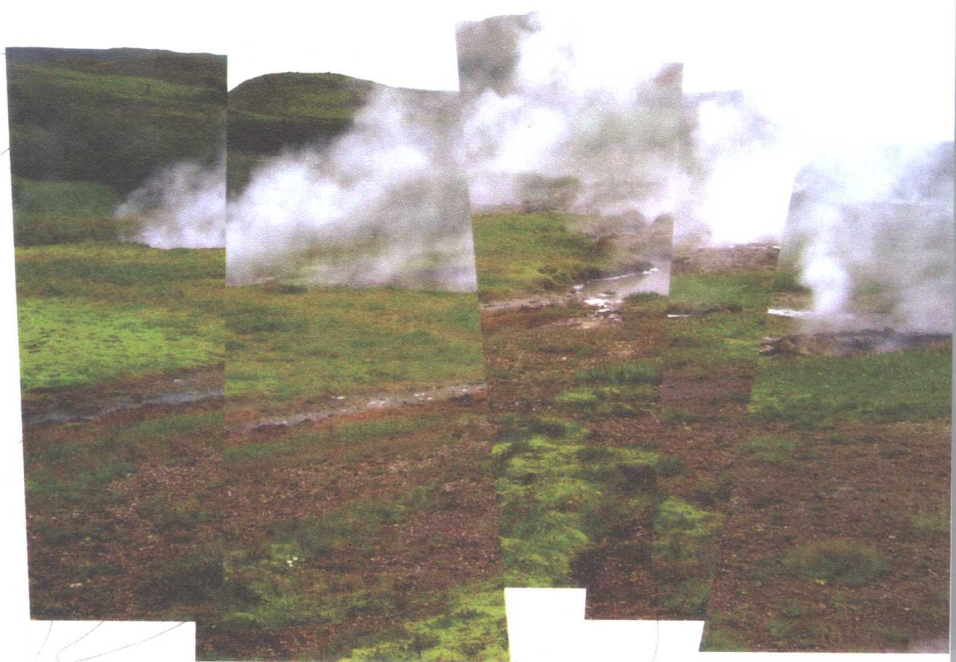


可再生能源丛书

地热 利用技术

汪集暘 马伟斌 龚宇烈 等编著



化学工业出版社

可再生能源丛书

地热利用技术

汪集暘 马伟斌 龚宇烈 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

地热利用技术/汪集暘等编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 12

(可再生能源丛书)

ISBN 7-5025-6364-4

I. 地… II. 汪… III. 地热-资源利用 IV. P314

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 123571 号

可再生能源丛书

地热利用技术

汪集暘 马伟斌 龚宇烈 等编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 韩庆利 余纪军

责任校对: 陈 静

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm × 1000mm 1/16 印张 10 字数 141 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6364-4/TK · 16

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

可再生能源，包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、海洋能，是广泛存在、用之不竭、可以自由索取、最终可依赖的初级能源。直至近二三百年化石能源得以大规模开发使用以前，它一直是人类赖以生存与发展的主要能源来源。当前，化石能源与核裂变能已成为最主要的商品能源，可再生能源中只有水能在商品能源中占有明显的份额。自 20 世纪 70 年代开始，人们认识到根据当今化石能源的开发使用力度，它将在几十至一百多年间衰竭，对于人类未来能源可持续供应来说，我们又将重新进入可再生能源为主的新时期。

与化石能源相比，可再生能源具有能量密度低；随着季节、昼夜与气候条件的变化而变化，不连续；难于携带和运输等特点。若要取代化石能源则需解决一系列科学技术问题 and 经济性能问题，整个过程需要长时间的持续努力。可喜的是，近年来，可再生能源的开发利用得到了日益增强的重视与支持，取得了一些重要的进展，大大增强了人类在化石能源衰竭后仍能依赖可再生能源可持续发展的信心。

化学工业出版社组织出版的《可再生能源丛书》，由各领域的知名专家编写，将为广大读者提供有关知识、进展情况和今后工作的方向，动员大家来更好地参与和支持开发利用可再生能源的伟大事业。相信定会受到大家的欢迎，取得预期的效果。

中国科学院院士、中国太阳能学会名誉理事长

严陆光

2004 年 10 月

于北京

前 言

能源和环境是当今人类面临的两大问题。随着煤炭、石油、天然气这类传统能源的日益枯竭和人类对环境保护意识的增加,新能源和可再生能源越来越受到人们的重视和关注。20世纪70年代初发生石油危机以来,联合国的一批国际组织(如UNDP、UNESCO、UNU、UNEP、GEF以及世界银行)和各国政府都在大力倡导新能源和可再生能源的开发利用,其中风能、太阳能、生物质能、地热能近年来发展尤为迅速,并已开始逐渐登上能源舞台。

在新能源和可再生能源大家族中,地热仍是目前最现实和最具竞争力的一种能源。据国际地热协会(IGA)统计,至2002年,全球地热发电总装机容量和年产能值分别为8000MW和50000GW·h,而地热直接利用的总装机容量和年产能值则分别达到15200MW和53000GW·h。显而易见,无论是全球地热的总装机容量还是其年产能值目前均远远在其他新能源之前。至于地热发电或地热直接利用的成本,目前也远比其他新能源低,在某些情况下,甚至相当或可略低于传统能源发电或直接利用的价格。因此地热在各类新能源和可再生能源中应具有很强的市场竞争力。

毋可讳言,地热能虽有上述优点,但在新能源和可再生能源大家族中往往受到某种程度的“歧视”。无论国内、国外,一提新能源就是风能、太阳能、生物质能,地热通常排在后面,甚至排不上号。究其原因,不外乎有以下几点:一是地热资源(尤其是高温地热资源)的分布受地域限制很大并与地质构造有关;二是地热开发的初投资很高,首先要做大量地质、地球物理、地球化学勘察,然后要打井,且要作各种测试,因此地热勘探在国外多由各大石油公司来做,像找油一样找地热;三是开采过程中要采取各种措施以保护资源和环境,其中最重要的是要

进行回灌，即将利用以后的地热流体回灌到地下储层之中，而这是一件难度较大且耗资耗时的工作，业主或开采者往往不愿意做；四是地热虽说是一种无（或低）污染的所谓“环境友好”能源，但若开发利用不当，对周围环境仍会造成负面影响。也正是基于上述几点，地热在新能源和可再生能源大家族中往往被“歧视”或不被看好。但我们认为这些观点是片面甚至是错误的。因为：高温地热资源虽有很强的地域限制性，但中低温地热资源分布的地域限制却要少得多，尤其是近十几年来快速发展起来的热泵技术，已能与常温一样的普通地下水看作地热资源来加以利用。从这个意义上来说，地热资源已没有地域限制，可以说是无处不在。难怪近年来中、北欧等传统意义上没有或很少有地热资源的国家，如瑞士、瑞典、芬兰、奥地利等，都在积极利用热泵技术大力开发地热资源。至于初投资，地热资源勘察肯定要花钱，但已有人算过经济账，地热能开发的总成本还是很有市场竞争力的。说到环境问题，只要采取回灌及其他有关措施，使地热开发形成一个“封闭”系统，即使地热流体中含有某些有害元素或成分，对周围环境也不会造成不良影响。

我国是一个以中低温地热资源为主的国家，大力发展中低温地热资源用于城乡供暖、空调制冷及生活用热水的所谓“三联供”，是解决城乡供暖供热的一条好途径。在农村，应发展地热水产养殖、温室大棚及农产品（包括木材）烘干等；在广大旅游区，应发展温泉疗养和理疗、娱乐休闲等高品位的“温泉（或地热）文化”，以适应人民群众不断提高的生活水平和文化娱乐需求。至于地热发电，应在缺乏传统能源（煤炭、石油、天然气）而且高温地热资源有保证的西部边远地区（如西藏）进行开发，以解决当地的能源短缺问题。这方面最有说服力的例子就是西藏羊八井地热电站，其装机容量虽只有25.18MW，但能提供拉萨市电力供应的50%（冬季达60%）。至于云南腾冲地区的高温地热资源，我们认为没有必要建地热电站，而应将该地区十分丰富且绚丽多彩的高温地热显示打造成我国的“黄石公园”，供国人以至世人游览、观光，因为那里蕴藏的水力资源只要开发一小部分就足够当地的能源之需了。

地热能的开发利用包括两个方面：一是“地下”部分，即搞清地热

资源分布情况、热储结构及地热流体性质等；二是“地面”部分，即采取何种措施或办法将地热资源开发出来加以利用（或发电，或直接利用），前者需要地质、地球物理、地球化学勘察，而后者需要各种地热利用技术。随着经济的快速发展和对能源需求的日益增加，我国目前又掀起一个包括地热在内的新能源和可再生能源开发利用的热潮，但系统阐述地热开发利用技术的书籍却很少见，这也正是本书出版的目的和初衷。

本书由七章组成。第一章地热资源及其开发利用，如前所述，这是地热开发利用的基础；第二章地热发电技术；第三章地热制冷技术；第四章地源热泵技术；第五章地热供暖技术；第六章地热直接利用的其他方面——地热温室、地热水产养殖、地热干燥、地热旅游和疗养；第七章地热直接利用技术环境特征分析。需要加以说明的是，本书重点介绍地热直接利用技术特别是地源热泵技术及其在供暖、制冷上的应用，因为它们可以大大提高中低温地热资源的开发利用效率并协助解决建筑物的节能问题。这也是国际上当前研究的热点。温泉疗养旅游甚至“温泉文化”是随着人们生活水平的提高而发展起来的，我国最近亦正在兴起，有兴趣的读者可参阅有关文献和书籍，因不是本书的重点，我们只在第六章中略为提几句。至于第七章的本意是想告诉读者，若开发利用不当，地热仍然是对环境不友好的，因此我们必须认真对待，不可掉以轻心。

本书由汪集暘、马伟斌、龚宇烈、陈恩鉴、熊亮萍分别编写。龚宇烈、熊亮萍做了大量文字和图稿的编排与修订工作。在编写过程中，吴治坚、李颂哲对有关章节提出了宝贵的修改意见，编写者对此致以衷心的感谢。必须说明，本书是在中国科学院广州能源研究所广大科技工作者多年从事该领域的研究及所取得成果的基础上编写而成的，在此对他们表示崇高的敬意和衷心的感谢。

由于编写者水平所限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

汪集暘

2004年10月15日

目 录

第一章 地热资源及其开发利用	1
第一节 全球地热资源量估算	1
一、概述	1
二、全球地热资源量估算	3
第二节 世界地热资源开发利用现状	4
第三节 中国地热资源分布	5
一、高温对流型地热资源	5
二、中低温对流型地热资源	6
三、中低温传导型地热资源	8
第四节 中国地热资源的评价方法	13
一、地热资源评价类型	13
二、地热资源评价方法	13
第五节 中国地热资源开发利用现状	15
第六节 地热田勘察、开发、管理方法与环境保护	17
一、地热田的地质、地球物理和地球化学勘察方法	17
二、地热田的开发	20
三、地热田的环境保护	21
参考文献	24
第二章 地热发电技术	26
第一节 地热发电概况	26
一、概述	26
二、我国地热发电存在的主要问题	31
三、我国地热发电发展前景	32
第二节 地热发电技术	34

一、概述	34
二、地热发电的热力学特点	37
三、地热发电方式	38
四、地热发电技术发展趋势	44
第三节 地热电站实例简介	46
一、国外地热电站实例	46
二、国内地热电站实例	49
参考文献	51
第三章 地热制冷技术	53
第一节 地热制冷系统组成	53
一、组成地热制冷系统的基本设备	54
二、溴化锂溶液的性质	54
第二节 单级溴化锂吸收式制冷机	56
一、单级溴化锂吸收式制冷机的基本原理	56
二、单级溴化锂吸收式制冷机的设计计算	59
第三节 两级溴化锂吸收式制冷机	63
一、两级溴化锂吸收式制冷机的制冷循环原理	63
二、两级溴化锂吸收式制冷机的设计计算	65
三、单级、两级溴化锂吸收式制冷机性能的比较	71
第四节 地热制冷应用实例	71
参考文献	72
第四章 地源热泵技术	73
第一节 概述	73
一、国外应用现状	73
二、国内应用现状	76
第二节 地源热泵工作原理及其特点	77
一、地源热泵工作原理	77
二、地源热泵特点及优势	78
第三节 地源热泵系统的设计	80
一、基础资料	80
二、空调制冷和供热的负荷	81

三、室内空调系统的设计	81
四、埋管式地源热泵系统的设计	82
五、地下水源热泵系统的设计	85
六、地表水源热泵系统的设计	86
第四节 工程实例简介	87
一、国外地源热泵工程	87
二、国内工程应用实例	90
参考文献	94
第五章 地热供暖技术	95
第一节 概述	95
一、国外利用现状	95
二、国内利用现状	96
第二节 地热供暖系统组成和分类	98
一、地热供暖系统的组成	98
二、地热供暖系统的类型	98
三、地热供暖的优点	99
第三节 地热供暖系统的设计	100
一、地热水热量的计算和地热供暖面积的确定	100
二、地热供暖方案的设计	102
三、终端散热设备的选择	106
第四节 工程实例分析	108
一、工程概况	109
二、确定供暖方案	109
三、确定供暖的热负荷	109
四、终端散热器的平均温度	110
五、钛板换热器的传热温差	110
六、设计结果分析	110
七、工程实际运行情况	111
参考文献	111
第六章 地热直接利用的其他方面	113
第一节 地热农业利用技术	113

一、国内外地热农业利用的发展	113
二、地热温室	114
第二节 地热养殖和孵化技术	119
一、地热养殖罗非鱼	119
二、地热养甲鱼	120
三、地热养鱼的温度控制	120
四、地热培育鱼苗问题	121
五、地热孵化	122
第三节 地热烘干技术	123
一、地热烘道式香菇干燥装置	123
二、地热羊毛带式干燥机	124
第四节 地热医疗技术	125
一、概况	125
二、医疗地热矿泉分类	128
三、医疗矿泉的命名方法	128
四、地热矿泉医疗的生理作用	129
第五节 地热农业利用的可行性分析	132
一、地热资源评价	132
二、单元和整体经济技术分析	133
参考文献	133
第七章 地热直接利用技术环境特征分析	135
第一节 概述	135
第二节 地热水水质特性	135
第三节 地热开发利用对环境的影响	137
一、对地表水的影响	137
二、对地下含水层的影响	138
三、对土壤的影响	139
四、对农作物的影响	139
五、对水产养殖的影响	140
六、对环境的热污染	141
七、地面沉降问题	141

第四节 地热水污染的防治措施	142
一、制定有关的法规	142
二、地热尾水回灌	142
三、H ₂ S 处理	142
四、控制地热水的热污染	143
第五节 地热直接利用的环境质量评价	143
一、环境质量评价内容	143
二、环境质量评价方法	143
三、环境质量的指标	144
参考文献	145
结束语	147

第一章 地热资源及其开发利用

第一节 全球地热资源量估算

一、概述

地球是一个巨大的能源宝库，进入地球内部越深，温度就越高。每天由地球内部向地表传递的热能量相当于全人类一天使用能量的 2.5 倍。这种储存于地球内部的能源其实远比化石燃料丰富，特别在当今人们日益关注全球气候变化和各种环境污染问题的形势下，地热能作为一种清洁能源而备受关注。

按一般概念，地热能是指以热能为主要形式储存于地球内部的热量。这部分热量一方面来源于地球深处的高温熔融体，另一方面则来源于放射性元素（U、TU、 ^{40}K ）的衰变。按其属性地热能可分为四种类型。

① 水热型 即地球浅处（地下 100~4500m）所见到的热水或水蒸气。

② 地压地热能 即在某些大型含油气盆地深处（3~6km）存在着的高温高压热流体，其中含有大量甲烷气体。

③ 干热岩地热能 乃由于特殊地质构造条件造成高温但少水甚至无水的干热岩体，需用人工注水的方法才能将其热能取出。

④ 岩浆热能 即储存在高温（700~1200℃）熔融岩浆体中的巨大热能，但如何开发利用这类地热能源目前仍处于探索阶段。

在上述四类地热能中，只有第一类水热型地热能已达到大规模商业性开发利用阶段。

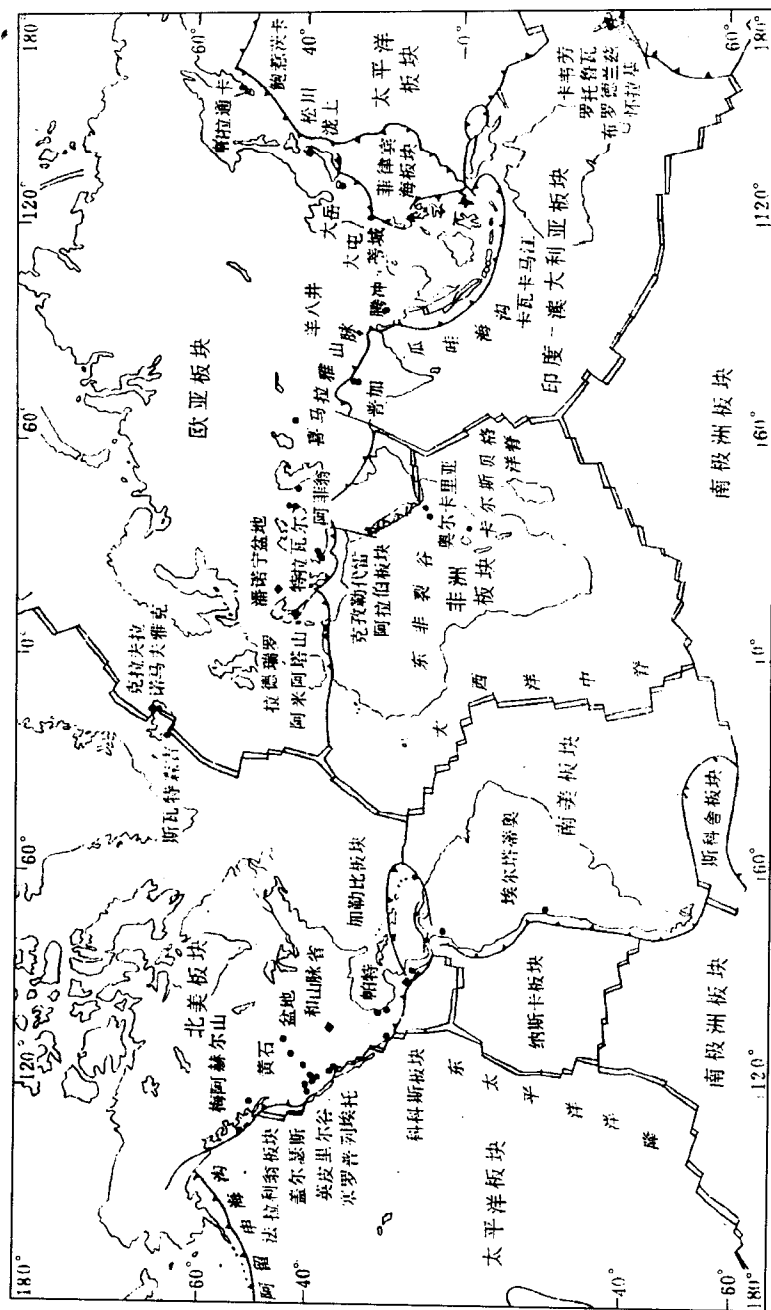


图 1-1 全球地热资源分布

根据开发利用目的,又可将水热型地热资源分为高温($>150^{\circ}\text{C}$)、中低温(中温 $90\sim 150^{\circ}\text{C}$, 低温 $<90^{\circ}\text{C}$)水热资源。前者主要用于地热发电,而后者主要用于地热直接利用(供暖、制冷、工农业用热和旅游疗养等)。高温地热资源的最大特点是其分布具有地区局限性,从全球范围来看,高温水热资源一般出现在火山、地震活动频繁的构造带、板块边缘及其内部,如美国的黄石公园、盖尔瑟斯,墨西哥的塞罗普列埃托,冰岛的克拉夫拉,意大利的拉德瑞罗,印度的普加,日本的松川、大岳,新西兰的怀拉基等(图 1-1)。

二、全球地热资源量估算

全球地热资源的估算按如下三级进行:第一级称为“可及资源基数”(Accessible Resource Base),指的是地表以下 5km 之内积存的总热量,这部分热量理论上是可采的;第二级称为“资源”(Resources),是指上述“资源基数”中在 40~50 年内可望有经济价值者;第三级谓之“可采资源”(Reserves),专指“资源基数”中在 10~20 年内即可具有经济价值者。据 Palmerini(Palmerini, 1993)估算,全球地热“资源基数”为 $140\times 10^6\text{ EJ/a}$,可采资源量为 500 EJ/a (表 1-1)。虽然后者只占前者的很小一部分,但其量仍十分可观,已超过全球一次性能源的年消耗量(约 400 EJ/a)。全世界地热“资源基数”的地区分布见表 1-2。由表 1-2 可见,中国地热资源潜力占全球的 7.9%($11\times 10^6\text{ EJ/a}$)。

表 1-1 地热资源分类及全球地热能资源潜力 (Palmerini, 1993)

资源类型	总能量/(EJ/a)
(可及)资源基数	140×10^6
资源	5×10^3
可采资源	500

表 1-2 全球地热资源潜力分布 (WEC, 1994; EPRI, 1978)

地区	总能量/(10^6 EJ/a)
北美	26(18.6%)
拉丁美洲	26(18.6%)
西欧	7(5.0%)
东欧及前苏联	23(16.7%)
中东、北非	6(4.5%)

续表

地 区	总能量/(10^6 EJ/a)
撒哈拉非洲	17(11.9%)
太平洋地区(中国除外)	11(7.9%)
中国	11(7.9%)
中亚及南亚	13(0.4%)
总计	140(100%)

第二节 世界地热资源开发利用现状

从世界范围来看,利用温泉洗浴已有数千年历史,但只是在 20 世纪地热资源才作为能源大规模用于发电、供暖和工农业用热。1904 年在意大利拉德瑞罗首次利用地热蒸汽发电成功,而较具规模的地热城市供暖则始于 20 世纪 30 年代(冰岛)。地热利用的步伐在 20 世纪 70 年代初开始加快,据统计,1975~1995 年的 20 年间,全球范围内地热发电每年大约以 9% 的速率增长,而地热直接利用的增长率略低,约为 6%。表 1-3 列出地热直接利用前 10 名国家。可以看出,中国地热直接利用装机容量已居世界第一(1914MW),但其年产能值却不如日本、冰岛。美国情况类似,虽其装机容量位居世界第二,但其年产能值却排在世界第四。原因在于不同类型的地热直接利用,其荷载系数(load factor)不同。至 2002 年,全世界地热发电总装机容量已达 8000MW,而地热直接利用的总装机容量为 15200MW(表 1-4)。

表 1-3 地热直接利用前 10 名国家

序 号	国 名	装机容量 /MW	年产能值 /(GW·h/a)
1	中国	1914	4717
2	美国	1905	3971
3	冰岛	1443	5878
4	日本	1159	7500
5	匈牙利	750	3286

续表

序 号	国 名	装机容量 /MW	年产能值 /(GW·h/a)
6	土耳其	635	2500
7	意大利	314	1026
8	法国	309	1359
9	新西兰	264	1837
10	俄罗斯	210	673

注：以上数据统计截至 1997 年底，以装机容量排序。

表 1-4 全球 2002 年地热开发利用情况 (Lund, 2002)

地热利用	总装机容量 /MW	年产能值 /(GW·h/a)	利用系数
发电	8000	50000	0.71
直接利用	15200	53000	0.40

第三节 中国地热资源分布

前已述及，根据开发利用目的，可将水热型地热资源分为高温 ($>150^{\circ}\text{C}$) 及中低温 (中温 $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，低温 $<90^{\circ}\text{C}$) 两类，而从热量传递的方式又可将上述地热资源分为传导型和对流型。根据我国所处的大地构造位置及地热背景，将中国地热资源分为：高温对流型地热资源；中低温对流型地热资源；中低温传导型地热资源。现将其分布情况简述如下。

一、高温对流型地热资源

高温对流型地热资源主要分布在滇藏及台湾地区 (图 1-2)。在西藏南部，地表共有 600 多处高温地热显示，包括间歇喷泉 (Geysers)、沸泉 (Boiling spring)、喷气孔 (Fumaroles)、冒汽地面 (Steaming ground)、水热爆炸 (Hydrothermal explosion) 等，其中 345 处在 20 世纪 70 年代即经过实地考察。热水分析结果表明，大部分热水属 Cl^- -