

新一代太阳能集热器 与空调器

XINYIDAI TAIYANGNENG JIREQI
YU KONGTIAOQI

王恒月 黄永定 著

河北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

新一代太阳能集热器与空调器 / 王恒月, 黄永定著

— 石家庄: 河北科学技术出版社, 2013. 10

ISBN 978 - 7 - 5375 - 6485 - 4

I. ①新… II. ①王… ②黄… III. ①太阳能聚热器
②空气调节器 IV. ①TK513.3②TM925.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 237683 号

新一代太阳能集热器与空调器

王恒月 黄永定 著

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编 050061)

印 刷 石家庄燕赵创新印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 2

字 数 32 千字

版 次 2013 年 10 月第 1 版

2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价 8.00 元

序

作者从事工程热物理专业的科研工作已有半个多世纪，基础理论扎实，科研成果丰硕。本书对太阳能集热器（真空管和平板）和空调器提出了一些创新的想法，值得读者研究和探讨。

玻璃热管真空管集热器是普通真空管集热器的一种改进，但存在着防爆问题。作者根据两相流体变为单相流体的原理，解决了玻璃热管的防爆问题，并经过实践已成为产品，国家为此制订了制造标准。

太阳能平板集热器通常都是平面吸热，为了提高其热性能，必须减少辐射与对流热损。对于前者，一般采用选择性涂层（高太阳吸收率、低热发射率）；而对于后者，最有效的是附加透明蜂窝。现在本书作者提出把透明蜂窝结构改为金属蜂窝结构，把平面吸热改为立体吸热，从而可同时降低辐射与对流热损，这需要进行进一步实验论证。

对于目前市场上清一色的压缩机空调，从绿色产品要求出发，作者提出新的看法，即对绿色空调的核心技术是如何巧妙地采用水蒸发冷却，这点是值得探讨的。

作者经过二十多年的努力，对半导体制冷技术进行了不断研究和改进，现在已使100瓦电功率其制冷量最高能达到420瓦，这是一个重大突破。

水蒸发冷却与半导体制冷紧密结合，即利用冷却塔的冷水带走半导体的发热量，以及利用半导体的制冷把冷气除湿，是绿色空调成功的关键。

值得一提的是，作者把我国空调区域按“干空气能”的多少分为三个区域：西部区域——“干空气能”最多，可以完全利用，不必使用压缩机空调；北方区域——“干空气能”很多，可以充分利用；南方区域——“干空气能”有限，尽量利用。

希望这本书对有关研究与生产单位在开发新产品方面能起到积极的推进作用。

龚堡*

2013年6月

* 中国太阳能协会第一届、第二届副理事长兼秘书长，第三届理事长，北京市科学院院长，北京市太阳能研究所所长。

目 录

第一部分 玻璃热管的防爆原理	(1)
玻璃热管集热器的防爆原理	(1)
第二部分 太阳能窄缝式平板集热器	(3)
“蓝钛”与“窄缝理论”的比较	(3)
窄缝式平板集热器与普通平板集热器的比较	(6)
太阳能两用集热器的结构	(7)
热管式的太阳能平板集热器	(9)
第三部分 绿色空调器	(12)
绿色空调的核心技术	(12)
水蒸发冷却与半导体制冷相结合的空调器	(14)
充分利用“干空气能”的绿色空调	(16)
附录 1 蒸发冷却空调的问题与突破	(19)
附录 2 专家观点	(22)
附录 3 有关“干空气能”的报道	(25)
作者简介	(26)

第一部分 玻璃热管的防爆原理

玻璃热管集热器的防爆原理

热管在运行状态为汽液两相状态，我们从物质的热力学数据中可以查到工质的饱和压力与和饱和温度相互关系。众所周知，在两相状态时，工质的压力随着温度的提高而急剧的升高。当压力升高到超过容器的承受压力时，就会爆炸。因此，热管就有防爆问题存在。一种明显的特例——就是玻璃热管，太阳能上用的玻璃管的耐压为 6 大气压，而闷晒温度可达到 300℃，一般玻璃热管工质采用水溶液，水的 $P = f(T)$ 曲线画在防爆原理图上，其数据为 $T = 100^\circ\text{C}$ ， $P = 1$ 大气压； $T = 150^\circ\text{C}$ ， $P = 4.8$ 大气压； $T = 200^\circ\text{C}$ ， $P = 15.9$ 大气压； $T = 250^\circ\text{C}$ ， $P = 40$ 大气压； $T = 300^\circ\text{C}$ ， $P = 87.6$ 大气压。所以到闷晒温度 300℃，其压力为 87.6 大气压，玻璃管早已被炸。

我们设计的防爆原理是利用理想气体定律：理想气体的压力与绝对温度成正比， $P \sim T$ ，而我们知道水的 $P = f(T)$ 关系是 $P \sim T^{11}$ ，在防爆原理图上我们找到了极限点 A，其参数为： $P = 6$ 大气压， $T = 300^\circ\text{C}$ ，由 A 点作 45° 的斜线，与水的 $P = f(T)$ 曲线的交点 K。此 K 点为临界点。当热管工作温度升到 K 点时，此时，热管工质就应该全部变成气体。如果热管工作温度再升高，则按照理想气体定律，沿着 KA 方向升高，即使到了工作温度 300℃，其压力也只有 6 大气压，保证热管不会被爆，这就是热管的防爆理论，见图 1。

当热管的工质变为气体后，防爆是成功了，但热管是否还能运行下去呢？事实上是在运行。这是什么原因呢？

运行原因可以这样解析：因为工质全部变为汽相，按照热管原理是无法运行了，因为蒸发段没有液体，只有汽相。当太阳光通过玻璃管把热量传给

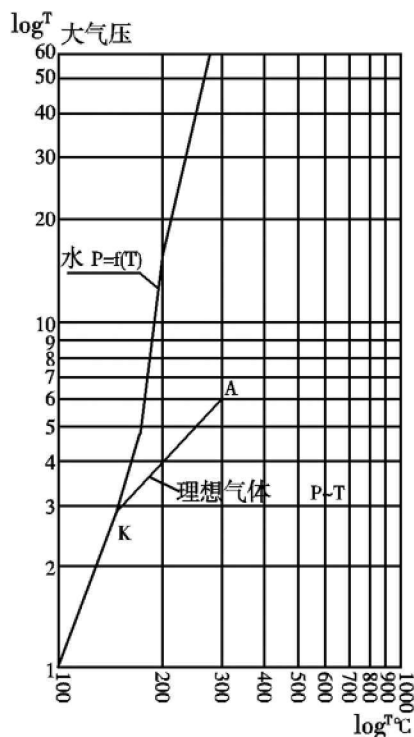


图 1 防爆原理图

汽相时，汽相按照自然对流传热方式，把热量带走，蒸汽上升到冷凝段时，放出热量，被水箱中的水带走，汽相变为液体，靠重力向下流，流不到蒸发段的中部，又被蒸发汽化。总之，这种玻璃热管，既能防爆，也能正常运行。

这种防爆的玻璃热管的充装量为玻璃管的体积的0.1% ~0.5%，与普通的热管的充装量5% ~10%相差数十倍。

这种玻璃热管的防爆原理，我们已有发明专利，国家也为此制订了国家生产标准。

第二部分 太阳能窄缝式平板集热器

主要论点

- ★太阳能平板集热器的吸热板，不在于“蓝钛”、“黑铬”或“阳极氧化”，而是在于把平面吸热改为立体吸热。
- ★太阳能平板集热器的核心技术是“窄缝”结构。
- ★金属窄缝式结构是金属蜂窝结构最简单易行的一种形式。
- ★窄缝式太阳能平板集热器，是全面提高太阳能平板集热器热性能的保证。
- ★塑料蜂窝结构使太阳能热水器变成开水器【“太阳能”1985，№1】；金属蜂窝结构，使太阳能热水器变成中温集热器。
- ★窄缝式太阳能平板集热器比其他太阳能平板集热器更适合于建筑一体化。特别适合装置在光热幕墙和阳台上。

“蓝钛”与“窄缝理论”的比较

影响太阳能平板集热器的热性能是集热器的“芯”——吸热板，现在最好的吸热板是采用德国的“蓝钛”，其指标：吸收率 $\alpha = 0.95$ ，发射率 $\Sigma = 0.05$ 。但是，这种平板集热器有致命的弱点：

(1) 太阳斜照时，平面的吸热会大大减少。

如图 2：平面的吸热量 $Q_{\text{吸}} = \alpha \cdot \sin\theta I$

式中 α ——平面的吸收率；

θ ——太阳光与吸热面的夹角；

I ——太阳强度。

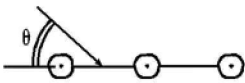


图 2 平板吸热

设 $\alpha = 0.96$ ，当 $\theta = 90$ 度，则 $Q_{\text{吸}} = 0.96I$ ；当 $\theta = 30$ 度，则 $Q_{\text{吸}} = 0.48I$ 。

(2) 吸热面的自然对流热损失无法避免，故集热温度一般都是低于 100°C 。

为了克服平面吸热的缺点，我们把平面吸热转为立体吸热！立体吸热采用金属蜂窝

结构，金属蜂窝结构采用窄缝式，如图3。

窄缝式平板集热器的优点——太阳光热只进不出。分别说明如下：

一、增加吸热量

除了采用高透过率的钢化玻璃外，采用金属“窄缝”结构是很好的办法。普通平板是黑面吸热，而“窄缝”则是黑体吸热。

在绝大多数情况下，太阳光都是斜照的，当阳光斜照到平面上时，一部分被吸收，另一部分被反射。对于“窄缝”来说，当阳光斜照窄缝时，一部分是被吸收，另一部分通过金属面的多次反射与吸收，这就是黑体吸热。所以，在同样的条件下，“窄缝”比普通平板的吸热量要多。

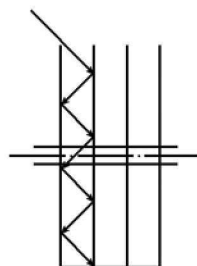


图3 窄缝结构板吸热

二、全面降低辐射、对流及导热热损失

1. 抑制了自然对流损失

实验证明，对于“窄缝”来说，当 $\frac{\text{窄缝高度}}{\text{窄缝当量直径}} \geq 5.0$ 空气是无法自然对流了。实

际上，浙江大学热工程教研组在20世纪80年代发表的文章已经证明：在平板上加装一定尺寸的塑料蜂窝，由本来产生50℃的热水器，变成了100℃的开水器，在100℃时的热效率为25%~30%（“太阳能”1985年№1，“蜂窝结构太阳能开水器”）。所以，塑料蜂窝结构，使太阳能平板集热器，由热水器变成开水器！这是“蓝钛”“黑铬”所不能比的。

2. 抑制了辐射热损失

金属“窄缝”是一个黑体，不但吸热量多，而且辐射热损失小。辐射热损失的角系数 $\varphi = \text{开口面积} / \text{吸热面积}$ 。所以，对于平板来说 $\varphi = 1.0$ 。对于“窄缝”来说 $\varphi = 1/30$ ，这样，金属“窄缝”能大大降低辐射热损失。所以，金属蜂窝结构，不但抵制了自然对流热损失，而且也抑制了辐射热损失，使太阳能平板集热器由热水器变成中温集热器，这也是“蓝钛”“黑铬”所不能比的。

3. 降低了保温材料的成本

应用“窄缝”理论，还可以解决平板集热器底部保温材料的问题。因为空气的导热系数为0.02瓦/米·时·℃，是良好的绝热体，其条件是空气不能对流，而“窄缝”是抑制自然对流的。因此，利用“窄缝”理论，可以采用纸蜂窝作为底部的保温材料，不但能绝热，而且降低了造价。应该指出，现在国内用于冰箱、冰柜的真空绝热板其导热系数是很小的，但用于平板集热器的底部保温，不但价格昂贵，而且也没有好处，因为导热的传热量，不但取决于导热系数，而且也决定于厚度。

假定窄缝式采用阳极氧化。一般阳极氧化可达到的指标：吸收率 $\alpha = 0.9$ ，发射率 $\Sigma = 0.15$ ，采用窄缝式后的指标：吸收率 $\alpha = 0.99$ ，发射率 $\Sigma = 0.003$ ，与蓝钛指标：吸收率 $\alpha = 0.95$ ，发射率 $\Sigma = 0.05$ 相比，大大地提高了热性能。

应该指出：从图 4 看出，降低辐射热损失是提高集热器工作温度最有效的办法。蓝钛达到 $\Sigma = 0.05$ ，真空管达到 $\Sigma = 0.05$ ，而我们达到 $\Sigma = 0.003$ ，我们从浙江大学热工教研组的报告中看到，透明的塑料蜂窝，抑制了自然对流热损失，把普通的水热水器变成了开水器。而金属蜂窝，既抑制了自然对流的热损失，也同时抑制了辐射热损失，并且又增加吸热量，使普通的水热水器变成中温集热器。

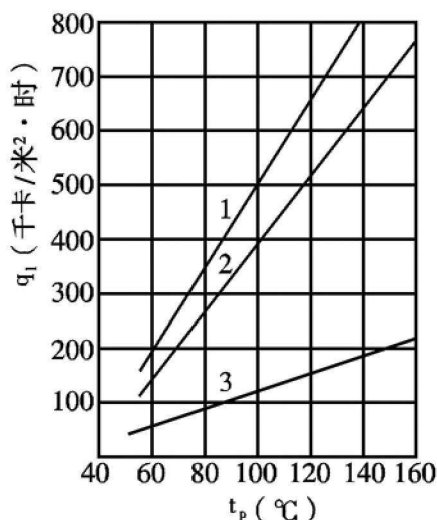


图 4 有一层透明玻璃及吸收面涂黑的太阳集热器的热损 *

环境温度为 20℃，风速 2.5 米/秒

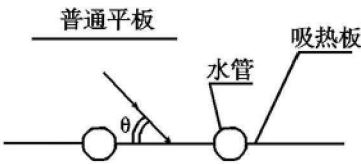
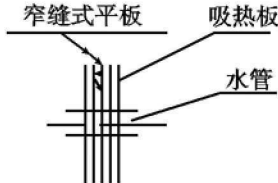
- 1—辐射和对流总热损；2—吸热面至玻璃的辐射热损；
3—吸热面至玻璃的自然对流热损； t_p —吸热面温度 (°C)

* 选自葛新石、龚堡、俞善庆编著的《太阳能利用中的光谱选择性途径》一书，本书 1980 年科学出版社出版

窄缝式平板集热器与普通平板集热器的比较

窄缝式平板集热器与普通平板集热器的比较如表 1 所示。

表 1 窄缝式平板集热器与普通平板集热器的比较

	普通平板	窄缝式平板
结构		
吸热量	平面吸热 $Q_{\text{吸}} = I\alpha F \sin\theta$	立体吸热 $Q_{\text{吸}} \approx IF$
热损失	$Q_{\text{辐射}} = \varepsilon\sigma (T_{\text{集}}^{\psi} - T_{\text{环}}^{\psi}) \psi$ 此处 $\psi = 1.0$ $Q_{\text{自然对流}}$: 自然对流热损失无法避免	$Q_{\text{辐射}} = \varepsilon\sigma (T_{\text{集}}^{\psi} - T_{\text{环}}^{\psi}) \psi$ 此处 $\psi = 1/30$ $Q_{\text{自然对流}}$: $\rightarrow 0$ 窄缝高度/窄缝当量直径 ≥ 5 , 抑制了自然对流

上述: I—太阳强度

α —集热板吸热率

ε —集热板发射率

θ —太阳光与吸热面的夹角

σ —常数

ψ —辐射角系数

$T_{\text{集}}$ —集热板温度

$T_{\text{环}}$ —环境温度

F—吸热面积

太阳能两用集热器的结构

人们通过“南墙计划”或“屋顶计划”，来实现太阳能取暖。现在的太阳能取暖，都是通过太阳能加热水，再通过热水加热空气的办法来完成的，这是笨方法。聪明的办法是太阳能直接加热空气的办法，即采用太阳能空气集热器的办法，可以大大提供取暖效率。但是，单纯的太阳能空气集热器也存在着一些问题：在不需要采暖的夏天，空气集热器失去意义；即使在冬天，也要采取蓄热的办法，来解决无太阳（晚上）时的取暖。但是，要用化学物质的相变蓄热，在理论上是可行的，在实际上很难长期运行。

所以，南墙计划的核心技术是太阳能两用集热器——既能加热水，又能加热空气，也能同时加热水和空气。这样，就解决了采用单纯空气热气存在的上述问题。在夏天，两用集热器当做热水器使用，提供热水；在冬天，既加热水，也加热空气。当不需要取暖时，可以把热量储存在水箱里，当无太阳时（晚上），让两用集热器变成散热器，把水箱中的热量取出来加热空气，满足取暖的需求。

太阳能两用集热器，采用以下两种形式：

真空管两用热水器：采用玻璃热管来实现的（专利申请号：201010233590.4，201020267384.0）。把玻璃热管分为三段：下段为蒸发段，吸收阳光的热量使热管工质汽化。中段既是冷凝段，也是蒸发段。在有太阳时，中段作为冷凝段，把汽化冷凝下来的热量传给水箱里的水；在无太阳时（晚上），中段作为蒸发段，用水箱中的热量加热丝网中的热管工质，使其汽化流向上段，把热量传给空气。上端是冷凝段，把来自蒸汽段汽化了热管工质的热量传给空气。中段既是冷凝段，又是蒸发段，其关键技术在于玻璃管内壁紧贴丝网材料，既能实现冷凝功能，又能实现蒸发功能。

平板两用集热器：采用翘片的结构来达到（专利申请号：200820077733.5，201020159552.4）。要提高平板集热器的热效率，关键是限制、减小自然对流热损失与辐射损失。采用这种金属窄缝式的结构就能起到这种作用。可以设想，当两片形成的窄缝小到3毫米或2毫米或1毫米时，而两片的高度为数十毫米时，在这样的窄缝中，空气是无法自然对流的，只能靠空气的分子传导来散热，而空气的导热系数为0.02千卡/米·时·℃，比保温材料聚氨酯的导热系数还要低，这样，就抑制了自然对流热损失。另外，金属片形成窄缝，相互辐射，相互吸热，而只有很小一部分辐射从窄缝的口中损失。因此，窄缝的辐射热损失只是普通平板集热器的1/30。同时窄缝起到了绝对黑体的作用，吸收率达到1.0。而对于空气集热器，因为气体的传热性能差，增加传热面积

是强化传热的必然措施。所以提高空气集热器的热效率，只有采取翅片结构。窄缝与翅片相结合，这就是平板两用集热器的最合适形式。

平板两用集热器用于南墙计划或屋顶计划如图 5、图 6 所示。

在夏天，风机停运，两用集热器作为热水器使用，提供热水。

在冬天，白天有太阳时，启动风机，提供屋内暖气，同时也加热水箱中的水。如果屋内不需要暖气，则停运风机，太阳的热量自然就储存在水箱中。晚上无太阳时，启动风机，此时集热器作散热器用，把热水箱中的热量，通过空气带向室内。

为了保证上述现实，集热器的最高水位 $B' - B'$ 必须低于热水箱的最高水位 $B - B$ ，集热器的最低水位 $A' - A'$ 必须高于热水箱的最低水位 $A - A$ 。

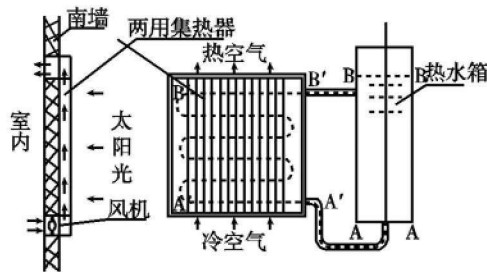


图5 平板两用集热器用于南墙计划设计示意图

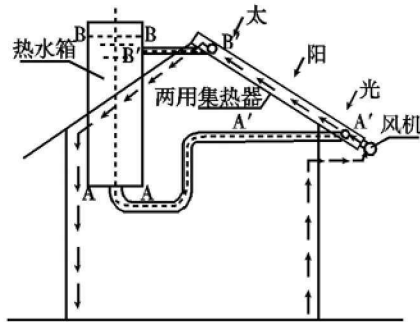


图6 平板两用集热器用于屋顶计划示意图

热管式的太阳能平板集热器

太阳能平板集热器采用热管式是很合理的。因为在下部的热管蒸发段，受太阳照射受热蒸发，蒸汽向上流动遇到上部冷凝段（在水箱内）蒸汽冷凝，把热量传给水箱中的水，液体受重力作用向下流动，回到下部蒸发段，这样液体再蒸发，蒸汽再冷凝，反复循环，把太阳的热量吸收后，再传到贮热水箱中，这样重力热管就能完成任务，而不需要采用毛细力的热管。

用于太阳能的热管，其特点是热流密度 Q 很低，在 $10^2 \sim 10^3$ 瓦/米² 的范围，因此，其特点为：

（1）由于热流密度很低，所以热管工质的充装也可以少一点，工质的充装是其体积的5% ~ 10%。

（2）对于重力热管，特别是在低热流范围内工质是否发生沸腾，是非常感兴趣的问题。是否沸腾，与沸腾开始的径向热流密度有关。开始的径向热流密度与工质物性组合 $\frac{\sigma\lambda}{v\gamma''}$ 有关。式中： λ ——导热系数， σ ——表面张力， v ——汽化潜热， γ'' ——蒸汽比重。因此，在选择热管工质时，要选择 $\frac{\sigma\lambda}{v\gamma''}$ 值低的工质。因为 $\frac{\sigma\lambda}{v\gamma''}$ 的值越小，沸腾开始的径向热流密度就越低，就越容易沸腾。

图7中示出各种制冷剂的 $\frac{\sigma\lambda}{v\gamma''}$ 的值，从图7看出：

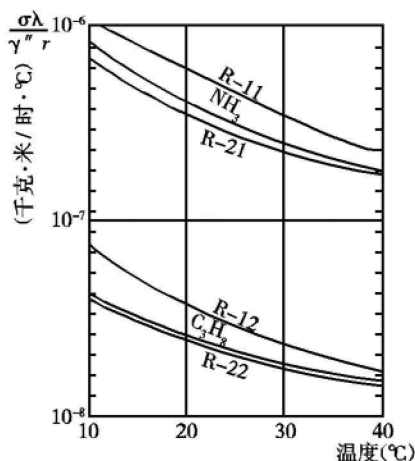


图7 各制冷剂 $\frac{\sigma\lambda}{v\gamma''}$ 的值

最容易沸腾的是 R-22（氟利昂 22）， C_3H_8 ，R-12（氟利昂 -12）。

在工作温度 20 ~ 80℃ 范围内，对各种工质进行了计算，计算结果得到各种工质是容易沸腾的顺序为：氟利昂 - 12、氟利昂 - 11、氨、戊烷、丙酮、甲醇、乙醇、水。

(3) 在结构上设计，来提高径向热流密度，使热管在低太阳强度下启动。因为平板集热管都是由带翅片管子组成，翅片越宽（当然翅片的厚度也相应增厚）热管越容易启动。

(4) 最低运行热流。

只要重力热管处于正常的运行情况，蒸发段都处于液态沸腾状态，我们把液态沸腾分为三个区域：第一区域，AB，即自然对流液态沸腾区，此时的热流为起动热流；第二区域，BB'，即过渡区；第三区域为第二沸腾区，B'C，即急剧的液态沸腾区，此时的热流为急剧沸腾起始热流，即为我们设计提供最低运行热流。

图 8 示出丙酮的沸腾曲线“S”形曲线。AB 为第一沸腾区，BB'为过渡区，B'C 为第二沸腾区，B'点的热流即是我们设计提供的最低运行热流。

图 9 示出氟利昂 - 12 的沸腾：“S”形不明显，近似直线，即起动热流与急剧沸腾起始热流为同一点。

沸腾曲线成“S”形的工质：甲醇、乙醇、水，其最低运行热流为 1200 ~ 1800 瓦/米²。

沸腾曲线成直线的工质：氟利昂、丙烷、氨，其最低运行热流为 100 ~ 500 瓦/米²。

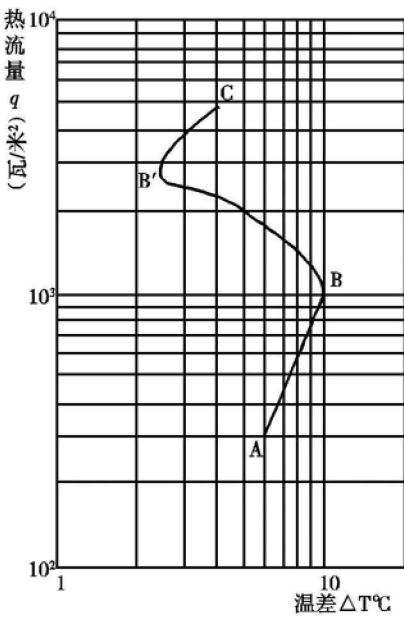


图 8 丙酮重力热管的沸腾曲线

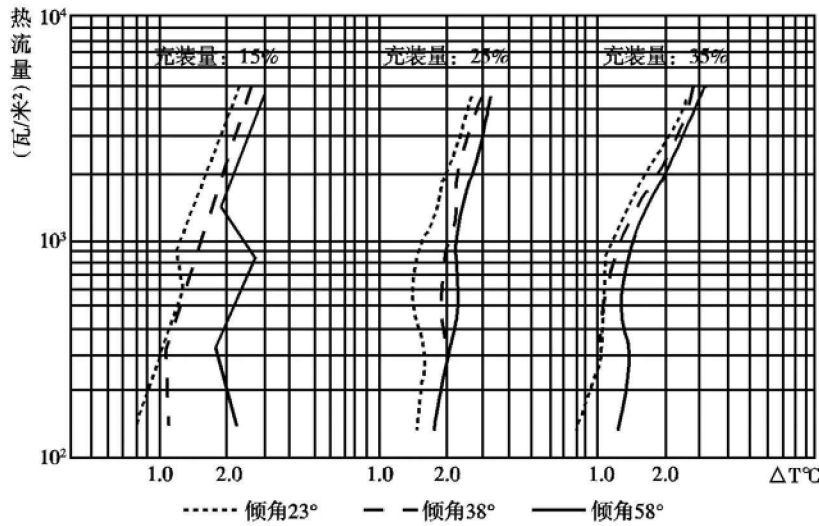


图 9 氟利昂 - 12 重力热管的沸腾曲线（冷却水温：15 ~ 23℃）

丙酮与氟利昂-12 的起动热流与急剧沸腾的起始热流分别列于表 2 和表 3。

表 2 丙酮的起动热流与急剧沸腾的起始热流

充装量	冷却水温℃	倾角 23 度		倾角 38 度		倾角 58 度	
		起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²	起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²	起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²
15%	15 ~ 25	143	893	143	1286	143	1750
	30 ~ 40	322	1286	572	1750	893	1286
	45 ~ 50	1286	1286	572	893	1286	1286
25%	15 ~ 25	356	1418	356	1418	356	3940
	30 ~ 40	356	1079	1079	1079	1079	2522
	45 ~ 50	1079	1079	1079	1079	1418	1418
35%	15 ~ 25	307	1669	307	2759	307	2759
	30 ~ 40	545	852	307	1669	307	2759
	45 ~ 50			852	852		

表 3 氟利昂-12 的起动热流与急剧沸腾的起始热流

充装量	冷却水温℃	倾角 23 度		倾角 38 度		倾角 58 度	
		起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²	起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²	起动热流 瓦/米 ²	急剧沸腾 起始热流 瓦/米 ²
15%	15 ~ 25	138	138	138	138	138	138
	30 ~ 40	551	551	860	860	1239	1239
	45 ~ 50	860	860	1239	1239	1239	1239
25%	15 ~ 25	138	138	138	138	138	138
	30 ~ 40	550	550	550	550	859	859
	45 ~ 50	859	859	859	859	1238	1238
35%	15 ~ 25	142	142	142	142	142	142
	30 ~ 40	868	868	868	868	319	319
	45 ~ 50	887	887	887	887	568	568

第三部分 绿色空调器

主要论点

- ★水蒸发冷却是一种节能、环保、健康的冷却方式。
- ★如何巧妙地采用水蒸发冷却是绿色空调的核心技术。
- ★降低半导体片的热面与冷面的温度差，是提高半导体制冷效率很有效的办法。
- ★冷却塔与冷气机是水蒸发冷却的“双胞胎”。
- ★当地湿球温度在 20°C 以内，就可以采用直接蒸发冷却。
- ★当地湿球温度越低，其“干空气能”就越多，当地湿球温度越高，其“干空气能”就越少。
- ★“干空气能”是空气本身具有的高能效比的制冷能源。

绿色空调的核心技术

某公司的广告词：“它的变频技术最小的调节功率为 45 瓦，因此，它掌握了空调的核心技术。”我们认为：这只能说是掌握了变频的核心技术，而不是掌握了空调的核心技术。

虽然现在市面上都是清一色的压缩机空调器，但并不能说明压缩机空调是唯一的。众所周知，所有的制冷方法中，能效比最高的是水蒸发冷却，能效比达到了 $15.0 \sim 20.0$ ，而压缩机空调最高的能效比（一级的）为 3.4。因此，我们认为：如何巧妙地采用水蒸发冷却是绿色空调的核心技术。

炎热的夏天，下了一场大雨就凉快了，这就是水蒸发冷却。如果我们给家家户户人工下雨，就可以解决夏天的炎热问题。当然单纯的水蒸发冷却，会带来湿度过大的问题，会带来闷热的问题，这是不容许的。

在我国的西北地区，当地的湿球温度在 20°C 以内的地区，可以利用直接蒸发冷却，其他地区必须配以除湿调温装置。现在有一种除湿调温装置，就是半导体制冷。众所周知，半导体制冷的能效比是很低的，这是由于现在的半导体片热面与冷面存在着较大的温差，造成了半导体内部的能量短路。现在我们已经设计出半导体片冷热面的温差 $< 10^{\circ}\text{C}$ 系统，避免了半导体片内部的能量短路，使其半导体片的制冷效率达到很高。

现在关键的问题是如何把半导体制冷与水蒸发冷却巧妙地结合。

为了要得到半导体片冷热面的温差 $\Delta T < 10^{\circ}\text{C}$ 的系统，必需采用下列系统：

(1) 通过半导体片冷通道与热通道都是液体（水）。

(2) 半导体片的冷通道与热通道的进口与进口，或进口与出口，必须是等温的。

我们把冷却塔与冷气机结合为一体，利用冷却塔的冷水带走半导体的发热量与室内的热量，利用冷气机的冷气来冷却室外空气或室内空气。再利用半导体的制冷来除湿调温，达到我们所需要的舒适环境。这种空调的系统如图 10 所示。

上述空调系统的制冷能效比很高，因为：

(1) 充分发挥水蒸发冷却作用，它的制冷能效比为 15.0 ~ 20.0。

(2) 由于半导体片冷热面温差接近 0°C ，避免半导体片内部的能量短路，半导体制冷的能效比是很高的，达到并超过 3.0 是不成问题的。两者相结合，其制冷能效比可以大大超过压缩机空调的制冷能效比。

上述空调系统的制热能效比也是很高的，因为半导体制热是热泵式制热。设该系统的制冷能效比为 3.0，则制热能效比为 4.0。

更重要的是这种空调不但节能，而且是真正健康的空调。近几年，随着压缩机空调普遍进入家庭，“空调病”越来越多。其实“空调病”并不是空气过滤得不好或是室内有异味而产生，而是因为室内空气不新鲜所致。而我们设计的这种空调器，必须引进室外空气来降低室内空气的湿度，克服了“空调病”的产生，这是压缩机的空调无法相比的。

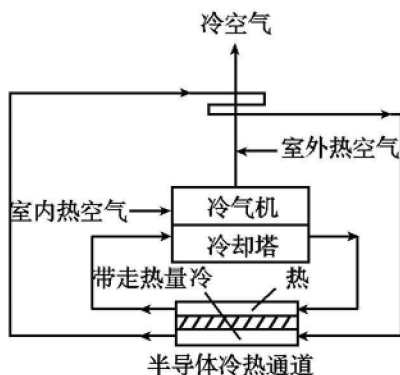


图 10 绿色空调器示意图