

国际铜业协会工业领域  
太阳能热利用调研报告

中国工业领域太阳能热利用  
现状及前景调研报告

上海交大太阳能发电与制冷工程研究中心

国际铜业协会资助项目

2009-7-28

# 前 言

为响应国家新能源政策，推进太阳能技术的开发和应用，促进企业节能减排，受国际铜业协会的委托，上海交大太阳能发电与制冷工程研究中心针对太阳能热利用技术在工业领域的应用潜力进行了调查和分析。调查涉及 22 个工业行业，重点选择烟草、纺织、食品、医药等 8 个典型行业进行了分析，内容包括工业行业用热结构分析，太阳能替代常规能源加热的可能性研究，节能潜力讨论等。还针对某些具体单位进行了调查和访谈。调研的单位是：黄岛电厂、昆明某茶叶公司、云南烟草研究所、河南永昌淀粉厂、上海江崎格力高食品厂、福建三明化工厂，中储粮昆明直属库等。分析表明，工业能耗的 60%左右属于加工用热，太阳能热利用在工业加热领域有广阔的发展前景。

由于时间紧，调查范围广，加上研究队伍认识水平有限，本研究报告肯定存在许多不尽完善之处，敬请各位读者指正。

上海交通大学 太阳能发电与制冷工程研究中心

2009 年 8 月 9 日

# 目 录

0 简介.....	1
0.1 调研的目的.....	1
0.2 报告的主要内容.....	1
0.3 执行总结.....	1
0.3.1 工业能耗及用热需求.....	1
0.3.2 太阳能热利用技术在工业领域应用现状.....	2
0.3.3 太阳能热利用技术应用于工业的可行性及潜力分析.....	2
0.3.4 太阳能热利用技术应用于工业领域需要克服的阻碍.....	3
1 能源现状.....	5
1.1 能源的可持续问题.....	5
1.1.1 能源是社会发展的动力.....	5
1.1.2 能源利用的问题.....	6
1.1.3 传统能源面临枯竭.....	7
1.2 工业能源利用现状.....	8
1.2.1 耗能状况.....	8
1.2.2 耗热状况.....	9
1.3 太阳能资源概述.....	10
1.3.1 太阳能资源的优点.....	10
1.3.2 我国太阳能资源分布.....	10
1.3.3 太阳能的利用方法.....	11
1.4 我国节能减排发展目标.....	12
1.4.1 节能减排目标.....	12
1.4.2 太阳能热利用产业发展目标.....	14
1.5 相关政策和法律.....	14
2 太阳能热利用技术.....	15
2.1 太阳能热利用技术概述.....	15
2.1.1 太阳能低温热利用技术.....	15
2.1.2 太阳能中温热利用技术.....	15
2.1.3 太阳能高温热利用技术.....	16
2.2 太阳能热利用技术及应用.....	16
2.2.1 太阳能热水技术.....	16
2.2.2 太阳能干燥.....	22
2.2.3 太阳能海水淡化.....	30
2.2.4 太阳能热发电.....	36
2.2.5 太阳能养殖.....	40
2.2.6 太阳能建筑.....	41
2.3 太阳能集热器的发展及应用状况.....	44
2.3.1 太阳能集热器的发展.....	44

2.3.2 太阳能集热器的性能及用材.....	44
2.3.3 太阳能集热器的应用.....	49
<b>3 太阳能热利用技术在工业领域应用现状.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1 国外研究与应用现状.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2 国内研究与应用现状.....</b>	<b>54</b>
<b>4 太阳能热利用技术在工业领域应用的前景分析.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 烟草业.....</b>	<b>56</b>
4.1.1 烟草业概况.....	56
4.1.2 烟草工艺.....	58
4.1.3 烟草耗能与用热现状.....	59
4.1.4 烟草业案例分析.....	59
4.1.5 烟草业应用太阳能的效益与前景分析.....	60
<b>4.2 食品加工业.....</b>	<b>61</b>
4.2.1 食品加工业概况.....	61
4.2.2 食品加工工艺.....	62
4.2.3 食品加工业耗能与用热现状.....	62
4.2.4 食品加工业案例分析.....	63
4.2.5 食品加工工业应用太阳能的效益与前景分析.....	64
<b>4.3 造纸业.....</b>	<b>65</b>
4.3.1 造纸业概况.....	65
4.3.2 造纸工艺流程.....	65
4.3.3 造纸业耗能与用热现状.....	67
4.3.4 造纸业案例分析.....	67
4.3.5 造纸业应用太阳能的效益与前景分析.....	68
<b>4.4 纺织业.....</b>	<b>68</b>
4.4.1 纺织业概况.....	68
4.4.2 纺织业工艺.....	69
4.4.3 印染行业耗能与用热现状.....	70
4.4.4 纺织业案例分析.....	71
4.4.5 行业应用太阳能的效益与前景分析.....	73
<b>4.5 化工业.....</b>	<b>75</b>
4.5.1 化工业概况.....	75
4.5.2 化工业工艺流程.....	76
4.5.3 化工业耗能与用热现状.....	76
4.5.4 化工业案例分析.....	77
4.5.5 化工业应用太阳能的效益与前景分析.....	78
<b>4.6 木材加工.....</b>	<b>79</b>
4.6.1 木材加工业概况.....	79
4.6.2 木材加工业工艺.....	79
4.6.3 木材加工业耗能与用热现状.....	80
4.6.4 木材加工业案例分析.....	80
4.6.5 木材加工业应用太阳能的效益与前景预分析.....	81
<b>4.7 塑料业.....</b>	<b>82</b>
4.7.1 塑料业概况.....	82

4.7.2 塑料加工工艺 .....	82
4.7.3 塑料业耗能与用热现状.....	83
4.7.4 塑料业案例分析 .....	84
4.7.5 塑料业应用太阳能的效益与前景分析.....	84
<b>4.8 医药业.....</b>	<b>85</b>
4.8.1 医药业概况.....	85
4.8.2 医药业生产工艺.....	85
4.8.3 医药业耗能与用热现状.....	86
4.8.4 医药业案例分析.....	86
4.8.5 医药业应用太阳能的效益与前景分析.....	87
<b>4.9 太阳能在油田稠油开采过程中的应用 .....</b>	<b>88</b>
4.9.1 石油开采能源消耗及解决现状.....	88
4.9.2 石油开采案例分析.....	89
4.9.3 太阳能应用前景.....	90
<b>4.10 太阳能海水淡化.....</b>	<b>90</b>
4.10.1 海水淡化概况 .....	90
4.10.2 海水淡化用能分析.....	92
4.10.3 海水淡化用铜分析.....	93
4.10.4 案例分析.....	93
4.10.5 海水淡化行业应用太阳能的前景分析.....	94
<b>5 太阳能应用于工业加热过程的可行性分析.....</b>	<b>98</b>
<b>5.1 太阳能应用于工业加热过程的可行性.....</b>	<b>98</b>
5.1.1 技术可行性.....	98
5.1.2 经济可行性.....	98
5.1.3 环保可行性.....	99
5.1.4 政策可行性.....	99
<b>5.2 太阳能应用于工业加热过程的潜力评价及用铜分析.....</b>	<b>100</b>
5.2.1 太阳能应用于工业加热过程的潜力评价.....	100
5.2.2 太阳能热利用技术应用于工业领域的用铜分析.....	100
<b>5.3 太阳能应用于工业加热过程需要克服的阻碍.....</b>	<b>102</b>
<b>7 主要参考文献.....</b>	<b>102</b>

# 0 简介

## 0.1 调研的目的

本调研报告的目的是分析太阳能热利用技术在工业领域中的应用潜力,包括调查工业领域主要用热行业的耗能状况,针对热量的利用形式和用量研究太阳能热利用技术在工业领域的应用前景。

## 0.2 报告的主要内容

本报告分析了工业领域重点耗能和用热行业的用热需求和技术解决方案,通过对典型案例的调查研究,对太阳能热利用技术在工业领域应用的可行性和潜力进行了分析。本报告主要内容包括:

- 1 太阳能热利用技术概况
- 2 工业领域热利用现状(重点是食品、纺织行业)
- 3 太阳能热利用技术应用于工业热过程的可行性分析
- 4 太阳能热利用技术在工业领域中的应用前景分析
- 5 典型案例研究

## 0.3 执行总结

### 0.3.1 工业能耗及用热需求

根据 2006 年的数据【1】,中国能耗占世界的 14.5%。根据国家统计局的数据【2】,近几年来,虽然社会能耗增长率有所下降,但能耗总量始终有增无减。根据 2009 年国际能源展望报告【3】,到 2030 年,世界能源消耗在 2006 年的基础上增长 26%,CO<sub>2</sub> 排放增长 22%,中国这两个数据分别是 111%和 95%。

相对于发达国家工业能耗占社会总能耗的 1/3,处于发展中的我国工业能耗占社会总能耗的 70%。

据统计,工业能耗的 50%-70%系工业加工用热。对于不同工业部门,其热负荷的分配很不一样,但温度一般不超过 300℃,压力在 9 个大气压以下。理论上,这样的用热需求可由太阳能技术满足。

### 0.3.2 太阳能热利用技术在工业领域应用现状

太阳能热利用分为低温（40~80℃）、中温（80~350℃）和高温（350~800℃）三类【10】，分别主要是生活用热、工业用热和太阳能热发电。

太阳能热利用技术在我国主要应用集中在低温民用和高温热发电。据统计，2007 年中国太阳能集热器的产量约占世界的 81.3%。2008 年，中国太阳能热水器年产量达 3100 万 m<sup>2</sup>，年增长率 32.5%，年销售额 400 亿，总保有量达 12500 万 m<sup>2</sup>。2009 年，太阳能热水器被列入“家电下乡”产品。

太阳能热利用技术在我国工业领域的应用则几乎是一片空白，除了常熟凯达印染厂、佛山佳利达纺织印染厂和浙江达利印染厂等几家公司外，少见报道。

国外对太阳能热利用技术在工业领域应用现状的研究始于上个世界七八十年代。欧美的 12 个国家对工业领域的用热品位进行了调查和研究。国际能源署先后在 1976 年启动了太阳能取暖与制冷计划（IEASHC）【4】，在 1977 年启动了以其和美国、俄国、德国、以色列、澳大利亚、瑞士、西班牙七团作为执行委员会的太阳能热动力和太阳能化学能系统计划（SolarPACESProgram）【5】，对太阳能的技术现状以及其应用于工业热过程的现状及前景进行了研究。

根据研究报告【6】，至 2006 年底，欧盟 25 国有 85 个太阳能热利用技术在工业领域应用的工程，总量为 25MWth（35,700m<sup>2</sup>）。这些工程分布在 19 个国家，涵盖了 11 个不同的工业领域，平均每个工程的规模为 320KWth，标志了太阳能热利用技术在工业领域的成功应用。

根据最新的估算【6】，在欧盟 25 国，太阳能的热利用技术应用于工业加热过程的潜力是 90~112 GWth（128 – 160million m<sup>2</sup>），占工业用热总需求的 2.5%。

### 0.3.3 太阳能热利用技术应用于工业的可行性及潜力分析

技术上，适合于工业热利用的中温集热器发展迅速，有减反层双层透明盖板的平板集热器(FPC)、全玻璃或玻璃—金属真空管集热器（ETC）、固定 CPC 集热器、小型抛物槽式集热器（PTC）与线聚焦菲涅耳集热器。【7】

经济上，对所研究的几个行业进行分析，得出若太阳能替代相关热力消耗的 10%，则每年可以节省标煤 2600 多万吨，标煤价格按 1000 元/吨计算，则每年可以节省 266.3 亿元。

而太阳能的系统虽然初投资高，根据所调研案例分析，一般在 3-7 年内均能收回成本，若按平均 5 年收回成本，而太阳能系统的寿命按 15 年计算，则在其寿命期内，则可以节省大概 2663 亿元。

环保上，太阳能是清洁能源，使用过程中不会排放任何污染环境的气体且不会像煤、石油那样在使用过程中会排放出 CO<sub>2</sub>，使大气变暖。据报道，**2007 年我国二氧化碳排放量大约为 32.5 亿吨**，若太阳能替代工业用热的 10%，则可以减排 6.2 亿吨左右的二氧化碳，相当于 2007 年的 **19%**。

政策上，2006 年我国开始实施《可再生能源法》，促进可再生能源的开发利用，增加能源供应，改善能源结构，鼓励单位和个人安装和使用太阳能热水系统、太阳能供热采暖和制冷系统、太阳能光伏发电系统等太阳能利用系统。2007 年国家发布了《可再生能源中长期发展规划》，提出充分利用水电、沼气、太阳能热利用和地热能等技术成熟、经济性好的可再生能源，加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展，逐步提高优质清洁能源在能源结构中的比例，力争到 2010 年使可再生能源消费量达到能源消费总量的 10%，到 2020 年达到 15%。2009 年 7 月上旬，财政部，住房和城乡建设部制定了《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》和《加快推进农村地区可再生能源建筑应用的实施方案》。

根据《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》，将在今后 2 年内新增可再生能源建筑应用面积具备一定规模（地级市应用面积不低于 200 万平方米，或应用比例不低于 30%；直辖市、副省级城市应用面积不低于 300 万平方米）的城市纳入示范城市，中央财政将予以 5000 万元到 8000 万元的专项补助。

根据《加快推进农村地区可再生能源建筑应用的实施方案》，以县为单位实施农村地区可再生能源建筑应用的示范推广，每个示范县给予不超过 1800 万元的补助资金。农村可再生能源建筑应用补助标准为：地源热泵技术应用 60 元/平方米，一体化太阳能热利用 15 元/平方米。

### **0.3.4 太阳能应用于工业加热过程的潜力评价及用铜分析**

调研发现，工业能耗占社会能耗 70%左右，热力消耗过程占工业能耗的 60%左右。所研究的行业中热力能耗值比较高是化工业、造纸业、食品加工业和纺织业。化工业对用热的需求一般温度和压力比较高，需要太阳能中高温技术才能满足。相对而言，太阳能中低温技术是比较成熟的，在未来的发展中，造纸业、食品业和纺织业有很大的应用太阳能热技术的



潜力。尤其是食品加工工业和纺织业，已有成功应用的范例。

所研究行业热力消耗若 10%由太阳能提供，则所需要的集热器面积为 2.5 亿平方米，若按目前集热器的市场份额，则需铜 16.6 万吨。

### 0.3.5 太阳能热利用技术应用于工业领域需要克服的阻碍

太阳能热利用技术在工业领域的应用工程非常地少，许多相当工业领域的决策者甚至没有听过太阳能工业加热系统，这是阻碍太阳能工业加热进程的主要原因。

另一方面，在面对基本设施需求的时候，企业决策者非常保守，尤其是在考虑到一些工业过程的严格用热需求，总是会选择传统的、久经时间证明的技术。对企业来说，常常宁愿信赖未来价格不定的传统燃料也不愿意承担系统中断的风险。

成本方面，正如许多可再生能源一样，太阳能工业加热系统的成本是相当高的，但运行费用比较低。而就目前的技术水平，系统投资回收期还在商业要求之外。

技术方面，许多工业过程需要高于传统太阳能热利用（民用太阳能热水器、采暖、太阳能游泳池）的温度。为了满足这些需求，就需要新的设计甚至新的材料。

规范标准方面，目前为止，仅少数机构有太阳能工业热利用项目的安装经验。合适的规划指导及技术文件仍然缺乏。

人才方面，缺乏过太阳能工业加热技术应用相关人才。没有人才积累和相关知识就不能很好地解决太阳能工业加热问题。

# 中国工业领域太阳能热利用 现状及前景调研报告

## 1 能源现状

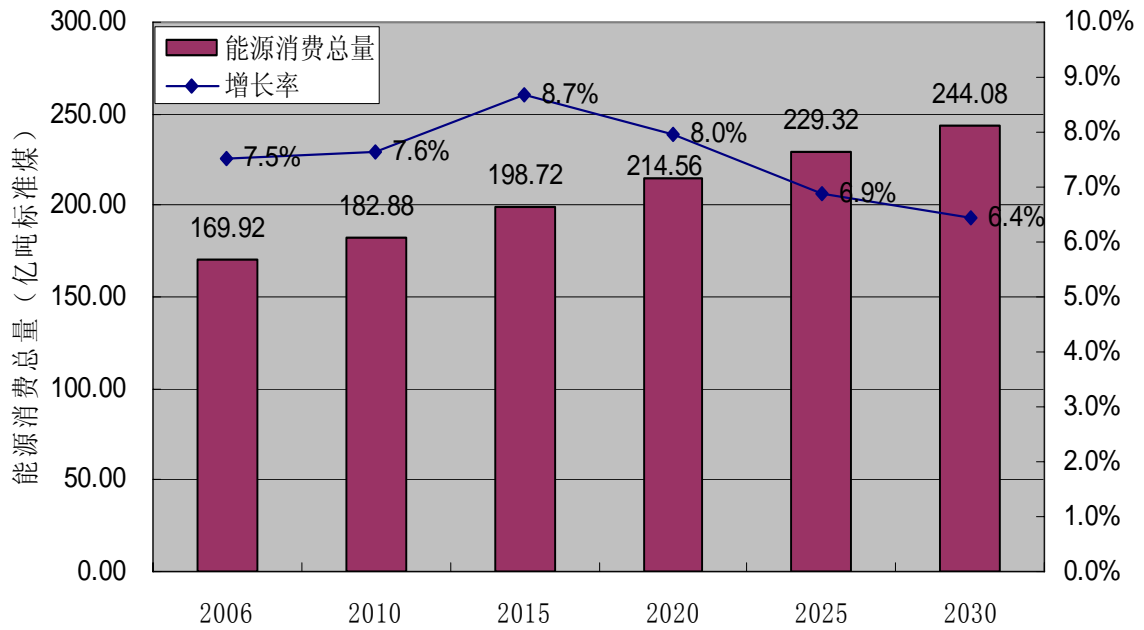
### 1.1 能源的可持续问题

可持续发展问题是 21 世纪人类面临的最大的中心问题之一。而实现可持续发展的战略目标，可持续能源供应的支持是必不可少的，也可以说能源是实现可持续发展的关键因素之一。

#### 1.1.1 能源是社会发展的动力

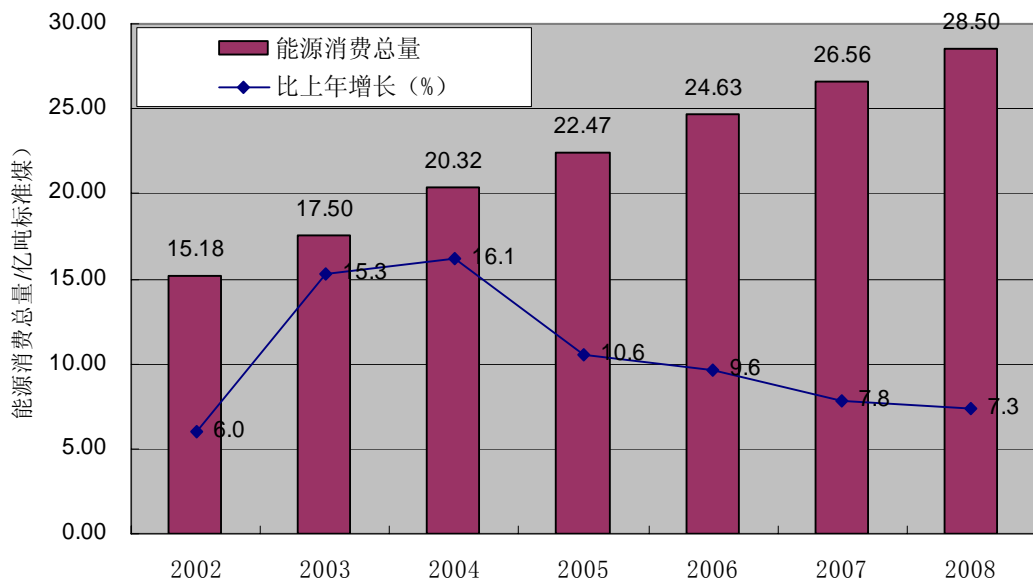
自从人类告别了渔猎进入农耕以来，从刀耕火种开始，人类社会的文明进步一直依赖于能源这个物质基础的支撑。尤其是以蒸汽机为代表的工业革命以来，能源技术推动了经济和社会的高速发展，每时每刻都在改变着我们生活的各个方面，渗透到社会和经济的每个角落。不要说全面的能源危机，即使是须臾的停电也是现代社会经济和生活不能容忍的，后果是严重的甚至是灾难性的。

由图 1-1 和图 1-2 可以看出，最近的几年世界能源的消耗仍然保持着高速的增长。未来的趋势虽然增长率会有所下降，但消耗总能总是有增无减。而中国是能源消费的大国。根据 2006 年的数据【1】，中国能源消耗总量占世界能源消耗总量达 14.5%。



资料来源：美国能源资料协会（EIA）《国际能源展望报告 2009》

图 1-1 世界能源消费增长现状与预测



资料来源：国家统计局

图 1-2 最近几年来中国能源消费增长情况

### 1.1.2 能源利用的问题

但是能源利用也造成了发展中的问题，大量矿物燃料的使用已造成了酸雨等局部环境污染，并且由于大量二氧化碳的排放正在对大气环境造成影响，已成为温室气体的主要排放源。能源的开采、运输，以及农村地区大量消耗生物质能源造成了植被破坏、水土流失等一系列

生态问题。

根据美国能源资料协会的展望，到 2020 年，世界能源消耗在 2006 的基础上增长 26%，CO<sub>2</sub> 的排放增加 22%。而中国的增长则远超过世界的增长量，这两个数字分别达到 68%和 57%。

表 1-1 能耗与 CO<sub>2</sub> 排放量的增长趋势

	时间段	能量消耗	CO <sub>2</sub> 排放
中国	2006-2020	+68%	+57%
中国	2006-2030	+111%	+95%
世界	2006-2020	+26%	+22%
世界	2006-2030	+44%	+39%

资料来源：美国能源资料协会（EIA）《国际能源展望报告 2009》

CO<sub>2</sub> 的排放同时也造成了全球气温的大幅度上升，给沿海低地和生物物种造成了全安威胁。图 1-3 给出了近百年来全球气温的变化【8】。

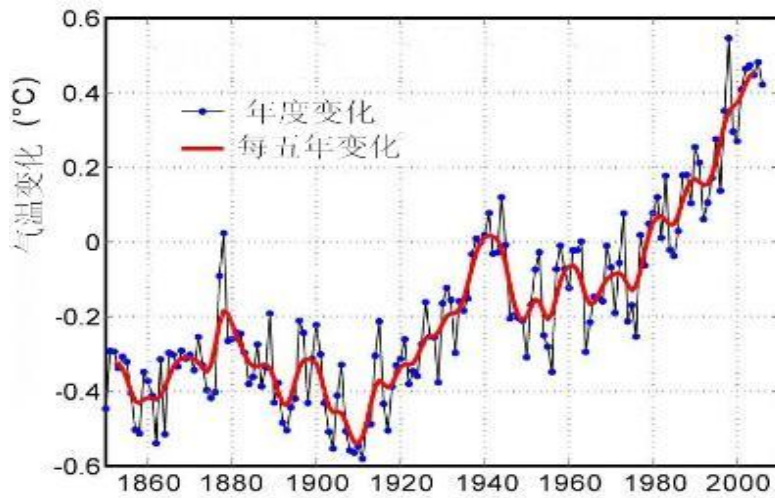


图 1-3 近百年来全球气温变化

### 1.1.3 传统能源面临枯竭

随着矿物燃料的日益枯竭，清洁能源的可持续供应问题已经迫切地摆到了我们面前。能源与经济、环境和社会问题交织在一起，向 21 世纪的发展提出了严峻挑战。从图 1-4 可以看出在本世纪内，石油、天然气、铀将消耗待尽。而 230 年后，相对储量较多的煤也将枯竭。

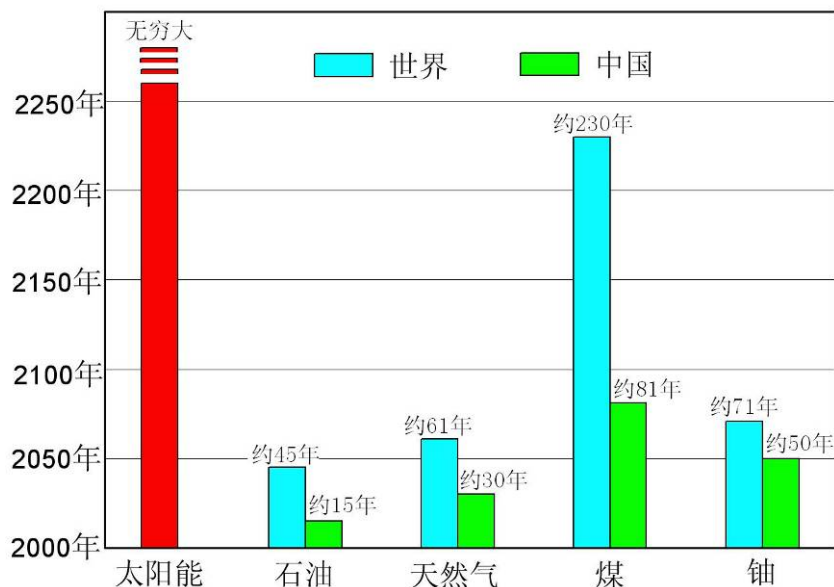


图 1-4 世界各类资源现状【3】

## 1.2 工业能源利用现状

### 1.2.1 耗能状况

我国能源消费部门的构成与世界发达国家相比存在明显差异，世界发达国家的能源消费构成大致为：工业占 1/3，交通运输占 1/3，建筑业占 1/3。虽然我国三大产业的能源消费构成已发生了变化，但仍以第二产业为主。由图 1-5 可以看出，工业部门能源消费量占总能源消费的 70%。

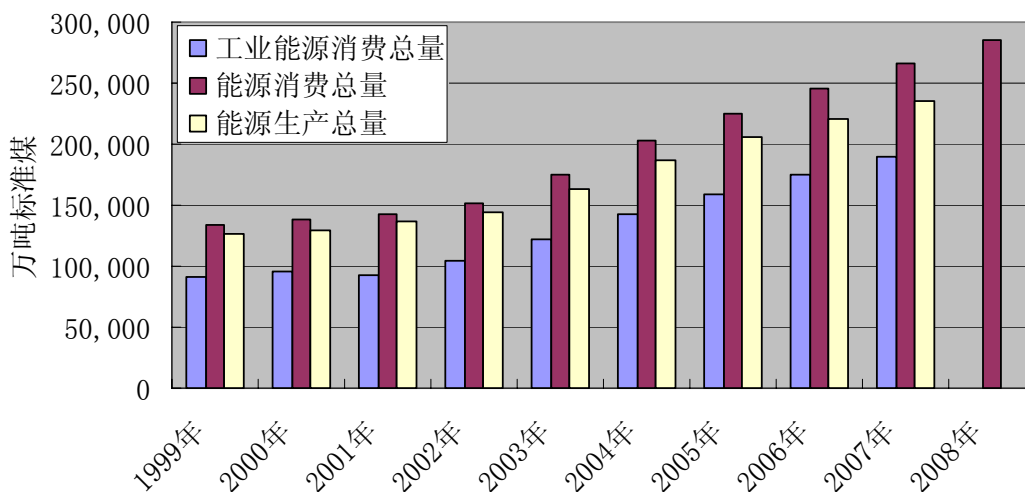


图 1-5 我国能源近 10 年来能源的生产与消费状况【2】

## 1.2.2 耗热状况

工业部门是能量的最大消耗者。据统计，工业生产所消耗的总能量约占全国总能耗的70%，其中50%-70%系工业加工用热。对于不同工业部门，其热负荷的分配很不一样，但温度一般不超过300℃，压力在9个大气压以下。工业领域主要行业的用热如表1-2所示。

表 1-2 工业领域热利用情况

工业利用领域	用途	热能形式	温度
食品加工	冲洗	水蒸气	80-150℃
	浓缩	蒸汽	130-190℃
	干燥	蒸汽(空气)	130-240℃
塑料加工	引发	蒸汽	130-150℃
	快速分离	蒸汽	150℃
	挤压	蒸汽	150℃
	干燥	蒸汽(空气)	180℃
	混合	蒸汽	150℃
玻璃加工	压平	空气	110-150℃
	干燥纤维	空气	130-180℃
化学工业	加热浸折	蒸汽(空气)	150-180℃
	烘干	蒸汽(空气)	150-180℃
造纸工业	牛皮纸漂白	蒸汽	150-180℃
	干燥	蒸汽	150℃
木材加工	窖内烘干	空气	80-120℃
	胶合板制备	蒸汽	120-180℃
	热压纤维板	蒸汽	200℃
合成橡胶	引发	蒸汽	130℃
	单体回收	蒸汽	130℃
	干燥	蒸汽(空气)	130℃
纺织工业	漂洗	水	80-100℃
	处理	蒸汽	80-130℃
	干燥	蒸汽(空气)	80-140℃
公路建设	融化沥青	蒸汽	120-180℃
烟草行业	制丝	蒸汽	150-200℃

## 1.3 太阳能资源概述

### 1.3.1 太阳能资源的优点

#### 1) 资源丰富

太阳能是取之不尽的可再生能源，可利用量巨大。太阳每秒钟放射的能量大约是  $1.6 \times 10^{23} \text{kW}$ ，其中到达地球的能量高达  $8 \times 10^{13} \text{kW}$ ，相当于  $6 \times 10^9$  吨标准煤。按此计算，一年内到达地球表面的太阳能总量折合标准煤共约  $1.892 \times 10^{13}$  亿吨，是目前世界主要能源探明储量的一万倍。太阳的寿命至少尚有 40 亿年，相对于常规能源，取之不尽，用之不竭。

#### 2) 分布广泛

虽然由于纬度不同、气候条件的差异造成了太阳能辐射的不均匀，但相对于其他能源来说，太阳能对于地球上绝大多数地区具有存在的普遍性，为常规能源缺乏的国家和地区解决能源问题提供了美好前景。

#### 3) 清洁

太阳能像风能、潮汐能等洁净能源一样，其开发利用时几乎不产生任何污染。

#### 4) 经济

一方面，太阳能取之不尽用之不竭，另一方面，在目前的技术发展水平下，有些太阳能利用已具经济性，如太阳能热水器一次投入高，但其使用过程不耗能。

### 1.3.2 我国太阳能资源分布

太阳能是最重要的可再生能源之一，资源总量大，分布广，使用清洁，不存在资源枯竭的问题。我国太阳能资源十分丰富，全国有 2/3 以上的地区，年辐照量大于 502 万千焦/平米，年日照时数在 2000 小时以上。

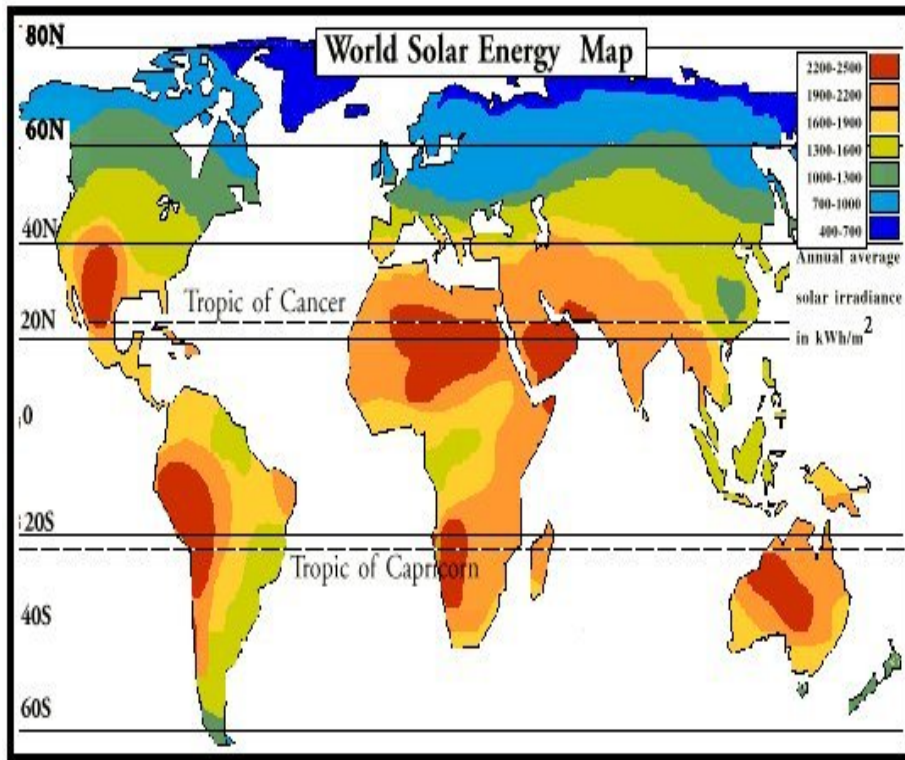


图 1-6 世界太阳能资源分布

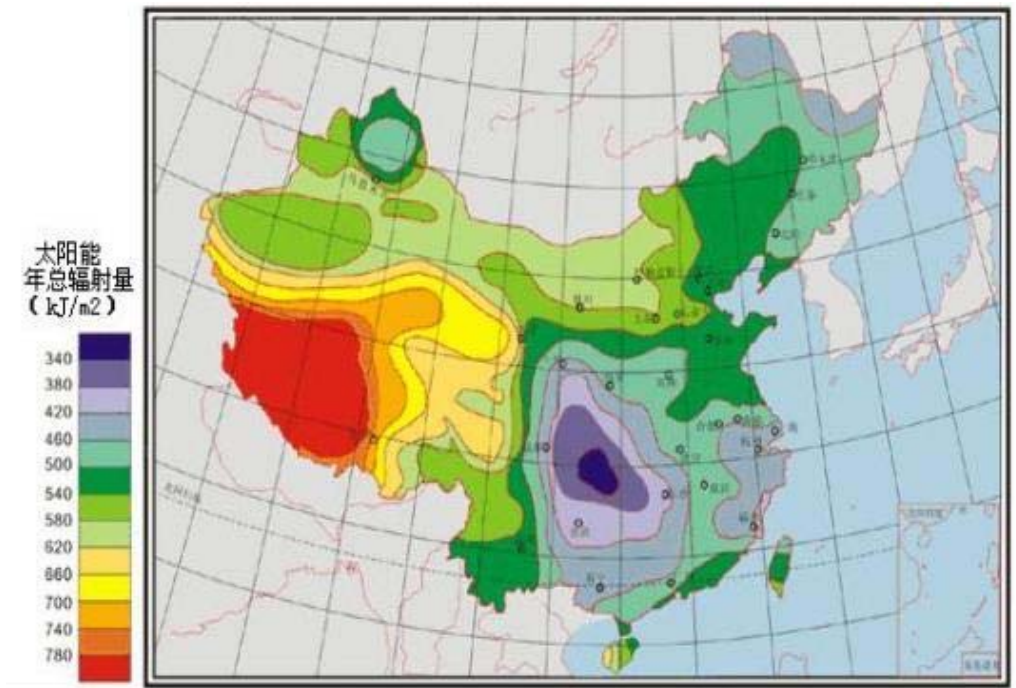


图 1-7 我国太阳能资源分布

### 1.3.3 太阳能的利用方法

人类利用太阳能有以下几种方法

- 1) 光热转换：利用技术设备，将太阳能转换成热能。常见的有太阳能热水器、太阳灶



等。

2) 光电转换：利用光电效应将太阳能转换成电能。如太阳能电池。

3) 光化学转换：利用光合作用原理，把绿色植物用化学或生物方法处理，得到固体燃料、液体燃料、肥料和石油化工代用品。

本文主要对光热转换利用进行研究。

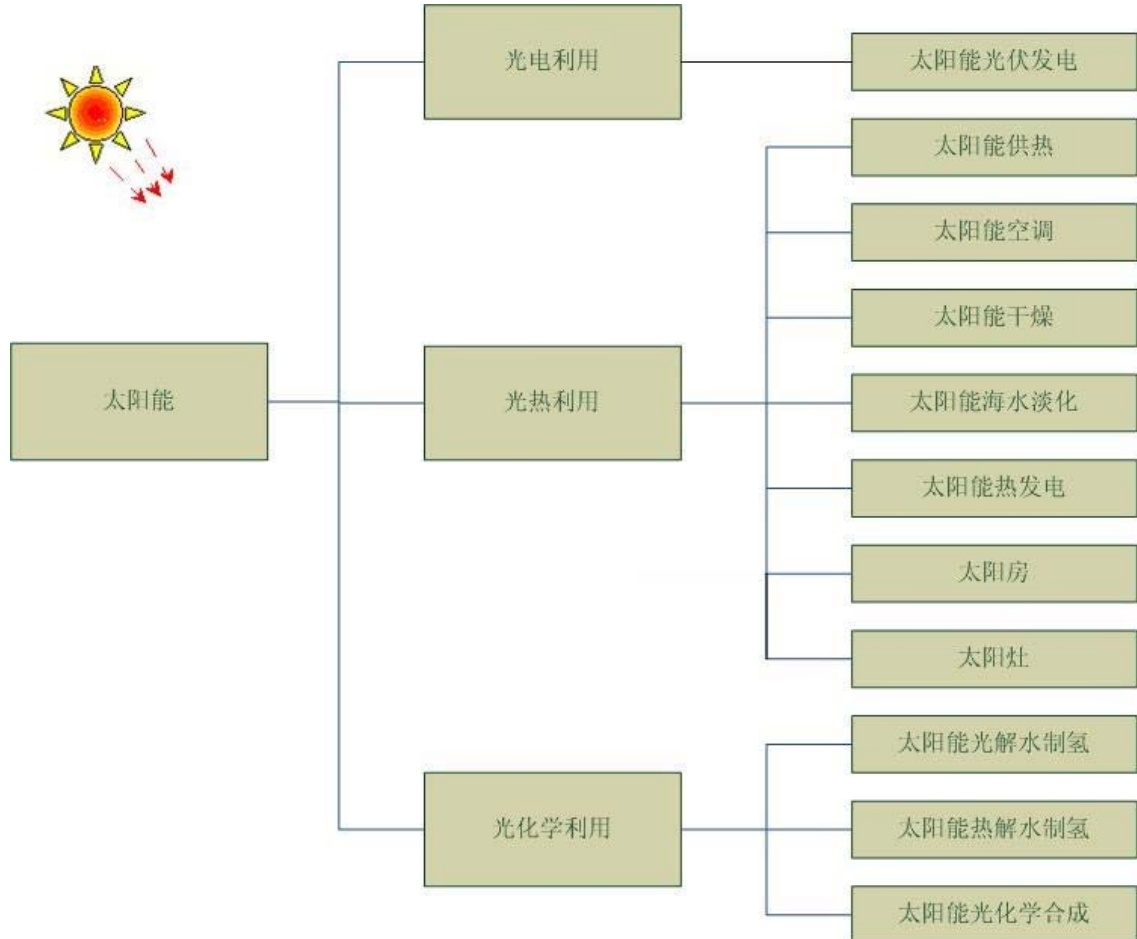


图 1-8 太阳能的利用方式

## 1.4 我国节能减排发展目标

### 1.4.1 节能减排目标

为了人类免受气候变暖的威胁，1997年12月，《联合国气候变化框架公约》第3次缔约方大会在日本京都召开。149个国家和地区的代表通过了旨在限制发达国家温室气体排放量以抑制全球变暖的《京都议定书》。《京都议定书》规定，到2010年，所有发达国家二氧化碳等6种温室气体的排放量，要比1990年减少5.2%。具体说，各发达国家从2008年到

2012年必须完成的削减目标是：与1990年相比，欧盟削减8%、美国削减7%、日本削减6%、加拿大削减6%、东欧各国削减5%至8%。新西兰、俄罗斯和乌克兰可将排放量稳定在1990年水平上。议定书同时允许爱尔兰、澳大利亚和挪威的排放量比1990年分别增加10%、8%和1%。

中国政府认真履行《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》，出台了促进节能减排和应对气候变化的方案，各行业也制定了行业节能减排目标。

2007年6月国务院发展与改革委员会同有关部门制定和印发了《节能减排综合性工作方案》，明确了2010年中国实现节能减排的目标任务和总体要求。

到2010年，中国万元国内生产总值能耗将由2005年的1.22吨标准煤下降到1吨标准煤以下，降低20%左右；单位工业增加值用水量降低30%。“十一五”期间，中国主要污染物排放总量减少10%，到2010年，二氧化硫排放量由2005年的2549万吨减少到2295万吨，化学需氧量（COD）由1414万吨减少到1273万吨；全国城市污水处理率不低于70%，工业固体废物综合利用率达到60%以上。

2007年6月中国政府发布《应对气候变化国家方案》，提出了到2010年中国应对气候变化的总体目标，方案提出通过大力发展可再生能源，积极推进核电建设，加快煤层气开发利用等措施，优化能源消费结构。到2010年，力争使可再生能源开发利用总量（包括大水电）在一次能源消费结构中的比重提高到10%左右，煤层气抽采量达到100亿立方米。

造纸行业计划在“十一五”期间将水污染物（COD）排放总量削减12.5%，即由2005年的160万吨降至2010年的140万吨。

纺织业制定了《纺织工业“十一五”发展纲要》，提出了关于节能、降耗和减排的四项约束性指标，其中水耗、能耗下降幅度均高于全国“十一五”纲要的要求。印染行业到“十一五”末，先进设备比重要达到40%，劳动生产率提高到112000元/人·年，单位产值的污水排放量比2005年降低22%，万元产值耗电比2005年降低10~15%。

烟草业，2007年8月13日，国家烟草专卖局（以下简称国家局）下发了《关于烟草行业加强节能减排工作的实施意见》，“到2010年，烟草行业万元产值能耗由2005年的54.9千克标煤下降到43.9千克标煤，降低20%”和“主要污染物排放指标符合国家标准（或行业规定）”的节能减排目标出台；“建立烟草行业节能减排工作报告制度和通报制度”、“加大考核力度”等意见被提出；与此同时，国家局成立了烟草行业节能减排工作领导小组。

石油和化工业，中国石油和化学工业协会制定的石油和化工行业“十一五”节能减排目标是：到2010年，万元工业增加值能耗比2005年下降15%~20%，单位工业增加值用水量比

2005 年下降 30%，工业用水重复利用率达到 90%，工业固体废弃物综合利用率达到 70%，主要污染物排放总量减少 10%。

### 1.4.2 太阳能热利用产业发展目标

调查研究表明【9】，工业耗能在发达国家占社会总能耗的 1/3，在中国占社会总能耗的 70%。而根据欧盟国家的数据，工业用热耗能占工业能耗的 67%，占社会总能耗的 18.6%。其中大部分工业过程用热需求都在 250℃ 以下，太阳能热利用技术在工业领域的应用前景可期。

与太阳能热水系统相比，太阳能供暖、空调系统与工业用热对太阳能集热器的热性能提出了更高的要求；太阳能供暖系统是在冬季使用，环境气温较低会加大集热器的热损失，夏季空调使用的热驱动制冷机（吸收、吸附及除湿空调）以及工业加热等场合需要高温水作热源，要求集热器产生 50~250℃ 的热能。而目前国内的集热器产品主要是为适应太阳能热水的使用要求，用于太阳能供暖、空调系统和工业加热时的热效率较低，直接影响了系统的效益，所以，太阳能热利用产品发展的重要方向是开发可适用于太阳能供暖、空调系统与工业用热的中温太阳能集热产品。

## 1.5 相关政策和法律

2006 年我国开始实施《可再生能源法》，促进可再生能源的开发利用，增加能源供应，改善能源结构，鼓励单位和个人安装和使用太阳能热水系统、太阳能供热采暖和制冷系统、太阳能光伏发电系统等太阳能利用系统。

2007 年国家发布了《可再生能源中长期发展规划》，提出充分利用水电、沼气、太阳能热利用和地热能等技术成熟、经济性好的可再生能源，加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展，逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例，力争到 2010 年使可再生能源消费量达到能源消费总量的 10%，到 2020 年达到 15%。

2009 年 7 月上旬，财政部，住房和城乡建设部制定了《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》和《加快推进农村地区可再生能源建筑应用的实施方案》。

根据《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》，将在今后 2 年内新增可再生能源建筑应用面积具备一定规模（地级市应用面积不低于 200 万平方米，或应用比例不低于 30%；直辖市、副省级城市应用面积不低于 300 万平方米）的城市纳入示范城市，中央财政将予以 5000 万元到 8000 万元的专项补助。

根据《加快推进农村地区可再生能源建筑应用的实施方案》，以县为单位实施农村地区可再生能源建筑应用的示范推广，每个示范县给予不超过 1800 万元的补助资金。农村可再生能源建筑应用补助标准为：地源热泵技术应用 60 元/平方米，建筑一体化太阳能热利用 15 元/平方米。

## 2 太阳能热利用技术

### 2.1 太阳能热利用技术概述

太阳能热利用系统根据温区不同又分为低温太阳能利用系统（80℃以下）；中温太阳能利用系统（80~350℃）；高温太阳能利用系统（350℃以上）。

表 2-1 太阳能热技术的应用【10】

太阳能技术	温度范围	应用	具体
低温	<80℃	民用	生活热水、采暖、干燥、蒸馏、农用温室
中温	80~350℃	民用、工业	工业用热、制冷空调、烹调
高温	>350℃	工业、发电	热发电、材料高温处理、有毒物料的处理

#### 2.1.1 太阳能低温热利用技术

低温太阳能热利用系统应用领域主要包括热水器、被动式太阳房、太阳能干燥、太阳能制冷等。近年来，低温太阳能利用系统的主要研究发展任务是降低太阳能集热器的制造成本、提高运行效率和可靠性，简化设备安装的方法。低温太阳能利用系统中，决定成本和效率的关键部件是集热器，目前真空管集热器和平板集热器在各类低温太阳能热利用系统广泛应用。真空管集热器和平板集热器在我国都有较好的基础。另外，密封技术取得了很大进展，吸热涂层的性能大为提高。这些成果标志着低温太阳能技术日趋成熟。

#### 2.1.2 太阳能中温热利用技术

中温太阳能利用系统主要给工业生产提供中温用热，例如木材的干燥、纺织品的漂白印染、塑料制品的热压成形和化工的蒸馏等。中温太阳能利用系统的集热器都要一定程度的聚光，近几年来，聚光集热器的研制有了很大进展，开始由实验室走向市场。但聚光集热器的

成本远高于非聚光集热器，而且中温系统的蓄热比低温系统困难得多，这些问题的解决还有待进一步研究。

随着太阳能事业的发展，不同形式的中温聚焦或非聚焦集热器相继出现。这些集热器的运行温度一般在 90℃ 以上，最高可达 350℃，能产生高温热水或低温低压蒸汽，适合许多工业部门利用。

### 2.1.3 太阳能高温热利用技术

高温太阳能利用系统主要用于大型热发电，它的集热系统需建造大型的抛物面聚光集热器和定日镜场。这两者的投资耗费太大，它的应用目前尚处在实验示范阶段。近几年来，我国集中目标在研究技术先进、成本较低的定日镜，以及应用较为成熟的槽式聚光集热器。

## 2.2 太阳能热利用技术及应用

### 2.2.1 太阳能热水技术

#### 1) 技术简介

太阳能热水技术主要指民用热水技术。对于民用太阳能热水系统，一般来说，主要由集热器、蓄热水箱、冷水和热水管道、安装支架和喷头、阀门等附件组成。集热器将太阳辐射能转换为水的热能；贮水箱起贮存热水的作用。太阳能热水器的种类很多，实用的有二十多种，彼此各有优点和缺点。有的效果不好，但造价十分便宜；有的虽然造价很高，但效果很好，即使在冬季也能很好地使用。

根据采热结构的作用原理可分为：开放式；封闭式；一次加热式；循环式。

按照水在集热器中的状态，可分为：静止型；流动型。在静止型热水器中，水在集热器中是不流动的。静止型热水器往往把集热器和蓄水箱合二为一，既省去了蓄水箱，也减少了许多连接管道，结构简单、造价低、制造容易。但在大多数情况下热效率较低。静止型热水器包括适用于低温热水系统的浅池式热水器和比较适用于家庭使用的闷晒式热水器。流动型热水器的种类很多。按流动性质的不同可以分为强制对流和自然对流；按流动形式的没可分循环式和直流式。流动型热水器的系统比静止型热水器要复杂，放热率也高一些。

图2-1与图2-2为自然循环和强制循环太阳能热水系统原理图，图2-3和图2-4为太阳能热水系统的实际应用。

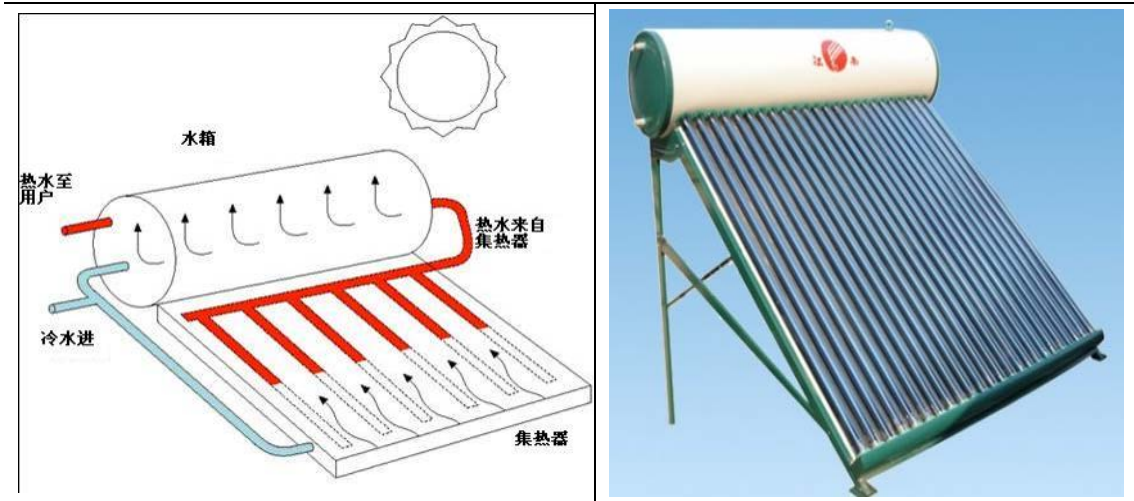


图2-1 自然循环太阳能热水系统原理及实物

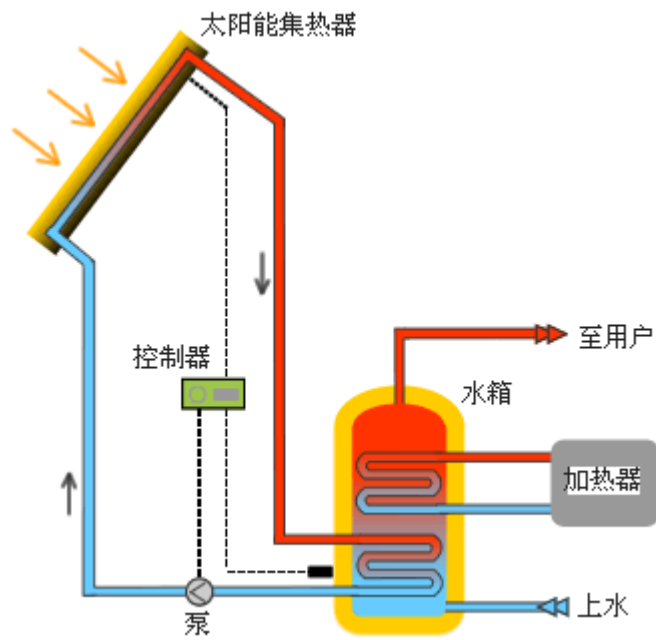


图2-2 强制循环太阳能热水系统





图2-3 三湘四季花城阳台壁挂式太阳能热水系统



图2-4 上海烟草公司太阳能热水系统现场图

## 2) 国外发展

随着世界能源的短缺和对环境污染的日益严重，在世界许多国家，太阳能已成为商业化程度最高、利用最广泛的可再生能源之一，太阳能热水器、太阳能采暖、太阳房等已非常普及。

美国【11】太阳能热水器的应用和技术已经非常成熟，2003年总消费量为96万平方米（进口32万平方米），出口7.8万平方米，共计104万平米。日本有40%的家庭在使用太阳能热水器，环境与能源管理局计划在未来7年内每年投资1220万美元宣传使用太阳能热水器的发处、培训太阳能热水器安装修理人员，并对购买使用太阳能热水器的国民予以经济补贴。

以色列【11】地处亚洲西部，地中海东南部，气候夏季炎热干燥，冬季温暖湿润，同南非一样是世界上太阳能可利用率最高的区域之一。同时，以色列也是唯一一个在法律上规定民用建筑必须安装太阳能热水器的国家，因此以色列太阳能热水器的普及率高达90%，其人均使用太阳能热水器面积居世界首位，达1平方米/人。

欧洲【12】计划太阳集热器2010年保有量6000万平方米。根据Eurobarometer 2002年预测欧共体2003-2010年太阳热水器将以35%的增长速度增加，届时太阳集热器总面积将达到8155-10000万平方米。

### 3) 国内发展

随着经济的高速增长，能源危机和环境污染日益严重，推广利用清洁能源是今后发展的必然趋势。我国对太阳能产业的扶持正在逐步加强。国家经贸委出台了《2000-2015年新能源和可再生能源产业发展规划》，为包括太阳能热利用在内的新能源和可再生能源产业和市场的发展做出了长期规划，到2015年，新能源和可再生能源的开发利用量将占到能源供应总量的2%。房地产业的蓬勃发展和太阳能产品的建筑一体化发展给太阳能利用行业带来的广阔前景，由建设部制定的《建筑节能“九五”计划和2010年规则》中将太阳能热水系统列入成果推广项目，并积极开展实施了“中国住宅阳光计划”。

太阳能热水器是我国太阳能利用中应用最广泛、产业化发展最迅速的太阳能产品。由我国自主开发生产的全玻璃真空管太阳集热器的科技水平、制造技术、生产规模均处于国际领先水平，且生产成本低廉，具有较强的国际竞争力。

总体来说，在国家政策的大力支持下，近年来，太阳能热利用产业主要是太阳能热水器行业得到快速发展。2008年，中国太阳能热水器行业的总产值为430亿元人民币，出口额约为1.2亿美元，出口到80多个国家。如果按照太阳能集热器（太阳能热水器最核心的部分）面积计算，2008年中国太阳能热水器行业的总产量为3100万平方米，占全世界产量的70%。目前，中国太阳能热水器保有量为1.23亿平方米，占世界的60%。太阳能热水器与燃气热水器、电热水器并列已经成为三大热水器产品之一。目前，我国已成为太阳能热水器应用的绝对大国。但是，这仅是太阳能的低温热利用一个方面，通常用来提供40℃—80℃



的生活用热水。

我国太阳能热水器产品不仅质优价廉，而且产量已形成一定规模，以上为出口提供了良好的环境，包括欧洲、南非、美洲等许多市场。

#### 4) 太阳能热水系统的优势和局限

##### 优势：

- 太阳能取之不尽、用之不竭。只要有阳光，太阳能热水系统就可进行光热转换，一年四季均可运行。
- 绿色环保。太阳能作为一种洁净的可再生能源，无环境污染，无安全隐患。
- 不消耗常规能源。减少 CO<sub>2</sub> 排放。
- 经济效益显著，一次投资而长期受益。

##### 局限：

- 受天气变化限制，阴雨天需要启动辅助能源加热。

#### 5) 案例介绍及效益分析

北京市某小区太阳能热水系统工程，平屋面7层住宅，7层为跃层；建筑面积：4800m<sup>2</sup>，分3个单元，总户数21户。

##### (1) 系统设计原理图【13】

太阳能热水系统设计原理见图2-5：

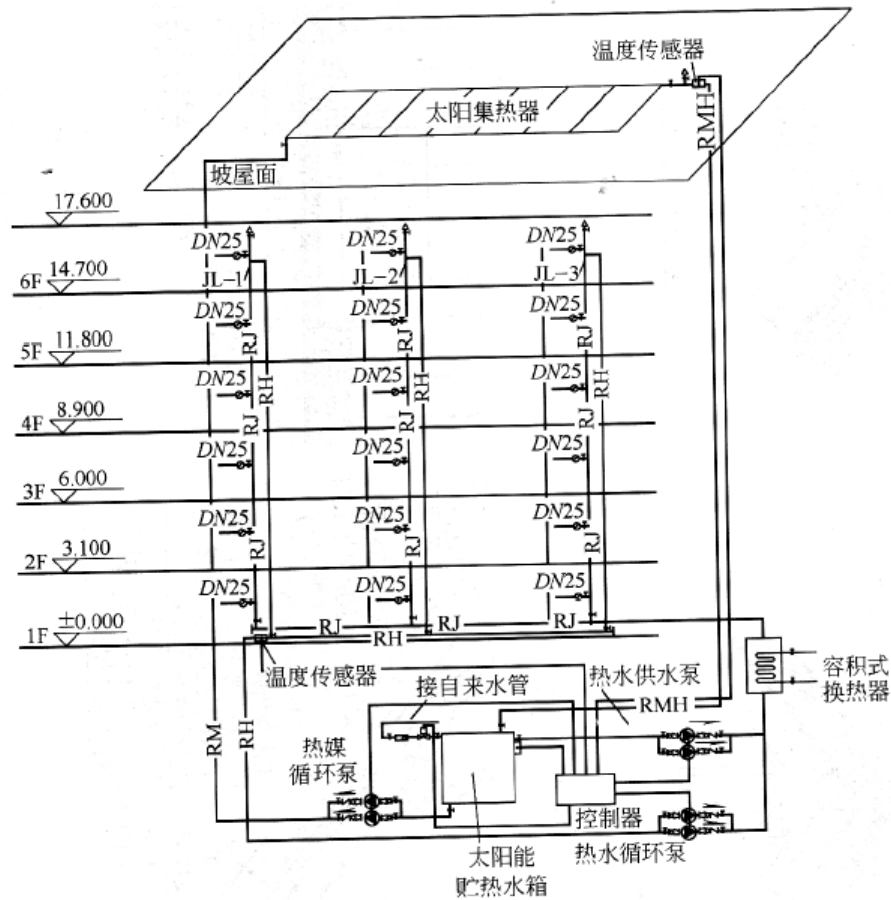


图2-5 太阳能热水系统设计原理图

(2) 节能效益分析

基础参数：太阳能热水系统增投资5.2万元。天然气价格：1.9元/m<sup>3</sup>，天然气热值：34000kJ/m<sup>3</sup>。

回收年限：系统回收年限为系统在该时间段内节省的费用等于系统增投资增加的费用。在该案例中主要增系统增投资为初期的增投资，而节省的费用主要是指燃料费用的节省。根据公式，计算得该系统的投资回收期为7.27年。

太阳能热水系统二氧化碳减排量：取W=29308kJ/kg；n=15年； $F_{co_2}=0.404\text{kg碳/kg标准}$

碳。代入公式： $Q_{co_2} = \frac{\Delta Q_{save} \times n}{W \times Eff} \times F_{co_2} \times \frac{44}{12}$ ，则 $Q_{co_2}=97\text{t}$ ，即在15年内二氧化碳的减排量

为97吨。

## 2.2.2 太阳能干燥

### 1) 技术简介

太阳能干燥的原理是被干燥的物料直接吸收太阳能或通过太阳能集热器,所加热的空气的对流传热,间接地吸收太阳能,物料表面获得热能后,再传至物料内部,水分从物料内部,以液态或气态方式扩散,使液态或气态方式扩散,使物料逐步干燥。如图2-5,是简单的温室型太阳能干燥器。

太阳能干燥器根据装置的组成,可分为4种类型【14】:

#### ①温室型太阳干燥器

温室即为干燥室。将物料置于温室内,直接吸收太阳辐射,温室内的空气被加热升温,物料脱去水分,通风装置排去含湿量大的空气,加快物料的干燥周期。图2-6和图2-7分别为温室型太阳干燥器的原理和实验图。

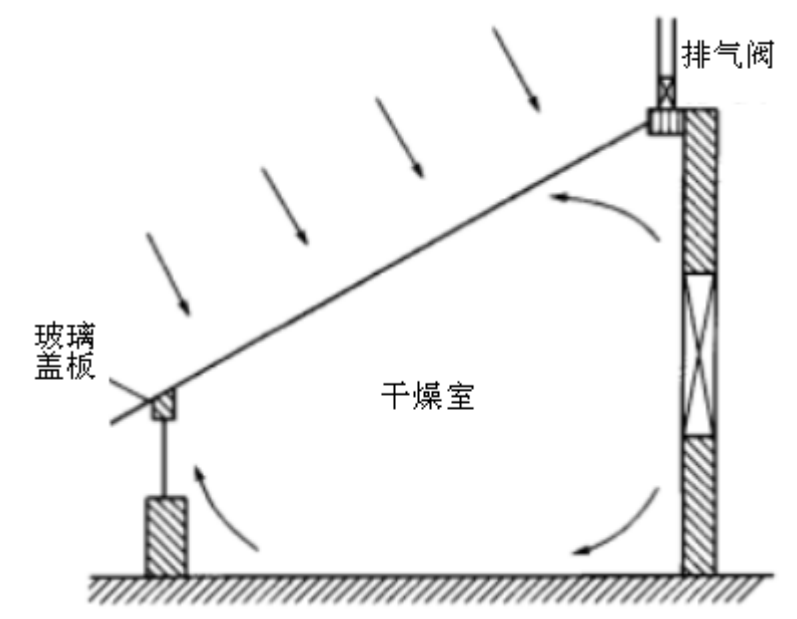


图2-6 温室型太阳能干燥室结构



图2-7 温室型太阳能干燥器

### ②集热器太阳能干燥器

由太阳能空气集热器与干燥室组合而成的干燥装置,这种干燥器利用集热器把空气加热到 $60^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ,然后通入干燥室,用风机鼓风以增强物料在干燥室内实现对流热质交换过程,达到干燥的目的。

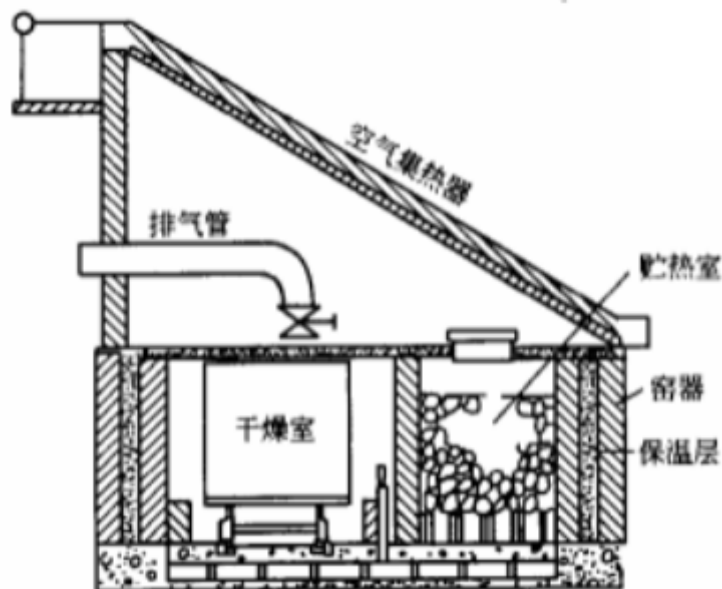


图2-8 集热器太阳能干燥器结构

图2-8为集热器太干燥器的应用结构图。此系统由干燥室、储热室、空气集热器、燃烧炉及烟气-空气换热器等几部分组成。空气集热器采用12层0.2mm厚的拉网板铺成的多孔床作太阳能吸热体,配备二层玻璃盖板,主集热器至于储热室和干燥室之上。干燥室西端有一

个密封良好的保温的窑门，东端有一个混气箱，在混气箱的中部有一台轴流式风机，将热空气送入干燥室。干燥室的顶部设置排气管和控制阀门，控制阀门将配合集热器的送风机，根据物品干燥工艺流程的需要，控制进风的流量、温湿度、以保证、提高物品的干燥质量。干燥室南侧是以鹅卵石为储热体的储热室，卵石堆得上下方各有一个配气室，通过风机，可使空气在干燥室和储热室之间循环，实现由储热室供热的干燥运行。

### ③集热器温室太阳干燥器

由太阳能空气集热器与温室组合而成。

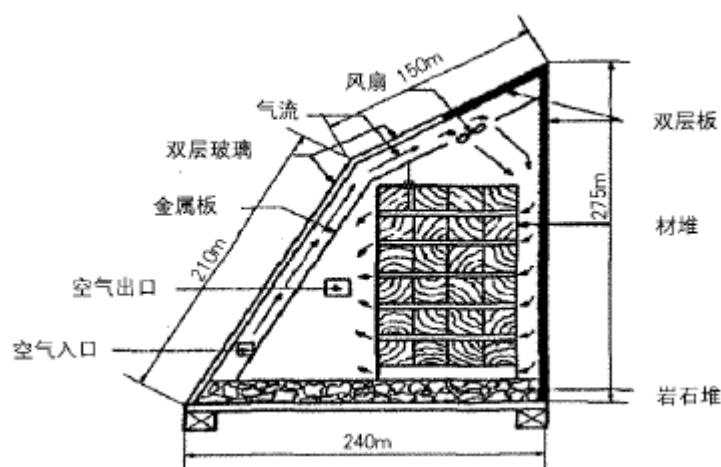


图2-9 集热器温室太阳能干燥器

图2-9是建在加拿大拉克海德(Lakehead)(北纬48。)大学的半温室型太阳能木材干燥室。集热器面积为4.4m<sup>2</sup>，底部铺有约0.57m<sup>2</sup>的岩石用于贮热。该太阳能干燥室干燥木材比气干平均快23倍，夏季快9倍。7月份日平均气温为20℃时，干燥室的最高温度可达49℃。干燥质量好，干燥缺陷是气干材的1/5~1/9。例如试材为加拿大短叶松湿材，材厚51mm，材积约1.2m<sup>3</sup>，将试材从初含水率60%干燥至含水率19%，夏季需12天，冬季需100天。同样的试材放在大气中干燥，从8月开始干燥需243天；从11月开始干燥需230天。8月份在太阳能干燥室内可在30天内将此试材干燥至终含水率10%。而在高纬度地区，气干法根本达不到10%的终含水率。

### ④整体式太阳干燥器

整体式太阳干燥器是将太阳空气集热器与干燥室合并在一起,成为一个整体。装有物料的料盘排列在干燥室内，物料直接吸收太阳辐射能，起吸热板的作用，空气则由于温室效应而被加热。干燥室内安装轴流风机，使空气在两列干燥室中不断循环，并上下穿透物料层，使物料表面增加与热空气接触的机会：在整体式太阳能干燥器内，辐射换热与对流同时起作

用，干燥过程得以强化。吸收了水分的湿空气从排气管排出，通过控制阀门，还可以使部分热空气随进气口补充的新鲜空气回流，再次进入干燥室减少排气热损失。

## 2) 国外发展

利用太阳能干燥技术的研究和推广应用工作，已在世界上许多国家展开，主要有美国、英国、法国、德国、加拿大、澳大利亚、新西兰和日本等国。

早在20世纪七八十年代，美国、德国、英国、法国等发达国家就在本国和一些发展中国家建立了不同规模的太阳能干燥试验装置，初期以小型为主，也有较大规模的太阳能干燥系统。在美国太阳能干燥设备已有一定批量的商业性生产，受到小型干燥用户的欢迎。印度、泰国、印度尼西亚等国也有小批量的商业性应用，然而在欧洲商业性的太阳能干燥室则较少。

据相关文献【15】，国外已建成一批采光面积超过500m<sup>2</sup>的大型太阳能干燥器，其中美国4座、印度2座、阿根廷1座。这标志着太阳能干燥在世界上已经进入生产应用阶段。由于全球的能源和环境问题日益突出，太阳能干燥技术的应用近十年来有较大的发展。

纵观国际太阳能干燥的推广应用情况【15】有几个特点：①太阳能干燥对象以谷物、烟草、水果等农副产品为主，其次是木材。②太阳能干燥的发展方向是提高太阳能干燥装置的热效率和降低成本。③注重实用性，尽量使用廉价材料。例如以干沙做吸热体，用塑料薄膜做透光材料。

## 3) 国内发展

从太阳能干燥装置的规模而言，中国的太阳能干燥【16】多数是采光面在200 m<sup>2</sup>以下的中小型，尤其以小型居多。目前，已知最大的太阳能干燥装置是采光面积为650 m<sup>2</sup>的太阳能腊味干燥装置，其次是620m<sup>2</sup>的大型太阳能干燥示范装置以及采光面积为500 m<sup>2</sup>的湖南东连县糖果厂太阳能干燥装置。如果把溶液脱水过程同固态物料脱水同样看待的话，广东省江门农药厂兴建的太阳能农药干燥装置太阳能采光面积达3000 m<sup>2</sup>，应属世界上少有的大型太阳能干燥装置。

## 4) 太阳能干燥的优势与局限

与采用常规能源的干燥装置相比，太阳能干燥装置节能环保经济，有如下诸多优点，

- 节省燃料

常压下蒸发一千克水，约需要2500 kJ/kg的热量。考虑到物料升温所需热量、炉子燃烧

效率等各种因素，有资料估算，干燥一吨农副产品，大约要消耗1吨以上的原煤，若是烟叶则需耗煤2.5吨，据统计我国烟叶年产量约为420万吨，目前大多采用农民自制的土烤房进行干燥，能耗很大，若采用太阳能干燥则节能效果非常明显。我国河南省长葛县在70年代末对太阳能烤烟的试验中能有效节约25%-30%的常规能源【17】。

- 减少对环境的污染

我国大气污染严重，这主要源于煤，石油等燃烧后的废气和烟尘的排放，采用太阳能干燥工农业产品，在节约化石燃料的同时，又可以缓解环境压力。

- 运行费用低

就初投资而言，太阳能与常规能源干燥二者相差不大。但是在系统运行时，采用常规能源的干燥设备其燃料的费用是很高的，如某果品食品开发有限公司购买了一台采用燃煤的干燥设备，价值10余万元，一次可干燥800千克梅子，但须耗煤900千克。若采用太阳能干燥，设备投资(初投资)二者相差不大，但太阳能干燥除风机消耗少量电能外，太阳能是免费的。即使太阳能干燥不能完全取代采用常规能源的干燥手段，通过设计使二者有机结合，使太阳能提供的能量占到总能量消耗的较大比例，同样可节约大量运行费用。

然而太阳能干燥技术的应用并不广泛，影响太阳能干燥技术推广应用的主要原因有：

- 太阳能是间歇性能源，能源密度低、不连续、不稳定；单独使用太阳能时，干燥室温度低、波动大、干燥周期长。
- 简易太阳能干燥虽投资少，但容量小，热效率低；而大中型的投资大、占地面积大太阳能干燥常需要与其它能源联合，如太阳能—热泵，太阳能—蒸汽，及太阳能—炉气等形式，使干燥设备的总投资增加。
- 迄今尚未解决太阳能的低成本的有效储能问题，一般常用的岩石、卵石储能及水箱储热等，效果都不太好，且占地面积大。
- 我国对太阳能干燥缺乏政府的政策支持和宣传力度。目前我国《可再生能源法》只制定了对太阳能“上网电价”的支持政策，对太阳能热利用产业发展没有具体政策规定。
- 目前生产企业习惯用传统的干燥设备，节能和环保的意识较差。

## 5) 案例介绍及效益分析

案例一：云南师范大学【18】对应用太阳能干燥鲜花进行了研究，自行设计了一套装置，装置图如图2-10。

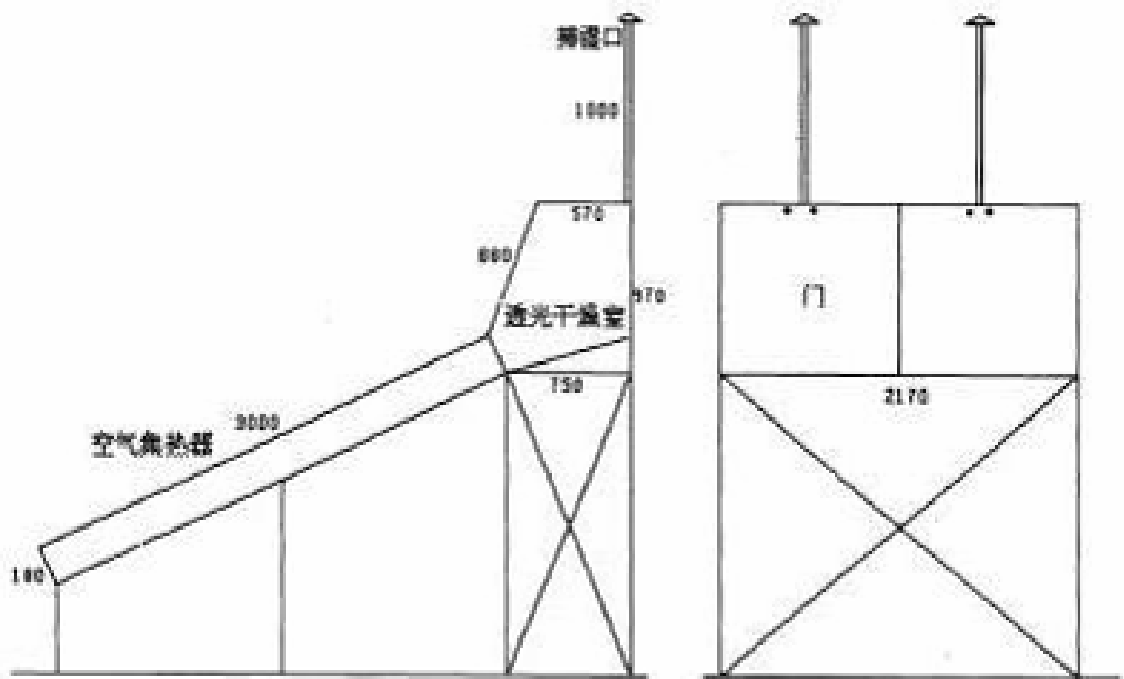


图2-10 实验装置示意图

该装置每年可干燥鲜花750kg,干花量177kg。装置的初投资为7080元,年运行费用为3571元,年总收益为5900元,年净收益为:5900-3571=2329元,投资回收期为:

$$T = \frac{7080 + 3571}{2329} = 4.6 \text{ 年}$$

全年节省燃煤量为1.3吨 节约燃煤费585元

节省电费1013元

每年节省燃煤,电费为585+1013=1598元。

**案例二：上海交通大学采用太阳能辅助热泵就仓干燥系统对中央储备粮昆明直属库的粮食进行干燥。**

目前我国多采用谷物烘干机或直接对粮仓通风进行干燥作业,前者不仅消耗大量的化石能源,而且粮食的来回搬运给工作人员带来了很大不便;后者一般干燥周期很长,并且消耗大量高品位能源,受天气影响很大。国外现已经研制并使用了大量的利用新能源设备,将空气加热到一定温度,实现粮食的就仓干燥。

太阳能作为一种新能源,已经受到大家越来越多的青睐,而采用太阳能与热泵结合的方式实现粮食的就仓干燥,一方面可以弥补太阳能的间歇性与能量密度低的缺点,而且利用热泵可以回收一部分从粮仓内出来空气的显热及潜热。实验系统及现场见图2-12, 2-13。





图2-11 中央储备粮昆明直属库

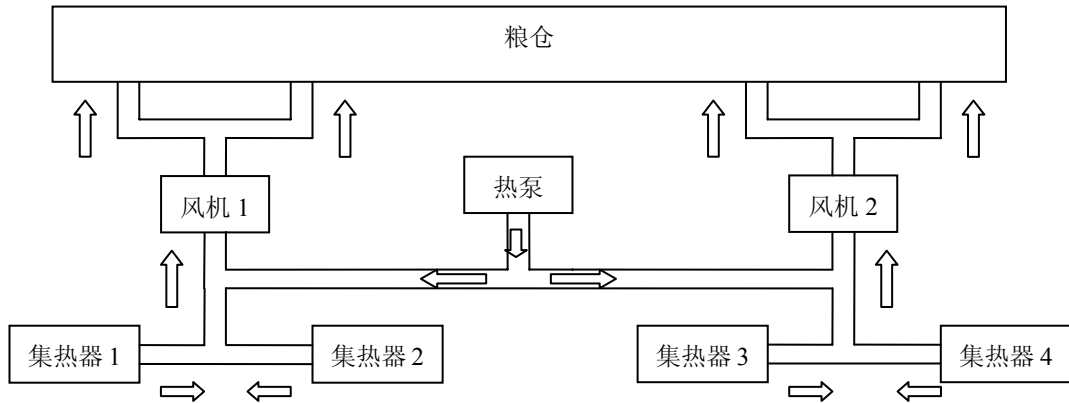


图 2-12 太阳能辅助热泵干燥系统示意图



图 2-13 太阳能辅助热泵干燥系统实物图

实验仓为 13 号仓，实验粮食为玉米，其它相关参数见表 2-2，系统的设备组成见表 2-3

**表 2-2 粮仓参数**

项目	参数
粮食品种	玉米
粮食温湿度	20℃，16~17%
仓型(长×宽×高)	37.22m×22.86m×7.8m
粮堆装线高度	6m
仓容量	3000t
仓型结构	墙厚：0.79m； 屋顶： 应力拱板

**表 2-3 太阳能辅助热泵就仓干燥系统仓外设备组成**

设备	数量
太阳能空气集热器	4
热泵	1
风机	2
管道	若干

在谷物干燥领域，常用的干燥方式有两种：自然通风干燥和谷物干燥机。采用太阳能辅助热泵系统进行就仓干燥，其优越性应与上述两种常规干燥方式进行比较得出：

- 太阳能干燥与自然通风干燥

对于太阳能干燥与自然通风干燥两种通风方式，其电耗均来自通风风机。太阳能干燥是将经过集热器加热的空气由风机通入粮仓，而自然通风干燥则是将环境空气直接经风机通入粮仓。采用太阳能干燥方式，入仓空气温度相对较高，粮食干燥时间明显缩短，从而风机电耗降低，节能性得到体现。在昆明当前气候条件下，如果采用自然通风方式，将玉米水分降低 1%约需 90h，采用太阳能加热通风方式后，降低 1%的水分只需要 30h 左右，干燥时间仅为常规通风的 1/3，从而可以得出：太阳能集热器的使用可以使干燥能耗降低 2/3。

- 太阳能干燥与谷物干燥机干燥

谷物干燥机采用化石能源如石油或者天然气作为热源，加热环境空气，产生高温高速的气流，可以快速降低谷物的水分。优点是处理速度快，其缺点是一次只能处理少量的谷物，因此需要人工量大，且需要消耗化石能源，从节能角度并不经济。

### 2.2.3 太阳能海水淡化

#### 1) 技术简介

太阳能海水淡化方法可分为主动式淡化水法和被动式淡化水法两大类，见表2-4.

表2-4 太阳能海水淡化技术的分类【19】

直接法	太阳热	蒸馏法	浅盘型 倾斜型 多效型	浅盘型 吸水绳型
间接法	太阳热	蒸馏法	多级闪蒸型	
			多效型	
	电渗析法	高温电渗析		
	太阳光	蒸馏法	蒸气压缩型	
		反渗透法	光发电反渗透型	
电渗析法	光发电电渗析型			

#### (1) 被动式太阳能蒸馏系统

被动式太阳能蒸馏系统的例子就是盘式太阳能蒸馏器，人们对它的应用有了近 150 年的历史。由于它结构简单、取材方便，至今仍被广泛采用。目前对盘式太阳能蒸馏器的研究主要集中于材料的选取、各种热性能的改善以及将它与各类太阳能集热器配合使用上。目前，比较理想的盘式太阳能蒸馏器的效率约在 35%，晴好天时，产水量一般在 3~4kg / m<sup>2</sup> 左右。如果在海水中添加浓度为 172.5ppm 的黑色萘胺，蒸馏水产量可以提高约 30%。



图 2-14 被动式太阳能蒸馏系统

## (2) 主动式太阳能蒸馏系统

被动式太阳能蒸馏系统的一个严重缺点是工作温度低，产水量不高，也不利于在夜间工作和利用其它余热。为此，人们提出了数十种主动式太阳能蒸馏器的设计方案，并对此进行了大量研究。在主动式太阳能蒸馏系统中，由于配备有其它的附属设备，使其运行温度得以大幅提高，或使其内部的传热传质过程得以改善。而且，在大部分的主动式太阳能蒸馏系统中，都能主动回收蒸汽在凝结过程中释放的潜热，因而这类系统能够得到比传统的太阳能蒸馏器高一至数倍的产水量。

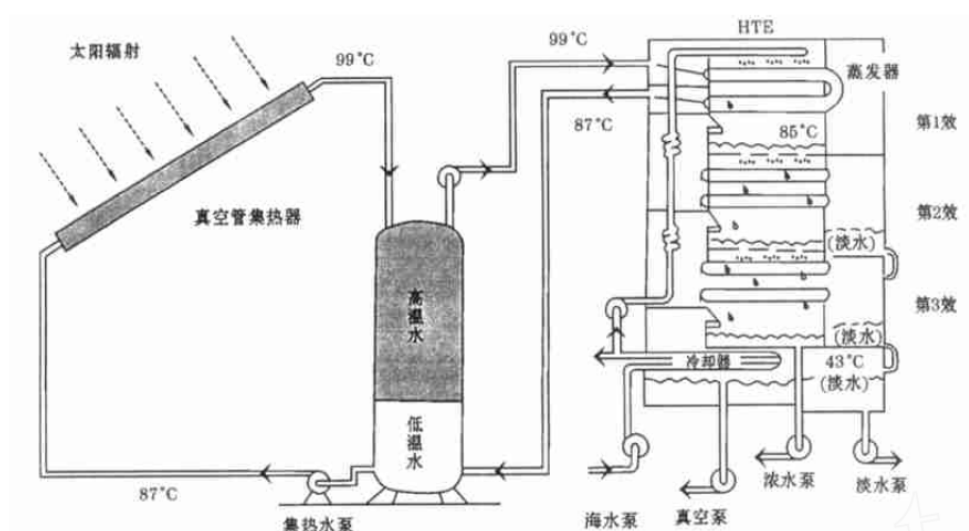


图 2-15 主动式太阳能蒸馏系统



图 2-16 主动式太阳能蒸馏系统实物图

## 2) 太阳能海水淡化技术的国外发展

太阳能海水淡化领域研究在中东、北非以及欧洲地中海地区非常活跃，美国、日本等国家也投入大量的人力物力进行淡化技术的开发示范等。例如科威特已建成了利用 $220\text{m}^2$ 的槽型抛物面太阳能集热器和一个 $7000\text{L}$ 的贮热罐为多达12级的闪蒸系统供热的太阳能海水淡化装置，每天可产水近10吨【20】。在墨西哥、日本和阿布扎比等地区，也建有类似的装置，每天生产着数千吨淡水。在太阳能发电利用方面，在科威特已建成用点聚焦抛物面太阳能热发电供能的反渗透海水淡化工厂，每天产量在20吨左右，墨西哥也建成了用太阳能电池（峰值 $2.5\text{kW}$ ）供电的反渗透海水淡化工厂，每天产量约1.5吨。在沙特阿拉伯，一个采光面积 $43800\text{m}^2$ ，用点聚焦热发电为间接冷冻法海水淡化工厂供电的复合系统已经建成，每天产量可达到210吨。可见用太阳能发电来制备淡水，前景也是很广阔的。

## 3) 太阳能海水淡化技术的国内发展

我国在太阳能海水淡化技术的研究方面做过较多工作的有中国科学院广州能源研究所和中国科学技术大学等。还在上世纪80年代初，广州能源研究所即开展了太阳能海水淡化技术的研究，完成了空气饱和式太阳能蒸馏器的试验研究，并于1982年左右在我国嵊泗岛建造厂一个具有数百平方米太阳能采光面积的大规模的海水淡化装置，成为我国第一个实用的太阳能蒸馏系统。接着，中国科学技术大学也进行了一系列的太阳能蒸馏器的研究，并在理论上进行了探讨。对海水浓度、海水中添加染料及装置的几何尺寸等因素对海水蒸发量的影响进行了实验，给出了有益的结果。

进入上世纪90年代后，天津大学、西北工业大学、西安交通大学等单位也加入到了太阳能海水淡化技术研究的行列，提出了一系列新颖的太阳能海水淡化装置的实验机型，并对这

些机型进行了理论和实验研究。比较有代表意义的有西北工业大学提出的“新型高效太阳能海水淡化装置”【21】；天津大学提出的“回收潜热的太阳能蒸馏器”【22】；中国科学技术大学提出的“降膜蒸发气流吸附太阳能蒸馏器”等等，使太阳能海水淡化技术有了较大进步【23】。

进入本世纪之后，太阳能海水淡化技术进一步成熟。其中西安交通大学、北京理工大学等提出了“横管降膜蒸发多效回热的太阳能海水淡化系统”，试制出了多个原理样机，并对样机进行实验测试和理论研究【24】。清华大学等单位在借鉴国外先进经验的基础上，对多级闪蒸技术在太阳能海水淡化领域的应用进行了探索，试制出了样机，并在我国的秦皇岛市建立了主要由太阳能驱动的实际运行系统，取得有益的经验【25】。

中国太阳能海水淡化技术的研究，走过了近25年的历史，取得了可喜的成绩。综观整个研究过程，基本可分为3个阶段。第一阶段在上世纪整个80年代至90年代初期。这个阶段是中国太阳能海水淡化技术研究的起步阶段，也是中国太阳能热利用研究的起步阶段。那时，包括太阳能蒸馏器在内的许多太阳能应用技术，如太阳能干燥器、太阳能热水器、太阳能集热器、太阳房以及太阳能聚光器等都吸引了许多科学家进行研究。但由于是起步阶段，所以整个研究都处于较低的水平上，如对太阳能海水淡化技术的研究，基本都集中在单级盘式太阳能蒸馏器上。上面的讨论已经指出，这种蒸馏器具有取材方便、结构简单、无动力部件、建造和维修便利以及可以长期无故障运行等优势，因而受到广大用户的青睐。但这种装置由于其内部海水容量大，因而升温缓慢，致使海水蒸发动力不足，加之整个蒸馏过程中未能回收蒸汽的凝结潜热，所以一般系统的效率都不高，约在35%以下。在晴好天气下。每平方米采光面积的产淡水量在3.5—4.0kg左右。

第二阶段在上世纪90年代初到90年代末。此阶段上，许多研究者逐步认识到了盘式太阳能蒸馏器的缺陷。在设法减少装置中海水的容量方面，采取了梯级送水、湿布芯送水以及在海水表层加海绵等方式，大大减小了装置中的海水存量，使装置中待蒸发的海水温度得到进一步提高，也使装置更快地有淡水产出，延长了产水时间，提高了装置的产水效率。在回收水蒸汽的凝结潜热方面，实验了多级迭盘式太阳能蒸馏器以及其他回收水蒸汽潜热的太阳能蒸馏器。采取这些措施之后，装置的总效率提高到了约50%。

上世纪90年代末至现在，对太阳能海水淡化技术的研究进入到了第三个阶段。在总结和分析了第二阶段的研究成果后，人们发现：尽管采取了许多被动强化传热传质措施，如减小装置中海水的容量、多次回收蒸汽的凝结潜热等，仍不能满足用户的要求，即太阳能蒸馏器的经济性仍然不够理想。分析发现，装置内自然对流的传热传质模式是限制装置产水率提高

的主要因素。于是研究者纷纷选择了对主动式(加有动力, 如水泵或风机等)的太阳能蒸馏器的研究。此期间出现了气流吸附式、多级降膜多效回热式、多级闪蒸式等许多新颖的太阳能海水淡化装置, 装置的总效率也有了较大提高, 达到80% 左右(包括电能的消耗)。

#### 4) 太阳能海水淡化的节能分析

以江西九江天力太阳能科技有限公司为例, 该公司为提高太阳能淡化海水热能转换效率, 开发出高效光、热感应交换器, 大幅提高太阳能的效能使海水淡化的能耗降到最低, 降低了海水淡化生产的投资和成本。按建一个10万m<sup>2</sup>的海水淡化工厂测算, 利用该项技术总投资为7000万元, 每天可生产淡水9.6万m<sup>3</sup>, 以20年的使用期计算, 生产每立方米淡水的成本仅为0.119元, 大大低于一个中型自来水厂的生产成本。

#### 5) 太阳能海水淡化的优点

可独立运行, 不受蒸汽、电力等条件限制, 无污染、低能耗, 运行安全, 稳定可靠, 不消耗石油、天然气、煤炭等常规能源, 对能源紧缺、环保要求高的地区更有突出的应用价值

生产规模可有机组合, 适应性好, 投资相对较少, 生产淡水成本低, 具备淡水供应市场的竞争力。

#### 6) 太阳能海水淡化技术的发展前景

未来的太阳能海水淡化技术, 在近期内将仍以蒸馏方法为主。利用太阳能发电进行海水淡化, 虽在技术上没有太大障碍, 但在经济上仍不能跟传统海水淡化技术相比拟。比较实际的方法是, 在电力缺乏的地区, 利用太阳能发电提供一部分电力, 为改善太阳能蒸馏系统性能服务。

近年来, 由于中温太阳能集热器的应用日益普及, 比如真空管型、槽形抛物面型集热器以及中温大型太阳池等, 使得建立在较高温度段(75℃)运行的太阳能蒸馏器成为可能。也使以太阳能作为能源, 与常规海水淡化系统相结合变成现实, 而且正在成为太阳能海水淡化研究中的一个很活跃的课题。由于太阳能集热器供热温度的提高, 太阳能几乎可以与所有传统的海水淡化系统相结合(传统的以电能为主的海水淡化系统在此暂不考虑)。已经取得阶段性成果并有推广前景的主要有: 太阳能多级闪蒸系统、太阳能多级沸腾蒸馏系统和太阳能压缩蒸馏系统等。例如, 科威特已建成了利用220m<sup>2</sup>的槽形抛物面太阳能集热器及一个7000升的贮热罐为多达12级的闪蒸系统供热的太阳能海水淡化装置, 每天可产近10吨淡水【20】。该



装置可在夜间及太阳辐射不理想的情况下连续工作,其单位采光面积每天的产水量甚至超过传统太阳能蒸馏器产水量的10倍。可见,太阳能系统与常规海水淡化装置相结合的潜力是巨大的。理论计算表明,多级沸腾蒸馏比多级闪蒸系统具有更多的优点,在拥有相同性能系数的条件下,它所需的级数更少、耗能更低,所需的外界功也更少。太阳能蒸汽压缩系统也具有广阔的前景,特别在电能相对便宜的地区。

在各类多级沸腾蒸馏系统中,多级堆积管式蒸发系统最适合以太阳能作为热源。这种装置有许多优点,其中最主要的一点是它能在输入蒸汽量为0~100%之间的任何一点稳定运行,并能根据蒸汽量自动调整工作状态。而且它所需的供热温度在70~100℃之间,很容易用槽形抛物面或真空管型太阳能集热器达到。

太阳能海水淡化装置的根本出路应是与现代海水淡化技术紧密结合起来,取之先进的制造工艺和强化传热传质新技术,使之与太阳能的具体特点结合起来,实现优势互补,才能极大地提高太阳能海水淡化装置的经济性,才能为广大用户所接受,也才能进一步推动我国的太阳能海水淡化技术向前发展。

## 7) 太阳能海水淡化的应用实例

我国应用太阳能淡化水技术开始于70年代中期,最初用于甘肃的苦咸水地区。中科院能源研究所分别在南海岐州岛和西沙分别建立了2台顶棚式直接蒸发装置,产水能力分别为1吨/天和0.2吨/天。

1982年该所又在浙江省嵊泗建成一台设备完善、性能良好的淡化装置,产水能力2.3吨/天。八效海水淡化系统在秦皇岛海边建立,采用长115m的全玻璃真空太阳集热管和平漫反射板的SLU21500/12型全玻璃真空管太阳集热器,每块集热板含12支管子,采光面积 $11085\text{m}^2$ 。当 $T_m=95\text{℃}$ , $T_a=20\text{℃}$ , $G=800\text{W}/\text{m}^2$ , $\eta=43.15\%$ 。集热器朝南放置,倾角为30℃,组成一个 $6914\text{m}^2$ 的大面积热水器。八效蒸馏器约需提供 $36\text{MJ}/\text{h}$ 的热量,该集热系统在水温90℃~94℃之间,晴天约能提供 $67\text{MJ}/\text{h}$ 的热量。

近来人们发现:尽管采取了许多被动强化传热传质措施,如减小装置中海水的容量、多次回收蒸汽的凝结潜热等,仍不能满足用户的要求,即太阳能蒸馏器的经济性仍然不够理想。分析发现,装置内自然对流的传热传质模式是限制装置产水率提高的主要因素。于是研究者通过努力研制出了气流吸附式、多级降膜多效回热式、多级闪蒸式等许多新颖的太阳能海水淡化装置,装置的总效率也有了较大提高,达到80%左右(包括电能的消耗)。



## 2.2.4 太阳能热发电

### 1) 技术简介

通过水或其他工质和装置将太阳辐射能转换为电能的发电方式,称为太阳能发电。目前世界上现太阳能热发电在技术上和经济上可行的三种形式是:①30~80MW 聚焦抛物面槽式太阳能热发电技术(简称抛物面槽式);②30~200MW 点聚焦中央接收式太阳能热发电技术(简称塔式);③7.5~25kW 的点聚焦抛物面盘式太阳能热发电技术(简称抛物面盘式)。除了上述几种传统的太阳能热发电方式以外,太阳能烟囱发电、太阳池发电等新领域的研究也有进展。

槽式发电的原理即是反光镜将投射到镜面上超过 98%的阳光反射到集热器聚焦线的吸热管上,加热吸热管内部包含的导热介质。导热介质带着足够热能通过常规的热—电转化技术实现发电。原理及现场实物见图 2-17.

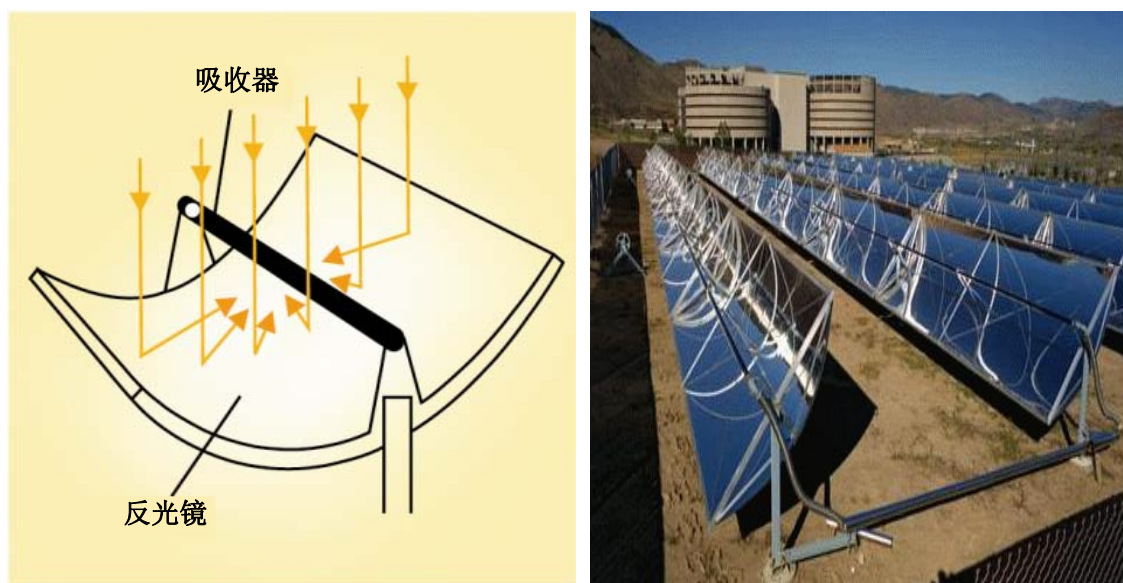


图 2-17 槽式发电原理示意图及现场实物

塔式太阳能热发电技术原理是用定日镜将阳光发射到位于高塔上的吸热器,并将其转化为足够温度的热能,然后通过常规的热—电转化技术实现大容量发电。原理及现场实物见图 2-18.

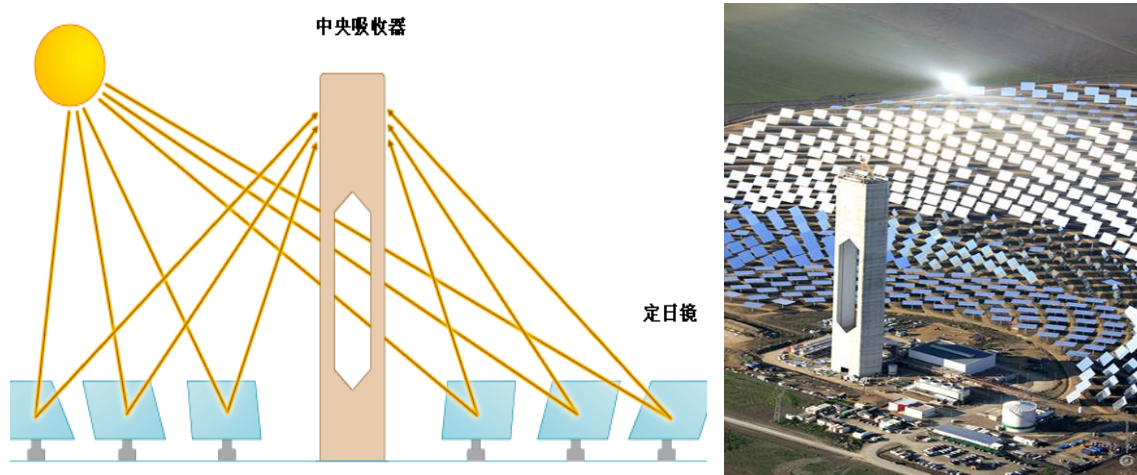


图 2-18 塔式发电原理示意图及现场实物

碟式太阳热发电技术是利用炫物面碟式聚光器将太阳光汇聚到焦点处，通过吸热器将汇聚的太阳能吸收并传输给热机，热机将热能转化为机械，再经过发电机械能转化为电能。原理及现场实物见图 2-19.

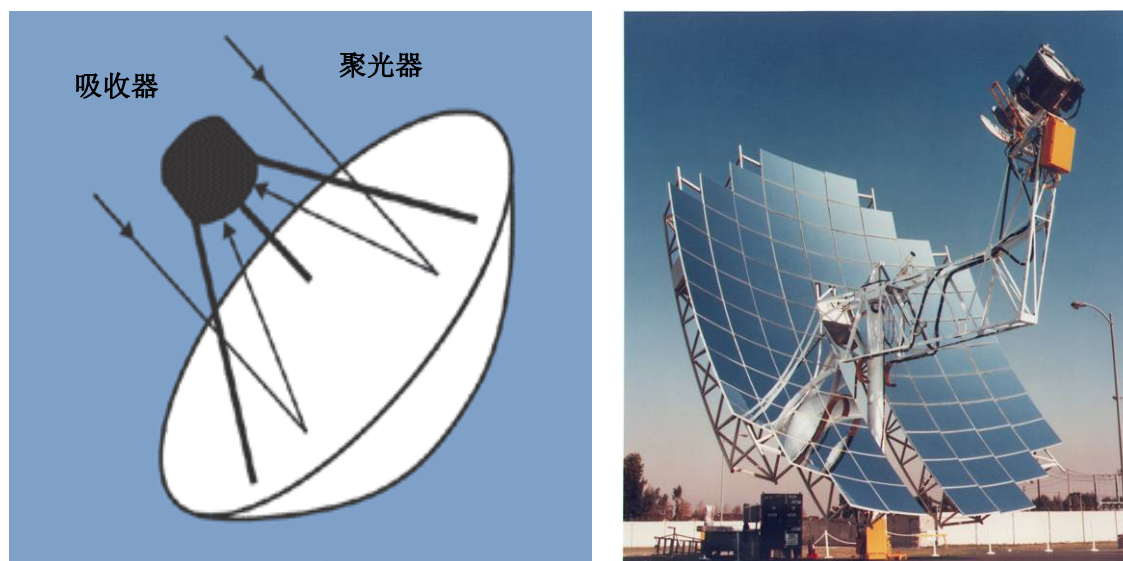


图 2-19 碟式发电原理示意及现场实物图

三种发电方式的特点及优缺点比较见表 2-5.

表 2-5 太阳能热力发电系统分类【26】

	槽式	塔式	碟式
应用	大规模集中电站 (最大可达 8 万千瓦)	大规模集中电站 (最大可达 1 万千瓦)	独立供电站成小型集中型电站 (25KW)
载热介质	水-水蒸气、热油、有机化工质等	水-水蒸气、熔融钠、熔盐、空气等	水-水蒸气、空气等
最高温度	400℃	1000℃以上	750℃
热力循环类型	水蒸汽朗肯循环、有机物朗肯循环	燃气轮机循环, 水蒸汽朗肯循环	斯特林循环、微型燃气轮机
优点	商业可行(已建成大规模电站并投入商业运行); 效率达 14% 具有模块化的优点 对材料要求比较低 可用于混合循环 可采取能量储存措施	中等规模下可实现更高的效率	效率高, 可达 30% 模块化; 可用于混合系统
缺点	由于载热介质的限制, 使得最高温度不能高于 400℃; 热力循环需要大量的工质	极高的温度导致对集热器材料要求很高 商业运行不可靠	可靠性较低 成本较低
应用实例	SEGS	南京江宁塔式太阳能热电系统	

利用太阳热能进行大规模发电、供电有 2 种具有前景的方式。一种是太阳能收集和传送热量与现代燃气循环电站相结合的 ISCC(综合太阳能联合循环);另一种是太阳能电站独立运行,即较多地使用存储介质,在白天时存储太阳能,需要时再进行释放。

表2-6 几种太阳能热发电系统的性能对比【27】

发电方式	槽式系统	塔式系统	碟式系统
规 模/MW	30~320	10~20	5~25
运行温度/°C	390/734	565/1049	750/1382
年容量因子/%	23~50	20~77	25
峰值效率/%	20	23	24
年净效率/%	11~16	7~20	12~25
商业化情况	可商业化	示范	试验模型
技术开发风险	低	中	高

## 2) 太阳能热发电技术的国外发展

太阳能热发电已经历了较长时间的试验运行，基本上可达到商业运行要求，目前总装机容量约为 40 万千瓦。目前世界上最大的太阳能热力发电站在美国加州南部运行，一般认为当今太阳能热力发电成本约是光伏发电成本的 1/2。全球对太阳能热力发电的兴趣与日剧增，很多国家都在计划一些大的项目，新的太阳能热力电站正在美国、西班牙、以色列和南非等地建造，印度、埃及、摩洛哥等国家也表示了极大的兴趣。基于烟囱效应的以太阳能集热技术和风力透平为核心的太阳能热风发电技术在西班牙等国家运行示范，特别是这种系统可以和农业温室利用结合，为改善农业生产条件发挥作用。目前澳大利亚、南非等国都在兴建新的太阳能热风发电站。另外，利用太阳池盐水浓度差进行蓄能发电的工作在以色列等国家也有研究和示范。

## 3) 太阳能热发电技术的国内发展

我国虽然早在 20 世纪 70 年代末,就对太阳能热发电开展了应用基础研究工作; 在“八五”、“九五”和“十五”期间,原国家科委和现在的科技部,均将大型太阳能热发电关键技术列为国家重点科技攻关计划,并将盘式小型太阳能热发电装置的研制列入 863 计划,但从总体上讲,我国太阳能热发电技术的实际应用尚未真正起步,尚无工业化的装置,也无应用实例。

## 4) 太阳能热发电技术的经济性分析

目前塔式、槽式、碟式三种系统中，只有槽式实现了商业化。通过技术不断改进和电站

规模不断扩大,美国加州 Mojave 沙漠的槽式热发电系统的初投资成本已经由 1 号电站(功率为 14MW)的 4490 美元/kW 降到了 8 号电站(功率为 80MW)的 2890 美元/kW,发电成本由 1 号电站的 44 美分/kWh 下降到 9 号电站的 17 美分/kWh(按照 2004 年美元计算),系统效率由 1 号电站的 9.3%提高到 9 号电站的 13.6%。

## 5) 太阳能热发电技术的应用实例

主要处于示范阶段

(1) 2005 年 10 月,位于江宁的全国首座塔式太阳能发电系统发电成功。塔式太阳能发电系统利用独立跟踪太阳的定日镜群,将阳光聚集到固定在塔顶部的接收器上,以产生高温,加热工质产生蒸汽或高温气体,驱动汽轮机发电机组或燃气轮机发电机组发电。而槽式太阳能热发电系统,全称为槽式抛物面反射镜太阳能热发电系统,是将多个槽型抛物面聚光集热器经过串并联的排列,加热工质产生高温蒸汽,驱动汽轮机发电机组发电。目前塔式太阳能发电成本偏高,一度电约需 1 元钱,与之相比,槽式发电投入少,成本低,更具备商业化操作的条件。

(2) 2008 年 12 月确定即将在北京市延庆县建成的太阳能塔式热发电站是亚洲首座 MW(兆瓦)级太阳能塔式热发电站。预计 2009 年年底竣工并投入使用。该项目完成后,太阳能塔式热发电实验电站年发电量将达到 270 万度,相当于 1100 余吨标准煤产生的电量,可减排二氧化碳 2300 余吨,二氧化硫 21 吨,氮氧化物 35 吨。并在 208 亩地上建成 100 面定日镜,用它收集的太阳光,反射聚集到太阳能吸热塔的吸热器里,将热能通过加热水产生蒸汽,作为动力发电。

### 2.2.5 太阳能养殖

传统养殖业中,为保证饲养牲畜所需的适宜生存条件,养殖户只能采取燃烧化石燃料或消耗电能保持养殖场所所需的适宜的温湿度,因此消耗大量常规能源,造成二氧化碳排放,同时造成养殖户成本上升,利润下降。用太阳房来养殖可以解决传统养殖过程中的燃料和电能消耗问题,将是产业发展的一个新的方向。同时太阳能装置适用于农业生产和农民生活的各个方面,例如沼气恒温、食品加工、畜牧养殖等,且地域自然条件性限制不大,有效地解决了广大农村的新能源开发利用问题,既保护了环境,又节省了能源,可以在社会主义新农村建设中发挥重要作用,所以意义十分重大。

太阳房基本原理就是“温室效应”，主要分为主动式太阳房和被动式太阳房。太阳房应用于养殖业（包括家禽、家畜、水产等），不仅能缩短生长期，而且对提高繁殖率、降低死亡率都有明显的效果。因此，太阳能温室已成为中国农、牧、渔业现代化发展不可缺少的技术装备。北京巨山农场从美国引进聚碳酸酯温室大棚，温室面积约 2100m<sup>2</sup>，温室在冬天种植茄果类、瓜类、豆类等喜温热蔬菜，要求温室昼温约 25℃，夜温约 10℃，采用太阳能和燃油炉联合供暖，取得了显著的经济效益。

## 2.2.6 太阳能建筑

### 1) 太阳能建筑一体化

太阳能建筑的研究与开发,已引起发达国家的重视。早在20世纪90年代国际能源组织(IEA)已将太阳能建筑列入其研究示范的计划、开发了建筑能源系统设计优化软件、在太阳能专家、建筑师和太阳能设备制造商的共同参与下在世界不同的气候地带建造了成百栋各种太阳能示范建筑(住宅、办公楼、商用大厦等)。

位于芬兰佩塔萨利的太阳能独立住宅,房屋采用被动太阳采暖设计(被动太阳采暖是指以“开源节流”的原则利用建筑构本身实现太阳能采暖,即在强化建筑的屋顶和维护结构的隔热措施的同时,充分利用太阳能,如建筑主立面朝南,加大南窗的采光面积和附加温室设计等。被动太阳采暖的贡献列入节能范畴,不计入一次能源。),屋顶由10 m<sup>2</sup> 太阳能集热器和55 m<sup>2</sup> 非晶硅太阳能电池组件(2 kWp)构成;集热器与地源热泵构成主动式综合供热系统(热水和部分采暖负荷)。

一些国家政府大力推动太阳能建筑进入建筑市场。美国加州能源委员会制定了为期10年,拨款3.5亿美元的财政计划,以补贴买主的方式鼓励在新建房屋设计中采用太阳能装置;丹麦规定了新建的低能耗建筑的节能指标为50~75%,中国建设部、财政部于2006年9月联合下发了《关于推进可再生能源在建筑中应用的实施意见》等。欧盟太阳能热利用产业联盟制定了至2030年太阳能热利用在太阳能建筑中的发展规划,预期到2030年,主动式太阳能供热系统(热水、采暖和空调的综合系统)(主动式太阳能供热系统是指通过设备,如集热器,水泵/风机,管道系统等,实现能量转换和输送)将列入欧洲建筑标准,太阳能供热将占欧洲低温热能需求的50%。

### 2) 太阳能空调

太阳能空调制冷的最大优点在于它有很好的季节匹配性,天气越热、越需要制冷的时候,

太阳辐射条件越好，太阳能制冷系统的制冷量也越大。

利用太阳能实现供热与制冷的可能技术途径如图 2-20 所示，主要包括太阳能转换为热能，利用热能供热制冷，以及将太阳能转换为电能，利用电能驱动相关设备供热制冷两大类型。根据需求，太阳能制冷过程也可以实现从空调到冷冻温区的不同要求。图的左侧反映了太阳能收集与转换环节，其中太阳能集热器是将太阳辐射转变为热能的装置，目前主要有平板式、真空管式和聚焦式集热器三种类型，获得的集热温度依次升高。依据太阳能集热器集热温度的不同，可直接用于热水供应以及采暖等，还可以驱动吸收式、吸附式、喷射式、除湿空调、朗肯循环、化学反应等过程获得制冷效应。还可以将太阳辐射通过光伏效应或者通过热发电等途径转变为电能，之后通过电能驱动蒸汽压缩制冷循环，斯特林循环以及热电效应实现制冷过程。另外，通过特定的可逆吸热和放热反应，以太阳能为热源，也能够实现特定场合下的制冷要求。

在各种太阳能制冷转换途径当中，太阳能热驱动空调能够和当前广泛应用的太阳能热水和采暖系统紧密结合，构成太阳能综合利用系统从而实现太阳能利用与季节变化的最佳匹配。即利用一套太阳能集热器做到冬季采暖、夏季空调、四季热水供应等，因而可与建筑结合在建筑能源结构中发挥重要的作用，这也是实现太阳能规模化、低成本低应用的理想途径之一。



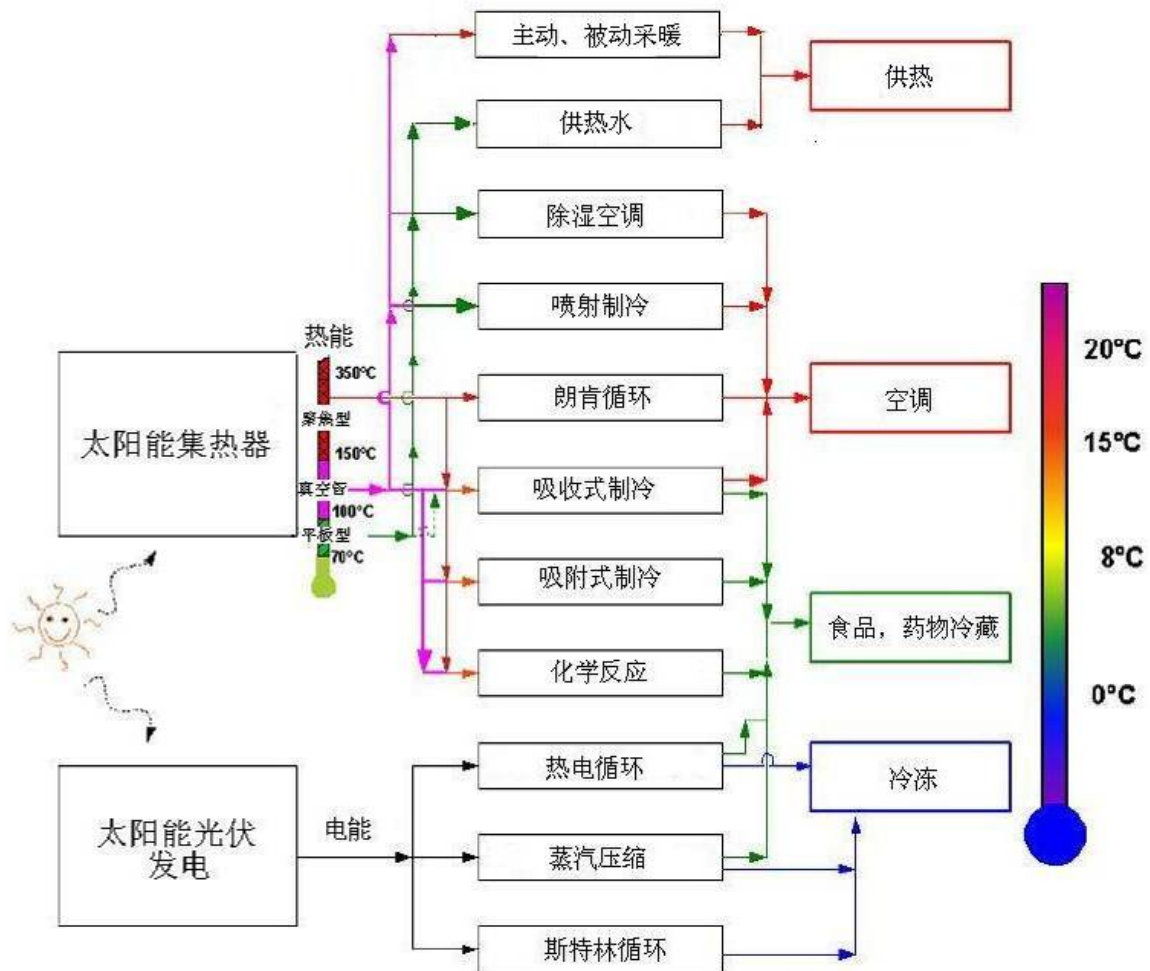


图 2-20 太阳能制冷、空调技术途径

从太阳能空调系统讲，主流技术有吸附式、吸收式、除湿空调和喷射式制冷四大类，其中前三种研究应用最广。它们的工作原理是利用太阳能集热器产生的热能驱动制冷装置产生冷冻水或调节空气送往建筑环境内进行空调。具体如下：

- 1) 太阳能吸收式制冷：用太阳能集热器收集太阳能来驱动吸收式制冷系统，是目前为止示范应用最多的太阳能空调方式。应用多为溴化锂—水系统，也有的采用氨—水系统。
- 2) 太阳能吸附式制冷：利用吸附制冷原理，以太阳能为热源，采用的工质对通常为活性炭—甲醇、分子筛—水、硅胶—水及氯化钙—氨等，可利用太阳能集热器将吸附床加热后用于脱附制冷剂，通过加热脱附—冷凝—吸附—蒸发等几个环节实现制冷。
- 3) 太阳能除湿空调系统：是一种开放循环的吸附式制冷系统。基本特征是干燥剂除湿和蒸发冷却，也是一种适合于利用太阳能的空调系统。
- 4) 太阳能蒸汽喷射式制冷：通过太阳能集热器加热使低沸点工质变为高压蒸汽，通过喷管时因流出速度快、压力低，在吸入室周围吸引蒸发器内生成的低压蒸汽进入混合室，同时制冷剂在蒸发器中汽化而达到制冷效果。



上述几种太阳能热能转换驱动的空调制冷方式中，目前为止太阳能溴化锂—水吸收式空调方式示范应用最多，以欧洲为主。另外，吸附式制冷方式由于驱动热源要求温度低，近年来在我构和欧洲发展很快。除湿空调技术以开放循环方式工作，系统可靠性高，在处理空调潜热负荷方面具有优势。

## 2.3 太阳能集热器的发展及应用状况

### 2.3.1 太阳能集热器的发展

太阳能集热器是太阳能集热系统接收太阳能并转换热能的核心部件和技术关键。太阳能集热器吸收太阳辐射的光，产生很大的热能，提供源源不断的动力。集热器外型有平板的，有真空管的，它们都有专门的吸热装置，吸收太阳能辐射，转化成热能，再将热能传递给水(水只是传热工质的一种，其他还有蒸馏水和气体等)从而使水温度不断升高，得到想用的热水。集热器根据温度的不同，分为低温、中温、高温。根据集热器是否全天围绕太阳运动分成跟踪集热器和非跟踪集热器。具体分类见图 2-21。

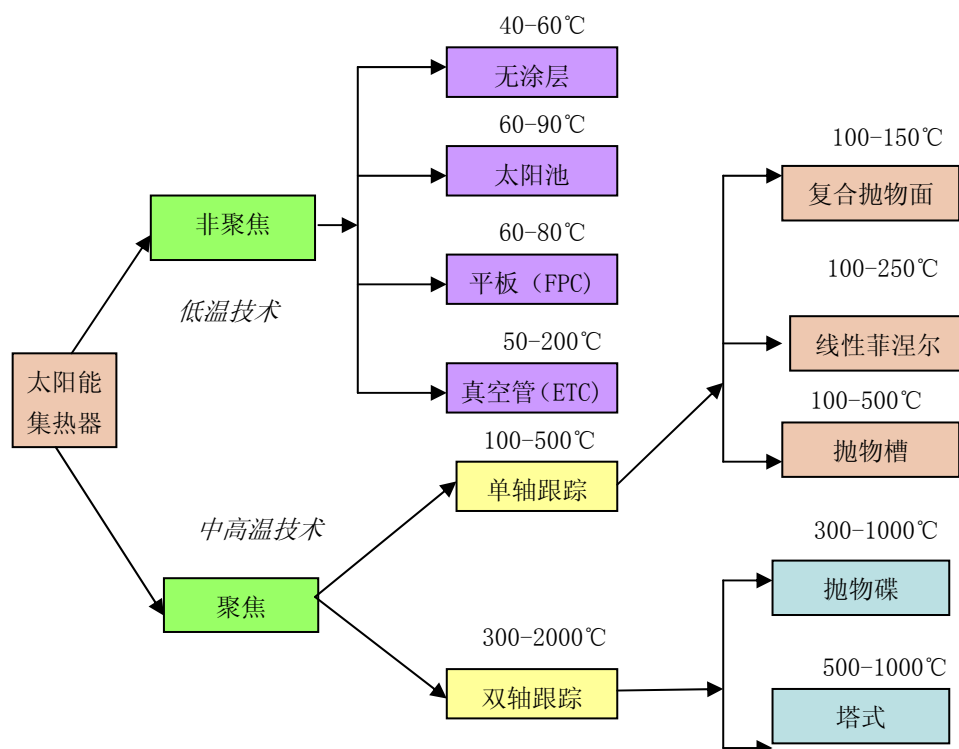


图 2-21 太阳能集热器的主要分类及温度范围

### 2.3.2 太阳能集热器的性能及用材

目前市场上广泛应用的主要有平板型、全玻璃真空管、金属吸热体真空热管等几种太阳

能集热器，各种太阳能集热器各有优缺点，分别使用于不同的地区、不同的用途。分类见图 2-22。

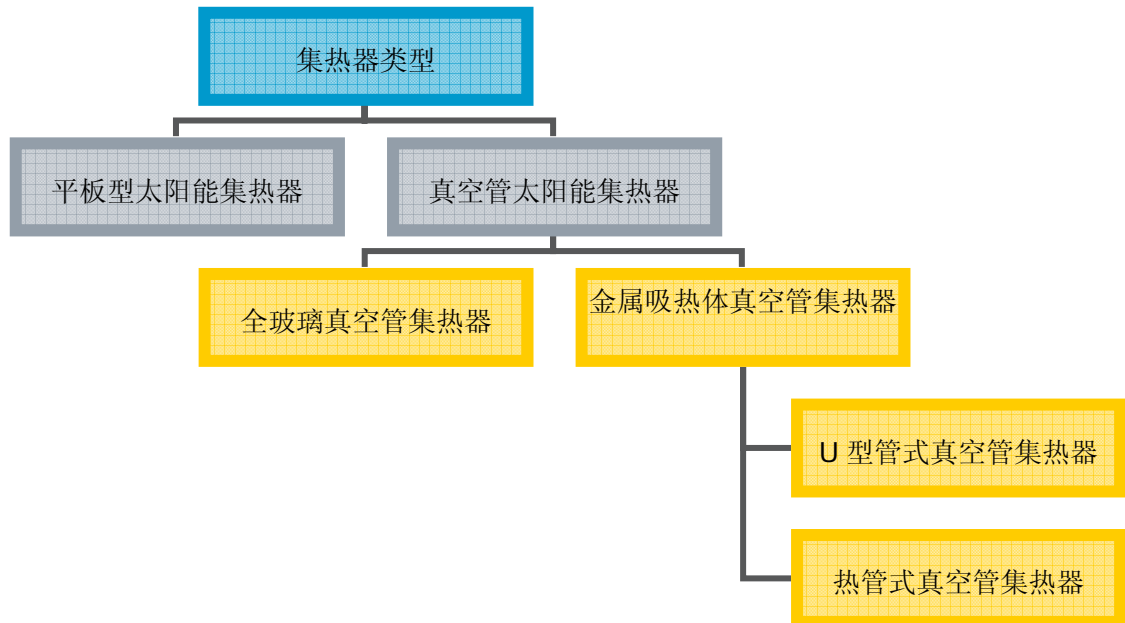


图 2-22 太阳能集热器（非聚光）分类示意图

### 1)平板型太阳能集热器

**优点：**平板型太阳能集热器是金属管板式结构,热效率高，产热量大，可承压，耐空晒，水在铜管内加热，便于和建筑相结合，质量稳定可靠，免维护。

**缺点：**无抗冻能力，适合于广东、福建、云南、广西、海南等冬天不结冰地区使用，性价比高。

**用铜部件：**载流介质流道，集管（进出口水管）以及吸收板。

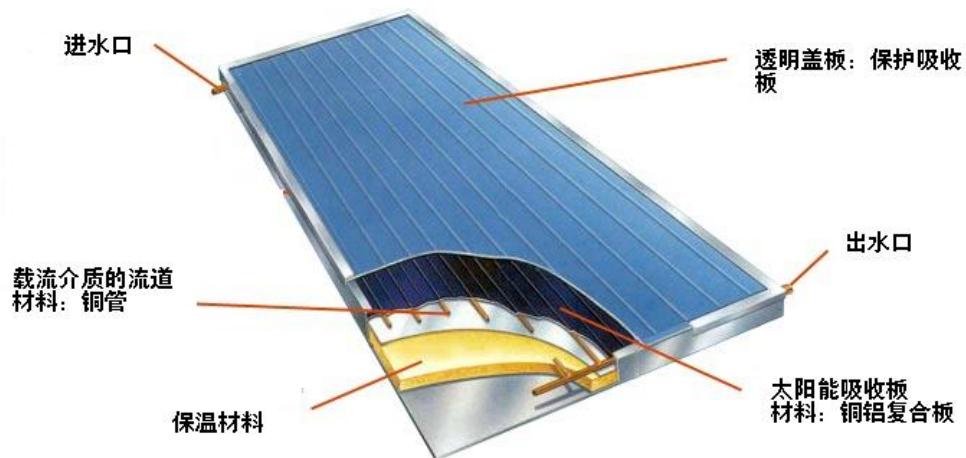


图 2-23 平板型集热器原理图

耗铜量计算：

面积  $1\text{m}^2$ ；紫铜密度： $7.83\text{g}/\text{cm}^3$

集管管径： $d_1=25\text{mm}$ ，壁面厚度： $1\text{mm}$ ；长度： $0.5\text{m}$ ；个数： $2\text{根}/\text{m}^2$ ；

集管耗铜量： $T_j=0.57\text{kg}$

铜管管径： $d_2=10\text{mm}$ ，壁面厚度： $0.5\text{mm}$ ；长度： $2\text{m}$ ；个数： $4\text{根}/\text{m}^2$ ；

热管耗铜量： $T_r=0.86\text{kg}$

耗铜量总和： $T_c = T_j + T_r = 1.42\text{kg}$

## 2)全玻璃真空管太阳能集热器

**优点：**全玻璃真空管太阳能集热器有一定的抗冻能力，适合在冬天气温为  $0^\circ\text{C}$  至  $-20^\circ\text{C}$  的地区使用。

**缺点：**不承压，使用时不能缺水空晒，否则易爆裂玻璃管。

**用铜部件：**无

**耗铜量：** $0\text{kg}$

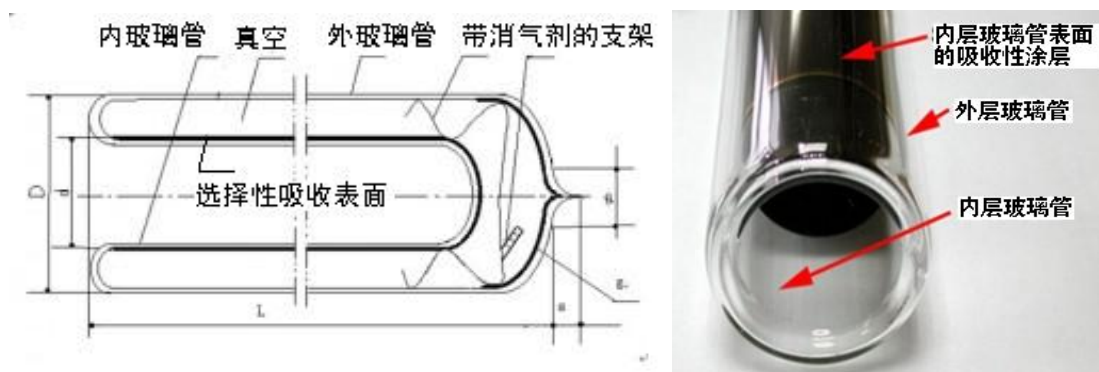


图 2-24 全玻璃真空管集热器原理图

## 3)热管式真空管太阳能集热器

**优点：**真空热管太阳能集热器有很强的抗冻能力，适合在冬天气温为  $0^\circ\text{C}$  至  $-40^\circ\text{C}$  的地区使用。可承压，耐空晒，不易爆管。热容量小，启动快，可用于产高温热水、开水。

**缺点：**热量转换带来一定的热效率降低，同时双真空结构带来了结构复杂及造价高的问题，并极易导致装置的可靠性和寿命降低。

**用铜部件：**集管，热管

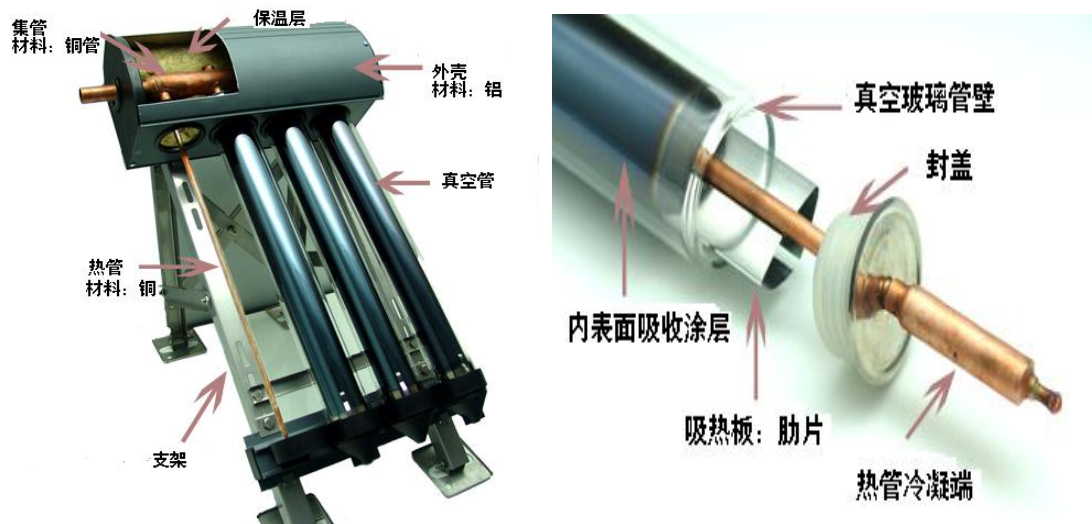


图 2-25 热管式集热器结构示意图

#### 耗铜量计算:

面积  $1\text{m}^2$ ; 紫铜密度:  $7.83\text{g}/\text{cm}^3$

集管管径:  $d_1=15\text{mm}$ , 壁面厚度:  $1\text{mm}$ ; 长度:  $0.625\text{m}$ ; 个数:  $1\text{根}/\text{m}^2$ ;

集管耗铜量:  $T_j=0.2\text{kg}$

热管管径:  $d_2=8\text{mm}$ , 壁面厚度:  $0.75\text{mm}$ ; 长度:  $1.4\text{m}$ ; 个数:  $6\text{根}/\text{m}^2$ ;

热管耗铜量:  $T_r=1\text{kg}$

耗铜量总和:  $T_c= T_j + T_r=1.4\text{kg}$

#### 4)U 型管式真空管集热

**优点:** 实现了玻璃管不直接接触被加热流体, 又保留了全玻璃真空管在低温环境中散热少, 加热工质温度高的优点, 同时还避免了热管-真空管集热器双真空结构带来的一系列问题。而且由于被加热流体是在玻璃管中被加热, 热量转换得更直接, 整体效率也高于热管-真空管集热器。

**缺点:** 以水为工质, 仍存在金属管冻裂和结垢问题, 所以一般用于双循环系统及强制循环系统。

**用铜部件:** U 型管, 集管 (进出口水管)

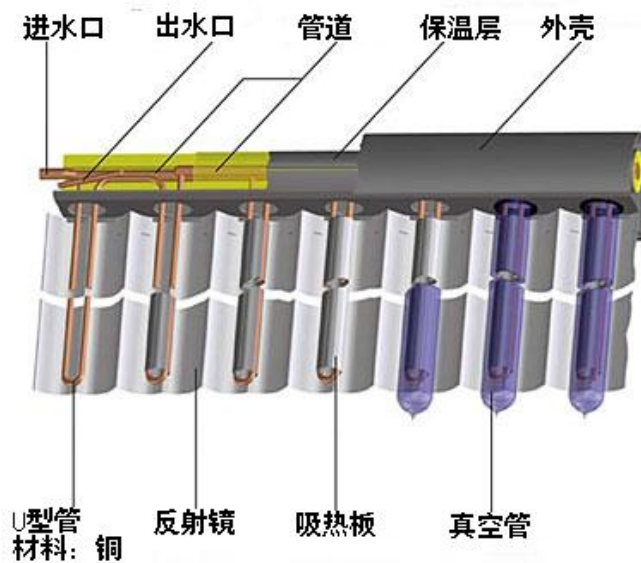


图 2-26 U 型管真空管集热器

**耗铜量计算:**

面积  $1\text{m}^2$ ; 紫铜密度:  $7.83\text{g}/\text{cm}^3$

集管管径:  $d_1=15\text{mm}$ , 壁面厚度:  $1\text{mm}$ ; 长度:  $0.625\text{m}$ ; 个数:  $2\text{根}/\text{m}^2$ ;

集管耗铜量:  $T_j=0.4\text{kg}$

铜管管径:  $d_2=8\text{mm}$ , 壁面厚度:  $0.75\text{mm}$ ; 长度:  $1.45\text{m}$ ; 个数:  $12\text{根}/\text{m}^2$ ;

热管耗铜量:  $T_r=2.08\text{kg}$

耗铜量总和:  $T_c = T_j + T_r = 2.48\text{kg}$

**5)槽式集热器**

**优点:** 能够获得较大的聚光比, 从而获得较高的工质温度, 能够达到  $100\sim 300^\circ\text{C}$ ;

**缺点:** 体积较大, 适用场合有限制;

**用铜部件:** 直通式真空管中铜管

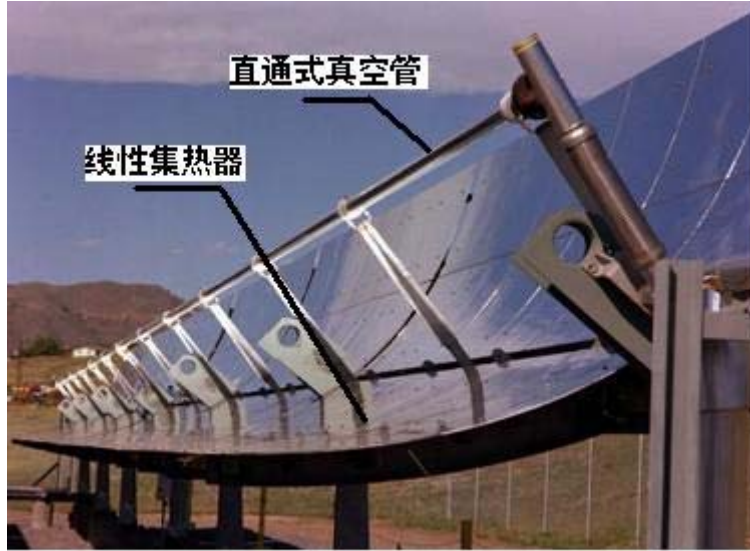


图 2-27 槽式集热器示意图

耗铜量计算:

面积  $1\text{m}^2$ ; 紫铜密度:  $7.83\text{g}/\text{cm}^3$

铜管管径:  $d_2=10\text{mm}$ , 壁面厚度:  $0.75\text{mm}$ ; 长度:  $1\text{m}$ ; 个数:  $1\text{根}/\text{m}^2$ ;

热管耗铜量:  $T_r=0.16\text{kg}$

耗铜量总和:  $T_c=0.16\text{kg}$

### 2.3.3 太阳能集热器的应用

当今世界上, 集热器的使用随着太阳能技术的推广应用而飞速增长。目前, 占据市场的主要集热器类型为真空管集热器、有盖板平板集热器、无盖板平板集热器及空气集热器。其中, 真空管集热器以其优良性价比占据了 50% 的世界市场。

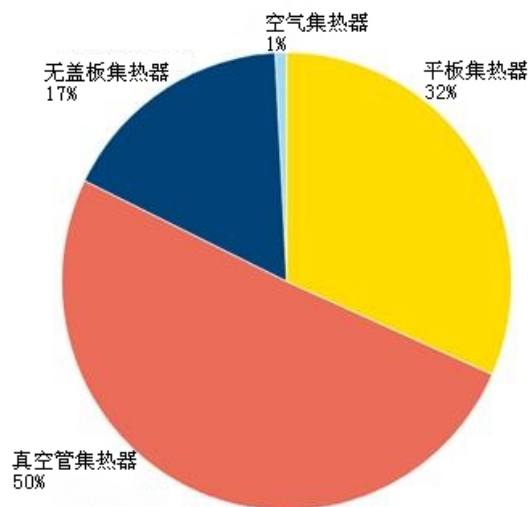


图 2-28 2007 年世界范围内不同集热器类型的保有量比例【28】



2007年，世界范围内共安装了19.9GWth共2840万平方米的集热器。平板和真空管集热器共18.4GWth，占据了世界市场的92.5%。无盖板平板集热器的市场主要在美国（0.8GWth）和澳大利亚（0.4GWth）。南非、加拿大、墨西哥、荷兰、瑞典、瑞士及奥地利的市场也不容忽视，不过2007年这些国家的新增无盖板安装量均在0.1GWth以下。

值得一提的是，相对于2006年，真空管集热器市场占有率增加了23.4%，而有盖板集热器和无盖板集热器市场占有率则分别下降了18.3%和7.2%。

中国是世界上最大的集热器生产和使用国，中国的市场上主要是真空管集热器和平板集热器，其中真空管集热器占据了90%的市场份额。而在美国和澳大利亚，占据市场优势的主要是无盖板平板集热器。

2008年，中国太阳能热水器行业的总产值为430亿元人民币，出口额约为1.2亿美元，出口到80多个国家。如果按照太阳能集热器（太阳能热水器最核心的部分）面积计算，2008年中国太阳能热水器行业的总产量为3100万平方米，占全世界产量的70%。目前，中国太阳能热水器保有量为1.23亿平方米，占世界的60%。

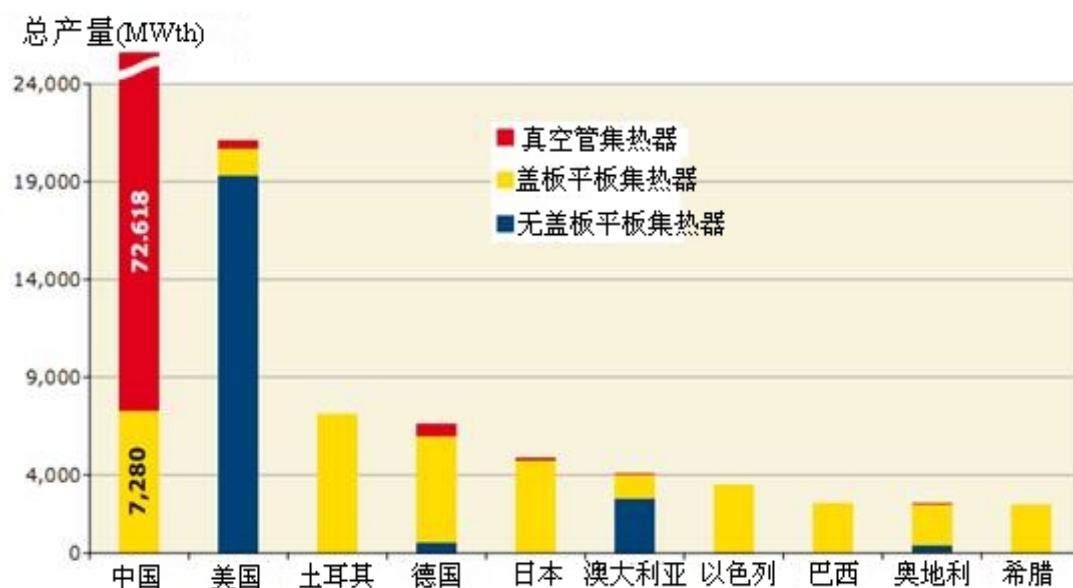
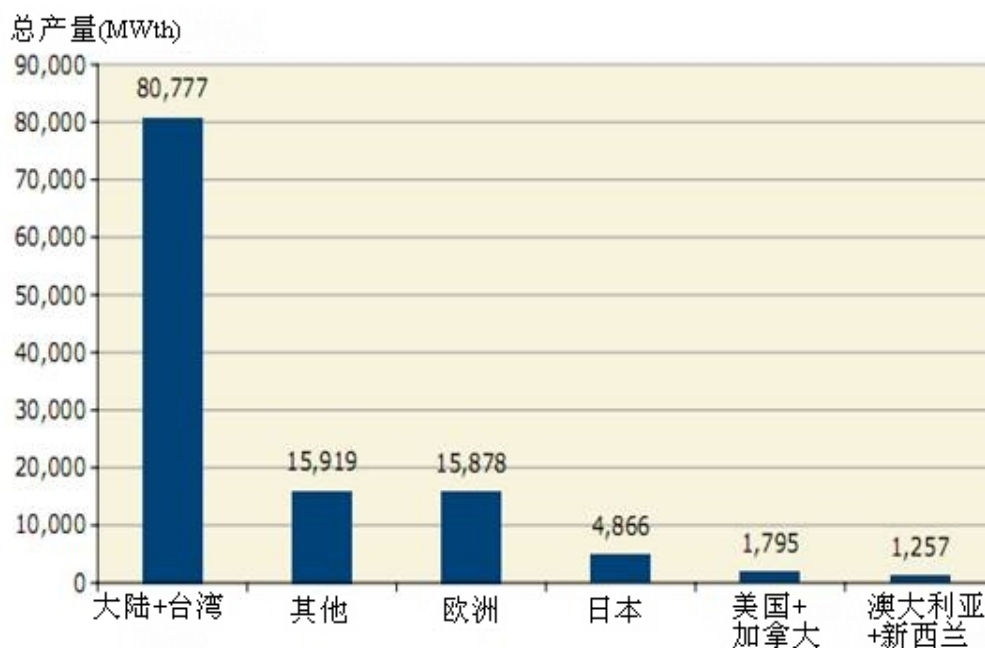


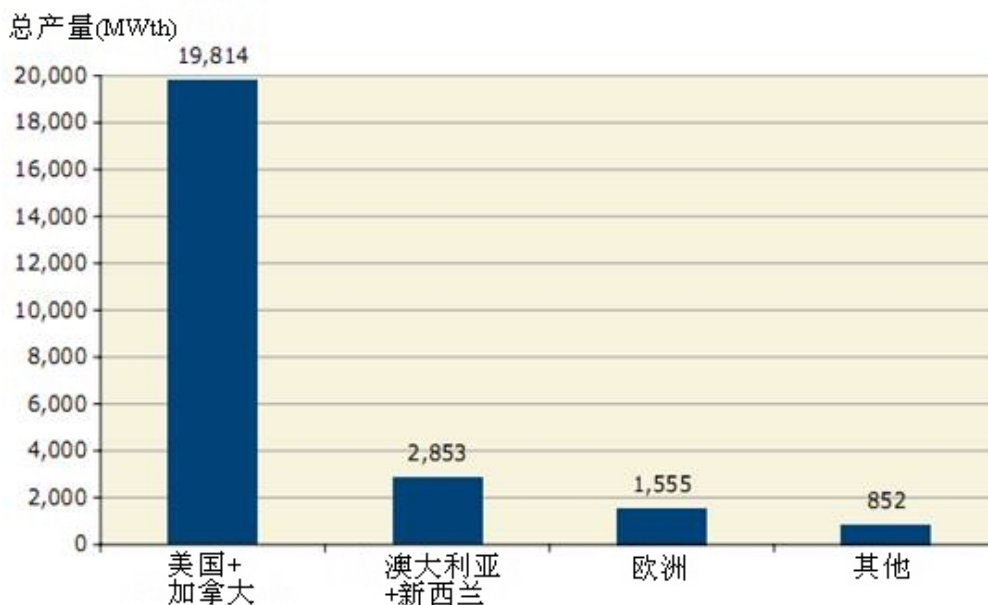
图 2-29 2007 年底太阳能热水器保有量居前 10 位的国家【28】



欧洲：EU-27，阿尔巴尼亚，马其顿，挪威，法国海外部，瑞士

其他：巴巴多斯，巴西，印度，以色列，约旦，墨西哥，纳米比亚，南非，突尼斯，泰国和土耳其。

图 2-30 2007 年底有盖板平板集热器和真空管集热器总保有量按经济区分布【28】



欧洲：EU-27，阿尔巴尼亚，马其顿，挪威，法国海外部，瑞士

其他：巴巴多斯，巴西，印度，以色列，约旦，墨西哥，纳米比亚，南非，突尼斯，泰国和土耳其

图 2-31 2007 年底无盖板集热器总保有量按经济区分布【28】

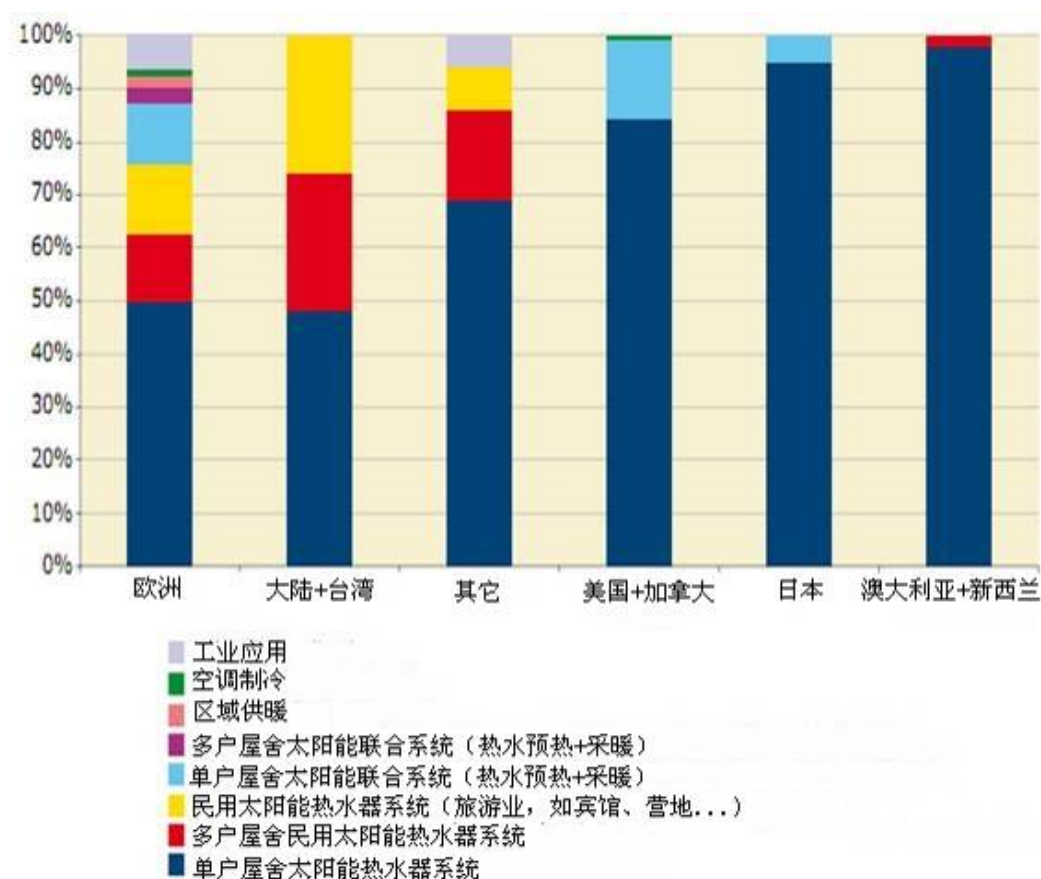


### 3 太阳能热利用技术在工业领域应用现状

#### 3.1 国外研究与应用现状

国外对太阳能热利用技术在工业领域应用现状的研究始于上个世界七八十年代。欧美的12个国家对工业领域的用热品位进行了调查和研究。国际能源署先后在1976年启动了太阳能取暖与制冷计划(IEASHC),在1977年启动了以其和美国、俄国、德国、以色列、澳大利亚、瑞士、西班牙七团作为执行委员会的太阳能热动力和太阳能化学能系统计划(SolarPACESProgram),对太阳能的技术现状以及其应用于工业加热过程的现状及前景进行了研究。

研究表明,目前为止,太阳能热利用技术主要集中在民用领域,如游泳池、家用热水器系统及采暖等。而太阳能热利用技术应用于工业领域的比例非常小。而世界范围内,已应用于工业加热过程的工程大多是小规模,仅有几例大规模的应用。



欧洲: EU-27, 阿尔巴尼亚, 马其顿, 挪威, 法国海外部, 瑞士

其他: 巴巴多斯, 巴西, 印度, 以色列, 约旦, 墨西哥, 纳米比亚, 南非, 突尼斯, 泰国和土耳其

联合系统: 用于热水预热和采暖的系统

DHW: 民用热水系统 MFH: 多户屋舍 SFH: 单户屋舍

图 3-1 太阳能在不同国家不同应用的比例【29】

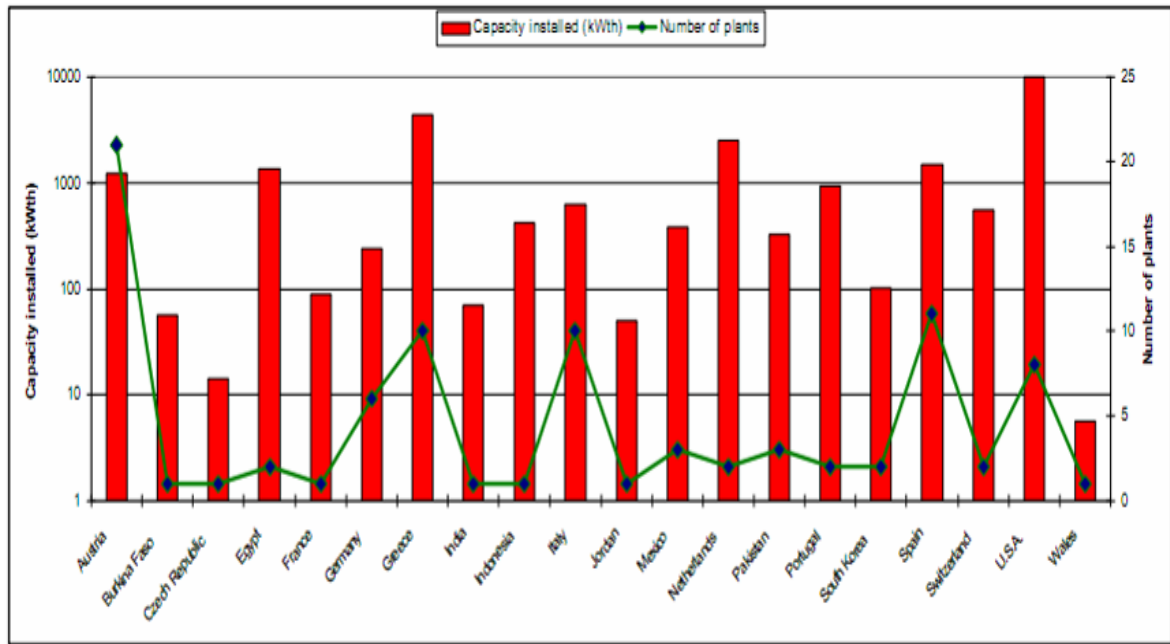


图 3-2 太阳能在不同工业领域应用状况【30】

当今世界上有 85 个太阳能热利用技术在工业领域应用的工程，总量为 25MWth (35,700m<sup>2</sup>)。这些工程分布在 19 个国家，涵盖了 11 个不同的工业领域，平均每个工程的规模为 320KWth，标志了太阳能热利用技术在工业领域的成功应用。2006 年，在印度、意大利、西班牙、瑞士和澳大利亚，又有新增几例应用工程。

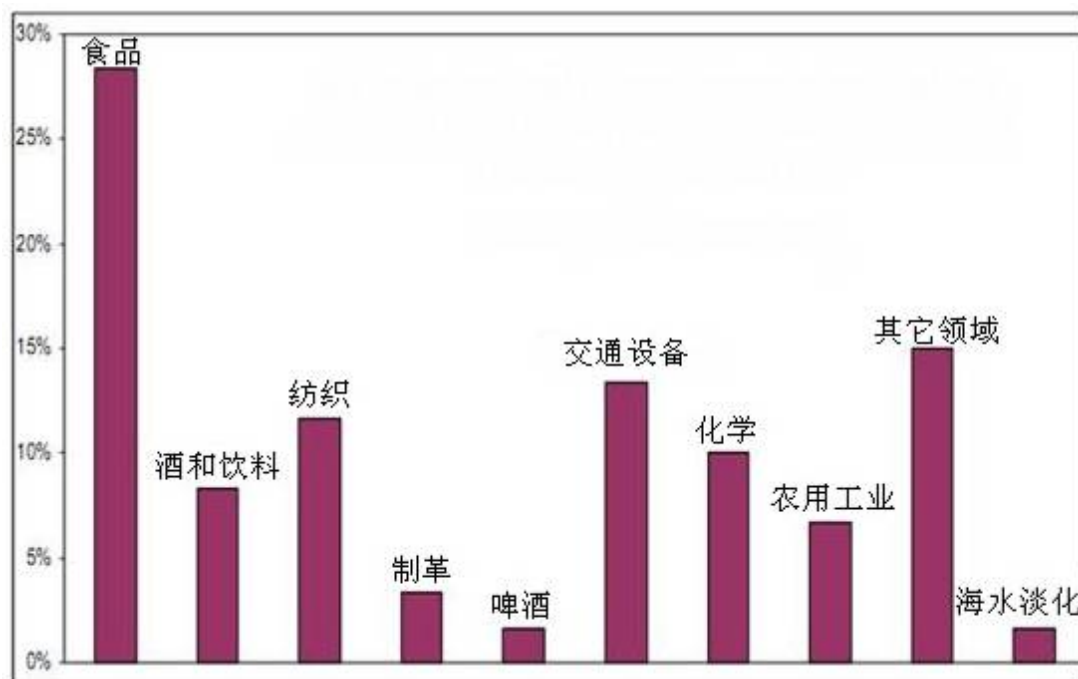


图 3-3 工业应用太阳能热利用技术的行业分布【31】

美国是最早把太阳能中温系统用在工业加工的国家，80年代就在加利福尼亚州的帕萨尤纳，建造了一座600m<sup>2</sup>太阳能中温装置，产生170℃蒸汽供洗衣房用热，可以满足洗衣房蒸汽需要量的75%。美国德克萨斯州达拉斯北80公里处，建造一座1070m<sup>2</sup>中温装置，产生173℃汽漂洗布匹，可满足工厂漂洗布匹需要量的60%。美国勘萨斯AAI公司建造一座太阳能蒸汽混凝土实验厂，产生150℃汽对混凝土养护。加拿大一家罐头食品加工厂，建造了一座太阳能中温系统装置，提供150-18℃蒸汽，每年可节省全厂电力消耗的20%。澳大利亚太阳能中温把导热油加热至200-250℃，用来熔化沥青。在日本除利用太阳能中温在工业普遍应用外，还在农业上利用太阳能中温对农药解毒，以进行有毒废物的处理。在罗马尼亚太阳能中温实际应用总量已达18000平方米，等等。

调查研究表明，尽管太阳能热利用技术在工业领域的应用还不多，但工业耗能显著，在发达国家占社会总能耗的1/3，在中国占社会总能耗的70%。而根据欧盟国家的数据，工业用热耗能占工业能耗的67%，占社会总能耗的18.6%。其中大部分工业过程用热需求都在250℃以下，太阳能热利用技术在工业领域的应用前景可期。

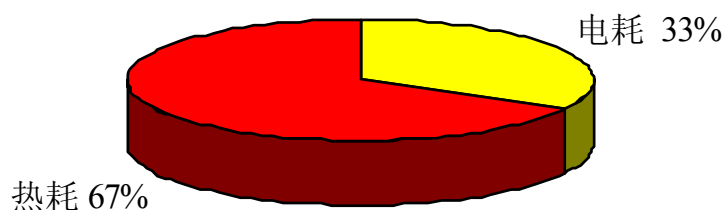


图 3-4 欧洲工业终端能耗的热电耗比

根据最新的估算【6】，在欧盟25国，太阳能的热利用技术应用于工业加热过程的潜力是90~112GWth(128-160million m<sup>2</sup>)，占工业用热总需求的2.5%。

### 3.2 国内研究与应用现状

近年来，我国太阳能热利用得到快速发展，特别是近几年，太阳能热水器产业得到快速发展。目前，我国已成为太阳能热水器应用的绝对大国，总保有量已超过1亿平方米，企业5000多家，年产值达400亿元。太阳能热水器与燃气热水器、电热水器并列成为三大热水器产品之一。太阳能热利用主要集中在低温利用，提供40-80℃的生活热水。

太阳能热利用技术在工业领域的应用在我国还几乎是一个空白，目前仅有几例应用。其中佛山市三水佳利达纺织染有限公司2006年实施“太阳能水处理节能系统”技术改造项目，

建造了 3000 平方米的太阳能热水系统，日供热水 300 吨，用于工业过程和一些工业用热的预热。浙江达利公司建造了总面积为 1300m<sup>2</sup>的太阳能集热器组，日供应热水 1300 吨用于印染。

为推进太阳能在工业领域如纺织、造纸、印染、食品等行业的应用，太阳能热利用技术尤其是太阳能中温技术还有待发展。

## 4 太阳能热利用技术在工业领域应用的前景分析

世界各国工业能源消费一般只占能源消费总量的三分之一左右，而在我国，工业能耗占比近 70%，许多经济大省工业能耗占比甚至显著高于 70%。且工业部门能源消费年均增长率超过全国能源消费增长率，见图 1-5。

根据工业热过程的用热需求，先择以下烟草、纺织、医药、食品、造纸等八个行业进行研究。行业的基本情况见表 4-1。

表 4-1 所研究行业的基本情况(2007 年)

潜力行业	企业个数	总产值（亿元）
造纸	8,376	632, 5.45
纺织	27,914	1,873,3.31
食品加工	18,140	1,749,6.08
烟草	150	377,6.22
木材加工	7,852	352,0.54
化工	22,981	2,679,8.80
塑料	15,376	812,0.41
医药	5,748	6,361.90

数据来源：国家统计局

所研究行业生产总值占工业生产总值的 22.5%

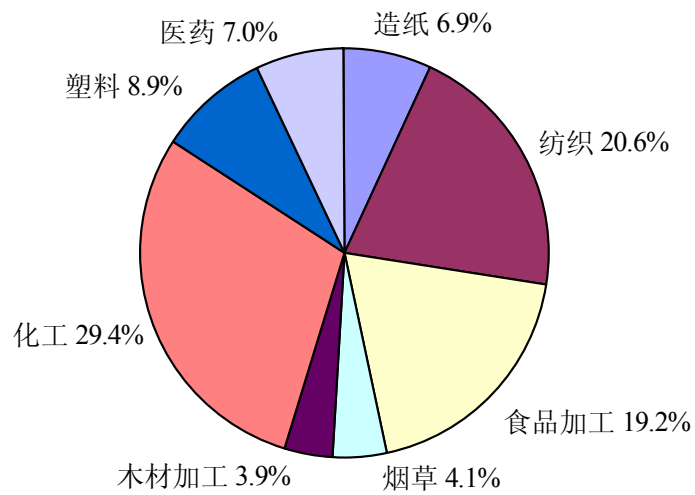


图 4-1 所研究行业的产值份额

所研究行业的能耗占工业总能耗大于 22.7%

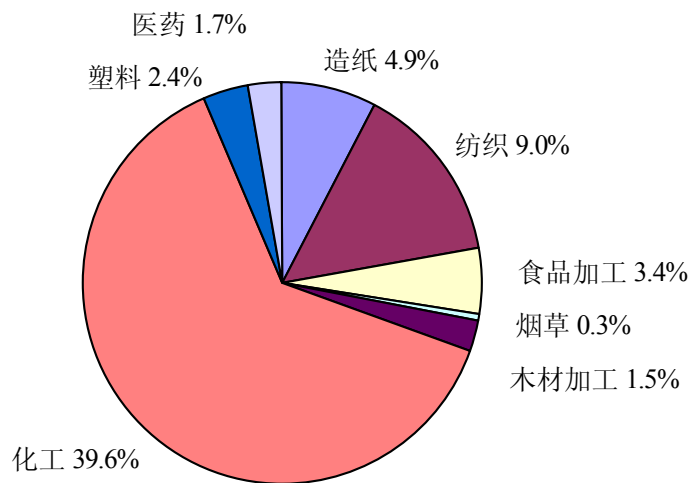


图 4-2 所研究行业的能耗比

## 4.1 烟草业

### 4.1.1 烟草业概况

中国是世界上第一烟草消费大国，年卷烟消费量约 17000 亿支。烟草产业一直是国家财政创税第一大户，烟草税收几乎占到国家税收的 10%。具体数据见表 4-2 和表 4-3。

表 4-2 我国烟草业基本情况

时间	企业数量 (个)	烟草业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	255	2,235.81	135,822.76	1.6%
2004 年	210	2,596.03	159,878.34	1.6%
2005 年	190	2,840.74	183,217.45	1.6%
2006 年	179	3,214.08	211,923.46	1.5%
2007 年	150	3,776.23	257,305.60	1.5%

数据来源：国家统计局

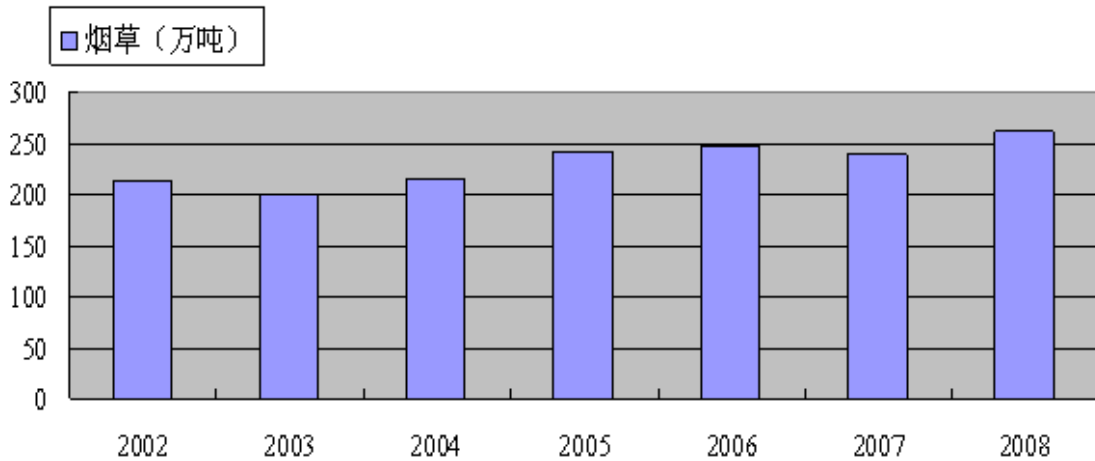
表 4-3 2001 年~2007 年中国烟草产业对国家税收和财政收入的贡献

年份	烟草利税 (亿元)	税收收入 (亿元)	财政收入 (亿元)	烟草利税/税收收入 (%)	烟草利税/财政收入 (%)
2001	1150	15172	16371	7.6%	7.0%
2002	1400	17004	18914	8.2%	7.4%
2003	1600	20450	21715.3	7.8%	7.4%
2004	2100	25718	25178	8.2%	8.3%
2005	2400	30866	31649.29	7.8%	7.6%
2006	2900	37636	39373.2	7.7%	7.4%
2007	3880	49442.73	52304.03	7.8%	7.4%

资料来源：国家烟草专卖局，2001 年~2007 年烟草系统统计年报

国家统计局，2001 年~2007 年中国统计年鉴

近七年来，我国烤烟产量稳中有增，见图 4-3



资料来源：国家统计局统计公报

图 4-3 近七年来我国烤烟产量

#### 4.1.2 烟草工艺

卷烟生产的工艺流程【32】是要据烟叶原料的理化特性，按照一定的程序逐步通过各种加工方法或设备，把原料制成合格卷烟产品所必须经过的加工制造过程。它包括的主要工序有：初烤、复烤和制丝等。

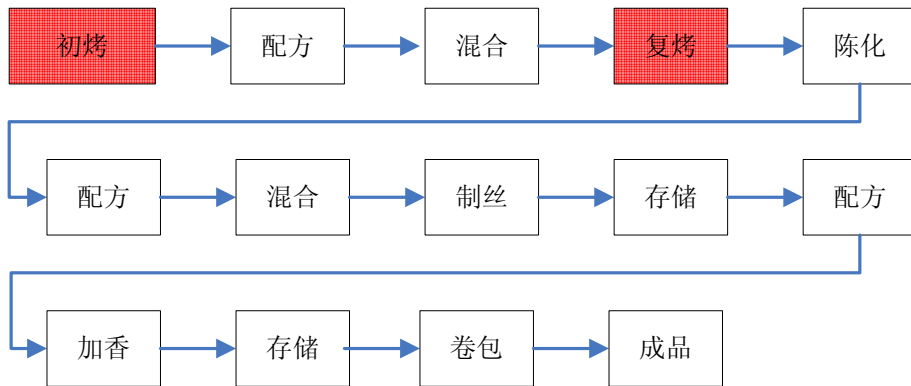


图 4-4 烟草生产的工艺流程

##### 1) 初烤

初烤是指将新鲜烟叶中的水分（大约 80%-90%）利用热能蒸发掉，烤烟时间云南是每年 5 月底至 8 月初。该阶段在烟农端完成，属于上述的商业过程。

##### 2) 复烤

挂杆复烤是对烘烤调制后的烟叶进行再一次烘烤的过程。主要分为挂杆复烤和打叶复

烤。我国普遍采用挂杆复烤。打叶复烤是国外普遍采用的新工艺，我国也正在积极发展和推广。供热耗能形式为蒸气、微波、高频和电热。

### 4.1.3 烟草耗能与用热现状

表 4-4 烟草行业的能耗状况

	烟草生产能耗 (万吨标准煤)	工业总能耗 (万吨标准煤)	社会总能耗 (万吨标准煤)	占工业	占社会 总能耗
2003 年	265.01	119626.63	170942.58	0.22%	0.16%
2004 年	238.16	143244.02	203227.02	0.17%	0.12%
2005 年	237.68	158058.37	223319.3	0.15%	0.11%
2006 年	232.28	175136.64	246270.15	0.13%	0.09%
2007 年	230.19	190167.29	265582.99	0.12%	0.09%

资料来源：国家统计局中国统计年鉴

烟草的用热环节主要为初烤和复烤，初烤当前主要应用的烤烟装置为烤房，利用煤作为能源，生成热风进行干燥。整个初烤阶段对干燥温度的控制与稳定要求较高，要经历 3 个时期：小火期 35-40℃，中火期 50-57℃，大火期 70-75℃。当前的平均水平，烤 1Kg 烟需要消耗 1.5-3.2Kg 标准煤。

### 4.1.4 烟草业案例分析

以云南烟草生产为例，初烤主要在烤房中由煤作为能源生成热风进行干燥，烤房见模型 4-5，供热设备 4-6。



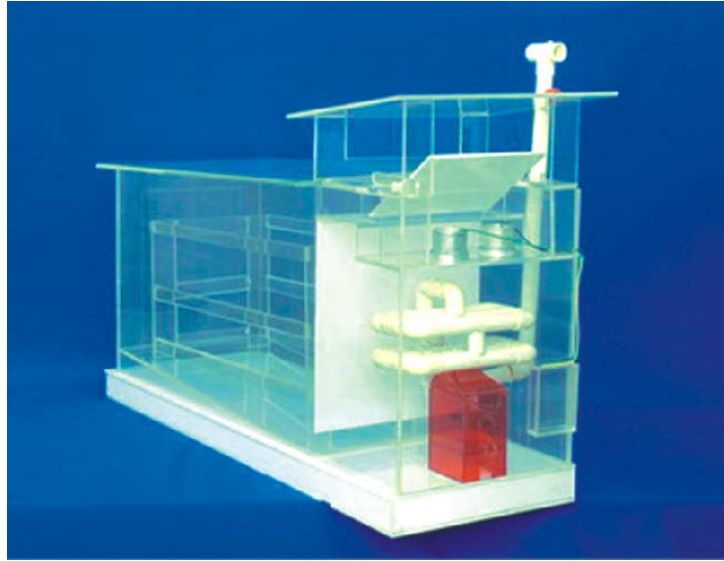


图 4-5 烤房模型

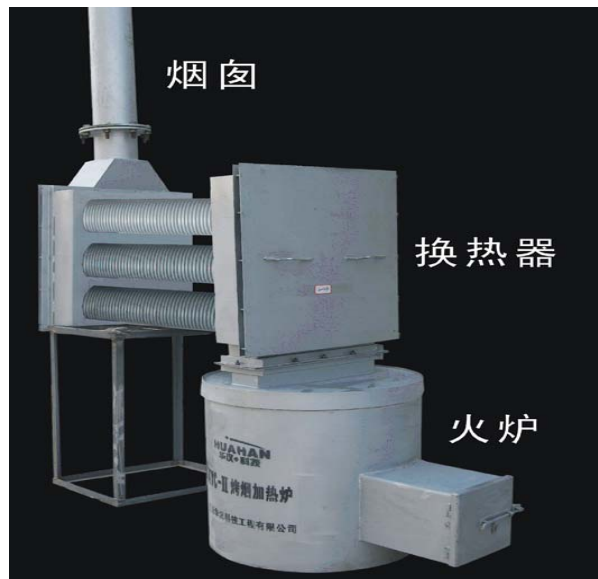


图 4-6 烤房供热设备

当前的平均水平，烤 1Kg 烟需要消耗 1.5~3.2Kg 标准煤，而 2008 年云南烟草业的生产量约为 87 万吨，消耗标准煤 131~278 万吨。若初烤部分用太阳能进行，按 50% 的太阳能保证率，刚每年可节省标煤约 66~139 万吨。

#### 4.1.5 烟草业应用太阳能的效益与前景分析

烟草业在我国的财政税收中占有重要的地位，但同时它也是一个能耗比较高的行业。2007 年，其热力能耗占工业的总能耗的 0.12%。

表 4-5 烟草业若应用太阳能的节能减排情况

能耗单位：万吨标煤

年份	烟草业 总能耗	热力 消耗	占工业	占社会总能 耗	若太阳能 替代 10%	CO <sub>2</sub> 减排量 (万吨)
2003 年	265.01	150.20	0.22%	0.16%	15.02	48.96
2004 年	238.16	123.79	0.17%	0.12%	12.38	40.35
2005 年	237.68	106.73	0.15%	0.11%	10.67	34.79
2006 年	232.28	106.45	0.13%	0.09%	10.64	34.70
2007 年	230.19	94.29	0.12%	0.09%	9.43	30.74

如果热力耗能的 10%由太阳能提供，则按 2007 年的数据，可节省 9.43 万吨标准煤，标煤价格：550 元/吨，共计 5186.5 万元。同时，可以减排 CO<sub>2</sub>30.74 万吨。

## 4.2 食品加工业

### 4.2.1 食品加工业概况

根据国家统计局的统计，截至 2007 年年底，我国农副食品加工工业有企业 18140 家，年总产值为 17496.08 亿元，占国内生产总值的 6.8%。

表 4-6 近 5 年食品加工工业基本情况

时间	企业数量 (个)	食品业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	11,192	6,152.32	135,822.76	4.5%
2004 年	14,097	8,344.89	159,878.34	5.2%
2005 年	14,575	10,614.95	183,217.45	5.8%
2006 年	16,356	12,973.49	211,923.46	6.1%
2007 年	18,140	17,496.08	257,305.60	6.8%

## 4.2.2 食品加工工艺

以牛奶的生产为例，工艺流程见图 4-7。

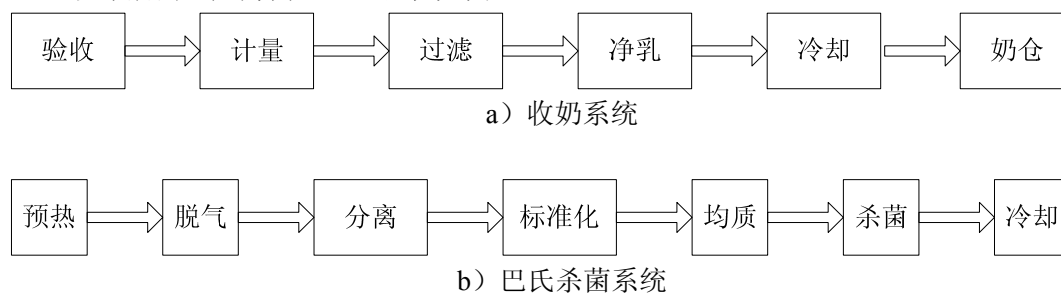


图 4-7 牛奶的生产工艺流程

与其它食品加工业不同的是，牛奶的生产是一星期七天都在进行，更能够充分利用太阳能。牛奶生产过程中，热能主要用来巴氏消毒（60-85℃）和灭菌（130-150℃）。

在食品保藏业中，一些过程也可以用太阳能热利用技术，如烫菜，蔬菜鱼肉等的杀菌，鱼的清洗和预处理，罐头的封装和清洗，烹饪等等。另外，一些冷藏要求也可以应用太阳能吸收式制冷机实现。

## 4.2.3 食品加工业耗能与用热现状

食品加工最近两年的能耗稍有降低，但仍占工业能耗的 1.23%。

表 4-7 近 5 年食品加工工业能耗状况 能耗单位：万吨标准煤

年份	食品生产能耗 (万吨标准煤)	工业总能耗 (万吨标准煤)	社会总能耗 (万吨标准煤)	占工业能耗	占社会总能耗
2003 年	1548.28	119626.63	170942.58	1.29%	0.90%
2004 年	1820.78	143244.02	203227.02	1.27%	0.90%
2005 年	2034.4	158058.37	223319.3	1.29%	0.91%
2006 年	2155.75	175136.64	246270.15	1.23%	0.88%
2007 年	2335.75	190167.29	265582.99	1.23%	0.88%

## 4.2.4 食品加工工业案例分析

### 1) 企业简介

某食品企业，主要生产各种饼干。2008 年该企业生产总量 1.17 万吨，年产值约 4.43 亿。饼干的生产流程【33】见图 4-7，饼干的主要工艺是烘烤，现今大部分企业的烘烤均采用电烤炉，这种生产特性决定了饼干生产过程中的能源消耗结构，电力占 73.3%，而热力部分仅占 26.7%。如图 4-8。

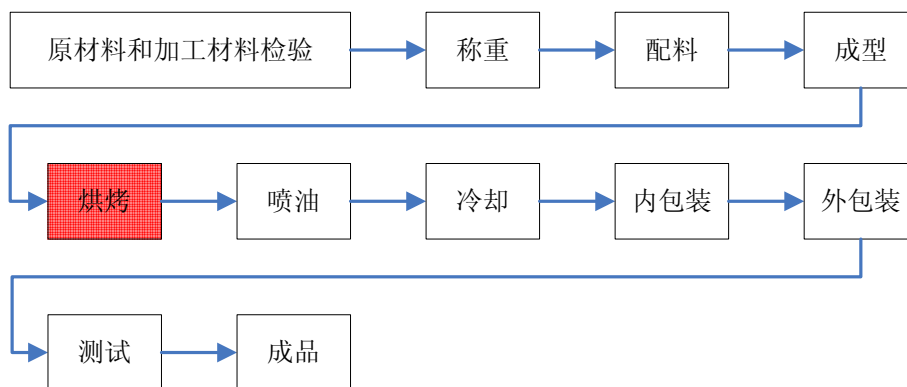


图 4-8 饼干的生产流程

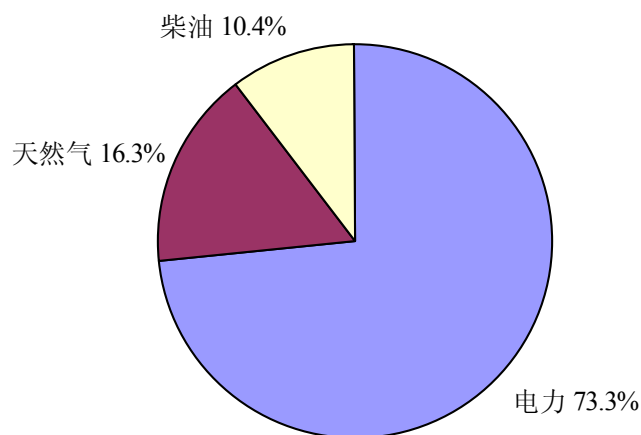


图 4-9 2008 年该食品企业能源消耗结构图

### 2) 该企业的用热状况

企业分为不同的温水间，每个温水间的均设有 30℃，40℃，55℃的温水缸若干，每个温水间用于不同品种饼干的生产，根据生产安排，每年运行的时间段不一。最长的年运行 4689 小时，最短的年运行 1880 小时。但在 300 天的年工作时间内，每天均有温水间在运行。基于最小用热量对其进行太阳能替代节能分析。

用热量约为 20m<sup>3</sup>/h

用热水温度取平均为 50℃

用热水时间段为 24 小时

### 3) 该企业应用太阳能的节能分析

若所需热水由太阳能热水系统满足，则相应参数为：

集热器面积：1000m<sup>2</sup>

日产热水：200 吨

年产热水：34000 吨

年节约电：41.75 万度

年节省费用：25.5 万

一次投资：120 万

投资回收期：4.7 年

#### 4.2.5 食品加工工业应用太阳能的效益与前景分析

食品加工行业由于用热品位的要求大多在中低温，非常适合应用太阳能。若太阳能替代 10%，刚 2007 年的煤消耗可减少 109.11 万吨，CO<sub>2</sub> 可以减排 355.65 万吨。

若太阳能替代 10%，则各年的标煤节省量及 CO<sub>2</sub> 减排量见下表。

表 4-8 太阳能替代 10%的标煤节省量及 CO<sub>2</sub> 减排量

年份	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排 量 (万吨)
2003 年	924.03	1.29%	0.90%	92.40	301.20
2004 年	1081.35	1.27%	0.90%	108.14	352.48
2005 年	1109.34	1.29%	0.91%	110.93	361.61
2006 年	1073.41	1.23%	0.88%	107.34	349.90
2007 年	1091.06	1.23%	0.88%	109.11	355.65

## 4.3 造纸业

### 4.3.1 造纸业概况

我国是个造纸林木资源匮乏、纸品消费大于生产量增长，纸品及原料高度依赖进口的发展中大国。人均森林蓄积量只有 9.05 立方米,仅为世界平均水平（72 立方米）的 13%，居世界第 119 位，然而我国是世界上仅次于美国的第二大纸品生产和消费大国。

据国家统计局统计，2008 年我国机制纸及纸板的产量达到 8390.9371t，与 2007 年相比同比增长 8.75%。纸品及原料大量进口，尤其木浆进口量以 22%的速度增长；木浆进口量已为世界发达国家德国的 1.6 倍，居世界第一。按国家造纸工业发展的要求，将造纸原料中木浆比例由目前的 5%-6%提高到达 20%,要进口全球木浆净交易量的 80%；如果赶上世界发达国家造纸(90%用木浆)水平,中国需要进口的木浆将是全世界净交易量的 3.6 倍。显而易见,依托消耗资源,即使地球上全部木浆交易量也远远不能满足我国国民经济迅速发展和人民生活水平不断提高对造纸业的要求。

表 4-9 造纸业基本情况

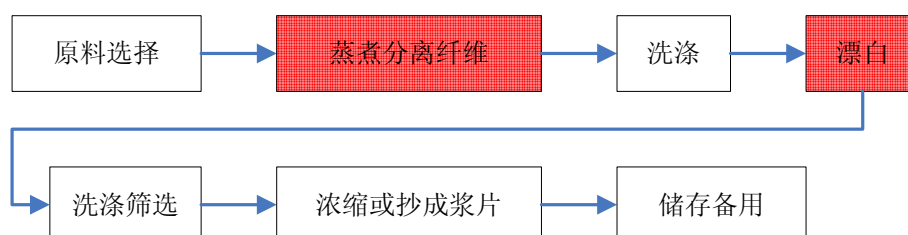
时间	企业数量 (个)	造纸业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	5,570	2,526.05	135,822.76	1.9%
2004 年	7,473	3,371.94	159,878.34	2.1%
2005 年	7,461	4,161.33	183,217.45	2.3%
2006 年	7,892	5,034.92	211,923.46	2.4%
2007 年	8,376	6,325.45	257,305.60	2.5%

数据来源：国家统计局

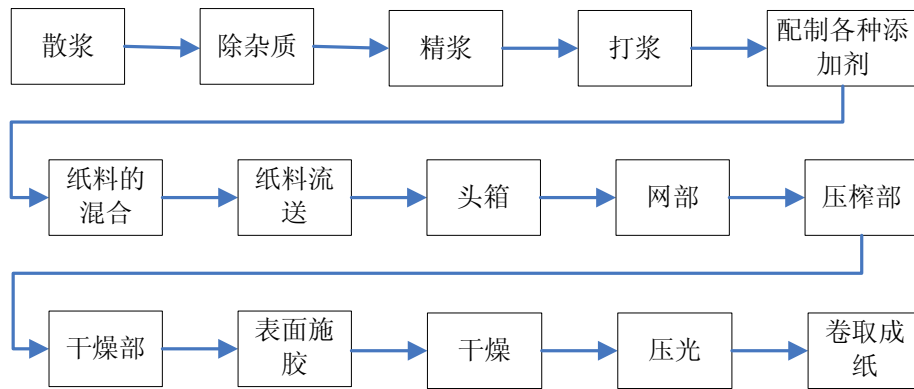
### 4.3.2 造纸工艺流程

造纸的工艺流程【34】由如下几个主要环节组成：

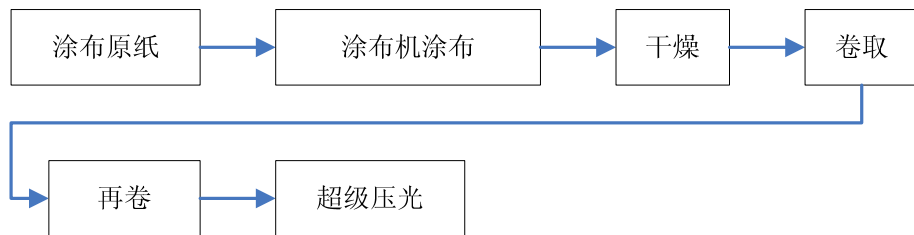
制浆段：



抄纸段：



涂布段：



加工段：

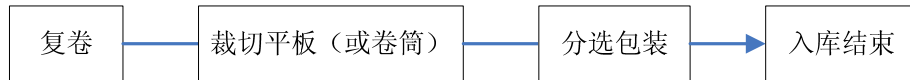


图 4-10 造纸的工艺流程

**蒸煮阶段：**蒸煮是用烧碱或硫酸盐配成的蒸煮液作用于不同类型的纸浆，适当地除去原料中的木素，使纤维间结合力下降，从而削弱纤维间的结合力，促使其解离成浆或为以后通过机械处理使之解离成浆创造条件。

蒸煮开始的第一小时温度约为 100℃，在蒸煮至第三小时，温度约为 160℃，继续升温至 172℃。

**漂白阶段：**漂白即是用漂白剂除去纸浆中的有色物质，提高纸浆的白度，扩大纸浆用途。漂白浓度在 5%~6%时，温度控制最高不超过 40℃；当浓度为 10%~16%时，漂白温度应在 35~37℃以下。

### 4.3.3 造纸业耗能与用热现状

造纸业是耗能大户，也是高污染行业。2007 年度，造纸行业能耗为 3342.68 万吨标准煤，占工业能耗的 1.76%。

表 4-10 造纸业能耗状况

	造纸能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	工业总能耗 (万吨标煤)	社会总能耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗
2003 年	2371.45	1230.92	119626.63	170942.58	1.98%	1.39%
2004 年	3081.35	1766.20	143244.02	203227.02	2.15%	1.52%
2005 年	3274.13	1785.39	158058.37	223319.3	2.07%	1.47%
2006 年	3443.68	1806.56	175136.64	246270.15	1.97%	1.40%
2007 年	3342.68	1723.68	190167.29	265582.99	1.76%	1.26%

由图 4-10 造纸的工艺流程图可以看出，纸浆生产都要经过蒸煮和漂白段，用到蒸煮液和漂白液，温度控制在 200℃ 和 40℃ 以下。目前用热解决主要通过烧煤锅炉产生的蒸汽及蒸汽加热的冷水。每年消耗大量的煤，2007 年，煤的生产量约为 24 亿吨，造纸业耗煤 1723.68 万吨，占总生产煤量的 0.7%。

### 4.3.4 造纸业案例分析

目前，国内外造纸行业并无一家企业在生产过程中采用太阳能。但根据造纸的艺流程可以看出，蒸煮阶段完全可以由太阳能作为热源，部分替代常规的煤。



图 4-11 造纸业实物图



### 4.3.5 造纸业应用太阳能的效益与前景分析

由表 4-11 可以看出，造纸业耗能巨大，而又是高污染排放行业。如果太阳能替代其热消耗的 10%，则根据 2007 年数据，可以节省 172.37 万吨标煤，减排 CO<sub>2</sub>561.86 万吨。

表 4-11 太阳能若应用于造纸业的节能减排状况

	造纸生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排量 (万吨)
2003 年	2371.45	1230.92	1.98%	0.01%	123.09	401.24
2004 年	3081.35	1766.20	2.15%	1.52%	176.62	575.72
2005 年	3274.13	1785.39	2.07%	1.47%	178.54	581.98
2006 年	3443.68	1806.56	1.97%	1.40%	180.66	588.88
2007 年	3342.68	1723.68	1.76%	1.26%	172.37	561.86

## 4.4 纺织业

### 4.4.1 纺织业概况

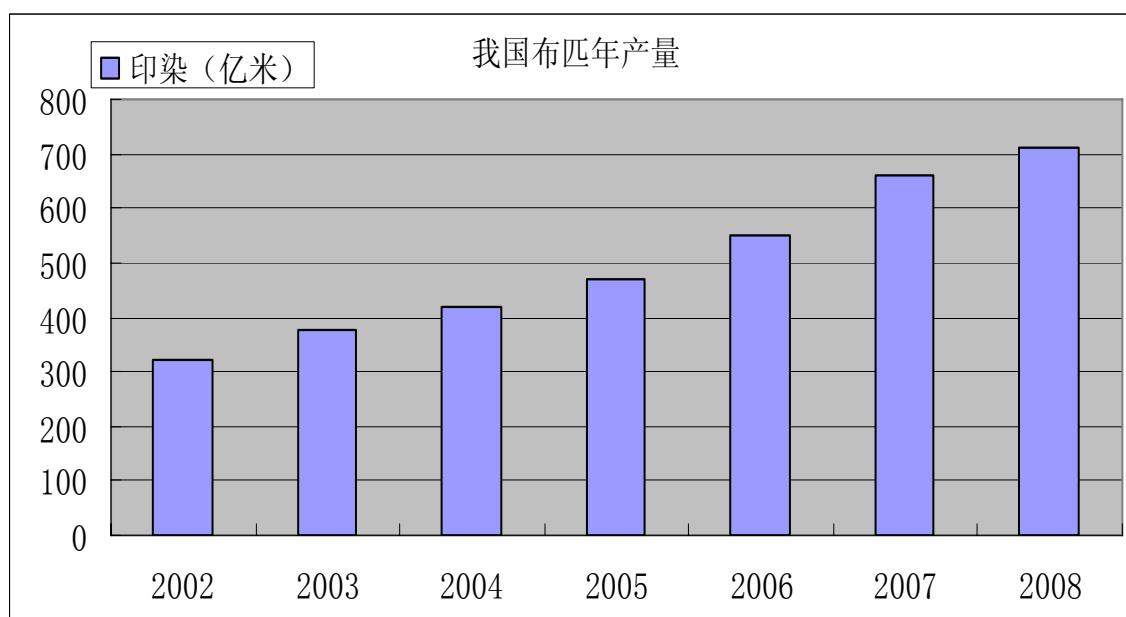
纺织工业在占世界 1 / 5 人口的我国，历来是关系国计民生的重要产业。纺织业对于实现 2020 年的宏伟目标，有不可替代的历史作用。我国纺织工业在 1994 年建成世界第一大纺织品服装生产国和出口国，使纺织工业成为我国实现国际收支平衡的支柱产业。

表 4-12 纺织业基本情况

时间	企业数量 (个)	纺织业产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值(%)
2003 年	14,863	7,725.20	135,822.76	5.7%
2004 年	24,192	10,355.52	159,878.34	6.5%
2005 年	22,569	12,671.65	183,217.45	6.9%
2006 年	25,345	15,315.50	211,923.46	7.2%
2007 年	27,914	18,733.31	257,305.60	7.3%

资料来源：国家统计局

据国家统计局 2007 年年度统计，我国纺织业共有企业 27914 家，工业总产值 18733 亿元，占国民生产总值的 6.2%。



资料来源：国家统计局统计公报

图 4-11 近七年来我国布匹产量

## 4.4.2 纺织业工艺

纺织工业按行业主要分为纺织业、印染业、化学纤维制造业、服装业和纺织专用设备制造业。

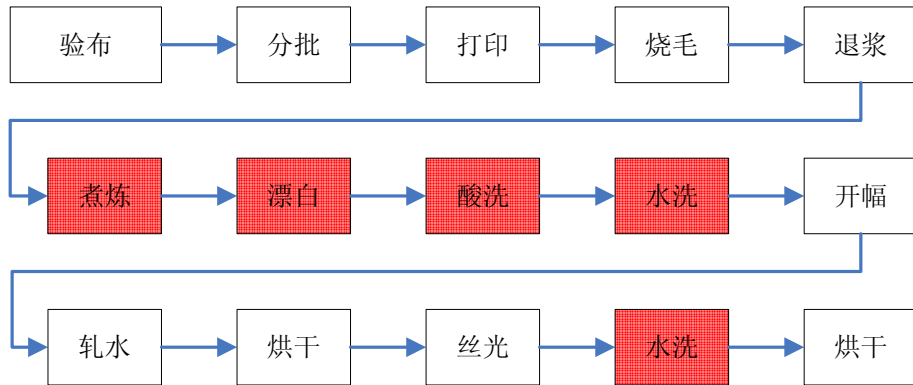
根据原料对纺织业进行分类有棉纺织印染行业、毛纺织染整行业、丝绸印染行业和麻纺织染整行业。

纺织工艺包括纺纱、织造，而染整工艺包括染色、印花、整理等。它首先将杂乱无章的纤维，逐步通过纵向顺序排列纺成纱线，然后通过经纱和纬纱的交叉排列织成织物，使织物具有纹路和花型，形成实用美观的外表，再经过染色、印花、整理、加工，进一步发挥其美观性和实用性。

毛纺织染整行业、丝绸印染行业、麻纺织染整行业一般均包括由纤维经过纺纱、织造、印花(或染色)和整理的全部工艺流程。由于棉纺织印染产品产量大，故其纺织和印染大多数是在不同企业进行加工。棉纺织厂一般加工的产品为坯布或纱线，而印染厂则将坯布经过处理后，再进行染色或印花，最后产品为漂白布、染色布、印花布。

印染的工艺流程【35】主要分为漂炼工段和染整工段：

漂炼工段：



染整工段：

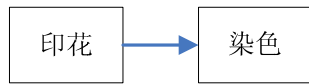


图 4-12 印染工艺流程

#### 4.4.3 印染行业耗能与用热现状

纺织业能耗也随着产量的增加而迅速增加，2007 年度，能耗为 6207.57 万吨标煤，占工业总能耗的 3.26%，占社会总能耗的 2.34%。

表 4-13 我国纺织业能耗现状

年份	纺织业能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	工业总能耗 (万吨标煤)	社会总能耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗
2003 年	3468.96	1474.99	119626.63	170942.58	2.90%	2.03%
2004 年	4550.25	1917.54	143244.02	203227.02	3.18%	2.24%
2005 年	4978.35	1971.26	158058.37	223319.3	3.15%	2.23%
2006 年	5756.49	1982.48	175136.64	246270.15	3.29%	2.34%
2007 年	6207.57	5744.9	190167.29	265582.99	3.26%	2.34%

在纺织品印染的工艺中，很多环节要用到热水，热水供应对于印染企业有着至关重要的作用和意义。目前，中国印染行业有规模以上企业 1948 家，大小锅炉数万个，绝大部分印染企业都用蒸汽把冷水加热，每年消耗了大量煤炭。

我国印染行业采用这种方式产热水能耗大、成本高、污染严重，具体表现如下：

#### 1)能源消耗巨大，生产成本居高不下

2006 年，我国印染行业共消耗煤炭 1690 万吨，占全国煤炭总产量的 0.8%，平均每家印染企业消耗 8600 吨。由于能源消耗大、能源价格上涨，大大降低了印染企业的盈利能力，2006 年我国印染行业平均利润率仅为 3.34%。在印染企业中，水、电、煤能源成本占总成本 40%左右，仅次于染化料，一直居高不下，是印染企业降低成本、提高利润的一道不可逾越的“坎”。因此，降低能源消耗，减少煤炭和蒸汽用量对提高印染企业利润空间有重要意义。

#### 2)环境污染严重

印染行业燃烧煤炭释放出大量的二氧化碳、二氧化硫等废气和烟尘，是大气污染的重要来源之一。大气中 74%的 SO<sub>2</sub>、85%的 CO<sub>2</sub>、60%的 NO<sub>2</sub> 和 70%的烟尘来源于煤炭的直接燃烧。据统计，2006 年，我国印染行业消耗的 1690 万吨煤共产生二氧化碳等废气约 1690 亿立方米，烟尘约 33.8 亿吨。

### 4.4.4 纺织业案例分析

#### 1) 企业简介

达利(中国)有限公司创建于 1973 年，2000 年成为香港达利集团全资子公司，地处“丝绸之府”中国杭州，专业从事真丝绸面料的印花及染色加工，真丝绸梭织、针织服装、服装辅料制作及成衣出口的服装一条龙生产。产品主要销往美国和欧洲。公司总注册资本 8600 万美元，总占地面积 25 万平方米，员工 5000 余人，年产梭织服装 700 万件（套）；年产针织服装 500 万件（套）；年生产加工能力为印花绸 1200 万米、染色绸 1200 万米。

#### 2) 太阳能系统原理

2007 年 3 月，浙江杭州的达利（中国）有限公司的印染厂建造了 13000m<sup>2</sup>的大型太阳能热水系统【36】，日供应印染热水 1300 吨以上。该太阳能加余热利用热水系统总投资为 1400 万元，每年可节约蒸汽 36000 吨，节约蒸汽费 468 万元/年。3 年可收回投资，在 15 年寿命期中，可获得投资回报大于 7000 万元。



图 4-13 达利印染太阳能热水系统

印染用太阳能热水系统主要由 4 大部分组成：

- ① 太阳能集热器：它吸收太阳光，把光能转化为热能，把冷水加热；
- ② 热水池：它用来储存热水；
- ③ 余热回收系统：它吸收废水余热，使冷水升温；
- ④ 供水管道。

晴天，当太阳光把集热器内的冷水加热至  $60^{\circ}\text{C}$ （此温度可设置）时，冷水管上的电磁阀自动打开，冷水被自来水压力压入集热板内，并把集热板内的热水挤到热水池中储存待用，当冷水到达集热板出口处的温度探头时，探头温度低于  $60^{\circ}\text{C}$ ，电磁阀门就立刻关闭，冷水停留在集热板内被太阳光继续加热，1~3 分钟以后，水温又达到  $60^{\circ}\text{C}$ ，电磁阀门再次打开，集热器内的热水又被挤压到热水池中，按此规律，一次又一次产生热水进入水池，水池内热水逐渐增加，一直到水池水满为止。

水池水满后，就停止进水，如果还有太阳能，为了充分利用太阳能，循环水泵会自动启动，把水池内  $60^{\circ}\text{C}$  的热水抽出来，经过太阳能集热器循环加热，使水温进一步升高。

用热水时，热水从热水池中输入染洗设备，同时，冷水管和蒸汽管向染洗设备中输入冷水和蒸汽以调节水温。染洗设备中的热水用于染洗后就成了废水，但废水还有较高的温度，为了充分利用废热的热能，废水通过污水管输入平板式热交换器，通过热交换器回收热能把冷水加热，然后，加热后的干净热水输入到热水池中。最后，降温后的废水通过排水管排出。

### 3) 系统的节能分析

节能:

日产热水 20~60℃: 1300 吨

年节约蒸汽: 36000 吨

蒸汽热价: 130 元/吨

年节省费用: 468 万

一次投资: 1400 万元

投资回收期: 3 年

CO<sub>2</sub> 减排量: 4788 吨标煤

## 4.4.5 行业应用太阳能的效益与前景分析

太阳能资源极其丰富,每个国家都可无限制地无偿利用,共获阳光下的利润,不会被少数国家与地区垄断,造成人为的能源危机,有利于各国和平共处,同时更有利于人类与自然的和平共处。

太阳能热水系统经济实惠、高效节能、安全、卫生、无污染,具有良好的经济效益和社会效益。

### 1) 经济

太阳能取之不尽,用之不竭,具有很好的经济效益。以用蒸汽生产 60℃热水为例,水温从 20℃升至 60℃,每吨热水耗用的蒸汽费用为:

每吨热水耗蒸汽量×蒸汽单价=0.1 吨×130 元/吨=13 元

因此,如果用太阳能生产 60℃热水,每吨热水可节约成本 13 元。

晴尔印染用太阳能热水系统可大规模地应用在印染行业,大面积的太阳能集热板利用太阳能把水加热,贮存于热水池中,然后向印染车间的用热水设备供热水,可大幅度节约蒸汽费用或燃煤费用。每 10000m<sup>2</sup> 太阳能集热板每年可产 20 万吨 55℃—60℃热水,可节约 2 万吨蒸汽,可节约 260 万元/年,热水系统同时可进行污水余热利用,每年又可节约蒸汽费用 100 万元以上,合计节约 360 万元/年,购买设备只要大约 1100 万元,3 年即可收回投资。

近年来，煤、蒸汽市场价格持续上涨，再加上政府对高耗能行业的宏观调控，印染行业的能源费用将越来越高。2007年4月，温家宝在“全国节能减排会议”上要求把节能减排作为宏观调控重点，要求加快开发利用太阳能等新能源。

可以预见，煤、石油、天然气等非可再生能源将会越来越少，价格将会越来越贵。如果用它们产生热水，成本将会越来越高。因此，用太阳能生产热水将是印染行业节能减排、降低经营成本的必然选择。

## 2) 环保

中国的大气污染状况十分严重。据国家环保总局发布的《2006年中国环境状况公报》，2006年，我国二氧化碳排放量为481000万吨，二氧化硫排放量为2588.8万吨，烟尘排放量为1078.4万吨，工业粉尘排放量为807.5万吨。在监测的559个城市中，空气质量是三级的有159个，劣于3级标准的有51个。根据有关研究表明，中国每排放一吨二氧化硫，所造成的经济损失约两万元，因此，2006年中国因二氧化硫排放所造成的经济损失约为5178亿元。

由此可见，减少煤炭的燃烧，减排二氧化碳、二氧化硫等废气和烟尘迫在眉睫。

太阳能是清洁能源，使用太阳能生产热水没有任何污染。如果中国印染行业都用太阳能生产热水，将大大改善空气质量。如果2006年中国的印染行业都用太阳能生产热水，可以减排1690亿立方米废气和33.8亿吨烟尘。

## 3) 增产

利用平板型集热器对软水进行加热，60℃左右的热热水直接进入染缸，可大大缩短蒸汽加热的升温时间，提高生产效率20%以上，从而达到增产的目的。

## 4) 隔热

印染车间楼顶日照时间长，导致室内温度较高，由于平板集热器放在楼顶，挡住并吸收了太阳光，利用平板型集热器可以有效地进行隔热，从而降低室内的温度。

## 5) 安全

太阳能产热水一般在80℃以下，温度较低，无任何安全隐患。

2008年纺织业产量为710亿米，按达利推算，印染行业可节约燃料费： $2958.3 \times 468 = 138.45$

亿。

随着世界经济水平的不断发展，全球能源消耗越来越多，而煤炭、石油、天然气等资源是非可再生的，总有枯竭的一天。我国能源资源相当贫乏，人均可采矿物能源资源的数量是：石油 2 吨，天然气 1070 立方米，煤炭 90 吨，仅为世界平均值的 11%、4%和 55%，能源态势触目惊心。

随着能源危机的加剧，太阳能受到世界各国的亲睐，太阳能热水系统得到大力推广。到 2006 年底，我国太阳能热水器面积已经达到约 9000 万平米，占到世界太阳能热水器面积的 60%左右。但是，我国能源消费结构不合理的局面并未改变，2006 年，我国能源消费总量达到了 24.6 亿吨标准煤，其中煤炭占了近 69%，节能降耗指标未能如期实现。最新的统计数字显示，2007 年一季度我国节能减排的目标仍然没有完成，能源消耗的增长速度仍然高于经济的增长速度。

根据“十一五”规划纲要，我国单位国内生产总值能源消耗五年间要降低 20%。随着中国政府《可再生能源法》的实施，我国太阳能的利用将迎来新一轮大规模的快速发展。

表 4-14 纺织业若应用太阳能的节能减排情况

年份	纺织业能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗	太阳能替代 10%省 煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排 量 (万吨)
2003 年	3468.96	1474.99	0.03	0.02%	147.50	480.80
2004 年	4550.25	1917.54	3.18%	2.24%	191.75	625.05
2005 年	4978.35	1971.26	3.15%	2.23%	197.13	642.56
2006 年	5756.49	1982.48	3.29%	2.34%	198.25	646.22
2007 年	6207.57	2029.4	3.26%	2.34%	202.94	661.51

## 4.5 化工业

### 4.5.1 化工业概况

据中国统计局数据，截至 2007 年年底，我国化工业企业数量达到 22981 个，化工业总产值 26798.8 亿元，占国内生产总值高达 10.4%。化工业基本情况见表 4-15。



表 4-15 化工业基本情况

时间	企业数量(个)	工业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值(%)
2003 年	13,803	9,244.86	135,822.76	6.8%
2004 年	18,759	12,952.69	159,878.34	8.1%
2005 年	18,716	16,359.66	183,217.45	8.9%
2006 年	20,715	20,448.69	211,923.46	9.6%
2007 年	22,981	26,798.80	257,305.60	10.4%

#### 4.5.2 化工业工艺流程

化工业主要是进行有关化学制品的生产，如化肥、农药、化纤等。不同的产品耗能用热量肯定不同，下图是合成氨的工艺流程。

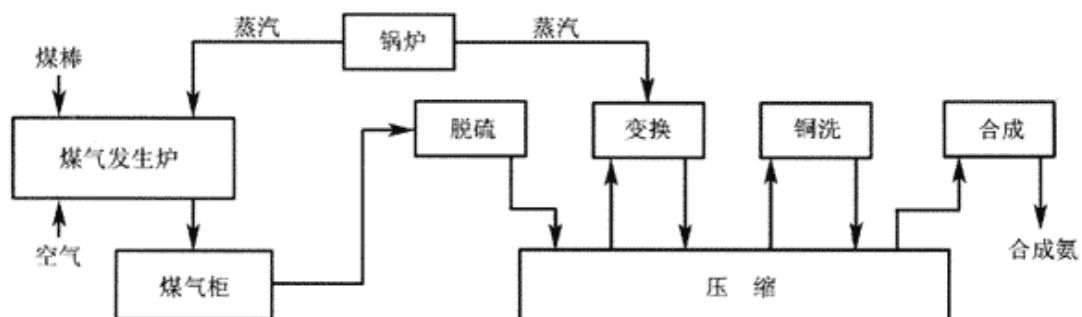


图 4-14 合成氨生产工艺流程图示意图

#### 4.5.3 化工业耗能与用热现状

由表 4-16 可以看出，化工业是一个高能耗行业，近五年来历年能耗均占社会总能耗的百分之十。

表 4-16 化工业能耗状况

年份	化工生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	工业总能耗 (万吨标煤)	社会总能耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会总 能耗
2003 年	17108.20	11141.16	119626.63	170942.58	14.30%	10.00%
2004 年	20346.88	13578.81	143244.02	203227.02	14.20%	10.01%
2005 年	22494.07	14717.67	158058.37	223319.3	14.23%	10.07%
2006 年	24779.04	15860.28	175136.64	246270.15	14.15%	10.06%
2007 年	27245.27	16917.34	190167.29	265582.99	14.33%	10.26%

#### 4.5.4 化工业案例分析

某化工企业的用热如下表，可见化工的耗能量很大，品位要求也比较高，如应用太阳能可以由图中的系统来实现。

表 4-17 某化工企工艺用热情况

工艺名称	用热形式	温度(°C)	表压力(Mpa)
合成氨	蒸汽	235~299	0.42~0.49
三聚氰胺	蒸汽	405~450	3.25~3.65
尿素	蒸汽	325~375	1.27~1.55
型煤烘干	热空气	170~195	0.06~0.07

由表 4-17 中可以看出，化工业的用热品位要求比较高，一般需要太阳能中温系统才能实现，如图 4-14 系统。

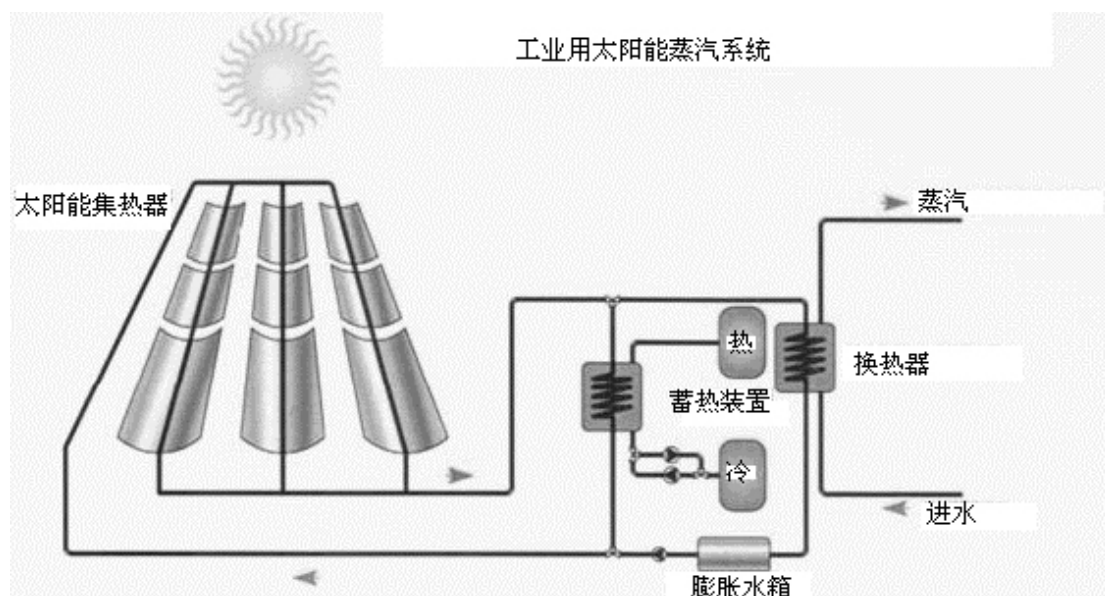


图 4-14 工业用太阳能蒸汽系统

#### 4.5.5 化工业应用太阳能的效益与前景分析

化工用热品位要求高，用热量也相当可观。由表 4-18 可以看出近几年的能耗均占工业能耗的 14%以上，占社会总能耗 10%以上。如果太阳能替代化工业热力消耗的 10%，则根据 2007 年能耗状况，可以节省 1691.73 万吨标准煤，减排 CO<sub>2</sub>5514.49 万吨。

表 4-18 化工业能耗状况与太阳能应用前景

年份	化工生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业能耗	占社会总能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排量 (万吨)
2003 年	17108.20	11141.16	14.30%	10.00%	1114.12	3631.65
2004 年	20346.88	13578.81	14.20%	10.01%	1357.88	4426.24
2005 年	22494.07	14717.67	14.23%	10.07%	1471.77	4797.47
2006 年	24779.04	15860.28	14.15%	10.06%	1586.03	5169.92
2007 年	27245.27	16917.34	14.33%	10.26%	1691.73	5514.49

## 4.6 木材加工

### 4.6.1 木材加工业概况

木材与钢材和水混曾长期被国家列入三大统配物资。由表 4-19 可以看出,从 2003 年至 2007 年,我国木材加工行业的生产总值由 992.79 亿元增加至 3520.54 亿元,增加了 2.5 倍。我国的木材工业目前有企业 7800 多家,为人民群众提供了大量的木制品。

表 4-19 木材加工业基本情况

时间	企业数量 (个)	行业总产值(亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	3,501	992.79	135,822.76	0.7%
2004 年	5,017	1,385.90	159,878.34	0.9%
2005 年	5,397	1,827.71	183,217.45	1.0%
2006 年	6,374	2,429.03	211,923.46	1.1%
2007 年	7,852	3,520.54	257,305.60	1.4%

数据来源:国家统计局

### 4.6.2 木材加工业工艺

新砍伐的树木即生材的含水率一般很高,平均都在 100%以上,这就需要干燥以进行深加工。

表 4-21 生材含水量【16】

树种	含水量 (%)		
	心材	边材	平均
红松		200	135
臭冷杉	70	200	165
春榆	130	100	113
色木	125	90	90
紫椴		130	130
5 种树种总平均			126.6

木材干燥是在木材干燥窑中进行，木材干燥窑是指装配有加热设备、调湿设备和通风装置，并能控制干燥介质温、湿度和气流循环方向及速度的密闭建筑或金属容器。

根据干燥温度的不同，木材干燥窑可分以下四种：

低温干燥窑：温度操作范围为 21~48℃，一般不超过 43℃。

常规干燥窑：温度操作范围为 43~82℃，大多数阔叶材和针叶材都采用常规干燥。

加速干燥窑：温度操作范围为 43~99℃，最后阶段的干燥温度通常为 87~93℃。

高温干燥窑：干燥温度超过 100℃，温度操作范围通常为 110~140℃.这类干窑主要干燥结构材。

目前，干燥根据热源可以分为以下五种：

蒸汽加热干燥窑，蒸汽由燃煤蒸汽锅炉提供；炉气加热干燥窑，炉气由燃烧煤、油、天然气和木质燃料产生；热水或导热油加热干燥窑；以电为热源加热干燥窑；太阳能干燥窑。

木材干燥是一个高能耗的加工工序，我国的能源人均占有率大大低于世界平均水平。因此，努力寻找一种廉价能源，减少能源消耗、降低干燥成本已成为木材工业中一个重要课题。

#### 4.6.3 木材加工业耗能与用热现状

表 4-20 木材加工业能耗状况

年份	木材生产能耗（万吨标煤）	热力消耗（万吨标煤）	占工业能耗	占社会总能耗
2003 年	420.51	225.43	0.35%	0.25%
2005 年	690.71	305.24	0.44%	0.31%

数据来源：国家统计局

#### 4.6.4 木材加工业案例分析

我国黑龙江于上个世纪八十年代建造一座太阳能干燥窑。采用窑体与集热器一体式的分离形式。干燥木材的装窑量为 10m<sup>3</sup>。集热器面积为 70m<sup>2</sup>，其倾斜度与水平面之间夹角为 2 度，倾斜面朝向正南方向。最高点距地面 1 米。干燥窑容积长×宽×高=6600×3180×2250mm；设计每干燥木材量为 120m<sup>3</sup>（按 8 个月计算）；通风机容量及数量为 170W×4 台；干燥室内最高温度达 62 度；干燥室内平均较室外温度高出 12~20 度。

经过实验，得出太阳能干燥的性能并与蒸汽干燥窑比较，结果见表 4-22。

表 4-22 太阳能干燥窑与蒸汽干燥窑效果比较【16】

数 值 指 标 名 称	干燥椴木 (25 mm厚板材)		干燥水曲柳 (60mm厚板材)	
	太阳能干燥	蒸汽干燥	太阳能干燥	蒸汽干燥
干燥速度 (日)	12	2	39	21
成本 (元/m <sup>3</sup> )	4.15	14.35	8.36	38.40
耗电量 度/m <sup>3</sup>	2	12	5	90
耗煤量 kg/m <sup>3</sup>	0	220	0	500
人工费 (元/m <sup>3</sup> )	3.95	4.35	7.86	9.40
干燥质量	没有开裂变形	5%开裂变形	没开裂、变形	8%开裂变形
含水率变化	37→9%	40→10%	65→14%	60→14%

由表中可以看出，较之于蒸汽干燥，太阳能干燥速度快、成本低、人工费低且干燥质量好。

#### 4.6.5 木材加工业应用太阳能的效益与前景分析

由木材加工工艺可以看出，干燥是木材加工的关键流程，而温度一般在 20~140℃之间，应用太阳能干燥的潜力极大。而事实上，已有太阳能干燥技术成功应用于木材干燥的案例。根据 2005 年的数据，若太阳能替代木材加工热力消耗的 10%，刚一年可以节省 30.52 万吨标准煤，CO<sub>2</sub> 减排 99.5 万吨。

表 4-23 木材加工业应用太阳能的节能减排状况

年份	木材生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排 量(万吨)
2003 年	420.51	225.43	0.35%	0.25%	22.54	73.48
2005 年	690.71	305.24	0.44%	0.31%	30.52	99.50

## 4.7 塑料业

### 4.7.1 塑料业概况

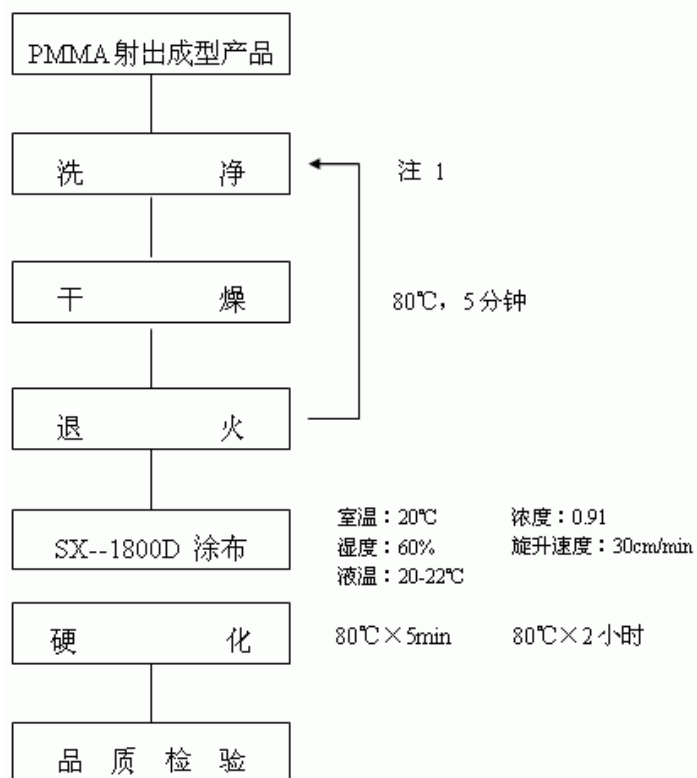
作为塑料制品加工的全球基地，我国塑料制品产量居世界第二位，目前国内拥有塑料企业 15000 多家。由于具有劳动力价格低廉等成本优势，我国塑料制品出口一度呈现旺盛局面。2006 年，我国塑料制品出口量超过 1200 万吨，出口额超过 160 亿美元；2007 年行业生产总值达 8,120.41 亿元，占国内生产总值的 3.2%。

表 4-24 塑料业基本状况

时间	企业数量 (个)	行业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	8,382	3,063.83	135,822.76	2.3%
2004 年	12,269	4,190.40	159,878.34	2.6%
2005 年	12,041	5,067.89	183,217.45	2.8%
2006 年	13,504	6,381.01	211,923.46	3.0%
2007 年	15,376	8,120.41	257,305.60	3.2%

### 4.7.2 塑料加工工艺

以 PMMA（有机玻璃）的射出成型加工工艺为例，在洗净的过程中要用到 60℃ 和 70℃ 的热水，可以由太阳能来提供。



注 1:

- 1 槽: 超声波粗洗 (纯水, 加 2‰比例洗洁精, 水温 60°C)
- 2 槽: 超声波漂洗 (纯水, 加 1‰比例洗洁精, 水温 60°C)
- 3 槽: 软水喷淋 (纯水冲洗, 水温常温)
- 4 槽: 超声波精洗 (纯水, 水温 60°C)
- 5 槽: 超声波精洗 (纯水, 水温常温)
- 6 槽: DI 水切水 (纯水, 水温 70°C, 直线马达平稳旋升)

图 4-15 PMMA 塑料的射出成型加工工艺流程【37】

### 4.7.3 塑料业耗能与用热现状

2007 年度, 塑料业消耗能源折合标煤 1625.99 万吨, 占工业总能耗的 0.86%, 社会总能耗的 0.61%。



表 4-25 塑料业能耗现状

年份	塑料生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	工业总能耗 (万吨标煤)	社会总能耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会总 能耗
2003 年	818.61	192.75	119626.63	170942.58	0.68%	0.48%
2004 年	1129.29	286.90	143244.02	203227.02	0.79%	0.56%
2005 年	1446.81	269.57	158058.37	223319.3	0.92%	0.65%
2006 年	1557.66	259.17	175136.64	246270.15	0.89%	0.63%
2007 年	1625.99	210.05	190167.29	265582.99	0.86%	0.61%

#### 4.7.4 塑料业案例分析

目前世界上,并没有太阳能热利用技术应用于塑料业的案例。但根据统计,塑料业的用能结构为电机系统能耗占 60%,加热系统能耗占 40%。而从塑料加工的流程图 4-15 中可以看出,有相当一部的用热要求温度比较低,由太阳能热利用技术可以满足。

#### 4.7.5 塑料业应用太阳能的效益与前景分析

塑料业中,热力消耗占行业总能耗的 13%,若热力消耗中的 10%由太阳能替代,根据 2007 年数据,可节省 21 万吨标煤,减排 CO<sub>2</sub>68.47 万吨。

表 4-26 塑料业若应用太阳能的节能减排情况

年份	塑料生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会 总能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排 量(万吨)
2003 年	818.61	192.75	0.68%	0.00%	19.28	62.83
2004 年	1129.29	286.90	0.79%	0.56%	28.69	93.52
2005 年	1446.81	269.57	0.92%	0.65%	26.96	87.87
2006 年	1557.66	259.17	0.89%	0.63%	25.92	84.48
2007 年	1625.99	210.05	0.86%	0.61%	21.00	68.47

## 4.8 医药业

### 4.8.1 医药业概况

药品是世界贸易额增长最快的产品之一，世界医药市场的规模在逐年提高，从 1970 年至仿，其平均复合增长率在 7% 以上，高于全球经济发展的速度。

在中国，医药产业被称作是朝阳产业，它涵盖化学药品、中药产品、保健食品、生物制品、医疗器械、仪器设备、消毒产品、保健用品、原料药等众多领域。2007 年我国医药行业走出多年徘徊不前的颓势，医药工业总产值和销售产值同比增长超过 20%。

表 4-27 我国医药行业基本情况

时间	企业数量 (个)	工业总产值 (亿元)	国内生产总值 (亿元)	占国内生产总值 (%)
2003 年	4,063	2,889.98	135,822.76	2.1%
2004 年	4,709	3,241.26	159,878.34	2.0%
2005 年	4,971	4,250.45	183,217.45	2.3%
2006 年	5,368	5,018.94	211,923.46	2.4%
2007 年	5,748	6,361.90	257,305.60	2.5%

### 4.8.2 医药业生产工艺

以阿司匹林生产为例

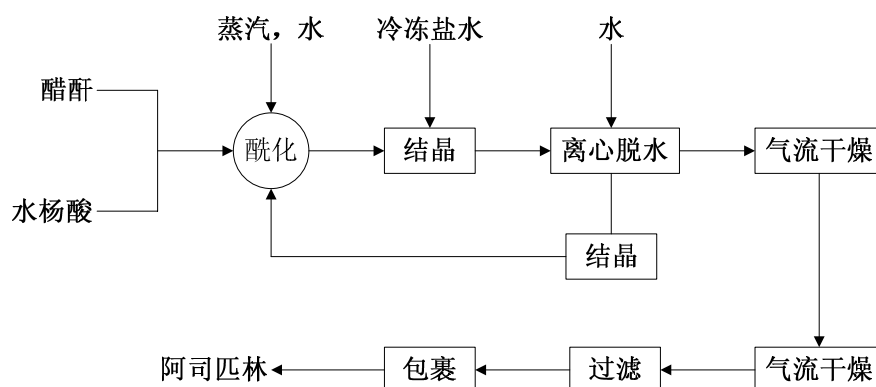


图 4-16 阿司匹林工艺流程框图

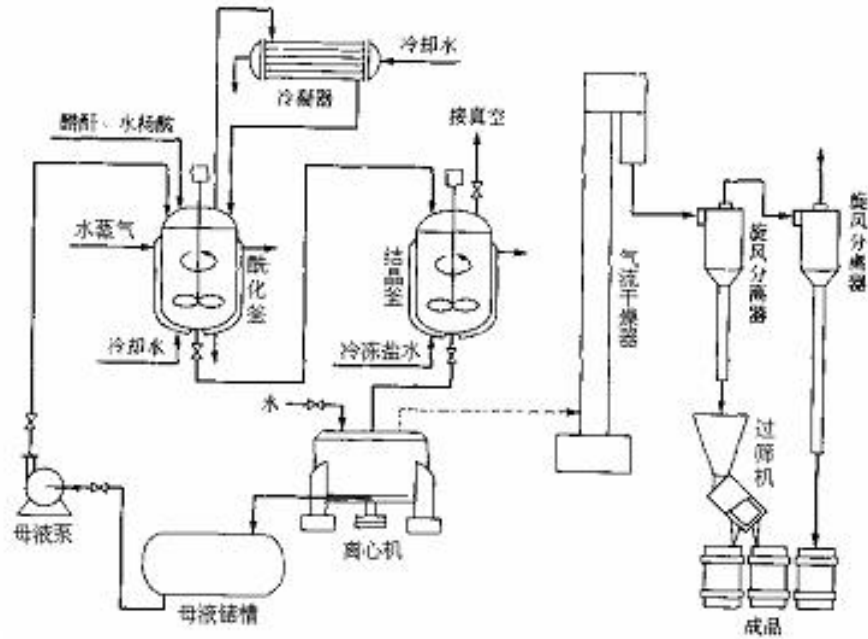


图 4-17 阿司匹林工艺流程简图

由阿司匹林的生产流程图中可以看出，有许多过程都用到热水或蒸汽。而其它的医药生产也是如此。

### 4.8.3 医药业耗能与用热现状

近几年我国医药行业的能耗稍有下降，能耗情况见表 4-28。

表 4-28 近几年我国医药行业的耗能状况

年份	医药生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗(万 吨标煤)	工业总能耗 (万吨标煤)	社会总能耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会总 能耗
2003 年	1025.78	571.94	119626.63	170942.58	0.86%	0.60%
2004 年	1040.60	561.43	143244.02	203227.02	0.73%	0.51%
2005 年	1122.39	562.96	158058.37	223319.3	0.71%	0.50%
2006 年	1161.06	577.51	175136.64	246270.15	0.66%	0.47%
2007 年	1183.14	548.79	190167.29	265582.99	0.62%	0.45%

### 4.8.4 医药业案例分析

埃及【38】于 2004 年投资建成了安装容量为 1330KW，集热器面积为 1900m<sup>2</sup> 的抛物槽式太阳能集热系统用于医药生产。集热器工作温度为 173℃，产生压力为 8 个大气压的蒸汽。系统集热器见图 4-15。



图 4-18 太阳能集热系统

#### 4.8.5 医药业应用太阳能的效益与前景分析

医药工艺中清洗、蒸馏等许多环节都会用于热水，而一般情况下这些用热品位要求都可以由太阳能来满足，如果太阳能替代医药行业热耗的 10%，则每年可以节约 50 多万吨标准煤，减排 CO<sub>2</sub>180 多万吨。表 4-29 中是若近五年医药行业热耗的 10%由太阳能提供的节能减排情况。

表 4-29 医药业若应用太阳能的节能减排情况

年份	医药生产能耗 (万吨标煤)	热力消耗 (万吨标煤)	占工业 能耗	占社会总 能耗	太阳能替代 10%省煤量 (万吨标煤)	CO <sub>2</sub> 减排 量(万吨)
2003 年	1025.78	571.94	0.86%	0.60%	57.19	186.43
2004 年	1040.60	561.43	0.73%	0.51%	56.14	183.01
2005 年	1122.39	562.96	0.71%	0.50%	56.30	183.51
2006 年	1161.06	577.51	0.66%	0.47%	57.75	188.25
2007 年	1183.14	548.79	0.62%	0.45%	54.88	178.89

## 4.9 太阳能在油田稠油开采过程中的应用

### 4.9.1 石油开采能源消耗及解决现状

石油企业是能耗大户，如辽河油田年开采原油量当中有五分之一用于企业内部能耗。如何从源头开始，通过提高原油利用率实现节约能源，包括开采、输运、加工及利用等诸多环节，是石油企业面临的重大问题之一。调查表明，稠油开采中注水、注汽的生产以及稠油的储运、管输等需要消耗大量能源，如果能在这些环节中使用太阳能等替代部份常规能源，无疑具有非常明显的节能效果。

中东地区是世界重要的石油生产地，石油是当地原油开采，电力生产及运输、生活中最主要的能源。约旦大学的 Badran 等对当地一家电厂进行调研【39，40】，发现该电厂 5% 的发电量用于加热燃料油（电加热，50℃ 以上）以保持其流动性。他们设计了两种太阳能集热装置用于燃料油加热，这种太阳能集热器加热燃油的效率比同类型的太阳能热水器效率低大约 25%，但能够将燃料油温度维持在 50℃ 以上。澳大利亚一家太阳能公司利用太阳能热二极管技术对稠油储槽加热以降低粘度【41】（如图 4-19）。

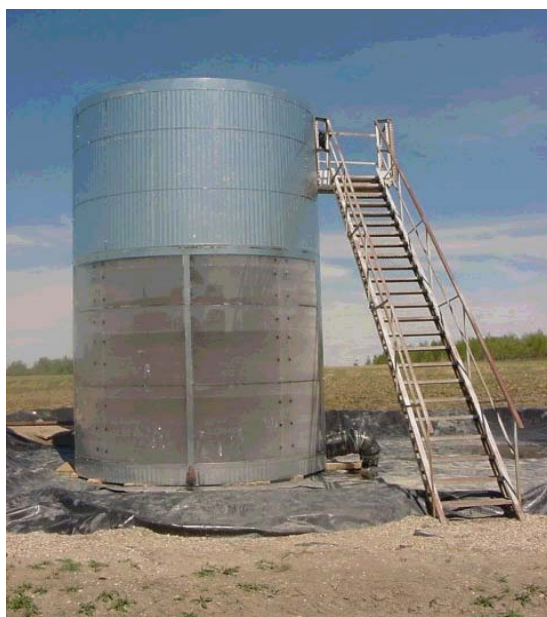


图 4-19 采用太阳能热二极管技术的储油桶

太阳能热二极管技术还可用于稠油输油管道【42】，通过将太阳能转换为热能对稠油加热以保持其流动性，该装置虽然不能完全替代传统加热能源，但可使相应能耗大大降低，图 4-20 所示为太阳能输油管外观图。该技术于 1984 年由澳大利亚太阳能系统公司 John Lasich

先生首先提出，并开展了大量研究。这种输油管道主要优点体现在，(1) 可使管内油温高于环境温度 10~40℃，且安全有效；(2) 无运行费用，投资回收期一般 12 个月左右；(3) 能有效增加管道输油量防止因粘度过大造成的流动堵塞现象；(4) 延长油泵等装置的使用寿命；(5) 减少了传统输油管沿途加热装置。日照充足的条件下，该输油管道完全不需要其它热源。



图 4-20 太阳能稠油输油管外观

## 4.9.2 石油开采案例分析

辽河油田是我国第三大产油基地，同时又是能耗大户，油田每年原油产量中有近五分之一用于石油开采，尤其是稠油开采中注水、注汽技术及稠油管输等环节需要消耗大量能源。在削减油田开采能耗方面能够采取的一个有效措施是利用替代能源或余热。辽河油田位于太阳能资源较好的地区，开发利用太阳能具有相当大的潜力。

我国的原油凝点普遍较高，粘度大，常温下流动性差，因此从油井出油后的运输过程中必须进行加热与保温工作。从各个单井出口的油汇集到地面站计量后再送往以后下一站的过程中，通常需要对原油加热至 50°C~60°C，以保持原油的良好流动性。据辽河油田兴隆台采油厂第 47# 站调研所知，每天有 20 口井出油，而用于每口油井加热的天然气为 200-300m<sup>3</sup>，每天各口井的所产的稠油进站后均需加热，所需的天然气为 1000 m<sup>3</sup> 左右，因而每天将近有 6000~7000m<sup>3</sup> 的天然气浪费在加热稠油的温升上。该采油厂每天的出产量为，油水液量 160m<sup>3</sup>（油 70m<sup>3</sup>，水 90m<sup>3</sup>）、天然气 38000m<sup>3</sup>。可见，仅从油井出口到地面一级站计量这一过程中，所消耗的天然气占总产出天然气的近 18%。若加之以后各站燃料消耗，至少 25%的能耗用于原油加热与处理中。

对燃料油加热进行太阳能集热系统设计，并进行节能分析，结果见图 4-21。

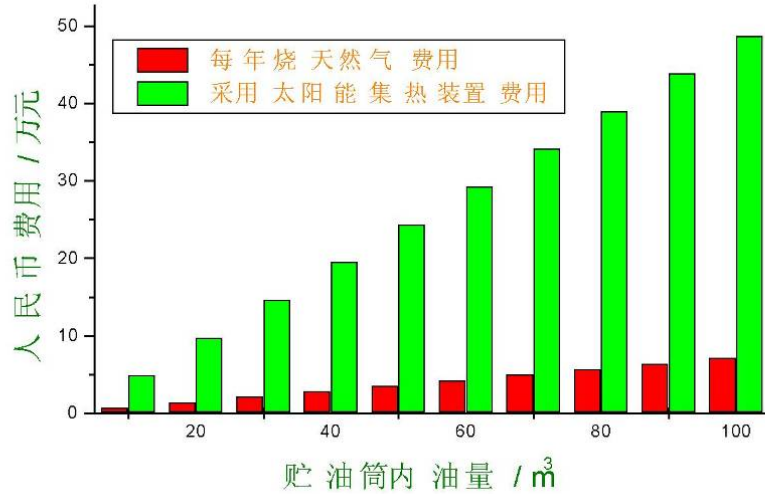


图 4-21 不同贮油量下温度升高  $10^0\text{C}$  所需费用及采用太阳能集热装置费用

图4-21显示了加热燃料油每年所需消耗的天然气费用及采用太阳能集热器替代燃料油加热的太阳能集热装置费用。从计算及图中可知，用太阳能装置加热燃料油装置的总投资费用大概为每年所消耗天然气加热燃料油费用的7倍，即通常情况下7年可收回构建太阳能装置的成本。随着太阳能集热器性价比的提高，投资回报率还可缩短1~2年。

### 4.9.3 太阳能应用前景

从能源利用和现有技术的可行性来看，太阳能集热技术用于燃油或储油预热，提高稠油的管输能力以及在稠油热采中利用大规模太阳能热水系统对水进行预热提高锅炉蒸汽干度等有可能是目前石油企业最现实可行的利用太阳能实现节能的技术方案。

## 4.10 太阳能海水淡化

### 4.10.1 海水淡化概况

21世纪，水资源问题已成为困扰世界各国经济和社会发展的一个制约因素。目前全世界约有80多个国家和地区严重缺水，占地球陆地面积的60%，有15亿人缺少饮用水，20亿人得



不到安全的用水。众所周知,地球上70.8%的面积为水所覆盖,但是其中97.5%的水为海水,不能直接利用,而在其余2.5%的淡水中,可利用的淡水资源仅占地球总水量的0.26%。

目前常用的局部地区缺水解决方案有远程调水、地下取水、建造水库等,但是长期使用造成了水源枯竭、浪费土地、地面下沉和破坏生态等诸多弊端,且均属于淡水存量调整,不能从根本上解决淡水危机。另外雨水的收集利用、废水回用和加强水资源的立法管理等也可以缓解部分地区的淡水短缺。但是,海水淡化作为一种开辟新水源的相对成熟的技术,已成为世界上公认的解决缺水的最佳方案。

根据国际脱盐协会的统计数据,截至2005年12月31日,在世界范围内共有12 300个淡化工程,总生产能力为 $4\ 700\times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 。2001年—2005年平均生产能力比五年前增加了25%,淡化技术已经在全世界155个国家中使用,解决了1亿多人口的供水问题【43】。

我国海水淡化技术的研究起步较早,1967~1969年全国组织海水淡化会战,同时开展电渗析(ED)、反渗透(RO)和蒸馏多种海水淡化方法的研究。

初步统计,截止2006年6月底,我国已建成投产的海水淡化装置总数为41套,合计产水能力12.0394万 $\text{m}^3/\text{d}$ 。图4-22【44】给出了我国内地按年度统计的海水淡化工程产水量分布情况。图4-23为沿海各省市所占海水淡化产量和装置数量在总产量和总装置数中所占的比例。

中国海水淡化工程产水量(万吨/天)

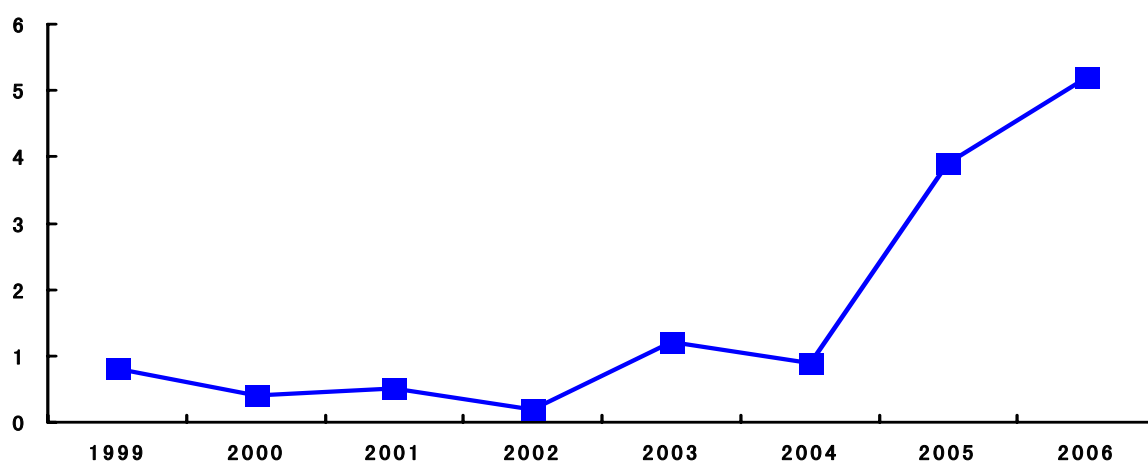


图4-22 中国海水淡化工程产水量



沿海各省市所占海水淡化产量和装置数量的比例（%）

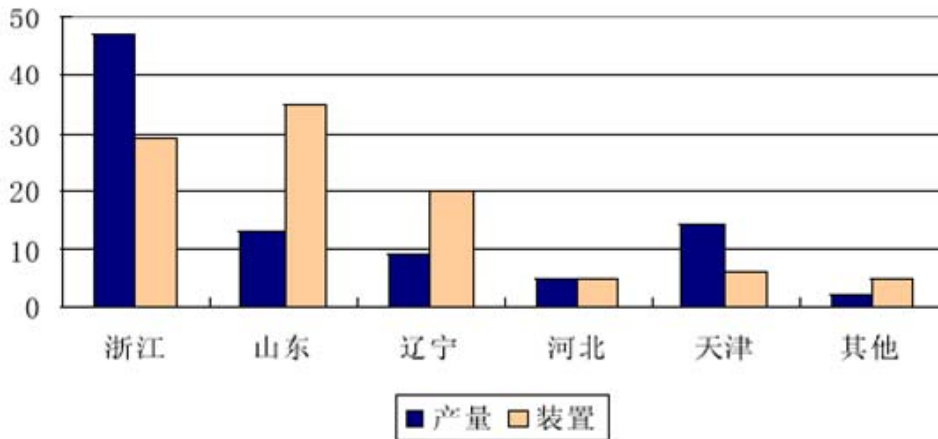


图 4-23 我国沿海各省市海水淡化产量和装置数量比例【45】

#### 4.10.2 海水淡化用能分析

目前的海水淡化装置,尤其是适于电水联产的大型装置,可供选择的技术主要是多级闪蒸(MSF)、低温多效(LT-MED)和反渗透(RO)三种。因为它们各自的特点和适应性,可以预计在未来40年内可以互相促进,并相发展。对于一个特定的淡化工程,应当根据市场经济的需要作出选择。不同的淡化方法对能源要求不同,多级闪蒸(MSF)、低温多效(LT-MED)和反渗透(RO)用能情况如表4-30:

表4-30 规模应用海水淡化方法能耗比较【46】

主要技术参数	多级闪蒸法	低温多效	反渗透
操作温度(°C)	<120	<70	常温
主要能源	蒸汽、电(热能、电能)	蒸汽、电(热能、电能)	机械能(电能)
蒸汽消耗(t/m <sup>3</sup> )	0.1~0.15	0.1~0.15	无
电能消耗(kW h/t)	3.5~4.5	1.2~1.8	3~5
典型源水含盐量 (ppm TDS)	30000~45000	30000~45000	30000~45000
产品水质(ppm TDS)	<10	<10	<500
典型单机产水能力 (m <sup>3</sup> /d)	3000~70000	3000~20000	1~20000

### 4.10.3 海水淡化用铜分析

目前铜合金冷凝管主要为铝黄铜管、锡黄铜管和镍白铜管,其常用合金有:HSn70-1、HAl77-2、BFe30-1-1、BFe10-1-1 四种合金,其中BFe10-1-1 合金工艺性能好,其耐海水腐蚀性能、抗海水生物附着性能尤为突出,这种合金管材成为海洋工程和舰船制造重要的海水管路材料,得到广泛的应用【47】。为此,复杂黄铜管和铜镍合金管等铜合金管具有高耐腐蚀性能,是大型冷凝器和热交换器不可缺少的核心部件和关键材料,大量应用在海水淡化、电力、核潜艇及舰船制造等领域,尤其是大量应用于海水淡化装置、海洋采油采气平台、海水冷却装置、海水制盐、海水化学资源综合利用等海洋工程领域。随着海水淡化产业的快速发展,市场对铜合金管的需求将不断增加,海水淡化将成为铜管的一个重要消费领域。

海水淡化是世界缺水国家的生命线。仅中东六国将投资400 亿美元兴建海水淡化工程,高性能冷凝管市场需求旺盛,看好国外主要海水淡化集成商及大型电厂的发展。到2010 年和2020 年,中国在沿海城市创建国家级示范城市(分别达到3 个和6 个以上),内陆苦咸水地区、海岛、海军舰艇、远洋船舶以及海上钻井平台要采用海水淡化设备生产淡水,预计2010 年前国家就此需投资136~180 亿元,中国在建和新建的海水淡化设备对冷凝管的年需求量将逐年递增,海水淡化用铜合金冷凝管市场趋好。预计到2010 年中国国内海水淡化日产量将达到约220 万吨,年新增海水淡化出水量约50 万吨。按蒸馏法占77%、装机日产淡水1 万吨/日需要铜管约200 吨计算,到2010 年中国年新增海水淡化装置需要铜管约8000 吨。另外,由于海水腐蚀性很强,铜合金管腐蚀较快,使用年限一般为10~15年,到2010 年年需要维修和更新换代铜合金管约7000 吨,总计年需要耐蚀铜合金热交换器管约15000 吨。《海水利用专项规划》指出,到2020 年,中国海水利用需投资416 亿元~560 亿元,海水淡化用铜合金冷凝管市场潜力巨大【48】。

### 4.10.4 案例分析

#### 1) 工程概况

2004 年6月,国内首台自行研究设计、制造安装的3000吨/日低温多效海水淡化设备在黄岛电厂(如图4-24)投运,对于我国海水淡化事业的发展具有里程碑意义。黄岛发电厂一期3000t海水淡化工程总投资为9600万元,预计5~6年内可收回投资。2004年10月20日,该设备生产的淡化水正式替代原用淡水向锅炉供水,产品水质符合并超越国家饮用纯净水水质要求。2006年5月,该厂依靠自主技术建设的3000吨/日反渗透海水淡化装置也投入运行。

目前，二期日产 1 万吨反渗透淡化海水生产线已投入运营，现正设计建造另一条日产 1 万吨淡水综合生产线。



图 4-24 黄岛电厂

## 2) 用能及用铜分析

黄岛电厂 3000 吨/日多级闪蒸海水淡化系统采用电厂锅炉的蒸汽，系统共有十级闪蒸装置。蒸汽温度为 150℃ 以上，蒸馏操作温度为 70℃ 至 90℃。出口凝水温度为 69.2℃。换热器材料为紫铜，由于多级闪蒸法在缺氧的条件下运行，因此铜的腐蚀并不严重，从设备投入运行至今还没有更换过铜管。闪蒸系统总共耗铜 80 吨，单位产水量用铜为 26.7kg/t（日产 1t 多级闪蒸海水淡化系统用铜 26.7 公斤）。系统产水成本约为 5 元/t，根据我国主要沿海城市居民自来水价、工业自来水价测算分析，在 2010 年海水淡化综合成本不但低于工业自来水价，而且在居民自来水水价区间中。成本问题将得到解决，海水淡化将得到大规模的应用。

### 4.10.5 海水淡化行业应用太阳能的前景分析

#### 1) 太阳能海水淡化技术

目前传统的海水淡化方法都要消耗大量的能源，考虑到当今世界能源日益紧缺的情况，因此太阳能海水淡化是解决人类水资源危机的一种最有希望的方法。太阳能海水淡化是利用

太阳的电磁辐射能使海水汽化成水蒸气，水蒸气冷凝而得到淡水的过程。太阳能海水淡化只需消耗很少的常规能源，而且太阳能取之不尽，并具有安全环保等优点。太阳能是一种电磁辐射，它可以转化为热能和电能，原则上也可以与任何一种海水淡化方法结合。但太阳能的能流密度较低，通常每平方米不到千瓦并且其能量随时间和天气呈现不稳定性和不连续性。以上这两个缺点，限制了太阳能与各种海水淡化方法的结合。太阳能海水淡化可以分为直接法和间接法两类。

### (1) 直接法

直接法是利用太阳能直接加热海水蒸馏获得淡水的方法。直接法工作原理为盛水池中池水吸收太阳光热量，使水温升高，水蒸发产生蒸汽，在冷凝面冷凝成水滴得到淡水。早期所使用的太阳能蒸馏器是典型的直接法应用太阳能的淡化装置。

瑞典工程师 C·Wilson 于年在智利建造了第一个太阳能蒸馏器，用于海水淡化，这是迄今为止淡化应用最广的太阳能海水装置。装置总的集热面积为 4700 m<sup>2</sup>，晴天时每天可以生产淡水 23 吨。这一装置成功运行了近 40 年。此装置在最佳的太阳辐射和海水深度条件下，蒸馏器的效率可达到 40%—50%。上世纪七、八十年代，我国在南海岐州岛、西沙以及浙江嵎泗岛等地也建成了日产数吨淡水的太阳能蒸馏器。

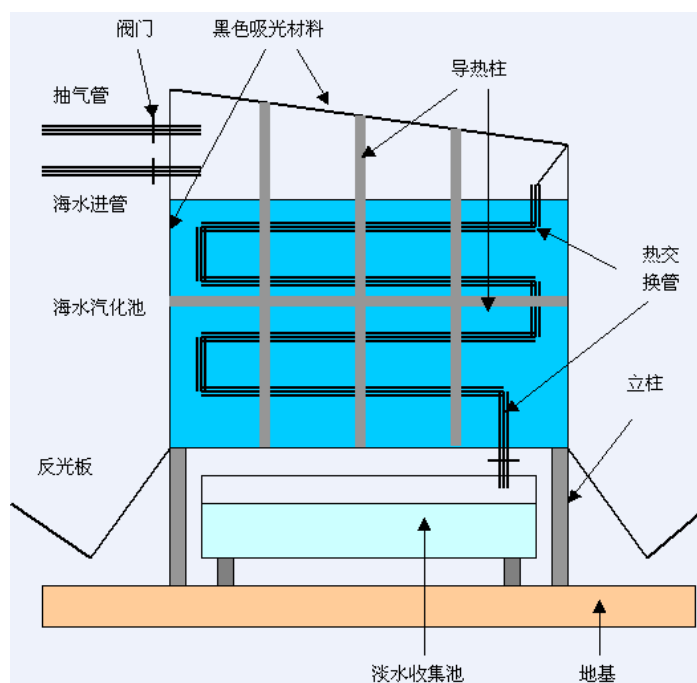


图 4-25 直接法太阳能海水淡化

传统的太阳能蒸馏方法制取淡水，设备简单，运行维护简单，运行费用低。但存在装置

占地面积大，运行温度低，单位面积产水量低，且热性能受地区及气候条件影响等缺点。目前较简单的装置，平均日产淡水量仅为  $3\text{—}4\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  左右。在海水中添加浓度为  $172.5\text{ppm}$  的黑色蔡胺，蒸馏水产量可以提高约  $30\%$ 。

## (2) 间接法

间接法是指先把太阳能转换为热能或电能，再提供给海水淡化装置的方法。目前国内利用太阳能海水淡化的方式主要包括减压蒸馏方法和增湿除湿方法，减压蒸馏方法即太阳能集热器与蒸馏器和冷凝器分离，由太阳能集热器提供热量，加热蒸馏器内的海水，海水在蒸馏器内减压蒸发，最后在冷凝器内冷凝，获得淡水。主要装置包括太阳能集热器、减压蒸馏器、冷凝器、真空泵等。此方法运行的压强必须保持在较低的压强下，例如  $14\text{—}20\text{kPa}$ ，要维持在这个压强，要求严格密封，且消耗真空泵较多的电能，另外整个装置结构比较复杂，操作运行较困难。国内的太阳能海水淡化研究主要采用这种方式，研究表明每平方米太阳能集热器每天的产水量可达  $10\text{kg}$ ，是传统的太阳能海水淡化方法的倍，但同时也消耗了可观的电能。

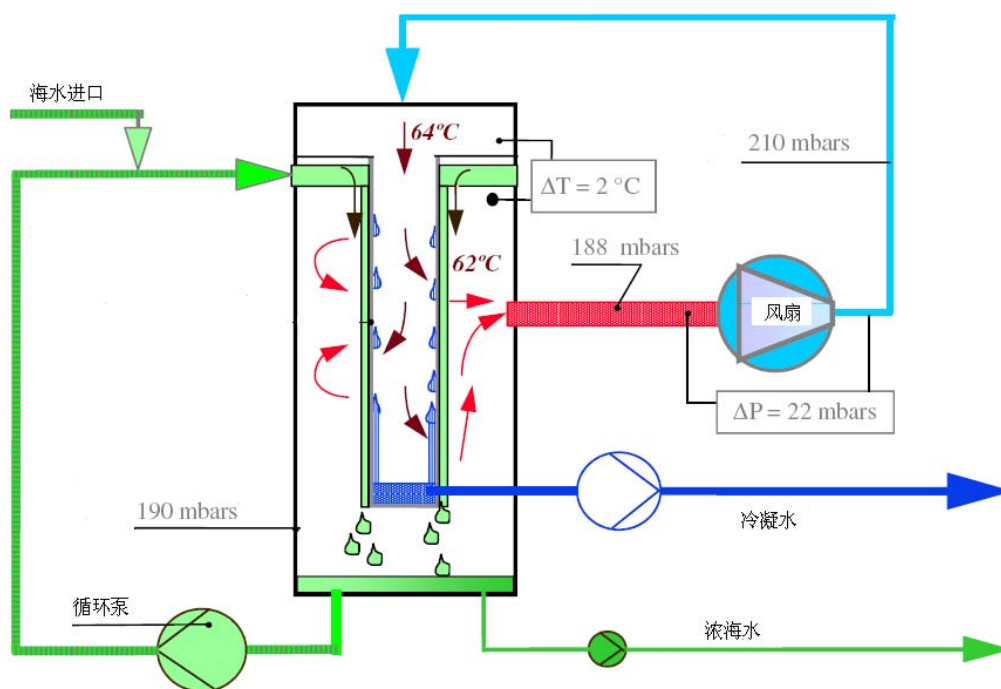


图 4-26 低温减压蒸馏海水淡化

增湿除湿海水淡化的基本原理为过程中引入流动的空气作为水蒸气的载体，并将蒸发器与冷凝器分离，使它们的温度可以独立控制载气在蒸发器中被盐水增湿，携带一定量的水蒸气后进入冷凝器中，经过冷凝除湿得到淡水，冷凝潜热通过预热海水来进行回收。一般认为，增湿除湿海水淡化过程具有规模灵活，设备投资和操作成本低，结构简单，可利用低位热能

等优点。可望在淡水需求相对分散的沿海岛屿、内陆苦咸水地区、偏远的旅游景点等地方获得应用。增湿除湿海水淡化方法被认为是太阳能海水淡化中最具有前景的方法。

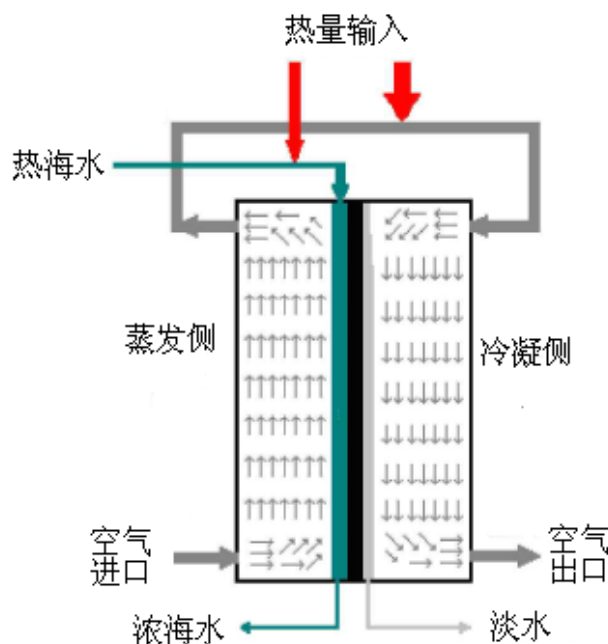


图 4-27 露点蒸发海水淡化

## 2) 太阳能海水淡化前景

未来的太阳能海水淡化技术,在近期内仍以蒸馏法为主。利用太阳能发电进行海水淡化,虽然在技术上没有太大障碍,但经济上仍不能跟传统海水淡化技术相比拟。比较实际的方式是在店里缺乏地区,利用太阳能提供一部分电力,为改善太阳能蒸馏系统服务。因此,探索提高太阳能蒸馏系统产水率的方法具有长远的现实意义。

综合分析传统太阳能蒸馏器单位面积产水量过低,其原因是主要存在以下三个缺点其一是蒸汽的凝结潜热未被重新利用,而通过盖板散失到大气中去了。其二是蒸馏器中为自然对流换热模式,大大限制了蒸馏器性能的提高,有必要采用强化传热传质技术,从根本上改变其内部的传热传质机制。其三是池中待蒸发的海水的液位和热容量太大,限制了运行温度的提高,海水的蒸发速度正比于水温,从而减弱了蒸发的驱动力。因此,要提高太阳能蒸馏系统产水率,必须克服上述三个缺陷。

为了充分利用真六过程中蒸汽的凝结潜热,不少学者设计了多种新颖的太阳蒸馏器。随着太阳能采集(储存)利用技术的不断发展,我国在近期对利用太阳能进行海水淡化技术获得突破性成果,使海水淡化成本大幅度下降。其中,北京华瑞科技有限公司研究开发了太阳能中、高温集热海水淡化技术可实现连续、长期、稳定地将太阳能直接转化为温度达 150~200℃ 的高温液态介质,利用储集起来的能量提供给海水淡化装置。目前该公司已建成并调试成功

国内第一套太阳能中、高温集热多效蒸馏海水淡化装置，并具备了设计和建设规模化海水淡化工程的技和管理能力，该技术已进入市场引入阶段。江西九江天力太阳能科技有限公司经过多年研究，终于解决了用太阳能淡化海水热能转换效率低这一关键问题，开发出高效光、热感应交换器，并已取得国家专利。该装置使用独特介质大幅提高太阳能的效能，使海水淡化的能耗降到最低，大大降低了海水淡化生产的投资和成本。按建一个 10 万  $m^2$  的海水淡化工厂测算，利用该项技术总投资为 7000 万元，每天可生产淡水 9.6 万  $m^3$ 。以 20 年的使用期计算，生产每立方米淡水的成本仅为 0.119 元，大大低于一个中型自来水厂的生产成本。以上利用太阳能进行海水淡化新技术装置的成功开发，节约了宝贵的能源#对降低淡化成本，提高海水淡化的可行性具有突破性意义。为我国大规模利用海水打下了基础。

在国际有关组织和国家的积极组织、支持、推动下，经科研人员的艰辛努力，新的利用太阳能进行海水淡化技术及装置不断成功开发，为大规模利用太阳能淡化海水的工程提供了可靠的保证，产业必将得到蓬勃发展。

## 5 太阳能应用于工业加热过程的可行性分析

### 5.1 太阳能应用于工业加热过程的可行性

#### 5.1.1 技术可行性

工业生产所消耗的总能量约占全国总能耗的 70%，其中 50%-70%系工业加工用热。对于不同工业部门，其热负荷的分配很不一样，但温度一般不超过 300℃，压力在 9 个大气压以下。

工业的迅速发展给能源生产带来了巨大的压力，传统能源面临枯竭，大力推进可再生能源的研发和利用是必然解决之道。

太阳能是可再生能源中最有前景的能源，而近几年其核心技术集热器的发展也很快，低温技术中的典型代表太阳能热水器已进入千家万户，中温技术也在技术的进一步稳定和完善中进入工业等领域。

#### 5.1.2 经济可行性

对所研究的几个行业进行分析，得出若太阳能替代热力消耗的 10%，则每年可以节省标煤 400 多万吨，标煤价格按 1000 元/吨计算，则每年可以节省 266.3 亿元。



而太阳能的系统虽然初投资高，根据以上案例分析，一般在 3-7 年内均能收回成本，若按平均 5 年收回成本，而太阳能系统的寿命按 15 年计算，则在其寿命期内，则可以节省大概 2663 亿元。

**表 5-1 所研究行业若应用太阳能的节能减排情况** **单位：万吨标准煤**

年份	生产能耗	热力消耗	工业 总能耗	社会 总能耗	占工业 能耗	占社会 能耗	太阳能替 代 10%省煤量	CO2 减 排量
2003	27026.80	15911.42	119626.63	170942.58	22.6%	15.8%	1591.14	5186.59
2004	32207.31	19316.02	143244.02	203227.02	22.5%	15.8%	1931.60	6296.38
2005	36278.54	20828.14	158058.37	223319.30	23.0%	16.2%	2082.81	6789.28
2006	39085.96	21665.86	175136.64	246270.15	22.3%	15.9%	2166.59	7062.35
2007	42170.59	22614.59	190167.29	265582.99	22.2%	15.9%	2261.46	7371.60

### 5.1.3 环保可行性

太阳能是清洁能源，由表 5-1 可以看出，若太阳能替代所研究行业用热的 10%，则每年可以减排 7000 万吨左右的二氧化碳。而 2007 年我国二氧化碳排放量大约为 32.5 亿吨，若应用太阳能则可以减排 2.3%。

### 5.1.4 政策可行性

2006 年我国开始实施《可再生能源法》，促进可再生能源的开发利用，增加能源供应，改善能源结构，鼓励单位和个人安装和使用太阳能热水系统、太阳能供热采暖和制冷系统、太阳能光伏发电系统等太阳能利用系统。

2007 年国家发布了《可再生能源中长期发展规划》，提出充分利用水电、沼气、太阳能热利用和地热能等技术成熟、经济性好的可再生能源，加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展，逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例，力争到 2010 年使可再生能源消费量达到能源消费总量的 10%，到 2020 年达到 15%。



## 5.2 太阳能应用于工业加热过程的潜力评价及用铜分析

### 5.2.1 太阳能应用于工业加热过程的潜力评价

所研究行业因其不同的生产工艺，热力能耗差别也很大。根据 2007 年数据（注：木材加工业 2007 年数据缺，故用的是 2005 年数据），热力能耗值比较高是化工业、造纸业、食品加工业和纺织业。化工业对用热的需求一般温度和压力比较高，如表 4-17 可以看出，需要太阳能中高温技术才能满足。相对而言，太阳能中低温技术是比较成熟的，在未来的发展中，造纸业、食品业和纺织业有很大的应用太阳能热技术的潜力。尤其是食品加工业和纺织业，已有成功应用的范例。

表 5-2 所研究行业太阳能应用潜力比较（根据 2007 年数据）

年份	行业	生产能耗 (万吨标煤)	热力能耗 (万吨标煤)	太阳能替代 10%省 煤量 (万吨标煤)	CO <sup>2</sup> 减排量 (万吨标煤)
2007 年	烟草业	230.19	94.29	9.43	<b>30.74</b>
2007 年	食品加工业	2335.75	1091.06	109.11	<b>355.65</b>
2007 年	造纸业	3342.68	1723.68	172.37	<b>561.86</b>
2007 年	纺织业	6207.57	5744.9	574.49	<b>1872.65</b>
2007 年	化工业	27245.27	16917.34	1691.73	<b>5514.49</b>
2005 年	木材加工业	690.71	305.24	30.52	<b>99.50</b>
2007 年	塑料业	1625.99	210.05	21.00	<b>68.47</b>
2007 年	医药业	1183.14	548.79	54.88	<b>178.89</b>

### 5.2.2 太阳能热利用技术应用于工业领域的用铜分析

#### 1) 工业领域用太阳能集热器面积

根据估算，各行业加热用能的 10%若由太阳能提供，则所需集热器面积见表 5-3.

表 5-3 各行业若应用太阳能热利用技术所需集热器面积

年份	行业	热力能耗 (万吨标煤)	太阳能替代 10%省煤 量 (万吨标煤)	所需集热器面积 (平方米)
2007 年	烟草业	94.29	9.43	90
2007 年	食品加工业	1091.06	109.11	1,042
2007 年	造纸业	1723.68	172.37	1,646
2007 年	纺织业	5744.9	574.49	5,485
2007 年	化工业	16917.34	1691.73	16,151
2005 年	木材加工业	305.24	30.52	291
2007 年	塑料业	210.05	21.00	200
2007 年	医药业	548.79	54.88	524
总计				25429

## 2) 各种集热器的市场份额

据报道,目前市场上,平板集热器占 10%,真空管集热器占 90%。真空管集热器中 70%左右是全玻璃真空管,其余为比例相当的 U 型管集热器和热管集热器。

表 5-4 每平方米集热器用铜量

集热器类型	每平米集热器用铜量/Kg
平板集热器	1.42
热管集热器	1.4
U 型管集热器	2.48
槽式集热器	0.16

## 3) 工业领域应用太阳能热技术的需铜量

由表 5-3 可以看出,所研究行业热力消耗若 10%由太阳能提供,则所需要的集热器面积为 25429 万平方米,若按目前集热器的市场份额,则需铜 16.6 万吨。

### 5.3 太阳能应用于工业加热过程需要克服的阻碍

到目前为止，太阳能热利用技术的应用主要集中在家用太阳能热水、采暖以及游泳池。与它们相当，太阳能热利用技术在工业领域的应用几乎还是个空白。

而阻挡太阳能热利用技术在工业领域应用的进程的原因主要是投资者的意识信心、太阳能系统的技术、成本以及现有成功案例的示范较少等因素。

#### 1) 意识

太阳能热利用技术在工业领域的应用工程非常地少，许多相当工业领域的决策者甚至没有听过太阳能工业加热系统，这是阻碍太阳能工业加热进程的主要原因。

#### 2) 信心

在面对基本设施需求的时候，企业决策者非常保守，尤其是在考虑到一些工业过程的严格用热需求，他们总是会选择传统的、久经时间证明的技术。对他们来说，他们宁愿信赖未来格不定的传统燃料也不愿意承担系统中断的风险。

#### 3) 成本

正如许多可再生能源一样，太阳能工业加热系统的成本是相当高的，但运行费用比较低。而就目前的技术水平，系统投资回收期还在商业要求之外。

#### 4) 技术

许多工业过程需要高于传统太阳能热利用（民用太阳能热水器、采暖、太阳能游泳池）的温度。为了满足这些需求，就需要新的设计甚至新的材料。

#### 5) 规范

目前为止，仅少数工程中心和研究机构有太阳能工业热利用项目的安装经验。合适的规划指引及工具仍然缺失。

#### 6) 人才

人才，缺乏过太阳能工业加热技术应用相关人才。没有人才积累和相关知识就不能很好地解决太阳能工业加热问题。

## 7 主要参考文献

[1]2006 中国能源发展报告（能源蓝皮书）

[2]中国统计年鉴 2008

- [3]国际能源展望报告 2009.美国能源资料协会 (EIA)
- [4] <http://www.iea-shc.org/>
- [5] <http://www.solarpaces.org/>
- [6] Claudia Vannoni,Riccardo Battisti,Serena Drigo ,potential for solar heat in industrial processes,
- [7]殷志强, 探讨太阳能热利用发展, 太阳能, 2009, 6
- [8] <http://www.global-warming-and-the-climate.com/>
- [9]中国可再生能源发展战略研究项目组.中国可再生能源发展战略研究丛书太阳能卷.北京: 中国电力出版社, 2008
- [10] 王如竹, 代彦军.太阳能制冷.北京: 化学工业出版社, 2007.
- [11]王海芝.国内太阳能热水器在南非的应用推广和环境效益分析.硕士研究生学位论文.2006.
- [12]焦青太.当今世界太阳能热水器的发展状况.建筑节能.2007,35(198).
- [13] 郑瑞澄.民用建筑太阳能热水系统工程技术手册.北京: 化学工业出版社,2006
- [14]李立敦, 黄建明.太阳能干燥在工农业生产中应用的可行性及应用实例.新能源及工艺.2008 第 1 期
- [15]Atul Sharma,C.R.Chen,Nguyen Vu Lan. Solar-energy drying systems:A review.Renewable and Sustainable Energy Reviews13 (2009)1185-1210.
- [16]张璧光, 刘志军, 谢拥群.太阳能干燥技术.北京: 化学工业出版社, 2007
- [17]太阳能干燥技术的国内外概况及应用前景.中国新能源网.
- [18]余亚梅.利用太阳能干燥鲜花的实验研究.硕士研究生学位论文, 2005
- [19]朱世华, 秦思昌.太阳能海水淡化技术的研究概况.水处理技术.1991, 17 (3)
- [20]J.Blanco,S.Malato et al. Review of feasible solar energy applications to water processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(2009)1437-1445
- [21]张小粉.太阳能海水淡化装置的能量系统研究.硕士学位论文.2007
- [22]赵军, 方承超等.一种回收蒸发潜热太阳能蒸馏装置的研究.太阳能学报, 1998 年 02 期
- [23]郑宏飞, 何开岩, 陈子乾.太阳能海水淡化技术.北京: 北京理工大学出版社, 2005
- [24]郑宏飞, 张联英.降膜蒸发多效回热型太阳能海水淡化装置的测试与分析.北京理工大学学报, 2002 年 06 期
- [25]熊日华.露点蒸发海水淡化技术研究.博士学位论文, 2004.

- [26]张耀民等.聚光类太阳能热发电概述.太阳能, 06年01期.
- [27]李京光, 李彦斌等.太阳能热发电技术研究现状.中国电力教育.2008
- [28] Werner Weiss,Matthias Rommel; Process heat collectors-state of the art within task33/IV
- [29] P.Rajamohan,R.V.Jeba Rajasekhar et al ; solar thermal enery for industrial process heat applictions-an approach to parabolic dish concentrator utilization.
- [30] Werner Weiss,Irene Bergmann,Gerhard Faninger; solar heat worldwide-markets and contribution to the energy supply 2007
- [31] IEA task 33/task IV:solar het for industrial processes
- [32]许建营.烟草工艺与调香技术.北京: 中国纺织出版, 2007
- [33]李琳.现代饼干甜点生产技术.北京: 中国轻工业出版, 2001
- [34]隆言全.制浆造纸工艺学.北京: 轻工业出版社, 1980
- [35]于新安, 郝凤鸣.纺织工艺学概论.北京: 中国纺织出版社, 1998.
- [36]舒适之.印染热水节能新技术—太阳能热水系统
- [37]杨中文.塑料成型工艺.北京: 化学工业出版社, 2009
- [38] IEA SHC/Solar Paces Task 33/4 :SHIP,picture overview
- [39] Ali.A.Badran, M.A.Hamdan, Utilization of solar energy for heating fuel oil, Energy Conversion and Management, 1998, 39(1/2), 105~111.
- [40] Ali. A. Badran, B.A. Jubran, Fuel oil heating by a trickle solar collector, Energy Conversion and Management, 2001, 42, 1637~1645.
- [41] Helitherm for faster flow, Australian Energy News, December 1998, 16
- [42] Solar-heating system studied for heavy-oil pipelines, Oil & Gas Journal, March 29, 1999,
- [43] 阮国岭,冯厚军.国内外海水淡化技术的进展.中国给水排水, 08年20期.
- [44]谭永文, 谭斌, 王琪.中国海水淡化工程进展.水处理技术, 07年01期.
- [45]王俊红, 高乃云等. 海水淡化的发展及应用.工业水处理, 08年05期.
- [46]国内外海水淡化发展现状、趋势及启示.参考资讯, 06年10期.
- [47]白常厚,刘关强.铜合金管材在海水淡化装置上的应用.有色矿冶, 07年02期.
- [48]汪鸣.海水淡化用铜管的市场需求前景看好.中国通报, 41期.
- 本报告版权归国际铜业协会、IMSIA国际金属太阳能产业联盟所有。**

**联系方式:**

**电话: +86 (10) 68042450**

**邮箱: imsia2010@126.com**

**地址: 北京市海淀区中关村南大街12号天作国际大厦A座2605-2608室**

**邮编: 100081**