

·学科进展与展望·

关于可再生能源开发的个别见解

蔡睿贤^{1*} 张国强^{1,2}

(1 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100080; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

[摘要] 本文对第18次双清论坛主要讨论的风能发电与光热发电等可再生能源的发展途径, 提出一些见解。首先指出利用能源(尤其是可再生能源)的一般特点; 并论证了搞好可再生能源利用要着重学科交叉与发展储能技术。文中认为制约可再生能源实用的主要障碍是设备的单位有效功率造价太高, 并对风能发电与光热发电分别提出了一些具体建议。

[关键词] 可再生能源, 学科交叉, 储能, 造价, 风能发电, 光热发电

1 对于可再生能源研究的战略认识

首先的认识是应该开始着重有关可再生能源的研发。能源问题已是我国乃至全世界的关键问题之一。我国的能源资源, 尤其是优质化石燃料(油、气等)并不富裕, 另外环保方面也有不少问题; 而从长远来看, 可再生能源必然会重占重要的一席之地(用了重占二字, 是因为几百年前, 可再生能源本来就是人类的主要能源)。所以有关可再生能源的创新研发, 尤其是比较现实的可再生能源的研发, 必须及时有重点进行。

但是, 在大力推进可再生能源研发的同时, 必须清醒地认识实际情况。首先是近期内可再生能源的发展状况不可能取代已有的常规发电能力。例如最近在报刊上刊登的某些大规模发展的生物质能源基地, 其目标也就是可代替百万吨(Mt)级的煤, 或发出百万千瓦(GW)级的电。这与我国现有的二十亿吨(2 Gt)级标准煤以上的化石燃料用量与多于五亿千瓦(>0.5 TW)的发电装机容量, 是微乎其微的比例(当然另一方面是会有大发展的萌芽)。即使估计近期最有潜力的风能发电, 十多年来乐观的估计也就是装机千万千瓦(10 GW)级, 也就是需求总量的十分之一左右。但是二次能源中电是最最重要的。不太严格地形容, 可以说, 没有电就不能进行“三个代表”。如果没有电, 能够发展中国先进的生产力、能够发展中国先进的文化、能够发展中国最广大人

民的根本利益吗? 按目前的最乐观的估计, 还未见到有在二、三十年内可用再生能源产生出过半的人类所需电力的预计。所以, 这点是搞能源的, 尤其是搞能源战略或领导能源工作的同志需要清楚认识的。(顺带说明一点, 下文所述均主要讨论可再生能源的发电(功), 不着重讨论热水器等纯供热方式)。

与上述有关的还有可再生能源的特殊情况: 绝大多数可再生能源都是供应不稳定的, 与用户需求不易协调(这点后面还要讨论)。另外, 习惯上用的是峰瓦, 不是实际有效瓦, 与目前电力中惯用的标称铭牌功率差别较大。这些特点都应该有所注意。

温故而知新, 从能源行业发展的历史可以总结出一点: 任何一种能源其利用形式与设备, 都是寿命很长的, 发展变化过程是很缓慢的。太古老的历史不说, 从工业革命前后开始大规模用煤, 相应使用蒸汽机算起, 前者至今仍是国际主要能源之一, 后者至少也有两百多年的光荣历史(泰坦尼克号游船用的仍是蒸汽机)。后来有了蒸汽轮机, 至今已有一百多年的发电主力地位。即便用了核能, 发电仍然用它。大量使用石油也有过百年的历史了, 主要用在各种交通工具的内燃机, 现在仍然是主力。其他一些例子就不多说了。总之, 历史上所有主要的能源及其利用设备, 都不会在短的时期内有大的跨越式发展, 研发周期比别的产业长, 都是百年以上老店。因此, 也不太可能希望新的可再生能源时代会迅速降临。

由上述简略分析可知, 可再生能源近期还不能

* 中国科学院院士。

本文于2007年3月19日收到。

挑起主力的重担,作为能源领域又不能期望它会有跨越式发展,所以对它的战略思考是既不能将近期的希望寄托在它身上,但又应该及时相应加强研发,不能耽误时机。

2 发展好可再生能源更需要学科交叉

所谓“学科”既有比较客观的“纯学术”分类,例如数学、物理、化学、生物……,是按不同的研究对象、物质运动特点等来分类的。但是人是生活在社会中的,各种看法与分类难免会受到不同的生产关系乃至生产力的影响,使得所谓学科分得更细,更被各种生产关系、势力范围、条条块块之类所约束与扭曲。例如在20世纪50年代初学习苏联院系调整的时候,就把工科与理科截然分开;即使工科中有关能源及其利用也分布在不同行业不同“学科”之中。遗留痕迹至今仍有:不同的燃气轮机本来是大同小异,或者大大同小小异,但在现在我国有些国家级分类中仍隶属于不同大学科。这种“学科”分类,本来就没有多大价值和意义,纯属人为,进行“交叉”理所当然。

而可再生能源本身在“纯学术”上就不是一门学科。光伏发电与风能发电除了可再生与能源的不稳定性外,很难说还有多大重大相似之处,更不用说纯学术的“学科”了。应该说,它们之中包括了很多现在的不同学科。例如,风力发电中的大风力机组至少包括现在的气象学(风源)、流体力学、固体力学、气固耦合、震动学(叶片设计、各个结构的设计、安全问题)、机械学(增速传动、特殊大件加工)、电机学(发电设备)、机电一体化与自动控制(各种测量与控制)、土木建筑(大风力设备中特殊大建筑的建设与美观)、声学(防止噪声污染)……等等。而且随着时间变迁,设备的创新,新的可再生能源还会有新的“学科”加入。例如,在上世纪50年代“大跃进”时也奉命搞过风力机,那时根本没想到过与声学还会有关系。现在风力机大大增大,数量也大大增多,人民生活水平要求增高,就也要与声学“交叉”了。

所以,可以说,由于“学科”与可再生能源的本质现状及其发展情况,要真正实际发展好可再生能源,绝大多数情况下要进行好学科交叉。尤其是较大的项目,肯定牵涉的行业、学科很多,很“宽”,更需要高层有共识才能实现集体领导,组成真正的交叉队伍,才能顺利实施,胜利前进。而且,交叉的内容与学科也是应该按照辩证法,因时、地以及各种不同具体条件而与时俱进。

3 储能是可再生能源目前最为普适而且最需交叉的内容

目前绝大多数可行的可再生能源或多或少的都有供应不稳定的问题。如风能受气候的影响,太阳能受日夜、季节与气候的影响,都是很不稳定的,更无法控制,尤其气候变化,目前还难以长期预测。生物质能情况稍微好一点,但也不如各种化石能源那样稳定可靠,至少也受季节、气候的影响。其他的如潮汐能、波浪能等等都有类似问题,是多种可再生能源的天生重大弱点之一。如何解决,也有很多见解与建议。目前最普遍研发与使用且有一定成绩的办法是储能。也可以说,储能是大多数可再生能源研发中最普遍的课题,特别值得重视。

储能的方案很多,比较现实且已有使用的也不少,各自适用于不同的具体条件。例如抽水储能已有大规模的实用,相当成熟,但一定要在附近有足够大的上、下蓄水库,经济上比较适用于大功率装置。压气储能也已有大规模实用装置,但也要求在附近有合适的不漏气的洞穴,而且一般还要有燃气轮机;原则上它也可用于较小的装置。各种电池自然可用作蓄能设备,但在经济、效率、寿命与规模等方面还不够理想。蓄热(冷)是在可再生能源装置中应用较广的方案,也已有成果,但同样在多方面仍不够完美。飞轮储能在原则上看起来比较简单,国际上建议也不少,但牵涉到不同的高技术,大规模实用也不多。其他还可以考虑用磁力、电解水、化学变化、微生物……等等。总的来说,很适宜用于可再生能源的可行储能办法仍然有待进一步发展。

由上可见,储能方案不少,牵涉到的“学科”也非常多,正是如上一节所述,应该是大力推广“学科”交叉之处。或者可以认为,储能是牵涉到“学科”最多的研究方向,而它的成功也许正有赖于把多种学科进行简单或有机的交叉,而不是单一的机械能、电能、位能、热能……的储存。

同样应该强调的是:储能的花样会很多,也特别需要研究,但首先还是要针对具体可再生能源的需要,因情(地)制宜,科学交叉,有所为,有所不为,选好有限目标。

4 目前制约可再生能源实用的障碍是设备的单位有效功率造价太高

原则上主要的可再生能源本身都是零价格的。从来没有人卖过太阳光、风、波浪、潮汐,也没有哪个暴君收过这方面的税。因为无法卖,也无法收税。

这相当于大多数可再生能源是免费的。那为什么用这些免费的可再生能源发出的电比要钱的化石能源发出的电贵得多呢？显然主要是可再生能源的设备造价太贵了，准确点说是这些设备的单位有效功率造价太贵了，还可能寿命不够长，维修太费钱。

比较不太熟悉能源的人可能会怀疑此结论：报上经常刊出某些可再生能源发电设备的单位功率造价并不贵的消息，有的甚至认为与用煤发电设备的造价差不太多！这问题主要出在两方面对功率的习惯含义不同。正如第一节提到的那样，可再生能源设备习惯用的功率是峰功率，也就是最理想状态下能发出的功率。如果是光伏发电，那大概是夏至那天中午晴天下能发出的功率。但是一年中还有一半时间是晚上发不出电的，且清晨、黄昏能发的电也很少，还有下雨、阴云、雾天也要大打折扣，所以一年的有效功率是峰功率的二、三折也是正常的。但是正常情况下的常规火力发电，如果用户需要，在非维修时间内连续发满铭牌标称功率是没有问题的。所以比较单位功率造价，用峰瓦与火电的铭牌功率瓦来比较是不合理的。实际上可再生能源的单位有效功率的造价比常规火力发电的高得多。

既然目前推广可再生能源的主要障碍是设备太贵，那么对它的研发就要相应地分为两种道路或方向：对于纯基础研究，可能还是应偏向于在学术上的创新，不一定多考虑成本问题。如果搞的光伏发电的效率比国际现有的最高水平哪怕只高出1%，不管设备成本如何，那还是有价值的。首先是真的国际领先，而且沿此路发展下去可能还会发现新机理、新方向。但是假如希望近二、三十年能实用以解决部分能源问题，那也许首先着重的应该是努力降低单位有效功率的造价，提高寿命与可靠性、维修性等以使近期内能经济实用以取代部分常规动力。所以研究的方向、内容就与上面搞纯基础的不一样。例子将在下节给出。

5 对风能发电的一些想法

正如上面第二节所述，风力发电是现有的多种“学科”的交叉成绩，在具体的研究问题上有如下一些个别想法或建议。

风力发电完成利用风能的核心部分是叶片及其组成的风轮。风轮基本上是第二次世界大战以前常见的倒过来的飞机低速螺旋桨。螺旋桨是变功为动能的设施，而风力发电的风轮是变动能为功。前者类似于燃气轮机的压气机，后者类似于透平。如所

周知，低速流动透平的设计比压气机容易。而空用螺旋桨在上世纪中叶已非常成熟，所以在风力发电的流动研发中，应当尽量交叉吸收在上世纪已完善的成果。当然任务相近的透平技术，形貌相近的单翼理论，也值得参考。

对燃气轮机的透平叶片，应该说是要求很高的。但上世纪对约为30 mm长的燃气轮机透平叶片，外形的允许公差大概是0.05 mm，也就是叶高的千分之一多。现在的大型风力发电的风轮，叶片长度在30—50 m，如按上述的比例叶型允许公差可达30—50 mm！当然二者不是完全类似的叶片，也许风力机长单翼的公差要求比透平叶栅的要高？但是定性设想，高速高温的透平叶栅的要求却应该比低速常温的风力机的叶片严。无论如何，公差总不应小到几十微米。应该将各种力学以及机械制造学等交叉匹配研究，对风轮的不同叶片，公差应为多少？这对上一节所述降低造价会很起作用。进一步，也许应该在机械学科中以风力叶片为典型背景，交叉增设粗糙制造学，如何廉价制造足够准确的零件，以降低造价。还有，风机机翼现在不少加了翼梢小翼，有良好的效果，在风机的叶片中也加上又如何？听说国内有人进行初步工作，建议还可以进行交叉研发，得到在风力发电而非飞机机翼中的新的成果与理论。

风力发电功率越大，叶片越长，风轮转速也就越慢，对发电系统的驱动也就越困难。是直驱还是增速？各有优缺点。我们认为也应把机械与电机学科交叉，优化得出最合适的处置。随着机电一体化技术的发展，可能将来以直驱更有前途。

同样，随着风力发电的发展，设备会越来越大，越难制造、运输。应该研究我国不同地区的大型风机的优化高度是多少？这也是多学科——气象学、强度结构学、机械制造学、经济学、声学……等等的交叉。

6 对光热发电的一些想法

光热发电基本上就是光聚焦系统、热力系统与发电系统三者组成，此三者分别看来均已比较或甚至相当成熟，似乎开干就可以了。实际上还有一些原则问题值得探讨，关键仍在交叉、因地制宜与系统研究等方面。

例如考虑中国广大领土不同地区的具体气候条件、具体发电要求等等，如何交叉各学科具体优化上述三个系统之间的匹配，得出相应的原则与理论。尤其应着重在与常规发电不同之处。

当然，系统有所优化，其相应的各元件也有交叉

优化的需要,甚至研发新的元件,例如各种换热器。

为稳定安全供电,相应降低可再生能源供电不稳定、欠可靠的缺点,建议研发应用新近建议的多功能系统,即除多联产外,还有可能有多种的能源输入。这种系统方案在国家自然科学基金委员会的“西部开发”重大研究计划中已有初步成绩。

7 对有关高度创新的可再生能源研究的看法

有些同志提倡要跨越创新搞可再生能源,领先于世界。那有没有人类可以利用而至今未利用的可再生能源呢?当然是有的:地震能、火山能、闪电能、

飓风能、海啸能……能量不少,都还未利用。前二者可称为地球能,后三者实际上是太阳能。但是这些能的利用,实在太难。是否与研究没有碳、氧、氮、氢的生物一样,在我国现有各方面条件下,属于“有所不为”部分,先搁下。稍微现实点是太空光伏发电与深层地热。国家自然科学基金委员会作为国内资助最基础性研究工作的单位,也许可以开始做一些探索工作。不过要有实效,也至少是下一代的事了。另外,这在国外已有初步探索,也不完全满足有些同志希望的一鸣惊人的效果。

SOME IDEAS ABOUT DEVELOPING RENEWABLE ENERGY

Cai Ruixian¹ Zhang Guoqiang^{1, 2}

(1 Institute of Engineering Thermophysics, CAS, Beijing 100080; 2 Graduate University, CAS, Beijing 100049)

Abstract Some ideas about developing renewable energy are given. The general characteristic of energy (especially the renewable energy) utilization is pointed out, and the importance of organically combining different disciplines and the energy storage technology are emphasized. It is proved that the main obstacle of practical application of renewable energy is its high cost of unit effective power. Some proposals for wind power and solar thermal electric power generation are given also.

Key words renewable energy, organically combining different disciplines, energy storage, cost, wind power, solar thermal electric power generation

·资料·信息·

陕西省气象科学研究所承担的科学基金资助项目的 研究成果在 *Science* 上发表

由以色列希伯来大学、陕西省气象科学研究所、中国气象局云物理和人工影响天气重点实验室的合作研究成果“气溶胶影响地形云降水的定量研究”在2007年3月9日 *Science* (315卷)上发表。该项研究成果主要是在陕西省气象科学研究所承担的国家自然科学基金面上项目(40575004)资助下完成的。该项研究成果属于气溶胶与云降水影响这一国际前沿研究领域,该项研究成果揭示了地形云降水和污染气溶胶之间的定量关系。由于气溶胶纪录的时间都比较短,使得在污染气溶胶和降水之间建立定量的相关关系比较困难。而华山气象站位于海拔1600米的高山上,其能见度在扣除了降水、湿度的影响后可以表示进入云中气溶胶的多少,使我们能够首次定量研究气溶胶对降水的影响。在该项研究中,利用华山站与

西安、渭南、华阴等气象站降水量之比,剔除了大气环流等因素的影响,突出了气溶胶的作用,建立了降水与能见度的关系。研究表明:有观测以来(1954年)气溶胶的增加使得高山站与平原站降水量之比逐年递减,减幅高达20%,说明气溶胶对地形云降水的减幅高达20%;当山顶的能见度小于8 km,由于气溶胶的影响,地形云降水可能会减少30%—50%。这一研究成果对于大气污染所造成的地形云降水的减少,并引起水资源的流失提供了较有力的证据,而水资源问题在中国、在世界其他许多地方都是一个很大的问题。另一方面,该项研究成果也为对这类云开展人工增雨提高了科学依据。

(陕西省气象科学研究所 供稿)