

二冲程低压双燃料发动机双壁燃气管制造

姚 剑, 黎海涛

(中船温特图尔发动机(上海)有限公司, 上海 201208)

摘 要: 针对二冲程低压双燃料发动机气体燃料系统双壁燃气管制造, 从工装、焊接、机加工等方面对制造过程的要点和难点进行解析。双壁管的成功开发与应用可降低采购成本, 缩短交货周期, 实现该关键零部件的自主开发与制造。

关键词: 双壁管; 制造; 焊接; 发动机

中图分类号: TK426 文献标志码: A 文章编号: 1001-4357(2023)02-0054-03

Manufacturing of Double-Wall Gas Pipe of Two-Stroke Low-Pressure Dual-Fuel Engine

YAO Jian, LI Haitao

(Winterthur Gas & Diesel (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201208, China)

Abstract: Regarding the manufacturing of double-wall gas pipes in the gas fuel system of a two-stroke low-pressure dual-fuel engine, the key points and difficulties in the manufacturing process are analyzed from aspects of tooling, welding, and machining, etc. The successful development and application of double-wall pipes can reduce procurement costs, shorten delivery cycles, and realize independent development and manufacturing of this critical component.

Key words: double-wall pipe; manufacturing; welding; engine

0 引言

目前, 船用低压双燃料发动机是在传统燃油发动机的基础上增加一套气体燃料进气及控制系统, 通过燃油和燃气的自由切换满足船舶在不同海域的排放需求。低压双壁燃气管(以下简称双壁管)是该燃气系统的重要组成部分, 环绕在气缸体外围。燃气系统管路由直管、弯管、T型管、球阀及执行器和双壁波纹管等零部件组成, 如图1所示。其中双壁管占比最多、尺寸最大, 是装配的基础部件。以某船用低压双燃料机双壁管为例,

介绍其开发制造的要点。

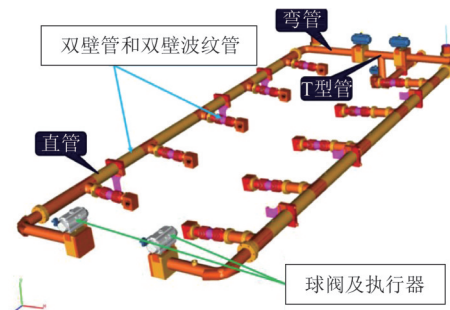


图1 低压双燃料机燃气系统管路

1 双壁管工作原理和结构

当发动机以燃气模式运行时，双壁管的内管传送气体燃料至各个气缸，内外管之间的夹层维持负压通风，由发动机控制系统通过传感器实时监测其气压，在压强波动时触发紧急停机程序。双壁管结构如图2所示。发动机处于燃油模式或停机状态时，通风系统对所有燃气管路泄压。在维护保养前，燃气系统采用惰性气体（一般为氮气）进行净化处理。

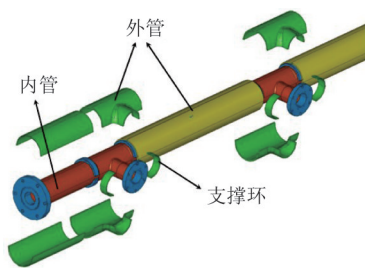


图2 双壁管结构示意图

2 双壁管制造流程

双壁管制造流程见图3。

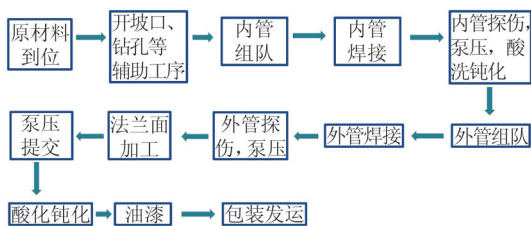


图3 双壁管制造流程图

3 双壁管制造要点

3.1 形位尺寸的控制

双壁管的管材为奥氏体不锈钢 TP316L (ASTM A269—2010)，对应国内材料为 00Cr17Ni14Mo2 (GB/T 14976—2002)，法兰、弯头及三通与管同材质。奥氏体不锈钢 TP316L 材料的焊接性能不错，但是相比普通碳素钢，其线膨胀系数大、热导率低，导致焊缝收缩量大，焊接变形不易控制。由于联动尺寸多，整体焊接完成后的局部焊接返修后的变形对于其他部位尺寸的影响无法预测。

装机后，各段双壁管之间通过平法兰与带密封槽法兰的刚性接触来压紧 O 型密封圈以保证气密性。为了避免装配后发生泄漏，对端面法兰之间的平行度以及端面法兰与支管法兰的垂直度都有

严格要求。例如：长度约为 7 m 的直管两端法兰平行度要求为 0.5 mm，端面法兰与支管法兰的垂直度要求为 1 mm。为了满足如此严格的设计要求，形位尺寸的控制必须从焊接和焊后加工两方面着手，精准预测焊缝收缩量，严格控制焊接变形，确保焊后形位尺寸的偏差值小于平法兰的预留加工量。因此，针对直管、弯管和 T 型管设计专用拼装定位工装，是保证焊后形位尺寸的必要条件。专用工装首先要保证零件拼装时的同轴度、平行度、垂直度以及图纸尺寸，其次要预留焊接操作空间，并确保焊缝能自由收缩。

3.2 焊接要点

双壁管的内管为船级社规定的 I 级管，焊缝等级为 ISO 5817 标准规定的 B 级；外管为 II 级管，焊缝等级为 C 级。双壁管的焊缝接头设计以对接接头为主，B 级或 C 级要求焊缝必须全熔透。因此，在拼焊时，必须预留 2~4 mm 间隙，且在圆周方向采用多位置点焊或多个定位块，将拼装间隙进行刚性固定。为减少焊接变形，尽量使用转台，确保焊工处于舒适的固定位置，缩短焊接时间。如果须全位置焊接，建议采用图4所示的焊接位置及顺序，以减少变形量。

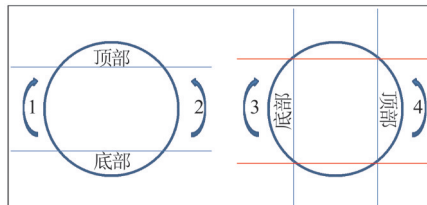


图4 焊接位置和顺序示意图

采用钨极氩弧焊，焊材型号为 AWS A5.9 ER316L，焊接保护气体为纯氩。根据设计方的特殊要求，焊缝背面同样采用氩气保护，保证焊缝质量。通过焊接工艺评定验证的结果来规定相关焊接工艺参数。

3.3 装焊顺序要点

整体焊后的局部焊接返修由于关联尺寸太多，会导致焊接变形无法控制。为减少此类返修，以直管的内管为例，可采取以下措施：

(1) 工序1。内管所有三通与支管先在平台拼装，然后夹持在转台上进行焊接，如图5所示。焊接完成后，进行尺寸检验和无损检测（射线检测和渗透检测），若检测合格则进入下个工序，不合格则进行返修，直至合格。



图5 三通与支管拼装示意图

(2) 工序2。采用专用工装，将工序1的带支管的三通与一段内管的直管段进行拼装，然后夹持在转台上进行焊接，如图6所示。经尺寸检验和无损检测合格后进入下个工序。



图6 与内管直管段拼装示意图

(3) 工序3。采用专用工装，将工序2的各管段逐段进行拼装，每次只拼装一道焊缝的相关部件，并夹持在专用工装上进行焊接，经尺寸检验和无损检测合格后，再拼装下一道焊缝的相关部件。在试制和初始阶段，此工序的焊缝须逐一进行尺寸检验和无损检测，待经验丰富后，可在工序2的各段管整体焊接完成后进行无损检测。逐段拼装管段示意图如图7所示。



图7 逐段拼装管段示意图

(4) 工序4。将工序3的整段管装夹在专用工装上，依照专用工装的固定尺寸，拼装各支管法

(上接第25页)

实时性要求的同时，还可低成本。在热气机3个额定工况运行点（630℃、670℃和700℃）上，热气机管壁温度控制精度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，达到预期目标。

实际使用结果表明：采用该电路测量的热电偶温度数据真实、可靠，热电偶信号处理方法满足温度测量的需要，可用于温度参数的提取和数据分析。设计经验和方法可在相关领域推广应用。

参考文献

- [1] 顾根香, 彭小方, 潘卫明, 等. 斯特林技术发展与应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2020.
- [2] 徐朝胜, 闫改珍, 国海, 等. 一种基于K型热电偶的精密测温系统[J]. 白城师范学院学报, 2019, 33(4): 18-23.
- [3] 王晓丹, 孟令军, 文波, 等. 基于K型热电偶的高精

度测温装置设计[J]. 自动化与仪表, 2014, 29(11): 12-15.

(5) 工序5。在工序4的基础上，采用专用工装拼装端部法兰，并夹持在专用工装上进行焊接，经尺寸检验和无损检测合格后进入下个工序。

双壁管外管的壁厚比内管薄，内管经酸洗钝化后，可从某一端部开始，围绕端部法兰和三通进行分段，逐段进行拼装焊接。在此过程中须密切关注外管三通与内管三通支管部位的相对尺寸，如出现明显偏差应及时进行调整。

3.4 加工要点

鉴于刚性接触的法兰中有一个是带有密封槽的，对密封槽的尺寸要求较为精密，所以焊后加工只可在平法兰上进行，且加工量只允许在预留加工量的范围内。

应设计专用加工夹持工装对双壁管与工作台进行固定，确保在加工过程中双壁管整体不会振动或窜动。双壁管置于V型架上时，压紧力不能直接施加在外管上，以防外管变形。建议在法兰圆周面上施加压紧力，同时从背面顶住法兰，以防振刀。

4 结论

通过技术攻关，国内已于2019年成功开发双壁管，并应用在缸径为500 mm、620 mm、720 mm、920 mm等船用低压双燃料发动机上，降低采购成本，缩短交货周期，实现该关键零部件的自主可控。

度测温装置设计[J]. 自动化与仪表, 2014, 29(11): 12-15.

[4] 徐旭, 谢剑芳. 基于ADS1248的K型热电偶温度测量系统[J]. 自动化仪表, 2018, 39(6): 75-77.

[5] 曾小信, 邱立运. 热电偶测温采集精度的影响因素及优化方法[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(9): 37-40.

[6] 刘向宇, 秦龙. PIC单片机C语言程序设计实例精粹[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

[7] 王鲍, 张雄杰, 胡斌, 等. 高精度AD采集卡性能测试及评价方法研究[J]. 中国测试, 2022, 48(2): 135-140.

[8] YING B. Microcontroller engineering with MSP432: fundamentals and applications[M]. Abinfdon: Taylor & Francis, 2016.

[9] 张生磊, 袁同山. 基于STC15W4K60S4单片机智能供暖控制器的设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(4): 180-184.