文章编号: 1001－2060(2003)06－0605－03

N6135 柴油机进口加湿技术中压气机的性能研究

张正一, 郑 群, 张 伟
(哈尔滨工程大学 动力与核能工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 通过对 N6135 增压柴油机进口加湿的理论计算和试验研究, 论述了压气机内蒸发压缩过程的研究方法, 并初步验证了——通过进口加湿降低压气机出口温度、减少压缩功等理论, 为增压柴油机能在恶劣环境中的可靠工作提供了依据。

关 键 词: 柴油机; 进口加湿; 压气机
中图分类号: TK421 文献标识码: A

1 引 言

增压柴油机进口加湿技术是燃气轮机湿压缩技术在增压柴油机上的应用[1]。涡轮增压器与柴油机在恶劣情况下匹配失调等问题是增压柴油机需要解决的问题。增压柴油机进口加湿指的是: 雾化良好的水和空气是在进口加湿器里基本上混合均匀后, 经柴油机进气口进入增压器, 在增压器内进行蒸发, 以潜热和显热的形式吸收相当部分的压缩热, 改善压缩过程, 并基本上完全蒸发, 然后混合工质进入气缸, 进而影响缸内的热力过程和排气。

进行增压柴油机进口加湿技术研究有着重要而积极的意义; 首先可以增加进气量。进气量的增加包括两部分, 一部分是水雾在加湿器里已经开始蒸发, 对气体进行冷却, 从而增加进气密度; 另一部分是汽化后的水蒸气。其次是可以降低压气机出口气体温度, 减少压缩消耗的功, 从而提高热效率。利用水具有较高的汽化潜热, 在压气机内对气体直接进行掺混蒸发冷却, 获得偏离多变过程向绝热压缩接近的压缩过程, 从而达到预期的目的。再次可以降低排气温度, 增大排气量, 有效的解决了环境温度很高时有效功率和排气温度难以同时达到设定值的矛盾。最后减少或消除缸内积碳, 防止烃类气体在压缩时的高温聚合, 有效的降低 NO_x 等污染物的排放, 使发动机工作可靠, 在恶劣环境下仍能达到优良的性能。

2 直接掺混蒸发内冷压缩过程的计算

水气混合工质首先进入压气机, 在压气机内完成蒸发吸热的内冷却过程, 所以, 对于有进口加湿的发动机, 关注的核心是发生在增压器内的直接掺混蒸发内冷的压缩过程。

实际的喷水压缩过程中, 从加湿器至水完全蒸发过程中, 蒸发一直在进行, 液态水、饱和水、饱和水蒸气、过热水蒸气与空气共存。利用微分的概念来分析这一过程, 则其蒸发过程可以看成是有无限个蒸发、吸热过程组成, 在 $T \sim S$ 图上如图 1(a) 所示, 每一个 m_2 点都可以看成是水的加入点, 其对应的 m'_2 点是 m_2 点加入水的完全蒸发点, 把每一个蒸发过程(即 $m_2 - m'_2$ 段) 称为一个蒸发段, 则压气机内的蒸发过程是由无数蒸发段组成。由于其过程很复杂, 为了对这一过程进行计算分析, 本文计算是在一段蒸发(如图 1(b)) 的假设下进行的, 假设如下:

(1) 液态的水在压缩过程中的某一压力 P_{m2} 下开始吸热蒸发, 至 m'_2 完全蒸发。根据文献[2], 取 $P_{m2} = \sqrt{P_1 \times P_2}$, 其中 P_1 为压缩始点的压力, P_2 为压缩终点的压力;

(2) 喷水后, 压比 π_k 不变;

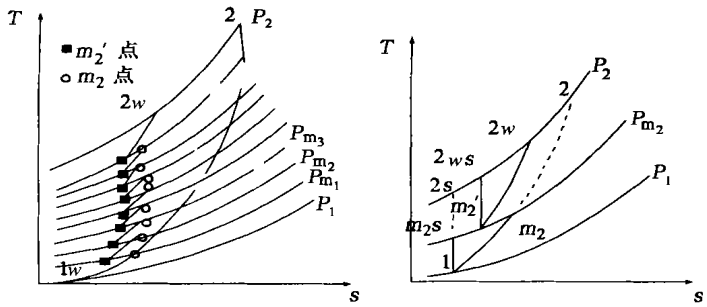
(3) 不考虑喷水对压缩过程中气体流动的影响;

(4) 计算湿压缩终点温度时, 假设压气机效率不受喷水加湿过程的影响, 蒸发前 $P_1 \sim P_{m2}$ 段效率 η_1 和蒸发后 $P_{m2} \sim P_2$ 段效率 η_2 相等;

(5) 根据由加湿器产生的水滴的直径 $d < 10\ \mu m$, 认为水在压缩过程中完全蒸发。

收稿日期: 2003－04－15
作者简介: 张正一(1955－), 男, 辽宁辽阳人, 哈尔滨工程大学工程师.

(C)1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)实际和简化压缩过程 (b)一段简化压缩过程

图 1 压气机干压缩和湿压缩过程的 $T-S$ 图

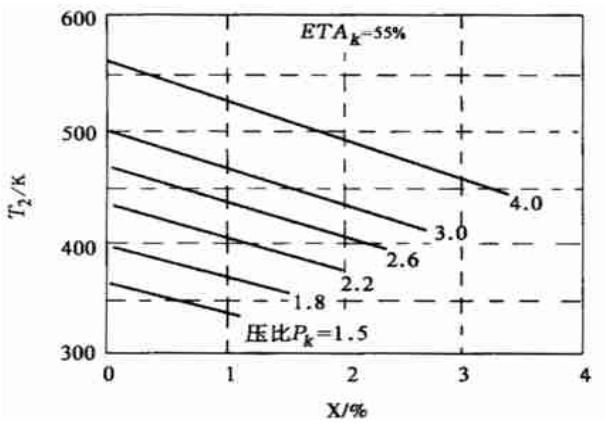


图 2 效率一定时喷水量 X 对出口气体温度 T_2 的影响

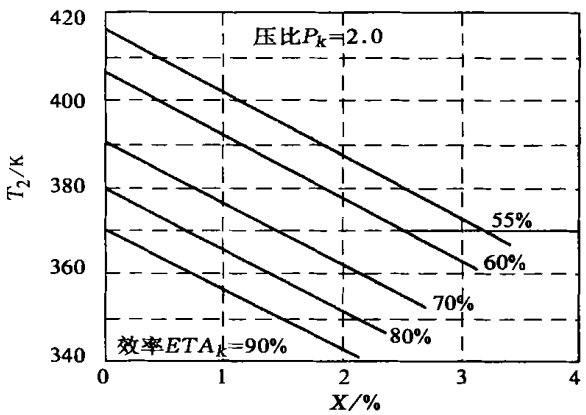


图 3 压比一定时喷水量 X 对出口气体温度 T_2 的影响

在以上假设条件下，利用试算法来确定 m_2 点的温度 T_{m2} 和蒸发前后两端的效率 η_1、η_2。蒸发过程的计算根据热力学基本方程和热量平衡方程进行，并利用试算法确定完全蒸发点 $T_{m'}$ 的值。利用空气、水和水蒸气在各种状态点的焓值来确定湿压缩过程压缩终点的湿度、所消耗的压缩功、始压缩效率等参数[2]。根据上述计算方法编程计算得出结果并进行分析讨论。

3 部分计算结果

不考虑干空气进行量 m_α 的变化，计算取值：

（1）大气压力 $P_0 = 10^5$ Pa，$T_0 = 25$ ℃，相对湿度 $RH_0 = 60\%$；

（2）压气机干压缩绝热效率 $\eta_k = 50\% \sim 90\%$；

（3）压比 π_k 从 1.5 ~ 4.0；

（4）喷水量从零到蒸发条件下的饱和，水温 25 ℃。

将对应不同效率 η_k、压比 π_k、喷水量 X 的 T_{2w}、W_{kw}、η_{kw} 等参数进行计算，其中，喷水后的压缩功 W_{kw} 定义为单位进气所消耗的压缩功，其单位为 J/kg 进气，将一段蒸发假设的计算结果进行分析得出结论。

3.1 对压气机出口温度 T_2 的影响

进口加湿对出口温度 T_2 的影响的分析主要做两种情况的计算，如图 2 ~ 图 3 所示，图中 ETA_k 为干压缩绝热效率 η_k，RH_0 为相对湿度。

首先计算压气机干压缩热效率 η_k 不变时不同压比下的影响。同一压比下，压气机出口气体温度随喷水量 X 的增大而降低。压比越高，压气机出口温度的降低越明显，当绝热效率 $\eta_k = 55\%$、压比 $\pi_k = 4$、$X = 3.4\%$ 时，出口温度可降低 115 ℃。

其次计算压比 π_k 一定时不同效率下的比较。同一干压缩绝热效率 η_k 下，压气机出口气体温度随喷水量 X 的增大而降低，其减小量 ΔT_w 随 X 的增大而增大。效率越低，其可喷入的水量也较大，压气机出口温度 T_2 的降低也更明显。

3.2 对压缩比功 W_k 的影响

两种情况下的计算：

首先是压气机干压缩绝热效率 η_k 不变时不同压比下的影响。如图 4 所示，同一压比下，压气机消耗的压缩比功 W_k（J/kg 进气）随喷水量 X 的增大而减少，其减少量 $\Delta W_{kw} = (W_k - W_{kw})$ 随 X 的增大而增大。压比越高，压缩功的减少越明显，当热效率 η_k

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

= 55%、压比 π_k = 4、x = 3.4% 时，压缩功减少了 7.5%。

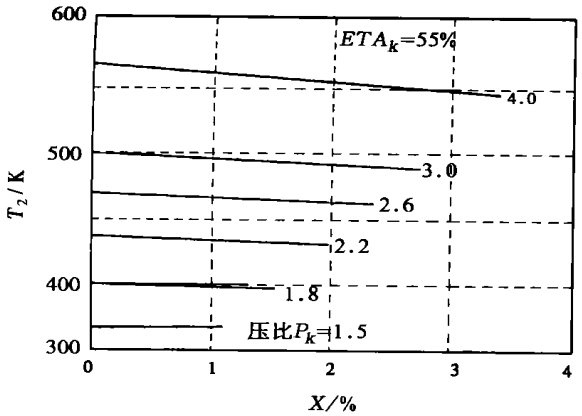


图 4　压缩过程中压气机比功 W_k 在定效率下随喷水量 X 的变化

其次是压比 π_k 一定时不同干压缩绝热效率 η_k 下的比较。如图 5 所示，同一效率 η_k 下，压气机所消耗的压缩功 W_k(J/kg 进气)随喷水量 X 的增大而减少，其减少量 $\Delta W_{kw} = (W_k - W_{kw})$ 随 X 的增大而增大。效率较低时可喷入水量较大，其压缩功的减少也较明显。

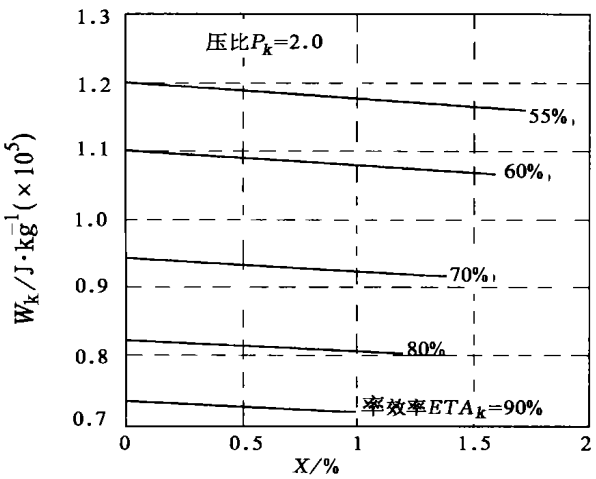


图 5　压比一定时，喷水量 X 对出口气体温度 W_k 的影响

3.3　对湿压缩绝热效率 η_{kw} 的讨论

有进口加湿的压气机的绝热效率即压缩绝热效率 $\eta_{kw} = W_{kws}/W_{kw}$，其中，$W_{kws}$ 表示湿压缩过程的等熵压缩功，W_{kw} 表示湿压缩过程的实际压缩功。η_{kw} 与无进口加湿的压气机的绝热效率 η_k 相比有显著的提高，可以从以下几个方面分析：首先保持干压缩过程的绝热效率 η_k 不变，η_{kw} 随喷水量的增大而增大，且压比越小，η_{kw} 提高越明显，如图 6 所示。同一压比下，干压缩绝热效率 η_k 越小，η_{kw} 的提高越明显，当热效率 η_k = 55%、压比 π_k = 1.5、X = 1.1% 时可提高至 78%，如图 7 所示。

4　进口加湿的试验验证

在对 N6315 增压中冷柴油机进口加湿试验中，通过进口加湿器对 N6315 柴油机进行加湿，试验条件如下：大气压力 0.98×10^5 Pa，环境温度 28 ℃，相对湿度 RH = 40%，柴油机转速 n = 1 500 r/min，负荷为 120 kW，当加湿量为 6 g/s 时，压气机出口温度降低 16 ℃，中冷后温度降低 5 ℃，气缸排气温度降低 15 ℃[3~4]。

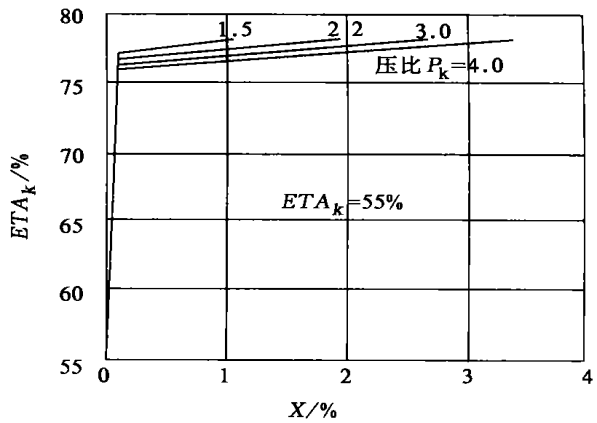


图 6　η_k 一定时，喷水量 X 对压气机湿压缩绝热效率 η_{kw} 的影响

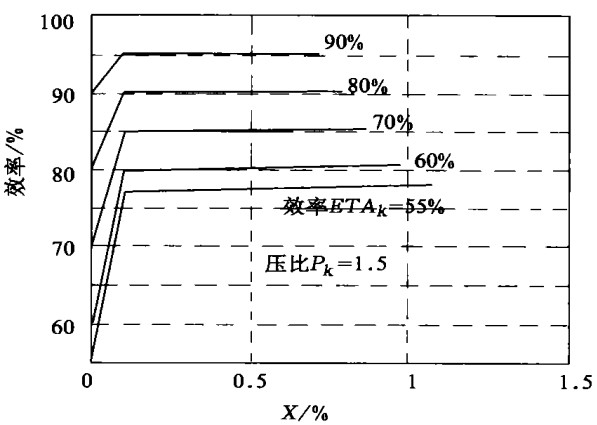


图 7　压比一定时，喷水量 X 对压气机湿压缩绝热效率 η_{kw} 的影响

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文章编号: 1001－2060(2003)06－0608－04

自转清洗扭带管对流传热强化机理的实验研究

张 琳[1,2], 俞秀民[2], 宣益民[1], 彭德其[2]
(1. 南京理工大学 动力学院, 江苏 南京 210094; 2. 株洲工学院 机械清洗研究所, 湖南 株洲 412008)

摘 要: 具有传热强化功能的自转螺旋扭带清洗防垢技术发展较快。应用激光测速仪 LDV(Laser Doppler Velocimeter)实验研究自转清洗扭带管内流体的湍流特性。结果表明: 在自转扭带的带动下, 管内流体的流动结构发生了反常态的变化, 在近管壁环形区域内流体的轴向分速度明显比管中心区域的高, 轴向湍流度比无自转扭带时大; 切向分速度随半径的增大而增大, 并且存在很大的径向湍流度。这些结果初步说明了自转螺旋扭带管对流传热强化的机理是: 管内由扭带带动形成的强制旋流和轴向平行流叠加而形成的螺旋流动, 以及近管壁环形区域内流速的增大, 不仅加强了边界层流体的扰动以及边界层流体与主流流体的混合, 并且使边界层厚度减薄, 从而才使管内的对流传热得以强化。本文试验研究的结果为自转螺旋扭带管内对流传热强化机理的深入理论研究提供实验基础。

关 键 词: 自转螺旋扭带; 激光测速 LDV; 湍流特性; 强化传热机理; 实验研究

中图分类号: TK124 文献标识码: A

1 引 言

换热器在石油、化工、冶金、动力、制冷等工业部门有着广泛的应用。在现代石油化工企业中, 换热器的投资要占全部设备投资的 30% ~40%[1]。因此, 换热器的高效率运转对企业的经济效益非常重要。近 20 年, 国内外学者就换热器污垢的自动清洗及其传热强化进行了大量的研究, 不少成果已在工业上应用。

其中, 插入传热管内的扭带技术, 由于其具有自动清洗污垢和强化传热的双重功能, 且方法简便有效, 不仅适合新投运设备的强化传热和抑制污垢沉积, 而且易于对在役旧设备进行技术改造, 因而应用广泛[2~8]。特别是自转螺旋塑料扭带技术, 由于特殊塑料材料的研制和成型技术的成功, 解决了金属螺旋扭带对传热管壁的磨损问题, 市场前景更加广阔[9~10]。其工作原理如图 1 所示: 在每根换热管的流体进口端安装一根塑料扭带, 利用传热介质自身流过扭带所传递的动量矩使扭带旋转, 不断地刮扫和撞击管内壁, 从而达到清洗管内污垢、抑制污垢沉积和强化对流传热的目的。

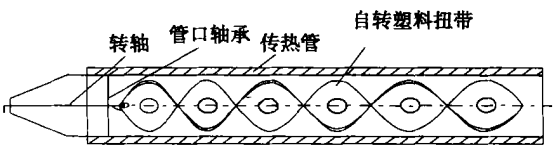


图 1 自转塑料扭带的工作原理图

收稿日期: 2003－02－18
基金项目: 国家教育部科学技术研究重点计划项目(00208)
作者简介: 张 琳(1969－), 女, 湖南郴州人, 南京理工大学博士生, 株洲工学院机械清洗研究所访问学者, 现在江苏工业学院机械工程系任讲师.

5 结 语

本文作者仅对柴油机进口加湿技术的理论和试验进行了初步的探讨, 理论计算和试验结果基本一致, 为增压柴油机进口加湿的研究提供了依据, 同时这项技术对增压柴油机在恶劣环境下恢复功率、提高工作可靠性方面也有着积极的意义。

参考文献:

[1] 李淑英. 压气机级间喷水湿压缩燃气轮机原理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 1999.
[2] 沈维道. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
[3] 哈尔滨工程大学湿压缩课题组. 哈尔滨工程大学 6135 进口加湿试验结果 3[R]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2001.
[4] 马同玲. 增压柴油机进口加湿技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2002.

(渠 源 编辑)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Post Code: 150036), GAO Pu-zhen (Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(6). — 597~599

By using software ANSYS a three-dimensional model was set up for the turbine cylinder and rotor of a marine steam turbine. The thermal expansion during a cold-state startup was calculated and analyzed. Presented are the time-dependent thermal expansion displacement curves and relative thermal expansion curves of the turbine cylinder and rotor at the gland seal of a rear shaft end, and also at other locations. The calculation results may be used for the research of steam turbine dynamic characteristics and the design of startup procedures. **Key words**: marine steam turbine, thermal expansion, cold-state startup

湿压缩压气机特性的研究= **Research on the Characteristics of a Wet Compression Compressor** [刊,汉] / LI Shu-ying (School of Electronic Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), ZHU Jian-hong, LU Wei (College of Power &Nuclear Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(6). — 600~604

Compressor compression work can be decreased by the injection of water into a compressor. The change of working medium properties after the water injection will lead to a change in compressor characteristics. To identify the compressor characteristics following the water injection, a simulation of such characteristics was conducted by using an approximate analogous theory in order to ascertain the effect of the water injection on the compressor pressure ratio and flow rate, etc. As a result, the wet compression compressor characteristics were identified through the above-mentioned approximate modeling. The above work can provide a solid basis for the applied research of wet compression technology in gas turbines, turbocharged diesels and turbocharged gasoline engines. **Key words**: wet compression, compressor, characteristics, simulation

N6135柴油机进口加湿技术中压气机的性能研究= **An Investigation of the Impact on Compressor Performance of Water Injection at a Diesel Inlet** [刊,汉] / ZHANG Zheng-yi, ZHENG Qun, ZHANG Wei (College of Power & Nuclear Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2003, 18(6). — 605~607

A theoretical calculation and an experimental study were performed concerning the water injection at the inlet of a turbocharged diesel. On this basis the authors have developed a method for studying the evaporation/compression process in a compressor and preliminarily verified the theory that the above-mentioned water injection can lead to a reduction of compressor outlet temperature and also compression work. The foregoing provides a solid basis for the reliable operation of turbocharged diesel engine under poor environmental conditions. **Key words**: diesel engine, water injection, compressor

自转清洗扭带管对流传热强化机理的实验研究= **Experimental Investigation of the Mechanism of Intensified Convective Heat Transfer in a Tube with Self-rotating Twisted Tapes for Cleaning Purposes** [刊,汉] / ZHANG Lin, XUAN Yi-min (College of Power Engineering under the Nanjing University of Science &Technology, Nanjing, China, Post Code: 210094), YU Xiu-min, PENG De-qi (Research Institute of Mechanical Cleaning under the Zhuzhou Engineering College, Zhuzhou, China, Post Code: 412008) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 608~611

Fouling prevention technology involving the use of self-rotating spiral-twisted cleaning tapes featuring an intensified heat transfer function has seen a relatively rapid development these days. The authors have with the help of a Laser Doppler velocimeter performed an experimental investigation of the fluid turbulent characteristics in a tube with self-rotating cleaning twisted tapes. The results of the investigation indicate that under the driving force of the self-rotating twisted tapes the fluid flow structure in the tube undergoes an abnormal change. The axial velocity component in the ring-shaped zone near a tube wall is markedly higher than that in the tube central zone with the axial turbulence being greater than in the case

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net