

# Development Strategy of Future Energy

Xiaoquan Zheng

State Key laboratory for Power Equipment and Electric Insulation, Xi'an Jiaotong University, Xi'an

Email: xqzheng@mail.xjtu.edu.cn

Received: Aug. 19th, 2011; revised: Sep. 20th, 2011; accepted: Sep. 25th, 2011.

**Abstract:** In accordance with the status of technological development and sustainable development principles of low pollution, high degree of safety and low cost, this paper mainly analyses four major stable energy sources which can replace fossil fuels in the future. These energies are hydroelectric power, nuclear fusion energy, geothermal energy and flammable-ice. Geothermal energy, in particular, may account for half of our total energy consumption because it has unlimited reserve, does not pollute the environment and release no green house gases. Other types of energy, such as solar energy, wind energy and tidal energy are characterized by their instability and high investment cost. Therefore, these energies can only act as a supplement to stable energy sources. In the future, this kind of energy structure will lead to an era of "zero carbon" discharge.

**Keywords:** Fossil Fuels; Geothermal Energy; Nuclear Fusion Energy; Hydroelectric Power; Flammable-Ice

## 未来能源发展战略

郑晓泉

西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 西安

Email: xqzheng@mail.xjtu.edu.cn

收稿日期: 2011年8月19日; 修回日期: 2011年9月20日; 录用日期: 2011年9月25日

**摘要:** 按照可持续发展、低污染、安全度高和成本较低的原则和技术发展现状, 主要分析了未来可以替代化石能源的四大较稳定能源, 分别为水电、第四代核能、地热能、可燃冰。特别是地热能, 由于其无限的储量, 不污染环境, 不释放温室气体, 极可能占据总能量的半壁江山。其他能源方式, 如太阳能、风能、潮汐能等, 不稳定、无法远距离输送或投资大是其主要特征, 只能是对稳定能源的一种补充。未来这种能源结构必将迎来“零碳”排放时代。

**关键词:** 化石能源; 地热能; 核聚变能; 水电, 可燃冰

### 1. 引言

化石能源将在未来几十年至百余年消耗殆尽, 据估计, 全世界石油总储量在 2700 亿吨到 6500 亿吨之间。按照目前的消耗速度, 再有 50~60 年, 全世界的石油资源将消耗殆尽。而煤炭能源将在 155 年内全部枯竭<sup>[1]</sup>。而为维护地球气候和减少污染, 必须尽可能早的减少化石能源(石油和煤炭)的使用量, 因此, 从现在开始, 就必须注重未来能够替代煤炭发电、替代天然气和煤层气的稳定能源和替代石油产品的运输工具能源。近十余年来, 各国都在新能源的开发、建设上投入了大量的资金, 其中, 最具有代表性的就是风

能和太阳能。然而, 该两种能源虽然具有洁净、可再生的特点, 但是发电功率取决于天气变化或昼夜差别以及与季节气候密切相关而不稳定, 并且投资巨大。特别是单晶硅的太阳能电池的总产出目前只能收回 50% 的成本而使得发展受到限制。当然, 伴随技术进步和新材料成本的降低, 该两种能源无疑会得到持续发展。但是, 它们永远都不能替代人们对大容量、而且便于远距离输送稳定能源的需求。相反, 核能发电技术在过去几十年间获得了迅速发展, 核动力舰船已在海洋中游弋了几十年。法、韩、日、美等国在核动力发电方面取得的成就应是各国的样板。以华能小湾水电站

4号机组为标志,中国水电装机容量达到2亿kW,一跃成为世界上最大的水力发电国家<sup>[2]</sup>,标志着水力资源已在各国的迅速持续发展。然而,当前的核能规模和水电仍无法满足煤炭资源耗尽后的需求,使得大多数国家现在仍然不得不依靠燃烧大量化石能源发电,并忍受高碳排放导致地球变暖的恶果和煤炭石油的不断涨价。而数十年间在发展核裂变技术发电方面,有些国家已取得巨大进展,核能发电方式在某些国家电能结构中已占据重要地位,但时不时出现的核泄漏事故却也迫使人类重新审视核能发电的得与失。好在,核聚变技术的发展向人类展现了非常具有前景的核电发展替代方案。

众所周知,地球上还存在一种用之不尽的能源,那就是我们赖以生存的地壳之下永远都在燃烧着的地幔,它理应成为人类取之不尽的终极能源。还有可供人类使用上千年的可燃冰等新型矿产能源,也理应成为未来人类社会的关键能源之一。根据可持续发展、低污染、安全度高和成本较低的原则和技术发展现状,本文主要讨论继化石能源之后未来能源结构的组成和其各自的特点。

## 2. 未来可选择的主要能源结构

### 2.1. 核聚变技术是未来核电的支柱

核能必将成为未来能源的有力支柱已在世界各国形成共识,核电在发达国家所占的发电比例平均水平已达17%,在法国达到80%,在韩国达到40%,在日本达到30%以上,美国的核电也在世界平均水平之上,使得这些发达国家成为和平利用核能的典范,利用核裂变技术发电目前已达到第三代。虽然裂变核能对空气的污染和排放温室气体极其微小,曾被称为清洁能源,但目前的核燃料主要为铀,会产生高危的核废料;另一方面,利用核裂变技术发电对铀矿的需求,使得类似于中国这样的贫铀矿国家将来必然会遇到大量的铀原料进口问题。虽然使用钍作为核燃料会使核能的应用更好,能够显著的减少核废料的产生,减少很多危险的发生,而且钍的蕴含量是铀的三倍多,但核废料问题依然存在。本文认为,我国当前在发展核裂变发电建设方面,步子不可太快,还基于如下原因。

以英国正在计划建造世界首座核聚变发电站为标志,显示不会产生核废料的高效可控核聚变技术正在

迈向实用化阶段。由于核聚变原料氘和氚可以直接从海水中提取,使得原料问题摆脱了开矿山的或进口的贸易瓶颈。表明伴随世界首座核聚变技术电站计划在2030年投运,世界将进入核聚变发电时代。同时,日本在近期发生的9级地震和海啸,导致福岛核电站机组核设施接连发生爆炸,造成严重核污染,结合前苏联切尔诺贝利核电站事故,以及美国三英里岛核电站事故,不断向人们敲起警钟。虽然有人宣称现代核聚变电站已非常安全,但核废料等根本问题并未解决,核设施也绝非坚不可摧,大量的裂变核电站只要有一座出现事故,对世界都是一场毁灭性的、得不偿失的灾难。因此,不仅我国,就是世界各国在当前也应把重点放在核聚变技术的研究上来,为将来大规模应用核聚变技术奠定基础,而不是一味追求当前以核(核聚变)代煤发电。

## 2.2. 地热能必将占据未来能源的半壁江山

### 2.2.1. 地热的无穷能量

人类生活在一个用泥土、岩石和大海包绕的巨大火球之上,当人们担心能源枯竭之时,我们脚下就蕴藏着无尽的能量宝藏——地热。目前几乎一致认为放射性衰变是地球之最主要的热源。而其他热源,如重力分界热,潮汐摩擦热以及化学反应热等均不占主要地位<sup>[3]</sup>,因此,无须担心由于使用地热导致地幔冷却的问题。

美国的科学家宣称(science, 2007年3月30日),他们已经测出地核与地幔之间边界的温度大约为3677°C,并估计地核内部温度可能高达4982°C,几乎与太阳表面一样热,太阳表面的温度约为5526°C<sup>[4]</sup>。理论上认为地壳内的温度和压力随深度增加,每深入100m温度升高1°C。近年的钻探结果表明,在深达3km以上时,每深入100m温度升高2.5°C,到11公里深处温度已达200°C。仅地下10km厚的一层,储热量就达 $1.05 \times 10^{26}$ 焦耳<sup>[5]</sup>。而目前世界上最深的钻孔已达12km,因此,虽然大面积开采地热能源技术尚不具备,但开采地热基本条件已经具备。

由于地热能的取之不尽,一次投资,永久使用,应是未来满足洁净、安全、低成本的有效能源。其中,浅层地热可以直接用于工业和居民生活所需,会减少大量的电能消耗,中、深层地热可用于发电,理应成

为一种理想的未来能源。以中国为例，全国主要沉积盆地距地表 2000 m 以内储藏的地热能，就相当于 2500 亿吨标准煤的热量。而中国一年来消耗的煤炭资源 5.2 亿吨，以当前的煤炭消耗来算，可用 500 年，而事实上，热能会由于地幔与地表的巨大温差而源源不断的流向浅层地表，因此，地热能事实是无限的。因此，在发展能源问题上，中国不应总是跟在发达国家之后，而应该走一条自己的发展之路，努力发掘地热资源潜力。

### 2.2.2. 地热发电的成本与水电相当

据联合国开发计划署评估，利用地热直接供热的成本是 0.5~5 美分/kW·h，未来利用地热发电的成本与水电相当或略有降低，而利用生物质能直接供热的目前成本是 1~6 美分/kW·h，利用太阳能直接供热的成本是 2~25 美分/kW·h。单从开发利用成本来看，地热能相对于其他可再生能源更有发展潜力。表明地热发电与水电可能成为将来最便宜的电力<sup>[6]</sup>。

### 2.2.3. 开发地热已成为世界各国的共识

据《中国国土资源报》，地热能同风能、太阳能并列，在国际上早已被作为新能源而备受瞩目。其中冰岛堪称地热能开发利用的典范，地热能在冰岛的能源结构中比例已达 82%<sup>[7]</sup>。印尼总统则表示，将大力推广地热能，减少使用石油能源，降低环境污染，减少二氧化碳排放量。目前，美国是世界利用地热发电最多的国家，在低温地热利用方面，设备容量也是世界第一，但专家认为，现在的利用规模远远不能满足巨大的社会需求。据称，如果开发各州地下蕴藏的地热，可以满足美国能源需求的 25%。最近，日本政府发布了发展可再生能源的新目标，同时出台了新的补贴措施。新目标规定，到 2020 年，全国发电能力要提高一倍。增加的发电量中，大部分都来自生物质发电、小水电和地热发电。到 2030 年，日本全国发电能力将提高至少 3 倍，而地热发电量届时要增加 3 倍。

包括俄罗斯在内的东欧国家也在积极开发地热资源。欧洲除了意大利和冰岛，匈牙利和保加利亚也对地热能开发投入了大量科研开发力量。地热的直接应用，在全世界使用量已在 9000 MW(热功率)以上。爱尔兰几乎全部家庭和大楼都用地热。美国的几个城市和新西兰也在使用地热进行采暖。许多国家还用地热加热温室，食品加工则是另一个成熟的应用。全世界

地热资源直接应用的巨大潜力几乎尚未开发。对地热的研究和开发终将使人类能使用含在不同深度的岩石中而不单单是火山地区中的巨大地热能。一旦进入这一阶段，地热能将供应全世界所需电与热量的 25%~50%<sup>[8]</sup>。

据世界能源委员会的观点，化石燃料的高峰时代已经过去了。虽然石油、天然气仍继续保持主导地位，然而可再生能源和核能源所占的地位越来越重要。预计可再生能源将成为世界主要能源消耗的重要构成，到 2050 年可再生能源将提供世界主要能源的 20%~40%，到了 2100 年将提供 30%~80%。从表 1 中列举的数据可知，地热能比其他可再生能源具有更大的储量和潜力，世界可再生能源的技术潜力可充分地满足世界能源需求。如何保证可再生资源以经济的、环保的和可接受的方式利用是值得关注的课题<sup>[9]</sup>。

## 2.3. 水电永远都将是对未来能源结构的有效补充

水在地表的循环反复，给我们带来不可穷尽的水电资源。世界各国对水电开发都非常积极，三峡工程的建造成功，标志着中国的水电开发进入了一个全新的阶段。中国的水力资源储量达 6.944 亿 kW，水能可开发资源为 3.78 亿 kW，2010 年总装机已达近 2 亿 kW，已开发达储量的 30%，达可开发水力资源的 53%<sup>[10]</sup>。水电能源的迅速开发，可以有效减少对化石燃料的消耗，减少温室气体排放。但由于水电存在显著的季节差异。因此，永远都不可能成为唯一的能源。

## 2.4. 可燃冰

可燃冰的发现，给日益枯竭的化石能源带来了新的希望。可燃冰的学名为“天然气水合物”，是天然气在 0°C 和 30 个大气压的作用下结晶而成的“冰块”。“冰块”里甲烷占 80%~99.9%，可直接点燃，燃烧后几乎不产生任何残渣，污染比煤、石油、天然气都要小得多。

Table 1. Reproducible resource can be used in the world every year  
表 1. 世界每年可利用的再生资源

能源类型	资源量/EJ·a <sup>-1</sup>
地热能	5000
太阳能	1575
风能	640
生物质能	276
水力发电	50
总和	7541

西方学者称其为“21世纪能源”或“未来能源”。据称,1立方米可燃冰可转化为164立方米的天然气和0.8立方米的水。科学家估计,海底可燃冰分布的范围约4000万平方公里,占海洋总面积的10%,海底可燃冰的储量够人类使用1000年<sup>[11,12]</sup>。

随着研究和勘测调查的深入,世界海洋中发现的可燃冰逐渐增加,据探查估算,美国东南海岸外的布莱克海岭,可燃冰资源量多达180亿吨,可满足美国105年的天然气消耗;日本海及其周围可燃冰资源可供日本使用100年以上。我国探测表明,仅南海北部的可燃冰储量,就已达到我国陆上石油总量的一半左右;此外,在西沙海槽已初步圈出可燃冰分布面积5242平方公里,其资源估算达41万亿立方米。

我国从1993年起成为石油纯进口国,预计到2020年将增至2亿吨左右。因此,查清可燃冰家底及开发可燃冰资源,对我国的后续能源供应和经济的可持续发展,战略意义重大。预计2015年进行可燃冰试开采。

### 3. 其他能源形式与大规模稳定能源并存

除煤电、水电、核电外,我国已开发其它形式的能源目前已达11%。如生物质能资源,包括农作物秸秆、薪柴和各种有机废物,利用量约为2.6亿吨标准煤;风能资源总量为16亿kW,约10%可供开发利用;地热资源目前已探明的储量约为4626亿吨标准煤,现利用的仅约十万分之一;海洋能源资源可开发的潮汐能达2000万kW以上;风力发电总装机容量达到2.6万kW。20世纪80年代以来,50W~200W的微型风力发电机相继研制成功并投入批量生产,目前有12万余台在内蒙古、新疆、青海等牧区草原和沿海无电网地区运行,解决了渔、牧民看电视和照明问题。1kW~20kW的中、小型风力发电机组达到小批量生产阶段,目前正在研制50kW~200kW的中、大型风力发电机有14个风电场正在建设当中。与此同时,低扬程大流量和高扬程小流量两种新型风力提水机已研制成功。此外,全国风能资源调查显示,在风力机性能测试技术基础理论研究、风能综合利用、国外风力机引进技术的消化吸收及风电场的试验运行方面均取得进展。

### 4. 讨论

综上,虽然,限于技术发展的速度,人们大规模

利用核聚变能、地热能还有较长的一段路要走,但伴随化石能源的逐步枯竭,核聚变能、地热能、水电三者因具有前述可持续能源的所有要素(可持续发展、低污染、安全度高和成本较低,和功率强大、稳定,便于输送),因此,必将成为将来主力能源的“三驾马车”已是不争的趋势。

数十年来,在探索研究新能源问题上,人们取得了举世瞩目的进展。但也出现了许多人们不愿意看到的残酷现实:前苏联切尔诺贝利核灾难,美国三英里岛核泄漏和日本福岛核电厂事故以及许多已公开或未公开军事核事故。还有不切实际的非主流能源发展过热问题,如我国对风电的过热发展等。不稳定、不安全或投资大是产生这种现象的主要因素。而且风电和太阳能还不具备功率强大、便于输送的要素。在今后的能源发展问题上应该引起警觉。比如要开采埋藏于深海的可燃冰,有学者认为,在导致全球气候变暖方面,甲烷所起的作用比二氧化碳要大10~20倍。而且可燃冰矿藏哪怕受到最小的破坏,都足以导致甲烷气体的大量泄漏。另外,陆缘海边的可燃冰开采起来十分困难,一旦出了井喷事故,就会造成海啸、海底滑坡、海水毒化等灾害。由此可见,可燃冰在作为未来新能源的同时,也是一种危险的能源,需要小心对待<sup>[11,12]</sup>。

### 5. 结语

本文认为,根据能源开采技术水平,未来能源结构除具有洁净、稳定、成本低、功率强大、便于输送的特征外,还会以下列顺序逐次发展:可利用的中大型水电能源将在未来三十年间完全建立;在未来三十年内,先谨慎发展以铀作为原料的三代或四代裂变型核电,发电量应限制在全国电力需求的10%以下,核聚变技术发电量达到3%以上并迅速发展,未来60~100年,如可控核聚变技术发展顺利,核电总量应达到全国电力需求的35%以上;在未来100年间,如地热发电技术进展顺利,地热发电量达到总电力需求的35%以上;水电能源充分发掘,发电量占电力需求15%左右;煤炭的日益枯竭,开采成本越来越远,迫使煤电缩减为总电力需求的15%以下,其它能源也仅占全部电力需求的10%以下。在此期间,可燃冰可能主要用于交通工具如船舶、飞行器,也可能用于大规模发

电, 主要取决于可燃冰利用技术的发展<sup>[1]</sup>。当然, 由于技术发展的不可预料性, 各种能量利用的比例可能出现一定的差异, 但可以预料, 以核电、地热发电、水电为主, 或者可燃冰也算在其内, 而其它能源为辅的能源格局不会、也不应有大的变化。

当然, 上述未来能源格局, 只是作者的一家之言, 限于核聚变和地热发电技术发展速度的限制, 未来能源比例可能有较大的差异。撰写本文的目的, 主要是引起能源专家、能源发展规划部门的重视, 在积极开发水电、重点研究核聚变技术的同时, 应积极研究开发地热采集技术和发电技术, 尽可能早的规模开发地热资源。在世界范围内, 都应对当前核裂变发电的项目发展慎之又慎。追求未来安全、可靠、稳定、科学、经济的能源结构, 应是全世界的共同努力目标。

## 参考文献 (References)

[1] 王燕. 世界煤炭储量被高估[N]. 地质勘查导报, 2007-5-10(4).

- [2] 云南新闻联播. 我国水电装机突破 2 亿千瓦华能小湾电站 4 号机组成为历史性标志[URL], 2010.  
[http://v.ku6.com/show/BKumh\\_4svr0a1D8c.html](http://v.ku6.com/show/BKumh_4svr0a1D8c.html)
- [3] 王家映. 地球物理学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- [4] 龙虎网新闻中心. 美国科学家测出地核温度几乎与太阳表面一样热[URL], 2007.  
<http://news.longhoo.net/gb/longhoo/news/tech/userobject1ai622913.html>
- [5] 段景春. 地热能源——地心热的开发利用[J]. 科技信息(技术研究), 2008, 4: 163.
- [6] UNDP, UN-DESA and the World Energy Council. World energy assessment: Overview 2004 update. New York: United Nations Development Programme, 2004: 85.
- [7] 马煜婷. 冰岛之热[J]. 经济, 2010, 10: 33-35.
- [8] 白怡然. 热能——地心热的开发利用[J]. 北京节能, 1999, 1: 39-40.
- [9] 林丽, 郑秀华, 詹美萍. 地热能源利用现状及发展前景[J]. 资源与产业, 2006, 8(3): 20-23.
- [10] 姚岩峰. 我国新能源开发利用现状及未来发展趋势研究分析[J]. 中国市场, 2010, 22: 16-17.
- [11] 朱剑明, 彭代勇. 世界能源现状与内燃机的发展机遇[J]. 内燃机工程, 2011, 32(2): 80-84.
- [12] 张可. 可燃冰利用要从长计议[N]. 中国石化报, 2011-2-21(5).