

# 氢化物车用空调模拟换热器传热试验研究

严 密 陈长聘 王新华 王启东

(浙江大学材料系)

**[摘要]**对作者自行设计制造的氢化物空调模拟换热器,进行了非吸放氢循环下的传热试验,获得了传热系数,空气流阻和  $Nu$  与  $Re$  的关系式,提出了进一步提高反应器传热系数的方法。为实际车用氢化物空调反应器的设计提供了依据。

**关键词** 贮氢合金 换热器 传热

**分类号** TK124 TK113

## 1 前言

氢化物车用空调,是利用贮氢合金吸放氢热效应,以汽车发动机尾气废热作为驱动热源的新型风冷式车用空调系统,具有节省汽油、不使用氟里昂等明显优点,目前德国、以色列、南朝鲜和我国浙江大学正在开展这方面的研究。因为氢化物粉末导热率很低,与传统的氟里昂空调相比,氢化物空调研制的关键问题,是要实现足够高的单位时间吸放氢循环次数,为此反应器应能够高效传热。作者在对氢化物床体传热传质和动力学性能研究结果基础上<sup>[1-3]</sup>,设计制造了空调模拟换热器,测试了模拟换热器非循环状态下的传热和空气流动性能,旨在为研制满足实际使用要求的氢化物空调机提供依据。

## 2 模拟换热器设计和试验方法

换热器是氢化物空调的核心部件,直接决定工作出力和制冷效率,特点是体大而重。所以,换热器不仅需要能够高效传热,而且应该结构紧凑,以实现小型轻量化。所设计的模拟换热器相当于一台缩小了的反应器,型式为密排翅片管式。紫铜列管外径  $\phi 16$  mm,壁厚 1 mm,铝翅片翅距 6 mm,管距 30 mm。顺排方式,横向 6 排,纵向 12 排,共计 72 根管。管内充填粉化后的贮氢合金。

测试系统示意图见图 1,它由传热试验段、气路系统、油加热系统和测量系统组成。传热试验段中,为减小试验误差,在换热器前后分别设置了进口均匀段和出口稳定段,换热器外用硅酸铝纤维保温。油加热系统由电点火控油装置和加热油枪两部分组成,热风温度可在  $100 \sim 400^\circ\text{C}$  之间调节。供风系统由风机、调节阀、翼形测速装置、混合室和管路组成,冷热风在混合室中混合后向换热器供风,风量由经标定的翼形测速装置测量。管

\* 国家 836 计划资助项目

收稿日期 1994 03 26

本文联系人 严密 男 讲师 310027 杭州市

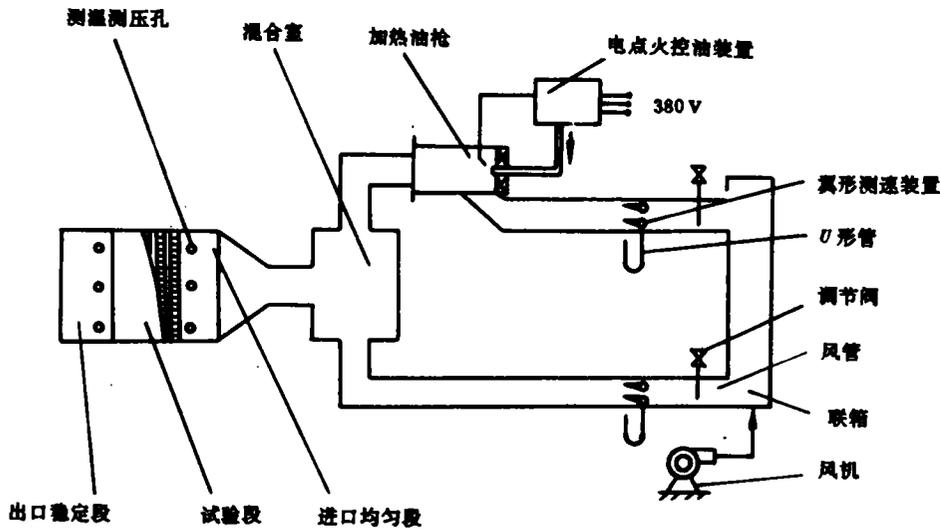


图 1 模拟换热器传热试验装置示意图

### 3 试验结果

#### 3.1 传热特性

图 3 是基于  $Cu$  管外表面积测量和计算得到的传热特性曲线。其传热系数关系式分别为：

$$\alpha_1 = 0.812109 \times Re^{0.868} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$$

$$K = 0.0081122 \times Re^{1.487} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$$

$\alpha_1$  是空气侧换热系数,  $K$  是换热器的总传热系数。  $K$  值远小于氟里昂为介质时翅管空冷冷凝器的传热系数。

以  $Cu$  管表面和翅片面积之和为基准换热面积的空气侧换热系数  $\alpha_2$  的关系式为：

$$\alpha_2 = 0.0813655 \times Re^{0.932} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$$

换热器努塞尔特数  $Nu$  与雷诺数  $Re$  的关系数为：

$$Nu = 0.00766533 \times Re^{0.927}$$

$Nu$  与  $Re$  关系曲线见图 4。

由热传导公式  $Q = -\lambda F dt/dx$ ,

得管内贮氢合金粉末导热系数为：

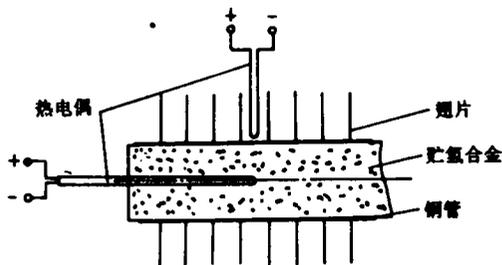


图 2 换热器热电偶布置图

子中心的贮氢合金粉末温度用铠装 WRNK 热电偶测量,管壁温度由点焊在铜管壁面的铜—康铜热电偶测量(见图 2)。在换热器纵向上布置若干个测温点。

试验时,改变风量和风温,待进口风温基本稳定后,开始测量每个测温点的温度。每隔 30 秒记录一次,直至出口风温达到基本稳定。同时记录换热器进、出口风温和风压。

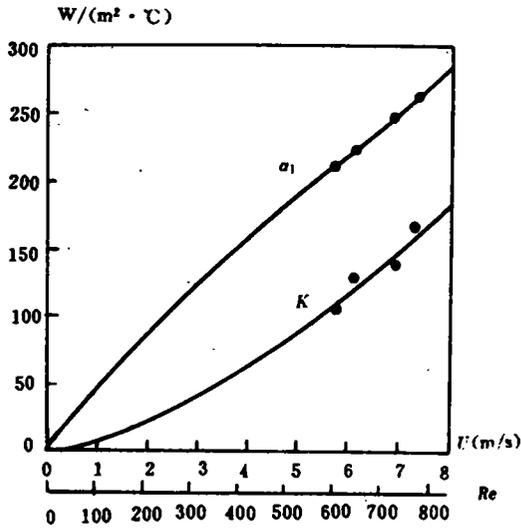


图 3 基于 Cu 管外表面积的空气侧换热系数  $\alpha_1$  和总传热系数  $K$  与流速关系曲线

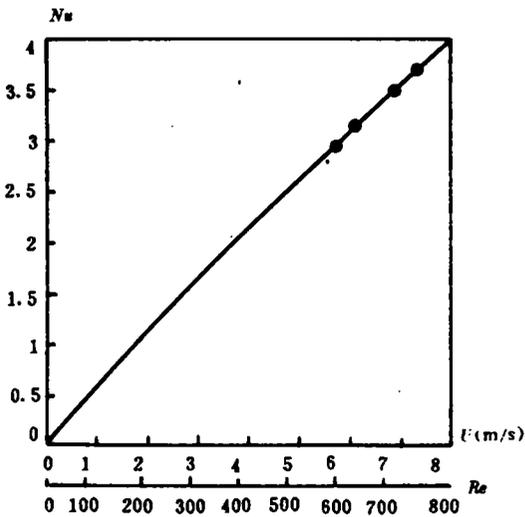


图 4 换热器  $Nu$  与  $Re$  关系曲线

$$\lambda = - \frac{Q}{F} \cdot \frac{dt}{dx}$$

测量得  $\lambda \approx 0.8 \sim 1.6 \text{ W/(m} \cdot \text{C)}$

忽略其它部分热阻(Cu 壁热阻与污垢热阻), 则传热热阻由管内导热热阻与管外换热

热阻两部分组成。由图 3,  $\alpha_1$  与  $K$  之比在 1.6 ~ 1.9 之间, 说明在试验条件下, 外部换热热阻与内部导热热阻均占有相当的比例, 空气换热热阻比粉末导热热阻略大。

几种不同工况下的试验测试和计算参数见表 1。

### 3.2 流阻特性

在试验范围内, 气流在换热器进出口的压降  $\Delta P(\text{Pa})$  与流速  $V(\text{m/s})$  和雷诺数的关系式分别为:

$$\Delta P = 3.45886 \times V^{2.083}$$

$$\Delta P = 1.71563 \times 10^{-4} \times Re^{2.112}$$

它们的关系曲线见图 5。相应地, 气体摩擦系数  $f$  与  $V(\text{m/s})$  和  $Re$  的关系曲线见图 6。

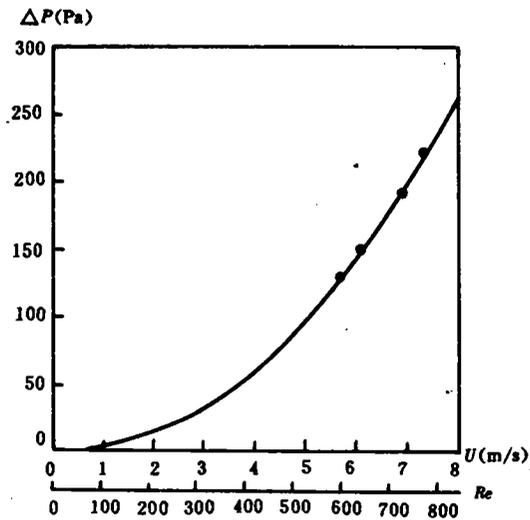


图 5 压降  $\Delta P$  与流速  $V$  和雷诺数关系曲线

## 4 分析与讨论

以上传热试验结果表明, 尽管模拟换热器结构复杂, 但它的空气流动阻力并不太大。但与以氟里昂作为制冷剂的常规风冷换热器相比, 传热系数明显偏低。

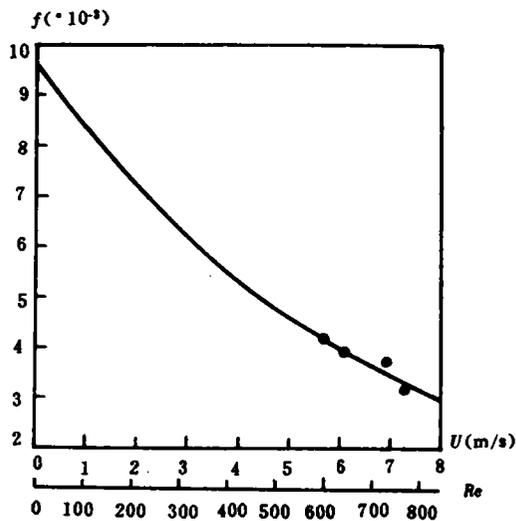


图 6 摩擦系数  $f$  与流速  $V$  和雷诺数关系曲线

表 1 模拟换热器试验参数

参数 \ 工况	I	II	III	IV
进风温度 (°C)	114	145	170	250
最窄截面风速 (m/s)	5.7	6.1	6.9	7.3
流阻 $\Delta P$ (Pa)	130	150	180	240
换热系数 $\alpha_1$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	212	216	249	263
换热系数 $\alpha_2$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	31.4	34.6	37.4	39.6
传热系数 $K$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	109.0	129.3	138.5	166.0
Re 数	604	654	739	768
Nu 数	2.06	3.04	3.33	3.68

换热器传热系数取决于其内、外传热性能。选择较细的反应器列管,不仅可以减小粉

末导热距离而大大降低内部热阻,而且可以增加空气换热面积,增大气流扰动,相应在一定程度上强化了管外换热,使换热器内、外传热性能同时得到提高。所设计的模拟换热器,管径为 16 mm,较常规贮氢合金容器细。试验结果表明,由于反应器列管细化,列管中氢化物粉末的导热热阻并不明显大于管外换热热阻,通常成为传热控制环节的合金粉末导热的“瓶颈”效应得到了缓解。不利的是,管子细化使反应器重量和显热增大,减少了反应器吸放氢循环的有效制冷量,结构复杂化也会导致生产成本的增加。

另外,为缩小反应器体积,减小反应器占据的车室空间,该反应器相邻管子之间管距仅 30 mm,排列十分紧密。这样,作为扩展传热面积的翅片表面积与 Cu 管外表面的比率相应较低,翅片上相邻 Cu 管的热影响区相互重叠,反应器与空气的换热效果因此而受到影响。

影响传热系数的另一个重要参数是翅距大小。因为汽车发动机废气中有不少粉尘和油污,部分将沉积在反应器上形成污垢,所以运转中必须对反应器定期清洗,翅距若太小将增大清洗难度。模拟换热器翅距较大,为 6 mm,翅距的放大导致翅片张数减小,使扩展传热面积减小而降低了空气侧换热系数。

为了进一步提高反应器传热性能,可以从以下几个方面努力:

1. 继续提高管子内部粉末导热性。如添加导热系数大的金属粉末、将贮氢合金制成多孔压块、以及采用有机溶剂使贮氢合金流体化等方法;

2. 优化反应器设计。包括减小翅片间距、适当增加管距等。用波纹状翅片代替平翅片也可改善换热效果;

3. 改进制造工艺,保证翅片与管子紧密接触,避免其中产生空隙。

## 参 考 文 献

## 5 结 语

由于贮氢合金导热率低,车用氢化物空调反应器的研制比常规空调困难得多,传热性能是制约工作出力 and 制冷效率的关键性因素。对翅片套管式模拟换热器的传热试验结果表明,该换热器的空气流动阻力并不太大,但传热系数仍需进一步提高。为此,应继续优化设计、改进工艺,以满足空调实际运转的需要。

- 1 严密、陈长聘、吴京、王启东. 单管氢化物反应器的传热传质研究, 稀土, 1993, 14(3), 9~13
- 2 严密、陈长聘、吴京、王启东. 不同传热条件对贮氢合金吸放氢速度的影响. 稀土, 1993, 14(4), 57~68
- 3 严密、陈长聘、王新华、王启东. 汽车氢化物空调机用贮氢合金的研究. 浙江大学学报, 1994, (2)
- 4 Suda S, Wang X L, Komazaki Y J. Less—Common Met, Design of a new reactor system for the kinetic study of metal hydrides under isothermal conditions. 1991, 172, 959—968
- 5 Wang X L, Suda S J. Less—Common Met, Reaction kinetics of metal hydrides under quasi—iso thermal conditions. 1991, 172, 969—982

## 机器运转缺陷振型分析系统

机器运行中有些故障缺陷采用标准常规频谱分析往往难以得到准确满意的结论,需对其振动状况进行精确的分析,以及时发现运转缺陷。美国恩泰克科学公司为此推出了机器运转缺陷振型分析系统 ESHAPE,通过使用数据采集器来采集机器运行数据,由微机及运转缺陷分析软件组成一套机器振型分析系统。

该系统的操作程序简单方便,通过对机器上的某些特征位置点振幅和相位测量并加以分析处理,用这些机器信息产生运转缺陷振型和相对位置的动画图形,以图示的方法一目了然地描述和揭示机器运转时所呈现的振动形态,在画面上,机器的运转缺陷被放大和低速显示,如同电视中的慢动作镜头一样。用户通过观察画面中机器运动位置和方向变化,清楚地了解到存在缺陷的具体部位,从而有效地诊断机器的诸如基础刚度低、皮带松动、静力与力偶不平衡、轴不对中、零部件松动、共振等多种类型的故障缺陷。

(汪家铭 供稿)

# 欢 迎 订 阅

…… Yuan Jianwei, Li Feng, Zhang Jun, Ma Yuyi (*Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 110~115

The coal char reactivity and burn-out time are directly determined by the specific surface area and pore properties of the coal char. A multitude of factors exercise an influence on the specific surface area and pore properties, and the interrelationship between these factors has been found to be rather complicated. In this paper a grey correlation analysis method is applied to ascertain the relationship between these influencing factors and the measured coal char specific surface area and pore properties of various kinds of coals. It is found that moisture, volatile matter and minerals have a greater effect on coal char specific surface area while vitrinite, fixed carbon and ash a greater effect on coal char pore properties. **Key words:** *coal char, specific surface area, pore properties, grey correlation analysis*

△ **A Thermal-state Experimental Investigation on Pulverized-coal Flame Stabilization Using an Off-stoichiometric Jet** …… Sheng Changdong, Cui Heping, Han Caiyuan (*National Coal Combustion Laboratory under the Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 116~121

This paper deals with a thermal-state simulation test during which a new type of burner was employed to investigate the performance of the off-stoichiometric pulverized coal combustion conducted in a single burner furnace. The analysis of the test results has shown that through the use of a local concentration method to enhance pulverized coal concentration the distribution of the latter in the primary air jet may be changed to realize the off-stoichiometric combustion, thereby effectively intensifying and stabilizing the combustion process along with the achievement of low-load stabilized combustion. **Key Words:** *pulverized coal combustion, flame stabilization, high concentration*

△ **An Experimental Study on the Heat Transfer Properties of a Simulated Hydride Heat Exchanger Used as a Vehicular Air Conditioner** …… Yan Mi, Chen Changpin, Wang Xinhua, Wang Qidong (*Materials Science and Technology Department of Zhejiang University*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 122~126

A heat transfer test under the condition of a hydrogen non-absorption cycle was performed on a simulated and author-designed and fabricated hydride heat exchanger intended for use as a vehicular air conditioner. A formula governing the relationship between heat transfer factor, air flow resistance, Nu and Re has been deduced. Proposed in this paper is also a method for the further enhancement of the reactor heat transfer factor. All the above provides a solid basis for the proper design of vehicular hydride-based air conditioning reactors. **Key words:** *hydrogen-receiving alloy, heat exchanger, heat transfer*

**Edited and Published by Harbin Marine  
Boiler & Turbine Research  
Institute and Editorial Staff  
of this Journal**

**Printer:** Printing House of Harbin Institute  
of Technology  
**Address:** P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin China

Post Code Number 150036

ISSN1001-2060  
Periodical Registration:  
CN23-1176/TK

Distributed by China International  
Book Trading Corporation,  
P. O. Box 399, Beijing, China