

# 一种多孔介质蒸发冷却中冷器性能的初步研究

张正一, 张 妍, 孙聿峰

(哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:**文中简介蒸发冷却中冷器的原理和结构,并通过风洞实验检验各种填料的阻力特性和降温特性,选取合适的填料介质试验。结果表明:蒸发冷却式中冷器原理简单,将其替换原有中冷器应用是可行的,可用于柴油机、燃气轮机进口及 ICR 船用燃气轮机上。

**关 键 词:**蒸发冷却; 中冷器; 填料

中图分类号: TK479 文献标识码: A

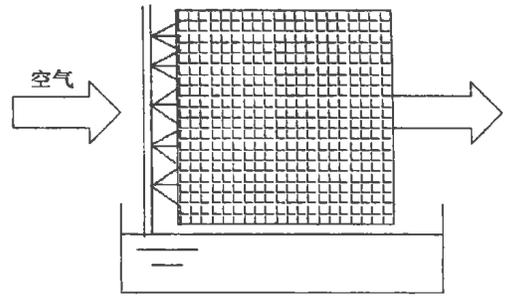


图 1 蒸发冷却中冷器的工作原理

## 1 研究意义

(1) 将蒸发冷却技术应用到柴油机的中冷器上,取代常规中冷器,可简化柴油机系统,提高工作可靠性,减少维护工作量。

(2) 在船舶,尤其在舰艇上,中冷器的尺寸受到制约。这种冷却能力近似普遍中冷器但体积却很小的蒸发冷却中冷器具有更积极的应用价值。

(3) 应用进行蒸发冷却装置的燃气轮机机组,能显著增加机组的出力,有效降低热耗率,提高燃气轮机运行的经济性,在国内外均已应用。

## 2 原理与设计

在蒸发冷却中冷器中,空气与直接接触,空气与水表面的饱和空气层之间存在着温差及水蒸气分压差,在温差和水蒸气压力差的推动下,水蒸气进入空气,空气的含湿量增加,潜热增加;同时空气传递显热给水,空气温度下降。

蒸发冷却中冷器主要由填料及供水系统组成(见图 1),中冷器是从增压器压气机出口进风,另一面出风,蒸馏水经水泵及送水管送到填料前方的喷水分铜管内,通过铜管上的小孔将水均匀地喷在填料层上,润湿整个填料表面。空气由进风面进入,经过淋水填料层时,与填料层表面的水膜进行热湿交换,以达到冷却空气的目的。

## 3 影响因素

影响蒸发冷却中冷器工作性能的因素有很多,将水均匀地淋在填料表面上,尽量使水分散成细小的水滴,使填料得到充分润湿,这是蒸发冷却效率最重要的保证。①迎面风速增大,蒸发冷却中冷器的降温和加湿效果会提高,但风速太大会导致空气与填料之间的接触时间缩短而降低效果,空气阻力也会急剧升高,所以应有适宜的填料迎面风速,不要太大。②进口空气的干湿球温度差越大,热质交换的推动力越大,蒸发冷却中冷器的降温和加湿效果就越好。③淋水密度越大,填料润湿情况越好,蒸发冷却中冷器的降温效果越好,但造成空气阻力的升高,所以淋水密度也要有一个最佳值。④填充厚度的增加使空气与润湿的填料接触时间加长,降温效果显著,但也会导致阻力增大。

填料是蒸发冷却中冷器的一个关键部件,目前选用的填料有:天然植物纤维填料(如木丝、麻绳);经特殊加工的金属填料(如波纹金属网)以及无纺布填料等,我们还利用不锈钢丝网制成一种网垫式多孔材料,记为 ZY-A26 型多孔填料,其中 26 代表 26 层的金属丝网。各种填料性能对比如表 1 所示。

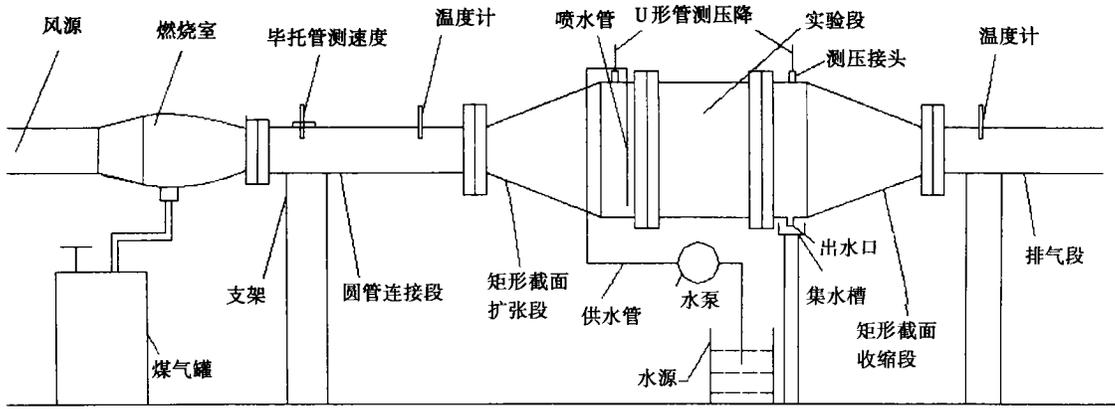


图 2 蒸发式中冷器试验风洞

表 1 各种填料的性能对比表

性能	比表	填充	吸湿性	阻力	防腐	除尘	防火	物理
填料	面积	方式			性能	性能	性能	性能
金属填料	较大	规则	差	小	好	较好	好	好
木丝	大	自由	较好	大	较好	较好	差	较差
无纺布	大	自由	较好	大	较好	较好	差	较差
ZY-A26	较大	自由	差	小	好	较好	好	好

层金属丝网虽然层数较多,但目数较小,压降变化范围满足实验要求,所以多层数小目数叠加的金属丝网是我们所选蒸发冷却降温的介质之一。

## 4 实验研究

### 4.1 实验装置

实验系统由燃烧系统,水系统,空气系统和测量系统组成(见图 2),空气经过燃烧系统参处理,得到适当状态点的空气,水喷洒在填料表面,在填料表面形成水膜,空气与水直接接触进行热质传递,实现蒸发冷却后排出。

测量系统测量如下参数:①大气温度,压力。②水泵流量(喷水量)。③风速。④多孔介质前空气压力。⑤多孔介质两侧空气温度。⑥多孔介质两侧压降。⑦出水口的水量及温度。⑧环境空气的相对湿度。

### 4.2 ZY 型中冷器阻力特性和蒸发特性

本实验的实验介质选用了金属孔板波纹填料(见图 3)、金属刺孔板波纹填料、以及不同目数和不同层数叠加而成的金属丝网。

图 4(a)和(b)分别是 18 层和 10 层的金属孔板波纹填料未喷水时的阻力比较,可见其阻力太大(大于 1000 Pa),故淘汰该材料。(c)~(f)分别是 10 层(50 目)、12 层(50、16、10 目各 4 层)、16 层(16 目和 10 目各 8 层)、26 层(16 目和 10 目各 13 层)金属丝网的喷水与未喷水时测定的阻力。由图中可以看出,随着所测填料前速度的增加阻力也随之增加,而且喷水后阻力比喷水前有成倍的增加。16 层与 26

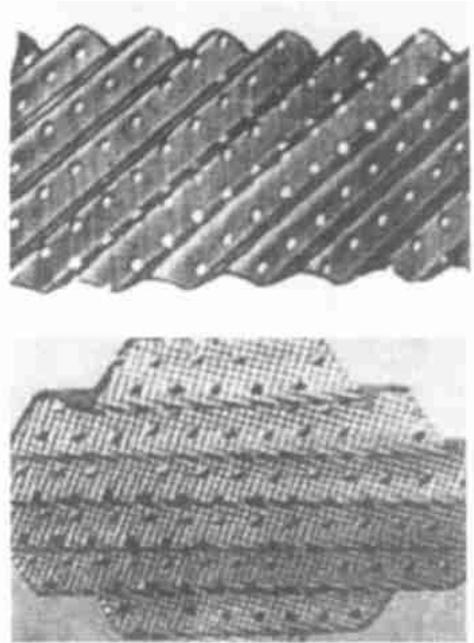
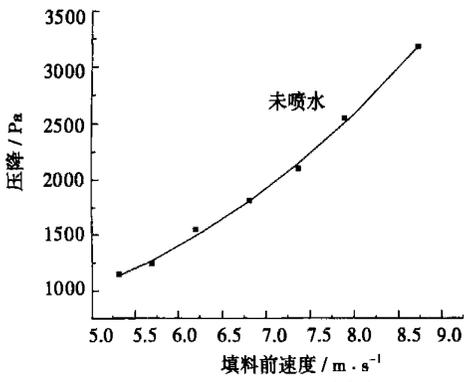


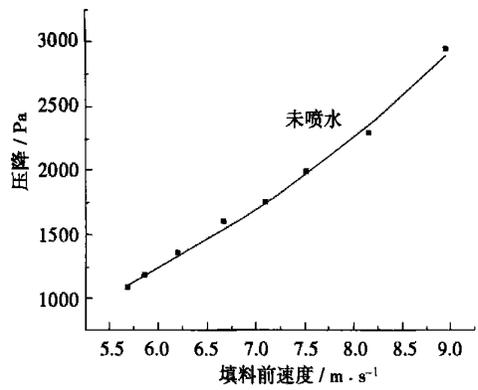
图 3 单层 ZY-I 型和 ZY-II 型金属孔板波纹填料外观图

图 5(a)是 26 层金属丝网蒸发冷却前后温度的对比图,在实验过程中保持供给的煤气量不变,增大风机速度,填料前风速随之增大,进口温度从 122.5 °C 降低到 81.7 °C,通过金属丝网蒸发冷却后,空气出口温度从 90.3 °C 下降到 35.4 °C。

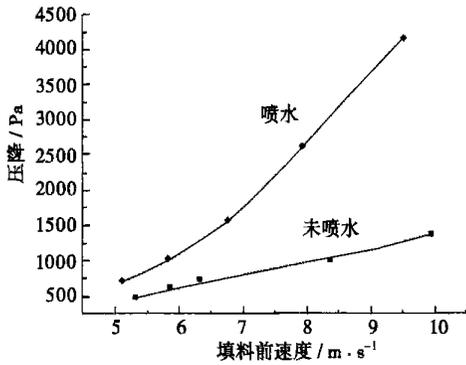
图 5(b)是 26 层金属丝网在 RH=84% 时的降温特性图。在实验过程中保持供给的煤气量不变,增大风机速度测得各工况点,图中介质前后温差最大达到 55.7 °C,此时填料前风速为 8.22 m/s。



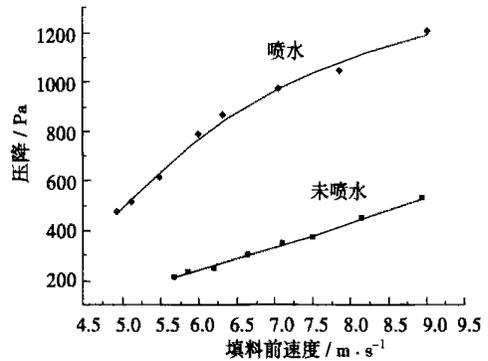
(a) ZY-I 型中冷器的阻力特性 II III IV V VI



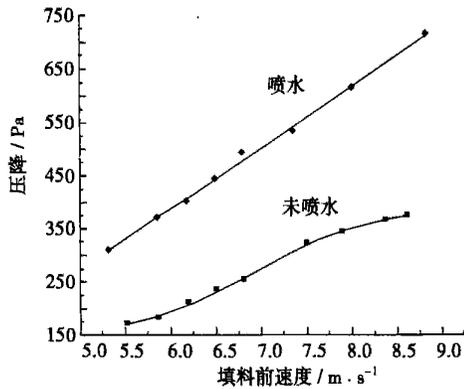
(b) ZY-II 型中冷器的阻力特性 III IV V VI



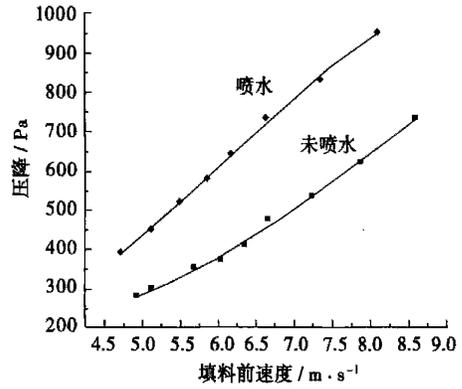
(c) ZY-A10 型中冷器的阻力特性



(d) ZY-A12 型中冷器的阻力特性

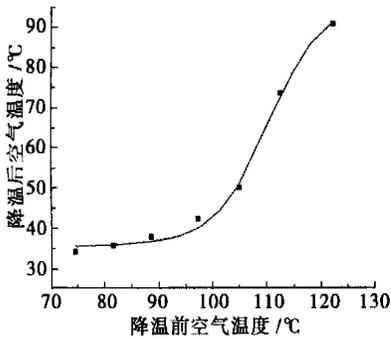


(e) ZY-A16 型中冷器的阻力特性

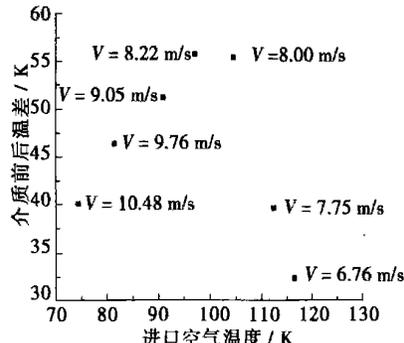


(f) ZY-A26 型中冷器的阻力特性

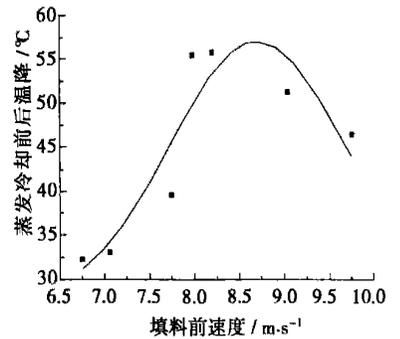
图 4 ZY 型中冷器的阻力特性



(a) 蒸发冷却前后温度对比



(b) ZY-A26 型中冷器在 RH=84% 时的降温特性



(c) 速度与温差关系图

图 5 ZY-A26 型中冷器蒸发降温特性

图 5(c)是 26 层金属丝网在风机速度改变时与降温的温差之间的关系曲线图, 如图所示, 随着风机速度的增加降温的温差逐渐增大, 而在温差达到 55.7 °C 以后, 再增加风机速度温差就呈现下降趋势。原因是: 一方面迎面风速增大, 热质交换系数增大, 蒸发冷却中冷器的降温和加湿效果会提高, 但风速太大会导致空气与填料之间的接触时间缩短而减弱了降温效果; 另一方面在蒸发冷却中, 空气与水表面的饱和空气层之间温差和水蒸气分压差是推动力, 当降温的温差达到一定程度后, 空气的相对湿度增大到一定值, 蒸发冷却的动力降低, 进入空气中的水蒸气减少, 蒸发冷却效果降低。

## 5 结 论

本实验分别研究 ZY-I 型、ZY-II 型、ZY-A10 型、ZY-A12 型、ZY-A16 型以及 ZY-A26 型中冷器的阻力特性, 发现前四者的阻力过大, 超过了常规中冷器的阻力范围, 所以不宜采用。还研究了 ZY-

A26 型蒸发式中冷器实验情况, 结果表明其可以具有原有中冷器所能达到的温降, 而且阻力等于甚至小于原有间壁式中冷器, 能达到实验的目的和要求, 所以可以将其替换原有中冷器。

蒸发冷却式中冷器原理简单, 实例计算证明了其应用可行性, 可应用于柴油机、燃气轮机进口以及可探讨 ICR 船用燃气轮机。本文只是初步的理论和试验研究, 需要日后进一步完善和发展。

## 参考文献:

- [1] 宣永梅. 直接蒸发冷却空调机有填料的性能评价[J]. 洁净与空调技术, 2001, 13(3): 6-8.
- [2] 武俊梅. 直接蒸发冷却空调机性能研究[J]. 西安制冷, 2000, 19(1): 22-24.
- [3] 郑叔琛. 浅谈燃轮机的进气冷却技术[J]. 南京工程学院学报, 2002, 1(3): 23-26.
- [4] 沈维道. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [5] 邢永杰. 淋水金属填料的直接蒸发冷却实验研究[J]. 制冷, 2001, 20(4): 16-19.

(渠 源 编 辑)

(上接第 159 页)

图 9 为燃烧烟煤试验中测得的实际切圆直径为  $\Phi 539$  mm, 是假设切圆直径的 7.7 倍。可见, 燃烧烟煤试验中测得的实际切圆比燃烧无烟煤工况下大许多。这是由于烟煤喷入后迅速着火, 在一次风截面上就已强烈膨胀, 导致煤粉射流严重偏斜。因此在锅炉设计时, 假想切圆的设计一定要与煤种紧密相联。也说明煤粉在炉膛内随着燃烧过程的发展, 其实际切圆是不断膨胀的。而实际切圆膨胀过程不是单调增加, 在燃烧器区域内, 实际切圆还受到一、二、三次风动量矩流率的影响, 一次风速偏小, 一次风层面相对实际切圆直径就偏大, 二次风速较大, 二次风层面相对实际切圆直径就偏小, 燃烧器区域由于有多层一、二、三次风, 因此, 燃烧器区域中的实际切圆沿炉高方向是呈波浪形变化的。冷灰斗区域及炉膛上部由于没有射流干扰, 其相对切圆直径呈单调变化。整个炉膛热态炉内实际切圆变化规律如图 10 所示。

## 5 结 论

(1) 在本实验条件下, 冷态实际切圆直径为假

想切圆直径 2.0 倍, 实际切圆随炉膛高度基本呈线性逐步变大。

(2) 高挥发分、易着火烟煤实际切圆直径明显大于无烟煤工况; 在本实验条件下, 燃烧宜宾无烟煤时, 一次风截面热态切圆直径大约为假想切圆直径的 3 倍; 燃烧神木烟煤时, 一次风截面热态切圆直径大约为假想切圆直径的 7.7 倍。

(3) 燃烧器区域受不同层次一、二、三次风不同动量矩流率的影响, 炉内实际切圆直径是波浪形变化。旋转烟气流离开燃烧器区域后, 由于没有射流制约, 燃烧化学反应剧烈, 气流剧烈膨胀, 实际切圆直径迅速变大, 并贴壁。

## 参考文献:

- [1] 曾汉才. 劣质煤燃烧与利用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993.
- [2] 何佩葵, 赵仲虎, 秦裕琨. 煤粉燃烧器的设计与运行[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 张 旋. 燃烧器四墙布置切圆燃烧锅炉内空气动力场与烟道内流场冷态模化试验研究与数值模拟[D]. 西安: 西安交通大学, 1995.

(渠 源 编 辑)

film, compact heat exchanger

一种多孔介质蒸发冷却中冷器性能的初步研究 = **A Preliminary Study of the Performance of a Porous-medium Evaporative Cooling-based Intercooler** [刊, 汉] / ZHANG Zhen-yi, ZHANG Yan, SUN Yu-feng (College of Power and Nuclear Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 163 ~ 166

The theory and construction of an evaporation-cooled intercooler is briefly described. By way of wind tunnel tests the resistance and temperature-reduction characteristics of various packings were verified, resulting in the selection of proper packing media. It is shown that the evaporation-cooled intercooler is simple in theory and can be installed at the inlet of a diesel and gas turbine and employed on a ICR (intercooled recuperative) marine gas turbine. It is feasible to use the intercooler under discussion to replace an originally installed intercooler. **Key words:** evaporative cooling, intercooler, packing

基于复合进化算法和 Navier—Stokes 方程求解技术的透平叶栅气动优化设计 = **Optimized Aerodynamic Design of Turbine Cascades Based on Composite Evolutionary Algorithms and Navier-Stokes Equation Solution Techniques** [刊, 汉] / LI Jun, REN Bin, FENG Zhen-ping (College of Energy & Power Engineering and Institute of Turbomachinery under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 167 ~ 170

The optimized aerodynamic design of turbine cascades is presented, which has been based on composite evolutionary algorithms and Navier-Stokes equation solution techniques. By combining evolutionary algorithms with a Simplex method the resulting composite evolutionary algorithms can enhance the search efficiency of evolutionary hereditary algorithms through a reform of the worst individuals in a population by using the Simplex method. The design objective of turbine cascade aerodynamic optimization is to minimize the total pressure loss. The coordinates of the control points of Bezier curves for the cascade profile parametrization serve as the optimized design variables. Reynolds-averaged Navier-Stokes equation solution techniques were used to calculate the total pressure loss. Baldwin-Lomax algebraic turbulent model is used as a turbulent model. The optimized design has reduced the total pressure loss of the cascades by 20%. The design results demonstrate that the optimization techniques used by the authors for the turbine-cascade aerodynamic design proved to be an effective approach. **Key words:** composite hereditary algorithm, turbine cascade, optimization, design

一种多股流换热器综合性能优化设计方法 = **Comprehensive-performance Optimization Design Method for Multi-stream Heat Exchangers** [刊, 汉] / ZHAO Yong-qin, CUI Guo-min, LU Hong-bo, LI Mei-ling (Research Institute of Thermal Engineering under the Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(2). — 171 ~ 174

On the basis of a comprehensive consideration of such factors as volume, weight and resistance, etc a flow-channel layout and an optimized design were carried out for a multi-stream heat exchanger. Moreover, a dimensionless analytical method is applied to define a synthesis (syn) factor and synthesis line, etc in order to evaluate the comprehensive performance of the heat exchanger. A detailed analysis is performed of the process of fin-structure comprehensive optimization by making use of the synthesis factor. A comparison of the analysis results with design ones indicates that the method under discussion is suitable for the comprehensive-performance optimization design of the multi-stream heat exchangers. **Key words:**