

日本 21 世纪四大“终极”能源技术发展现状

吕 志

(西安高新技术产业开发区管理委员会, 西安 710065)

摘 要: 日本是化石能源资源极为贫乏的国家, 2011 年“3.11”大地震引发的严重核泄漏事故, 又导致绝大多数的核电站目前处于停堆状态。日本的能源供应正面临前所未有的压力, 可以说进一步开发利用可再生能源成为日本 21 世纪应对能源问题的“终极”手段。通过对日本政府和产业界在光伏电池、海流发电、超导、热泵等四大新能源技术领域的投入进行重点考察, 全面分析日本上述四大新能源技术的发展现状、技术流派和应用前景, 以期为同样面临能源与环境两大问题的我国相关部门提供有益参考。

关键词: 日本; 新能源; 光伏电池; 海流发电; 超导; 热泵

中图分类号: F431.362; TK02(313) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.07.001

日本是继中、美、俄、印之后的世界第五大能源消费国。同时, 日本也是能源资源极其匮乏的国家, 一次能源自给率极低, 96% 的能源需要依赖进口。从环保角度看, 日本政府曾于 2009 年 9 月在联合国召开的“气候变动峰会”上承诺, 要在 2020 年将其温室气体排放量在 1990 年的基础上减少 25%。

出于改变能源结构和节能减排的目的, 长期以来日本对新能源技术的研究十分重视, 先后制定了“阳光计划”、“新阳光计划”、“新能源基本计划”等大规模长期开发计划, 并将新能源技术作为国家科技创新的重点领域之一。2011 年 3 月, 福岛核事故发生后, 日本曾一度关停了全部 54 座核电站。虽然 2012 年又恢复运行了其中 2 座, 但日本政府出于民众对核电的担心和反对, 正在讨论是否要在 2030 年前后关停所有核电站^[1]。面对今后严峻的电力供应形势, 日本持续加大开发力度, 意图在新能源及高效能源转换技术的研究领域出现重大突破。

日本近期在一些新能源科研方面取得了一定进

展, 在某种程度上代表了今后新能源技术发展的方向, 值得借鉴。日本认为, 要想“一劳永逸”地解决能源问题, 首先要在光伏电池、超导送电储能、海流发电、热泵应用等四大关键技术领域取得重大成果, 使其成为 21 世纪日本的“终极”能源技术。现将日本在此四大能源技术方面的开发现状汇总如下, 供有关方面参考。

1 光伏电池

据日本专家测算, 太阳光每秒钟照射到地球所产生的能量约为 42 万亿千卡。除了一部分被反射到宇宙空间之外, 剩下的部分仍相当于 6 000 万座 100 万 kW 的核电反应堆同时运行。如果将这些光能全部转化为电力, 则一个小时的发电量足够全人类一年使用^[2]。

1.1 开发现状

截至目前, 日本的能源结构中太阳能仅占 0.2% 左右。迫于严峻的能源形势, 日本既有的大型光伏设备企业正在加紧研发, 以提高太阳能电池的发电效率, 一些新进入者也在千方百计开发新的

作者简介: 吕志 (1974—), 男, 投资促进局副局长, 中级翻译, 主要研究方向为日本区域经济、科技政策、新兴产业等。

收稿日期: 2013-03-15

太阳能电池技术和应用方式。

京瓷和松下是日本在晶硅电池方面技术最为先进的企业。京瓷公司于近期开始量产业界最高水平的多晶硅电池片，其光电转换效率达到 17.8%；松下公司将于今年推出采用新材料、新结构的电池组件，转换效率可高达 24%。

1.2 开发下一代光伏电池技术

单晶硅及多晶硅太阳能电池具有光电转换效率高、产品使用寿命长等优点，同时，也存在着前期生产能耗多、原材料成本高、价格波动大等缺点。受安装场地的制约，普通的晶硅电池无法解决大面积普及应用问题。为应对这些矛盾，日本加大了基础研究力度，重点开发下一代光伏电池技术。

1.2.1 “量子点”技术

东京大学教授荒川泰彦与夏普公司正在进行雄心勃勃的合作研究。他计划应用全新的“量子点”技术，将新型太阳能电池的转换效率提高到目前的 3 倍以上。通过计算机的演算，荒川认为，太阳能电池片的光电转换效率理论上可以达到 75%，保守估计最终实用转换效率也可达 60% 左右。目前，这种电池片已完成设计并制订了 10 年开发计划，即从 2013 年开始，用 5 年时间将转换效率从目前提高到 30%，再用 5 年时间提高到 60%^[3]。太阳日酸、东京电子等业界知名公司也将加入这一研发计划。

目前，日本光伏发电的成本大约为每度电 30 日元，远远高于每度不到 10 日元的火电及核电。上述开发目标如果最终能得以实现，届时，光伏发电的成本将比肩火电及核电。那么，从普通类型的发电方式就很容易过渡到光伏发电。

不过，荒川教授的“量子点”技术仅代表日本下一代光伏电池的一个发展方向。

1.2.2 色素增感型太阳能电池

染料敏化电池，也称为“色素增感型”光伏电池。这种电池的原理是，将附着在二氧化钛（ TiO_2 ）粒子上的色素浸泡在电解液中，色素受到光线照射，后生成自由电子和空穴。被 TiO_2 吸收的自由电子从电极流出，进入外电路经过用电器后流入电解液，最终回到色素^[4]。

这种电池可以利用不同的色素，决定接受哪一种波长的光线。例如，置于室内的这种电池，除了

可利用窗户透进来的自然光，还可利用荧光灯和 LED 等光源。普通住宅或办公室内的光照强度约为 500 流明，在这样的光线条件下，目前这种电池的转换率约为 10%。色素增感型太阳能电池与常规太阳能电池相比，具有如下优势：

（1）工艺简单

色素增感型太阳能电池，制造过程中不需要真空工艺，在普通大气环境下以简单的设备即可生产。与硅晶太阳能电池相比，成本仅相当于其 1/10~1/5。

（2）能够着色或实现透明

普通的太阳能电池千篇一律使用黑色玻璃，而色素增感型电池使用的色素有多种选择，使之可以选择不同颜色，通过控制涂布次数而制造浓淡效果，即，既可以给电池上色，也可实现透明加工，更方便产品设计。比如，索尼公司已经开发出了如同彩色玻璃一样的床头灯、书桌灯等产品。

（3）产品轻薄

由于使用的光电转换材料为微粒形态，因而，色素增感型太阳能电池片很轻、很薄，可以折叠弯曲和薄膜化处理。因此，这种光伏电池应用范围极其广泛，建筑立面、汽车车体及建筑物内等过去难以利用的空间也能安装（粘贴）使用。

（4）对光照要求低

色素增感型太阳能电池可以避免光线的照射角度及亮度对发电性能的影响，早晚的弱光及室内光等微弱光照环境下仍可发电。大日本印刷株式会社模仿植物光合作用原理开发了此类电池，现已开始提供样品。

1.2.3 纳米晶电池和有机薄膜太阳能电池

纳米晶电池和有机薄膜型太阳能电池的发展也受到很大的关注。

纳米二氧化钛（ TiO_2 ）晶体光伏电池是新近发展的，主要优点在于其廉价的成本、简单的工艺及稳定的性能，其光电转换效率稳定在 10% 以上，制作成本仅为硅太阳电池的 1/10~1/5，寿命可达 20 年以上。

三菱化学公司正与爱媛大学合作开发有机薄膜太阳能电池。其使用的 EL 材料不仅溶于有机溶剂，也能在加热时结晶。这种电池制作工艺极为简单，把溶解的有机 EL 材料涂布到薄膜上即可。

这种电池发电效率约为 11%，在有机薄膜类电池中达到世界最高水平。公司计划在 2013 年推出样品，2015 年实现量产。

日本光伏电池的种类及其特征^[5]见表 1 所示。

表 1 日本光伏电池的种类与特征

分类	材料	结构	实测转换率/%	成本优势	优点	缺点
硅类	单晶硅	单晶 p 型硅层上添加 n 型硅层	25.0	较差	转换效率高、可靠性高	不适合规模生产；成本高昂，转换效率已近极限
	多晶硅	多晶 p 型硅层上添加 n 型硅层	20.4	一般	比单晶硅成本低廉；转换效率较高，可靠性较高	不如单晶硅转换效率高；原材料价格波动大
	非晶硅	用 CVD 工艺制备 p、i、n 膜	9.5	一般	硅料使用量较少；比单晶硅成本低廉	比单晶硅转换效率低；光线导致老化
化合物类	砷化镓 (GaAs)	有机金属气相生成法	26.1	较差	高效、对宇宙空间辐射线耐受性好	成膜慢；砷有剧毒；成本高昂
	碲化镉 (CdTe)	N 型硫化镉层上形成 p 型碲化镉多晶层	16.7	一般	制作方法多样；波段差值适于发电；成本低于单晶硅	镉的毒性较强；依赖碲资源
	CIS/CIGS	CIS/CIGS 镀气成膜	19.4	一般	光吸收率较高	依赖铟资源
色素增感类	色素、半导体、电解质	在电解液中放置吸收色素的二氧化钛电极	10.4	较好	在一般空气条件下即可制造，工艺简单；可以上色或透明化；室内光即可发电	紫外线导致老化
有机薄膜类	富勒烯、聚合物	P 型聚合物与 n 型富勒烯混合后涂布	5.2	较好	最薄、最廉价的喷涂工艺生产	紫外线导致老化；效率较低

2 超导技术

2.1 超导送电

近年来，如何减少电力在输送过程中的损耗成为各国电力行业研究的重要课题。日本经济产业省早在 2006 年发布的《日本技术战略路线图》中，就将超导技术确立为一项核心战略技术加以重点研究，并提出要在 2020 年实现超导技术为社会服务的目标。

传统的铜质或铝质电线由于存在电阻，导致电力在输送过程中产生约 5% 左右的损耗。日本全年总发电量约为 10 000 亿度，大约需要 1.14 亿 kW 的发电功率。如果全部使用直流超导送电，可以减少

513 万 kW，即 5 座百万千瓦核电反应堆的损耗。

日本在超导送电方面的研究走在世界的前列。日本中部大学山口作太郎教授开发的氧化铜线材在 -196℃ 的条件下电阻接近零。扣除冷却系统耗费的电力，1 000 km 以上的直流送电可将损耗控制在 0.5% 以内，并可实现用更细的线缆输送更大功率电力。

2012 年 10 月，日本“新能源产业技术综合开发机构”（NEDO）牵头，在神奈川县进行了超导送电实证试验，东京电力、住友电气工业等数家电力相关企业参与。该项目将在此后 1 年间，连续用于实际送电，以检验超导送电的实用性、可靠性及安全性^[6]。

2.2 储能环

太阳能及风能等可再生能源发电方式容易被天气左右，通常不够稳定。如果能将发电高峰时产生的电力以合理的方式储存起来供发电低谷时使用，不仅可以提高电力的使用效率，也有助于电力的平稳输送。

日本千叶大学教授野波健藏正在开发与普通的化学蓄电池完全不同、基本无损耗的储能装置“飞轮”。这种“飞轮”是利用电力驱动特制的“圆盘”高速旋转，将电能转换成高速旋转的动能进行存储的系统装置。在需要使用电力时就接通电路，圆盘旋转速度减缓，在此过程中释放电能。野波教授目前试制的样机只有转椅大小，实验中令直径 40 cm、厚度 15 cm 的铝质圆盘在特制容器中围绕铁轴旋转，圆盘在磁力的作用下漂浮数毫米高，成功实现储能。

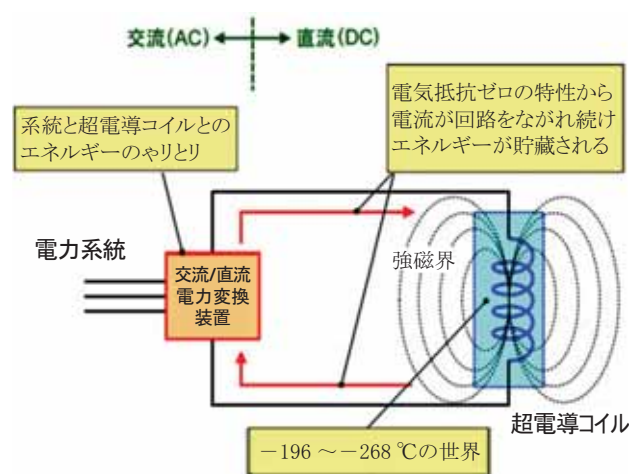
野波教授计划未来使用超导材料加工成的永久磁铁替代现在的电磁铁，而圆盘也将采用新型树脂材料制造。在增大圆盘尺寸并提高转速的情况下，一个“飞轮”完全可以存储普通家庭每天消费的 10℃ 左右电量。野波教授希望通过与厂商合作，在 2 年后研制出与风力发电设备相配套的储能系统。日本期待“飞轮”能够成为可再生能源的一项关键技术。

2.3 超导电磁储能系统

超导电磁储能系统（SMES）是另一种先进的储能方式，它是利用强磁场环境下超导线圈零电阻的特性，使输入的电流在闭合电路中永久持续流动，将电能无损耗地储存起来，并可随时输出的装置，其原理如图 1 所示。

普通蓄电池依靠化学反应储能，因而响应速度慢，也较容易劣化。而超导电磁储能是利用磁场中的超导线圈直接储存电能，功率输送时无需能量形式的转换，具有响应速度快、转换效率高、功率及容量大等优点，可以实现与电网的实时能量交换和功率补偿。

东京工业大学著名教授岛田隆一等人致力于 SMES 的研究^[7]。目前，该项研究面对的最重要任务是如何提高作用于超导线圈磁场的磁力大小，这是影响 SMES 大型化、实用化的最大因素。岛田研究所正在对电磁平衡线圈（FBC）进行开发，力



图尽早攻克这一难题。

3 海流发电

海流发电是依靠海流的冲击力使水轮机旋转，带动发电机进行发电的形式。目前，海流发电站通常漂浮在海面上，用钢索和锚加以固定。

与太阳能和风能等再生能源相比，海流发电相对稳定。海流是由于地球的自转产生的，基本上不受天气条件的影响。另外，也不需要建设水力发电或潮汐发电等必须的大坝、围堰等设施。海流电站的建造成本按照发电量换算只有核电的几分之一^[8]。

黑潮，是西太平洋海流的一部分，从菲律宾出发，经台湾岛外海，顺日本东南沿海向北方流动。黑潮是地球上流速最快的海流，可达 1~2 m/s，厚度约 500~1 000 m，宽度约 200 km。黑潮流量极大，日本四国岛的外海实测流量达 6 500 万 m³/s，约为世界上流量最大的亚马逊河的 360 倍。因此，黑潮流经的海域是日本利用海流发电的绝佳地点。

石川岛播磨重工（IHI）和东芝公司正着手利用黑潮的稳定能量进行海流发电系统的联合研发。由于已被“新能源产业技术综合开发机构”（NEDO）确定为“下一代海洋能发电技术”代表性重点项目，这两家公司确定了 2015 年开发出关键技术，2020 年得以产业化的目标^[9]，这将在世界上率先实现海流发电实用化的壮举。据悉，东京大学和三井物产战略研究所也将参与联合研发。

IHI 透露，将基于东京大学高木健教授的研究成果，进行发电机机身、涡轮和固定桩的设计建

造；东芝为涡轮的构造和送电设备等海流发电系统整体把关。这种发电机具有2只涡轮叶片，每只长40 m，输出功率约2 000 kW，在50~100 m深的海底埋设固定桩，用钢缆拴住发电机，使其悬浮在海中（见图2所示），发出的电力通过海底电缆输送。

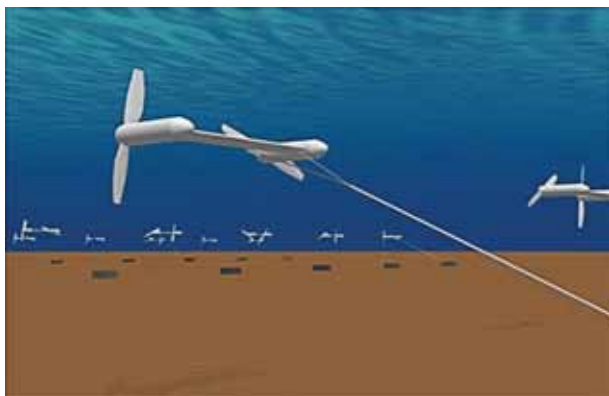


图2 悬浮式海流发电系统示意图

由于发电设备全部置于水下，将不会受到波浪的影响，也不会对船舶的航行带来障碍。比起完全固定的方式，安装成本大幅降低，还可视需要上浮至海面，便于开展维修。

上述公司计划于2013年按照1:40的比例建造出发电系统的样品，2020年投入10亿日元建造出第一座真正的海流发电站，根据其运行情况研究大规模商业发电的可行性。最终目标是建造400座这样的发电机，从而构成一座总功率达80万kW的大型海流电站。

值得注意的是，将海流的动能转换为电能的同时，海流的速度将会受到削弱。这将对生态和环境带来哪些负面影响，值得认真研究。与其他新能源发电方式相比，发电环境相对严酷。海水中含有大量盐分，对金属的腐蚀非常严重；海中的螺类和藻类也会大量附着在设备上。与风力发电相比，海流的单位面积能量密度较大，从发电效率来说是件好事，但是对设备来说要承受相当大的应力，这将极大考验设备的耐久性。

4 热泵技术

在国际能源机构（IEA）发表的《能源技术展望2008》中，热泵技术作为节能减排效果最为显著的17项技术之一名列其中。日本、欧美各国都把

高效热泵系统的开发作为国家重点项目加以推进。

热泵是将低温热源的热能通过收集、压缩，转换成高温热源的特殊装置。通常用于热泵装置的低温热源是人类周围环境中存在的介质——空气、河水、海水、城市污水、地表水、地下水、中水、消防水池，或者是从工业生产设备中排出的工质，这些工质常与周围介质具有相近的温度。较为常见的热泵应用分为水源、地源、空气源等几类。热泵在工作时，系统本身消耗一部分能量，把环境介质中贮存的能量加以收集，通过传热工质循环系统提高温度进行利用。不过，整个热泵装置所消耗的功仅为总输出中的一小部分，因此，采用热泵技术可以大量节约高品位能源。

日本的热泵技术全球领先，目前的热泵效率系数达到5.35，远超欧美平均水平3.0，此外，日本还率先开发出了以CO₂为冷媒的热泵热水器。

然而，日本的技术人员并不满足，日本“产业技术综合研究所”最近又制定了“清凉地球-能源革新技术计划”，致力于开发下一代热泵技术（见图3所示）^[11]。

这项计划的目标是，在2014年底前，以家用、业务用（如医院、学校、办公楼等公共场所）、工业用为对象，特别是以家用和业务用为重点，将热泵效率提高到目前的1.5倍以上；工业用高温热泵（输出温度达120℃）效率提高到目前的1.3倍左右。同时，对输出温度达180℃的高温热泵开发可行性进行验证。

日本认为，要实现更高效的热泵技术，仅仅依靠单个设备的开发极为困难，必须从系统整体的改善入手^[12]。具体来说，必须建立产、官、学、研密切联系的研发体制，要融合建筑、设备、材料等跨领域相关技术，对热源的多样化、转移的高效化、负荷变化自动跟踪、系统设计等进行高度整合的基础研究，才有可能大幅提高热泵的工作效率。

5 结语

由于化石能源绝大部分依赖进口，能源安全问题一直是日本政府和产业界的巨大隐忧。近年来，中东、北非等日本最重要的能源进口来源地区政局动荡，石油、天然气价格长期看涨，更加深了日本的危机感。因此，加快对新能源的开发研究成为日

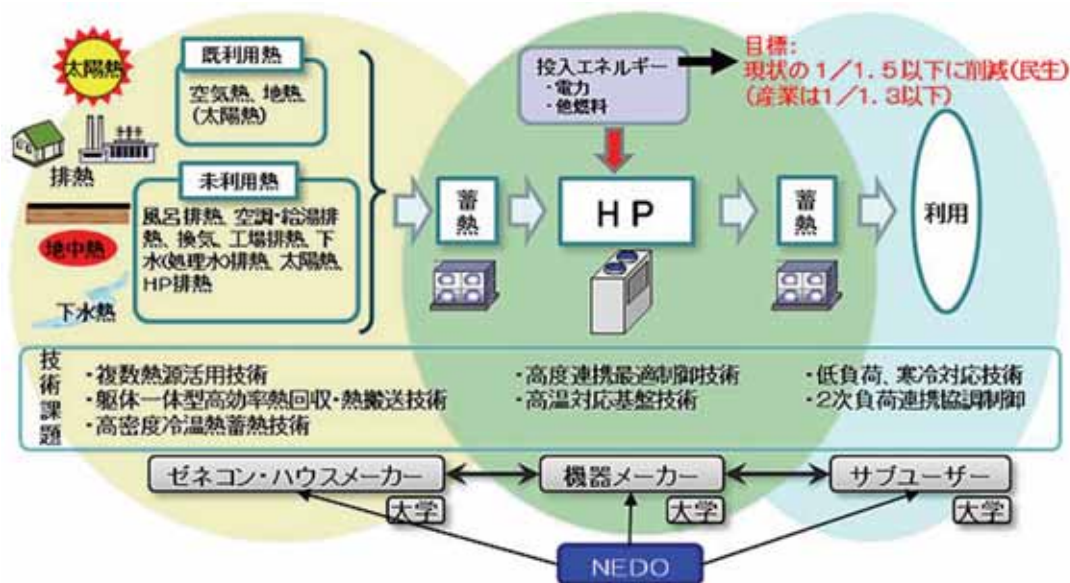


图 3 日本下一代热泵系统示意图

本各界的普遍共识。

日本对太阳能、海流发电、热泵等可再生能源技术的基础研究起步较早，也取得了一定的成果。地球上的化石能源早晚都会消耗殆尽，届时，可能将不得不依赖那些现在看来在经济性、实用性等方面还有相当不足的新能源方式。长远来看，日本对可再生能源的探索和研究非常值得关注和学习。

中国作为世界上最大的能源消费国，目前及今后面临的能源问题同样不可忽视。为保证充足的能源供应，我国应该通过制定法律法规与中长期规划，推动产学研合作等各种方式，多层次、多维度地促进上述新能源产业在中国的发展壮大。■

参考文献：

- [1] BBC 中文网. 日本计划 2030 年前逐步废核电[EB/OL]. [2013-01-10]. http://www.bbc.co.uk/zhongwen/simp/rolling_news/2012/09/120914_rolling_japan_nuclear.shtml.
- [2] 井上晴夫. 持続可能な社会の実現を目指した太陽光エネルギー利用研究の現状と課題[R/OL]. [2013-01-20]. http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/ERL/science_workshop/presen/inoue.pdf.
- [3] 超先端電子技術開発機構. 「量子ドット太陽電池研究開発」基本計画[R/OL]. [2013-01-20]. http://www.aset.or.jp/press_release/ryoshi_kihonkeikaku2012.pdf.
- [4] 姚品全. 以纳米 TiO₂ 製作色素増感型太陽電池工作電極之初步探討[R/OL]. [2013-02-05]. [http://journal.dyu.edu](http://journal.dyu.edu.tw/dyujournal/document/.../s04-1-35-42.pdf).

tw/dyujournal/document/.../s04-1-35-42.pdf.

- [5] SciencePortal China. 次世代高効率太陽電池の開発と展望[EB/OL]. [2013-02-05]. http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/.../r1003_nakano.html.
- [6] 日経能源环境网. 东电等首次开展高温超导电缆并网送电实证试验[EB/OL]. [2013-02-10]. <http://china.nikkeibp.com.cn/eco/news/catcorporatesj/3715-20121113.html>.
- [7] 経済産業省. 超電導材料・超電導素子研究開発追跡評価報告書[R/OL]. [2013-02-15]. http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/e00/03/h21/360.pdf.
- [8] 古谷鍊太郎. 原発に代わる可能性のある潮流、海流発電.[EB/OL]. [2013-02-15]. <http://blog.goo.ne.jp/rfuruya1/e/40e7e9511cf87eabccc9c51aadbb1506>.
- [9] 畑陽一郎. 海流発電の研究を IHI や東芝が着手[EB/OL]. [2013-02-15]. <http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1111/29/news007.html>.
- [10] 増田信行. メガワット級海流発電システムについて[R/OL]. [2013-02-25]. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/attachement/091023-7wave.pdf>.
- [11] NEDO. 次世代型ヒートポンプシステム研究開発[EB/OL]. [2013-02-25]. http://www.nedo.go.jp/activities/FK_00207.html.
- [12] COCN. 低炭素化社会創りに向けたヒートポンプの革新的技術開発と普及促進[R/OL]. [2013-02-20]. http://cocn.jp/common/pdf/0901_HeatPump_v2.pdf.

(下转第 53 页)

[8] National Roadmap for the Development of Bioplastics Industry[R]. Thailand: National Innovation Agency, Ministry of Science and Technology, 2008-07-22.

[9] National Nanotechnology Center. Thai Scientists Awarded 2011 Scientist Awards[EB/OL]. (2011-08-04)[2013-03-27]. <http://www.nanotec.or.th/en/?p=2898>.

Development of Science and Technology in Thailand

WANG Tong-tao, KONG Jiang-tao, ZHU Xiao-xuan, WANG Zhong-cheng
(China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

Abstract: Thailand is a developing country with an important influence in member states of Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). In recent years, Thailand has developed rapidly in science and technology fields including agriculture, biotechnology and clean energy, etc. In April, 2012, the Thailand government released the *National Science and Technology Innovation Policy and Plan (2012–2021)*. The science and technology development of Thailand is complementary with China, and the cooperation between them will have a good prospect. In this paper, the development of science and technology in Thailand was summarized and analyzed, and the bilateral cooperation in science and technology between Thailand and China was also summarized.

Key words: Thailand; Office of International Development and Cooperation of Thailand; Sino-Thailand cooperation in science and technology; policy innovation and management

(上接第6页)

Development Status of the Four “Ultimate” Energy Technologies for 21st Century in Japan

LV Zhi

(The Administration Committee of Xi'an Hi-tech Industries Development Zone, Xi'an 710065)

Abstract: Japan is an island country extremely lacking in fossil fuel resources. The large “3.11” Earthquake in 2011 triggered a serious nuclear accident, for which the most nuclear power plants were shutdown even now. Japan's energy supply is facing unprecedented pressure, so further developing the renewable energy has become “ultimate” means to deal with energy issues for Japan in the 21st century. This paper focuses on the efforts of the Japanese government and industry in the field of four new energy technologies including solar power, ocean current power generation, superconducting, heat pumps, and analyzes the development status, technical category and application prospects of four new energy technologies, hoping to provide useful information for China's relevant departments in the process of resolving energy and environment problems.

Key words: Japan; new energy; solar power cells; ocean current power generation; superconductivity; heat pump