

船舶轴系的可靠性

吴赵发

U 672.2

U 664.2

摘要: 从轴系发展的动向说明提高轴系可靠性的必要性,介绍了轴系损坏情况,对螺旋桨及桨轴、油封型艏管密封装置、海水润滑式艏管轴承、高弹性橡胶联轴节分别叙述其可靠性,最后归纳了轴系使用者的期望。

关键词: 船舶 轴系 故障 可靠性

船舶轴系 - 损坏

近十年来,随着船舶大型化、节能化和升压式轴带发电机使用的增加,轴系出现了多样化趋向。巨型油船再现大型轴系,液化气船再现蒸汽轮机轴系,渡船和游船要求解决轴承间隔与桨轴直径比增大的问题,大型商船对转桨齿轮、轴承、密封和内外轴产品的开发和应用。这些均迫切要求提高轴系的可靠性。

1. 轴系损坏情况

船舶各种机械设备中,推进轴系装置是与主机并列与船舶推进最重要的装置。在过去十年中,主机的损坏率占总数的 50%,且有增加的趋势;轴系的损坏率占总数的 13.2%,由于注意了可靠性问题,故障率有减少的趋势。

轴系主要包括推力轴及其轴承、中间轴及其轴承、螺旋桨轴及其轴套、艏管轴承及艏管密封装置等部分,推力轴的主要损伤是推力环和推力块的划伤和烧坏,推力轴承金属的龟裂、剥离和磨损等。中间轴的主要损伤是龟裂、烧坏和腐蚀。轴和联轴节螺栓折断等重大事故每年发生几件。中间轴轴承的主要损伤是轴承金属磨损、剥离、划伤和烧坏。在螺旋桨轴中,锥形大端部分的损伤最多,特别是海水润滑式桨轴,除了海水侵入处有损伤外,联轴节法兰盘根部、船首端裸露部分和套筒等发生了腐蚀疲劳龟裂。如果螺旋桨轴产生扭振,则扭振应力和弯曲应力会增加。在过去十年中还发生过几件桨轴折断事故。油润滑式船艏管轴承的损伤主要是白合金的磨损、烧坏、剥离、划伤和龟裂。海水润滑式船艏管轴承的损伤主要是铁梨木轴承磨损,橡

胶轴承磨损和剥离。船艏管密封装置的主要损伤,对唇密封是铬衬套磨损、划伤、点状腐蚀、密封环龟裂、磨损、水泡和硬化等。对机械密封是密封环龟裂、磨损、划伤等。定距桨的损伤主要是毂部和叶根部龟裂。调距桨除叶根部龟裂外,由于海水浸入使叶片和毂部龟裂,螺距控制装置损伤,此外,叶端也会受碰撞而弯曲和损伤。大侧斜桨特有的叶端部分(0.7R 至叶梢)会因金属疲劳而折损,在过去 6 年间发生了 6 起。

2. 螺旋桨及桨轴可靠性

日本造船研究协会以训练船“青云丸”为对象,对普通桨和大侧斜桨桨叶前端 0.7R 以上部分分别进行应力测试,根据有限元法分析计算与测试结果进行比较,认为:①关于桨叶径向与周向变形,在普通桨叶中,0.7R~0.9R 处的径向变形比较好,应变计测试方向与主应力方向一致。而大侧斜桨的径向变形大,不可忽视;②普通桨叶的应力分布,在正转时径向以拉伸为主,周向的应力很小,有限元法计算约为 7%~20%;③根据定性分析,螺旋桨正转时,大侧斜桨径向最大变形为普通桨的 60%~70%,故大侧斜桨的叶厚比取大些,约增加 12%;④桨叶面压力与桨叶变形密切相关,大侧斜桨叶面压力在靠近叶梢后缘较大,桨叶应力在该部分也较大,大侧斜桨紧急倒车时,叶端部分最大瞬时应力约为常用正转时的 3 倍;⑤有限元法计算结果的定性分析与实测值非常吻合,定量分析比实测值约小 20%。但修正压力分布后,计算结果与实测值很接近。因此,为使桨叶应力的

预测更精确,必须有精确求叶面压力分布的计算代码。

海水润滑式螺旋桨轴和船艏轴的材料,一般都是锻钢为主,必须采取耐海水防蚀措施。一种以烧嵌贯通式轴套包覆防蚀,另一以缠绕橡胶或涂敷纤维增强塑料分装轴套防蚀。

3. 油封型艏管密封装置的可靠性

油封型艏管密封装置由船尾型密封和船首侧密封组成。前者安装在螺旋桨和船尾后端之间,用于防止轴承润滑油漏出船外和海水侵入船内。后者安装在机舱隔壁部位,用于防止油漏入船内。船尾侧密封为海水型1号和2号密封,油侧为3号密封,均固定在内衬白金属的导环上。船首侧密封作为轴承油密封配有4号和5号2个密封环。图1是装在油侧的预备密封(#3S密封)型式。通常状态下,#3~#3S密封之间给予与轴承油压相同的压力。#3S密封环保持空载状态,万一#3密封环损坏,向船外漏油时,通该管路的给油阀关闭,#3S密封就可封住轴承油,因而提高了安全性。从防止海洋污染考虑,这种内置型预备密封将成为油封型艏管密封的主流。

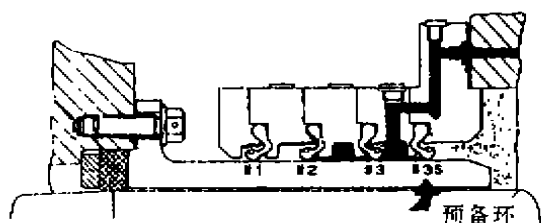


图1 带预备环的艏管密封

还有一种船外无漏泄型艏管密封,由弓形密封与唇密封组成,如图2所示,原用于飞机喷气发动机主轴密封,有很好的密封性和耐久性,经一百多条各种船舶应用,也显示其高度密封性。图3为弓形密封结构,轴向由密封环本体的轴瓦部分密封,径向由盖环密封。为减轻流体压力产生的负荷,在密封环内径面和端面设沟槽;

因此径向和轴向仅有少量不平衡力,降低了磨损率和扭矩。由于密封环精密加工,空气漏泄量仅为迷宫式密封的1%以下,水和油等液体的漏泄量也同样很少。由于各密封环的分开处设有可周向伸缩的间隙,可随着轴的胀缩和振动而伸缩,即使长期使用而磨损也能保持与轴外周接触,有良好的密封性。

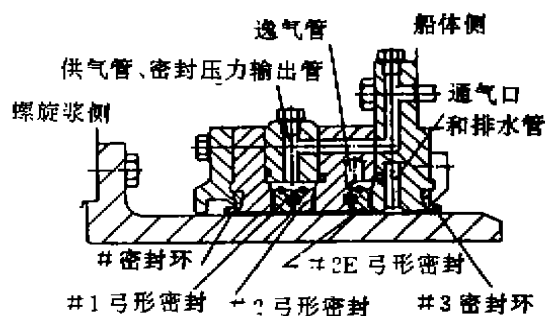


图2 弓形无漏泄艏管密封

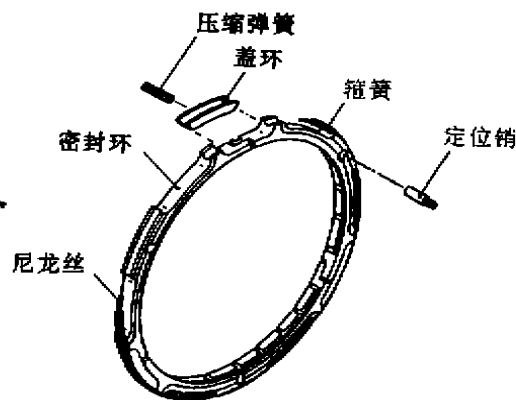


图3 弓形密封的结构

4. 海水润滑式艏管轴承的可靠性

近年来船上应用的艏管轴承中,海水润滑式约占45%。这种轴承主要用于近海及沿海的中小型船舶。其轴承材料是天然的铁梨木或人造合成橡胶和合成树脂,滑动轴材料以铜合金和不锈钢为主。铁梨木用作艏管轴承材料已有约140年历史,由于此种材料日渐枯竭,天然材质差等原因,70年前美国开发的水润滑橡胶轴承作为海水润滑或艏管轴承的采用率,已从

50%增加到几乎100%，取代了铁梨木轴承。

目前,使用的橡胶轴承,其合成橡胶种类有NBR(腈基丁二烯橡胶)和CR(氯丁橡胶)等,加上增强剂、填充剂、软化剂和硫化剂,可满足耐磨性、耐水性、耐压缩性、耐气候性、粘着性和滑动性等不同要求。橡胶轴承的优点主要是:具有粘弹性,进入滑动面的污泥在橡胶中埋没移动,在水槽中排出,因而对滑动面很少磨损;具有自动调整性,使局部载荷趋于均匀;能吸收轴承振动;没有气穴磨损。橡胶轴承的磨损随海域不同条件而异。

此外,还新开发了一种氟树脂轴承,具有适当弹性和自润滑特点。其优点主要是:摩擦系数低,滑动发热少,在脱水等意外事故时仍有相当高的可靠性;由于是自润滑,在高载荷中的耐烧

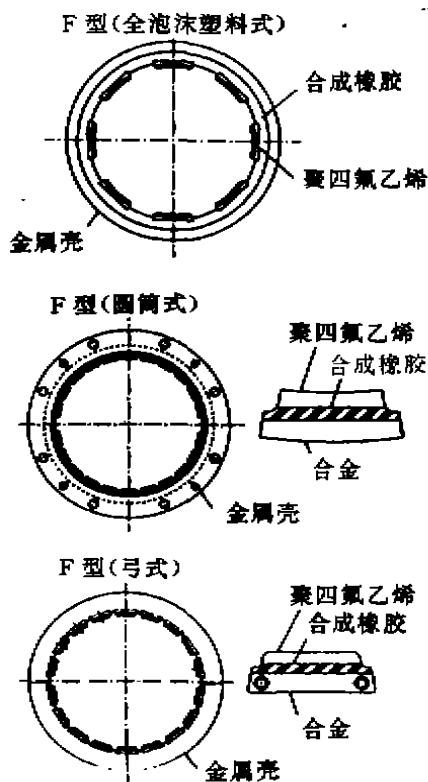


图4 氟树脂轴承结构

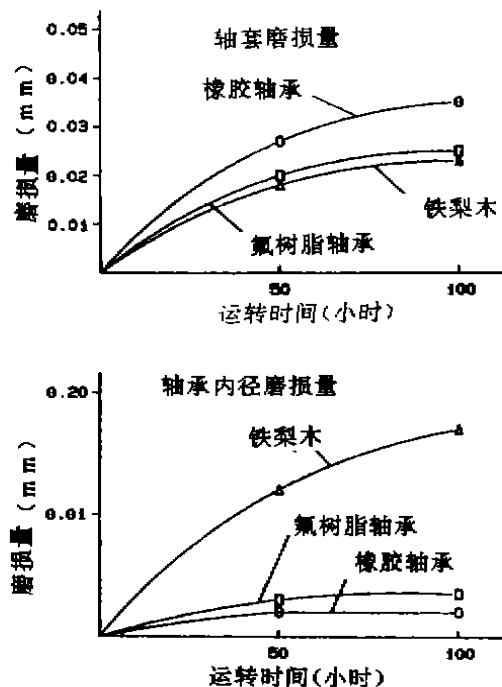


图5 两端轴承和轴套磨损量

接性好;橡胶嵌于滑动材料和外壳之间,有自动调整性,分散了轴承整体重量,局部磨损和平均磨损都很少。缺点是价格贵,在多泥浆工况下,磨损比橡胶轴承大。氟树脂轴承的结构有图4所示的三种型式,基本上是在原橡胶轴承的滑动面上烧接特殊的聚四氟乙烯(PTFE)板构成。它可与铁梨木轴承或橡胶轴承互换。

海水润滑轴承的磨损与海水中的泥浆浓度、粘度、表面压力、圆周速度、运转时间、轴承和轴套材质等多种因素有关。表1为各种轴承的摩擦系数,图5为两端轴承的轴套磨损量。

表1 各种轴承的摩擦系数(圆周速度5m/s)

种 类	项 目	干 态	湿 态
铁梨木轴承		—	0.03
橡胶轴承		—*	0.04
氟树脂轴承		0.15~0.20	0.01

* 不能测定,可认为是0.5以上

5. 高弹性橡胶联轴节的可靠性

根据日本海事协会 1990 年的调查统计, 7000kW 主机用的橡胶联轴节损伤率达 6.5%。主要原因是轴扭矩和柴油机减缸运转时的扭矩变化、冲击的相反扭矩以及复合材料的疲劳损伤, 出现了烧坏、破损、龟裂、剥离、劣化和变形等情况。因此在设计阶段, 为避免橡胶熔化, 必须使发动机常用转速范围发生的扭矩变化和功率损失处于许可值以下, 尤其是扭矩临界转速中, 为更安全起见, 必须使扭矩变化控制得很低, 必须对与橡胶有关的所有外壳进行振动计算, 必须重视联轴节和主机的维修保养操作, 汽

缸间燃烧的偏差会增大激振力, 特别要注意处理好吸气和燃烧系统, 监视和排除不完全燃烧情况。

6. 用户的期望

近年来, 船舶事故中有相当部分是由于轴系的故障与损坏造成的, 因没有后备系统, 往往会中断航行。用户的观点: 期望故障少; 发生故障前应有异常情况显示和报警; 轴系运转维护简单, 日常检修方便, 维修间隔期长, 按照一定计划, 在技术、设备和费用方面均要求不高, 总之, 期望满足最好的耐久性、可靠性和经济性。

(上接第 8 页)

缘距离和射流孔直径的增加, 越易发生射流折射现象。

(3) 预测分析表明: $Z/D < 2$ 时, 会发生严重的射流量不均匀分布。

(4) 主流、射流碰撞和射流量不均匀分布是影响目标板上传热的主要因素。

参 考 文 献

- 1 Andrews G. E. and Hussain C. I., Full coverage impingement heattransfer, the influence of channel height, 8th Heat Transfer Conference, Hemisphere Pub. Corp., PP1205-1211, 1986
- 2 Andrews G. E. and Hussain C. I., Full coverage impingement heat transfer, the influence of crossflow, AIAA-87-2010, 1987
- 3 Andrews G. E. et al., Full coverage impingement heat transfer, the influence of the number of holes, 87-GT-93, 1987
- 4 Husain R. A. A. and Andrews G. E., Full coverage impingement heat transfer, cooling effectiveness, 88GT-272, 1988
- 5 Husain R. A. A. and Andrews G. F., Full coverage impingement heat transfer at high temperature, 90-GT-285, 1990
- 6 Scherer V. et al., The influence of the recirculation region; a comparison of the convective heat transfer downstream of a backward-facing step and behind a jet in a crossflow 89-GT-59, 1989
- 7 Florschuetz L. W. et al., Streamwise flow and heat transfer distribution for jet array impingement with crossflow, Tran ASME, J. of Heat Trans., 103, pp337-342, 1981
- 8 Florschuetz L. W. et al., Heat transfer characteristics for jet array impingement with initial crossflow, Trans ASME, J. of Heat Transfer, Vol106, pp34-41, 1984
- 9 Riahi A. et al., Prediction of jet impingement cooling scheme characteristics, AGARD-CP-527, Heat transfer and Cooling in Gas Turbine, Paper15, 1993
- 10 Chang S., Wei C., Computations for a jet impinging obliquely on a flat surface, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 12, pp637-653, 1991
- 11 Creare, 1989, Fluent Manual, Version 3.02, Creare X, Inc. 1989
- 12 Husain R. A. A. PhD dissertation, 1990