

 DIRE KUANGQUAN SHUIZIYUAN KANCHASHOUCE

地热矿泉水资源 勘查手册

卢予北 郭友琴 王现国 编著



黄河水利出版社

DIRE KUANGQUAN SHUIZIYUAN KANCHU SHOUCE



责任编辑 景泽龙 裴 惠
封面设计 谢 萍
责任校对 席红兵
责任监制 温红建

ISBN 978-7-80734-272-4



9 787807 342724 >

定 价：66.00 元

地热矿泉水资源勘查手册

卢予北 郭友琴 王现国 编著

黄河水利出版社



作者简介

卢予北,男,汉族,1964年生。地质工程专业,高级工程师,工学硕士。河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队副队长兼钻探总工程师、地热工程研究院院长。河南省学术技术带头人(省555人才)。主要从事地热资源勘查、浅层地能、钻井工程、旧井处理工程研究与开发工作。近年来,先后获得“河南省科学技术进步三等奖”、“河南省国土资源科技进步一等奖”、“河南省勘察设计行业创新一等奖”、“河南省地矿局科技进步一等奖”、“河南省地质科学贡献奖”等荣誉。在国家中文核心期刊和工程核心期刊发表学术论文36篇,主持科研项目13项,获国家专利2项。



作者简介

郭友琴，男，1957年生，1982年毕业于中国地质大学矿产地质学专业，高级工程师。河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队队长。主要从事地质勘查和经济技术管理工作。参加工作以来先后获得部级找矿成果勘查设计二等奖1次，河南省科技进步三等奖2次，河南省国土资源科技一等奖1次，2006年获“河南省工业创新优秀奖”。发表学术论文10余篇，参加科研项目6项。

前 言

对于从事地热、矿泉水资源和地下水资源勘查的技术人员来说,在具备相关专业知识的同时必须熟悉和掌握相应的规范、标准及国家的法律法规。目前,各类规范和标准较多,就我国各个行业与领域而言主要有国家、行业及企业三种规范(技术要求)和标准。对于地热资源、矿泉水资源、地下水资源勘查评价和钻探工程等特殊行业,我国也相继颁布了相应的规范或标准。但是,这类相关资料很多,工程技术人员很难收集齐全,给工作造成了影响。编著者针对这一问题,结合实际工作和专业特点编著了《地热矿泉水资源勘查手册》。特别在热泵技术、浅层地热资源和地热金属井管腐蚀方面,国内外相关文献较少,编著者根据多年的实际经验和专门的课题研究成果,在手册中编入了这些方面的内容,以便从事地热矿泉水资源研究与开发的同行在工作中参考。该手册的出版一方面解决了相关资料收集困难的问题,另一方面达到了使用方便之目的。同时,对读者拓宽专业领域和知识面有着积极的作用。

本书涉及内容和资料繁多,有些内容来源于报刊、杂志,有些来源于网上和会议资料,谨对资料提供者表示衷心感谢!

手册中难免有不足和错误之处,望同行在谅解的同时给予批评指正!

作 者

2007年7月

目 录

前 言

第一章 地热资源	(1)
第一节 地热基本概念和知识.....	(1)
第二节 全球地热资源分布.....	(6)
第三节 地热资源的开发利用.....	(7)
第四节 地热矿水(泉)分类与医疗作用	(10)
第五节 中国地热能源利用现状与发展方向	(15)
第六节 中国能源问题及战略	(18)
附件 1 地热资源地质勘查规范(GB 11615—89)	(21)
附件 2 地热资源评价方法(DZ 40—85)	(40)
附件 3 天津市地热利用工程设计标准(试行)	(55)
第二章 热泵技术与浅层地能	(65)
第一节 热泵技术	(65)
第二节 浅层地能(热)的开发与利用	(77)
附件 1 地源热泵系统工程技术规范(GB 50366—2005)	(92)
附件 2 地源热泵系统工程技术规范条文说明	(104)
第三章 矿泉水资源	(116)
第一节 矿泉水基本概念.....	(116)
第二节 矿泉水疗法.....	(116)
第三节 矿泉水的营养与保健.....	(117)
第四节 饮用天然矿泉水中微量元素及其作用.....	(118)
第四节 国际矿泉水标准.....	(120)
附件 1 天然矿泉水地质勘探规范(GB/T 13727—92)	(121)
附件 2 饮用天然矿泉水标准(GB 8537—1995)	(130)
附件 3 饮用天然矿泉水国家标准(GB 8537—1995)的说明	(136)
第四章 地下水资源	(138)
第一节 地下水资源知识.....	(138)
第二节 中国地下水资源与开发战略.....	(141)
第三节 《国际饮用水水质标准汇编》简介.....	(157)
第四节 水质评价标准.....	(159)
附件 1 地下水质量标准(GB/T 14848—93)	(162)
附件 2 生活饮用水卫生标准(GB 5749—2006)	(166)
附件 3 生活饮用水卫生标准(GB 5749—85)	(176)

附件 4	工业锅炉水质标准(GB 1576—2001)	(181)
附件 5	渔业水质标准(GB 11607—89)	(183)
附件 6	农田灌溉水质标准(GB 5084—92)	(186)
附件 7	城市环境水文地质工作规范(DZ 55—87)	(191)
附件 8	城镇及工矿供水水文地质勘查规范(DZ 44—86)	(202)
第五章	地热金属井管腐蚀机理与类型	(228)
第一节	腐蚀定义及金属腐蚀速度的表示方法	(228)
第二节	地热井金属井管腐蚀机理	(229)
第三节	影响金属井管腐蚀的主要因素	(231)
第四节	地热井腐蚀的主要类型	(235)
第六章	地热(深部)钻井工程	(240)
第一节	钻井(探)工程基本知识	(240)
第二节	地热(深部)钻井设备	(267)
第三节	钻井工具	(277)
第四节	钻井事故处理工具	(292)
第五节	钻井工程常用单位换算	(306)
第六节	钻井(探)常用材料密度	(310)
第七节	水文水井钻探管材技术参数	(311)
第八节	API 套管规范及强度	(313)
第九节	硬聚氯乙烯(PVC-U)给水用管	(323)
第十节	常用管材分类与用途	(324)
附件 1	地质钻探安全生产操作规程	(329)
附件 2	水文地质钻探规程(DZ/T 0148—1994)	(335)
第七章	相关法律法规	(389)
1	中华人民共和国矿产资源法	(389)
2	中华人民共和国环境影响评价法	(394)
3	取水许可制度实施办法	(398)
4	中华人民共和国水法	(401)
5	矿产资源勘查区块登记管理办法	(409)
6	矿产资源勘查登记、开采登记有关规定	(413)
7	地热矿泉水资源开发利用具体规定	(419)
参考文献		(421)

第一章 地热资源

第一节 地热基本概念和知识

一、地热资源与能源

地球本身像一个大锅炉,深部蕴藏着巨大的热能。在地质因素的控制下,这些热能会以热蒸汽、热水、干热岩等形式向地壳的某一范围聚集,如果达到可开发利用的条件,便成了具有开发意义的地热资源和能源。

地热资源按温度可分为高温、中温和低温三类。温度大于 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热以蒸汽形式存在,叫高温地热; $90\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热以水和蒸汽的混合物等形式存在,叫中温地热;温度大于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、小于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热以温水($25\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)、温热水($40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$)、热水($60\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$)等形式存在,叫低温地热。高温地热一般存在于地质活动性强的全球板块的边界,即火山、地震、岩浆侵入多发地区,著名的冰岛地热田、新西兰地热田、日本地热田,以及我国的西藏羊八井地热田、云南腾冲地热田、台湾大屯地热田都属于高温地热田。中低温地热田广泛分布在板块的内部,我国华北、京津地区的地热田多属于中低温地热田。

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 $1.45\times 10^{26}\text{ J}$,相当于 $4.948\times 10^{15}\text{ t}$ 标准煤燃烧时所放出的热量。地热能的总储量为煤炭的 17 000 万倍。可见,地球是一个名副其实的巨大“热库”。

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 $15\sim 20\text{ m}$;常温带的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 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区,称为“正常热区”。远远超过 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

严格来讲,地热能不是一种“可再生资源”,而是一种像石油一样可开采的能源,最终的可回灌将依赖于所采用的技术。将水重新注入到含水层中可以提高再生的性能,因为这使含水层不枯竭。然而在这个问题上没有明确的结论,因为有相当一部分地热点可采

用某种方式进行开发,让提取的热量等于自然不断补充的热量。实事求是地讲,任何情况下,即使从技术上来说地热能不是可再生能源,但全球地热资源潜量十分巨大,因此问题不在于资源规模的大小,而在于是否有适合的技术将这些资源经济开发出来。

地热资源的利用,古时候人们就已经将低温地热资源用于浴池和空间供热,近来还应用于温室、热力泵和某些热处理的供热。在商业应用方面,利用干燥的过热蒸汽和高温水发电已有几十年的历史。利用中等温度($100\text{ }^{\circ}\text{C}$)水通过双流体发电设备发电,在过去的10年中已取得了明显的进展,该技术现已成熟。地热热泵技术后来也取得了明显进展。由于这些技术的进展,地热资源的开发利用得到较快发展,也使许多国家的经济上可利用的资源的潜力明显增加。从长远观点来看,研究从干燥的岩石中和地热增压资源及岩浆资源中提取有用能的有效方法,可进一步增加地热能的应用潜力。

中国地热资源是比较丰富的,据估算,主要沉积盆地小于2 000 m 的深度中储存的地热资源总量约 $4.0184\times 10^{22}\text{J}$,相当于 $1.3711\times 10^{12}\text{t}$ 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比较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93.67万 m^3/d ,年利用热量 $5.6485\times 10^{16}\text{J}$,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%。

二、地热田及其要素

地热田是指在目前技术条件下可以采集的深度内,富含可经济开发和利用的地热流体的地域。它一般包括热储、盖层、热流体通道和热源四大要素,是具有共同的热源,形成统一热储结构,可用地质、物化探方法圈闭的特定范围。

地热流体指温度高于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地下热水、地热蒸汽和热气体的总称。

热储结构指热储、盖层、控热断裂及其相互关系。

盖层是指覆盖在热储上部、具有隔水隔热性能、对热储起保温作用的岩层(黏性土层或自封闭层)。

热储是指地热流体相对富集、具有一定渗透性并含载热气体的岩层或岩体破碎带。

三、地热资源评价

地热资源评价是指对地热田内赋存的地热能与地热流体的数量和质量作出估计,并对其在一定技术经济条件下可被开发利用的储量及开发可能造成的影响作出估评。

地热开发环境影响评价的主要内容包括地热流体排放对环境影响评价、地面沉降评价及其他环境影响方面的评价。

(1)地热流体排放对环境影响评价:高温地热流体中所含 CO_2 、 H_2S 等非凝气体应评价其排放对大气可能造成的污染;废地热流体中所含的一些高浓度有害组分应遵循《中华人民共和国污染防治法》以及一些地方制定的水污染物排放标准,评价其排放对环境的影响。

(2)地面沉降评价:对于浅埋的孔隙热储和岩溶热储,应对其可能产生的地面沉降和岩溶塌陷作出评价。应建立二级以上的水准点,其参照的水准点要设在地热田以外的基岩上。对高温地热田还应进行重力检测。

(3)其他环境影响方面的评价:高温地热田通常还会遇到喷气孔和沸泉逸出的 H_2S 气体造成空气污染,地面天然放热热量过高和热弃水排放也可能造成环境热害等方面问题,对此应在地热勘查工作中有所测定,并参照 TJ36 作出相应的评价。

四、地热田规模分级标准

地热田按地热能(或电能)及能利用储量的计算年限划分为大、中、小型三级(见表 1-1)。

表 1-1 地热田规模分级

规模分级	高温地热田		中、低温地热田	
	电能(MW)	能利用储量 计算年限(年)	热能(MW)	能利用储量 计算年限(年)
大型	> 50	30	> 50	100
中型	10~50	30	10~50	100
小型	< 10	30	< 10	100

五、地热资源的勘查和地球物理学

地热资源勘查一般要开展地质调查、地球物理勘探(简称物探)等工作。在山区、半山区,可以通过开展地质调查,研究地表附近的地质情况,进而可以推断地球深部的情况,了解地热资源的赋存状态。在平原区,因为土壤的覆盖,没有岩石出露,推断地下的地质情况、了解地热资源的情况除了依靠已知钻孔外,就要靠地球物理勘探等方法来进行解释推断了。

地球物理学是 20 世纪中期逐渐发展起来的一门新学科。作为一种高新技术,地球物理方法是基于地下物质的密度、磁性、电性等物理性质存在差异的基础上的,用物理学、地质学知识和物理仪器间接地推断地下物质情况。打个形象一点的比喻,通过地球物理测量仪器,用地球物理方法对地球进行勘查,就像用 B 超、CT、心电图等医学仪器对人的身体进行检查一样,可以分辨出性质不一样的“地球器官”和“地下异常”。只不过,地球物理面对的对象更庞大、更复杂,地球物理解释推断需要更多的地质学知识和复杂的工作罢了。与检查身体的医学方法和医学仪器有很多种一样,地球物理学方法和地球物理仪器也有很多种,包括重力勘探方法、磁法勘探方法、电法勘探方法、震法勘探方法、放射性测量方法、地下测井方法等。每种方法又可以细分为更多的方法。每种方法都有自己的“特长”,能很好解决特定的问题,把很多方法根据需要有机地结合起来,能够比较准确地推断出地下物质情况。

六、地热流体的物理化学性质

目前开发地热能的主要方法是钻井,并由所钻的地热井中引出的地热流体——蒸汽和水而加以利用,因此地热流体的物理和化学性质对地热的利用至关重要。

地热流体不管是蒸汽还是热水一般都含有 CO_2 、 H_2S 等不凝结气体,其中 CO_2 占 90%。地热流体中还含有数量不等的 NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 、 H_2SiO_4 等物质。地区不同,含盐量差别很大,以重量计地热水的含盐量在 0.1%~40% 之间。

七、温泉成因及作用

温泉就是热的泉水。温泉在地球上分布很广,在我国已发现的温泉就有 2 200 多处。人们把温泉的热能直接用于洗浴、医疗、采暖供热、温室栽培等方面,既经济简便,又不污染环境。

(一)温泉成因

温泉的产生往往和火山与断层有关。火山爆发的时候,地球内部大量熔融的岩浆冲出地面。可是也有不少岩浆并没有冲出地面,而是停留在接近地表一带。这部分留在地面以下的岩浆,把自己的热量慢慢地散到地层里,使周围的地下水变成热水,然后再沿断层或裂隙上升到地表而形成温泉。所以在有过火山活动的地区,很有可能出现温泉。

不过有些地方虽有温泉,可是无论过去还是现在,从来没有发生过火山活动,这些温泉的出现仍是地下岩浆活动的结果。有些岩浆活动没有能够达到冲出地面而形成火山爆发的能力,但它们本身的热量足以使地下水温度升高而变成温泉。还有一些温泉,由于那里存在着很深的断层,使地下水可以进入到地下几公里甚至更深的地方而变成了热水。我们知道,在地球内部,越深温度越高。在几公里深的地方,温度可以达几十摄氏度甚至上百摄氏度,水在这里被加热后再涌出地面,就是温泉了。

温泉的形成一般而言可分为两种:一种是地壳内部的岩浆作用所形成,或为火山喷发所伴随产生,火山活动过的死活山地形区,因地壳板块运动隆起的地表,其地底下还有未冷却的岩浆,均会不断地释放出大量的热能,由于此类热源的热量集中,因此只要附近有孔隙的含水岩层,不仅会受热成为高温的热水,而且大部分会沸腾为蒸汽,多为硫酸盐泉。另一种是受地表水渗透循环作用所形成。也就是说,当雨水降到地表向下渗透,深入到地壳深处的含水层形成地下水(砂岩、砾岩、火山岩这些良好的含水层)。地下水受下方的地热加热成为热水,深部热水多数含有气体,这些气体以二氧化碳为主,当热水温度升高,上面若有致密、不透水的岩层阻挡去路,会使压力愈来愈高,以致热水、蒸汽处于高压状态,一旦有裂缝即窜涌而上。热水上升后愈接近地表压力则逐渐减小,由于压力渐减而使所含气体逐渐膨胀,减轻热水的密度,这些膨胀的蒸汽更有利于热水上升。上升的热水再与下沉较迟受热的冷水因密度不同所产生的压力(静水压力差)反复循环产生对流,在开放性裂隙阻力较小的情况下,循裂隙上升涌出地表,热水即可源源不绝涌升,最终流出地面,形成温泉。在高山深谷地形配合下,谷底地面水可能较高山中地下水位低,因此深谷谷底可能为静水压力差最大之处,而热水上涌也应自谷底涌出的可能性最大,温泉大多发生在山谷中河床上。一般说来,温泉的形成需具备下列三个条件:

- (1)地下必须有热水存在;
- (2)必须有静水压力差导致热水上涌;
- (3)岩石中必须有深长裂隙供热水通达地面。

台湾处于环太平洋地震带上,位于欧亚和太平洋两大板块之间,即火山活动相当发达

的地形之一,因此造就了台湾的三大火山系统:大屯火山系(基隆火山、龟山岛)、东部海岸山脉以及澎湖群岛区,但大多数火山皆为死火山,由于地底深处尚有未冷却的火山岩浆继续流窜,地热也致使台湾的温泉分布及活动相当的活跃,因此火山区域内往往可以发现温泉与喷气孔。火山型温泉的硫化物需遇热才会大量溶解于水中,形成硫酸泉(石膏泉,俗称为硫磺泉)与盐酸泉。另外一种主要系统则是贯穿全岛的中央山脉两侧,此区的温泉数量几乎占全台 80% 以上,属于变质岩和沉积岩,由于含有丰富的碳酸氢离子,与岩石中的钠、镁、钙、钾矿物质作用而成的碳酸泉,因此多为中性或碱性。

泉口温度显著地高于当地平均气温而又低于(等于)45℃的地下水天然露头叫温泉。温泉的最高水温可达 70℃ 以上。

(二)温泉的作用

有资料表明,温泉热浴不仅可使肌肉、关节松弛,消除疲劳,还可扩张血管,促进血液循环,加速人体新陈代谢。此外,大多数温泉中都含有丰富的化学物质,对人体健康有一定的帮助。比如,温泉中的碳酸钙对改善体质、恢复体力有相当大的作用;而温泉所含丰富的钙、钾、氢等成分对调整心脑血管疾病,治疗糖尿病、痛风、神经痛、关节炎等均有一定效果;而硫磺泉则可软化角质,含钠元素的碳酸水有漂白、软化肌肤的效果。

(三)泡温泉注意事项

(1)贵在长期坚持。仅靠节假日凭兴趣泡一两次温泉达到养生或美容的目的是不现实的,一定要长期坚持才能有效果。

(2)泡温泉并非人人适用。尽管泡温泉对健康有种种好处,但不是人人都适用。高血压、心脏病患者,在规则服药的前提下,可以泡温泉,但每一次最好不超过 20 分钟,起身时应谨慎缓慢,以防因血管扩张、血压下降导致头昏眼花而跌倒。温泉所含的硫磺及其他酸碱物质可以消炎杀菌,对一般感染性或寄生性皮肤病很有疗效,但有时也会刺激皮肤使伤口恶化,甚至导致“温泉性皮肤病”,因此对于部分皮肤病患者,不宜泡温泉。对于患有湿疹、异位性皮炎等的患者来说,泡在热水中过久,由于加速皮肤水分的蒸发,破坏皮肤保护层,也容易导致症状的加重。

泡温泉看似简单,但也并非人人都懂得怎样科学地泡。泡温泉时,应该尽量合上双眼,以冥想的心情,缓缓地深呼吸数次,才能真正达到释放身心压力的目的。而且,泡温泉不要从水温太烫的池开始,要从水温较温和的池开始浸泡;不要在烫身的池水中每次浸泡时间超过 10 分钟,要及时让胸部露出水面或离水歇息;不要在过胸的水位每次浸泡时间超过 10 分钟,要与较温和的池水及时交替浸泡或身体及时露出水面歇息后再浸泡。温泉温度高,浸泡后会有出汗、口干、胸闷等不适感,这是血液循环过快的正常反应。此时调换凉水浸泡或上水静养稍许,并多喝水即可舒缓。

八、酸雨的形成及危害

酸雨一般泛指 pH 值小于 5.6 的雨、雪或其他形式的大气降水,是大气受到污染的一种表现。

“酸雨”一词最先是由一位英国化学家于 1872 年提出的。他在《空气和降雨:化学气候学的开端》一书中首次提出了“酸雨”这一术语,并指出酸雨对植物和材料是有害的,但

一直未受到重视。直到 20 世纪 60 年代,瑞典土壤学家在欧洲发现了大范围的酸雨现象时,才得以受到世人的关注。目前,酸雨已成为国际社会共同关注的全球性重要环境问题之一。

(一)酸雨的成因

形成酸雨的基本原因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等污染物有关。二氧化硫和氮氧化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大气中其他许多碱性物质有关,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。有关酸雨的成因迄今研究得还很不透彻。目前国内外许多学者都在进一步作深入探讨。

(二)酸雨的危害

首先是危害人体健康。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,酸雨可诱发出各种呼吸道疾病。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。三是超级腐蚀剂。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,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。据报道,重庆南山 1 800 hm² 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。

第二节 全球地热资源分布

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、发展及衰亡过程,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 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热异常区,主要分布在板块生长、开裂带和大洋扩张脊及板块碰撞、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所在地意大利的拉德瑞罗地热田就位于这个地热带中。中国的西藏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 $1.7\sim 2.0$ 热流单位。如中国东部的胶东半岛、辽东半岛,华北平原及东南沿海地区等。

我国地热资源丰富,已发现的地热露头点有 3 200 余处,全年天然放热资源量为 $1.04\times 10^{20}\text{J}$,折合 $3.56\times 10^9\text{t}$ 标准煤。然而,我国的地热资源分布极不均匀,温度高、储量大的地热资源主要分布在西藏、云南等偏远地区,在我国经济发达地区,地热资源主要分布于北京、天津、河北、广东、福建、海南、广西等省市。从我国的地热资源情况看,85% 是低于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地热水型热田。因此,决定了我国的地热资源的利用主要以直接利用为主。

第三节 地热资源的开发利用

一、地热资源应用领域

$150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温地热和 $90\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的中温地热,主要用于发电、烘干等工业领域(如西藏的羊八井地热田); $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温地热(如北京的地下热矿水),由于其温度适宜、清洁无污染、富含多种对人体有益的矿物质而用途十分广泛。低温地热可以在以下方面进行开发:

(1)地热直接供暖。燃煤锅炉的大量使用是空气受到严重污染的重要原因。目前,北京市政府已明确规定在主要城区取消燃煤锅炉,代之以燃油或燃气,以减小大气污染程度。但燃气和燃油前期投入和运行成本都十分昂贵,而地热资源的开发为这个问题的解决提供了一条可行之路。大力提倡与推广地热供暖,将对环保事业做出重要的贡献。

(2)治疗保健。北京地区的地热水属于中低温热矿水,富含锂、氟、氡、偏硼酸、偏硅酸等多种矿物质,有一定的医疗、保健、养生作用。经常用热矿水进行洗浴,对高血压、冠心

病、心脑血管、风湿病、皮肤病等有一定疗效。热矿水入室,无疑会大大提高居民的生活质量。

(3)娱乐、旅游。依托温泉浴疗,可以开发游泳馆、嬉水乐园、康乐中心、会议中心、疗养中心、温泉饭店、温泉度假村、高级宾馆等一系列娱乐旅游项目。

(4)种植、养殖。可以依托地热井,建造温泉温室,种植名优花卉、特种蔬菜(供给大的饭店、宾馆、酒楼之需)等,也可以用来发展旅游农业。

热水养殖可以大大缩短多种水生物的孵化期和生长周期,因此可以依托地热资源发展高产鱼类养殖业等养殖产业。

(5)余热供暖。用于洗浴、娱乐等方面的地热水在使用后,热水温度依然很高,仍含有大量的热能,如果能有效地加以利用,就会带来巨大的经济效益和社会效益。最近,北京市地质勘查技术院与清华同方合作实验成功了环保型地温热泵供暖系统,它可以从热水,甚至冷水中提取热能供暖,使地热能的综合利用率提高到了80%左右,其运行成本低于燃气和燃油。这套系统的实验成功为地热水的余热供暖开辟了广阔的天地。

正因为地热水有如此广泛的用途,所以近年来受到了众多开发商的青睐,成为一个新的经济增长点。为了充分利用资源,创造更多的价值,对地热资源开发应做到一水多用、综合利用。例如,如果条件合适,可以先用热水直接供暖,供暖后的水用于洗浴保健,洗浴保健后的水经处理后用来进行种植、养殖或者余热供暖。

二、中国地热资源开发利用特点

(1)地热资源分布面广。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90~150℃的中温地热田26处,占地热田勘查总数的3.8%;90℃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℃,其中平均温度西藏最高,达88.6℃;湖南最低,为37.7℃。

(3)地热田规模以中小型为主。在已勘查738处的地热田中,大、中型地热田仅55处,占7.5%,但可利用的热能达3310.91 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1008.05 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300~500 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。中国东部的华北盆地、松辽盆地,具有很大的地热资源开发利用潜力,但其开发利用条件受到热储层埋藏深度、岩性、地热水补给条件的限制。开采利用40℃以上的地热水,开采深度一般都需要1000 m左右。有的地

区地热水开采深度已超过 3 000 m。

中国工程院院士、西藏地勘局总工程师多吉日前透露,据初步考察,青藏铁路沿线丰富的高温地热资源估计拥有 10 万 kW 的发电潜力。青藏高原是我国地热资源最丰富的地区,占我国高温地热资源量的 80%。2004 年我国启动了对青藏铁路沿线高温地热资源考察工作。从目前考察情况来看,青藏铁路沿线,自拉萨—尼木—羊八井—那曲—错纳湖—温泉一带,蕴藏着丰富的高温地热资源,目前已查明的地热显示点有 20 余处,具有一定规模的地热田有 12 处,是西藏地热储量最集中的地带。

地热资源是目前全球倡导的绿色可再生的安全资源,具有技术成熟、利用方便等优势,它不受昼夜和季节变化的限制,不仅可供电、供热,还可以用于旅游、温泉保健、种植养殖等。

三、国外地热开发利用状况

人类很早以前就懂得利用地热能,古罗马人建设了利用地热能的浴池和房屋,在冰岛、土耳其和日本等国的地热地区至今仍保留类似做法。其中冰岛是地热较多的国家,已有 40% 的居民利用地热取暖,其首都雷克雅未克在 20 世纪 40 年代就利用地热实现了暖气天然化,是世界最清洁的城市之一。

地热水本身具有较高的温度,含有多种化学成分、少量的生物活性离子和放射性物质,对人体可起到保健、抗衰老作用,对风湿病、关节炎、心血管病、神经系统疾病、妇科疾病等慢性病有特殊的疗效,具有很高的医疗价值。

利用温泉治疗疾病,很多年前就被人类所认识,有许多温泉被供为“圣水”、“仙水”。世界上许多温泉出露的地区既是疗养区又是旅游区。如日本位于环太平洋火山活动带上,有着丰富的地热资源,他们依据这些优势建起温泉保健所 700 多家,温泉宾馆 1 万多个。匈牙利这个国家虽然人口不多,但是地热开发利用却很发达,建有地热疗养院 200 多家,从而吸引着众多的国外游客或病人。

地热资源的最大利用潜力是发电,世界上最早的地热发电站于 1940 年在意大利塔斯坎尼的拉德雷洛地区建成。在当地,温度为 140~260℃ 的蒸汽从地裂缝中喷出,因含有污染的化学物质,涡轮机不能直接应用,便将地热蒸汽引入热交换器,利用其热量加热净水,再将干净的水蒸气引入涡轮机。250 kW 的发电机组开始发电,目前装机容量达到 42 万 kW。

从 20 世纪 60 年代以来,国内外 30 多个国家建立了地热电站,发电量已达 250 多万 kW,美国地热发电规模较大,并且发展速度很快。1960 年加利福尼亚州在盖塞建成第一座地热蒸汽电站,装机容量 1 万 kW。1979 年美国的地热发电量达到 66.3 万 kW,居世界第一位。菲律宾有 12 座活火山,地热资源极为丰富,目前正在积极开发利用。

四、地热能的利用与效益

- (1) 200~400℃ 直接发电及综合利用。
- (2) 150~200℃ 双循环发电、制冷、工业干燥、工业热加工。
- (3) 100~150℃ 双循环发电、供暖、制冷、工业干燥、脱水加工、回收盐类、罐头食品。