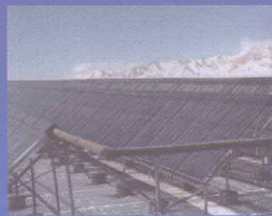


热管式真空管 太阳能集热器及其应用

何梓年 李炜 朱敦智 编著

Heat-pipe Evacuated Tube Solar Collector And Its Applications



化学工业出版社

热管式真空管 太阳能集热器及其应用

何梓年 李炜 朱敦智 编著

Heat-pipe Evacuated Tube Solar Collector And Its Applications



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

热管式真空管太阳能集热器及其应用/何梓年, 李炜, 朱敦智编著. —北京: 化学工业出版社, 2011.7

ISBN 978-7-122-11063-3

I. 热… II. ①何…②李…③朱… III. 太阳能聚热器
IV. TK513.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 068833 号

责任编辑: 戴燕红 郑宇印

文字编辑: 陈 雨

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 16 字数 298 千字 2011 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

序

大力发展包括太阳能在内的可再生能源产业，走节能、环保、减排、低碳的可持续发展道路，已成为世界各国的广泛共识。20多年来，我国太阳能热利用技术与产业得到了快速发展。目前，我国太阳能集热面积的年产量和总保有量都已居世界首位，成为世界上太阳能热水器的生产和应用大国，为我国节能和环保事业做出了积极的贡献。

科技创新是推动产业发展的强大动力。在我国型式众多的太阳能热利用技术和产品中，热管式真空管太阳能集热器自20世纪90年代在我国问世以来，发挥其自身的技术特点和优势，已分别在国内外太阳能热水、太阳能供热采暖、太阳能制冷空调、太阳能工业加热等许多领域得到了应用，取得了一定的实践经验。

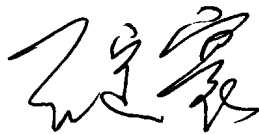
为了满足广大工程技术人员希望了解有关热管式真空管太阳能集热器知识的需要，我国多年从事太阳能热利用技术研究开发和推广应用的科技人员，在总结我国研究开发及国内外工程实践的基础上，编写了这本《热管式真空管太阳能集热器及其应用》。

本书内容丰富，资料翔实，既有一定深度的理论分析，又有大量具有参考价值的应用实例，可成为从事太阳能热利用工程技术人员有用的参考书，值得一读。

相信本书的出版将对提高我国太阳能热利用技术水平，拓宽太阳能热利用应用领域，为促进低碳发展、绿色发展起到积极的作用。

国务院参事

中国可再生能源学会理事长



2011年6月10日

前言



人类开发利用太阳能，对于节约常规能源、保护自然环境、减缓气候变化、促进社会可持续发展，都具有极其重要的意义。

作为各种太阳能热利用系统关键部件的太阳能集热器，是吸收太阳辐射并将产生的热能传递到传热介质的装置。为了要减少太阳能集热器中通过传导、对流和辐射等方式造成的换热损失，各种类型的真空管太阳能集热器已相继问世。

每台真空管集热器都由若干支“真空集热管”（简称“真空管”）组成，它们是构成真空管集热器的核心部件。按吸热体的材料种类，真空管可分为玻璃吸热体真空管和金属吸热体真空管两大类。热管式真空管就是金属吸热体真空管中的一种。

热管式真空管集热器与全玻璃真空管集热器、平板型集热器是国内广泛应用的三类太阳能集热器，有较高的技术含量和创新性，具有热效率高、抗冰冻、启动快、保温好、承压大、耐热冲击等诸多优点。

为了进一步提高太阳能集热器运行温度，拓宽太阳能应用领域，北京市太阳能研究所的科技人员从 1986 年起就着手研制热管式真空管集热器。20 多年来，热管式真空管集热器的发展走过了十分艰巨而又不平凡的历程，先后经历了实验室研究、中试研究、中试生产、规模化生产、开拓国内外市场等几个不同的阶段。

“热管式真空管太阳能集热器研制项目”一开始就受到国际和国内的高度关注，曾先后被列为联合国开发计划署（UNDP）支持下的国际科技合作项目、中德两国政府间科技合作项目、国家新能源工程技术研究中心的研究开发项目、国家技术改造“双加”工程项目、北京市重点科研项目、北京市科研中试基地项目等。

在 20 多年期间，广大科技人员攻克了一个又一个技术难关，先后取得了 10 多项国家发明专利和实用新型专利，分别荣获了北京市科学技术进步一等奖和国家技术发明四等奖；还及时地将科技成果转化为生产力，建成了北京市第一个科研中试基地。目前，热管式真空管集热器及其系列产品已成为我国太阳能热利用领域中深受广大用户欢迎的高科技产品，也已成为国际市场中极具竞争力的太阳

能产品。

自 20 世纪 90 年代中期以来，热管式真空管集热器已逐步进入国内外市场，已在太阳能热水、太阳能采暖、太阳能空调、太阳能工业加热等许多领域得到应用，使我们积累了一定的实践经验。

然而，迄今为止，国内尚未出版过任何一本有关热管式真空管太阳能集热器的专著。越来越多的读者虽然听说过热管式真空管集热器的许多优点，也收集到热管式真空管集热器在各地的应用信息，但并不了解有关热管式真空管集热器的技术内容及其应用情况，经常来向我们询问。鉴于这种情况，我们决定编著《热管式真空管太阳能集热器及其应用》一书。

本书将较为深入地阐述热管式真空管及其集热器的基本结构、工作原理、制造方法、热性能分析、热性能测定等内容，并分别介绍它们在国内外的许多应用实例，包括：太阳能热水系统、太阳能采暖和热水组合系统、太阳能制冷空调系统、太阳能工业加热系统。本书将遵循理论与实践相结合的原则，既有一定深度的理论分析，又有大量具有参考价值的应用实例，以满足不同读者群的需求。

由于编写时间仓促、作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正，并提出宝贵意见，以便今后补充、修订。

何梓年 李炜 朱敦智

2011 年 6 月

目 录



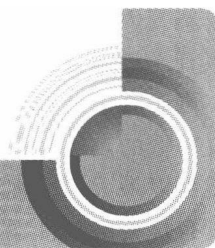
第 1 章 概述	1
1.1 真空管太阳能集热器	1
1.1.1 真空管集热器的提出	1
1.1.2 真空管集热器的分类	2
1.2 金属吸热体真空管集热器	2
1.2.1 同心套管式真空管集热器	3
1.2.2 U 形管式真空管集热器	4
1.2.3 储热式真空管集热器	5
1.2.4 内聚光真空管集热器	5
1.2.5 直通式真空管集热器	6
1.3 热管式真空管集热器在我国的发展历程	7
1.3.1 概况	7
1.3.2 热管式真空管集热器的主要发展阶段	7
1.4 本书的主要内容	12
第 2 章 热管式真空集热管	15
2.1 基本结构	15
2.2 工作原理	15
2.2.1 热管	16
2.2.2 选择性吸收涂层	20
2.2.3 玻璃-金属封接	25
2.2.4 真空排气	27
2.3 制造方法	29
2.3.1 热管制造工艺流程	29
2.3.2 吸热板总成工艺流程	30
2.3.3 玻璃管制造工艺流程	31
2.3.4 真空集热管总成工艺流程	31

2.3.5	热管式真空集热管主要制造设备	33
2.4	技术要求	34
2.5	热性能测定	34
2.5.1	输出功率的测定	34
2.5.2	空晒性能参数的测定	39
第3章	热管式真空管集热器	41
3.1	基本结构	41
3.2	主要优点	43
3.3	热性能分析	45
3.3.1	基本假设	45
3.3.2	基本方程	45
3.3.3	总热损失系数	46
3.3.4	效率因子	47
3.3.5	热转移因子	48
3.3.6	理论计算实例	50
3.4	热性能测定	51
3.4.1	测试仪表	51
3.4.2	试验台架	53
3.4.3	瞬时效率曲线的测定	55
3.4.4	时间常数的测定	60
3.4.5	入射角修正系数的测定	60
3.4.6	压力降的测定	63
第4章	半圆柱面吸热板热管式真空管集热器	64
4.1	基本结构和特点	64
4.2	热性能分析	65
4.2.1	相对太阳辐照度	65
4.2.2	能量收益因子	69
4.2.3	能量收益	71
4.3	热性能测定	74
4.3.1	入射角修正系数	74
4.3.2	测量结果	75
第5章	太阳能热水系统	77
5.1	太阳能热水系统分类与特点	77

5.1.1	按系统的特征进行分类	77
5.1.2	按建筑中集热与供热水范围进行分类	79
5.1.3	按其他方法进行分类	79
5.2	太阳能热水系统发展趋势	80
5.2.1	太阳能热水器产业现状	80
5.2.2	太阳能热水系统发展趋势	81
5.2.3	太阳能热水系统与建筑结合的基本含义	82
5.3	民用建筑太阳能热水系统的集热器面积	82
5.3.1	直接系统的集热器总面积	83
5.3.2	间接系统的集热器总面积	87
5.4	国内太阳能热水系统实例	88
5.4.1	上海公安高等专科学校太阳能集中供热水系统	88
5.4.2	天津顶秀欣园太阳能集中-分散供热水系统	94
5.4.3	太阳能分散供热水系统及其应用案例	101
5.5	国外太阳能热水系统实例	109
5.5.1	泰国曼谷的太阳能热水系统	109
5.5.2	分体式太阳能热水系统	112
第6章	太阳能供热采暖系统	121
6.1	太阳能供热采暖系统的特征	121
6.1.1	太阳能采暖系统的特点	121
6.1.2	太阳能组合系统概念的提出	122
6.1.3	采暖负荷和生活热水负荷的比较	123
6.1.4	储水箱的特性	124
6.2	太阳能组合系统的热特性	125
6.2.1	太阳能组合系统的热性能参数	125
6.2.2	太阳能组合系统的过热保护	128
6.3	国内太阳能供热采暖系统实例	131
6.3.1	西藏普鲁岗日太阳能供热采暖系统	131
6.3.2	拉萨火车站单身宿舍太阳能供热采暖系统	135
6.4	国外太阳能采暖和热水组合系统实例	139
6.4.1	罗马尼亚科拉威尔市的太阳能组合系统	139
6.4.2	保加利亚索菲亚市的太阳能组合系统	143
第7章	太阳能制冷空调系统	146
7.1	太阳能制冷空调系统分类与特点	146

7.1.1	太阳能制冷空调系统的分类	146
7.1.2	吸收式制冷机组的分类	146
7.1.3	吸收式制冷系统的特点	148
7.1.4	太阳能吸收式制冷空调系统工作原理	149
7.1.5	多级太阳能吸收式制冷系统	151
7.1.6	国内外已安装的太阳能空调系统汇总	152
7.2	国内太阳能空调系统实例	153
7.2.1	山东乳山太阳能空调示范系统	153
7.2.2	北京北苑太阳能空调示范系统	162
7.3	国外太阳能空调系统实例	171
7.3.1	美国洛杉矶的太阳能空调系统	171
7.3.2	韩国安山的太阳能空调系统	175
7.3.3	马来西亚吉隆坡的太阳能空调系统	179
第 8 章	太阳能工业加热系统	185
8.1	太阳能工业加热系统特点	185
8.1.1	主要特点	185
8.1.2	潜在的应用领域	186
8.2	国内太阳能工业加热系统实例	187
8.2.1	辽河油田太阳能原油加热系统	187
8.2.2	上海造币厂太阳能工艺加热系统	192
8.3	国外太阳能工业加热系统实例	198
8.3.1	新加坡的太阳能实验用高温热水加热系统	198
8.3.2	韩国利川的太阳能酱油工艺加热系统	203
附录		208
附录 1	各种热管的工作温度范围、典型工作介质及其相容管壳材料	208
附录 2	各类材料的太阳吸收比和发射率	209
附录 3	我国 70 个城市各月的太阳能资源及气象参数	211
附录 4	固体的热物理性质	232
附录 5	液体的热物理性质	233
附录 6	气体的热物理性质	235
参考文献		239

第1章 概 述



1.1 真空管太阳能集热器

1.1.1 真空管集热器的提出

太阳能是可再生能源的一种。开发利用太阳能，对于节约常规能源、保护自然环境、减缓气候变化，都具有极其重大的意义。

按照能量转换的形式，太阳能可以分别转换为热能、电能、化学能、生物能等。依据太阳能这些转换原理而加以利用的，分别称之为太阳能热利用、太阳能光伏利用、太阳能光化学利用、太阳能光生物利用等。

太阳能集热器是吸收太阳辐射并将产生的热能传递到传热介质的装置，它是组成各种太阳能热利用系统的关键部件。

为了减少太阳能集热器中传导、对流和辐射等的换热损失，国外很早就有人提出“真空集热器”的设想。所谓“真空集热器”，就是将集热器中吸热体与透明盖板之间的空间抽成真空的太阳能集热器^[1]。

早期的真空集热器是利用平板型集热器，将吸热板与透明盖板之间的空间抽成真空。但这样做势必带来两个很大的困难：第一，平板形状的透明盖板很难承受因内部真空而造成外部空气如此巨大的压力，例如对于一台 2m^2 的平板型集热器而言，在透明盖板上将有 20000kg 左右的外力，这绝不是普通平板玻璃所能承受的，非用足够厚度的钢化玻璃不可；第二，也是更重要的，方盒形状的集热器很难抽成并保持真空，因为在透明盖板和外壳之间有既多又长的连接处，这些连接处是很难达到严格气密性要求的。

由此可见，从受力情况和密封工艺这两个角度出发，将真空集热器的基本单元做成圆管形状是非常科学的，也是完全可以实现的，这就是 20 世纪 70 年代提出的“真空管集热器”。

一台真空管集热器通常由若干支“真空集热管”所组成，它们是构成真空管

集热器的核心部件，在太阳能热利用领域有时亦简称为“真空管”。

真空集热管的外罩是玻璃管，其吸热体可以是圆管状、平板状或其他形状。吸热体放置在罩玻璃管内，吸热体与罩玻璃管之间抽成真空。吸热体的表面通过各种工艺方法沉积有光谱选择性吸收涂层。由于吸热体与罩玻璃管之间的夹层保持较高的真空度，可以有效地抑制真空管内空气的传导和对流热损失；再由于选择性吸收涂层具有较低的热发射率，可以明显地降低吸热体的辐射热损失。这些都使真空管集热器可以最大限度地利用太阳能，即使在高运行温度和低环境温度的条件下，仍然具有优良的热性能。

1.1.2 真空管集热器的分类

正由于真空集热管是构成真空管集热器的核心部件，因而真空管集热器的分类实质上就是真空集热管或真空管的分类。

按吸热体的材料种类，真空集热管可分为两大类^[2]：

① 玻璃吸热体真空管 吸热体由内玻璃管组成的真空管。鉴于真空管主要由罩玻璃管和内玻璃管组成，所以玻璃吸热体真空管通常就称为“全玻璃真空管”。

② 金属吸热体真空管 吸热体由金属材料组成的真空管。鉴于罩玻璃管必须与金属吸热体进行封接，所以金属吸热体真空管有时也称为“玻璃-金属封接真空管”。

20 世纪 80 年代初期，美籍华人贝律坤先生送给我国几支全玻璃真空管样品，引起国内太阳能同行的关注。不久，沈阳玻璃计器厂首先研制成功全玻璃真空管，并代表我国参加了 1982 年在美国举办的世界能源博览会。接着，清华大学对全玻璃真空管的选择性吸收涂层及其生产制作工艺进行了卓有成效的研究开发，对其中有关工艺和技术还进行了重大改进，并逐步实现了产业化。进入 90 年代后，该项技术迅速向全国辐射，目前全玻璃真空管在国内各类真空管产品中产量最大，对我国太阳能热利用产业的发展起到了积极的推动作用。

1.2 金属吸热体真空管集热器

金属吸热体真空管集热器是国际上随后发展起来的新一代真空管集热器，它又可进一步分为多种型式。本书即将深入介绍的热管式真空管集热器就是其中的一种。尽管金属吸热体真空管有各种不同的型式，但无论哪种型式，由于吸热体都采用金属材料，而且真空管之间也都用金属件连接，所以由它们组成的集热器必然具有一些共性。

金属吸热体真空管集热器的共同优点是^[3]：

① 运行温度高 所有真空管集热器的运行温度都可达到 $70\sim 120^{\circ}\text{C}$ 以上，有的真空管集热器甚至可高达 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，使之成为中、高温太阳能热利用系统必不可少的集热部件；

② 承压能力强 所有真空集热管及其系统都能承受自来水或循环泵的压力，多数真空管集热器还可用于产生 10^6 Pa 以上的热水甚至高压蒸汽；

③ 耐热冲击性能好 所有真空集热管及其系统都能承受急剧的冷热变化，即使对空晒很久的真空管集热器系统突然注入冷水，真空集热管也不会因此而炸裂。

正由于金属吸热体真空管集热器具有诸多优点，世界各国科学家和工程师已竞相研制出各种型式的真空集热管，以满足不同用途的需求，扩大了太阳能的应用领域，从而展示出当今世界真空管集热器的发展趋势。

下面，将简要介绍除了热管式真空管集热器以外的其他几种金属吸热体真空管集热器，内容包括这几种真空集热管的结构特点以及相应真空管集热器的性能特点。这些金属吸热体真空管集热器有：同心套管式、U形管式、储热式、内聚光式、直通式等真空管集热器。

1.2.1 同心套管式真空管集热器

同心套管式真空集热管（或称为直流式真空集热管）主要由同心套管 1、吸热板 2、玻璃管 3 等几部分组成，如图 1-1 所示。所谓同心套管，就是两根内、外相套的金属管，它们位于吸热板的轴线上，与吸热板紧密连接。

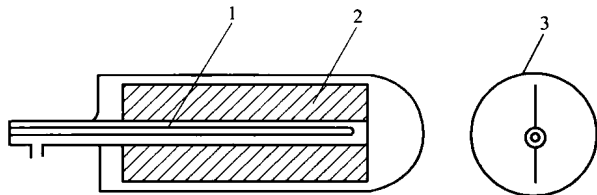


图 1-1 同心套管式真空集热管示意图

1—同心套管；2—吸热板；3—玻璃管

工作时，太阳辐射穿过玻璃管，投射在吸热板上；吸热板吸收太阳辐射能并将其转换为热能；传热介质（譬如水）从内管进入真空集热管，被吸热板加热后，热水通过外管流出。

同心套管式真空管集热器除了具有运行温度高、承压能力强和耐热冲击性能好等金属吸热体真空管集热器共同的优点之外，还有其自身显著的特点：

① 热效率高 由于传热介质进入真空集热管后，被吸热板直接加热，减少了中间环节的传导热损，因而可更最大限度地利用太阳辐射能；

② 可水平安装 根据需要, 可将真空集热管沿东、西方向水平安装在建筑物的平屋顶上或南立面上, 如图 1-2 所示。

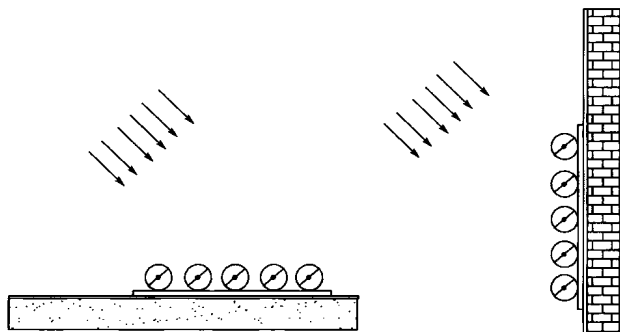


图 1-2 真空管集热器水平安装示意图

通过转动真空集热管, 将吸热板与水平方向的夹角调整到所需要的数值 (譬如当地纬度值), 这样既可简化太阳能集热器的安装支架, 又可避免太阳能集热器影响建筑外观。

1.2.2 U 形管式真空管集热器

U 形管式真空集热管主要由 U 形管 1、吸热板 2、玻璃管 3 等部分组成, 如图 1-3 所示。国外有些文献将同心套管式真空集热管和 U 形管式真空集热管统称为“直流式真空管”, 因为两者的基本结构和工作原理几乎一样, 只是前者的冷、热水从内外两根同心套管进、出, 而后的冷、热水从连接成 U 字形的两根平行管进、出。

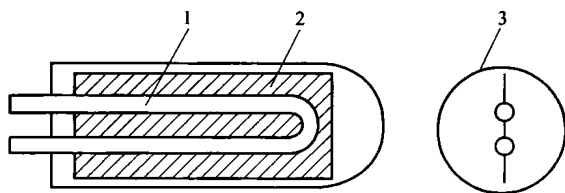


图 1-3 U 形管式真空集热管示意图

1—U 形管; 2—吸热板; 3—玻璃管

U 形管式真空管集热器的主要特点是:

① 热效率高 由于传热介质进入真空集热管后, 被吸热板直接加热, 减少了中间环节的传导热损, 因而可更大限度地利用太阳辐射能;

② 可水平安装 与图 1-2 所示的安装方式一样, 可以将真空集热管沿东、西方向水平安装在建筑物的平屋顶上或南立面上, 这样既可简化太阳能集热器的

安装支架，又可避免太阳能集热器影响建筑外观；

③ 安装简单 真空集热管与集管之间的连接比同心套管式真空管集热器更为简单。

1.2.3 储热式真空管集热器

储热式真空集热管主要由吸热管 1、内插管 2、玻璃管 3 等部分组成，如图 1-4 所示。

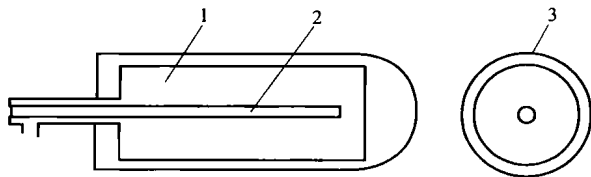


图 1-4 储热式真空集热管示意图

1—吸热管；2—内插管；3—玻璃管

吸热管内储存水，外表面有选择性吸收涂层。白天，太阳辐射能被吸热管转换成热能后，直接用于加热吸热管内的水；使用时，冷水通过内插管渐渐注入，同时将热水从吸热管顶出；夜间，由于真空夹层隔热，吸热管内的热水降温很慢。

储热式真空集热管组成的系统有以下主要特点：

① 不需要储水箱 真空管本身既是集热器，又是储水箱，因而由储热式真空管组成的热水器也可称为真空闷晒式热水器，不需要附加的储水箱；

② 使用方便 打开自来水龙头后，热水可立即放出，所以特别适合于家用太阳能热水器。

1.2.4 内聚光真空管集热器

内聚光真空集热管主要由吸热体 1、复合抛物聚光镜 2、玻璃管 3 等几部分组成，如图 1-5 所示。复合抛物聚光镜亦可简称为 CPC。由于 CPC 放置在真空集热管的内部，故称为内聚光真空集热管。

吸热体通常是热管，也可以是同心套管（或 U 形管），其表面有中温选择性吸收涂层。平行的太阳辐射无论从什么方向穿过玻璃管，都会被 CPC 反射到位于其焦线处的吸热体上，然后仍按热管式真空集热管或直流式真空集热管的工作原理运行。

内聚光真空管集热器的主要特点是：

① 运行温度较高 由于 CPC 的聚光比大于 1，所以内聚光真空集热管的运

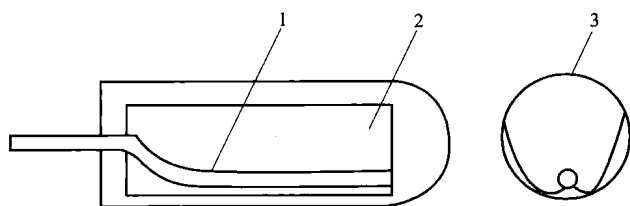


图 1-5 内聚光式真空集热管示意图

1—吸热体；2—复合抛物面聚光镜；3—玻璃管

行温度可达 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ ；

② 不需要跟踪系统 这是由 CPC 的光学特性所决定的，从而避免了复杂的自动跟踪系统。

1.2.5 直通式真空管集热器

直通式真空集热管主要由吸热管 1 和玻璃管 2 这两大部分组成，如图 1-6 所示。

直通式真空集热管一般需要与抛物柱面聚光镜配合使用。吸热管表面有高温选择性吸收涂层。传热介质从吸热管的一端流入，经太阳辐射能加热后，从吸热管的另一端流出，故称为直通式真空集热管。由于金属吸热管与玻璃管之间的两端都需要封接，因而必须借助于波纹管过渡，以补偿金属吸热管的热胀冷缩。当直通式真空管与抛物柱面聚光镜配套使用时，组成一种聚光型太阳能集热器。

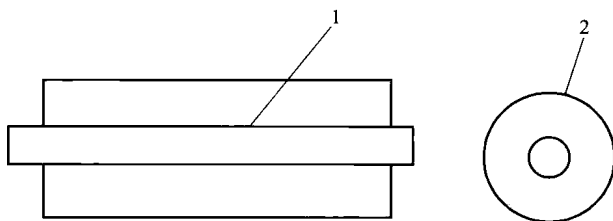


图 1-6 直通式真空集热管示意图

1—吸热管；2—玻璃管

直通式真空管集热器的主要特点是：

① 运行温度很高 由于抛物柱面聚光镜的开口可以做得很大，使真空管集热器的聚光比很高，所以直通式真空管集热器的运行温度可高达 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ；

② 比较易于组装 由于传热介质从真空管的两端进出，因而便于在直通式真空集热管之间采用串联方式连接。

当然，以上介绍的这些真空管未必概括了金属吸热体真空管的全部型式。随着世界各国太阳能热利用技术的不断发展，人们必将创造出性能更加优越、用途

更为广泛的各种新型真空管太阳能集热器。

1.3 热管式真空管集热器在我国的发展历程

1.3.1 概况

为了进一步提高太阳能集热器运行温度,拓宽太阳能应用领域,北京市太阳能研究所的科技人员从1986年起就着手研制新型真空管太阳能集热器。当时的指导思想是:选题立足高起点,跟踪国际新技术。经过国内外认真调研,反复论证,终于选定了性能优越、技术先进、世界上只有少数几个发达国家能够制造的热管式真空管集热器作为自己的研究对象^[4,5]。

20多年来,热管式真空管集热器的发展走过了十分艰巨而又不平凡的历程,先后经历了实验室研究、中试研究、中试生产、规模化生产、开拓国内外市场等几个不同的阶段。

“热管式真空管太阳能集热器研制项目”一开始就引起国际上的高度关注,曾先后被列为联合国开发计划署(UNDP)支持下的国际科技合作项目、中德两国政府间科技合作项目;该项目多次得到国家科委(现国家科技部)和国家经贸委(现国家发改委)的大力支持,曾先后被列为国家新能源工程技术研究中心的研究开发项目、国家技术改造“双加”工程项目;它还自始至终得到北京市科委和北京市科技研究院的直接指导,曾先后被列为北京市重点科研项目、北京市科研中试基地项目。

在这20多年期间,北京市太阳能研究所的广大科技人员攻克了一个又一个技术难关,先后取得了10多项国家发明专利和实用新型专利;科技人员付出了一次又一次的辛勤劳动,终于取得了丰硕成果,分别荣获了北京市科学技术进步一等奖和国家技术发明四等奖;太阳能研究所还及时地将科技成果转化为生产力,先后建成了北京市第一个科研中试基地(真空管太阳能集热器中试基地)和北京桑达太阳能技术有限公司。目前,“桑普”、“桑达”热管式真空管集热器及其系列产品,已成为我国太阳能热利用领域中深受广大用户欢迎的高科技产品,也已成为国际市场中极具竞争力的太阳能产品。

1.3.2 热管式真空管集热器的主要发展阶段

回顾热管式真空管集热器20多年来的发展历程,我们认为大致可以分为三个阶段:

(1) 第一阶段(1986—1991)

1986年,在联合国开发计划署(UNDP)的资助下,由中国太阳能学会原