

轴系安装新工艺的探讨

郑波,董三国,唐华庚,徐昶川
(江南造船(集团)有限责任公司,上海 200011)

摘要: 轴系作为船舶最重要的部分,制造及加工要求都非常高。本文结合 16 000 总吨客滚船轴系生产,对艏管镗孔(包括斜镗孔)、艏管轴承冷冻压入法、轴系总段对中等新工艺作了初步探讨。

关键词: 船舶轴系; 艏管镗孔; 艏管轴承冷冻压入法; 总段对中

中图分类号: U664.21 **文献标识码:** B **文章编号:** 1005-9962(2007)02-0015-03

Abstract: As a key part, the technical requirements for manufacture and installation of the shafting are very rigorous. Some new techniques such as S/T boring (including slop boring), cold S/T bearing press-in method and shaft pre-alignment at stem P/E block condition are discussed combined with the shafting manufacture of a 16 000 gt passenger Ro/Ro ship.

Key words: ship shafting; stem tube boring; cold stem tube bearing press-in method; block alignment

表 1 圆度公差表

轴 径 /mm	圆度公差 /mm
120	0.015
>120 - 180	0.020
180 - 260	0.025
>260 - 360	0.030
360 - 500	0.035
>500 - 700	0.040
700 - 900	0.050

1 艏管镗孔

1.1 镗孔前的准备和要求

(1) 镗排的安装必须与艏或轴系中心同心,其同轴度公差推荐为 $\phi 0.02 \text{ mm}$ 。

(2) 传动镗排的机械装置直接固定在被加工件的本体上,否则应采取有效的挠性传动装置。

(3) 镗削加工前,用光学准直仪照光或拉线的方法确定的加工圆、检查圆、切削圆标志应清晰。

(4) 镗排的支撑应牢固可靠。

1.2 镗削工艺要求

(1) 切削分粗加工、精加工两道工序。

(2) 粗加工的表面粗糙度值应不大于 $12.5 \mu\text{m}$,内孔单边应留有切削余量。

(3) 根据检查圆复校并调整镗排,其同轴度公差推荐为 $\phi 0.03 \sim 0.10 \text{ mm}$,然后进行精加工。

(4) 镗削内孔可采用双刀切削,分两次光刀。精加工后的表面粗糙度值应不大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。压入衬套时接触部分,必须一次镗削,不允许接刀。

(5) 精加工的镗孔中心,如果端面划的是检查圆,其同轴度公差应不大于 $\phi 0.50 \text{ mm}$ 。

(6) 内孔镗削验收合格后方允许切削端部平面,其外形按施工图样。所镗平面必须垂直于中心线,垂直度公差应不大于 0.1 mm/m 。

(7) 前后轴壳内孔加工后的圆柱度和圆度公差应不大于其孔尺寸的公差带 H9。其圆度公差一般按表 1,同轴度公差应不大于 $\phi 0.08 \text{ mm}$ 。

1.3 镗削工艺和注意事项

(1) 粗加工时,刀具的切削深度应控制在 3 mm 以下,刀具的进给量应控制在 0.84 mm/r 以下。

(2) 当进入半精镗状态(即单边镗削剩余 $1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$)时,再次调整支撑轴承组的间隙;复查并调整镗杆的中心是否在轴系的中心线上,误差值应控制在 0.02 mm 之内;在晚间或是阴雨天用“照光”的方法调整镗杆的中间支撑轴承组位置,使镗杆的直线度控制在 0.03 mm 之内;再次检查传动齿轮副的啮合情况。

(3) 进入精镗状态(即镗削余量剩 0.6 mm 左右)时,应停止一切振动性作业及相关作业,而且应在晚间或阴雨天进行。

(4) 在镗削过程中,绝对不允许选用接刀镗削的方法。

(5) 精镗时,尽量采用白钢刀具和镗削冷却润滑油来提高镗孔质量。

(6) 镗削过程中,应常向各个润滑点注油,确保镗杆的正常运行。同时注意各个轴承组的间隙状况和传动机构的运转状况,若出现异常现象应及时进行检修和调整。

(7) 镗削过程中应注意艏管上的铸造质量,若

作者简介: 郑波,男,助理工程师。1979年生,2001年武汉船舶职业技术学院船舶内燃机制造与维修专业毕业,现从事船舶轴系设计工作。

有裂缝、砂眼等缺陷,应及时解决。

(8)艏管孔镗削合格后,方可镗削端部平面,顺序不可颠倒。

(9)镗杆拆下前,应由相关人员检查镗孔质量,合格后方可拆去镗杆。

(10)镗杆拆除后,由作业者对艏管内径进行全面清洁和检查,并做好消除毛刺、修补缺陷等工作。

(11)按艏管镗孔测量记录表进行现场测量,并做好详细记录,然后以书面形式向质检部门提交验收。

(12)验收合格后,孔径的表面须涂油保养。

2 斜镗孔有关规定

是否要对艏轴承进行斜镗孔,英国劳氏船级社对斜镗孔的判断准则是:管后轴承支撑点处轴的相对转角超过 $3 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。但美国船级社(ABS)有关资料中指出此准则无法被确认有效,因为英国劳氏船级社制定此准则时未说明其依据,不过ABS的计算软件中还是引用了 $3.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 的判断准则。有关资料指出:艏管中轴的相对转角不超过 $3.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$,这是在正常的轴间隙为 $(0.0013 \sim 0.0017) \times d$ (直径)、轴承长2.5倍直径时的限制之内,若转角超过 $3.0 \times 10^{-4} \text{ rad}$,则要修正对中或采用斜镗孔。

目前CCS规定:艏管后轴承支承点处轴截面转角一般应不超过 $3.5 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。

3 艏管轴承冷冻压入法

艏管轴承冷冻压入法是把轴承先冷冻,外形尺寸变小,使过盈配合变成间隙配合,然后置入艏管等待其温度达到室温时,艏管轴承和艏管回复过盈配合。

压入前需要准备内径外径测量工具,有关施工图,吊运工具,干冰或合适的冷冻柜,防护手套等。

3.1 压入过程和工艺要求

(1)确保测量工具校正正确。

(2)确保在测量期间,轴承、艏管套和测量工具基本保持同一温度。

(3)在需要安装轴承的轴管套范围内取不同的位置,测量轴管套水平方向、垂直方向的直径,并确定一个平均直径。

(4)若轴承外径设计有一个或者两个台阶,应测量不同位置的水平方向、垂直方向直径,确定两个平均直径。

(5)根据艏管轴承图或者艏管图上的紧配合位置计算轴承的正确直径。

(6)根据测量的正确尺寸,用内径分厘卡作为样棒交车床加工轴承外径,有时还需按图纸加工油路或钻润滑孔等。

(7)在冷冻轴承之前确保艏轴套洁净。

(8)冷冻轴承时,最好把轴承放在圆柱容器中,在轴承和容器之间放入干冰达到冷冻效果。如果上述方法不行,则可以把轴承水平放置在一个箱子内,在轴承内表面放入干冰达到冷冻效果,但要注意不要损坏内表面。

(9)掌握好艏管材料的热膨胀率(查阅固体物质的热膨胀率表),根据不同的材料确定不同的冷却温度来达到相同的收缩量,以求达到最佳的压入间隙。

(10)由于艏轴承内表面是一层白合金,而艏轴承壳以铸铁为主体,因材料不同,应注意两者的热收缩量,避免由于热膨胀系数不同而导致艏轴承损坏。

(11)冷冻温度控制十分关键。温度太高因达不到要求的热收缩量,艏轴承无法达到与艏管的间隙配合要求;温度太低可能导致白合金层与铸钢层热收缩量差异太大而造成艏轴承损坏。而且,过度追求低温会增加造船成本,得不偿失。

(12)冷冻至设定温度后,把轴承轻轻压入艏管,直到碰到径向台阶处机械停止。由于金属材料的比热一般较小,所以受外界环境温度的影响较大,应选择环境温度比较稳定的时段来压入艏管轴承。由于平面应力断裂韧性和平面应变断裂韧性一般随温度的降低而降低,所以此时轴承相对于常温下比较脆,要注意不能碰撞,否则轴承容易出现裂纹。

(13)确保轴承已经安装防旋转螺栓。

3.2 艏管轴承冷冻压入法应用分析

根据轴承制造厂提供的资料:轴承每降低1的直径收缩量是 $0.115 \sim 0.135 \text{ mm}$ 。考虑到轴承从冷冻柜取出到安装所需时间和所需间隙,轴承及轴管之间应有 $4.00 \sim 5.00 \text{ mm}$ 的间隙,相当于轴承温度要比轴管温度低大约 40°C 。在外场气温较低时应对轴管加热来达到和轴承之间的温差要求。较之油压压入法,冷冻压入法在工装、施工工艺、配备人员等方面都比较简单,并对轴承自身伤害较小。但由于缺乏相关经验积累,而且对过盈量加工精度要求更高,冷冻温度和时间较难掌握,对外场大型部件的加热还有待于更多的研究。

4 轴系总段预对中

4.1 轴承反力的计算和布置优化

船舶轴系除了应满足强度与刚度要求外,在安

装阶段还要保证其处于合理的状态,以使轴段内的应力及轴承上的负荷均处于规定范围内。目前,造船界普遍采用合理对中技术进行轴系的对中计算,其实质就是通过改变轴系中各轴承在竖直方向上的相对位置,以便合理分配各轴承的负荷,满足应力、转角和其他一些要求,确保轴系的正常运转。为此,先计算不同轴承处的反力影响系数,再根据一定的优化原则对轴系中各轴承的位置进行优化,以满足轴系的反力、转角、应力等要求。

轴系中第 i 个轴承的反力 R_i 应满足

$$R_i = R_{0i} + \sum_{j=1}^n A_{ij} Y_j \quad [R_i]$$

式中:

$[R_i]$ ——轴系中第 i 个轴承的许用载荷, N;

R_{0i} ——直线对中时第 i 个轴承的载荷, N;

A_{ij} ——反力影响系数, N/mm;

Y_j ——第 j 个轴承的变位, mm。

对于所计算的轴系,先将其直线布置,但经分析发现它无法满足使用要求,需作进一步的计算和分析。然后,根据直线对中结果所得的反力影响系数,进行优化后可以得到合理对中状态下各个轴承的位置,计入温度效应后可以得到轴系冷、热态情况下的轴承位置与反力。

优化过程一般采用线性优化或非线性优化的办法,在一定的反力限制情况下进行轴系的优化迭代计算。经优化后,轴系中各个轴承一般有不同的位置,轴系成一定的曲线布置,这就是合理对中技术。目前,在造船界已普遍采用这种技术进行轴系的对中计算,并将计算结果作为现场施工的依据。

4.2 船体变形对轴系总段对中的影响分析

目前,船舶轴系的对中计算一般不考虑轴承支承处的变形,即不考虑船体变形,并以对中计算的数据作为轴系施工的依据。然而,对于某些船型,轴系的轴向尺寸较大,轴承的数目较多,船体变形会使轴系的各个轴承处产生较大的相对位移,影响轴系的反力分布。在这种情况下,考虑船体变形对轴系对中的影响很有必要。

船舶不同的装载工况,如满载、半舱、压载、短时超载等,会引起不同形式的船体变形,使机舱部分各轴承支承处产生相对位移,从而引起轴系中各个轴承反力的重新分布。轴系对中计算应当考虑这些变化情况。在考虑船体变形的情况下,合理对中计算所得到的轴承反力是否仍然在允许的范围内需要重新核定。

主机和中间轴承的吊装以及艉轴的镗孔一般是在船台上(船坞)进行的,下水后进行轴承位置的调整与法兰的连接。轴系对中的施工是在静水浮态中完成的,因此,其他工况时的船体变形对轴系对中的影响都是相对静水浮态而言的。

空船在静水状态,其船体变形是中拱的,其他工况下船体变形对轴系反力的影响都是基于这一基础上的。据此原则,对船体在超载和正常排水量情况下的中拱和中垂变形对轴系反力的影响进行具体分析,并将正常排水量与静水状态下的船体变形进行比较,可以计算出对应于这一工况下的相对变形。

对比超载排水量和正常排水量的结果,可以发现,相应的轴承反力不同于合理对中情况下得到的反力数值,也不同于直线布置时的轴承反力。另外,不同的船体变形引起的轴承反力变化是不一样的,同一船体变形对于不同轴承的影响也是不一样的。船体变形对艉轴的前后两个轴承的影响不大,而对轴系中点的轴承影响较大,反力变化也较大,而且相邻的轴承反力依次出现增减的交替变化,其变化趋势在冷、热态情况下是一致的。

轴系总段对中的日韩造船业比较发达的国家已经得以实现,其技术先进性也得到造船各界的认可。由于总段对中技术的实现需要在切削精度、船体分段合拢误差控制、船体变形方向控制等方面大量的经验、数据积累及计算分析,目前国内在技术条件未完备之前很难运用到生产中,也尚无成功先例,有待于更多的考察与研究。

我们认为,应成立课题组进行工法研究,将船体分段合理划分,并对轴系总段对中进行专项研究,以期取得更大成效。