## 依靠沸腾表面多孔涂层强化冷凝 蒸发器内的传热

## 〔苏〕 В.Е.Позняк 等

【内容摘要】本文通过试验介绍在沸腾表面喷涂具有多毛细孔结构的导热涂层,可增大冷凝 蒸发器的沸腾传热强度。试验型冷凝蒸发器热流密度为5400瓦/米²,比长管式的高2倍,比板式 的高1.4倍,并能在温差0.8~1.0K下稳定地工作。作者最后指出,这种喷涂多孔复盖层强化低温 液体沸腾时的换热,是很有前途的。图3、参考文献5。

在沸腾表面喷涂具有多毛细孔结构的导热涂层,可增大冷凝蒸发器沸腾传热强度。我们 采用以气体热喷涂铝合金的方法,喷涂上多孔涂层的铝管,对氮和氧沸腾时的给热进行了研 究。这种喷涂多孔层的方法与其他方法不同之处在于:简单、成本较低和工效高。这种多孔 层有很高的机械强度、耐震性和耐热性。此外,必须指出,以这种方法制成的多孔表面具有 不规则的结构,在其上除敞开的微孔外还有一些密闭的微孔,它在相当大的程度上取决于喷 涂工艺过程。

为确定对氧和氮给热最佳的喷涂层结构,对各种工艺过程参数下带多孔喷涂层的铝或铝 合金 (AM<sub>II</sub>, AM<sub>r</sub>, A<sub>R</sub>) 平板和管状表面进行了研究。在所进行的研究中,喷涂层 厚 度 为 0.05~0.7毫米,根据流体静力学秤量结果得出的孔隙度为20%~40%,而按毛细管提升法测 定的当量微孔直径为40~60微米。

在铝制平板和管式试验模型上取得了大容积内氮沸腾的试验数据。通至管式试验模型的 热流,由镍铬丝电加热器经导热的氧化镁粉末层供入,并根据测得的电功率测定热流值。通至 平板试验模型的热流,是由电加热器经耐蚀钢杆供入。热流值是根据在耐蚀钢杆上测得的温 度梯度确定的。沸腾时的温差根据四支铜一康铜热电偶的平均示度计算,热电偶的冷端是在 试验设备水平上置于氮内,而热端则装入试验段的壁内。

为练习测定方法,采用直径16毫米和长100毫米、外表面光滑的垂直管子和水平管子,进行了大气压下大容积内氮沸腾的试验(图1)。从图中可以看出,试验数据与按文献<sup>[1,2]</sup>所



图 1

1、2—-分别按 文 献<sup>(1)</sup>和<sup>(2)</sup>公
式得出光滑表面的计算值(●,○— 分别为水平管子和垂直管子的试验数据)。
●, △, ×,▲,+--分别为喷
涂层厚0.49,0.52,0.47,0.46 和 0.40
毫米时多毛细孔表面的试验数据。

壁部与沸腾液体间温差 △T 与热流密度 q 的关系曲线图

· 28 ·

列公式进行的计算令人满意地相一致,并与文献<sup>[3]</sup>的实验数据相符。

图 1 还示出在不同喷涂工艺规范下制成的铝制平板式及多毛细孔表面管式试验设备上氮 沸腾时换热的试验数据。在试验设备的圆柱状表面上,当喷涂层的孔隙度为20~40%,微孔当 量直径为60微米和厚度为0.4~0.5毫米时,热流密度比在光滑表面上沸腾时增大7~9倍。 观察表明,当热流密度为~700瓦/米<sup>2</sup>,相应于温差约0.3~0.4K时,在多孔表面上保持稳定 的泡状沸腾。在这样的温差值下,光滑管上将保持自由对流状态。上述试验还表明,对于所 研究的铝合金,喷涂材料和基体材料没有很大的影响。

根据所作试验,选择出换热指标最好的多孔表面,并制造出试验型冷凝蒸发器。试验型 冷凝蒸发器是用六根外表面喷涂了多毛细孔结构涂层的铝管制成。在工作状态下设备置于液 氧内,液氧是靠从管内冷凝的氮供给热量而在管外表面上沸腾。试验时沸腾氧压力为0.14兆 帕,而设备进口冷凝氮压力为0.61~0.66兆帕,相应于0.7~4.0K的温差变化。

设备内温差是用铜一康铜热电偶测量,同时根据沸腾介质和冷凝介质的成分和压力计算。 温差的测量误差不超过 0.2 K。冷凝介质和蒸发介质的流量,是根据带标准差示压力计的流 量孔板的示度测定。在研究过程中按工质流量及其温度测出的平衡值为±10%。

图 2 示出试验型冷凝蒸发器内传热的试验数据的立式冷凝蒸发器的计算结果。从图中可 看出,例如在相当于 KAAp-15 型空分装置主冷凝蒸发器内温差的2.7K温差下,试验型冷凝 蒸发器中的热流密度为5400瓦/米<sup>2</sup>,即比目前所用长管式冷凝蒸发器高 2 倍,比板翅式冷凝蒸 发器高1.4倍。

试验型冷凝蒸发器的试验表明,它在温差0.8~1.0K下能稳定地工作,而管式和板翅式



- 图 2 设备进口氮饱和温度与上截面 沸腾氧温度间温差 ΔT 与管内 表面热流密度 q 的关系曲线图
- 〇——沸腾表面带多毛细孔喷涂层的试验设备 ●——工业试验型冷凝蒸发器
- 1 按文献〔4〕方法的板翅式冷凝蒸发 器计算结果,沸腾和冷凝侧翅片尺寸 为6×2×0.2毫米
- 2 ---- 按文献〔5〕方法的立式长管冷凝蒸发 器计算结果

设备在这样小的温差下则不可能工作,因为这时沸腾液体不能进行循环和设备的爆炸危险性增加。



- 图 3 沸腾表面带多毛细孔喷涂层的工业试 验型冷凝蒸发器示意图
  - 1.氧蒸汽进口 2.冷凝空气进口 3.氖一 気混合物排出 4.从第二段放出冷凝液
    5.液氧进口 6.从第一段放出冷凝液

为在空分装置运转条件下检查带多毛细孔结构换热表面的工作,制造和试验过一个工业 试验型冷凝蒸发器(见图3),它是蒸汽在管内冷凝和液体在管外沸腾的壳管式设备。管子 都喷涂上多毛细孔结构涂层。可以看出,设备的冷凝表面按冷凝介质行程分成串接的两段。 在第一段内形成的冷凝液从设备排出,而通入第二段的只有蒸汽。第二段的部分蒸汽与不凝

· 29 ·

气体(氛一氮混合物)一起从设备排出。设第一段和第二段管子进口蒸汽重量流速相同,在 这种情况下,在两段内形成相同的冷凝条件,而设备内的平均传热系数则高于完全冷凝时的 传热系数。

冷凝蒸发器是在氧在管外沸腾和空气在管内冷凝的条件下进行试验的。试验时测量了蒸 发的氧流量、去冷凝的空气流量、从设备第二段出口集合管吹出的气体量、工作介质的成分、压 力以及流阻。在试验中沸腾氧压力为0.12~0.14兆帕,而冷凝空气压力为0.41~0.48兆帕。 此时设备内平均温差为0.2~2.8K。

图 2 所示工业试验型冷凝蒸发器内传热的试验数据表明,它们与试验型冷凝蒸发器内传 热的试验数据相符。

所作研究证实,以气体热喷涂法在铝表面上喷涂多孔复盖层,以强化低温液体沸腾时的 换热,是很有前途的。目前已在设计空分装置冷凝蒸发器的结构和半工业性复盖层喷涂作业 线。在我国低温机械制造业中推广这种设备,将可获得很大的经济效果。

## 参考文献

- 1. Лабунцов Д. А. Обобщенные зависимости для теплопередачи при пузырьковом кипении жидкостей-«Теплоэнергетика», 1960, №7 41-17.
- Forster H. K., Zuber N., Bubble dymmier and boiling heat transfer, -«A.I.Ch. E. J.», 1955, №7, 532-535.
- 3. Успехи теплопередачи. Под ред. Кларка, перв. с англ. м. «Мир», 1971, 575 с.
- 4. Теплообмен при кипении и циркуляции кислорода в трубчатых и пластинчатых конструкциях конденсаторов-испарителей воздухоразделительных установок. в кн.: Вопросы современной криогеники. Национальный комитет международного института холода. М., 1975, С. 148—163. Авт.: В. К. Орлов, В.И. Сухов, В. Е. Позняк, С. А. Шевякова.
- 5. РТМ «Расчет конденсаторов-испарителей воздухоразделительных установок». М., ЦИНТИхимнефтемаш. реф, сб. «Кислородное, криогенное и автогенное машиностроение», 1972, № 2.15 С.

译自《Химическое и нефтяное машиностроение》 1980 №3 8~9 杭州制氧机研究所情报室 黄佩铭 译

## 适用于小型用户的变压吸附

Karl Knoblauch

【内容摘要】 本文介绍了在常温下,采用简单的变压吸附(PSA)系统,可以从空气中分离出氮和氧。文中着重介绍了变压吸附剂——碳分子筛的主要特性和吸附过程。由于该系统较简 单、成本低,适用于小字量用户制取惰性气体。四5。

几年来,在常温下采用分子筛从空气中分离氧和氮的新技术有了不断的发展。这就是

此為论文是根据 Petrocarbon 有限公司1978 年 5 月在英格兰一都市举办的 78届氮研究生班的报告 而 整理的。

• 30 •