

⑩ 新型强化传热管—抑泡孔管的管束传热实验

104-108

Experimental Study of a New-Type Enhanced Heat
Transfer Tube—PTRB Tube Bundles

TK124

龙恩深*
Long Enshen

辛明道[✓]
Xin Mingdao

陈远国
Chen Yuanguo

(重庆大热力工程系, 重庆, 630044)

A

摘要 实验研究了抑泡孔管管束的排列方式、管间距、加热管子根数、热负荷大小、沸腾工质物性等因素对抑泡孔管管束沸腾传热性能的影响规律。实验结果表明,抑泡孔管束与光管束、低肋管束的沸腾传热性能截然不同,而与机加工多孔管束和烧结粉末表面管束有某些相似之处。管束中的沸腾管数增加,有轻微恶化传热的趋势;高负荷时这种趋势更明显;管间距直径比的变化对管束特性影响不显著;乙醇为工质时,管束排列方式和热负荷大小等对沸腾传热的影响甚微。

关键词 抑泡孔管; 强化传热; 管束
中国图书资料分类法分类号 TK124

传热实验

ABSTRACT The researches were given to the influence, with the tube arrangement, the inter-tube space, the number of heating tubes, the difference of heat flux and the working liquids, on boiling heat transfer in a tube bundle. The experimental results showed that the performance of a PTRB bundle is slightly worse than that of a single PTRB tube for water and is nearly the same for ethanol. The increase of heating tubes results in a slight deterioration which is more obvious for the upper tubes and high heat fluxes with water. In general, the heat transfer coefficient of a PTRB bundle is 2 times higher than that of a smooth tube bundle.

KEYWORDS PTRB; enhanced heat transfer; tube bundle

0 前言

抑泡孔管是一个新型的强化传热管件,目前还未见国内外其它学者的研究报导。作者在文献[1]中对单管试验的研究表明,抑泡孔管是一种良好的强化传热表面,它不仅具有较之光管优越得多的性能,而且比其它强化管(如烧结粉末管、Thermoexcol-E管、Gewa-T管等)加工容易、制作简单、成本低廉;其传热性能优于其它强化表面,且具有滞后现象弱的特点^[2]。

* 修改稿收到日期 1993-04-08

** 现已调重庆建筑工程学院城建系任教

因此,抑泡孔管极具推广价值,在工程实际中必将得到广泛应用。

但是,在工程实际应用中,大量的蒸发式换热设备如蒸发器、再沸器等,都是以许多根管子组成的管束形式出现的。要使抑泡孔管应用于这些换热设备,仅仅研究单根抑泡孔管的沸腾特性是远远不够的,因此进一步研究抑泡孔管的管束沸腾特性显得十分必要。

近年来,国外学者已经开始了管束沸腾的实验研究。但是,由于问题本身的复杂性,对这一问题还没有完全认识清楚,不同学者的研究结果还存在分歧。已有的研究表明,管束中各管的沸腾特性明显不同于单管的池沸腾特性,这就是众所周知的“管束效应”。对于两管束沸腾,目前有两种观点,一种是“管束正效应”,该论点认为,由于下管产生的气泡上升诱导的液体对流,必然会使传热强化;一种是“管束负效应”,该论点认为,由于气泡的“堆积”对沸腾管的覆盖,在高负荷下管束沸腾的结果是恶化传热。

Robinson-Katz^{*}首先试验研究了错列管束的沸腾传热,发现管束上部管比下部管具有更大的换热系数。此后,不同参数如压力、几何尺寸、双组分工质等的管束沸腾陆续有研究报道。Miiller等^[3~4]研究了不同管束数、不同排列方式对低肋管束沸腾传热的影响。以上这些文献报道都证实管束有强化传热的效果。

但是 Nakajima-Morimoto^[5]的结果表明,在较高热流密度下有恶化传热的现象出现。S. Rilmaz 实验** 表明 E 管管束的性能比单管有明显下降。他们估计这是: a) 汽液混合物在孔口上的较高压力降阻止了液体进入隧道; b) 毛细力可能不足以克服流过管旁的高流动动量,使得吸入液体量减少,因此使孔层内的汽液循环部分地遭到破坏,因此性能低于单管。

新型强化表面—抑泡孔管管束的性能如何?这是令人关注的。本文的目的就在于研究管束排列方式、管束中各管位置、相邻加热管负荷变化、以及管间距等因素的影响规律,并以水和乙醇作工质,研究工质特性对管束沸腾特性的影响,进而认识管束沸腾的机制和规律。

1 实验装置及过程

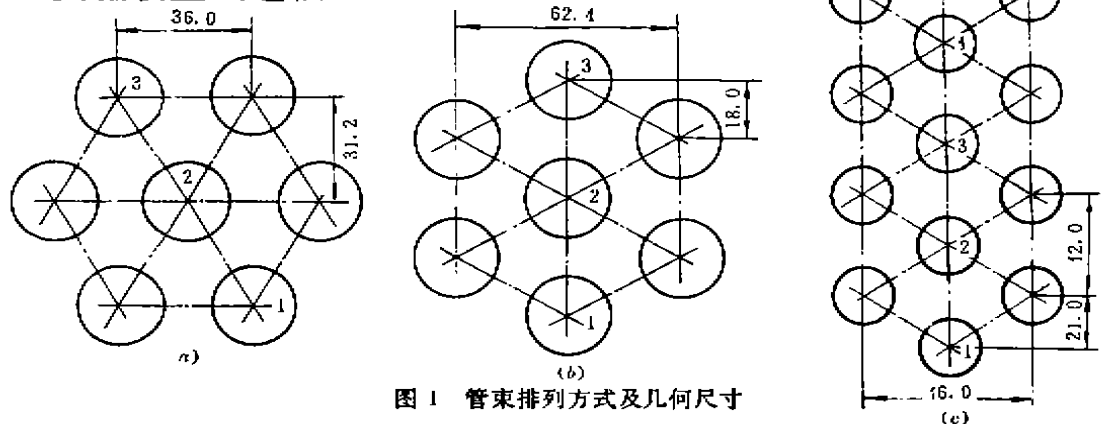


图1 管束排列方式及几何尺寸

实验装置示意图如文献[1]所述。实验使用两种管板,相应的三种不同间距组合的管束排列方式如图1所示。抑泡孔管的管束实验所有加热管径均为19.0 mm、壁厚为2.5 mm的紫铜管,用400#金相砂纸打磨,管内用电阻丝加热。

* Proceedings of Chinese-American-Japan Joint Heat Transfer Conference, Beijing, 1983

** Proceedings of the 7th Int. Heat Transfer Conf., 1982, Munich, FRG

抑泡孔管束实验中只测量部分试验管的壁面温度。对于图1a的管板,自左上至右下对角线上三根为测温管;对于图1b的管板,中间三根为测温管,对图1c所示管板,中间五根为试验管,如图中序号所示。测温管的外形及热电偶布置如图2所示。五个测温热电偶空间夹角为72°,布置于相互间距为40 mm 的五个截面上。测温小孔 $\Phi 0.8$ mm 深1.5 mm,采用直接测温方法测量壁面过热度,该法的可靠性论证参见[1]。测试段长度为160 mm,管内加热丝长度为250 mm,且测试段位于加热段中间,以消除端部散热的影响。

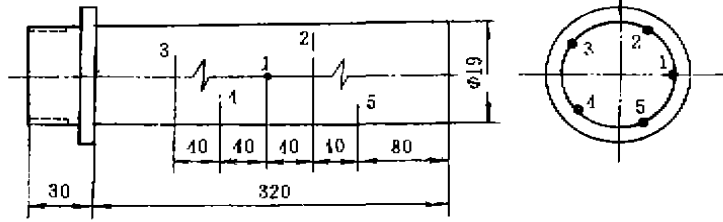


图2 基管的外形及热电偶布置图

在加热器的绕制过程中,为了使各试验管的热流密度相同,各加热器的电阻偏差应不大于1%,加热长度偏差也不应大于1%。

管束实验采用的抑泡孔管几何参数均为:孔管与基管的间隙为0.5 mm,孔节距轴向与周向均为14 mm,孔径为2.0 mm,孔管长度为280 mm。抑泡孔管展开图如图3。

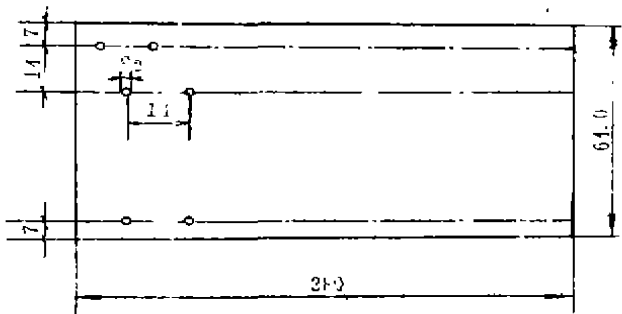


图3 抑泡孔管展开图

管束沸腾时,实验容器内的液体温度不是均匀一致的,其温度分布极其复杂,沸腾管数及热负荷高低都会产生影响。一般地说,液体温度是略高于饱和温度的(0.2℃~1.0℃)^[4]。因此,处理实验数据时,参考温度取沸腾管附近的液温就变得困难了。为此,本文所选的参考温度一律采用当地大气压力下的饱和温度。这样处理的结果使壁面过热度比实际值略高,而换热系数比实际值略低。在正式实验前,加热管都在中等热流密度($q=3.6$ W/cm²)下老化20小时以上,以消除不稳定汽化核心的影响。在第一次测取实验数据以前,试验管束加热一小时左右,然后从高负荷到低负荷进行实验。

2 实验结果

实验结果载于图4~图9。图中:“●”表示热流变化的试验管,且各根试验管的热流密度相同;“○”表示非加热管;“⊙”表示热流维持恒定的试验管,其热流用 q_0 表示;管子按从下至上排序,如 q_1, h_2 分别表示第二排试验管的热流密度与换热系数。▲、△、●、○分别表示 $q_1 = 7064, 16724, 30978, 49598$ W/m²

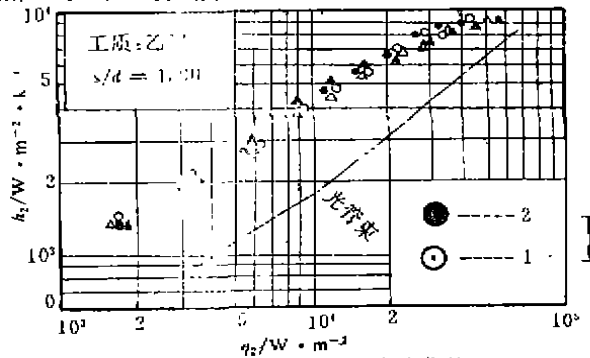


图4 下管热流恒定时上管沸腾曲线

2.1 两管束实验结果

管束沸腾的最简单情形是二管束沸腾。图4给出了以乙醇作工质、下管的热流密度维持不同的恒定值时,上管的换热系数随热流密度变化的曲线,相对间距 s/d 为1.90。管束的设置情形示于图4右下角。图5是以水作工质, $s/d=2.21$ 时,下管热流恒定的二管束沸腾曲线。

从以上两图可以发现,下管的热流密度大小对上管的换热系数影响不显著。

2.2 7管束及13管束沸腾实验结果

在进行7管束实验以前,作者分别以水和乙醇作工质,对图1(b)所示的7管束中间列三根管子进行了单管沸腾实验。从实验中我们发现,各抑泡孔管单管的性能差别较大,这是未料到的。这可能是抑泡孔管的开孔方向各异所致。我们实验时,是先在基管上套上抑泡孔管,再把加热管一端固定于端盖上,因此,各管的开孔方向很难保证一致。为了使绘出的曲线清晰明了,当我们整理实验结果曲线时,是以试验管在不同的管束布置方式和加热情况下来给出其沸腾性能的影响规律。

图6表示以水作工质时,三排试验管在不同管束沸腾状况下的实验曲线。实验结果表明,随着加热管数的增多,对第一排基本上无影响,对第二、三排均有使换热系数降低的趋势,第三排比第二排更严重一些。

图7给出了以乙醇作工质的三排试验管在不同管束加热状况下的实验曲线。实验结果表明,对于各排试验管,沸腾管数的多少对其沸腾换热性能基本上没有影响。

图8给出了13根管束中第五排管的沸腾曲线,其它各排管的实验曲线与第五排比较类似,因此仅以该图作代表。从图上我们不难发现,当13排管同时等热流密度加热时第五排管的换热系数与当第五排单管沸腾的换热系数差不多,这说明抑泡孔管束的传热性能接近于单根抑泡孔管的性能。

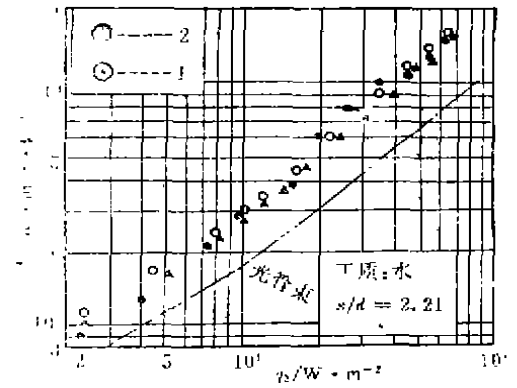


图5 下管热流恒定时上管沸腾特性
○— $q_1=0$, ▲— $q_1=16405$, ●— $q_1=54056$

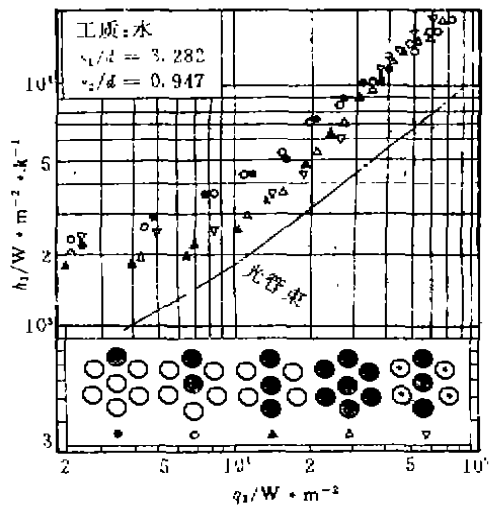


图6 加热管增加对第三排管传热特性的影响
 $q_0=25381 \text{ W/m}^2$

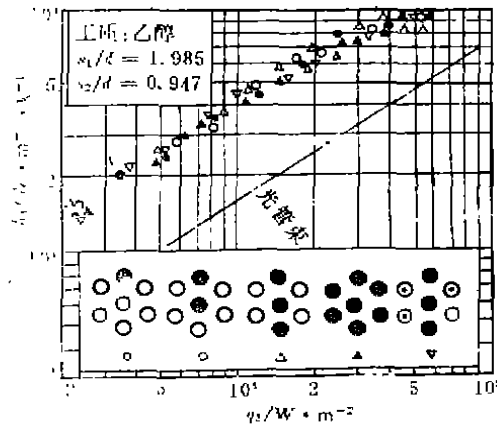


图7 加热管增加对第三排管传热的影响
 $q_0=25000 \text{ W/m}^2$

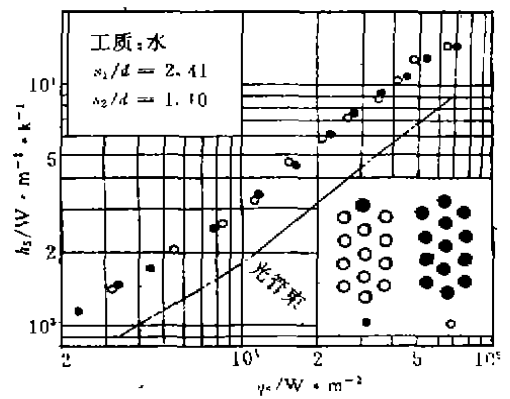


图8 十三根管束中第五排管的传热性能

在这些实验曲线中,我们也同时给出了光管束(即基管)的沸腾曲线,该曲线为管束的平均值.由图可见,在所有热流密度下,抑泡孔管束的性能都优于光管束,一般要高2~3倍.

2.3 管束相对间距的影响

众所周知,对单相对流换热,管束的相对间距对换热系数有重要影响;但是,相对间距对于沸腾换热的影响怎样?作者设计了图1a,b所示的两种不同间距的管束沸腾实验.图9代表性给出了管束中全部加热管以等热流密度加热时第二排管与单管的性能比较.实验表明,对第一、二两排管管束的相对间距影响不明显,对于第三排管,图1a的形式比图1b稍好些.

3 实验结果分析

上述实验结果表明,抑泡孔管束各排的沸腾换热系数基本不变或有少量降低,管束相对间距对换热的影响不明显.

由于抑泡孔管对加热管的汽化核心有屏蔽作用,沸腾的主要形式是抑泡孔管与加热管间的窄空间内合体汽泡底部的微层蒸发.显然,抑泡孔管有较强的抗干扰能力,因此抑泡孔管管束沸腾的性能与单管性能差不多,沸腾管数的多少与相对间距的大小影响都不明显.实验结果也表明,管束沸腾有轻微恶化传热的趋势.这是因为随着沸腾管数的增多,蒸汽产生量越大,流过管旁的蒸汽流速越大,使吸入的液体量减少,蒸汽难于逸出,汽液循环部分地遭到破坏,从而使传热恶化.管束沸腾机理尚需进一步研究.

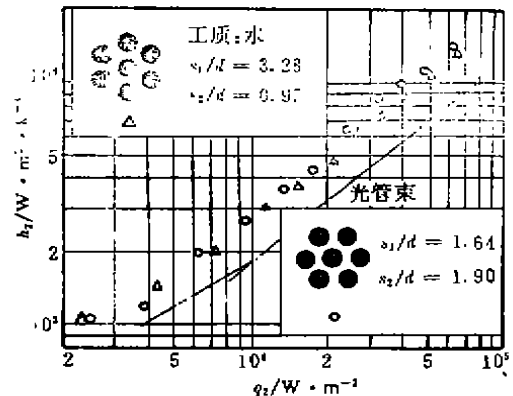


图9 管束相对间距对第二排传热的影响

4 结论

1) 抑泡孔管束与光管束、低肋管束有很大差别,管束沸腾有轻微恶化传热的趋势,其原因是抑泡孔管有屏蔽汽泡的作用,且环缝内的蒸发是传热的主要形式,蒸汽量增加致使汽液循环破坏.

2) 乙醇作工质管束效应不如水作工质时明显,管排位置和热负荷影响甚微.3) 管束相对间距对其传热影响不大.抑泡孔管管束的性能与E管束、烧结粉末管束的性能比较类似.

4) 抑泡孔管束的总体传热性能明显优于光管束,换热系数比光管束高2~3倍.

参考文献

- 1 Long Enshen et al. Pool Boiling Heat Transfer on a Single ST-PTRB Tube. In: Xin Mingdao, Advances in Phase Change Heat Transfer. Beijing, International Academic Publishers, 1988, 90~97
- 2 龙恩深. 抑泡孔管的滞后特性实验研究. 西安交大科技情报室. 动力机械与工程热物理. 西安: 西安交通大学出版社, 1989, 138~141
- 3 Muller J. Boiling on a Finned Tube and a Tube Bundle. Int. J of Heat Mass Transfer, 1983, 26(6): 849~859
- 4 Muller J. Boiling Heat Transfer on a Finned Tube Bundles. Heat Transfer, 1986, 4(2): 2111~2116
- 5 Nakajima N et al. Boiling on Tube Bundles Refrigeration, 1969, 44(3): 495