

展电极蠕变机理,探索防止电极蠕变方法的应用基础研究。MCFC在长期运行过程中,阴阳极会发生蠕变,影响电池的密封,严重时能导致电池窜气。国外探索加入陶瓷微粉以减缓和防止电极的蠕变。(4)开展减少熔盐损失机理和电池内贮盐补盐技术研究。MCFC在长期运行过程中,熔盐会逐渐损失,引起电池性能下降,严重时会导致湿密封失效,电池漏气。应研究贮盐板、隔膜、电极间孔径匹配关系及熔盐在贮盐板,隔膜,电极间迁移及对电池性能的影响。(5)对以天然气为燃料,内重整的MCFC,应开展熔盐对重整催化剂的影响机理及解决对策,为开发高效、长寿命内重整催化剂提供技术指导。(6)开展MCFC用稳定的隔膜材料及制备薄的、抗热冲击隔膜的应用基础研究。

2.3 SOFC SOFC可采用煤气或天然气作燃料,工作温度为900—1000℃,能提供优质余热,热电效率高,因采用固体电解质,所以无腐蚀问题,可望实现长寿命运行,是一种理想的燃料电池发电装置。至今开发的SOFC有三种结构:管式、平板式和瓦楞式。管式技术较成熟,但后两种形式更适于建造大功率电厂。

SOFC阳极厚100—200 μm,多孔结构,催化剂为镍。固体电解质为钇稳定化的氧化锆,组成为 $(Y_2O_3)_{0.1}(ZrO_2)_{0.9}$ 。阴极为钙钛矿型的亚锰酸镧,组成为 $Sr_xLa_{1-x}MnO_3$, $x=0.1-0.2$ 。

日本与美国合作,于1987—1990年,进行了3 kW和25 kW SOFC实验,前者运行时间达12000小时,并拟于1997年作100 kW电池现场实验。欧洲计划1997年建200 kW联合发电装置,并对其技术前景进行预测。

目前,由于材料及制备技术等限制,SOFC在国外还处在开发研制阶段,鉴于国内财力及人力,作者认为目前还不宜于组织力量进行工程开发,但应资助以下研究:(1)研究 Y_2O_3 稳定的 ZrO_2 氧离子导电机理与制薄膜技术;(2)探索在700—800℃具有良好氧离子传导能力的新材料、导电机理和制薄膜方法;(3)研究固体氧化物电解质与催化电极界面结构与性能。

FUEL CELL

Yi Baolian

(Dalian Institute of Chemical Physics, GAS Dalian116012, China)

太阳能利用的研究与开发

葛新石

(中国科技大学热能系,合肥230026)

由于地球上有限的矿物燃料日趋枯竭,而聚变核能做为能源达到商业化程度还需相当长时间,因此在由使用矿物燃料转为使用聚变核能的过渡阶段,太阳能将成为能源家族中的主要成员。扩大太阳能的开发利用还可降低 CO_2 , SO_2 及 NO_x 等污染物的排放,维护洁净的生态环境。太阳能工业作为一个专门的行业已在世界各国出现。随着太阳能装置的效率不断提高及

价格逐步下降,太阳能利用的领域必定会继续扩大。本文只涉及太阳能的直接利用,且局限于太阳能热利用、热发电、贮热及使太阳能转换成化学能等问题。

1 太阳能热电站发展趋势及有关科学问题

太阳能热发电技术涉及光学、热物理、材料、力学及自动控制等学科,是一门综合性的技术,也是太阳能研究领域的难题。

目前,已经商业化的太阳热发电技术是 Luz 国际公司的太阳热发电系统,简称 SEGS。自 1984 年至 1990 年,Luz 在美国建了 9 个电站,总装机容量为 350MW,年平均效率达 14%,电价约 8 美分/千瓦·时。Luz 的特点是采用大量槽型抛物镜聚光集热器,在每个集热器的“焦线”处为具有选择性表面的真空集热管,以合成油为传热介质。由于集热管壁温在 400℃以上,故研制这种在高温下可长期稳定工作的光谱选择性涂层是较困难的。Luz 系统的长处主要是简化了跟踪系统;传热介质为合成油,集热管不必在高压下工作。

当前,太阳发电技术的新方案有:

1.1 **以熔盐为传热介质的腔体式直接吸收接收器(DAR)** 在 DAR 中有一块隔热良好、倾斜放置的吸热板,来自定日镜场的高强度太阳辐射经腔体内壁反射到吸热板上,后者将热能传给由板的顶端沿板流至下端的熔融的碳酸盐。对熔盐掺杂,提高熔盐对太阳辐射的直接吸收能力,是提高 DAR 效率的重要措施。关键问题是研究吸热板与熔盐液膜之间强化传热的途径,以及熔盐在高温下的热物性参数(导热系数,比热容,粘度及吸收,反射和散射等热辐射性质)。

1.2 **勃莱敦循环** 该方案之一是以微粒和惰性气体组成的气-固两相流为工作介质,当后者通过一特殊的接收器时,工作介质能强烈地吸收射入接收器窗口的高强度太阳辐射,并在极短时间内达到高温状态。受热的工质可直接推动燃气轮机工作。方案之二是以耐高温且导热能力强的陶瓷材料(如碳化硅)做吸收器,实际上它是腔体内的一个换热器。试验表明,空气通过换热器后温度能升高到 1000℃,压力达 10 个大气压,可直接供燃气轮机作功。而且由于燃气轮机排气温度高达 500℃,利用排气产生蒸汽推动汽轮机,则这种燃气-蒸汽联合循环的效率可望达到 40—50%。为强化传热,降低热损和缩短起动时间,一种多腔体容积式太阳能接收器正受到重视。这种接收器实质上是由大量小通道组成的一个蜂窝状结构,小通道的入口面向定日镜场。当空气被压缩机驱动而通过多腔体接收器时,经聚集的高强度太阳辐射照射的腔体壁能使空气加热到很高的温度。这种多腔体结构的突出优点是接收器入口所处温度较低,故减小了对环境的辐射和对流热损;不需在高压下工作;不存在腐蚀问题。主要缺点是腔体壁与空气之间的换热性能差。下一步工作,还必须对接收器的材料、结构及因日照变化而引起的动态反应等复杂问题开展更全面的研究。

1.3 **两级聚光** 从热力学考虑,应尽可能提高工作介质的温度,又不能因此而使设备过于复杂。由葡、以、法、美四国科学家合作完成的一种新的两级光学设计,适用于槽型抛物镜集热器,它的第二级是一组复合抛物镜(CPC)型的不对称非成像聚光器。这种设计能使主级的聚光比增大 2 至 2.5 倍,并且,主级聚光镜的张角可保持 90° 甚至 120°。由于作为第二级的 CPC 可置于真空接收器之内,故热损将大幅度降低,并使工质温度由无第二级时的 400℃增高至 500℃,可满足常规火电厂所需的蒸汽参数。又由于槽型抛物镜集热器只需单轴跟踪,所以这种新的光学设计将使这类太阳热电站因转换效率提高而成本降低。适用于塔式中心接收器的二

级聚光的光学和热物理问题同样有很大的学术价值及应用背景,难度更大。

1.4 **SEGS 单回路系统** SEGS 原来均采用双回路系统,必须装备一系列换热器,采用最新的单回路系统就不再以合成油为传热介质,而使水直接通过真空集热管。为实现这种新方案,必须深入地研究集热管中的两相流传热和高温(420℃)高压(100—120大气压)下的流动状态、温度、压力、汽击及振动等控制问题,以及起动及日照变化时工况的适应问题。

1.5 **新一代反光镜** 传统的玻璃/金属反光镜价格高、反射率低。经10年的努力,一种在聚合物上镀银的所谓紧绷式反光镜已在实验室研究成功。它不仅重量轻、成本低,且反射率高;室外抗老化试验表明,两年后的反射率仍在90%以上。

2 新型TIM及TIT研究

TIM是指新型的透明隔热材料或构件,主要的类型有透明蜂窝、透明气凝胶及热镜等。透明隔热部件是任何一类太阳辐射-热能转换系统中十分关键的组成部分。TIT指基于TIM的各种部件的设计和 optimization 方法。鉴于建筑能耗在总能耗中所占比例很大,而采用矿物燃料取暖造成环境污染,因此TIM和TIT的应用除太阳能热利用装置外,前景最广的是建筑领域。

2.1 **热镜** 热镜(heat mirror)是指透明底衬(如玻璃)和覆盖在其上的特殊膜(半导体、金属等)的组合物。热镜可透过太阳辐射,但对长波热辐射有很高的反射率,即很低的发射率。在美国仅以已安装的这种低发射率热镜窗计算,就可在其25年使用寿命内节能30亿美元。热镜的理论与应用研究涉及材料科学、薄膜光学、化学、结构分析、热物理等。要得到适用于不同应用所需的优质热镜膜,需研究膜系的光学设计、膜层在太阳辐射和长波热辐射区的光学性质和热辐射性质、膜层的微观结构与膜层物性的关系以及工艺制备条件对物性的影响等。为设计低热损的热镜窗,则必须对热镜膜的排列布置、可减小对流充垫气体的选择、及窗户的辐射-对流耦合传热等问题进行深入研究。

2.2 **透明蜂窝** 这是用塑料或玻璃制成的类蜂窝状结构,蜂窝孔的横截面可以是矩形、圆形或三角形。透明蜂窝对太阳辐射的直射和漫射有较高的透过率;由于蜂窝孔能抑制自然对流,热辐射则须经多次反射后才能逸出孔外,故有良好的隔热能力。虽然其工作原理从直观上很易理解,蜂窝孔中的传热机理却十分复杂,是辐射、对流和导热耦合在一起的传热问题。它的热损系数与蜂窝孔的高宽比,蜂窝壁的热辐射性质的光谱特性和空间分布特性,蜂窝孔两端界面材料的热辐射特性及蜂窝材料的导热系数等许多因素有关,目前只能基于简化的模型进行理论求解。对蜂窝结构的定向-半球向透射、定向半球向反射,特别是半球向-半球向透射和半球向-半球向反射的理论和实验研究只是近年来才见到报导。

以透明蜂窝作为窗户的隔热构件,热损只是原来的1/5甚至更低。以透明蜂窝作为墙体外侧的隔热部件可使采暖能耗减少2/3。透明蜂窝与卷帘结合使用,在夏季可使建筑物降温。不少国家现已有示范性的采用透明蜂窝的建筑,但仍处于初始阶段,特别是选材问题(基于光学、热学和力学以及经济性考虑)及工艺制备问题(挤塑,热焊及粘接等)和在不同应用场合使用时蜂窝结构几何形状的优化问题等均需进行大量研究工作。

2.3 **气凝胶** 如二氧化硅气凝胶(silica aerogel)是能透过太阳辐射而隔热性能极好的特殊材料,有颗粒状的,也可做成块状的。由于气凝胶是一种吸收-散射介质,故采用合适的散射模型以计算太阳辐射通过气凝胶时的衰减和光谱透过率特性、在这种吸收-散射介质中的辐射换热、气凝胶对定向辐射和漫辐射的透过特性、以及在气凝胶中导热和辐射混合传热等问题都

需作深入的研究。材料科学家则必须寻求低成本和可大规模生产的工艺制备过程。

3 太阳能贮存的研究

由于太阳辐射的昼夜间断及随机不稳定性,故太阳能的贮存一直是太阳能利用研究的重要课题。当前,最受注意的是对相变贮热和太阳能—化学能转换系统的研究。

3.1 相变贮热 研究的问题包括:寻求和制备所需使用温度的相变材料;防止过冷现象;相变传热过程的机理(相变换热器的设计);提高相变材料导热能力的措施等等。过去只是将相变过程作为具有固-液运动界面的导热问题来处理,实际上,在熔解过程中液相的对流换热起着很重要的作用,纯导热模型不能反映实际的熔解过程。基于单元成分的热物性从理论上推算二元或多元组成物的相变温度及相变潜热等问题也是十分有意义的课题。

3.2 太阳能—化学能转换系统 这是一种通过高温热化学反应贮存太阳能的方法。此法的优点在于:得到的反应物——燃料可在常温下贮存或输送,不存在通常的热能贮存不可避免的热损失;若反应物是气体,甚至可将它输送至几百公里远的用能场所,这很适合沙漠或空旷地区建造利用太阳能生产燃料的基地;利用这种燃料得到动力或发电,可避开太阳辐射的周期性及随机性的缺点;在用能场所通过逆反应可得到原先的反应热。

这种转换技术的核心部件是太阳能接收器-反应器。经聚集的高强度太阳辐射射入接收器,产生所需的高温,使位于接收器内的反应器完成化学吸热反应。以色列和美国合作,利用由高强度太阳辐射驱动的钠热管作为管式反应器,对 CH_4 的 CO_2 重整进行了实验研究。结果表明,在 800°C 左右,反应产物中的 CO 和 H_2 可分别达41%和36%,与理论预示基本一致。有人建议上述反应可在一种容积式反应器中进行,关键部件是直接吸收式多孔催化反应器。由于反应器(也是吸收器)是多孔体,故受高强度的太阳辐射加热后不仅能获得高温,且有助于热化学反应。这类化学反应器的理论分析十分复杂,必须考虑多孔吸收体中太阳辐射和长波热辐射的辐射换热过程,多孔体与流体间的对流换热,多孔体本身的导热,带有化学反应的传热传质过程等。显然,上述过程不仅是多种传热方式的耦合和传热-传质的耦合,也是发生在多孔体中的物理和化学过程的耦合。正确地建立反映这种复杂过程的数理模型并进行求解,是难度很大的工作。为应用于工程实际,还必须分析经聚集的太阳辐射的强度,参与反应的气相流的流率,催化剂的重量比,对流换热系数及多孔体对太阳辐射和长波热辐射的衰减系数等的变化对热过程和化学反应过程的影响。

用太阳能制造“燃料”的另一方案是利用太阳辐射使 CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碳酸盐和氢氧化合物在高温下进行吸热反应,以得到固体氧化钙或氧化镁。瑞士科学家已利用腔体口敞开的旋风式太阳能反应器研究以压缩空气输送的碳酸钙粉末在高温下的热化学反应,获得了氧化钙。为进行这些研究,需建造得到高强度太阳辐射的实验装备,建立处于焦面的高温炉开口的辐射强度场的测试系统等。

PROGRESS OF SOLAR ENERGY RESEARCH AND RELATED PROBLEMS FOR STUDY

Ge Xinshi

(Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)