

地下热水发电

天津大学电力及自动化系
热工教研室地热发电组 编

科学出版社

送书

科学出版社

内 容 提 要

地热是一种巨大的能源。无产阶级文化大革命以来，我国在开发利用地下热能方面有新的发展，利用地下热水发电是其中的一部分。

本书主要介绍地下热水发电的热工基础、热力计算和地下热水发电站的设计等方面的基本知识。除前言外，全书分五章。前言介绍地热的意义，国内外地热开发利用情况。第一章叙述地下热水发电的方法、能量转换关系和热工基础。第二、三两章分别介绍地热发电的基本设备汽轮机和换热器的原理、结构、性能及基本计算。第四、五两章讨论地下热水发电站的规划、设计和运行问题。全书结合我国实际，着重阐述运用低沸点物质的中间介质法发电系统，对减压扩容法发电系统也作了适当的叙述。附录中提供了某些工质的热力性质表。

本书可供从事开发利用地热能源的工人、干部和技术人员阅读。

地 下 热 水 发 电

天津大学电力及自动化系
热工教研室地热发电组编

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975年12月第 一 版

开本：787×1092 1/32

1975年12月第一次印刷

印张：6 9/16 插页：3

印数：0001—7,650

字数：148,000

统一书号：15031·104

本社书号：533·15—5

定 价：0.70 元

毛主席语录

备战、备荒、为人民

鼓足干劲，力争上游，多快
好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围
内，人类总是不断发展的，自然
界也总是不断发展的，永远不会
停止在一个水平上。因此，人类
总得不断地总结经验，有所发
现，有所发明，有所创造，有所
前进。

目 录

前言	1
第一章 地下热水发电	11
§ 1.1 火力发电和地下热水发电	11
§ 1.2 能量转换的原理	19
§ 1.3 工质的热力性质	24
§ 1.4 地下热水发电站热力系统计算原理	36
第二章 地热发电的汽轮发电机组	49
§ 2.1 汽轮机的基本原理	50
§ 2.2 汽轮机的基本尺寸、效率和功率的计算	63
§ 2.3 地热发电汽轮机结构型式的讨论	72
§ 2.4 地热发电汽轮机实例	79
第三章 地热发电的换热设备	83
§ 3.1 换热器的基本工作原理	83
§ 3.2 换热器的基本结构和要求	96
§ 3.3 换热器的换热面积和基本尺寸的确定	110
§ 3.4 换热器及管道的流动阻力计算	119
§ 3.5 地热发电换热器型式和换热方式的讨论	125
第四章 地下热水电站的规划	132
§ 4.1 电站容量和热经济性	132
§ 4.2 热力循环系统的改进和工质的选择	137
§ 4.3 冷却系统和厂用电问题	146
§ 4.4 扩容法和中间介质法的比较	150
§ 4.5 地热资源的综合利用	152
第五章 地下热水电站的设计和运行	156

§ 5.1 热力系统的设计	156
§ 5.2 地下热水电站的运行	170
附录	174
表 1 饱和水和饱和水蒸汽热力性质表 (按温度排列)	174
表 2 氯乙烷饱和液和饱和蒸汽热力性质表 (按温度排列) ...	176
表 3 异丁烷热力性质表	178
(1) 异丁烷饱和液和饱和蒸汽部分 (按温度排列)	178
(2) 异丁烷饱和液和饱和蒸汽部分 (按压力排列)	180
(3) 异丁烷过热蒸汽部分	插页
表 4 正丁烷热力性质图表	182
(1) 正丁烷饱和蒸汽热力性质表 (按压力排列)	182
(2) 正丁烷过热蒸汽热力性质表	189
(3) 正丁烷 $T-S$ 图	插页
(4) 正丁烷 $\lg p-i$ 图	插页

前 言

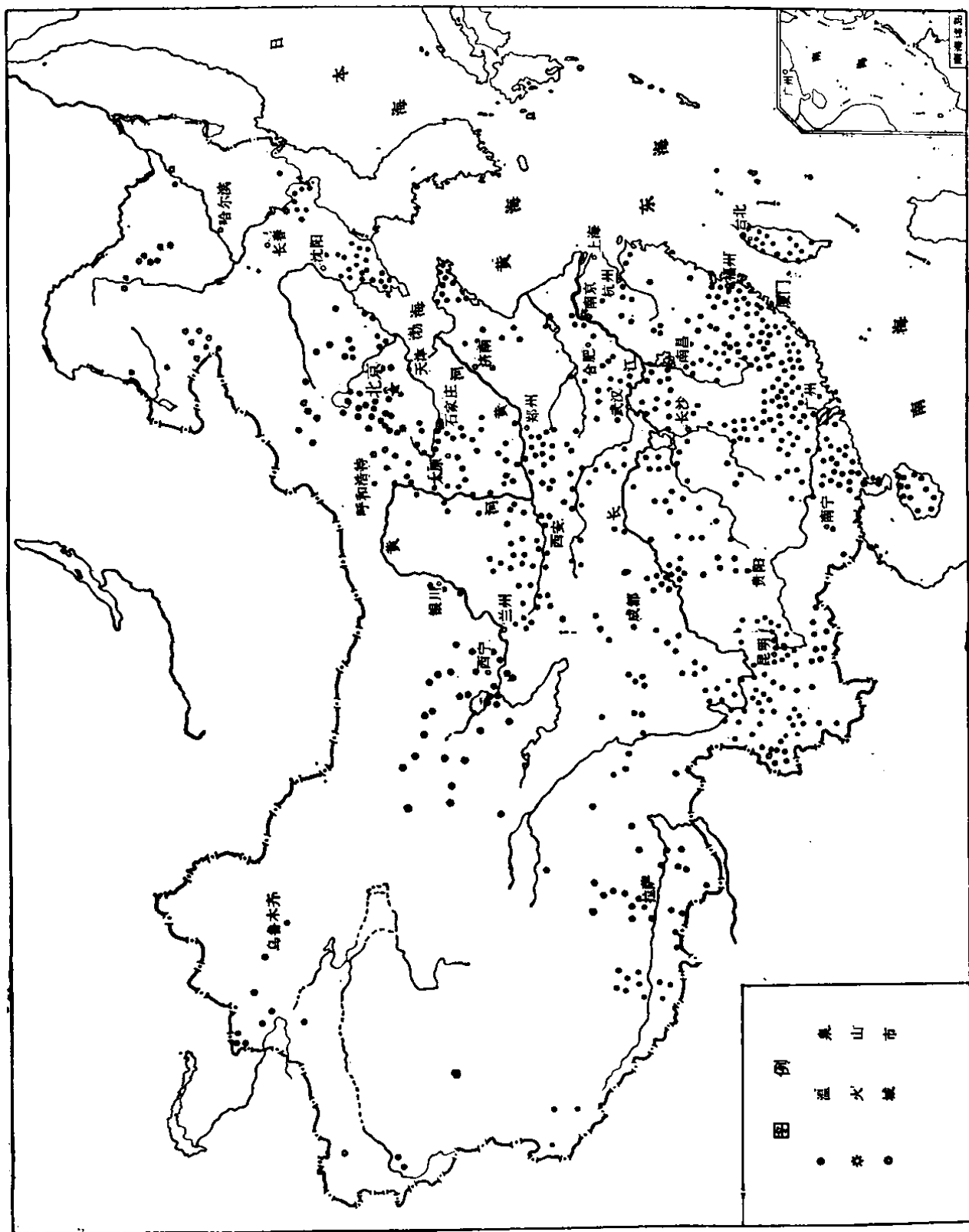
工农业生产的发展引起对热能需求量的迅速增长。工农业生产所需的动力、工业生产流程中的加热、蒸煮、干燥等工艺，都需要大量热能。随着生产技术的进步，人们开采煤矿、石油和天然气，应用核燃料，利用太阳能等，不断地开辟各种各样的热能资源。我们生存在地球上，可以从地壳中取得许许多多的工业原料，而且地球内部还蕴藏着我们所需要的巨量的热能。每当火山爆发的时候，火山口喷出象钢水一样炽热的熔岩和几百度高温的气体，把蕴藏在地球内部的热能大量地带了出来。经常能够见到的温泉，通过热的泉水源源不断地把地球内部的热能带到地面上来。火山爆发和温泉喷水，只是地下热能天然出露的两种例子。其实，整个地球表面无处不散出地球内部所蕴藏的热能。据一些研究者估计，每年自地球内部传到整个地球表面的热量大约相当于1千亿桶石油燃烧所放出的热量。如果把地球上贮存的全部煤燃烧时放出的热量作为一百计算，那么石油的贮量为煤的百分之三，目前能利用的核燃料为煤的百分之十五，而地下热能的总量则约为煤的一亿七千万倍。可见，地球是一个多么巨大的热库啊！如果我们能够善于开发和利用这种几乎是取之不尽的地热，将节约大量有机燃料。人们贮存并充分利用象煤、石油、天然气等宝贵的有机燃料作为化工原料，而不把它们只简单的作为燃料烧掉，将为人类现在和将来的物质生活增添极为丰富的内容。

人们很早就开始利用地热资源，例如利用温泉或地下热

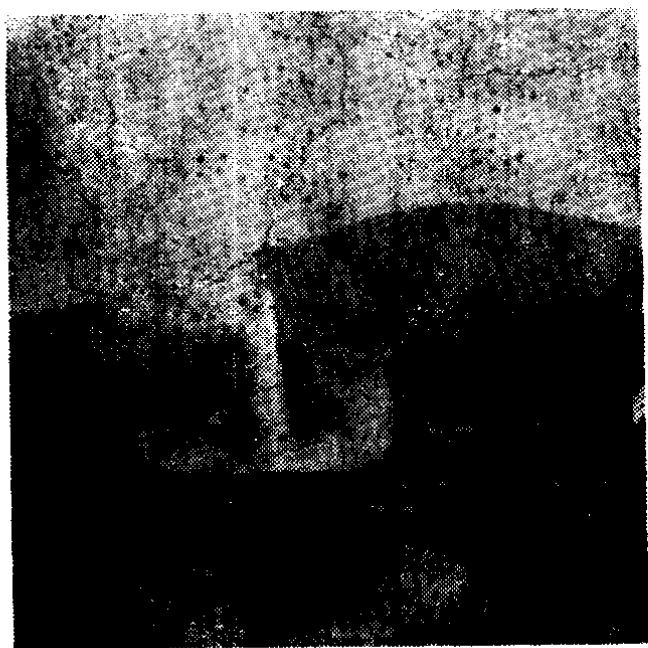
水取暖、烘干谷物、熬硝、建造农业温室等等。除了利用热能外，还可以从温泉中提取一些化合物和元素。象我国云南、四川某些地方从地下热水中提取硫磺和一些矿物盐已有比较长的历史，一百多年前意大利也从一些天然蒸汽中提取硼酸。另外，我国自汉代以来就不断有关于利用温泉进行医疗方面的记载。

地热能用于发电方面早在1904年就已开始。当时意大利在拉德瑞罗火山地区建造了一座利用地下蒸汽的小型发电站。由于这一地区的特殊地质构造，蒸汽田很丰富，发电容量获得迅速增大，1970年达到358600瓩。四十年代初期，意大利在伊斯基亚岛还建立了利用地下热水（95℃）发电的试验电站。从那时以来，虽然一些国家相继建造了一批利用地下蒸汽的发电站，但从容量来看，发展是缓慢的。第二次世界大战以后，特别是进入六十年代以来，一些国家的燃料消耗量大幅度增长，煤和石油的用途日益扩大，人们逐渐认识到寻找新的能源已是一项十分重要的工作。于是，开发利用地热资源使之成为一种重要动力能源的可能性就被大家重视起来。目前，全世界地热电站的总容量已达100多万瓩，其中意大利、美国、新西兰和日本的地热电站所占的容量比例比较大。这些地热电站几乎全部利用地下蒸汽发电，都获得相当廉价的电力。目前利用地下热水的电站，一般容量还较小，而且多是试验性的。但由于地下热水资源特别丰富，地下热水电站的试验研究工作就关系到能否大规模利用地热资源的问题，所以引起了不少国家的注意和重视。

地热电站不需要庞大的燃料运输设备，也不排出大量的灰尘和烟气污染环境。发电后排出的热水只是降低一些温度，仍然可以用于取暖、洗浴、医疗、提取化学物质和农业灌溉等。因此，综合利用地热资源具有广阔的前景。



一般说来，在地壳表层任何地方钻井，只要钻到足够的深度，都可以获得人们所需要的各种温度的热水或蒸汽。但是，从技术经济角度考虑，人们总是力求在尽可能浅的地方找到温度尽可能高的热水或蒸汽。为此，人们总是找地热增温率较高的“地热异常区”来开发地热资源¹⁾，主要是在现代火山区或近代岩浆活动地区，而且要有良好的地质构造和水文地质条件。据统计，地球上能够形成富集大量蒸汽、具有重大经济价值的“蒸汽田”，由于地质构造和水文地质条件要求很高，要比“热水田”少得多。为此，将来大规模地利用地热资源，与能否广泛利用地下热水有很大关系。



江西遂川一个勘探孔，地热水自喷，
水头超出地表面23米，水温84°C

我国地热资源十分丰富，已经知道天然出露的地热泉达二千处以上，每处有若干温泉群和温泉点。云南、西藏和台湾等地还有天然蒸汽泉。我国温泉集中分布在东南沿海山地，仅广东、福建、台湾三省就有五百多处，温度大多数在

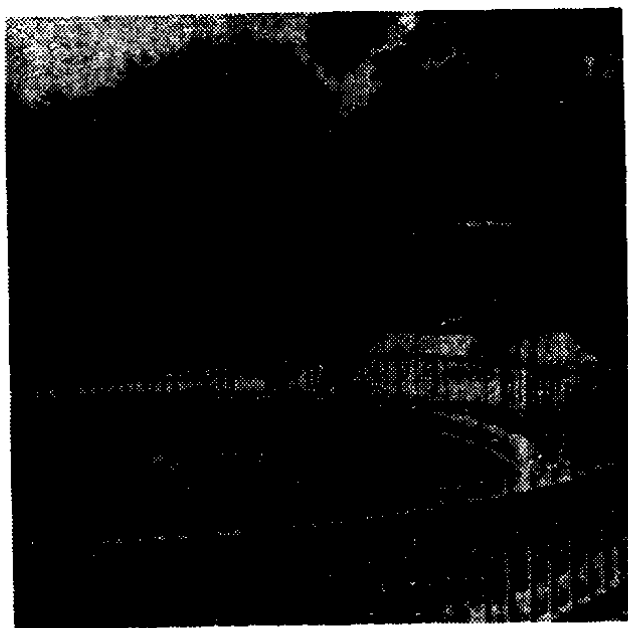
1) 通常把接近平均地热增温率（每深百米增温摄氏8度左右）的地区称为地壳的“地热正常区”。这类地区，80°C左右的热水大致埋藏在地下2000—2500米的地方。地热增温率高于平均地热增温率的地区称为“地热异常区”。详见《地热》，北京大学地质地理系地热组、怀来地热发电组，科学出版社，1972年。



山东招远地下热水水池

50°C 以上，超过90°C的也很多，最高达到 140°C。云南、湖南、湖北、江西、山东、辽宁、吉林和河北等省温泉也很多。

一般来说，温泉主要分布在地壳活动比较强烈的某些构造带附近。我国许多辽阔的大平原区，地面上虽然没有天然温泉出露，但在这些地方同样蕴藏着丰富的地下热水，只不过埋藏较深罢了。近年来，随着我国地质勘探事业的发展，许多地区，如北京、天津等地，都已钻出了大量地下热水。



四川重庆南温泉

解放以前，反动的统治阶级根本无视地热资源的开发和利用，一些著名的温泉都被官僚、军阀和帝国主义势力用来

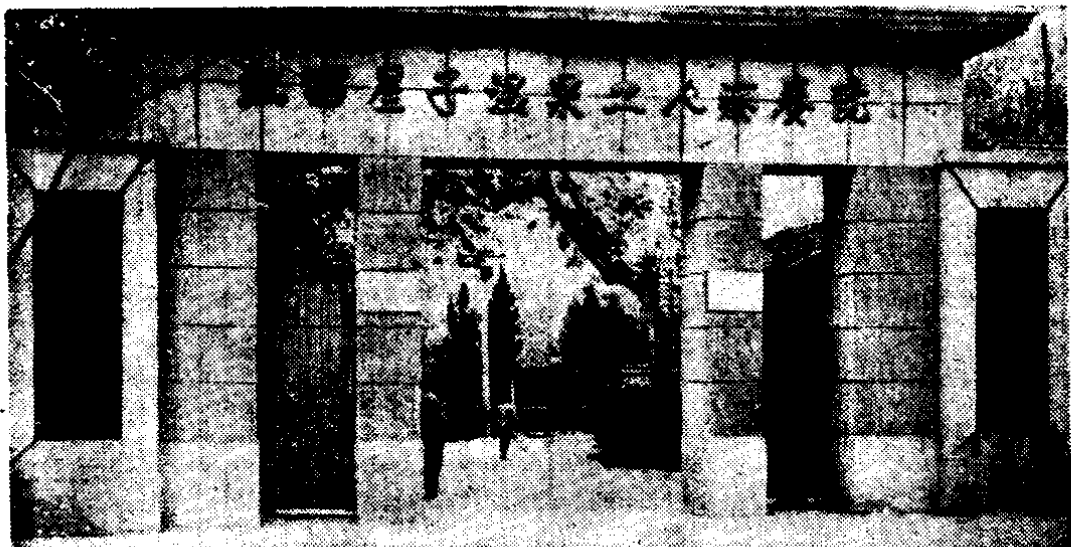


广东从化温泉瀑布

满足他们的奢侈生活。一般温泉也常为封建势力所霸占，如湖北省应城县的一口温度为 67°C 的温泉井，就是被圈在一家地主大院内被地主独霸。

解放后，党和国家在许多著名的温泉区扩建和兴建

疗养院，使温泉为劳动人民服务，充分显示出我国社会主义制度的无比优越性。

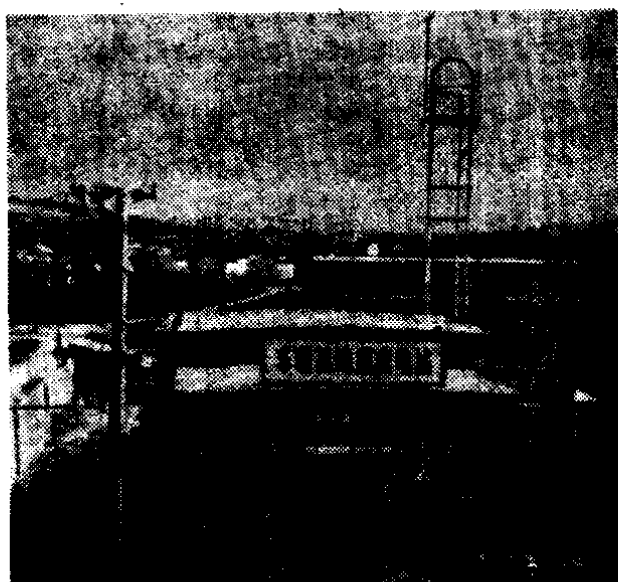


江西庐山山麓星子温泉工人疗养院

伟大领袖毛主席深刻地指出：“社会主义不仅从旧社会解放了劳动者和生产资料，也解放了旧社会所无法利用的广大自然界。人民群众有无限的创造力。他们可以组织起来，

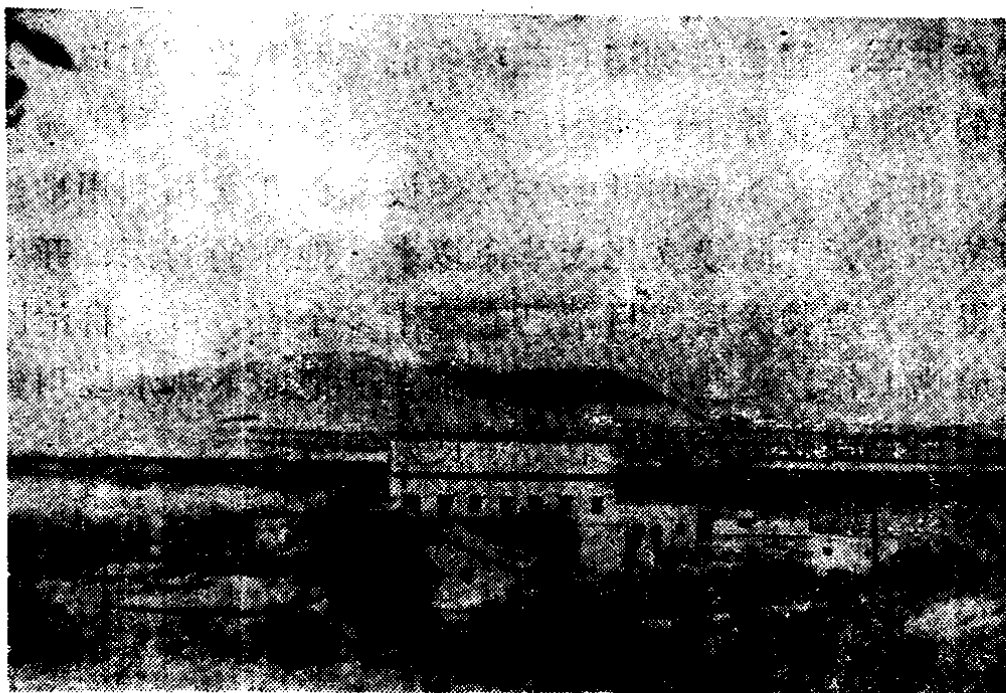
向一切可以发挥自己力量的地方和部门进军，向生产的深度和广度进军，替自己创造日益增多的福利事业。”在以毛主席为首的党中央领导下，我国广大工人、贫下中农和革命科技人员为社会主义革命和社会主义建设积极开发和利用地热资源。特别是无产阶级文化大革命以来，地热的勘探、开发和利用得到了蓬勃发展，目前已有二十多个省、市、自治区开展了地热工作。这些地区都因地制宜地把地下热水应用到工业生产和农副业生产中，取得了良好的效果。

1970年底，广东丰顺邓屋地区建成了我国第一座地热试验电站；1971年9月，北京附近的怀来地区和江西温汤地区又建成两座地热试验电站。这三座小型试验电站都是利用地下热水发电，热水温

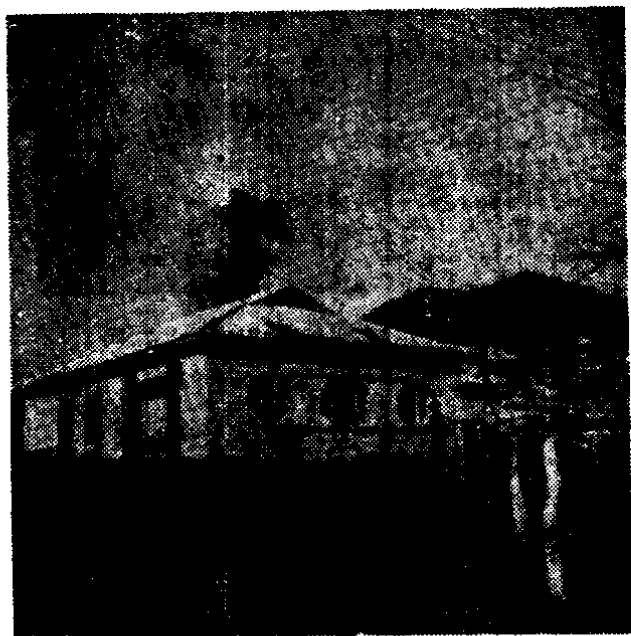


广东丰顺邓屋地热试验电站外景

度和发电方法并不相同。邓屋地热试验电站采用减压“扩容法”系统，设备系统简单，全部设备由地方制造安装，在运行中，发挥了供应电力的作用，进行了各种运行工况的试验。怀来地热试验电站运用低沸点物质的“中间介质法”系统，具有发电成本低，易于操作、维护等优点。电站机组经过长时间的连续运行考验，性能良好，已经给电网不断地输送电力，支援了工农业生产，为我国利用地下热水发电积累了经验。温汤地热试验电站也是用“中间介质法”系统，因地制宜地利用当地地质构造及地势，简化了电站设备，整个



河北怀来地热试验电站外景



江西宜春温汤地热试验电站外景

系统只用了一台泵（工质泵），降低了厂用电，提高了运行经济性，并且可以无电源启动，几年来进行了各种试验，已向周围地区提供电力。此外，不少地区还开展了有关地下热水发电技术的实验室

研究工作，不少地区正在建设或规划筹建地热电站。

我国国土辽阔，到处都有丰富的地下热水，充分利用这些地热资源，对节约煤炭、石油等宝贵燃料具有重大的意义。研究低沸点物质于热水发电这一技术对利用工业企业的余热

和蒸汽动力也具有重要的科学意义。

目前，地热资源的开采还只限于地壳的浅层，地热发电在整个电力生产中还只是很小的部分。那么怎样来认识地热发电的前景呢？

伟大领袖毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”随着生产和科学技术的发展和对地球热状态与热历史的进一步认识，地热资源的开采水平已经有不少提高，地热发电的规模也不断发展，新的钻采方案不断涌现¹⁾。随着开采手段的进展，地热资源的开发将逐渐不受地热异常区的限制，沉睡无数万年的地下热能必将极大量地被发掘出来，为人类造福。

除上面已经谈到的意义以外，在我国现阶段的条件下，利用70—100°C的地下热水建立地下热水电站，一般是小型的，工程比较简易，符合全民办电和我国办电事业中两条腿走路的方针。有利于在人民公社集体经济的统一规划下，因地制宜地利用当地地热资源发电和综合利用，促进工业和农副业生产的发展。

地下热水电站是一个新生事物。当前建设地下热水电站也存在一些尚待克服和研究的问题。例如，这种电站的厂址和规模对地质条件的依赖性很大，必须在有热水源和同时具

1)五十年代末已有人提出核爆炸和地热发电相结合的设计。它用氢弹粉碎处于深度超过约3000米的地下干热岩层，然后把水输入碎岩，受热到177°C变成蒸汽，通过碎岩逸至地表引入汽轮机发电，凝结水再循环至氢弹爆炸形成的地下空洞中。这种不靠天然蒸汽的地热能量获取方法有很大经济价值。有人估计，一立方英里热岩的总能量相当于一个贮量为三亿桶石油的油田。1971年国外还有过类似上述方案的实验室研究报告。

备相应冷水源的地方才能建设；利用地下热水发电的容量不会很大；在电站建设技术上，由于这种热源温度低，热源和冷源之间温度差小，不论在提高地热发电效率或降低设备投资和金属消耗方面都还存在着不少有待研究解决的课题。

伟大领袖毛主席教导我们：“人类的历史，就是一个不断从必然王国向自由王国发展的历史。”“人类总得不断的总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”我们相信，在毛主席革命路线指引下，通过努力，我国广大工农兵群众和革命的科技人员一定能把这些问题逐一地加以解决，不远的将来，地热发电在祖国的辽阔的国土上必将大放光彩，地下热能这一宝藏将更好地为我国社会主义建设服务。

为了介绍利用地热发电的一些基本知识，促进我国地热发电事业的发展，我们编写了这本小册子。书中主要介绍地下热水发电的热工基础、热力计算、热工设计等方面的基本知识，也提出了有待进一步研究的一些问题。在编写过程中，我们得到有关单位、地热电站同志的大力支持，在此深表谢意。由于我们从事地热发电研究和实践的工作时间不长，经验不足，书中错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

第一章 地下热水发电

利用地下热水发电的方法，不断涌现新的方案，目前实际应用中主要还是采用减压“扩容法”和运用低沸点物质的“中介介质法”。地下热水发电是一个能量转换的过程，深刻理解这一基本原理就不难了解整个地热发电过程及各种发电设备的作用。本章通过介绍扩容法和中介介质法的热工原理来阐述地下热水发电的基本知识。

§ 1.1 火力发电和地下热水发电

地热电站的能量转换过程，除使用地下蒸汽或地下热水替代燃料，不用锅炉设备以外，完全和通常的火力发电厂一样，也是需要用汽轮机带动发电机发电。为了便于比较，这里先简单介绍一下火力发电厂的生产过程及其主要设备。

火力发电厂主要由锅炉设备、汽轮机设备和电气设备所组成。此外，还要有与这些主要设备相配合的一系列辅助设备，例如水泵、风机、锅炉给水处理设备等等。图1.1所示是一个中小型凝汽式汽轮火力发电厂的设备布置系统图，从图上可以明显地看出各部分之间配合运行的情况¹⁾。

1) 这是一个功率约1万千瓦的中小型火力发电厂简化生产过程示意图（其中未绘出回热加热器等）。这种电厂每发1千瓦·小时电（即1度电）约需要消耗0.5公斤煤。按年运行6000小时计，1万千瓦每年就要消耗原煤约3万吨。现代大型火力发电厂，汽轮机单机功率已超过一百万千瓦，锅炉设备十分庞大，消耗的燃料是极多的。

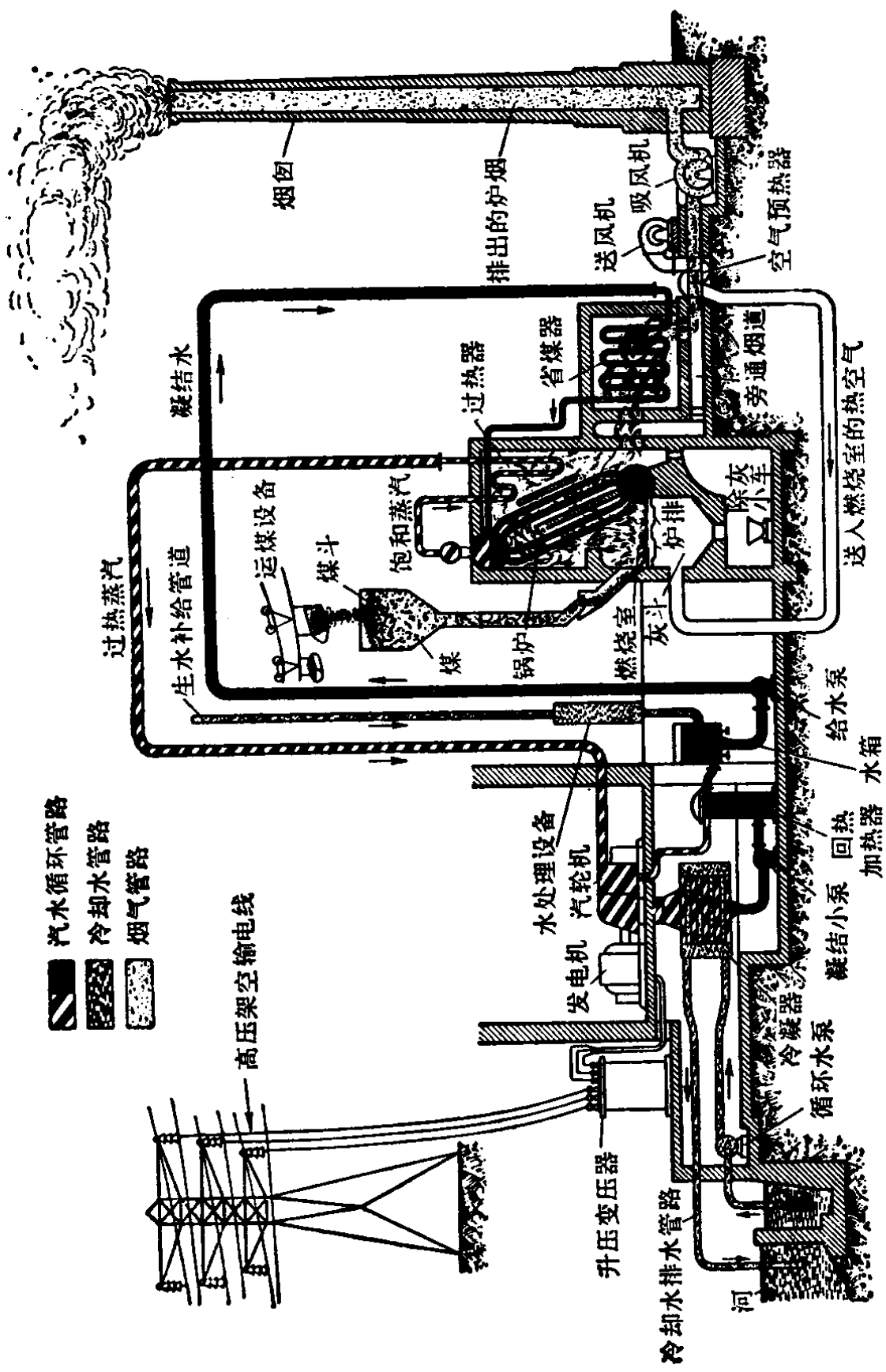


图1.1 中小型火力发电厂的设备布置系统图