

·成果简介·

界面汽化热阱增强传热的原理及其应用

沈自求

(大连理工大学化学工程研究所,大连 116012)

[关键词] 气液界面, 汽化, 热阱, 传热增强

在气-液两相流传热中,当气-液界面上液相汽化时,要带出潜热。若这一汽化界面十分邻近于加热壁面时,将成为一个热阱,使界面温度下降,促使传热显著增强。我们在国家自然科学基金的数次资助下,对上述现象作了系统的研究,提出了“界面汽化热阱增强传热的原理”,发展了用电化学方法与传热测定同时进行,分离出“热阱效应”的实验方法,开发成功了“载气蒸发”的新技术。本文将对有关成果作一简介。

1 易结垢物料的载气蒸发技术

在蒸发操作中,溶液在加热管壁上沸腾形成蒸汽泡核,在蒸汽泡与加热壁面间有一极薄的液体微层。液体在微层面上蒸发极快,使其中的溶液迅速浓缩,会达到过饱和而使溶质析出,溶质沉积在加热壁面上便形成结垢。因而,要避免蒸发操作中壁面结垢,应设法抑制加热管壁面上的泡核沸腾。

液体在泡核沸腾开始时,加热壁面有一定的过热度。一旦蒸汽泡核生成,汽泡会继续长大;而若使壁面温度降低,则蒸汽泡核行将萎缩以至消失。因之,我们在蒸发器的沸腾管下部引入少量惰性气泡(称为载气),使蒸发料液迅速在载气泡界面上汽化,带出大量潜热,使界面温度下降,从而使加热管壁温度降低,抑制了其上的泡核沸腾,使操作由原来的加热管壁上的沸腾转变而为管内两相流主体中气-液界面上的液相汽化。此时,即使有溶质析出,亦将悬浮在气液两相流主体中,不易沉积在加热管壁上形成结垢。

这项技术首先应用于丙烯酰胺溶液的蒸发,由于空气是丙烯酰胺的良好阻聚剂,所以用空气作载气,获得了特别好的效果,并已获发明专利。在葡萄

糖溶液和盐类溶液的蒸发中也获得了相当满意的结果,创造了效益,获得了国家发明奖三等奖。

为阐明“载气蒸发”的基本原理,我们进行了“气泡在热液相介质中上升时传热与传质”的研究^[1],从分子运动论得出了液相汽化时分子在界面上逸出时的界面阻力,导出了蒸汽在载气泡中传递的扩散阻力,建立了模型,并进行了数值计算,获知在气液初接触时界面温度可以下降 10 余度之多。当这一界面十分邻近于加热壁面时,会使壁温显著下降。

我们对载气蒸发进行了系统的研究,把操作中的变量组成了 3 个反映不同机理的无量纲准数,获得了关联式^[2]。又在系统中加入了固体颗粒,使之形成三相流蒸发系统,经实验研究表明,它使界面汽化热阱的效应进一步增强,更有效地起到了抗垢的作用^[3]。

2 惰气冲击冷剂液浴中放热壁面强化冷却的传热原理

当前大规模集成电路的应用使电子设备体积大幅度减小,由于电子元件的寿命随温度升高呈指数下降,要求电子元件散热的热流密度大大提高,因之散热往往成为关键问题。1985 年在北京召开的国际传热会议上,有人提出了在液浴中用惰气冲击强化传热的新方法^[4],发现当气体冲击液浴中的微小放热面时,传热获得极大增强;甚至在放热面温度低于浴温时传热仍在进行,出现了“负温差传热”的奇异现象,引起了传热界的很大兴趣。我们以“界面汽化热阱”的概念对这一现象做了理论分析,认为在冲击气泡前沿与冷剂液相接触的相界面上,由于冷剂迅速汽化,带出大量潜热,温度大大降低。而这一气-液界面与放热壁面之间的液体微层极薄,因之微层

本文于 1998 年 5 月 20 日收到。

导热极快,这就大大提高了传热速率,强化了冷却。

我们设计了一种新的实验方法,获得了冲击汽泡前沿与液相接触界面上的温度可较液浴温度降低10余度的结果,并进一步研究了各项因素的影响^[5]。异气冲击时的“负温差传热”现象产生的机理是:由于冲击气体前沿的气-液界面上液相的强烈汽化带出大量潜热,形成一个热阱,使大量的热在热阱面上漏走。并且,由于汽化热阱面上温度的降低,放热壁面温度随之降低,当壁温低于液浴温度时,就像是传热在负温差的条件下进行。由此,我们提出了“气体冲击液相中加热面的汽化热阱模型”^[6]。应用“界面汽化形成热阱增强传热”的概念,可以分析和阐明一些具有相变的传热现象和用来作为开发一些新的强化传热的思维途径。

3 用电化学方法与传热测定同时进行来分离出热阱效应的实验方法

用异气冲击浸没于液浴中的放热壁面,由于扰动增大而引起的传热增强,属于对流传热的增强;而由界面上液相汽化形成热阱使界面温度降低所导致的传热增强部分,我们把它定义为“界面汽化热阱效应”。为定量地测定“热阱效应”,我们用电化学法与传热测定同时进行以分离出“热阱效应”。

电化学法可以测定固液间的对流传质速率,由传质数据可转换为对流传热的数据。而由传热测定方法获得的是其传热壁面与液相间的总传热速率,减去由电化学法获得的对流传热速率,即可分离出界面汽化热阱对传热作出的贡献,此即“热阱效应”。

我们用此法分离异气冲击放热壁面的汽化热阱效应的结果与理论分析一致^[7]。

4 沸腾传热中的界面汽化热阱

沸腾传热的速率较大,其主要原因是在沸腾蒸汽泡核底部液体微层表面的液相汽化,释出大量潜热形成热阱。有人曾在有人工汽化中心的镀镍表面进行沸腾传热实验,测得其壁温呈相当大幅度的周期性波动。当蒸汽泡生长时,在2 ms内壁温可迅速下降10℃—15℃,其传热速率则为其平均传热速率的数倍;而用电化学法测得的对流传热数据,在蒸汽泡核生长期间,其对流传热速率最小,小于其最大对流传热速率的多倍。这说明在沸腾传热的蒸汽泡生长阶段,“界面汽化热阱效应”是十分显著的。

我们用电化学法与传热测定同时进行,测定了沸腾传热中“热阱效应”的宏观平均值。当热通量达

到 $2 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ 时,“热阱效应”已相当显著,并随着热通量的增大而进一步增大。

水平管束沸腾要较单管沸腾的传热速率大得多,这称之为管束效应。管束效应的产生,一是由于两相流扰动的增强加大了它的对流传热;另一是由于下管上升的蒸汽泡在上管壁滑移引起的薄层导热增加。这两种效应混在一起,难以定量区别。我们用上述方法测定其“热阱效应”^[8],当水平管的沸腾热通量较小,还未显示出“热阱效应”时,由上升蒸汽泡滑移引起的薄层导热所产生的“热阱效应”即达15%—30%,是相当可观的;而当水平管的沸腾热通量增大,上升蒸汽泡滑移所产生的“热阱效应”则相对减小。

为进一步说明水平管束沸腾时滑移汽泡产生界面汽化热阱效应的作用,我们还在水平沸腾管下通以与下管沸腾汽泡相同温度、相同流量的惰性气泡,可以见到其“管束效应”大大增加。显然,这部分的增加不是两相流扰动所致,而是由于“热阱效应”的增强所致。这一方法可以用来改善水蒸汽蒸馏中卧式再沸器的设计,以增强再沸器的传热效率。

5 界面汽化热阱增强传热的原理

“界面汽化热阱增强传热”的概念,具有一定的普遍意义。我们把“界面汽化热阱增强传热”的原理^[9]加以系统化。并提出与此有关的若干思维途径:

(1) 在载气蒸发和惰气冲击增强传热的过程中,都是在相变传热的系统中增加了一个惰性组分。增加一个组分就是增加一个自由度,也就是增加了一个可调参数,从而把主要由平衡控制的问题,转化为主要由动力学控制的具有相变和传质的传热问题,可以使过程强化。这一个概念可作为开发新的强化过程的思维途径。

(2) “界面汽化热阱效应”是注意到相变的热效应对过程的影响,关系到传热与传质的相互联系和制约。这一概念可以扩展到其它相变过程中去,以研究和改进操作过程。例如对于结晶、冷凝、升华等,甚至对聚合物膜制备这样精细的操作过程,都存在着界面相变的热效应对过程影响的问题。用这一观点来进行分析,将会对过程的认识更为深入,而且有可能进一步改进操作,改善工艺。

(3) 对于相变过程,要在均相介质中产生一个新相,常要在远离平衡的条件下进行。这种新相的形成,常有一个稳区,条件的些微改变会使过程向不

同的方向进行。利用这一概念,可以改变条件来使过程向所希望的方向进行,这也是进行研究开发时的一个思维途径。我们开发“载气蒸发”的过程即是一例。

上面几点,是尚未为人们所注意或注意得不够的,但在深入研究问题和开发新的技术上有意义的。我们希望能获得更多的关注,引起人们更多的兴趣,能在进行研究和开发工作中起一定作用。

参 考 文 献

- [1] 孙长贵,徐维勤,沈自求. 气泡在热液相介质中上升时的传热与传质. 高校化学工程学报,1992,6(2):139—146.
- [2] 孙长贵,于志加,丁洁等. 载气蒸发的传热机理与数据关联. 化工学报,1988(6):659—665.
- [3] Yu Z J, Mu X H, Xu W Q et al. Studies of the Evaporation and Scaling

- Mitigation in a Recirculating Three Phase Fluidized Bed, Chinese J. of Chem. Eng., 1997,5(4):359—366.
- [4] Ma C F, Bergles A E. A New Method of Heat Transfer Augmentation by Means of Foreign Gas Jet Impingement in Liquid Bath. Proc. of the Int. Heat Transfer Conf., Beijing, 1985,789—792.
- [5] Yang N S, Shen Z Q. Convective Heat Transfer Characteristics of Gas Impingement on Small Heated Device in Liquid Coolant Bath. J. Chem. Ind. and Eng. (China), 1991,6(1):1—11.
- [6] 杨宁生,沈自求. 气体冲击液相中加热面的汽化热阱模型,化工学报,1990,41(5):618—622.
- [7] 杨宁生,王卫东,沈自求等. 异种气体射流冲击浸没液体的强化传热过程. 高校化学工程学报,1990,4(4):335—342.
- [8] 贾岫庄,沈自求. 用电化学方法研究水平管束核沸腾传热的强化机理. 高校化学工程学报,1990,4(1):50—57.
- [9] Shen Z Q, Xu W Q, Yang N S et al. The Principle of Heat Transfer Augmentation by Gas-Liquid Interfacial Vaporization Heat Sink. 29th Nat. Heat Transfer Sym. of Japan, Osaka, 1992,593—595.

THE PRINCIPLE OF HEAT TRANSFER AUGMENTATION BY INTERFACIAL VAPORIZATION HEAT SINK AND ITS APPLICATIONS

Shen Ziqiu

(Chemical Engineering Research Institute, Dalian University of Technology, Dalian 116012)

Key words gas-liquid interphase, vaporization, heat sink, heat transfer augmentation

·资料·信息·

周炳琨副主任率团访问墨西哥

1999年1月8日至21日,应墨西哥科学技术理事会的邀请,由副主任周炳琨院士率领的国家自然科学基金委员会代表团赴墨进行了为期13天的访问。

访问期间,我代表团与墨西哥科学技术理事会签署了《科技合作协议实施细则》,规定了双方合作的方式和资助办法,这标志着中墨科技合作进入到更加实质化的阶段。

代表团还访问了有关高校和研究所,达成了在农学、天文学、传统医药、计算机和通讯等领域进行合作的意向,并商定在近两年内组织以上领域的4项合作活动。

代表团还与国际小麦玉米中心的项目负责人会晤,双方将在小麦育种和赤霉病的防治方面开展合作研究。



图为周炳琨副主任向墨西哥科学技术理事会主席赠送礼品

(国际合作局 荆卉 供稿)