

世界主要国家地热资源开发利用

郑 敏

中国国土资源经济研究院 (101149)

摘要: 本文叙述了地热资源的产生与在世界的分布与蕴藏, 对世界地热能资源潜力进行了分析, 对世界各国地热资源的开发与利用, 以及地热资源给人类带来的巨大效益进行分析总结。

关键字: 地热资源 开发利用

一、地热资源概述

地热资源是指在当前技术经济和地质环境条件下能够科学、合理地开发出来的, 地壳岩石中的热能量和地热流体中的热能量及其伴生的有用组分。它是矿产资源的一部分, 也是具有高清洁度的可再生能源。传统能源煤、石油等, 对环境的污染是十分严重的, 世界各国一直在研究开发新能源, 尤其是再生能源, 以逐渐减少对传统的能源的耗费。地热能由于储存量巨大, 对环境的负面影响非常小, 被称之为清洁能源, 因此被世界各国列为重点研究开发的新能源之一。

地热资源可按多种方式分类。按赋存状态可分为水热型 (可进一步划分为蒸汽型和热水型地热资源)、干热岩型和地压型地热资源; 按技术经济条件可分为浅于 2000 米的经济型地热资源, 和 2000m 至 5000m 的亚经济型地热资源; 按成因可分为现 (近) 代火山型、岩浆型、断裂型、断陷盆地型和凹陷盆地型等; 按温度可分为高温和中低温地热资源, 其中大于 150℃ 的高温地热资源带主要出现在地壳表层各大板块的边缘, 如板块的碰撞带、板块开裂部位和现代裂谷带, 小于 150℃ 的中、低温地热资源则分布于板块内部的活动断裂带、断陷谷和凹陷盆地地区。

国际上一般将地热资源评估分为三类: 第一类称作“ (可及) 资源基数” (Accessible resource base), 指地表以下 5km 之内积存的总热量, 这部分热量理论上是可以采用的; 第二类称为“资源” (Resources), 指上述“资源基数”中在 40~50a 内可望有经济价值者; 第三类谓之“可采资源” (Reserves), 指“资源基数”中在 10~20a 内即可具有经济价值者。据 Palmerini (1993 年) 估算, 全球地热能“资源基数”为 140×1000000 EJ/a。

二、世界地热资源分布与蕴藏

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℃ 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。环球性的地热带主要有 4 个, 包括环太平洋地热带--它是世界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, 如美国的盖瑟尔斯、长谷、罗斯福; 墨西哥的塞罗、普列托; 新西兰的怀腊开; 中国的台湾马槽; 日本的松川、大岳等均在这一带。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。中国的西藏羊八井及云南腾冲地热田也在这个地热带中。大西洋中脊地热带--这是大西洋海洋板块开裂部位。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。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形成相对的高热流区, 如中国东部的胶、辽半岛, 华北平原及东南沿海等地, 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。

地球内部蕴藏着难以想象的巨大能量。据估计,仅地壳最外层 10 公里范围内,就拥有 1254 亿亿焦热量,相当于全世界现产煤炭总发热量的 2000 倍。如果计算地热能的总量,则相当于煤炭总储量的 1.7 亿倍,据此估算地热资源要比水力发电的潜力大 100 倍。在全世界,地热“可采资源”虽然只占“资源基数”的很小一部分,但其量仍十分可观(见表 1),已超过全球一次性能源的年消耗量(约 400EJ/a)。

表 1 地热资源分类及全球地热资源潜力

资源类型	总能量/EJ·a ⁻¹
(可及)资源基数	140×1000000
资源	5×1000
可采资源	500

不过世界各地的地热资源分布是不均匀的,有些国家地热资源特别丰富。如冰岛就是富地热资源的国家,虽地处北极圈附近,气候寒冷,但地下却蕴藏着巨大的热能,岩流几乎占全球岩流的三分之一,近几个世纪里,平均每五年有一次火山爆发,有形成地热的得天独厚的条件。全世界地热资源潜力(“资源基数”)地区分布见表 2。由表 2 可见,中国地热资源潜力占全球的 7.9%(11×1000000 EJ/a)。

表 2 全球地热资源潜力公布
(据 WEC, 1994 年; EPRI, 1978RH)

地区	总能量/10 ⁶ EJ·a ⁻¹
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%)
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(9.4%)
总计	140(100%)

三、世界主要国家地热资源利用

冰岛: 冰岛地处亚欧板块与美洲板块交界处,两大板块的交界线从西南向东北斜穿全岛。活跃的地壳活动,复杂的地貌使冰岛成为地热资源最为丰富的国家,全国共有 250 个地热区,热能蕴藏巨大,85% 的冰岛人口利用地热取暖。19 世纪初的冰岛人就开始利用地热资源发电和取暖,首都雷克雅未克全都采用地热取暖,成为目前世界上最清洁的城市,其地热技术被联合国作为典范推广。冰岛开发的地热能为 450 亿瓦时,地热能发电量可达 72 亿千瓦时,而开发比例仅为 7%。首都周围的 3 座热电站为 15 万冰岛人提供热水和电力,冰岛人善于提高地热资源使用效率,包括进行温室蔬菜花草种植、建立全天候室外游泳馆、在人行道和停车场下铺设热水管道以加快冬雪融化等。

中国: 已发现地热异常 3200 处,已打地热井 2000 多眼,评价的地热田有 50 多处。中国的地热主要应用于工业、取暖(面积近 800 万 m²)、水产养殖(面积近 300 万 m²)、浴疗(1600 多处)、农业和医药等。1977 年以来,几个中高温地热资源被开发应用于发电。1995 年预测中国西藏南部潜在地热能有 1000mw,云南有 570 mw,四川有 170 mw,台湾大约有 100 mw。中国最大的地热发电厂在西藏的羊八井,1999 年总装机

容量是 25.18 mw,18 口大约 200m 深的地热井提供 140~160℃ 热水。1977 年第一次修建的地热发电站花费了 4000 多万美元,1979 年以来发电 $5 \times 10^8 \text{ k W} \cdot \text{h}$,到 1993 年底一年发电量达到 $1 \times 10^8 \text{ k W} \cdot \text{h}$ 。电站供应了拉萨市夏天 41%、冬天 60% 的电力。在过去 5 年,为了保证资源和控制电厂排放出热水的污染,正在执行一个 1850m 深井的试验项目。在四川、西藏、云南已勘探了几个地热田,地热电厂也建在 7 个地区。1995~1998 年 6 月,执行了 5 个地热发电厂项目,总装机容量是 29.166mw,每年能发电 $1 \times 10^8 \text{ k W} \cdot \text{h}$ 。在过去 5 年,研究了羊八井深层地热和云南省地热资源开发问题。这期间,地热开发的重点是中低温地热资源,现在已有 1620 多个地热正在使用。至 2005 年底的统计数据表明,我国已直接利用地热资源时为 13.756 立方米/秒,年利用地热能 10779 百万千瓦时,居世界第一位;地热开采利用量以每年近 10% 的速度增长。

澳大利亚:1986 年在南澳大利亚的 M u l k a 养牛厂建设了一个 20 k W 试验地热发电厂。1991~1992 年在 B i r d s v i l l e 和 Q u e e n s l a n d 建了一个 150 k W 发电厂。到 1999 年地热每季发电量大约 $9 \times 10^5 \text{ k W} \cdot \text{h}$ 。联邦和私人对投资干热岩项目产生了浓厚的兴趣,1999 年 4 月太平洋电力公司被允许在 M u s w e l l b r o o k 地区进行钻探。钻探准备进行 4 个阶段,大约用 4 年时间,花费 2380 万澳元。

爱尔兰:地热装机容量达 170MW,占全国总装机的 13.04%,到 2005 年计划安装 16MW。现在地热每年产生 $1.138 \times 10^9 \text{ k W} \cdot \text{h}$ 电量,到 2000 年占全国发电量的 14.7%。在 B j a r n a r f l g 地区,1969 年使用 280℃ 的地热建立了 3.2MW 发电站。在 K r a f l a 地区,1996 年打了 4 口地热井,1997 年建设了第二座 30MW 发电站。该地区地热资源的温度是 210℃,压力 0.77~0.22MP a (7.7~2.2 b a r),1999 年该地区装机容量为 60MW,发电量 $4.64 \times 10^5 \text{ k W} \cdot \text{h}$ 。在 N e s j a v a l l i t r 地区,2 个单机发电为 30 MW 电站于 1998 年 10~11 月投入使用。现正在考虑扩建一个 30MW 电站,使总装机容量达到 90MW。国家能源部继续执行勘探地热田计划,1995~1999 年,共钻探了 8 口高温地热井、241 口低温地热井。

意大利:1995~1999 年期间,地热发电装机容量增加到 785MW,1999 年发电量达 $4.403 \times 10^9 \text{ k W} \cdot \text{h}$,占全国装机容量的 1.03%,发电量的 1.68%。在 L a r d a r e l l o、M T. A m t a t a 和 L a t e r r a 地区,安装了 260MW,2000 年 1 月正在修建 105MW 发电站。1995~1999 年,已投入生产的有 229MW。从 1995 年开始,打了 33 口生产井、2 口回灌井,井深 2000~4000m。在 T u s c a n y 的 T r a v a l e R a d t c o n d o l t 地区,打了一口著名的地热井:高温地热的出水量达 70 k g / s,单井装机能力达 30~40MW。计划在这口井附近建设一座 60MW 的发电站。

日本:1995 年 1 月 1 日,在 11 个地热田中安装了总容量为 312.3MW 的 12 个发电机组,该装机容量相当于 1999 年全国总装机容量的 0.23%,发电量的 0.36%。发电厂的规模从 Y a n a t z u N t s h t y a m a 的 65MW 到 K t r t s h t m a 的 100 k W。政府 1995~1999 年投资 4.671 亿美元,比 1990~1994 年的 6.32 亿美元和 1985~1990 年的 7.273 亿美元有所减少。

墨西哥:在 3 个地热田安装了 755MW 的装机容量,占全国总装机容量的 2.11%,总发电量的 3.16%。C e r r o P r t e t o 地区的装机容量达 620MW,有 9 个发电机组,平均工作效率为 92.4%,计划在 2000 年增加第 4 个 20MW 机组。L o s A z u f r e s 地区的装机容量达 93MW,有 8 个 5MW 发电机组,一个 50MW 发电机组,地热温度 265~360℃,井深 835~2095m。L o s H u m e r o s 的装机容量达 42MW,1990 和 1993 年投产了 7 个 5MW 发电机组,计划 2002 年增加 50MW 装机容量。A n s a l d o M a k r o t e k 发电站使用 7 口 320~340℃、0.8MP a (8 b a r) 的地热水,井的深度为 1600~2225m。在 C e r r o P r t e t o 地区,1995~1999 年钻探了 41 口生产井和 1 口回灌井。在 L o s A z u f r e s 地区,钻探了 1 口生产井、1 口勘探井,最后在这个地区施工了 72 口井。在 L o s H u m e r o s 地区,施工了 4 口生产井、1 口回灌井,现在已施工了 40 口井。到 2005 年将增加 325MW 地热发电装机容量,这将略为提高地热发电在全国的比例,最大约为 4%。

俄罗斯:在 K a m c h a t k a P e n t n s u l a 和 K u r t l e 岛,1994~1999 年进行了地热勘探,共钻探了 78 口生产和回灌井,一个 12MW 电站投入使用,1999 年电站和输送线路正在建设。1966 年建设了 P a u z h e t k a 11MW 发电站,1980 年进行了扩建,到现在一直在工作,1999 年产生了

3.5×107 k W·h 电量。随后在 1979 年开始进行勘探活动,钻探了 255~2266m 深的基岩井 82 口,在 S v e e r o M u t n o v k a 地热田开发的 17 口地热井,浅层蒸汽资源的热量是 2100~2700 k J / k g ,700~900m 深的地热水热量是 1000~1500 k J / k g 。1998 年施工的平均热量在 1600 k J / k g ,流量在 330 k g / s 。现在正在供应 12MW 与 3 个 4MW 发电站。1999 年输送线路建设完工,整个地热电站开始发电,供应 K a m c h a t k a 的电力达到 23MW。这个能力仅仅相当于全国装机容量的 0.01%,发电量的 0.01%。

美国:一直积极应用地热发电,1980~1989 年增长 18%,1990~1998 年增长 0.14%,增长速度明显降低。地热装机容量从 1990 年的 2774MW、1995 年的 2816MW,降到 2000 年的 2228MW。2000 年地热装机容量占全国总装机容量的 0.25%,地热发电量大约占全国能源供应量的 0.4%。在加利福尼亚,1994 年以来就没有修建地热发电站的计划,到 2002 年计划增加 98MW 地热发电站。在 N e v a d a ,正在 10 个地方修建 195.7MW 的地热发电站,1990~1999 年修建了 4 座发电站,现在没有发展新电站的计划,主要原因是电价非常低。在加利福尼亚,1996~1998 年仅有 13 口生产井和 7 口回灌井,在其他地区,钻井活动也较少,在 N e v a d a ,1995~1999 年钻探了 28 口生产井。1997 年美国能源部终止了在 V a l l e s C a l d e r a 进行干热岩实验项目。

菲律宾:据菲律宾部最近公布的一项 10 年能源发展计划,菲计划到 2011 年使其利用地热资源发电的能力达到 292.1 万千瓦,成为世界上第一大地热资源利用国。根据这项计划,菲律宾将于 2011 年在北部的吕宋岛和中部的米沙鄢地区建成 10 多个地热发电站,总发电能力为 99 万千瓦。

目前,菲律宾全国各地的地热发电站的总发电能力为 193.1 万千瓦,仅次于美国的 277.5 万千瓦的地热发电能力。但菲律宾电力需求的约 25% 由地热发电站供应,这一比例位居世界第一。

参考资料:

1. 马叶玲, 全球的地热资源 <http://column.bokee.com>, 2004-09
2. 郑秀华, 世界地热资源开发应用现状, 探矿工程[J], 2001-1
3. 林天明 张静娴, 世界地热资源直接利用概况, 福建能源开发与节约[J], 1997-3
4. 张季生, 吴功建, 世界直接利用地热资源的现状, 物探与化探[J], 2001-4
5. 初斌, 日本地热资源在农业上的应用, 能源[J], 2005-4
6. 菲律宾争当世界头号地热资源利用国, <http://whole.rhvacnet.com>, 2002-4-3
7. 胡杰, 我国利用地热能量居世界第一, 地质勘查导报[J], 2005-12-13 等

作者: 郑敏, 1966-, 研究员, 主要研究方向: 资源经济