

未来舰船齿轮装置的设计思想

[西德] 赫尔特 M 帕尼客姆 W

【提要】 本文叙述了未来几年内舰船齿轮装置设计的新思想。当前齿轮装置的发展趋势是：大功率输入与输出，高度灵活的适应性，低螺旋桨转速及增强齿轮材质。

主题词 船舶 齿轮传动装置 设计 概念

近代舰船齿轮装置的技术特征主要是大的功率密度和绝对可靠的运行质量。第一点要求，在很大程度上可用全渗碳淬火齿解决。第二点，将全部可资利用的理论用于设计，并以高精度的加工确保可靠运行质量。此外，还应具有高度灵活的适应性，其目的在于：一方面产生经济的传动系统，另一方面使驱动十分方便。下面举几个舰船齿轮装置的例子来说明在目前和未来的几年内将有怎样的新设计。

商船用齿轮装置

在设计 and 建造商船用柴油机传动装置时，经济性起主要作用，而在特殊功用的船舶，如军舰则相反。所以舰船齿轮装置的发展不仅仅决定于齿轮技术的发展水平，而更多的要考虑整个推进装置的综合经济性。这一概念常常是变化的，且经常是引起争论的题目，其决定因素如下：

- 燃油价格
- 柴油机的输出功率、转速和效率
- 柴油机对低质量低价格燃油的适用性
- 螺旋桨的型式、大小、转速和效率
- 船的巡航速度
- 产生电力的经济性
- 一次投资
- 维护和修理费用
- 需要的空间

这里不打算研究如何将这些因素最优化，因为齿轮制造者最关心的只是要知道需设计和生产什么型式的和满足何种具体标准的齿轮装置。齿轮装置的一次投资是构成有利概算的部分，这是应当考虑进去的。低速柴油机设计者曾试图不用齿轮装置使柴油机与螺

本文由骆凤标编译

桨的转速相同而直接传动。过去,在很多场合这是成功的,而现在采用齿轮装置的趋势变得明显地增加了。

有人喜欢选用很低转速的大直径螺旋桨,这样可以得到较高的效率,特别在低巡航速度工况下,两冲程柴油机可以达到低于每分钟100转的转速,但永远做不到低于每分钟50转的理想的螺旋桨转速。这一类主机配置的齿轮装置需很大的扭矩,而速比相对来说是较低的。

目前发展的每分钟400转或更高一些的中速柴油机,活塞负荷逐渐增加,可用低品级的、便宜的燃油,其体积小,一次投资少,比过去制造的中速机便宜得多,这一类机配置的齿轮装置的扭矩和速比都较高。

电能不从辅机而从主机获得更为经济的概念愈来愈广泛地为人们接受。但由于带定距桨而难以避免的机器转速的变换,所以需要一种专用的齿轮装置使发电机的转速和频率保持不变。

虽然通过最佳的设计可确保经济性好,但不能抵消齿轮装置外加的一次投资。所以,齿轮装置必须是绝对可靠而又在价格上有竞争性。因此其设计要与最新技术发展水平相适应,并与经济地采用高等级材料 and 高质量工艺相结合。下面介绍几例创新的设计。

1. 低速柴油机齿轮装置

图1为垂直中心距1250毫米的减速齿轮装置。由六缸两冲程 *B&W 6L55G FCA* 每分钟155转,功率6600千瓦低速柴油机驱动,螺旋桨最理想的转速为每分钟55转,齿轮装置的速比为 $155/55 = 2.82$ 。如此低的转速造成了在螺旋桨轴和齿轮装置输出轴上的扭距增高到1150kNm。此值对齿轮装置设计起决定性的作用。为保持设计尺寸在规定的限度内,即中心距在1250毫米内,由于从舰船设计角度再加大尺寸,在任何情况下都不可能接受,势必要选用高强度材料和大小齿全部渗碳淬火和磨齿。

应当指出,为传动二台发电机,在柴油机的前端连接着另外一台齿轮装置,该装置含有一多层圆片式离合器,当机器运转时,使螺旋桨脱离或接合。

图2为驱动大型低速柴油机的船用行星齿轮装置的结构,它是专用的设计,在功率输出端带有直立的小齿轮支承体和回传的齿环。通过渗碳淬火圆柱齿轮和典型的行星齿轮功率分流,装置总尺寸可做得很小。除此以外,行星齿轮装置还有很多方面的设计优点,如输入轴和输出轴同心,惯性质量小,选轴承尺寸时只要考虑外力因素和部件体积的减小等。

2. 中速柴油机齿轮装置

中速柴油机常是几台机相组合(一般是两台)通过公共齿轮装置驱动螺旋桨。由于柴油机的功率不断增大,螺旋桨的扭距相应增大,又由于可用的空间影响了机组之间中心距的尺寸。以上因素使齿轮装置设计尺寸不断增加。至今,装置最大的大齿轮达到4400毫米,如图3。

两台 *MAN 16V52/55* 中速柴油机,每台功率在每分钟450转时为12 800千瓦,螺

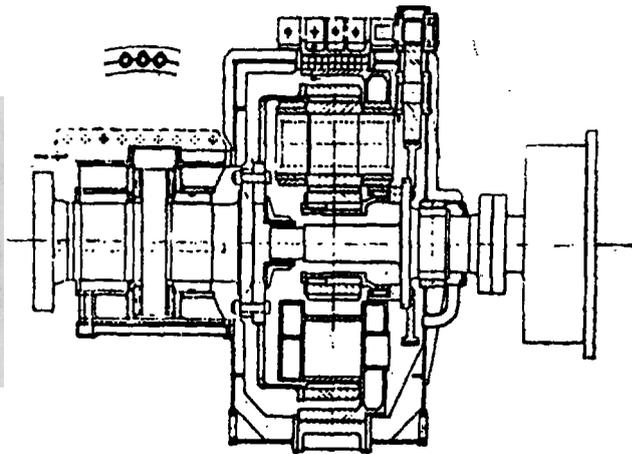
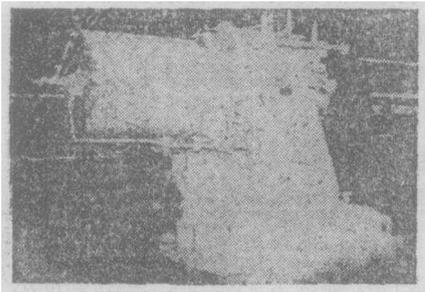


图1 低速两冲程柴油驱动螺旋桨的齿轮装置AUSL125

输出功率……6600kW 输入转速……155min⁻¹
 输出转速……55min⁻¹ 速比 2.82

在图上的右边可以看到高性能的RENK多级圆片离合器。

图2 低速大功率柴油机驱动螺旋桨的行星齿轮装置PAS140

输出功率……13 000kW 输入转速……132min⁻¹
 输出转速……50min⁻¹

桨转速为每分钟85转，速比为5.29，输出扭矩为2880kNm。该齿轮装置在冰中航行，考虑1.5的破冰系数，所以齿轮装置输出轴上的设计功率为38 400千瓦，扭矩为4320kNm，齿轮装置的总宽度达到6800毫米。

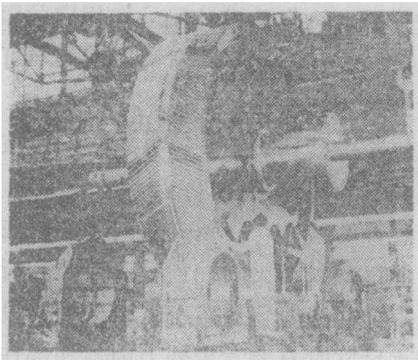


图3 安装在RENK公司ASM2×260型齿轮装置上的大齿轮，直径为4400毫米。用于两台中速四冲程柴油机驱动破冰船的螺旋桨。
 输出功率（含破冰系数）…38 400kw
 输入转速 ……450min⁻¹
 输出转速 ……85min⁻¹
 速比 ……5.29

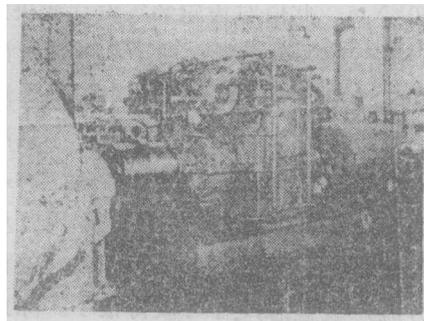


图4 带有行星叠加齿轮单元的BW 802 RCF (RENK等频) 齿轮装置，用以稳定发电机频率，发电机由带有液力叠加的主机驱动，图中是在进行全负荷试验的情况。
 输出功率…900kW 输入转速…66.5~95min⁻¹
 输出转速…1800min⁻¹ (常数)

3. 等频率发电机齿轮装置

图4表示从主机驱动船用发电机的齿轮装置 $RCF11/18E$ (RCF 代表 $RENK$ 公司等频率符号) 它连接在柴油机的前端, 保证在输入轴转速变化时输出的转速不变 (定距螺旋桨), 使其连接的发电机提供等频率, 其他常见的方法也有用可控硅控制系统的, 但损失大。 RCF 齿轮装置的速比可在极大的范围内变化, 其主要部件是叠加式的行星齿轮装置。如图5, 它含有三个回转部件:

- 一太阳小齿驱动发电机
- 一带有行星轮的齿轮架, 由主机驱动
- 一由辅助马达 (叠加马达) 转动的齿环, 在数量和方向方面, 环的速度与瞬间驱动速度是叠加上的, 这样导致输出转速不变。

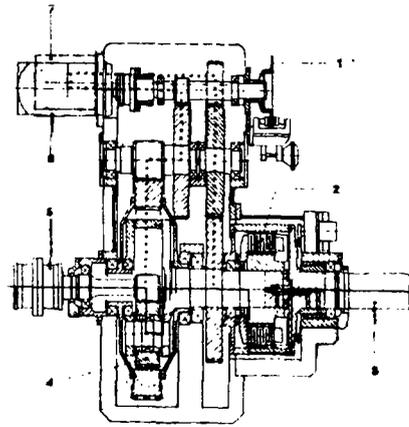


图5 RCF 叠加式行星齿轮装置的布置
 1. 制动器接合面 2. 多级四片式分离离合器
 3. 输入轴, 主机端 4. 行星齿轮
 5. 输出轴, 发电机端 6. 液力马达

这一例中的叠加马达是电马达, 在别的情况中也有用液力马达的, 其作用相同。为使功能达到完美无缺, 叠加速度对变化着的机器速度的正确和快速匹配是非常重要的。通过船舶电站或借助于 $RENK$ 控制器提供必要的调整, 控制器配有微处理机。图6表示在机器速度变化时如何改变由控制器发生的叠加速度而频率保持不变。

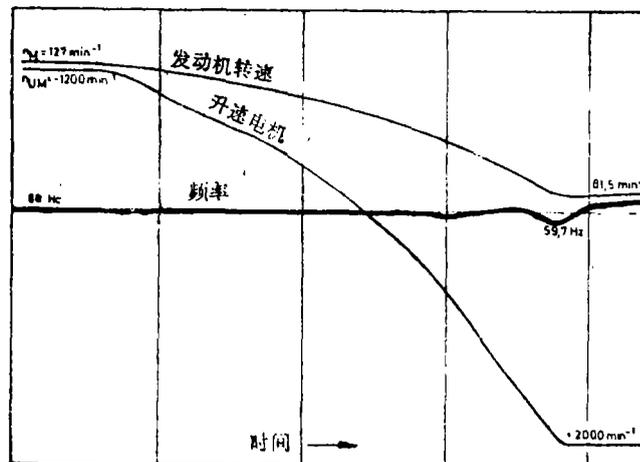


图6 由于叠加马达的相应变化使机器速度变化与 $RENK RCF$ 齿轮装置等同起来保持发动机的恒定频率

特殊用途(专用)船舶齿轮装置

对特殊用途的快速舰船如巡逻艇、驱逐舰和护卫舰等传动装置的性能评价标准不同于商船。评价舰艇时,短时全速性能是很重要的。而另一方面,传动系统的经济性要求也是明确的。因此,在很多场合选择了燃气轮机和柴油机联合装置,再进一步发展,考虑柴油机和燃气轮机使用重油,因为现在很多中速柴油机已适于使用重油。目前这一类舰艇上采用了高速柴油机或由航空发动机派生的燃气轮机。蒸汽轮机大量地被取代,这主要由于下面三个原因:

- (1) 重量大
- (2) 维修时间长
- (3) 蒸汽轮机起动不如燃气轮机快

因此,蒸汽轮机的使用局限于原子动力装置。

下面将详细地叙述典型的柴油机和燃气轮机的传动,从全柴油机装置(CODAD)开始。

1. 高速柴油机传动齿轮装置

现代四冲程高速柴油机具有很高的功率密度,一般都是多缸V型,这些机组使用了较贵的中等轻柴油,它比目前中速柴油机用的重油每吨贵100美元,其燃油消耗率比燃气轮机低,在部分负荷工况时更低。但是,高速柴油机的最大功率仍有限度,目前约7500千瓦。所以,或者是采用几台柴油机联合(CODAD),或者是柴油机和燃气轮机联合(CODOG)。

典型CODAD装置装备了近代具有优良运行性能的双速齿轮箱。图7为该装置在背靠背全负荷试验台上测量噪音。双速齿轮箱按T形布置,在其相反方向的柴油机驱动两个调距桨。

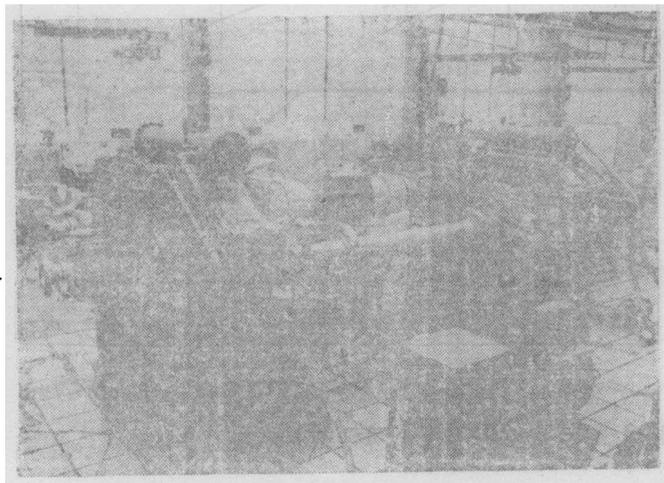


图7 护卫舰CODAD装置的全负荷试验(背靠背布置)在转速 $1200/300\text{min}^{-1}$ 时,每螺旋桨带 $2 \times 4300\text{kW}$ 负荷(调距桨)

2. 燃气轮机和柴油机联合传动齿轮装置

大型专用舰必须符合与工作特性有关的严格标准,高性能应与运行时的机动灵活相结合。中型舰的驱动功率取为40 000千瓦,巡逻艇只需要10 000千瓦。对战斗舰来说,最大功率只在短时高速冲击时需要。典型的航程分布表明,100%功率航行时间只占全航程的3%,小于全功率15%的航行时间占全航程的60%。显而易见,要采用联合传动装置。图8为CODOG装置的齿轮装置。

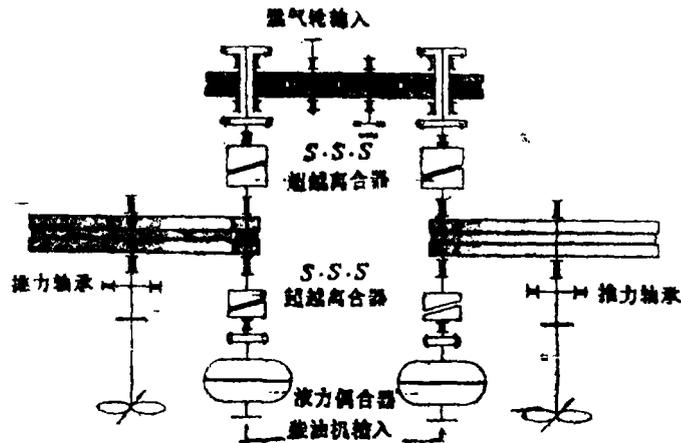


图8 具有20 000或2×2600kW驱动功率护卫舰的燃气轮机/柴油机联合传动装置(调距桨)

这些齿轮装置都进行了在柴油机全功率工况下的背靠背试验,噪音和振动水平远比过去的好,并符合严格的冲击规范。

值得特别注意的是高应力全渗碳淬火与小于2.5公斤/千瓦的低功率重量比的齿轮装置成为现实。只有精确的、按理论决定的最优化的齿形修正和高精度的加工,才有可能达到运转的高质量。

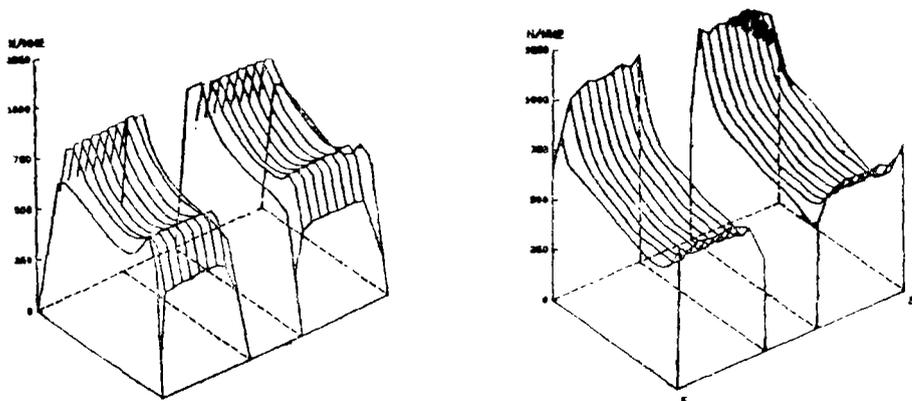


图9 具有优化齿形修正的CODOG齿轮装置的高应力齿面上的负荷分布。作为对比列举了不带修正齿的负荷分布

图9为修正齿的理想负荷分布与未修正齿的负荷分布对比图。由此为见，通过渗碳淬火能兼具高负荷的承载能力和高质量的运转性能（见参考文献1.2.3）。

类似更低功率重量比的齿轮装置已装在西德F-122舰上使用（约1.5公斤/千瓦），一轴驱动一个调距桨。图10为该舰用的燃气轮机。

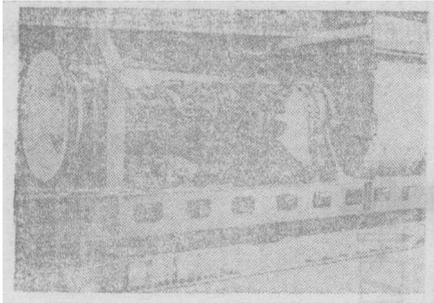


图10 通用电气公司LM2500标准燃气轮机，在 3600min^{-1} 时的功率为20 000kW，安装于西德F122护卫舰上，如图8所示的装置上。

3. 紧凑的快速舰用行星齿轮装置

在小快艇上，行星齿轮装置的采用逐渐增多。它可以是纯减速的，也可以是带倒车的。操作上需要特别方便，可增加附加设备，如采用低速航行用的齿轮级。

行星齿轮装置的齿轮系统用渗碳淬火，壳体用铝合金，其结构就非常紧凑，重量也很轻，功率重量比小于0.5公斤/千瓦，速比为 $1000/285\text{min}^{-1}$ ，功率为 $2 \times 4700\text{kW}$ ，可用于巡逻艇的倒车行星齿轮装置。

由于特殊安装上的需要，如三螺旋桨艇，齿轮装置也可设计为V形传动。此外，它也可以设计为不重合的垂直轴，输入轴和输出轴相平行。这一类齿轮装置的可靠性已被实际安装所使用，被功率为200 000千瓦的齿轮装置所证实。

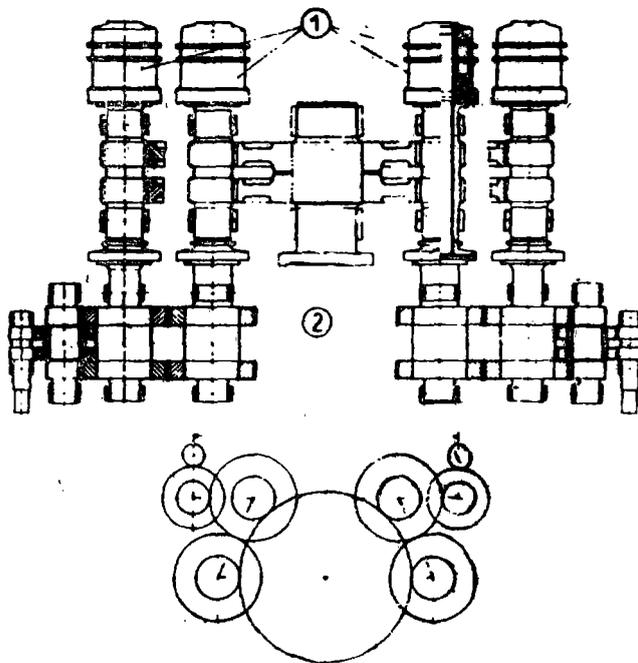


图11 大功率齿轮装置设计

4. 大功率燃气轮机的齿轮装置

特大型的舰和商船要求很大的推进功率,如功率为80 000千瓦或更大些的巡洋舰或驱逐舰常采用全工况燃气轮机和几台燃气轮机并车传动齿轮装置。有些舰上配置了小型蒸汽轮机,利用燃气轮机的排气余热加热以改进装置的经济性。

一般讲,这些舰船多用定距桨,因此需设倒车机构。目前装舰的有带浸油式多级圆片式离合器的行星齿轮或圆柱齿轮的倒车齿轮装置,也有用液力倒车离合器的。图11为大功率齿轮装置的结构,用于驱逐舰上,以二台20 000kW燃气轮机(各有倒车级齿轮装置)驱动固定螺桨,用试验过的浸油式多级圆片分离离合器倒车①,通过空心轴设计②对基础位移不敏感。

结 论

从上面多种不同型式齿轮传动装置的主要方面分析,很显然,舰船齿轮装置的结构变为专用化。齿轮装置的发展趋势除了低功率重量比,高强度渗碳淬火齿外,为适应特殊用途的舰船,其传动系统趋向机动灵活。简单标准结构的中速柴油机齿轮装置就显得不那么重要了。总之,舰船齿轮装置的设计结构与整个推进系统的设计结构有密切的关系。齿轮装置制造者为迎接这一挑战,只有在设计合理、结构创新、计算准确等方面付出特别的努力。

参 考 文 献

1. M.Hirt,H.weiss: Increase of load capacity by use of large case-hardened gears AGMA 219.11.
 2. M.Hirt,E.Jahnel: Optimun design of high loaded case carburized large gears AGMA Paper p 229,23,October 1982
 3. G.Schmidt,W.Pinne Kamp,A.Wunder: Optimun tooth profile correction of helical gears ASME Paper 80-C2/DET
- (孙显辉 编辑)

DESIGN PHILOSOPHY OF FUTURE NAVAL GEARING SYSTEMS

Luo Fengbiao

Abstract

This paper deals with a new design philosophy of naval gearing systems in the near future. The trends of the present-day gearing system development is characterized by a high power input and output, highly flexible adaptability low propeller speed as well as the use of high-strength gearing materials.

Key words: ships, propulsion gearing systems, design, conceptual study.