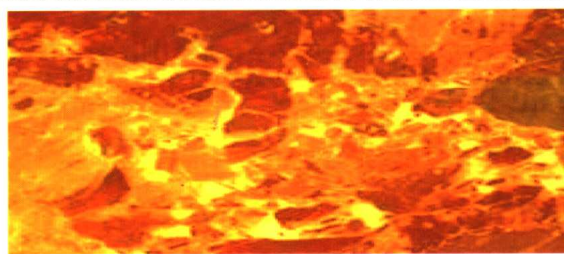


地热直接利用

GEOTHERMAL DIRECT-USE

蔡义汉 编著



GEOTHERMAL DIRECT-USE

GEOTHERMAL DIRECT-USE

GEOTHERMAL DIRECT-USE

GEOTHERMAL DIRECT-USE

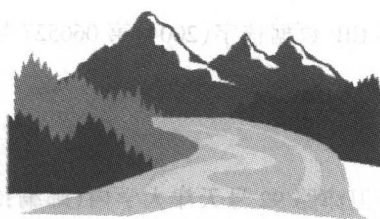
GEOTHERMAL DIRECT-USE



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

地热直接利用

蔡义汉 编著



天津大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地热直接利用 / 蔡义汉编著. —天津: 天津大学出版社, 2004.7

ISBN 7-5618-1987-0

I. 地… II. 蔡… III. 地热 - 资源利用
IV. P314

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066527 号

出版发行 天津大学出版社
出版人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 保定市印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 148mm × 210mm
印 张 22.25
字 数 648 千
版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次
印 数 1 - 3 000
定 价 48.00 元

序

地热能属于新能源,开发利用清洁的新能源是我国能源发展战略和政策的重要内容之一,也是国家高新技术研究发展的重点之一。

我国开发利用地热能已有三十多年的历史。上世纪 70 年代,全国地热开发利用处于自发状态。80 年代以后,原国家科委(现为科学技术部)开始将包括地热能在内的新能源列入各个时期的科技发展计划之中,并积极开展国际交流与合作,提高了研究起点,组织了大批科技项目攻关,建立了地热研究培训基地和一批地热开发利用示范工程,逐步形成了我国的地热科技队伍和生产企业,使地热开发利用由自发进行转变为有组织有计划地进行,并逐渐步入可持续发展的道路。

开发利用地热,涉及地下和地上许多专业领域的知识和技术。一项地热工程的设计与建造,需要多方面技术力量的配合与协作。评定一个地热项目建设的好坏,也要从保护地热资源、保护环境、提高地热利用率、延长设备使用寿命、提高经济效益以及科学管理等许多方面来综合衡量。从较高的科学技术上来要求,虽然目前我国地热直接利用的规模与数量已居世界前列,但与国外技术先进的国家相比,在总体水平上仍有不少的差距,如何迅速提高我国地热发展的科技水平及市场竞争力,已成为当前迫切需要解决的问题。

蔡义汉教授是我国最早从事地热工作的科技人员之一。

三十多年来,他以高度的责任感和使命感,积极热情地参与了地热战线的许多工作,承担过许多国家科技攻关课题,参加过国内一批大型地热工程和示范基地的建设,考察过不少技术先进国家的地热项目,参加了我国1980—2000年长远科技发展规划和能源技术政策地热部分的制定,对国内外地热科技发展有较多的了解,为我国地热开发利用作出了积极贡献。1984年,受原国家科委委托,由他主持筹建的天津地热研究培训中心(天津大学)正式成立,担负起我国地热领域的科研、培训、设计,以及信息等方面的任务,为我国发展地热事业建立了一个重要的基地。根据蔡义汉教授多年从事地热工作积累的经验和对国内外地热情况的了解,相信《地热直接利用》一书的出版,将对提高我国地热开发利用的科学技术水平,促进地热走可持续发展的道路起到积极的作用。



2003年12月

(现为科学技术部党组成员、秘书长)

前 言

我国开发利用地热已有三十多年的历史。1970年12月22日,天津市人民政府在李四光同志的倡议下,召开了有全市1700多人参加的地热开发利用动员大会。地质部的军代表代表部领导来津出席大会并讲话。他在讲解了什么是地热能,地球是一个取之不尽的大热库等知识后指出,这次大会必将作为我国地热发展史上的一个重要里程碑载入史册。这以后,地热开发利用在全国各地迅速发展起来。

三十多年过去了,我国地热开发利用从小到大,从知之甚少到有了较多的了解,从各地自发地低水平利用到国家有计划有组织地科学攻关,从小型试验研究到大规模地热工程的设计与建设,我国的地热事业走过了一条教训很多的曲折发展道路。如今,我国的地热直接利用规模已居世界前列,地热技术队伍已初步形成,各种地热设备国内基本都能生产,地热代煤取得的环保效益和经济效益已为人们所共识。这些成绩的取得是广大地热工作者几十年来努力的结果,是应该肯定的。但是我们也应看到,与国外一些技术先进的国家相比,我国发展地热的技术水平与国外仍有不小的差距,各地的发展水平也很不平衡。不少地热工程出现诸如浪费资源、破坏环境、地热利用率低、设备使用寿命短、管理不科学、设计水平低下等问题。为此,迅速提高我国地热开发利用的科学技术水平已成为当务之急,尽早出版一本为上述目的服务的地热书籍也成为一项十分迫切的任务。此书的编写就是缘于这样的背景与思考。

作者十分清楚,要写一本这样的书是比较困难的,因为地热开发利用涉及地下与地上的方方面面,涉及到地质、勘探、钻井、热储、材料、环保、化工、热能、供暖、制冷、发电、农业、渔业、医疗等许多专业领域的知识,要全面掌握这些知识肯定会有不少困难。然而,作者又感到自己应该来做这件事,因为作者是我国最早参加地热开发利用的人员之一,曾参加过许多地热科研和工程建设,并受原国家科委委托,主持筹建成立

了天津地热研究培训中心(天津大学),掌握的国内外情况和资料较多,因而有责任来撰写这本综合性较强的书籍,虽然困难仍会很多。

这本书应该写成怎样的一本书?是专题研究?教科书?设计手册?科普读物?还是兼而有之?这也是作者动笔前思考较多的问题。经再三考虑,作者首先明确要把“实用”与“先进”放在最重要的位置。

在这一指导思想之下,作者对本书提出了如下的要求:该书应该既能让从事地热工作的同志对地热开发利用的有关知识有一个比较全面的认识,又能具体地了解各项技术包含的原理、构造、系统、设计计算方法、必要的技术数据以及建设要点。书中既要反映几十年来我国发展地热取得的经验与成果,又要有国外地热发展现状和先进技术的介绍。这样的内容安排,目的是使该书能对提高我国地热开发利用的技术水平真正起到一些促进作用。同时也考虑到,该书不但对广大地质工作者和地热工程技术人员应有一定的实用价值,而且对高等院校的热能、能源、暖通、制冷、环保、材料、化工、农业、旅游、医疗等许多专业的学生与研究生,也应该是一本有用的参考书。

在本书选题与包含的内容上,作者对是否应包括地热发电的内容作过一番考虑。由于我国适合地热发电的高温地热资源较少,地热电站又涉及许多专门的技术,因此,本书除作为因地制宜地介绍几个小型中低温地热试验电站外,没有将高温地热发电列入本书的范围。

由于地热开发利用涉及的专业知识很广,而作者的阅历有限,因此书中肯定会有不少欠缺或不妥之处,还望读者批评指正。

在本书出版之际,作者要特别感谢原国家科委(现为科学技术部)的林汉雄、石定寰、胡成春以及天津市科委的王成怀、于广明等领导同志,是他们领导创建了天津地热研究培训中心(天津大学),并一直给予多方面的关心和支持,使作者能有良好的工作环境和研究条件来从事地热工作。

作者还要特别感谢科学出版社的陈文芳同志,是她从20世纪90年代起就一直鼓励与支持作者把这本书写出来,并不断地给作者来函和寄资料,直到她退休。可惜此书在撰写过程中因作者身体等原因中断了一段时间,从而推迟了写作的进程。

此书的一些重要章节,承蒙郑维民同志和高昌同志细心审阅,提出了许多宝贵意见,蔡文渊和蔡文滨同志为书稿的整理和图件制作付出了许多劳动,在此一并表示衷心的感谢。

作者还要感谢妻子江孝洁同志。几十年来她一直支持着作者对地热事业的投入。她在自身繁忙的科研工作和管理工作之外,还协助作者做了许多工作,甚至牺牲了自己本应得到的许多发展机会。为此,作者一直铭记在心。

2004年农历三月十八日是父亲蔡竹屏(疾风)诞辰一百周年,谨以此书的出版作为纪念。

蔡义汉

2004年5月于天津大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1-1 全球常规能源现状	(1)
1-2 新能源和可再生能源	(2)
1-3 我国后续能源发展战略	(6)
1-4 国内外地热开发利用现状	(10)
1-5 忠告:发展地热必须走可持续发展的道路	(17)
第 2 章 地热能与地热资源	(20)
2-1 概述	(20)
2-2 地热资源与地热带	(32)
2-3 岩石与地质年代	(41)
2-4 地热资源分类	(47)
2-5 中国的地热资源	(61)
第 3 章 地热资源地质勘查	(74)
3-1 概述	(74)
3-2 地热田地质勘查	(75)
3-3 勘查的前期工作	(81)
3-4 地球化学勘查	(85)
3-5 地球物理勘查	(92)
第 4 章 地热钻井和完井	(111)
4-1 概述	(111)
4-2 钻井设备	(112)
4-3 钻井液	(122)
4-4 地热井的设计	(131)
4-5 地热井钻进	(133)

4-6	地热井钻进事故的预防与处理	(136)
4-7	防喷器	(139)
4-8	回灌井	(139)
4-9	地热测井	(144)
第5章	井的试验与热储评价	(146)
5-1	概述	(146)
5-2	地热井的试验	(148)
5-3	数据采集与解释	(155)
5-4	热储工程理论	(161)
5-5	热储模型	(164)
5-6	热储模型与数值模拟	(166)
5-7	中低温地热水的回灌	(169)
5-8	地热资源评价	(171)
第6章	地热流体取样技术	(180)
6-1	概述	(180)
6-2	误差来源和取样的代表性	(182)
6-3	水样的固定方法	(184)
6-4	取样装置	(186)
6-5	取样方法	(188)
6-6	数据质量检查方法	(191)
第7章	地热系统的防腐防垢与选材	(196)
7-1	概述	(196)
7-2	地热腐蚀的类型	(199)
7-3	金属均匀腐蚀速度表示法	(201)
7-4	金属电化学腐蚀的机理	(202)
7-5	常见的局部腐蚀及其控制办法	(205)
7-6	地热流体中的主要腐蚀成分	(210)
7-7	材料在地热水中的腐蚀行为	(214)
7-8	地热设备的选材	(219)
7-9	地热防腐措施	(221)

7-10	防腐蚀工程的设计原则和设计依据	(226)
7-11	地热系统的结垢与阻垢	(230)
7-12	地热水腐蚀与结垢趋势的判断方法	(234)
7-13	地热阻垢与除垢方法	(244)
7-14	防腐蚀工程设计方案举例	(252)
第8章	地热井口设备与井泵	(267)
8-1	概述	(267)
8-2	长轴深井泵	(269)
8-3	潜水电泵	(282)
8-4	地热井泵变频调速	(294)
8-5	地热井口装置	(296)
8-6	地热水除砂	(302)
8-7	汽水分离装置	(304)
8-8	地热水除铁	(306)
第9章	地热流体输送	(320)
9-1	概述	(320)
9-2	管道材料	(322)
9-3	管道保温	(343)
9-4	管道保温热力计算	(352)
9-5	管网布置与敷设	(358)
第10章	换热器	(367)
10-1	概述	(367)
10-2	换热器传热计算的基本原理	(368)
10-3	板式换热器	(379)
10-4	波纹管折流杆管壳式换热器	(393)
第11章	地热供暖	(398)
11-1	概述	(398)
11-2	供热热耗量的估算	(399)
11-3	地热供暖系统的调峰	(405)

11-4	地热间接供暖系统	(408)
11-5	降低地热排水温度和地热利用率	(411)
11-6	地热直接供暖系统	(415)
11-7	低温地板辐射采暖	(429)
11-8	地热热风供暖	(446)
11-9	燃煤锅炉供暖改为地热供暖	(454)
11-10	地热生活热水供应	(457)
11-11	井下换热器供热系统	(463)
第 12 章	热泵	(472)
12-1	概述	(472)
12-2	压缩式热泵	(473)
12-3	吸收式热泵	(479)
12-4	地源热泵	(481)
第 13 章	吸收式制冷	(488)
13-1	吸收式制冷的工作原理	(488)
13-2	吸收式制冷装置的类型与性能	(489)
13-3	小型制冷机组与商用制冷机组	(492)
第 14 章	地热温室	(496)
14-1	概述	(496)
14-2	全光温室的结构	(498)
14-3	温室的覆盖材料	(500)
14-4	温室的热负荷	(503)
14-5	温室的供热系统	(513)
14-6	温室的通风与冷却系统	(520)
14-7	温室供热系统化石燃料调峰	(524)
14-8	半坡温室	(525)
第 15 章	地热水产养殖	(532)
15-1	两种类型的地热水产养殖	(532)
15-2	不同水产品种的温度要求	(534)

15-3	鱼池热损失计算	(535)
15-4	鱼池供热系统设计热负荷的确定	(539)
15-5	越冬鱼池的选型	(540)
15-6	越冬鱼池的围护结构	(541)
15-7	大型塑料棚的防风	(543)
15-8	高密度水产养殖	(543)
第 16 章	地热孵化	(547)
16-1	概述	(547)
16-2	地热孵化机的结构	(548)
16-3	自动翻蛋机构	(549)
16-4	箱体保温	(550)
16-5	箱体供热与通风	(553)
16-6	自动控制系统	(557)
16-7	地热孵化工艺	(559)
第 17 章	地热干燥及其他工业利用	(562)
17-1	概述	(562)
17-2	蔬菜水果的脱水	(563)
17-3	土豆加工	(573)
17-4	造纸工业	(576)
17-5	木材烘干	(579)
17-6	作物干燥	(581)
17-7	污水处理厂	(585)
17-8	地热工业利用其他实例	(588)
第 18 章	温泉浴疗与温泉疗养院	(591)
18-1	概述	(591)
18-2	我国温泉(热矿泉)的划分	(592)
18-3	医疗矿泉分类与医疗作用	(594)
18-4	矿泉治疗和矿泉浴	(603)
18-5	温泉疗养院的规划内容	(606)
18-6	温泉疗养院的设计要求	(607)

18-7	地热水需求量	(609)
18-8	温泉疗养院的主要医疗设备	(609)
第 19 章	饮用矿泉水生产	(611)
19-1	概述	(611)
19-2	饮用矿泉水的水质标准	(612)
19-3	饮用矿泉的类型	(614)
19-4	饮用天然矿泉水厂建设规划	(615)
19-5	矿泉水水井成井工艺	(617)
第 20 章	温泉游泳馆	(619)
20-1	概述	(619)
20-2	温泉游泳馆的建设规划	(619)
20-3	温泉游泳池耗热量计算	(623)
20-4	简易地热游泳池	(628)
第 21 章	地热旅游和小型地热电站	(629)
21-1	地热旅游开发	(629)
21-2	我国发展新能源的方针	(632)
21-3	小型地热发电	(633)
21-4	闪蒸地热发电系统	(637)
21-5	双循环地热发电系统	(639)
第 22 章	地热开发利用的环境保护	(642)
22-1	概述	(642)
22-2	地热流体开发利用对环境的影响	(643)
22-3	地热水按不同用途的水质评价	(648)
22-4	我国的水环境质量标准	(652)
22-5	地热排水的处理及试验研究	(657)
第 23 章	工程费用分析	(663)
22-1	概述	(663)
23-2	资金的时间价值与现金流量图	(663)
23-3	资金时间价值的计算方法	(664)

23-4 资金时间价值在项目评价中的应用	(668)
23-5 财务评价方法	(671)
23-6 敏感性分析	(674)
23-7 项目(方案)比较方法	(675)
参考文献	(678)

第 1 章 绪 论

1.1 全球常规能源现状

能源是社会发展的物质基础。中国要实现现代化,在很大程度上取决于能源供应和有效利用,因而它是我国现代化建设的战略重点。

随着国民经济发展和人民生活水平的提高,世界各国对能源的需求也越来越多。根据世界能源委员会(WEC)公布的数字,2001 年全球能耗折合标准煤为 90.6 亿 t(其中,石油 35.1 亿 t,天然气 24.1 亿 m^3 ,煤炭 22.6 亿 t,铀 6.4 万 t),并预测到 2050 年将达到 200 亿 t 标煤。(来源:BP Statistical Review of World Energy, June 2002)

煤炭、石油、天然气是当前常规能源的主力,它们属矿物燃料,是地球内部某些物质经千百万年变化而生成,用一点就少一点。据 WEC 报告,全球上述三大常规能源的最终可采储量折合成标准煤分别为:煤炭 34 000 亿 t,石油 2 000 亿 t,天然气 2 200 亿 t,合计 38 200 亿 t。此外,尚有目前还没有大规模开发的非常规石油 5 500 亿 t,非常规天然气 2 200 亿 t,铀 1 700 万 t,总计为 47 600 亿 t。这些储量若按 1998 年全球能耗计算,可用 572 年,若按 2000 ~ 2050 年预测的年平均能耗 150 亿 t 计算,则只能用 317 年,而石油和天然气按 1998 年的耗量单独计算,可采年限分别只有 58.8 年和 66.5 年。这就是说,坚持不了几代人的时间,上述能源就会逐渐枯竭耗尽。

大量使用煤炭、石油等常规能源还给环境造成很大的危害。煤烟的颗粒物严重影响大气质量,排放的 CO_2 包围在地球周围形成“温室效应”,使全球气候变暖,对环境和生态造成严重后果。燃煤产生的 SO_2 升空遇水汽成酸雨下落,使建筑物、桥梁、古迹等遭受严重腐蚀破

坏。

煤炭、石油、天然气还是宝贵的工业原料,从中可以提取许多人们生活所需的物质。著名地质学家李四光曾警告说:现在人们把煤炭、石油等宝贵的工业原料当作燃料白白烧掉,这是非常可惜的。若干年后,我们的子孙会骂我们这些祖先十分愚蠢!

世界要持续发展,能源问题必须解决。仅仅靠常规能源显然是不可能的。为此,寻找新能源已成当务之急。

1.2 新能源和可再生能源

研究开发新能源是一项非常艰巨的任务,它不仅需要投入巨额资金和很长时间,而且新能源必须具备数量巨大、可再生(或几乎取之不尽)、不污染环境三大特点。从这些特点出发,一些技术发达国家都采取了“两条腿走路”的战略方针:一方面,从长远考虑着手,投巨资组织科研力量从事具备上述三大特点的新能源研究,寻找能顶替现有常规能源的“替代能源”;另一方面,加大力度发展目前已在开发利用的各种新能源和可再生能源,补充一部分常规能源的不足,延长常规能源资源的使用寿命,起到“补充能源”的作用。前者的研究任务无疑要落在发达国家或大国身上,后者则更多地在发展中国家实施。联合国曾于1981年在内罗毕召开过新能源和可再生能源会议,确定了太阳能、地热能、风能、生物质能、潮汐能、海洋能、波浪能、水力等14种能源为新能源和可再生能源。核能由于其特殊性未包括在内。我国政府于20世纪80年代制定的“因地制宜,综合利用,多能互补,讲求效益”的16字新能源发展方针,也是本着“补充能源”的思路提出的。当然,中国是一个大国,近年发展又十分迅速,国力大大增强,所以,我国也在“替代能源”的研究上进行了不少基础性工作,投入一定的力量,以期和国际接轨,共同为解决人类生存的大问题展开工作。

在诸多新能源和可再生能源中,除核能外,当前备受注意并已取得较大效益的有水力(水力发电)、太阳能、风能、生物质能和地热能。

水力资源数量巨大,可再生,全球技术可开发的资源量(发电量)为