

固态染料敏化二氧化钛纳晶薄膜太阳能电池的研究进展

Research Progress of Solid State Dye-sensitized TiO₂ Nanocrystalline Thin Film Solar Cells

林 原/LIN Yuan, 周晓文/ZHOU Xiao-wen, 肖绪瑞/XIAO Xu-rui, 李学萍/LI Xue-ping,
方世璧/FANG Shi-bi, 王 淼/WANG Miao, 王桂强/WANG Gui-qiang, 马玉涛/MA Yu-tao,
李敏玉/LI Min-yu, 王 理/WANG Li, 杨 雷/YANG Lei

北京分子科学国家实验室, 中国科学院化学研究所光化学重点实验室, 北京 100080

State Laboratory of Molecular Sciences, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

[摘要] 固态染料敏化太阳能电池是目前能源研究的热点领域之一。我们设计并合成了一系列含有不同特性基团(如柔软的高分子链、可现场固化基团和高电导的离子液体基团)的高分子固态电解质应用于染料敏化太阳能电池;同时,结合理论模拟计算得出的二氧化钛纳晶薄膜工作电极和对电极的光散射效应与光限域效应能提高电池的光吸收效率,二氧化钛纳晶薄膜孔隙率的增大能增加固态电解质在膜内的渗透和扩散,对工作电极和对电极进行结构优化可得到高光电转换效率的固态染料敏化太阳能电池。

[关键词] 高分子电解质;染料敏化纳晶太阳能电池;光散射效应;催化对电极

[中图分类号] TN304.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)06-0011-05

Abstract: Solid state dye-sensitized solar cells (DSSC) have been intensively researched recently. In our group, a series of solid state polymer electrolytes of DSSCs have been designed and synthesized by introducing various functional groups, such as flexible chains, latent chemically cross-linking groups and ionic liquid group. Combining with the structural optimization of TiO₂ nanocrystalline thin film electrodes and counter electrodes based on the theoretical simulation of that the efficiency of light absorption can be improved by light scattering and confinement, and the diffusion and penetration of polymer electrolyte can be enhanced by using TiO₂ film with larger porosity, solid state DSSCs with high photo-electric energy conversion efficiency have been obtained.

Key Words: polymer electrolytes; dye-sensitized solar cells; light scattering effect; catalytic counter electrodes

CLC Number: TN304.1

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)06-0011-05

1 前言

染料敏化二氧化钛纳晶薄膜太阳能电池是一种新型的高效、低成本太阳能电池。自 1991 年由 Gratzel 提出以来,染料敏化纳晶二氧化钛太阳能电池一直是国内外研究的热门课题,使用含碘的有机溶剂液态电解液的染料敏化二氧化钛纳晶薄膜太阳能电池光电转换效率已超过 11%^[1-3],然而,有机溶剂电解液的渗漏和挥发严重缩短了电池的使用寿命。为此,人们开发研究了固态的电解质,如无机半导体体系^[4-6],有机空穴传输材料^[7-8]和高分子电解质体系^[9-15]等,以取代液态电解质应用于染料敏化二氧化钛纳晶薄膜太阳能电池,从而提高和改善电池的长期稳定性。高分子电解质体系是其中发展最为迅速、光电转换效率最高的体系。高分子固态电解质体系还可细分为凝胶类电解质体系和全固态电解质体系两种,其中凝胶电解质体系中含有低分子量的有机溶剂

或离子液体,起着溶解和输运氧化还原离子的功能,而高分子则主要起降低电解液的流动性并使之固化的作用;在全固态高分子电解质中无机盐在高分子网络中溶解、解离和运动。目前,采用高分子电解液的(准)固态染料敏化纳晶电池的电池效率仍低于液态电池。其原因在于,由于高分子电解液的粘度较大,导致离子的扩散速度减慢,特别是在纳晶膜的孔隙内扩散更慢,使得氧化还原离子的扩散成为影响电池光电转换效率的决速步之一。此外,由于粘度的增加,使得电解液不易在纳晶膜内渗透,且不易与纳晶形成很好的导电接触,降低了界面反应速度,导致电池性能下降。

针对高分子电解质存在的问题,我们一方面从高分子电解质的结构设计合成方面入手,尽可能地提高离子的传输速度,改善界面性能;另一方面,根据固态电解质特点,对电池的整体结构

收稿日期:2006-05-17

基金项目:国家重点基础研究发展规划(G2000028205),国家高技术研究发展计划(2002AA302403),国家自然科学基金(50221201,20373075,50473055)

作者简介:林 原,男,北京市中关村北一街 2 号中科院化学所,研究员,主要研究方向为电化学、半导体光电化学;

E-mail: linyuan@iccas.ac.cn

进行优化设计,制备高效的高分子固态电解质染料敏化二氧化钛纳晶薄膜太阳能电池。

2 高分子固态电解质的研究

提高高分子链段的柔软性,能够降低由于高分子固化剂的加入所导致的电解质扩散性能的下降。为此,我们设计了分子链段柔软、玻璃化转变温度(T_g)低的聚硅氧烷高分子电解质体系;结合在分子链上增加功能基团,提高离子的传输^[15-20]。例如,在分子主链上悬挂具有强极性的齐聚环氧乙烷(EO)侧链和可电离子出碘离子的季铵基团^[16],其中EO侧链有利于无机盐的溶解,而季铵基团电离出的碘离子可以增加电解质氧化还原离子浓度。

离子液体具有无挥发性、高离子强度、高电导率(达 10^{-4} ~ 10^{-3} Ωcm^{-1})和高稳定性的特点,我们将咪唑终端的EO低聚物作为梳状悬挂链接入聚合物链,形成具有离子液体特性的高聚物与其他离子液体一同组成电解质后,组装电池的光电转换效率达到6.1%。

为了解决高分子固态电解质的渗透性能差、界面性能不好的问题,我们设计了现场固化工艺。其过程为在电解质中引入具有潜在交联反应性的高分子基团,在液体状态下注入到电池中,使之充分渗透并与纳晶膜形成良好的电接触,随后加热使之发生交联反应,固化电解质。我们以乙烯基吡啶和丙烯腈共聚物与交联剂固化离子液体及EC/PC电解质,染料敏化纳晶太阳能电池的光电转换效率分别达到6.53%和5.15%。以悬挂吡啶基聚胺-酰胺(PPDD)的树状聚合物和含双碘功能基团的交联剂构成的潜在反应性高分子电解质体系具有高极性、高导电性(室温电导率大于 10^{-3} Ωcm^{-1})、可解离出碘离子的特点,固化液态电解质电池光电转换效率达到7.7%^[21]。此外,我们还试验了聚磷腈全固态聚合物电解质体系,全固态染料敏化太阳能电池的光电转换效率达到了2%^[22]。

上述准固态电解质组装电池的光电转换效率接近Graetzel制作的同类电池的水平,并且它们大多采用不可逆现场固化技术,稳定性好,电解质与电极间形成良好接触的界面,适合于大面积电极的使用,有利于电池的开发应用。

3 染料敏化纳晶太阳能电池的理论模拟计算

对染料敏化电池进行理论模拟计算可以更好地了解制约电池效率提高的关键因素,为实验工作提供理论指导。我们在光传播的四通量模型、Mie散射理论和氧化还原离子线性扩散方程的基础上建立了宏观模型,用来描述二氧化钛光散射薄膜的光吸收

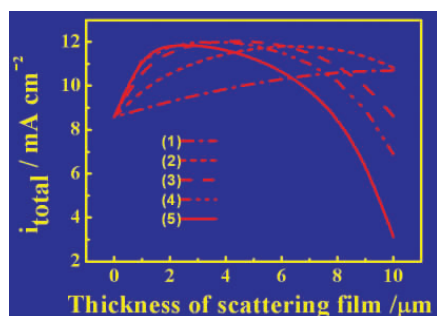


图1 光电流密度与二氧化钛薄膜散射层厚度的关系
Fig. 1 The relationship between photocurrent density and thickness of TiO₂ scattering layer

注:二氧化钛薄膜由透明与散射层构成(总厚度为10 mm),透明层二氧化钛颗粒粒径10 nm,散射层由粒径10 nm和150 nm颗粒按以下比例构成(1) 95:5 (TS_{95/5}), (2) 80:20 (TS_{80/20}), (3) 50:50 (TS_{50/50}), (4) 30:70 (TS_{30/70}), and (5) 0:100 (TS_{0/100})。

性质和与膜结构相关的电解质离子扩散性能。理论模拟计算结果见图1~3。

图1表明,加入适量具有散射性能的二氧化钛大颗粒可提高二氧化钛纳晶膜上光敏染料的光吸收,从而提高电池的光电流密度;由50%小颗粒(粒径10 nm)和50%大颗粒(粒径150 nm)组成的光散射层与透明层(100%粒径10 nm小颗粒)组成的双层结构二氧化钛纳晶薄膜(厚度比为4:6)电池的光电流密度最大。

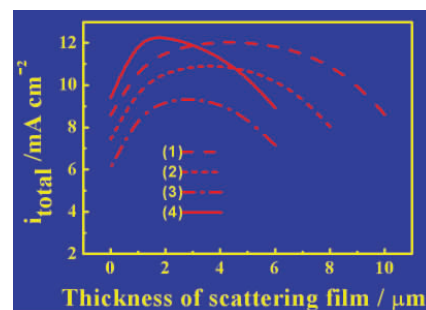


图2 光电流密度与二氧化钛薄膜散射层厚度的关系(TS_{50/50})
Fig. 2 The relationship between photocurrent density and thickness of TiO₂ scattering layer (TS_{50/50})

注:透明与散射层的总厚度为(1) 10 m,(2) 8 m,(3) 6 m,(4) 6 m,对电极为全反射层

在对电极上增加全反射层,可以对光进行限域,实现二氧化钛纳晶薄膜上光敏染料光吸收的增加,并进一步增大电池的光电流密度。从图2看出,利用光限域效应,6 mm的双层结构二氧化钛纳晶薄膜电池的光电流密度明显大于10 mm的膜,表明光散射效应和光限域效应的应用能有效地降低二氧化钛薄膜膜厚,进一步改善电池的光电性能。

图3为二氧化钛薄膜的厚度对电池极限电流密度的影响,在对应于液态、准固态和固态电解质中的 Γ^- , I_3^- 扩散系数下,极限电流密度都随膜厚的减小而增大,说明膜厚的减小有利于获得较大的光电流密度,而不被电解液的扩散极限电流所限制。

综合以上理论模拟计算中二氧化钛纳晶薄膜结构和膜厚对光敏染料的吸收和电解质扩散性能的影响,我们得到如下启示:为了能在扩散系数小的固态电解质体系中获得高的光电流密度,必须降低二氧化钛纳晶薄膜的厚度,而要使膜厚减薄而染料光吸收性能不下降,采用具有光散射特性的二氧化钛纳晶结构膜以及在对电极上增加全反射层对光进行限域,可谓有效的途径^[23]。

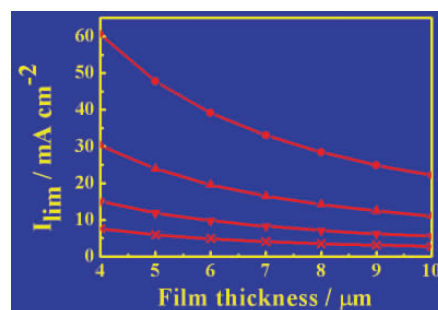


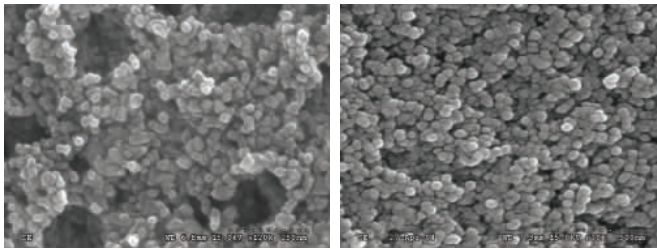
图3 二氧化钛薄膜厚度对电池扩散极限电流的影响
Fig. 3 The effect of TiO₂ thin film thickness on the diffusion limited current density

注:电解质中 Γ^- , I_3^- 起始浓度 $C_{\Gamma^-}^0/C_{\text{I}_3^-}^0$ 为0.05M/0.5M, Γ^- , I_3^- 扩散系数 $D_{\Gamma^-}/D_{\text{I}_3^-}$ 为 $1.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}/1.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (●), $0.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}/1.0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (▲), $4.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}/4.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (▼), $2.2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}/2.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (X)

4 新型光散射、易渗透二氧化钛纳晶薄膜的研制

增加对太阳光能的吸收是提高染料敏化纳晶太阳能电池光电转换效率的一个重要途径。依据以上理论计算结果,应用二氧化钛纳晶薄膜的光散射效应能有效地增长光子在多孔网络中的传输路程,增加染料分子的吸收光子几率,从而大大提高光能的吸收效率,特别是可增加弱光下和染料弱吸收区域的光能吸收。我们实验研究了多种光散射膜体系包括大粒子^[24]、纳米管^[25]以及球形大孔,其中以球型大孔膜在固态电解液中的性能表现最佳,本文中以球形大孔膜为例研究其光散射及扩散性能。

以5%单分散、直径200 nm聚苯乙烯(PS)小球作为造孔剂,制备含有规则球形大孔的二氧化钛纳晶薄膜(简称球形孔膜)。球形大孔具有很高的光散射因子,因此球形孔膜显示出很强的光散射性能。



(a) 球形孔膜 (b) 透明膜

图4 二氧化钛球形孔膜和透明膜的表面形貌

Fig. 4 Surface morphology of spheric porous and transparent TiO₂ films

二氧化钛球形孔膜和通常使用的TiO₂纳晶膜(简称透明膜)的表面形貌如图4所示。图5表示了二氧化钛光散射薄膜的光散射性能。与透明膜相比,大孔膜的镜面透射明显降低,而漫反射却都明显增加,显示了强的光散射特性。应用光传播的四通量模型进一步计算了光散射薄膜的光散射因子S。在光波长400~800 nm范围内,球形孔膜的光散射因子S均大于透明膜。在550 nm下的光散射因子S,球形孔膜是透明膜的5倍。由此证明球形孔膜具有强光散射性能。

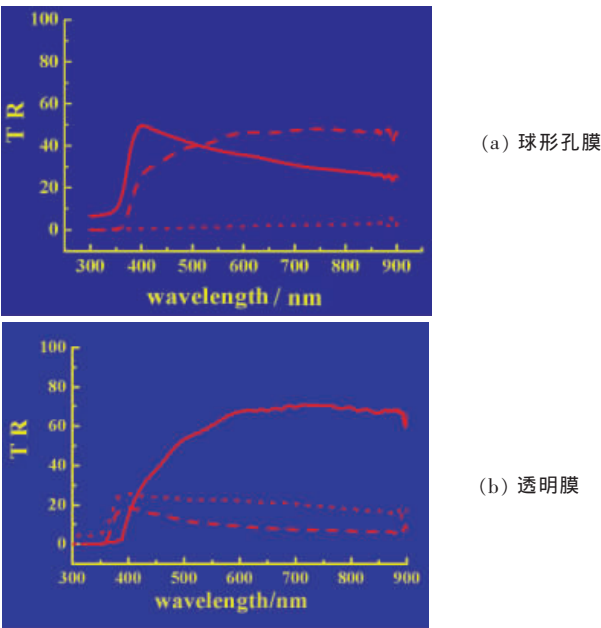


图5 不同微结构的二氧化钛纳晶薄膜的光散射特性

Fig. 5 The light scattering of spheric porous and transparent TiO₂ nanocrystalline thin films

注: 实线: 镜面透射; 虚线: 漫反射; 点线: 漫透射

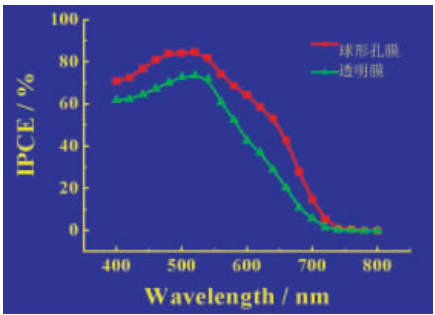


图6 不同微结构的二氧化钛纳晶薄膜的 IPCE

Fig. 6 IPCE spectra of spheric porous and transparent TiO₂ nanocrystalline thin films

单色量子产率(IPCE)反映了在不同波长下光子转换为电子的效率。图6显示二氧化钛球形孔膜和透明膜在可见光不同波长下的IPCE。从图中看出,球形孔膜的IPCE在400~800 nm全可见光区都显著大于透明膜。表1中列出了球形孔膜在400~800 nm波长范围相对于透明膜的IPCE积分相对值以及在EC/PC电解液中的短路光电流和相对于透明膜的短路光电流相对值,从表中数值可以看出球形孔膜的IPCE和短路光电流相对于透明膜都明显增大。

表1 不同微结构二氧化钛纳晶薄膜组装电池的短路光电流和IPCE积分相对值

Tbl. 1 The short-circuit photocurrent density (*I*_{sc}) and the integral relative contrast of *I*_{sc} and IPCE of DSSCs with spheric porous and transparent TiO₂ nanocrystalline thin films

	透明膜	球形孔膜
相对 IPCE 积分值/%	100	130
短路光电流/ <i>mA cm</i> ⁻²	17.15	19.85
相对短路光电流/%	100	116

在上述球形孔膜研制的基础上,为提高电解液在膜内的渗透性能,进一步研究了孔径和孔的分布密度对电池光电性能的影响。表2中的实验数据显示,掺加10% 200 nm PS小球制备的二氧化钛球形孔膜在凝胶电解液中的光电性能明显地优于透明膜。这是因为球形孔膜大大提高了电解液的渗透性能,对提高固态染料敏化纳晶太阳能电池的光电性能非常有利。

表2 凝胶电解液中透明膜与球形孔膜组装电池的光电性能比较

Tab. 2 The photoelectrochemical performances of DSSCs with gelled electrolytes and spheric porous and transparent TiO₂ nanocrystalline thin films

电解液组成	膜的类型	<i>V</i> _{oc} /V	<i>J</i> _{sc} / <i>mA cm</i> ⁻²	<i>FF</i>	<i>η</i> /%
PEO(350)MImCl, HMIImI, EMIImBF ₄ (质量比 4:5:1), LiI (1.0M), I ₂ (0.5M)	透明膜	0.63	14.00	0.68	6.0
	球形孔膜	0.63	17.95	0.62	7.1
P(MOE(360))MImCl, HMIImI, EMIImBF ₄ (质量比 4:5:1), LiI (1.0M), I ₂ (0.5M)	透明膜	0.48	11.35	0.68	3.7
	球形孔膜	0.55	15.30	0.65	5.3

5 高反射、高导电基底载铂对电极

理论模拟显示提高对电极的光反射性能可以提高染料敏化纳晶太阳能电池的光电流和光电转换效率,为此我们制备了一种

具有高光反射性能(红光区反射率大于 55%)的镍磷为基底的载铂对电极(Pt/Ni-P 电极)。由 Pt/Ni-P 电极组装的电池,其单色光量子产率(IPCE)及总的光电转换效率分别比导电玻璃为基底的载铂对电极(Pt/FTO 电极)组装电池提高了 20%及 33%^[26-27]。

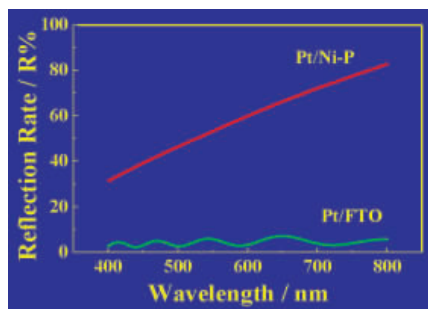


图 7 Pt/FTO 电极和 Pt/Ni-P 电极的光反射性能
Fig. 7 The light reflection of the Pt/Ni-P and Pt/FTO electrodes

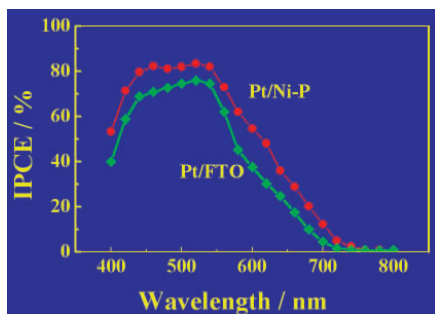


图 8 分别用 Pt/FTO 电极和 Pt/Ni-P 电极作对电极的染料敏化太阳能电池的 IPCE 曲线
Fig. 8 IPCE spectra of DSSCs with Pt/Ni-P and Pt/FTO as counter electrodes

6 结论

高分子固态电解液的采用是提高染料敏化电池长期稳定性的主要途径之一。根据固态染料敏化太阳能电池的特点,设计合成新型高分子电解质体系,以改善电解液的界面性能和离子的传输;同时通过理论模拟的方法研究了电池的其他组成部分对固态染料敏化电池效率的影响因素,并根据理论模拟的指导,对电池的其他部分,包括工作电极和对电极进行相应的优化,获得了较好的光电转换效率。以上研究结果为进一步提高高分子固态染料敏化太阳能电池的光电转换效率打下了良好的基础。

参考文献 (References)

- [1] O'REGAN B, GRÄTZEL M. A low-cost high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films [J]. *Nature*, 1991 (353):737.
- [2] ROTHENBERGER G, FITZMAURICE D, GRÄTZEL M. Spectroscopy of conduction band electrons in transparent metal oxide semiconductor films: optical determination of the flatband potential of colloidal titanium dioxide films[J]. *J Phys Chem*, 1992 (96): 5983.
- [3] KAY A, HUMPHRY-BAKER R, GRÄTZEL M. Artificial photosynthesis: 2 investigation on the mechanism of photosensitization of nanocrystalline TiO₂ solar cell by chlorophyll II derivatives[J]. *J Phys Chem*, 1994(98):952.
- [4] TENNAKONE K, KUMARA G, KUMARASINGHE A R, et al. A dye-

- sensitized nano-porous solid-state photovoltaic cell [J]. *Semicond Sci Technol*, 1995 (10):1689.
- [5] O'REGAN B, SCHWARTZ D T. Large Enhancement in Photocurrent Efficiency Caused by UV Illumination of the Dye-Sensitized Heterojunction TiO₂/RuLL'NCS/CuSCN: Initiation and Potential Mechanisms[J]. *Chem Mater*, 1998 (10):1501.
- [6] MENG Q B, TAKAHASHI K, ZHANG X T, et al. A. Fujishima, Fabrication of an efficient solid-state dye-sensitized solar cell [J]. *Langmuir*, 2003(19): 3574.
- [7] BACH U, LUPO D, COMTE P, et al. Solid-state dye-sensitized mesoporous TiO₂ solar cells with high photon-to-electron conversion efficiencies[J]. *Nature*, 1998(395): 583.
- [8] KRUGER J, PLASS R, CEVEY L, et al. High efficiency solid-state photovoltaic device due to inhibition of interface charge recombination [J]. *Appl. Phys. Lett*, 2001(79): 2085.
- [9] NOGUERIA A F, DURRANT J R, DEPAOLI M A. Dye-sensitized nanocrystalline solar cells employing a polymer electrolyte [J]. *Adv Mater*, 2001 (13) :826.
- [10] STERGIPOPOULOS T, ARABATZIS I M, KATSAROS G, et al. Binary polyethylene oxide/titania solid-state redox electrolyte for highly efficient nanocrystalline TiO₂ photoelectrochemical cells [J]. *Nano Lett*, 2002 (2):1259.
- [11] KIM J H, KANG M S, KIM Y J, et al. Dye-sensitized nanocrystalline solar cells based on composite polymer electrolytes containing fumed and silica nanoparticles [J]. *Chem Comm*, 2004: 1662.
- [12] HAN H, LIU W, ZHANG J, et al. A Hybrid poly (ethylene oxide)/poly(vinylidene fluoride)/TiO₂ Nanoparticle Solid-State Redox Electrolyte for Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells [J]. *Adv Funct Mater*, 2005 (15):1940.
- [13] WANG P, DAI Q, ZAKEERUDDIN S M, et al. Ambient Temperature Plastic Crystal Electrolyte for Efficient, All-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell [J]. *J Am Chem Soc*, 2004 (126):13590.
- [14] ILEPERUMA A O, DISSANAYAKE M A K L, SOMASUNDERAM S, et al. Photoelectrochemical solar cells with polyacrylonitrile-based and polyethylene oxide-based polymer electrolytes[J]. *Sol Energ Mater Sol Cells*, 2004(84) :117.
- [15] KANG J J, LI W Y, LIN Y, et al. Synthesis and ionic conductivity of a polysiloxane containing quaternary ammonium groups [J]. *Polym Adv Technol*, 2004 (15):61.
- [16] LI W Y, KANG J J, LI X P, et al. A novel polymer quaternary ammonium iodide and application in quasi-solid-state dye-sensitized solar cells [J]. *J. Photochem Photobio A*, 2005 (170):1-6.
- [17] KANG J, LI W, WANG X, et al. Gel polymer electrolytes based on a novel quaternary ammonium salt for dye-sensitized solar cells[J]. *J Appl Electrochem*, 2004 (34):301-304.
- [18] LI W Y, KANG J J, LI X P, et al. Quasi-solid state nanocrystalline TiO₂ solar cells using gel network polymer electrolytes based on polysiloxanes [J]. *Chin Sci Bull*, 2003 (48):646.
- [19] 李学萍, 张正诚, 李维盈, 等. TiO₂ 纳米多孔薄膜固态太阳电池[J]. *太阳能学报*, 2002, 23(3):281.
- [20] KANG J, LI W, WANG X, et al. Polymer electrolyte from PEO and novel quaternary ammonium iodides for dye-sensitized solar cells[J]. *Electrochim Acta*, 2003 (48):2487.
- [21] WANG L, FANG S B, LIN Y, et al. A 7.72% efficient dye sensitized solar cell on novel necklace-line polymer gel electrolyte containing latent chemically cross-linked gel electrolyte precursors [J]. *Chem Commun.*, 2005 (45):5687-5689.
- [22] ZHOU S H, FANG S B, LIN Y. Solid Polymer Electrolytes Based on Cross-linkedable Oligo (oxyethylene)-Branched Oligo(organo phosphazenes)[J]. *J Fudan Univ. Natural Science*, 2005(44):748.
- [23] LIN Y, MA Y T, YANG L, et al. Computer simulations of light

国际核能发展态势

Development Trend of Nuclear Energy in the World

周 胜/ZHOU Sheng,王革华/WANG Ge-hua

清华大学核能与新能源技术研究院,北京 100084

Institute of Nuclear & New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

[摘要] 石油和天然气价格的上涨,以及温室气体减排压力,使得核能利用备受关注。在欧美发达国家,核电站及其他核设施的相继退役,既给反对核能找到了借口,也给核能的发展提供了机遇——如果核废物能够适当处理的话。综述了国际核能利用的现状、特点,以及核能技术(包括第三代和第四代核能技术、核聚变技术、燃料循环技术等)的研究进展状况,展望了未来核能发展的态势及其对中国核能发展的启示。

[关键词] 核能;外部成本;发展态势

[中图分类号] TL31

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)06-0015-03

Abstract: With the rising prices of oil and natural gas, and under the emission reduction demand of green house gas (GHG), the nuclear energy is causing wide concern. At the same time, some of the nuclear plants and nuclear facilities in Europe and America are out of decommission continuously, which provides not only the excuses to the nuclear opposition camp, but also the opportunities of nuclear development under the conditions of proper disposal of nuclear waste. This paper summarizes the current status and features of nuclear energy utilization, the research of nuclear energy technologies which includes nuclear technologies of Gen III and Gen IV, the nuclear fusion and the nuclear fuel cycle, etc.. The nuclear future prospect is also provided, with suggestions to China nuclear development.

Key Words: nuclear energy; extern cost; development trend

CLC Number: TL31

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)06-0015-03

据世界核能协会(WNA)统计^[1],2004年,全世界核电站共发电26 186亿kWh,占总电力的16%,已经拥有在役、在建、或拟建核电站的国家共有37个。其中北美和西欧的核电装机容量基本不变,亚洲是世界上核电装机容量增加最为明显的地区。

随着煤、石油和天然气价格的上涨,以及温室气体减排压力的增加,各国政府对核能的支持力度加大,公众对核能的接受性增加。与此同时,在欧美发达国家,核电站及其他核设施的相继退役使得核废物处理工作提上日程,发达国家中的清洁行动(clean-up)得到了强烈的关注,这种清洁行动耗资巨大,并且核废物问题还没有最终

解决,这既给反对核能找到了借口,同时也给核能的发展提供了机遇——如果这些废物能够适当处理的话^[2]。

1 2005年世界核能发展特点

1.1 北美和西欧的核电装机容量基本不变,亚洲是世界上核电装机容量增加最为明显的地区

截至2006年1月,全球正在运行的核电反应堆有441座,分布在30多个国家和地区,总装机容量为368 386 MWe。其中前5位的国家为:美国103座,法国59座,日本55座,俄罗斯31座,英国23座。中国大陆9座,排名第12。正在建设的核电反应堆

有24座,计划建设并资金落实的有41座,拟议而资金没有落实的有113座^[1]。

总体来说,北美和西欧的核电装机容量基本不变,其进一步挖掘主要靠电厂升级和电厂寿命的延长(从40年延长到60年)。而亚洲是世界上核电装机容量增加最为明显的地区,新建核电厂主要分布在中国、印度、日本和韩国等。

除了商用核电站以外,目前有8个国家拥有核武器生产能力,56个国家运行着284个研究堆和220多个船用核动力装置^[3]。

1.2 随着石油天然气价格的上涨,温室气体减排压力的增加,政府对核能的支持力度加大,公众对核能的接受性增加

收稿日期:2006-04-11

作者简介:周 胜,男,北京市清华大学核能与新能源技术研究院,讲师,主要研究方向为能源、经济和环境政策;

E-mail: zhshinet@tsinghua.edu.cn

scattering and mass transport of dye-sensitized nanocrystalline solar cells [J]. J Electroanal Chem, 2006 (588):51-58.

[24] LIN Y, XIAO X R, ZHANG D S, et al. Light scattering characteristic of TiO₂ nanocrystalline porous films [J]. Chin Sci Bull, 2003 (48):856.

[25] MA Y T, LIN Y, XIAO X R, et al. Synthesis of TiO₂ nanotubes film and its light scattering property [J]. Chin Sci Bull, 2005 (50):1985-1990.

[26] WANG G Q, LIN R F, LIN Y, et al. A novel high-performance counter electrode for dye-sensitized solar cells [J]. Electrochimica Acta, 2005 (50):5546-5552.

[27] LI C Y, LI X P, MA Y T, et al. A Novel Nanocrystalline TiO₂ Thin Film Electrodes Prepared at Low Temperature[J]. Chin Chem Lett, 2005(16):967-970.

(责任编辑 胡春华)