

地热资源开发 与 问题研究

卢予北 等著



黄河水利出版社

地热资源开发与问题研究

卢予北 吴 烨 张秋冬 王现国 著

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

地热资源开发与问题研究/卢予北等著. —郑州:黄河水利出版社, 2005. 6

ISBN 7-80621-925-0

I. 地… II. 卢… III. 地热-资源开发-研究 IV. P314

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 063135 号

策划组稿:王路平 ☎ 0371-66022212 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 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

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:4.625

字数:116 千字

印数:1—1 600

版次:2005 年 6 月第 1 版

印次:2005 年 6 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-925-0/P·40

定价:12.00 元

序

地热(水)资源是十分珍贵的矿产资源,具有较广泛的用途,它既是清洁能源,又对人体有保健功能;进入新世纪以来,随着社会进步、城市化和生态城市建设的发展,促进了对地热能的开发利用。地热资源开发的主要手段是通过地热井提取流体热能。工程的成败和效益取决于成井质量。作者对钻井工艺、事故处理、井管腐蚀和地热井水量衰减等问题进行了系统研究,视角开阔,勇于创新。并结合地热钻井施工和修井实践,进行了多方面的探索,取得了多项成功的范例。特别是研制了新型高强度贴砾滤水管、水井除砂器等新产品,对保证地热井的成井质量、处理病害事故具有重要参考价值。该书可作为地热钻井技术人员和地热专业研究生学习的参考书。

李明朗

(原天津市地矿局总工程师、教授级高工、
全国地热规划组组长)

2005年4月19日

前 言

地热属于宝贵的地下资源,同时也是一种洁净的绿色能源。开发利用地热资源不仅可以提高人们的生活质量和品位,而且还可以减少大气污染,具有显著的环境效益。为此,世界各国相继把地热资源作为一种新的能源和资源进行开发利用,如用于发电、供热供暖、温泉洗浴、医疗保健、种植养殖和旅游业,并带动其他相关的产业。我国北京和天津地热资源开发利用发展迅速并形成规模,其他地区的地热资源勘查与开发也出现了强劲的趋势。

我国在发电、供热供暖等领域主要使用传统的消耗性能源,如煤炭、石油和天然气等,这些能源的消耗一方面属于不可再生,另一方面对环境造成一定的污染。从现代能源结构看,石油、煤炭、天然气等都不能回收,燃烧后就消失了。所以,在人类社会发展和传统能源紧缺的情况下,寻找新的能源和资源,并加强开发和合理利用具有光明的前景和重大的意义。

我国的地热资源主要以水为载体,通过钻井手段将地下热能开采出来。就目前地热开发的情况来看,其技术、规模和管理参差不齐,突出存在的问题是井管腐蚀、水量和温度衰减、使用寿命低等。针对这些问题,作者结合近年来实际工作和大量的第一手资料编写了该书,同时也是作者硕士论文《现代水井工程若干技术问题分析与研究》和《旧井处理工程技术与应用》、《河南省地热井金属井管腐蚀机理初步研究》等研究课题内容的统一归纳和完善。书中的部分成果通过了省级验收和鉴定(达到了国内领先水平),并受到了中国工程院院士刘广志和吉林大学工程技术学院院长、博士生导师殷琨教授的好评。

该书中的腐蚀试验部分主要由郑州经济管理干部学院环境工程系吴烨同志承担;野外的部分工作和检测由黄煊、卢予平、张秋冬等同志承担;桂林工学院环境与资源工程系吴英隆教授对书稿进行了详细认真的校对和修改,在此表示真诚的感谢!

由于时间问题和作者水平有限,书中难免存在一些问题和不足。本书编写目的有二:一是引起注意,共同关注新能源的合理开发与利用;二是抛砖引玉,加强地热资源开发与问题研究。

本书可供从事地热资源勘查与开发人员和相关管理部门人员阅读参考,也适用于水文水井钻探和旧井处理工程、石油钻井、盐矿钻井等领域。

卢予北

2005 年 5 月于郑州

目 录

序	李明朗
前 言	卢予北
第一章 绪论	(1)
第一节 能源与环境问题	(1)
第二节 地热资源的开发利用	(6)
第三节 可持续发展与循环经济	(15)
第二章 地热井工程技术现状	(20)
第一节 地热钻井常用的主要设备及性能	(20)
第二节 钻井工艺及主要技术方法	(29)
第三节 地热钻井工程中压差卡钻事故处理	(37)
第三章 地热井金属井管腐蚀问题研究	(43)
第一节 地热井金属井管腐蚀机理与影响因素	(47)
第二节 地下热水中主要成分及其来源	(61)
第三节 土壤的腐蚀环境	(64)
第四节 大气的腐蚀环境	(70)
第五节 金属井管的腐蚀试验	(76)
第六节 SJ-2 型井下彩色电视检查系统及井管腐蚀 检测实例	(81)
第七节 地热井腐蚀主要类型	(84)
第四章 地热井处理工程及相关产品研制	(91)
第一节 地热井处理工程研究对象	(91)
第二节 地热井处理工程研究意义	(92)
第三节 新型高强度贴砾滤水管研制	(93)

第四节	供水井除砂器研制与应用	(98)
第五章	地热井涌砂问题研究与处理技术	(103)
第一节	地热井涌砂的危害与成因分析	(103)
第二节	涌砂井的治理技术	(105)
第六章	地热井水量衰减问题与处理技术	(108)
第一节	地热井水量减小成因与类型	(108)
第二节	地热井胶结成垢影响因素与评价	(109)
第三节	水量减小处理技术方法	(111)
第七章	金属井管腐蚀治理技术	(122)
第一节	金属防腐蚀的基本方法	(122)
第二节	耐腐蚀井管的选择与应用	(125)
第八章	技术展望与发展方向	(128)
第一节	地热资源开发存在的问题	(128)
第二节	知识经济条件下地热资源的勘查与开发	(130)
第三节	金属井管表面处理技术	(136)
第四节	相关技术研究问题	(137)
参考文献		(140)

第一章 绪 论

第一节 能源与环境问题

能源包括太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能、氢能、水电、天然气能和空气能等。传统的能源主要以消耗性为主,如煤炭、石油、天然气等,这些能源的消耗一方面属于不可再生,另一方面对环境造成一定的污染。对于太阳能、风能、地热能、海洋能和氢能的开发利用目前还处于一个初级和试验阶段。从现代能源结构看,石油、煤炭、天然气等都不能回收,燃烧后就消失了,更何况石油、天然气的储量仅够人类再用 40~50 年。为此,世界各国对此高度重视。

到 2020 年,我国将建成小康社会,按照保守的估计,人均能源消费量将达到 2t 标准煤,全国将达到近 30 亿 t 标准煤。综观国内能源资源条件,国内能源供应将面临潜在的总量短缺,尤其是石油、天然气供应将面临结构性短缺。为应对挑战需要采取以下对策:调整和优化能源结构,建立可持续能源保障体系;发展洁净煤技术,减少能源利用对环境的影响;优先发展水电,提高水电在能源消费结构中的比例;大力促进新能源和可再生能源的发展;给核能发电应有的地位,达到能源消费总量的 1/10;坚持节能和提高能源利用效率;多元化利用国际油气资源,规避能源风险;建立以石油储备为主的能源战略储备体系,保障能源安全。

我国能源问题专家郑健超院士提出:解决中国能源问题和解决吃饭问题一样难!他说:“我国能源供应紧张的状况才刚刚开

始。按照经济高速增长情景设计,2020 年我国的能源需求将达到 31 亿 t 标准煤,居世界第二。形象地说,在未来的 20 年,中国要增加 26 座兖州煤矿、6 个大庆油田、8 个西气东输工程、4 个左右的三峡水电站的装机容量、20 个大亚湾核电站和 400 个大型火电站。为了配套,还需要大规模扩建电网、油气管路、煤炭运力等基础设施。”

环境是人类生存和活动的场所。人类为满足生活和生产活动的需求,一方面向环境索取自然资源和能源,一方面又将生活和生产过程中产生的废物排泄到环境中去。因此,环境既要向人类提供足够的生存空间、物质资源和能源,又要接收、容纳并消化人类的活动产生的各种排泄物。伴随着地球上人口数量的不断膨胀和人类活动能力的不断增强,当人类向环境索取的物质和能量超过了环境所能提供的能力,排放到环境中的各种排泄物质使其他生物的正常生存和发展受到损害时,我们就说发生了环境污染。

环境污染最早开始引起注意可追溯到产业革命时期。由于煤炭的规模使用,引起粉尘和硫氧化物的大量排放,从而造成了空气污染。后来,伴随着工业的进一步发展与扩大,在社会生产力得到几十倍、成百倍增长的同时,排放到环境中的废气、废水和废渣也几十倍、几百倍地增长,使得水、大气、土壤等受到的污染日趋严重。某些地区的大气经常烟雾弥漫,河流和湖泊的水质污浊,垃圾围城,农药、重金属、各种有毒化学品污染严重,导致了一系列震惊世界的公害事件发生,如洛杉矶光化学事件、日本水俣病等,使成千上万的人遭难。图 1-1 是我国某地燃煤造成的空气污染,这类现象在其他任何一个地区都存在,已经是一个司空见惯的问题。环境污染造成的严重后果引起了人们对环境问题的重视,使人们在致力于经济发展的同时也开始对环境污染采取了各种控制和治理措施。特别是 20 世纪 70 年代后,工业发达国家为治理环境污染,制定了各种法律和条例,投入了大量物力和人力,使得环境污

染逐步得到控制,环境质量得到了很大改善。80年代以后,除局部及区域性环境污染以外,酸雨、温室效应、臭氧层破坏等全球性环境问题开始成为世界各国关注的重点。



图 1-1 燃煤造成的空气污染

酸雨的形成主要与煤炭和石油燃烧以及工业生产等释放到大气中的二氧化硫和氮氧化物污染物有关。二氧化硫和氮氧化物污染物在大气中通过化学反应分别转化成硫酸和硝酸,混入雨水或雪水中,使其酸度增加。同时酸雨的形成还与许多碱性物质有关,如飞灰中的氧化钙、土壤中的碳酸钙以及其他碱性物质可与酸发生中和反应。酸雨的酸度实际上是大气中阴阳离子酸碱反应的综合结果,涉及复杂的大气化学和物理过程。

酸雨的危害首先是对人体健康的危害,由于酸雨在降落过程中可以溶解空气中的重金属粒子,使其变成对人体有害的金属盐,特别是对体弱多病、抵抗力较差的人们,酸雨可诱发各种呼吸道疾病。二是破坏生态系统,土壤酸度增加、结构受到破坏,植物的正常生长受到危害,肥沃的土壤甚至变为贫瘠的不毛之地;森林遭受严重毁坏;河流、湖泊发生酸化,影响鱼类生长。如瑞典和挪威南

部以及美国东北部的许多湖泊由于酸化而成为无鱼的死湖。三是超级腐蚀作用,酸雨能腐蚀建筑材料、金属构件和油漆等,使大批建筑物包括名胜古迹遭受损害。由此可以看出,酸雨的危害是巨大的。欧洲经济委员会报告书称,因酸雨危害造成的经济损失额相当于全世界每人损失 2~10 美元。为此有人将酸雨称为“空中死神”。

20 世纪以来,全世界的酸雨污染范围日益扩大。原只发生在北美和欧洲工业发达国家的酸雨,逐渐向一些发展中国家和地区扩展,如印度、东南亚、中国等。同时酸雨的酸度也在逐渐增加。欧洲大气化学监测网近 20 年连续监测的结果表明,欧洲雨水的酸度增加了 10%,瑞典、丹麦、波兰、德国、加拿大等国的酸雨 pH 值多为 4.0~4.5,美国已有 15 个州的酸雨 pH 值在 4.8 以下。我国是一个燃煤大国,由于对燃烧排放的二氧化硫的治理尚处于起步阶段,致使一些地区酸雨污染日趋严重。华中、西南和华南地区已成为可与北美酸雨区、欧洲酸雨区并列的世界三大酸雨区之一。据统计,我国降水年均 pH 值低于 5.6 的城市有 44 个,占统计城市数的 47.8%;75% 的南方城市降水年均 pH 值低于 5.6。其中,酸雨尤为严重的有重庆、贵阳等地,降水 pH 值在 4.3 左右,对当地的森林、植物等产生很大危害,同时对人类健康也造成严重的威胁,图 1-2 是重庆某地一农民长期遭受污染而导致的皮肤搔痒病。据报道,重庆南山 1 800hm² 马尾松林,因酸雨死亡了 46%。这些地区和城市已被列入国家重点酸雨控制区域。控制酸雨的根本措施是减少二氧化硫和氮氧化物的人为排放量。

未来我国温室气体排放预计将从 2000 年占全球总量的 12.7% 增加到 2020 年的 16.7%。此外,与能源利用相关的空气污染还包括二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及粉尘等,导致我国有 1/3 以上的国土受到了酸雨的威胁。近年来,我国许多城市空气质量每况愈下,部分归咎于小型工业锅炉及炉灶中煤的直接燃烧。

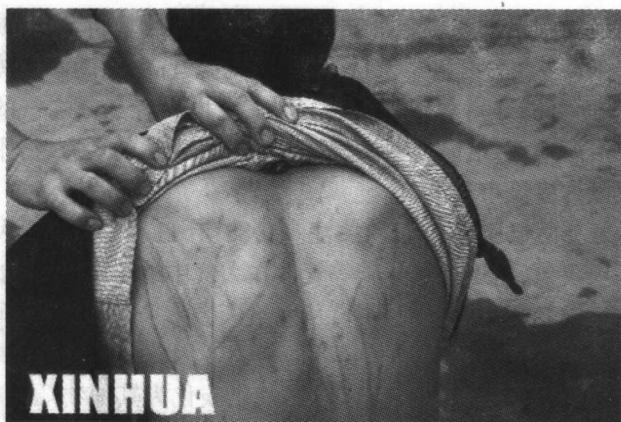


图 1-2 空气污染对人类健康的威胁

温室效应,就是太阳短波辐射可以透过大气射入地面,而地面增暖后放出的长波辐射却被大气中的二氧化碳等物质所吸收,从而产生大气变暖的效应。大气中的二氧化碳就像一层厚厚的玻璃使地球变成一个大暖房。据估计,没有了大气,地球平均温度就会下降到 -23°C ,而实际地表平均温度为 15°C ,这就是说温室效应使地表温度提高 38°C 。除了二氧化碳以外,对产生温室效应有重要作用的气体还有甲烷、臭氧、氯氟烃以及水气等。随着人口的急剧增长、工业的迅速发展,排放到大气中的二氧化碳相应增多,森林被大量砍伐,大气中应被森林吸收的二氧化碳逐渐增加,温室效应也不断增强。据分析,在过去的 200 年中,二氧化碳浓度增加了 25%,地球平均气温上升 0.5°C 。估计到 22 世纪中叶,地球表面平均温度将上升 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$,而在中高纬度地区温度上升更多。温室效应的后果十分严重。首先自然生态将随之发生重大变化:荒漠将扩大,土地侵蚀加重,森林减少,旱涝灾害严重,雨量将增加 $7\%\sim 11\%$;温带冬天更湿,夏天更旱;热带也将变得更湿,干热的副热带变得更干旱,迫使人们重新调整原有的水利工程。再是沿

海地区将受到严重威胁。由于气温升高,两极冰块将溶化,使海平面上升 1m 多。另有科学家认为,由于气温升高,引起海水体积膨胀,海平面可能升高 0.2~1.4m。现在全世界有三分之一的人口生活在沿海地区,沿海地区又是工农业非常发达的地方,海平面升高会淹没许多城市和港口。

地球变暖已引起人们的关注。1988 年 11 月,联合国大会已作出了一项决议,指出二氧化碳等气体在大气中继续增加,可能会造成全球气候变暖和海平面上升,从而给人类带来灾难,号召国际社会“为当代的后代人类保护气候”而努力。因此,我们在发展工业时,要积极治理大气污染,研究把二氧化碳化为其他物质的技术,防止甲烷、氯氟烃等气体的外溢。其次,要保护好现有森林,大力植树造林,使大气中的二氧化碳通过植物光合作用转化为营养物质。最后,还要用各种途径减少矿物能源的总消耗量,尽量采用核能、太阳能、水能、风能,以减少二氧化碳的排放。

第二节 地热资源的开发利用

一、地热能

地热是一种新型的能源和资源,同时也是绿色环保能源,它可广泛应用于发电、供热供暖、温泉洗浴、医疗保健、种植养殖、旅游等领域。所以,地热资源的开发利用,不仅可以取得显著的经济和社会效益,更重要的是还可以取得明显的环境效益。人类很早以前就开始利用地热能,如利用温泉沐浴、医疗,利用地下热水取暖、建造农作物温室、水产养殖及烘干谷物等。但真正认识地热资源并进行较大规模的开发利用却是始于 20 世纪中叶。地热能的利用可分为地热发电和直接利用两大类。

地热能是来自地球深处的可再生热能。它起源于地球的熔融

岩浆和放射性物质的衰变。地下水的深处循环和来自极深处的岩浆侵入到地壳后,把热量从地下深处带至近表层。在有些地方,热能随自然涌出的热蒸汽和水而到达地面,自史前起它们就已被用于洗浴和蒸煮。通过钻井,这些热能可以从地下的储层引入地面供人们利用,这种热能的储量相当大。据估计,每年从地球内部传到地面的热能相当于 $100\text{PW}\cdot\text{h}$ 。地球内部是一个高温高压的世界,是一个巨大的“热库”,蕴藏着无比巨大的热能。据估计,全世界地热资源的总量大约为 $14.5 \times 10^{25}\text{J}$,相当于 $4\,948 \times 10^{12}\text{t}$ 标准煤燃烧时所放出的热量。如果把地球上储存的全部煤炭燃烧时所放出的热量按 100 来计算,那么,石油的储量约为煤炭的 8%,目前可利用的核燃料的储量约为煤炭的 15%,而地热能的总储量则为煤炭的 17 000 万倍。可见,地球是一个名副其实的巨大“热库”。

二、地热的分布

在地壳中,地热的分布可分为三个带,即可变温度带、常温带和增温带。可变温度带,由于受太阳辐射的影响,其温度有着昼夜、年份、世纪甚至更长的周期变化,其厚度一般为 $15\sim 20\text{m}$;常温带其温度变化幅度几乎等于零,其深度一般为 $20\sim 30\text{m}$;增温带在常温带以下,温度随深度增加而升高,其热量的主要来源是地球内部的热能。

按照地热增温率的差别,我们把陆地上的不同地区划分为“正常地热区”和“异常地热区”。地热增温率接近 3°C 的地区称为“正常地热区”,远超过 3°C 的地区称为“异常地热区”。在正常地热区,较高温度的热水或蒸汽埋藏在地球的较深处。在异常地热区,由于地热增温率较大,较高温度的热水或蒸汽埋藏在地壳的较浅部,有的甚至出露地表。那些天然出露的地下热水或蒸汽叫做温泉。温泉是当前经济技术条件下最容易利用的一种地热资源。在

异常地热区,人们也较易通过钻井等人工方法把地下热水或蒸汽引导到地面上来加以利用。

在一定地质条件下的“地热系统”和具有勘探开发价值的“地热田”都有它的发生、发展和衰亡过程,绝对不是只要往深处打钻,到处都可以发现地热。作为地热资源的概念,它也和其他矿产资源一样,有数量和品位的问题。就全球来说,地热资源的分布是不平衡的。明显的地温梯度每公里深度大于 30°C 的地热异常区,主要分布在板块生长、开裂—大洋扩张脊和板块碰撞、衰亡—消减带部位。全球性的地热资源带主要有以下 4 个:

(1)环太平洋地热带。它是世界上最大的太平洋板块,与美洲、欧亚、印度板块的碰撞边界。世界许多著名的地热田,如美国的盖塞尔斯、长谷、罗斯福,墨西哥的塞罗、普列托,新西兰的怀腊开,中国台湾的马槽,日本的松川、大岳等均在这一带。

(2)地中海—喜马拉雅地热带。它是欧亚板块与非洲板块和印度板块的碰撞边界。世界第一座地热发电站——意大利的拉德瑞罗地热田就位于这个地热带中。中国西藏的羊八井及云南腾冲地热田也在这个地热带中。

(3)大西洋中脊地热带。这是大西洋板块开裂部位。冰岛的克拉弗拉、纳马菲亚尔和亚速尔群岛等一些地热田就位于这个地热带。

(4)红海—亚丁湾—东非裂谷地热带。它包括吉布提、埃塞俄比亚、肯尼亚等国的地热田。

除了在板块边界部位形成地壳高热流区而出现高温地热田外,在板块内部靠近板块边界部位,在一定地质条件下也可能形成相对的高热流区。其热流值大于大陆平均热流值 1.46 热流单位,而达到 1.7~2.0 热流单位。如中国东部的胶、辽半岛,华北平原及东南沿海地区等。

中国地热资源是比较丰富的,据估算,主要沉积盆地小于

2 000m的深度中储存的地热资源总量约 4.0184×10^{19} kJ, 相当于 1.3711×10^{12} t 标准煤的发热量。我国目前对地热资源的开发利用与常规能源相比所占的比重是很小的, 据权威部门统计, 全国开发利用地热水总量为 $93.67 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 年利用热量 5.6485×10^{16} J, 约相当于 192.74 万 t 标准煤的发热量, 此值仅是中国目前能量消耗总量 17.24 亿 t 标准煤的 0.1%。我国地热资源开发利用有以下特点:

(1) 地热资源分布面广。据已勘查地热田的分布表明, 全国几乎每个省区都有可供开发利用的地热资源分布。

(2) 以中低温地热资源为主。据现有 738 处地热勘查资料统计, 中国高温地热田仅 2 处(西藏羊八井、羊易地热田), 其余均为中低温地热田, 其中温度在 $90 \sim 150^\circ\text{C}$ 的中温地热田 28 处, 占地热田勘查总数的 3.8%; 90°C 以下的低温地热田 708 处, 占地热田勘查总数的 96%; 全国已勘查地热田的平均温度约为 55.5°C , 其中平均温度西藏最高, 达 88.6°C ; 湖南最低, 为 37.7°C 。

(3) 地热田规模以中小型为主。在已勘查的 738 处地热田中, 大、中型地热田仅 55 处, 占 7.5%, 但可利用的热能达 $3\,310.91 \text{ MW}$, 占勘查地热田可利用热能的 76.7%; 小型地热田 683 处, 占总数的 92.5%, 其可利用热能仅 $1\,008.05 \text{ MW}$, 占总量的 23.3%。

(4) 地热水水质以低矿化水为主, 适合多种用途。在有水质分析资料的 493 处地热田中, 水矿化度小于 1.0 g/L 的有 327 处, 占总数的 66.3%; 大于 3.0 g/L 的仅有 42 处, 占总数的 8.5%。

(5) 开发利用较经济的是构造隆起区已出露的中、小型地热田。这些地热田地表有热显示, 热储埋藏浅, 勘查深度小, 一般仅 $300 \sim 500 \text{ m}$, 勘探难度和风险小。地下热水有一定补给, 水质好, 适用范围大。

(6) 开发潜力大的是大型沉积盆地地热田。中国东部的华北