	换浆目的	(122)
二、	换浆方法	(123)
第五节	过滤器选择	(126)
一、	过滤器型号选择	(127)
二、	过滤器参数配置	(131)
第六节	填砾	(133)
一、	砾料的选择	(134)
二、	填砾厚度及数量	(134)
三、	填砾方法	(135)
四、	非填砾技术	(136)
第七节	止水与固井	(136)
一、	止水	(136)
二、	固井	(139)
第八节	洗井及抽水试验	(140)
一、	洗井	(140)
二、	抽水试验	(142)
三、	资料整理	(143)
第五章	常见事故的处理	(144)
第一节	钻具事故及处理	(144)
一、	常见的钻具事故	(144)
二、	钻具事故的处理	(145)
第二节	落物事故及处理	(148)
一、	常见的落物事故	(148)
二、	落物事故的处理	(149)
第三节	卡钻事故及处理	(152)
一、	卡钻的类型、原因及预防	(152)
二、	卡钻事故的处理	(158)

第四节 成井过程中常见事故及处理	(163)
一、事故及预防	(163)
二、事故的处理	(164)
第六章 旧井修复技术	(166)
第一节 研究对象及仪器	(166)
一、旧井处理研究的对象	(166)
二、旧井处理工程主要检测仪器	(166)
第二节 旧井处理	(170)
一、涌砂井	(170)
二、水量减小	(171)
三、井管破裂	(174)
四、水温降低	(176)
五、落物处理	(176)
六、侧钻成井技术	(176)
第七章 技术展望	(181)
第一节 气举反循环技术的推广应用	(181)
一、气举反循环钻井技术的实现过程	(181)
二、强化地热气举钻井技术	(182)
第二节 钻井技术的发展趋势	(183)
一、钻井学科的特点	(183)
二、钻井技术的发展趋势	(186)
参考文献	(192)

第一章 地热工程概况

第一节 地热——绿色能源

一、地热资源

地球由地壳、地幔和地核组成，它是一个巨大的热库，越往地下温度越高。地热就是指地球内部蕴藏的能量(见图 1-1)，从地球表面往下正常增温梯度是每 1 000 m 增加 25~30℃，在地下约 40 km 处温度可达 1 200℃，地球中心温度可达 6 000℃。由于构造原因，地球表面的热流量分布不均，这就形成了地热异常，如果再具备覆盖层、储层、导热、导水等地质条件，就可以形成地热，从而进行地热资源的开发利用。

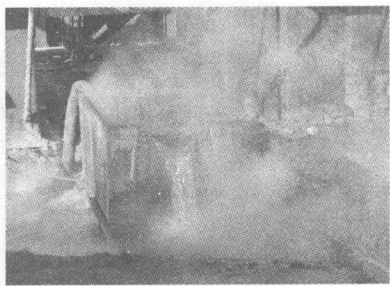
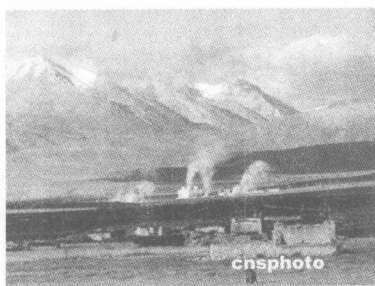


图 1-1 地热能

(一) 地热资源

地热资源是指在当前的技术经济条件下，能够科学、合理地

从地壳内开发出来的岩石中的热能和地热流体中的热能量及其伴生的有用组分。

地热资源按其在地下的赋存状态,可以分为水热型、干热型和地压型地热资源,其中水热型地热资源又可进一步划分为蒸汽型和热水型地热资源。

各种类型的地热资源均要通过一定程序的地热地质勘察研究工作才能查明地热资源数量、质量和开采技术条件,以及开发后的地质环境变化情况。目前地热资源勘探的深度可达到地表以下 5 000 m,从技术经济角度分析,其中井深小于 2 000 m 为经济型地热资源,2 000 ~ 5 000 m 为亚经济型地热资源。

(二)生成与分布

地热资源的生成与地球岩石圈板块发生、发展、演化及其相伴的地壳热状态、热历史有着密切的内在联系,特别是与更新世依赖构造应力场、热动力场有着直接的联系。从全球地质构造观点来看,大于 150 °C 的高温地热资源带主要出现在地壳表层的各大板块的边缘,如板块的碰撞带、板块开裂部位和现代裂谷带;小于 150 °C 的中、低温地热资源分布于板块内部的活动断裂带、断陷谷和凹陷盆地地区。

地热资源赋存于一定的地质构造部位,有明显的矿产资源属性,因而对地热资源要实行开发和保护并重的科学原则。

(三)成因类型

根据地热资源成因,我国地热资源分为以下几种类型(见表 1-1):

(1) 现(近)火山型。现(近)火山型地热资源主要分布在台湾大屯火山区和云南西部腾冲火山区。腾冲火山高温地热区是印度与欧亚板块碰撞的产物。台湾大屯火山高温地热区属于太平洋岛弧之一环,是欧亚板块与菲律宾小板块碰撞的产物。在台湾已探到 293 °C 高温地热流体,并在靖水建有装机 3 MW 地热试验电站。

表 1-1 中国地热资源成因类型

成因类型	热储温度	代表性地热田
现(近)火山型	高温	台湾大屯, 云南腾冲热海
岩浆型	高温	西藏羊八井、羊易
断裂型	中温	广东邓屋、东山湖, 福建福州、漳州, 湖南灰汤
断陷盆地型	中低温	京、津、冀、鲁西、昆明、西安、临汾、运城
凹陷盆地型	中低温	四川、贵州等省分布的地热田

(2) 岩浆型。在现代大陆板块碰撞边界附近, 埋藏在地表以下 6~10 km, 隐伏着众多的高温岩浆, 成为高温地热资源的热源。如在我国西藏南部的高温地热田, 均沿雅鲁藏布江即欧亚板块与印度板块的碰撞边界出露, 就是这种成生模式的较典型的代表。西藏羊八井地热田 ZK4002 孔, 在井深 1 500~2 000 m 处发现 329.8℃ 的高温地热流体; 羊易地热田 ZK203 孔, 在井深 380 m 处, 探获 204℃ 高温地热流体。

(3) 断裂型。主要分布在板块内侧基岩隆起区或远离板块边界由断裂形成的断层谷地、山间盆地, 如辽宁、山东、山西、陕西以及福建、广东等。这类地热资源的生成和分布主要受活动性的断裂构造控制, 热田面积一般几平方公里, 甚至小于 1 km²。热储温度以中温为主, 个别也有高温, 单个地热田不大, 但点多、面广。

(4) 断陷、凹陷盆地型。主要分布在板块内部巨型断陷、凹陷盆地之内, 如华北盆地、松辽盆地等。地热资源主要受盆地内部断块、凸块或褶皱隆起控制, 该类地热资源的热储层常常具有多层性、面积状分布的特点, 单个地热田的面积较大, 达几十平方公里, 甚至几百平方公里, 地热资源潜力大, 有很高的开发价

值。

(四)温度分级

根据地热勘察国家标准 GB11615—89, 地热资源按温度分为高温、中温、低温三级, 见表 1-2。

表 1-2 地热资源温度分级

温度分级	温度(t)界限(℃)	主要用途
高温	$t \geq 150$	发电、烘干
中温	$90 \leq t < 150$	工业利用、烘干、发电、制冷
低温	$60 \leq t < 90$	采暖、工艺流程
低温	$40 \leq t < 60$	医疗、洗浴、温室
低温	$25 \leq t < 40$	农业灌溉、养殖、土壤加工

二、地热能利用与展望

地热资源是集热、矿、水三位于一体的清洁而宝贵的矿产资源。世界各国在地热资源开发利用方面, 大都经历了沐浴、医疗、供热采暖和地热发电四个阶段。

地热利用的历史几乎与人类的历史同样久远。明代李时珍在《本草纲目》中就有记载: “温泉主治诸风湿、筋骨挛缩及肌皮顽痹、手足不遂、无眉发、疥、癣诸疾; 在皮肤骨节者, 入浴, 浴讫当大虚惫, 可随与药及饮食补养……”

1904 年, 意大利首次利用 Larderello 地热田的蒸汽发电, 机组容量 15 kW。如果把它看做地热能进入实用能源行列的起点, 那么, 地热能的工业开发利用已走过了百年历程。在最近的 20 多年间有越来越多的国家, 包括工业发达国家和发展中国家, 得到一个共同认识: 地热能资源是可供选择的替代能源。

对于任何一个国家来说,地热是本土资源,对它开发利用的时间、规模和分布容易控制,不必担心卷入运输或主权的争端,而且,地热资源的潜力可以满足国家长期发展的需要。因此,地热资源的开发利用有利于提高国家能源系统的独立性和安全性。

地热能开发利用对环境的有害影响小。地热能作为替代能源不论是用于发电还是直接热利用,都能大幅度削减温室气体排放量,减轻对环境的不利影响。目前,水热型地热热储的开发技术和利用技术是成熟的,设备运行可靠;现代地热电站的可用系数达 95%或更高。另外,地热能开发利用的技术在不断发展,新的技术发展有望降低地热能的开发费用,增进地热能生产的稳定性和长期性。由此可见,地热能将在 21 世纪可持续发展中占有相当明显的比重。

(一)地热能利用情况

到 20 世纪末,全世界至少有 83 个国家开发利用或有意开发地热资源,约有 50 个国家统计了地热能利用的数量。全世界 1997 年年底的地热发电装机容量为 7 950 MW,分布在表 1-3 所示的 20 个国家。

地热直接热利用已从传统的小型单项利用进展到成规模的工程应用。全世界分布在 38 个国家中的地热直接利用设备热功率为 9 047 MW,最大的利用项目采暖占 33%,沐浴、游泳和医疗等占 19%,温室占 14%,热泵占 12%,养殖占 11%,工业应用占 9%,农产品干燥占 1.5%,融雪占 0.5%,年利用的能量折合 365 万 t 石油当量。今后的开发最有可能在具有下列条件的地方或领域:资源和用户地理配合、热负荷和冷负荷密度高的地方、食物和谷物脱水、气候较冷地区的温室、控制最佳生长养殖、供暖与降温用土壤热源和地下水热泵。根据目前的技术水平,钻井深度 3 000 m 被认为是开发利用地热资源的经济界限。

表 1-3 20 个国家装机容量情况

国 家	装机容量(MW)	国 家	装机容量(MW)
美 国	2 850	冰 岛	51
菲律宾	1 780	肯尼亚	45
墨西哥	743	中 国	32
意大利	742	土耳其	21
日 本	530	俄罗斯	11
印度尼西亚	528	葡萄牙(亚速群岛)	8
新西兰	364	法国(哥德洛普岛)	4
萨尔瓦多	105	阿根廷	0.7
尼加拉瓜	70	澳大利亚	0.4
哥斯达黎加	65	泰 国	0.3

(二)工业发达国家应用示范

冰岛 1997 年的一次能源消耗量为 254 万 t 石油当量, 其中 48% 由地热能供应(水电供应占 17.6%, 依赖进口的石油降低至占 31.9%, 煤占 2.4%), 地热发电量约占全国发电量的 6%, 到 2000 年超过了 15%; 采暖是地热能直接利用最大的项目, 占 77%, 地热采暖的费用只是燃油采暖的 20%~30%, 因地热采暖代替石油采暖(燃油消费已不足 3%), 估计每年节省 1.0 亿美元, 即人均 400 美元; 85% 的住宅采用地热采暖, 首都雷克雅未克几乎全部利用地热水采暖。

美国是地热发电装机容量最多的国家。据美国可再生能源 1996 年度报告的评述, 美国目前在地热发电方面形成了可用系数很高(常常高于 95%)而稳定的电力供应; 在俄勒岗、爱达荷和加利福尼亚等州, 一些地方的地热区域采暖系统已经运行了几十年; Geysers 地热田是美国也是世界上最大的地热发电基地, 以安全、发电成本低和环境影响小而著称, 已有 40 年的历史, 它也是一个现场研究基地。把地热资源以外的水注入热储以维持压力和产量