维普资讯 http://www.cqvip.com

⑤ 21-30

新能源 -1999,21(7) -21~30

太阳能真空集热管的结构种类与特点*

浦绍选 曾言行 高文峰 谌学先

(云南师范大学太阳能研究所,昆明 650092)

TK513

摘 要 太阳能真空集热管按真空封装结构可分为两大类:全玻璃真空集热管和玻璃-金属真空集热管。从取热方式、使用温度和性能要求的不同又有各种不同的内部结构。本文对国内外一些有代表性的太阳能真空集热管的结构种类和特点做了综述。

关键词 太阳能集热器 真空集热管 玻璃集热管 玻璃-金属集热管

0 引 言

真空管太阳能集热管采用了真空技术,消除了气体的对流与传导热损,并应用选择性吸收涂层,使辐射热损降到最低。因而,它具有吸辐比高、热损小和保温性能好等独特的优点,可以在中高温下运行,也能在寒冷地区的冬季及低日照与天气多变的地区运行,大大拓展了应用领域。许多国家和地区(如美国、澳大利亚、日本、德国、荷兰、英国、加拿大、以色列、北爱尔兰、威尔士、印度、前苏联、中国等)对真空太阳能集热管都有研究、生产和应用,主要用于空调、制冷、热水和开水供应等。我国于70年代末开始研究选择性吸收表面和真空管集热器[1],80年代初步入这个领域,并在80年代后期在一些新型选择性薄膜材料与应用方面达到国际先进水平,先后研制生产了全玻璃真空集热管、直通式真空集热管和热管式真空集热管,用于太阳能热水器[2]、开水器、干燥和空调。其中,全玻璃真空集热管由于成本较低,对太阳能热水器的应用有着广阔的前景。特别在我国北方地区,由于这种集热管具有能越冬和全天候运行的独特优点,近年来发展十分迅速。为了更好地

* 云南省教委基金资助项目

在风力不稳定的地方可以通过太阳能电池获得全年电力大致稳定的供应,取得良好的风/光互补效果。

7 结 语

小型风力发电装置可以说是理科教育、能源教育、技术教育或环境教育等最适合的教具。本文只介绍了使用自行车发电机的教具型风力发电机和可以使用交流发电机的实用型风力发电装置。自己制作风力机,希望结构简单、成本低廉,还有进一步研究之必要。对于生产厂家而言,期待开发适合风力发电机使用的低转速、高出力自激式发电机。

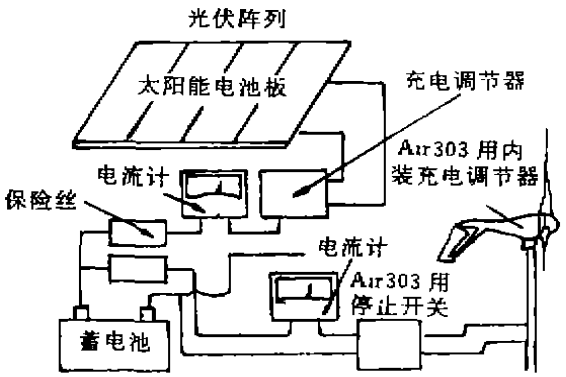


图14 一种风/光互补系统

(谢 田供稿)

维普资讯 http://www.cqvip.com

开发和应用真空管集热器这一太阳能集热元件，设计出较好的系统，有必要了解和掌握各种真空集热管的结构特点。

太阳能真空集热管按真空封装结构可分为两大类：全玻璃真空集热管和玻璃-金属真空集热管。

1 全玻璃真空太阳能集热管

全玻璃真空太阳能集热管在许多国家都有研究和应用，最具有代表性的有以下结构：①清华大学研制生产的全玻璃真空太阳能集热管（图 1）。它由内外两层玻璃管构成，内管外表面具有选择性吸收膜 Al-N/Al，外管为透明玻璃（又叫罩玻璃管），夹层之间抽成高度真空，整个形状如同一个拉长的暖水瓶胆。它采用单端开口设计，通过一端将内、外管环形熔封起来，其内管另一端是密闭半球形圆头，由弹簧卡子支撑，可以自由伸缩，以缓冲吸热体吸收太阳辐射而使内管温度升高时热膨胀引起的热应力。弹簧卡子上带有消气剂，消气剂蒸散后能吸收真空管运行时产生的气体，保持管内真空度。当前，这种真空管在我国生产量和市场份额最大，并已打开国外市场，发展前景很好。②美国 Owens Illinois (OI)公司的 Sunpak™全玻璃真空集热管[3,4]（图 2）。它的口端是单层玻璃，作为与连集管的连接处。除了在中心多一根玻璃导管外，外形结构与图 1 差不多。③两端开口的直通式全玻璃真空太阳能集热管。它与上述两种集热管不同之处在于两端开口，在集热器系统的应用上可以两端连接集管，改善工质与集热管间的换热情况，还可以采用强制循环。我国目前已有厂家研制生产了这种管子。

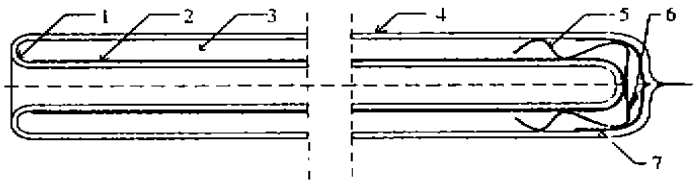


图 1 清华大学的全玻璃真空集热管

1—内玻璃管；2—太阳选择性吸收涂层；3—真空夹层；4—罩玻璃管；5—支撑件-弹簧卡子；6—吸气剂；7—吸气膜。

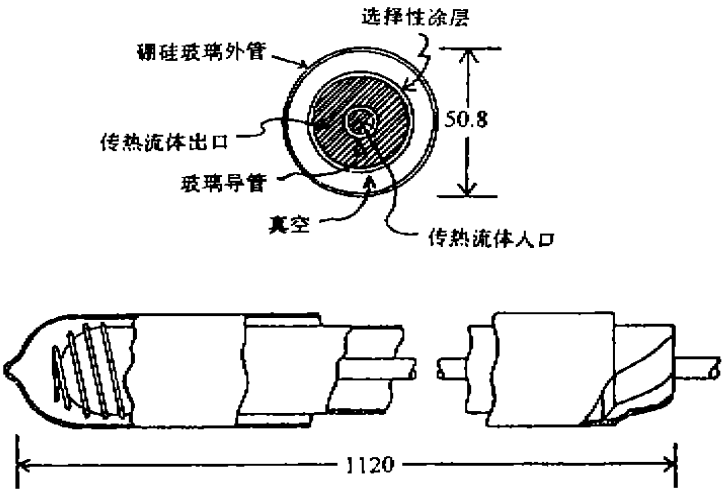


图 2 OI 公司"Sunpak"全玻璃真空集热管

维普资讯 http://www.cqvip.com

全玻璃真空管内的容水量大，热容大，热启动慢。北京太阳能研究所研制了一种在管内加设内插棒的全玻璃真空管[5]（图 3），可减少容水量和降低热容量，从而提高热利用率和改善管内的传热。真空管外径 65mm，吸热管外径 54mm，全长 1600mm。内插棒是两端封口的圆柱形玻璃棒，外径 38mm。

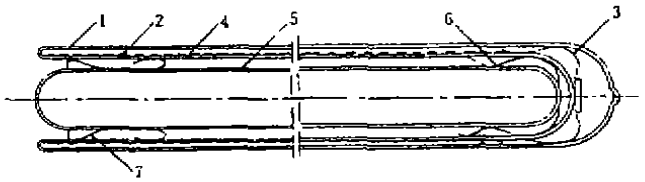


图 3　带有内插棒的全玻璃真空太阳能集热管结构示意图

1. 外玻璃管；2. 内玻璃管；3. 支架和消气剂；4. 选择性吸收表面；5. 内插棒；6. 定位支撑弹簧；7. 定位卡。

真空集热管采用的光谱选择性吸收涂层对太阳光谱的吸收率很高，热发射率很低。制作选择性涂层的工艺方法很多[6-8]，如化学沉铜，电镀黑镍、黑钴；真空蒸发 CO_x+Cr/Al，溅射多层不锈钢-碳/Cu；溅射多层 Al-N/Al 等等。清华大学研制的 Al-N/Al 选择性涂层，$\alpha \geqslant 0.93$，$\varepsilon \approx 0.06$。

真空集热管的玻璃多采用耐热、冲击性能好与强度高的硼硅玻璃 3.3，我国的 BJ-TY（北京特硬）玻璃相当于美国 Corning 公司的 Pyrex 料，是世界上工业发达国家生产全玻璃真空管集热器的通用玻璃料，其性能优于日本、德国等同类材料。厚 1.6mm 的 BJ-TY 玻璃的太阳光平均透过率为 90.7%，耐热温差 270℃，最高使用温度 460℃。

表 1　一些全玻璃真空集热管的尺寸

生产地	内径 /mm	外径 /mm	厚度 /mm	长度 /mm
美国 Owens-Illinois	∅42	∅51	2	1200，1800
日本	∅30	∅38	1.5	1500
Sydney 大学	∅22	∅30	1.4	1400
	∅30	∅38		
中国清华大学	∅37	∅47	1.6	1200，1500

真空管内的压强约为 $1.3\times10^{-1}\sim6\times10^{-4}$Pa，可有效地消除对流和热传导。管内有蒸散型 Ba-Ti 吸气剂，以吸收管子工作时释放的气体，维持管内低压，大大延长了真空管真空度的保持年限。管子的内外直径、厚度和长度不一（表 1），还可根据需要生产其它尺寸。

2　玻璃-金属结构真空太阳能集热管

这种结构的真空集热管内是吸热、传热的金属管和翼。翼有平板形和圆筒形两种，其具体结构很多。它们具有工作温度高、承压能力大和耐热冲击好等共同优点。根据集热、取热的不同结构，有 U 形管式、同轴套管式、热管式、内聚光式、直通式、储热式等型式。

2.1　U 形管式真空集热管

2.1.1　U 形管-平板翼结构

图 4 是美国 Corning 公司的真空集热管[3,4]。涂有黑铬的铜吸热板与 U 形铜管焊接在一起。这种管热效率高、与集管连接简单，并可水平安装。日本电气硝子公司与日立公司也生产类似结构的真空集热管。

2.1.2　U 形管-圆柱形翼结构

图 5 所示为通用电气（GE）公司的 TC-100“Solartron”真空集热管[3,4]。两根同轴玻璃管间抽成真空，内管壁紧贴带有 U 形铜管的圆柱形铜翼，内管的外表面有选择性涂层。内管把热传给金属翼，再通过 U 形铜管里的流体传输热量。这种结构的优点是无需玻璃对金属的封接，如果管子损坏，只需换玻璃管即可。日本夏普公司也生产类似的集热管。

维普资讯 http://www.cqvip.com

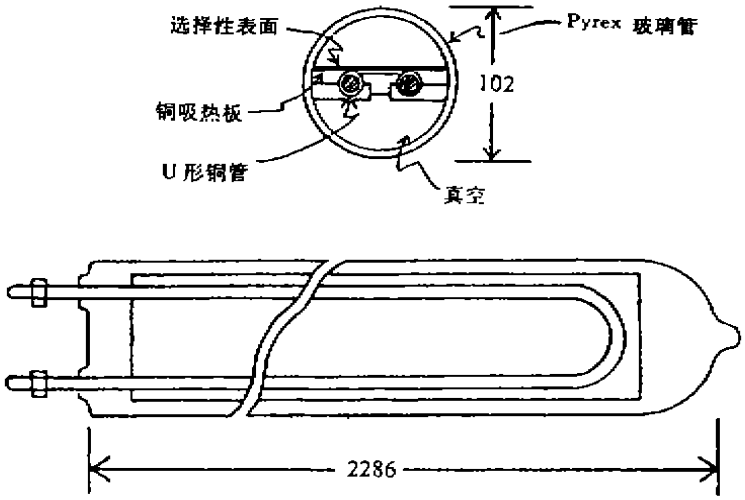


图 4　Corning 真空集热管

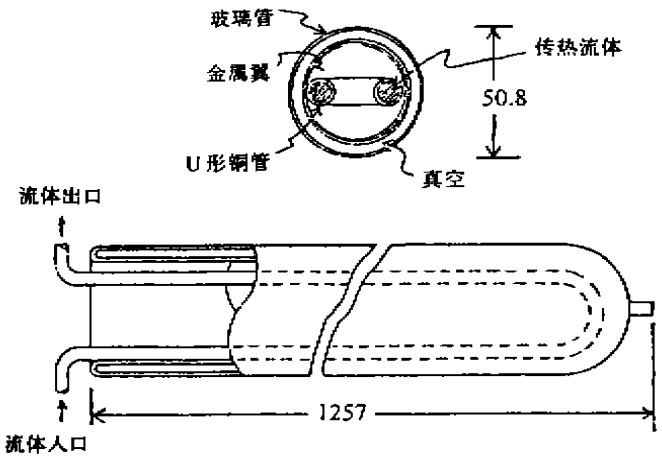


图 5　GE 公司 TC-100"Solartron"真空集热管

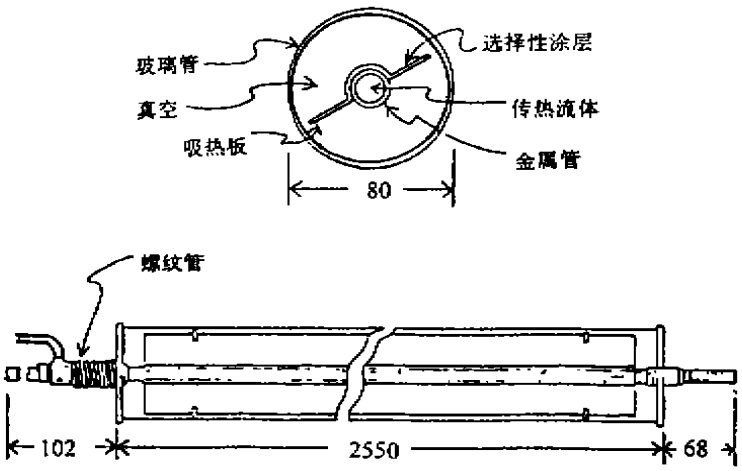


图 6　三洋公司真空集热管

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.2 直通式真空集热管

图 6 所示的三洋真空集热管[3,4,9]，包括一根与选择性铜吸热板相连的直通管，在一端有波纹管，可适应管的热膨胀。

直通式真空集热管的主要优点是运行温度高和易于设计组装。与聚光反射镜结合，能达 300～400℃ 的运行温度，可用于太阳能热发电。以色列 LUZ 公司生产的直通式真空管是世界著名的，已用于沙漠中建太阳能热发电站。

2.3 直流式真空集热管

这类真空管的热效率高，可水平安装。

2.3.1 同轴式结构

图 7 所示的 Roberts 真空集热管为带有铝反射器、同轴铜管与钢吸热板结合的结构[10]。工作时，冷水从内管进入，经吸热板加热后通过外管流出。德国 Prinz 公司和北京桑达公司生产类似的真空管（无内反射器）。

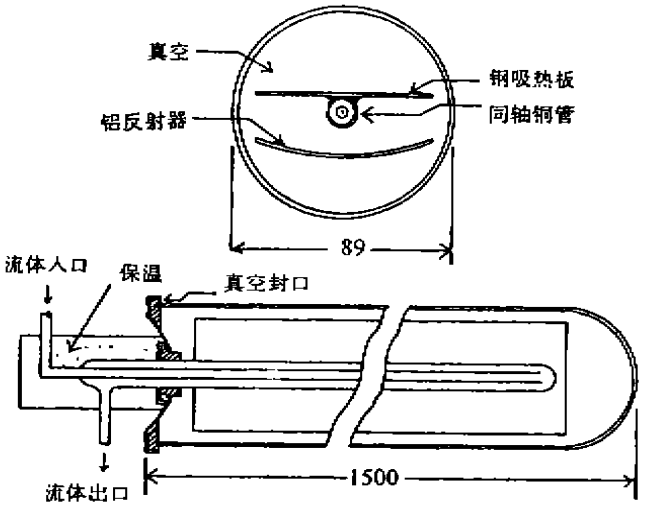


图 7 Roberts 真空集热管

2.3.2 贴壁式结构

图 8 所示为德国 Philips 真空集热管。紧贴吸热表面的流体通道被分为两半：一半为进口通道，另一半为出口通道，中间有发泡聚氨酯。这种管热容小，传热好，启动快。

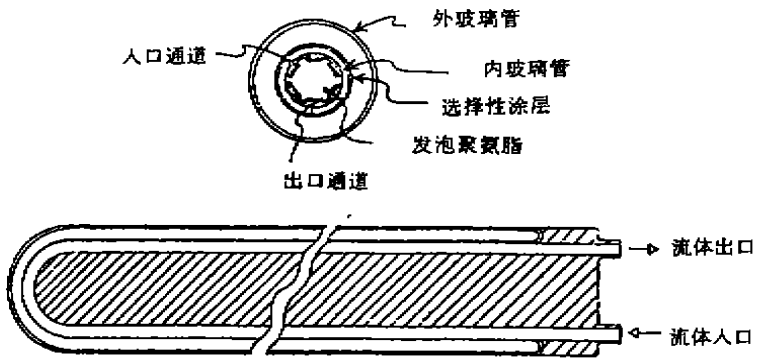


图 8 德国 Philips 真空集热管

2.3.3 喷口结构

图 9 所示的 Solara 真空集热管[4]用于产

维普资讯 http://www.cqvip.com

生蒸汽。吸热管为涂有黑铬选择性涂层的铜管，进水管上有喷雾口，将水喷到吸热管上，产生蒸汽，蒸汽由出口管排出。

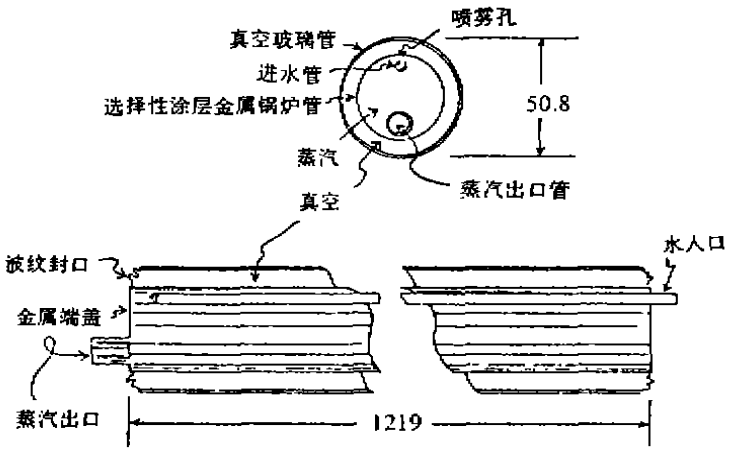


图 9　Solara 真空集热管

2.4　热管式真空集热管

2.4.1　热管-平板翼结构

图 10 为北美 Philips 带热管的真空集热管，吸热板为平板。图 11 为 Philco 真空集热管，也是热管与吸热平板相结合。

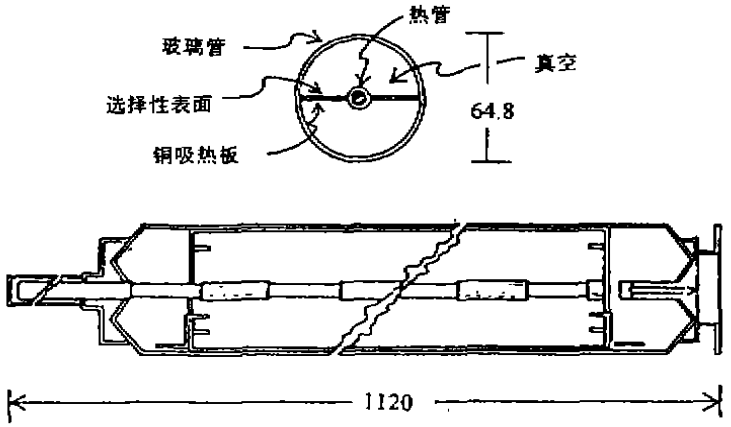


图 10　北美 Philips 热管式真空集热管

2.4.2　热管-圆筒翼结构

图 12 所示为 Grumman"VTH"集热管，是热管与圆筒形金属翼结合的结构。

热管式真空管除了玻璃-金属结构真空管共同的优点外，其防冻性能更好、热启动更快、保温性能更好。

2.5　储热式真空集热管

储热式真空集热管是将真空管集热器与贮水箱合而为一体的真空管热水器，俗称真空闷晒式热水器。它主要由吸热管、玻璃管、金属端盖、支撑架和消气剂等部件组成（图 13）。吸热管内贮存水，外表面有选择性吸收涂层。白天，吸热管将太阳辐射能转换成热能，直接加热管内的水。使用时，冷水通过内插管徐徐注入，将热水顶出。夜晚，由于有真空隔热，吸热管内的热水温度下降很慢。

储热式真空管组成的系统，其特点是不需要贮水箱，结构紧凑，使用较为方便。

维普资讯 http://www.cqvip.com

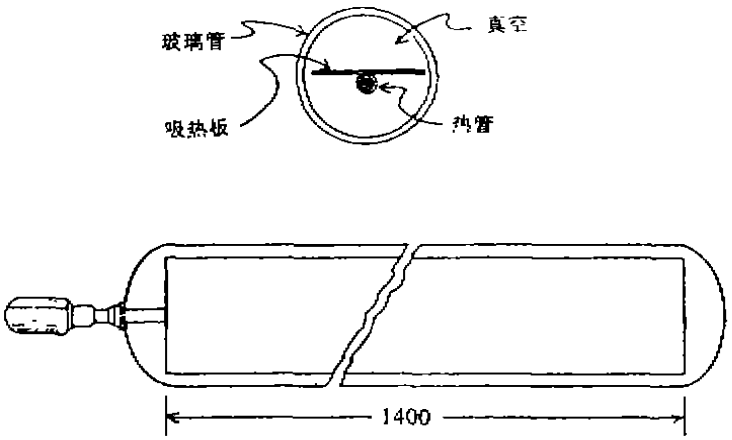


图 11　Philco Italiana 热管式真空集热管

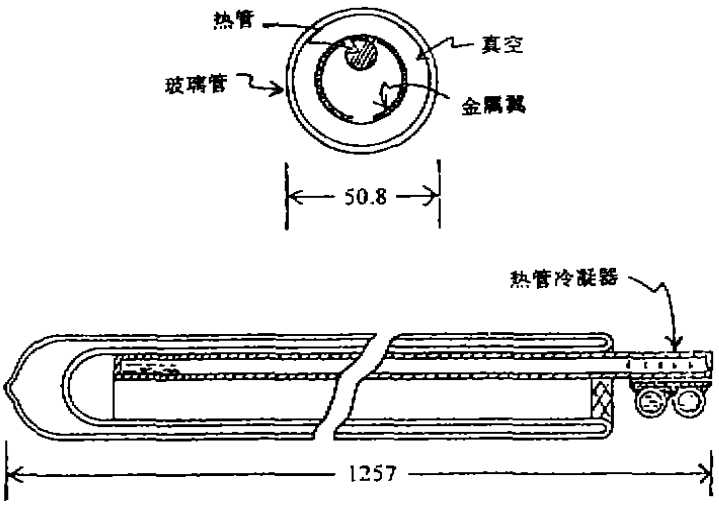


图 12　Grumman "VTH"真空集热管

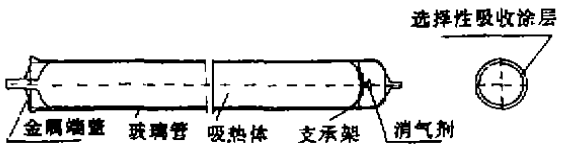


图 13　储热式真空管结构

日本 NEG 公司生产的储热式真空管，将 4 根真空管和一根集管组成热水器基本单元，也可根据需要将几个单元连接在一起。北京太阳能研究所研制的储热式真空管，玻璃管采用高强度的硼硅玻璃，外径 100mm，太阳光透射率大于 0.9；吸热体材料为不锈钢，选择性涂层为磁控溅射铝-氮-氧，其太阳光吸收率大于 0.93，发射率小于 0.08。由 4 根储热式真空管和一根联集管组成热水器的基本单元，容水量为 50L。

2.6　内聚光式真空集热管

2.6.1　内柱面反射器结构

图 14 为 Sunpower 真空集热管[4]，在内管壁下半周涂有铝反射层。

2.6.2　复合镜式结构

Corning 公司及芝加哥大学还研制了内聚光反射器与热管组合的真空集热管[4,11,12]，如图 15 所示。聚光反射器可以把太阳辐射聚集在热管上，适合高温使用。

2.6.3　U 形管内聚光反射器结构

维普资讯 http://www.cqvip.com

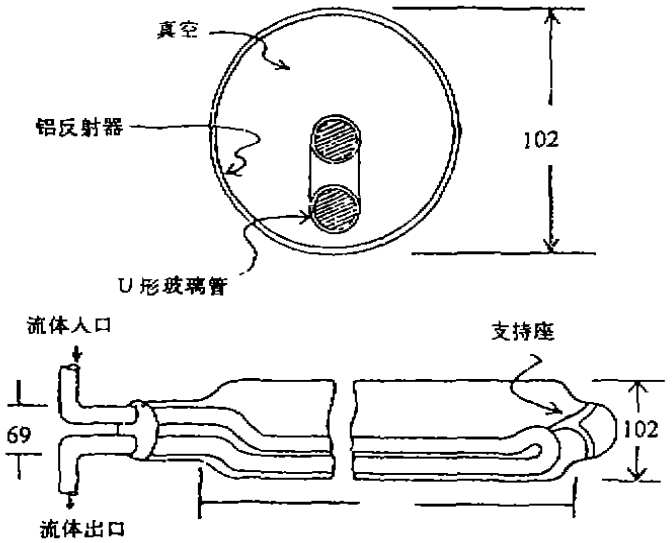


图 14 Sunpower 真空集热管

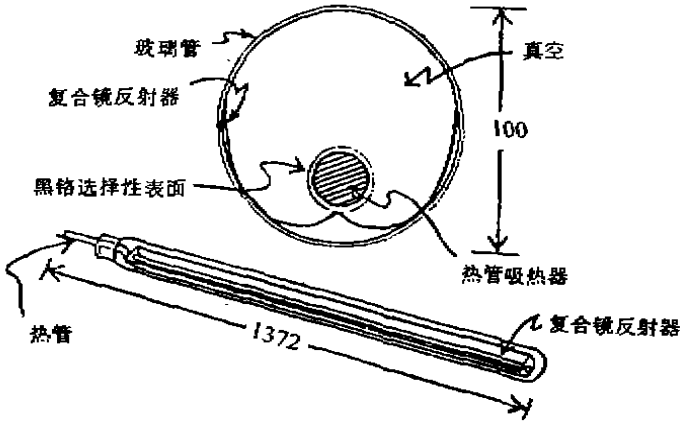


图 15 带有内聚光反射器和热管的 Corning 真空集热管

图 16 所示为 Euratom 真空集热管，U 形管带有内聚光反射器，结构较为复杂。内聚光式真空管的运行温度更高，也不需要太阳跟踪系统。

我国沈阳灯泡厂和广州能源研究所研制了仿三洋和 Philips 玻璃-金属结构的真空集热管。北京太阳能研究所 1986 年开始研制的 BTZ-1 型热管式真空太阳能集热管[13-16]类似 Philips VTR-361 型，外形尺寸为直径 65mm、长度 1.5m，采用铜吸热板和电镀黑钴选择性吸收涂层，玻璃与金属之间的封接采用火封技术，热管为铜-水热管。这种热管在 -50℃ 自然环境下不会冻裂，在我国东北、西藏、新疆等严寒地区能安全过冬。这种热管式真空管的热性能已接近 Philips 产品的水平。进入 90 年代以来，根据所取得的经验和国外真空管的发展趋势，改进了尺寸（直径 100mm、长度 2m），采用铜铝复合吸热板，玻璃与金属的封接工艺由火封改为热压封。该工艺已居世界领先水平，用磁控溅射铝-氮-氧制备选择性涂层，太阳光吸收率为 0.929，红外发射率为 0.08，1996 年又建成了年产 50 万支真空管规模的生产线。北京桑普技术公司与德国戴姆勒·奔驰宇航（Daimler-Benz Aerospace）公司就热管真空管项目成立了合资企业——北京桑达太阳能技术有限公司，使我国的热管式真空管实现了规模

化生产，实现了与国际接轨。有关热管式真空集热管在太阳能热利用上的研究应用，国内外有许多研究[11,13~18]。

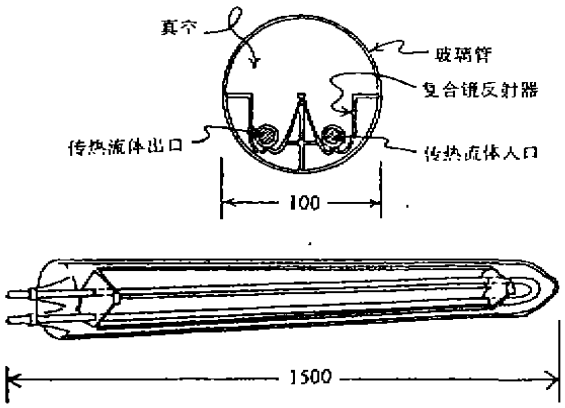


图 16 Euratom 真空集热管

玻璃-金属真空集热管性能较为优良，但结构较全玻璃真空集热管复杂，制造困难，尤其是金属与玻璃的热膨胀系数不同，在封接技术工艺上较为困难，因而成本较高。全玻璃真空集热管相对便宜，也有很好的集热效果和防冻能力，在水质差的地方也容易更换清洗，因而在我国广大地区，尤其是冬季较长的寒冷地区，用于全年提供生活和生产用热水，具有很广阔的发展前景。

参 考 文 献

1 殷志强；吴家庆，等．全玻璃真空管集热器的研制．太阳能学报，1981，2(4)：345～352

2 吴家庆，殷志强，等．真空管太阳能热水器及东西向与南北向放置的比较．太阳能学报，1988，9(4)：396～405

3 Graham B J. A survey of evacuated solar collectors. AS/ISES，1980，3. I：420～423

4 Williams J R. Design and Installation of Solar Heating and Hot Water Systems. Ann Arbor Science Publishers，1983

5 葛洪川，杨军峰，等．带有内插棒的全玻璃真空管太阳热水器的实验研究．太阳能学报，1996，17(3)：272～277

6 殷志强．八十年代我国的选择性吸收表面与真空管太阳集热器．太阳能学报，1992，13(2)：192～199

7 Chow S P，Harding G L，Collins R E. Degradation of all-glass evacuated solar collector tubes. Solar Energy Materials，1985，12：1～41

8 Window B，Harding G L. Progress in the materials science of all-glass evacuated collectors. Solar Energy，1984，32：609～623

9 Katsuhiro Hinotani，Kenichi Kinatani，Masato Osumi. An evacuated glass tube solar collector and its application to solar cooling，heating and hot water supply system for the hospital in Kinki University. Solar Energy，1979，22：535～545

10 Roberts G T. Heat loss characteristics of an evacuated plate-in-tube collector. Solar Energy，1979，22：137～140

11 Ugur Ortabasi，Fehlner F P. Cusp mirror-heat pipe evacuated tubular solar thermal collector. Solar Energy，1980，24：477～489

12 Snail K A，O'Gallagher J J，Winston R. A stationary evacuated collector with integrated concentrator. Solar Energy，1984，33：441～449

13 何梓年，郑维杰，林度明．热管式真空集热管的热性能测定方法．太阳能学报，1990，11(1)：108～112

14 郑维杰，何梓年．热管式真空集热管有效透过率的研究．太阳能学报，1990，11(2)：150～155

15 何梓年，蒋富林，等．热管式真空管集热器的热性能研究．太阳能学报，1994，15(1)：73～81

16 江希年，何梓年．热管真空管 十年话春秋．太阳能，1997(3)：12～14

17 Akyurt M. Development of heat pipes for solar water heaters. Solar Energy，1984，32：625～631

18 Ghoneim A A，Fisch N，Ammar A S A，*et al*. Investigation of evacuated tube collectors. Int J Solar Energy，1994，16：15～25

19 何梓年．金属吸热体真空管集热器的种类、特点及现状．太阳能，1997(3)：14～16

(原稿 1999 年 2 月 5 日收到)

维普资讯 http://www.cqvip.com

⑥ 30-34

新能源，1999(21)(7)：30～34

太阳能干燥器发展综述

张建国

（北京市太阳能研究所，北京 100083）

TK515

摘 要 综述比较了国内外太阳能干燥器的类型，分析了目前国内太阳能干燥器研究现状，提出了应用高效真空太阳能集热管发展太阳能干燥器的思路。

关键词 太阳能干燥器 真空管集热器 太阳能热利用

国外

0 引 言

随着太阳能热利用事业的深入发展，太阳能干燥器越来越广泛地应用于工农业生产。截止到目前，国外已建成集热面积超过500m²的大型太阳能干燥器7座，其中美国4座、印度2座、阿根廷1座；我国各地发展的太阳能干燥和除湿装置150多个，总采光面积超过1.2万m²，被干燥的物料品种很多，有工艺美术陶瓷、果脯、蔬菜、肉制品、鱼类、中药材、谷物、木材等。

太阳能干燥器的型式多种多样。若按物料接受太阳能的方式，可分为直接受热式和间接受热式两大类，或称为辐射式和对流式，我国习惯上称它们为温室型和集热器型太阳能干燥器。它们结合在一起，即带集热器的温室型干燥器，称之为混合式干燥器。按空气流动的动力不同，太阳能干燥器可分为主动式和被动式两大类。一般，温室型干燥器多为被动式，而带有集热器的干燥器，尤其是较大型的，多为主动式。另外，还有聚光型干燥器。国内整体式太阳能干燥器约占总干燥面积的1/3，它是将太阳能空气集热器与物料干燥室二者合并在一起成为一个整体，干燥室本身是集热器，它兼顾了温室型和集热器型的优点。

1 太阳能干燥器的种类及其特点

1.1 温室型干燥器

这种干燥器实际上是具有排湿能力的太

Structures and Properties of Evacuated Solar Tubular Collectors

Pu Shaoxuan Zeng Yanxing Gao Wenfeng Chen Xuexian

(*Solar Energy Institute of Yunnan Normal University, Kunming* 650092)

Abstract

Evacuated solar tubular collectors are classified as all-glass and glass-to-metal according to vacuum seal. There are different inner structures on the basis of heat extraction way, using temperature and performance requirement. Structures and properties of some representative evacuated solar collectors in the world are reviewed in this paper.

Key words: Solar collector; Evacuated tubular collector; Glass tubular collector; Glass-to-metal tubular collector

Received Feb 5, 1999