

双燃料主机燃气管系设计浅析

陈天凤，周秀亚，徐亚南

摘要：燃气管系是在发动机处于燃烧天然气的工况下时，进行燃气的输送、分配、监测等，本次燃气管系是为某型船用二冲程低速双燃料主机设计的。根据进排气需求、监测需求、空间布置和实际实施情况等，对燃气管系的整体布置方案进行了规划。同时对燃气双壁管在管道规格、弯头、法兰、阀件连接等处的结构进行了详细设计，并对存在的局限性进行了补充分析。

关键词：双燃料主机，燃气，双壁管，详细设计

0 引言

当前随着新的限硫令的实施，全球船舶硫排放标准不得超过等同于 0.50% 硫含量的燃料的排放量，而在各个排放控制区内，这一标准是 0.10%。面对越来越严苛的排放要求，除了使用低硫柴油和安装废气洗涤(EGC)系统等方法，采用柴油加天然气组合的双燃料主机也越来越多地成为大型民用船舶的选择。

双燃料机可以通过更换燃料来适应不同海域的排放标准，在兼容性上具有较为明显的优势。燃气管系则主要是在发动机处于燃烧天然气的工况下时，进行燃气的输送、分配、监测等。本次的燃气管系设计即是针对某型船用二冲程低速双燃料主机。

1 燃气管系整体布置

1.1 燃气管主体

如图 1 所示，燃气管的入口在主机自由端，先经过压力调节模块(IGPR)对燃气压力调节达标后，再进入具体的分配管路。根据供气需要，要在气缸的两侧开设对应的进气口，因此燃气主管也分两路，然后通过各路支管连接到各个进气口上的进气阀(GAV)上。剩余的燃气会在主机输出端汇聚后排出。

缸套两侧的主管在对各缸进行燃气分配前和分配后的管道上，分别安装了止回阀（前）、排气阀（后）和对应的电控装置，用来对燃气流量进行调节控制；在止回阀之后、各缸分配之前，额外设置了压力传感器，用以实时监控内管的燃气压力是否达标。在自由端燃气流出 IGPR 之后、进行分配之前，管路上还存在一小段支管，其上也接入了一套球阀和电控装置，相当于旁通管路，对内流道燃气起泄压、调节作用。

同时在燃气入口和各路支管上都安装有一段波纹管，波纹管上弹性元件的伸缩变形，

可以有效吸收管路由于冲击或热胀冷缩所造成的载荷和应力集中。

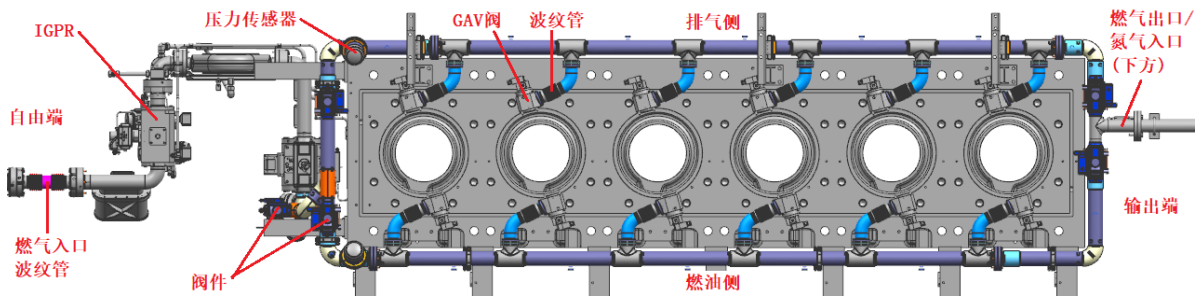


图 1 燃气管主体的布置

1.2 燃气排出及氮气填充

燃气管是高压管，内部燃气压力较高，为保证安全性将管道设计成双壁管结构，燃气在内管道流通，而外管道内则填充入惰性气体（一般是氮气 N_2 ）来进行保护，防止燃气泄露造成危害。

由于经过排气阀后燃气压力会降低，所以输出端的排气管不再采用双壁管形式，单壁管路直接排气。氮气输送管路布置在输出端燃气管下方，通过与排气阀外的特制壳体相连来接通外流道，如图 2 所示。

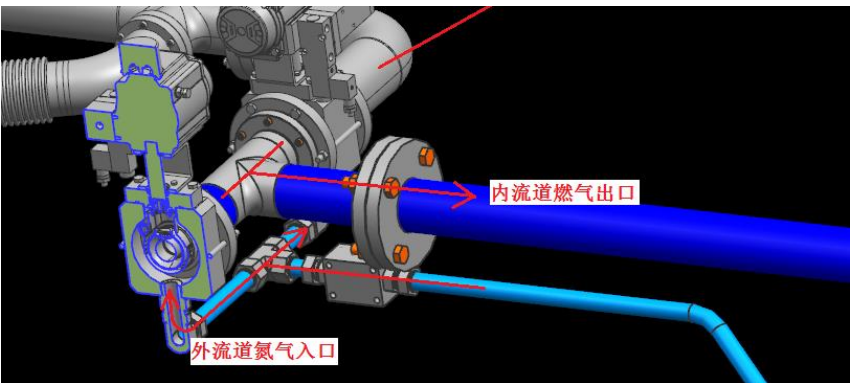


图 2 燃气排出及氮气填充

1.3 缸体监测管路

在主机运行时，需要对缸体内、缸套外的气体进行实时的监控和检测，当缸内燃气从扫气口或其它地方泄露到缸体中时，能够及时地被检测到并采取相应措施防止灾害发生。监测管路布置在燃油侧并吊装在托架下方，气体流出后依次经过油气过滤器、分离器，然后再进入气体检测器，如图 3 所示。

需要注意的是，缸体上每一缸的中心位置处都会开检测孔，但一般而言都间隔 1 或 2 缸连接出气孔用于检测，其余出气孔用螺塞堵住并作为备用出气孔，可在特殊情况时更换检测口。

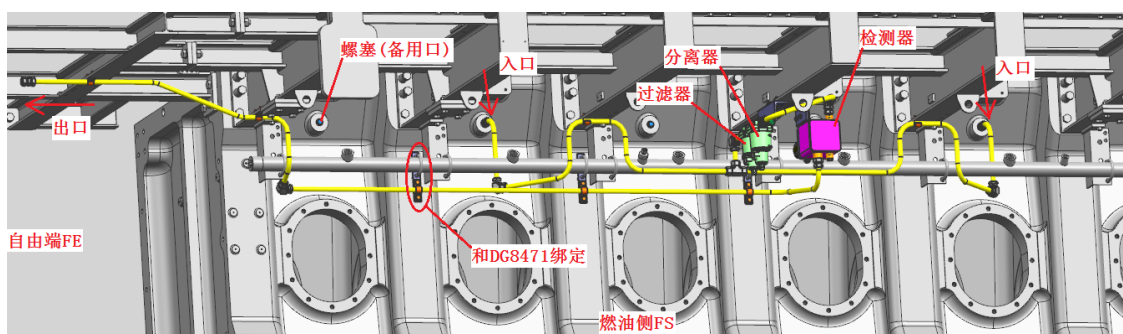


图 3 监测管路

2 双壁管详细设计

2.1 管道规格及测试要求

双壁管材料为一种不锈钢(W-FA-2Cr18Ni14Mo-AT-T),属于超低碳钢,主要加入了铬、镍、钼等金属元素,使其具有良好的耐腐蚀性能,且法兰、弯头、球阀外的壳体等与流动介质有直接接触的部件都应选择不锈钢材料。由于内外流道的介质特性不同,压力、流量等也不同,所以内外管具有不同的质量要求。内管为一级管,焊接质量等级为 B;外管为二级管,焊接质量等级为 C。

内、外管壁本身和法兰等流道连接件需进行材料鉴定、化学性质分析、拉力试验;而焊接完后还需对整个焊接管段进行特殊性试验、表面裂纹检测、压力试验。

2.2 垫块安装及焊接

双壁管之间有垫块,以保证内、外管之间的空间。由于需要氮气流通,采用一对 120°的垫块对称配合支撑。垫块先用乐泰 406 胶水粘贴在内管上的设计位置,然后将其焊接于外管上进行固定。

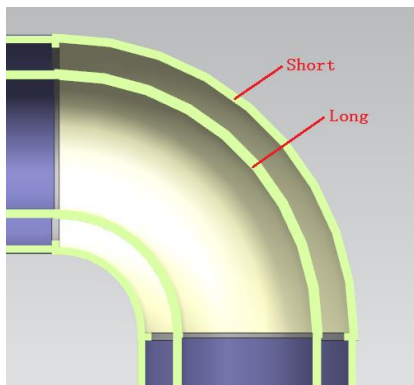
垫块不能焊接于内管,因为内管作为燃气管有更高的强度和密封性要求,防止在内管壁上焊接时对内管强度和密封性产生影响。若在垫块和外管的焊接位置上,有现成的外管焊接所需的焊缝,可以不用对垫块进行特意的额外焊接,在焊接外管时会顺带将垫块焊接住;若没有焊缝的存在,则需要在外管上打孔进行点焊,如图 4 所示。



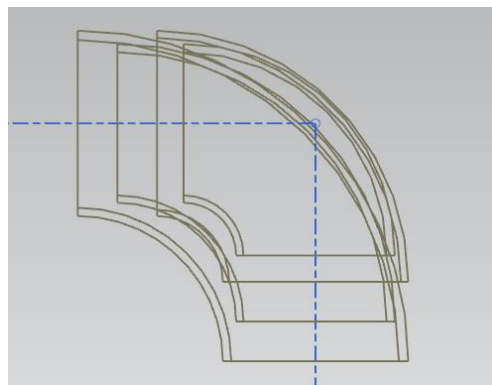
图 4 垫块安装及焊接

2.3 弯头的搭配

内管管径根据管内燃气的流量、压力等计算得出。在确定内管管径的前提下，外管管径一般会跨等级选择，如 DN50/DN80，这样在拐角处内、外弯头能够匹配良好，如图 5(a)。弯头包括 Long 和 Short 两种类型，外管可采用 Short 使弯曲半径较小利于布置，内管则采用 Long 和外管实现更好的配合。但本次机型的双壁管，内管为 DN65，外管受外部空间限制确定为 DN80，这时两种管径、两种类型的所有 90°弯头均不能实现配合，如图 5(b)。



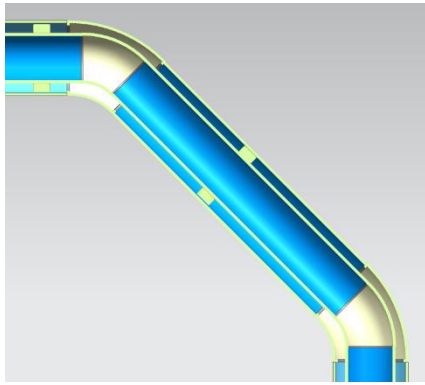
(a) DN50/DN80



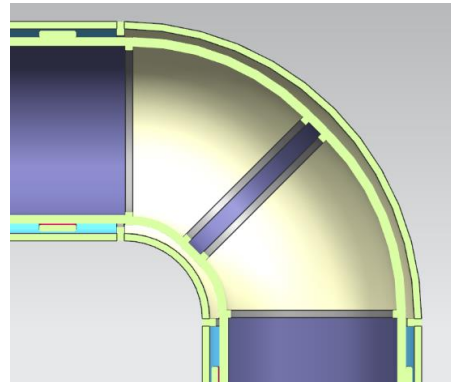
(b) DN65/DN80

图 5 一般弯头配合

这种情况下若拐角处空间允许，首先推荐采用内、外管均弯曲两次焊接两段弯头的方法(2×45°优先)，两弯头间的过渡段适当加长，如图 6(a)。但本次机型拐角处空间不足，最终采用了另一种备选方案，外管 90°弯头和内管 2×45°弯头加一小段直管的配合形式，如图 6(b)，Long 或 Short 的选择不作要求。



(a) 外管 2×45°弯头



(b) 外管 90°弯头

图 6 特殊弯头配合

2.4 连接法兰的设计

如图 7 所示，外流道内氮气在法兰连接处的流通是通过在法兰上设钻孔实现的，钻孔的数量和大小根据所需氮气流量决定。为了防止两个连接法兰角度变化使得通孔错位而堵塞的情况，在法兰的连接面上、通孔所在的直径处加工出一道环形凹槽。另一方面，由于氮气通孔和凹槽的存在，同时还要保证其密封性，法兰间不能使用垫片，而在氮气凹槽圈内和圈外布置两个 O 形垫圈，并且只在其中一个法兰的连接面上开设垫圈所需的凹槽。

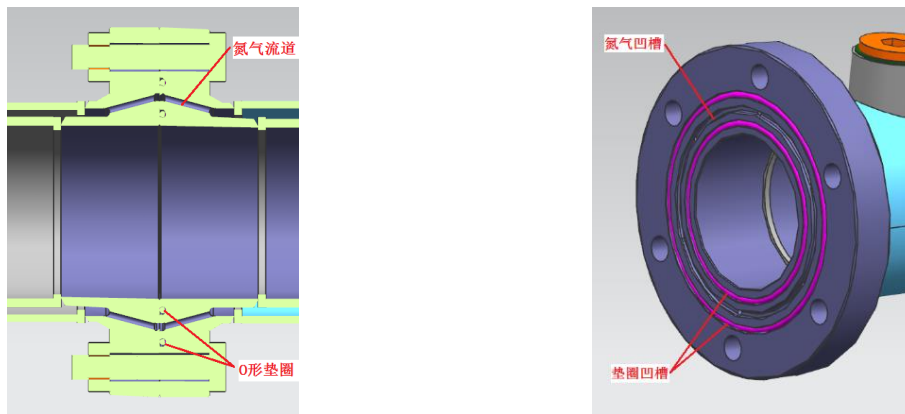


图 7 连接法兰的设计

上述的一体式双壁管法兰使用于双壁管的自身连接。特殊地，在自由端入口处，双壁波纹管 and IGPR 的连接法兰、波纹管外接口的连接法兰都采用了新的设计，如图 8。块建模并组合成型，包括内法兰、外法兰、支撑体三部分。内法兰与内管道焊接，中间支撑体与外管道焊接，而外法兰则负责紧固整体结构。法兰分块建模，使其具有较大的安装兼容性；同时垫圈凹槽位置经过调整了，使内管道轴向密封，外管道径向密封，不易导致二者互相干扰，具有更好的密封效果；同时法兰的内、外管道分开设计，并在支撑体和外法兰上开设了一圈半圆形通道，使外流道氮气通流性能增强而不易堵塞。

虽然这一新法兰设计具有这些优点，但它同时也结构复杂、拆装不便、价格较高，占用空间相比老设计法兰更多，并且需要一定的拆装空间。因此这一新法兰在空间有限的内部的双壁管连接中并不实用，当前只在自由端入口处使用。

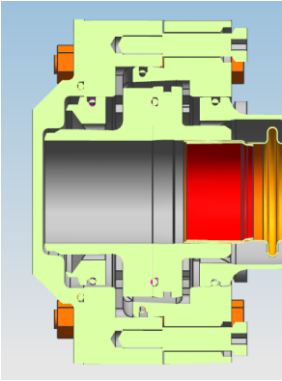
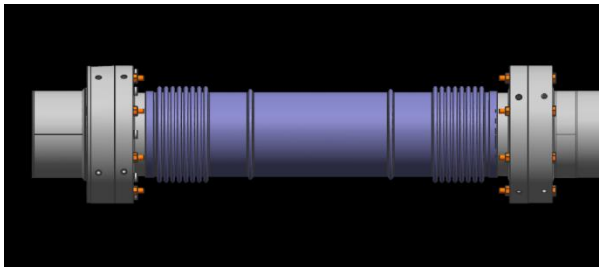


图 8 入口处连接法兰的新设计

2.5 球阀的连接结构设计

设计了一种适用于双壁管需求，并可内置球阀的连接结构，用于 1.1 节中所述的需要安装阀件的位置，如图 9 所示。两个法兰将球阀夹持于壳体内，使得内、外流道相互隔离并有效保证了气密性。该连接结构通过执行器—传动轴—球阀的结构形式，实现对内流道内燃气流量的控制。输送氮气的管路连接壳体下方的进气孔，填充氮气进入壳体 and 球阀形成的外流道空腔内，然后通过法兰上的一圈小孔进入双壁管的外流道内。

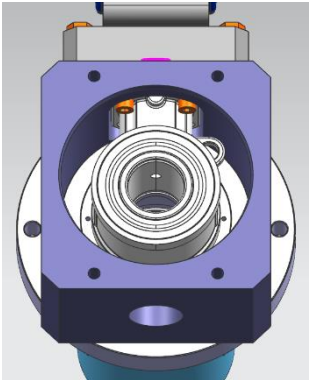
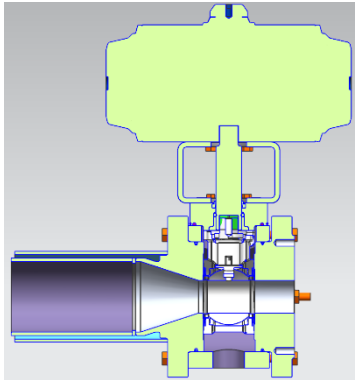


图 9 球阀的连接结构

3 结论

本次的燃气管系是为某型船用二冲程低速双燃料主机设计的，综合考虑了进排气需求、监测需求、空间布置和实际实施情况等。在主机燃气工况的动车测试中表现情况良好，满足了设计需求。

但由于一些限制，本次设计中仍存在一些可改进之处。比如 1.1 节中，在对各缸进

行供气的支管上都存在一段波纹管，这段波纹管主要是吸收主机的横向载荷的，所以应该尽可能也横向布置。但由于空间限制，这段波纹管最终只能斜向布置，导致抗振和接口密封效果有所削弱。

同样地，在 2.3 节中，这种弯头配合形式在其它方案可行情况下并不推荐，因为内管两弯头间的管子过短，还要预留焊缝，在实际的加工和焊接中会有较大的困难，管子和焊缝的强度也难以保证。

这类可改进的设计将被记录下来，并在本机后续的升级和其它机型的设计中予以关注，尽量突破这些局限性并进行改进设计。