

绪 论

船舶动力装置首要的任务是供给船舶以推进力，因此推进装置——船舶主机、轴系和螺旋桨是船舶动力装置中最重要的组成部分。构成船舶动力装置的还有锅炉、发电机组和服务于主机、锅炉和其他船舶设备的辅机，以及把它们连接起来的管路系统和杆件等。当前，船舶动力装置主要分为内燃机、（蒸）汽轮机、燃气轮机、核动力和联合动力装置等几种。从国内外实际使用情况来看，民用船舶以内燃机动力装置为主，但国外随着超级油船和大型集装箱船的出现，在22 050kW(30 000马力)以上的船舶中，（蒸）汽轮机动力装置日益增多；而国内在民用船舶上汽轮机动力装置至今仍用得较少。国内外大中型舰艇多以汽轮机动力装置为主。因此，本书以研究船舶内燃机（柴油机）动力装置安装工艺为主，适当兼顾汽轮机的安装工艺特点。本书主要研究的是船舶主机、轴系、辅机、锅炉的安装工艺、船舶管路系统的生产设计，船舶管子的制造，管路系统的安装与试验。

船舶动力装置安装工艺的改进是与造船工业的发展和船舶建造方法的改进紧密相关的。我们知道，过去的船体建造工艺，是将加工好的船体零部件直接运送到船台上装配而成船体。这时动力装置的安装工作必须待船体形成，主体工程完工交验后方可进行。不仅如此，而且其机械设备、箱柜都是以单个形式吊船安装，管子的制造与管路系统的安装则是根据管系原理图按现场测量的样棒制造和安装。这种安装工艺必然使船舶建造周期长、工人劳动强度大。

船舶动力装置的安装船舶建造中占有很大的比重。一般认为，民用船舶约占建造总劳动量的30%左右；舰艇、非装甲军用舰艇和特种船舶约占40~45%。所以改进动力装置安装工艺对缩短船舶建造周期，提高安装质量，减轻劳动强度，保证其使用的可靠性具有重大的意义。而船舶建造工艺的改进为其安装工艺的改进创造了条件。

随着造船工业的发展，船体建造工艺目前已广泛地采用分段及总段（立体分段）等先进造船技术。

分段造船是在船台上将预先制造好的各分段装备焊接成船体，而这些分段是在船体车间的装配——焊接平台上进行制造，并在所制成的分段中装配好各种船体零部件，如安装机械设备的各种基座、焊垫、隔舱壁套管及甲板套管等。且这些预制的分段在车间里已进行过密性试验，并清洁和涂上底漆。这样，按预制分段在船台上进行装配焊接成船体而形成各个船舱的同时，船上机械设备的安装工作可在各个相应的平面或立体分段中进行。显而易见，由于机械安装工作能与船体建造工作平行地进行，就可大大地缩短船舶建造周期。

总段造船，就是将一艘船的船体划分为几个很大的立体分段（总段）。各总段在船体车间内装配焊接而成，并完成密性试验和清洁及涂底漆工作。在总段中最大限度地安装好船舶机械及设备系统。所制成的这些总段运到船台上或船坞中合拢并焊接成为完整的船体。

由于许多机械及设备系统先在各总段里安装好，故船体合拢后需要在船舶内进行安装的工作已经不多了，往往只进行位于船体接缝区机械设备的安装工作。显然，采用立体分段造船时，由于船体建造和船舶设备的安装平行地进行，且其中相当一部分是在车间里进行，

这就改善了动力装置安装的工作条件，减少了船台上的安装工作量，使造船周期较之分段造船进一步缩短。

由于船体建造工艺的革新，造船周期不断地缩短，从而促进了动力装置安装工艺的不断改进，以适应快速造船和提高造船质量的需要。其主要改进为：

（1）管子的预制及管路系统的预装——单元组装、分段预装等。

（2）锅炉与辅机的整体安装。

（3）用激光或光学仪器法定位主机，即在船台上以轴系理论中线定位主机；大型主机整机吊装安装；为减少主机垫片刮磨量而在主机垫片上涂环氧树脂以及用环氧树脂灌注垫片等。

（4）将轴系安装工程建立在科学计算的基础上，并将某些现代的先进技术运用到轴系安装工程中来，如激光定轴系中线、电子仪测轴系负荷、应用优化理论并通过电子计算机进行轴系合理校中计算等先进技术。

（5）船舶管系的计算机辅助设计。

（6）采用无键连接螺旋桨，塑料涂敷、粘结和填充定位等工艺（对中小型船舶既能保证安装质量，又可减轻工人的劳动强度）。

（7）安装工作的机械化，如用小型液压千斤顶代替顶压螺栓调整主机位置、用液压技术安装螺旋桨等。

（8）在管路系统设计中推行设计、工艺、管理信息三者统一的生产设计。

船舶动力装置安装工艺发展的总趋势是：

（1）大力推行造船生产设计，使船、机、电、管、舾装各专业的的设计、工艺、管理相协调，从而为管子的制造和管路系统（包括机械设备）的制造和安装提供依据。

（2）应用系统工程思想，推行成组技术，组织管子加工的专业化生产，提高其内场预制率和预装率，形成管子单元的内场预制生产。

（3）改进设计和施工的手段和方法，推广和继续深入研究计算机在动力装置安装工艺中的应用，如建立面向生产设计的程序集成系统，发展具有图象显示和图形输入装置的交互式辅助设计系统，大力推广标准化、通用化、规格化的设计；开发旨在提高安装工效，减轻劳动强度的新工艺、新技术。如实现钳工机械化，应用新型材料简化安装作业，减少加工范围（如用环氧树脂作主、辅机垫片、安装螺旋桨等）。

（4）进一步推广各种形式的预舾装工艺，扩大预装率。

（5）发展旨在降低试验周期和成本的新工艺、新技术。

讲授本课程的目的，在于向动力装置设计专业的学生系统地介绍整个动力装置的安装工艺过程（包括机装生产设计、船装生产设计、管子的制造工艺及有关的工艺设备的知识）。使学生在进行动力装置设计时能考虑有关安装工艺与工艺设备问题，并能结合生产实际，推广和应用新的工艺方法和先进经验，使产品设计与制造安装工艺有机地结合起来。因为良好的动力装置产品设计，必须具有良好的制造安装工艺性。

本课程是动力装置设计专业的专业课之一。它具有很强的实践性，是生产实践经验的总结和提高，是一门施工技术课。因此，学生在学习时必须具有一定的感性知识，要注意理论结合实际，在学习过程中绝不能一成不变地对待某些工艺过程、工艺方法。主要是掌握一些基本工艺原理、原则及一些基本的技术要求，以解决动力装置设计中的实际问题。用综合分析和比较的方法来理解和掌握本课程的内容。

第一章 船舶主机安装

§1-1 概 述

船舶主机是推进船舶航行的动力机，现有柴油机、汽轮机和蒸汽机等。主机动力传递给螺旋桨的主要形式有两种：主机直接与轴系、螺旋桨相连接的直接传动；主机通过中间传动装置（离合器或减速齿轮箱）与轴系、螺旋桨相连接的间接传动。因而主机在船上的安装必须与轴系的安装一并考虑。

本章所讨论的是主柴油机和主汽轮机组在船上的安装。中、小型主柴油机，通常是整机吊运上船安装；大型主柴油机，如船厂具有大型起吊设备，可采用整机吊装，否则也可以拆散吊进船舱定位总装。对于主汽轮机组，通常是单独的组件（减速器、汽轮机、冷凝器等）分别吊进船舱定位安装，但也有以主汽轮机组整单元吊船安装。

对于采用直接传动的主柴油机，可直接将柴油机定位安装。而采用间接传动的主柴油机或主汽轮机组，通常先将减速器定位安装，然后再安装柴油机或汽轮机。

主机在船上的安装过程大致有两类：一类是船舶下水后，主机在轴系安装完毕后以轴系为基准进行安装。这是长期以来最常见的一种安装工艺。它的优点是使主机或减速器输出轴

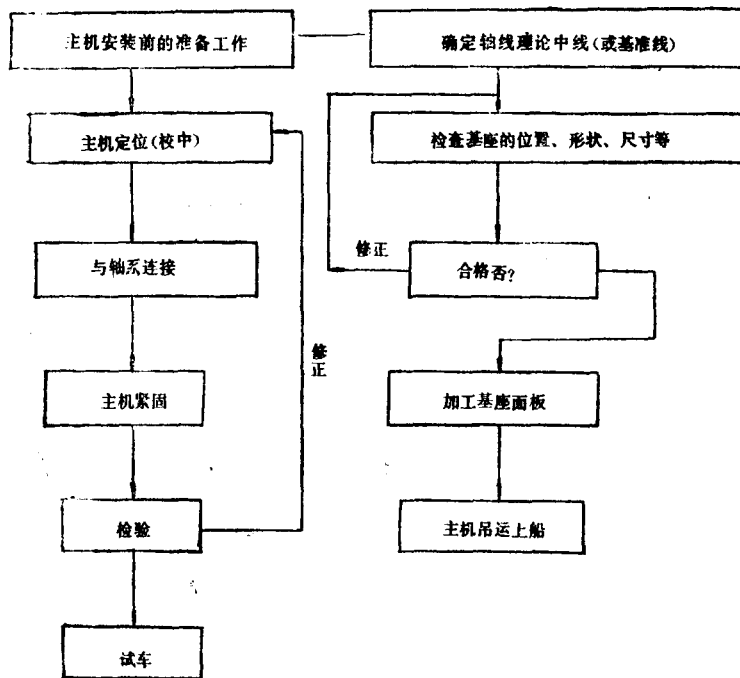


图 1-1 主机在船上安装工艺过程框图

的旋转轴线能较好地处于轴系中线的延长线上，避免船舶下水后船体变形的影响。缺点是生产周期较长。另一类是在船台上，主机以轴系理论中线为基准进行安装。这是适应现代批量造船的一种安装工艺。它的最大特点是主机可先于轴系进行安装，也可与轴系安装平行进行，使整个动力装置安装工作与船体建造尽可能多地平行作业，大大缩短了生产周期。但是船体变形将影响原有的主机校中位置。随着计算机技术的应用和发展，为保证小船轴系和主机在船台上实现最终定位安装，避免因船舶下水后船体变形的影响，可通过计算机计算结果，使船体在船台上具有水上的弯曲状态及在船台上将轴系与主机一起作反向弯曲等，从而使轴系和主机在船台上实现最终定位安装。对于大吨位船舶，由于在船台上不可能达到足够精确的挠曲度，或非成批建造的船舶等不在此列。

无论是先装轴系后装主机，还是先装主机后装轴系，主机在船上的安装工艺过程可归纳为图 1-1 所示的框图。

§1-2 主机安装技术要求

主机在船上定位安装的技术要求与主机类型、大小及其定位方法等有关，主要有以下几点。

一、主机（或减速器）输出轴线的位置

当采用按直线性校中主机轴系时，主柴油机曲轴轴线或减速齿轮箱输出轴轴线、汽轮机组减速器输出轴轴线应处于轴系理论中线的延长线上。当大型低速柴油机船舶采用合理校中法安装轴系时，则主机输出轴轴线位置应符合校中计算书要求。

由于机器大小和采用定位方法的不同，定位时应达到的具体要求也有所不同。

1. 主机（或减速器）以输出轴法兰上的偏移和曲折定位

(1) 主柴油机（或减速器）根据轴系第一中间轴（按从船首至船尾排列轴系中间轴顺序），或推力轴的前法兰为基准定位。则主柴油机（或减速器）输出轴法兰与第一中间轴法兰轴线的偏移和曲折数值应控制在规定的范围内。刚性联接时规定法兰外圆偏移值为 $\delta \leq 0.05 \sim 0.10 \text{ mm}$ （一般应使曲轴轴线偏高 $0.05 \sim 0.10 \text{ mm}$ ），曲折值为 $\varphi \leq 0.10 \sim 0.15 \text{ mm/m}$ 。实践证明，范围规定过严是没有必要的。因为规定过严不仅在施工中难以达到，而且给安装和检验带来许多困难。

(2) 采用合理校中法安装轴系。主柴油机定位时，主机输出轴法兰与第一中间轴前法兰轴线的偏移值和曲折值，应严格按轴系校中计算书提供的数值进行定位安装，允许误差偏移不超过 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 、曲折值不超过 $\pm 0.1 \text{ mm/m}$ 。

(3) 主汽轮机组推力轴与第一中间轴的法兰偏移值 $\delta \leq 0.05 \text{ mm}$ ，曲折值 $\varphi \leq 0.06 \text{ mm/m}$ 。或汽轮机转子与减速器小齿轮轴同轴，其偏移值 $\delta \leq 0.05 \text{ mm}$ ，曲折值 $\varphi \leq 0.10 \text{ mm/m}$ 。

2. 主机（或减速器）用光学仪器定位

应根据位于轴系理论中线上，机舱前隔舱壁的基准点或机舱后隔舱壁和船尾基准点，调整主机或减速器的高低和左右位置，使安装在主机曲轴或减速器输出轴端的光学仪器投射出的十字线中心与两个基准点重合，偏差不能大于规定数值。

(1) 用两个光学投射仪定位，如图 1-2 所示。

$$|A| \leq 0.7 \text{ mm}$$

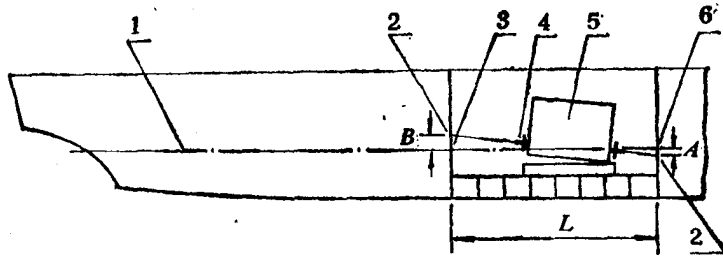


图 1-2 两个投影仪校中主机

1-轴系理论中线；2-投影仪十字线中心；3-机舱后隔舱壁基准点；4-光学投影仪；5-主机；6-机舱前隔舱壁基准点

$$\left| \frac{B-A}{L} \right| \leq 0.15 \text{ mm/m}$$

式中 A ——投影仪十字线中心在机舱前隔舱壁上与其基准点之间的偏差值， mm ；
 B ——投影仪十字线中心在机舱后隔舱壁上与其基准点之间的偏差值， mm ；
 L ——机舱前后隔舱壁上两基准点间的距离， m 。
 (2) 用一个光学投影仪定位，如图 1-3 所示。

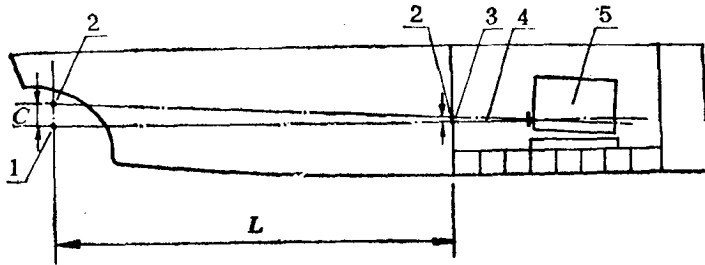


图 1-3 一个投影仪校中主机

1-船尾基准点；2-投影仪十字线中心；3-机舱后隔舱壁基准点；4-轴系理论中线；5-主机

$$|B| \leq 1.0 \text{ mm}$$

$$\left| \frac{C-B}{L_1} \right| \leq 0.15 \text{ mm/m}$$

式中 B ——投影仪的十字线中心在机舱后隔舱壁上与其基准点之间的偏差值， mm ；
 C ——投影仪十字线中心在船尾对光靶上与其基准点之间的偏差值， mm ；
 L_1 ——两基准点之间的距离， m 。

当上述投影仪十字线中心的偏差，位于基准点的上方或左，右舷轴系，且在规定的范围内时，则算合格。

3. 主机（或减速器）用拉线法定位

当大型低速柴油机拆散上船安装或空心输出轴的减速器在船上安装时，可根据轴系理论中线在机舱内拉一钢丝绳，使柴油机前后主轴承座孔或减速器输出轴内孔与钢丝绳同轴（应考虑钢丝绳下垂的影响），偏差不能超过允许范围，将机座（或减速器）定位，如图 1-27 所示。

二、主机（或减速器）轴向位置

因主机（或减速器）是与轴系连接的，因此主机（或减速器）的轴向位置可根据轴系的长度确定。

（1）先装轴系后装主机。依装好的轴系第一根中间轴前法兰位置，就决定了主机或减速器的轴向位置。

（2）先装主机或减速器，后装轴系中间轴。主机或减速器的轴向位置必须由轴系设计长度来决定，即根据设计图纸，以主机或减速器后法兰，或柴油机机座某固定螺栓孔与船体上某肋位的距离来决定。在这种情况下，因为主机定位后，主机尾法兰至尾轴前法兰的长度尺寸不易测量准确，因此往往留一根中间轴最后加工到准确长度，以补偿长度上的测量误差。

（3）汽轮机组在安装时，由于均以减速器为基准，并且都是先校中安装低压汽轮机，它与减速器之间的轴向位置，可按专门的量棒决定，此量棒按汽轮机主轴与减速器小齿轮轴之间安装联轴器所规定的间距制造。

三、主柴油机曲轴臂距差及机座上平面的平面度

1. 主柴油机曲轴臂距差

主柴油机定位安装时，曲轴臂距差数值必须在规定范围内。曲轴装妥并与轴系连接后，测量曲柄在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个位置的臂距差应 $\leq \frac{1.0 \times S}{10000}$ mm。S为活塞行程，单位是毫米。

但对于大重量的飞轮且属弹性连接的法兰，当飞轮装妥以后，近飞轮端的第一拐臂距差可放宽为 0.175 mm每米活塞行程。在航行中臂距差应 $\leq \frac{2S}{10000}$ mm。

2. 大型柴油机机座上平面平面度

大型柴油机拆散吊运上船安装时，由于机座上平面是安装其它零部件的基础，所以机座定位时还必须将上平面校平，或校得与柴油机出厂记录一致。即机座垫片调整好并拧紧全部底脚螺栓后，其上平面的平面度应与柴油机出厂前试验台架安装时的记录基本相符。其数值的允许误差为：

机座长 < 8 m者， ± 0.05 mm；

机座长 $> 8 \sim 11$ m者， ± 0.08 mm；

机座长 > 11 m者， ± 0.10 mm。

四、主汽轮机组减速器的齿轮轴轴线及与减速器 齿轮轴相连接的转轴轴线位置

减速器及汽轮机在基座上固定后，减速器各小齿轮轴之间的平行度偏差，以及各汽轮机主轴与减速器小齿轮相连接的同轴度偏差应在允许范围之内。

安装时，减速器各小齿轮轴的空间平行度误差不得大于 0.05 mm/m，或允许有 0.05 mm的平行度误差（ l 为顺轴中线铅丝两端压点的距离）；汽轮机主轴与减速器小齿轮轴的同轴度允差为：偏移 $\delta \leq 0.10$ mm；曲折 $\varphi \leq 0.12$ mm/m。

§1-3 主机安装前的准备工作

首先根据轴系布置图确定轴系理论中线或基准点位置（确定方法见第三章），检查基座或加强板的左右，高度位置及其形状，然后就可划出主机紧固螺栓孔位置，或同时确定焊装固定垫板的位置，并对基座上平面，或对要焊装固定垫板的加强板平面进行加工。对于采用整机吊装上船安装的大型柴油机，则要作吊运核算。上述工作必须在主机吊入机舱前全部完成，才能将主机吊入舱内落位安装。

一、基座或加强板位置和高度检查

主机是通过垫片或减震器安装在船体基座上的。基座是由型钢和钢板焊接组合起来的金属构体。它通常固定在船体双层底上。在无双层底的船舶中，则直接与船底板刚性连接。图 1-4a) 为安装主柴油机的基座结构；图 1-4b) 为安装主汽轮机组的基座结构，它较前者复杂，由几个独立的、不同高度的基座所组成。因此必须首先检查基座。

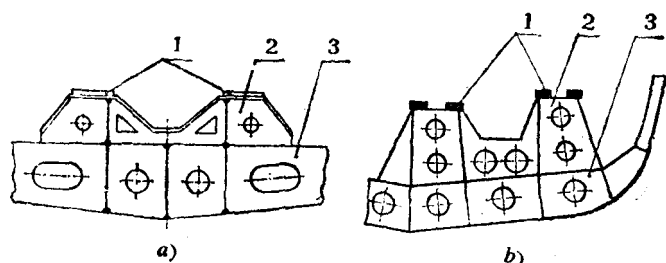


图1-4 主机基座的结构（横剖面）

a) 主柴油机的基座结构；

b) 主汽轮机组的基座结构

1-面板；2-基座；3-双层底；

1-固定垫板；2-基座；3-双层底

基座或加强板的左右位置 and 高度位置的检查，通常是在确定轴系理论中线后紧接着进行的，其检查基准为轴系理论中线。常用的方法有两种：

1. 拉线法

拉线法适用于拉钢丝线确定轴系理论中线时的方法。它是根据确定轴系理论中线所拉的钢丝线来检查基座的左右和高度位置，如图 1-5 所示。先在基座上平面敷设薄板 4 并划出左右中分线 3，然后用垂直搁在基座面板上的丁字尺 1 或平尺、角尺，测量钢丝 2 与基座中分线的左右偏差 Δ ，要求 Δ 不大于 5 mm。基座高度尺寸可用带有高度刻度的丁字尺，直接测

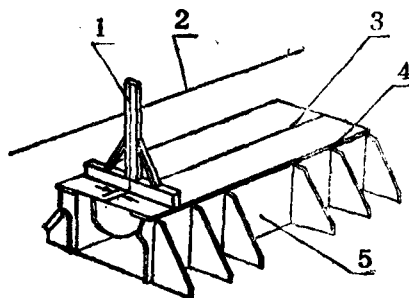


图 1-5 用丁字尺检查基座位置

1-带高度刻线丁字尺；2-钢丝；3-中分线；

4-薄板；5-基座

出钢丝线距基座面板间的尺寸而得。上述测量均需在基座前后两个位置上进行。

2. 光学仪器法

光学仪器法适用于用光学仪器确定轴系理论中线时的方法。它是根据用光学仪器确定轴系理论中线时，仪器射出的主光轴来检查基座位置。以图 1-5 为例，先划出基座上平面的左右中分线，将划有高度刻线和中垂线的丁字尺搁在基座面板平面上，并将丁字尺中垂线对准基座面板中分线，然后读出光学仪器主光轴十字线中心与中垂线之间距离，即为基座左右位置的偏差值。测量基座高度尺寸时，可移动丁字尺左右位置，使仪器十字线中心对准丁字尺上的高度刻线，就可读出丁字尺上的高度尺寸，然后加上薄板厚度，即为轴系理论中线距基座面板的高度尺寸。上述测量均需在基座前面后面两个位置上进行。

基座位置及尺寸的允许偏差值见表 1-1。

基座位置及尺寸的允许偏差 (mm)

表 1-1

基 座 名 称	位 置 精 度			尺 寸 精 度		
	前 后	左 右	上 下	长	宽	高
主 柴 油 机 基 座	±10	±5	两边高度差	+10	+4	+3
			<3	-5	-2	-6
主 汽 轮 机 基 座	±15	±5	各基座间	+10	+5	+5
			<3	-5	-3	-10

在检查基座高度尺寸的同时，应计算出安装主机垫片的厚度是否合适。垫片厚度等于基座面板，或固定垫板至轴系理论中线的高度尺寸，减去主机或减速器输出轴旋转轴线至机座支承脚下平面的尺寸，应为 10~75mm。柴油机功率 ≤ 147kW，使用钢质垫片厚度不大于 25mm；铸铁垫片厚度不小于 25mm；整条硬木垫片厚度不小于 25mm，且允许加垫不超过三块的金属垫片。

为了防止主机机座与基座相碰，必须检查基座面板内边缘是否妨碍主机机座落于垫片上。此外，还应检查面板外边缘尺寸，要求基座面板比机座支承脚伸出 5~10mm (图 1-6)。上述两项检查也可以用主机横剖面形状的样板进行。

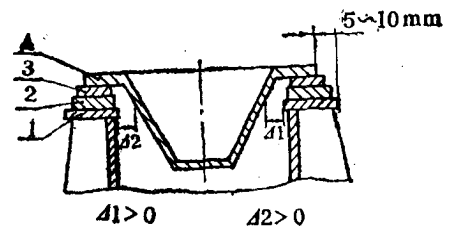


图 1-6 测量基座面板内外边缘间距尺寸示意图

1-基座面板；2-固定垫板；3-垫片；
4-机座支承脚

二、主机紧固螺栓孔或固定垫板位置的确定

主机紧固螺栓孔是用来安装主机与基座连接的紧固螺栓，因此在基座上应事先确定各螺栓孔的位置，并检查它们是否与船体双层底下面的横向肋板或基座的横向加强筋相碰。由此来决定基座的纵向位置是否需要作少量的调整，或将少数相碰地方的肋板割除，让出螺栓孔的位置。

在基座上确定主机紧固螺栓孔位置的方法，是根据轴系理论中线、轴系长度及机座螺栓孔布置图，划出基座左右螺栓孔的位置线。如图 1-7 所示，拉一根短钢丝线 2 代表轴系理论

中线，在钢丝上主机位置的前、后及中间取若干点挂铅垂线 3，在与铅垂尖接触处打样冲眼，再用直尺划线连接各样冲眼，此线即是轴系理论中线垂直投影在双层底，或加强板 5 上的主机纵向中线 4，再在此中线两边按主机机座螺栓孔布置图，划出左右各螺栓孔圆心的连线。螺栓孔纵向位置是根据机舱布置图上主机（或减速器）输出轴法兰端面，或柴油机某气缸轴线至后机舱隔舱壁或某号肋位的距离尺寸，在主机纵向中线上实地量取，以此作为决定紧固螺栓孔纵向位置的基准。根据机座图及纵向基准，在已划出的左右螺栓孔连心线上划出各紧固螺栓孔的纵向位置。

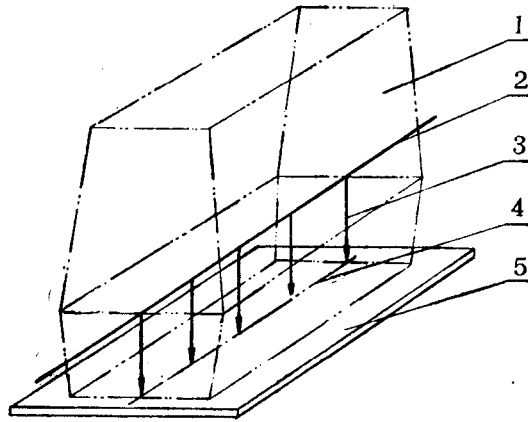


图 1-7 轴系理论中线垂直投影示意图
1-主机；2-钢丝线；3-铅垂线；4-主机纵向中线；5-加强板

在批量生产中，主机紧固螺栓孔的位置往往是按机座图纸尺寸制作的样板来确定，样板用木板或铝板制作，如图 1-8 所示。以主机曲轴输出端法兰外圆与端面为基准，将主机机座上各螺栓孔位置、机座边框线及飞轮端法兰平面的延长线复制在样板上，分别测出样板前后端距机座中线左右间的距离，并打上标记。划线前，先在基座面板平面上划出轴系理论中线的投影线 EF 和垂直于中线的横向往线 GH 以及机座边框线 如图 1-9 所示。然后把样板放在基座面板上，并使样板上的飞轮端法兰平面刻线到机舱后隔舱壁的尺寸符合图纸标注的尺寸要求，并测得样板前后端和左右位置符合原测定尺寸，使样板的左右位置与主机机座边框线相吻合，最后用夹具固定样板，划出各螺栓孔的位置线。

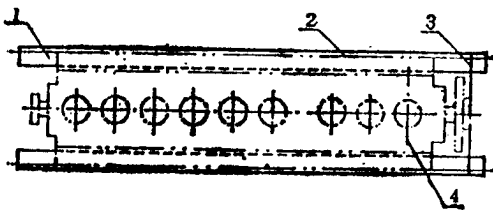


图1-8 主机机座螺栓样板示意图
1-划线样板；2-机座边框线；3-主机飞轮端法兰平面线；4-气缸中线

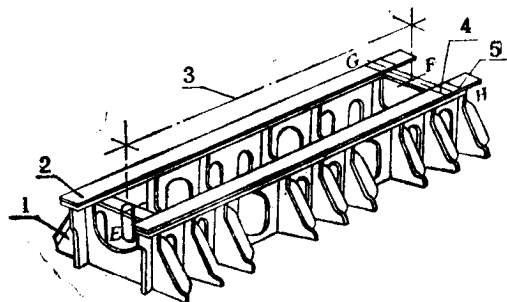


图 -9 用样板在基座上划螺孔位置
1 基座；2-样板；3-轴系中心线；4-主机机座边框线；5-飞轮法兰端面线

固定垫板的位置是在基座上确定紧固螺栓孔位置的同时，根据固定垫板布置确定的。

三、基座上平面或固定垫板上平面的加工

为了使主机工作时产生的作用力能均匀地由基座传递给船体，要求主机机座支承脚下平面与垫片，垫片与基座上平面之间保持紧密接触，因此要对基座上平面进行加工。如果主机垫片用矩形，一般在基座面板上还要焊装固定垫板，这时除了对基座面板上要焊装固定垫板处进行加工外，固定垫板焊妥后，还要对固定垫板上平面进行加工。如果采用其他类型主机垫片或减震器，则不需焊装固定垫板。

基座面板及固定垫板上平面的加工，根据其尺寸大小，采取不同的加工方法。对于较小的基座，可用电动锉刀，风动砂轮或电动磨头进行加工；对于中、大型基座，为改善劳动条件，提高工效，可采用组合式铣床进行加工。此外，固定垫板上平面还应进行刮磨，刮磨时可用小平板作为基准平面，刮磨要求蓝油点分布均匀，并在 $25 \times 25 \text{mm}^2$ 内有 2 ~ 3 个油点。还要求垫板上平面与平尺或小平板之间用 0.05mm 塞尺插不进去。

基座面板上平面加工的技术要求如下：

(1) 基座上平面应平整，当用平尺检验时，用 0.05mm 的塞尺不应插进。允许存在局部不平度，但不得超过 0.15mm ，且其长度不得超过基座面板周长的 35%。

(2) 基座面板或基座固定垫板的上平面应沿宽度方向加工成向外倾斜，这样以便于垫片的装入和抽出如图 1-10 所示。当用平尺检验时，最大倾斜度不得超过表 1-2 的规定。

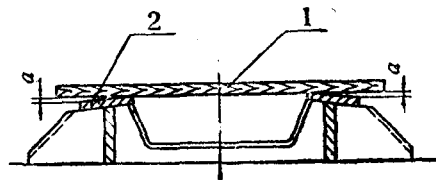


图 1-10 用平尺检验倾斜度示意图
1-平尺；2-基座

基座面板允许的倾斜度 (mm)

表 1-2

基座面板宽度	最大倾斜度 α
~200	1.5
>200~400	3.0
>400~600	4.5
>600	6.0

主机垫片若采用可调螺纹球面垫片或减震器时，其基座面板不必倾斜。

(3) 整个基座面板上平面用对角线检查时，两对角线应相交，其不相交度不超过表 1-3

基座面板允许的不相交度

表 1-3

基座长度 (m)	两对角线不相交度 (mm)
~2	3
>2~4	4
>4~6	6
>6	8

的规定。

(4) 基座面板上平面的加工粗糙度为 $2.5\mu\text{m} \leq R_a \leq 20\mu\text{m}$ 。

四、主机吊运

主机上船安装，必须将主机吊运入机舱内落位。以往中、小型主柴油机通常是整机吊运，大型主柴油机常是拆散后吊进机舱再在船上定位总装。随着大型起吊设备的出现，大型主柴油机也已采用整机吊装工艺，如图1-11所示。这样可缩短船舶建造周期。主汽轮机组通

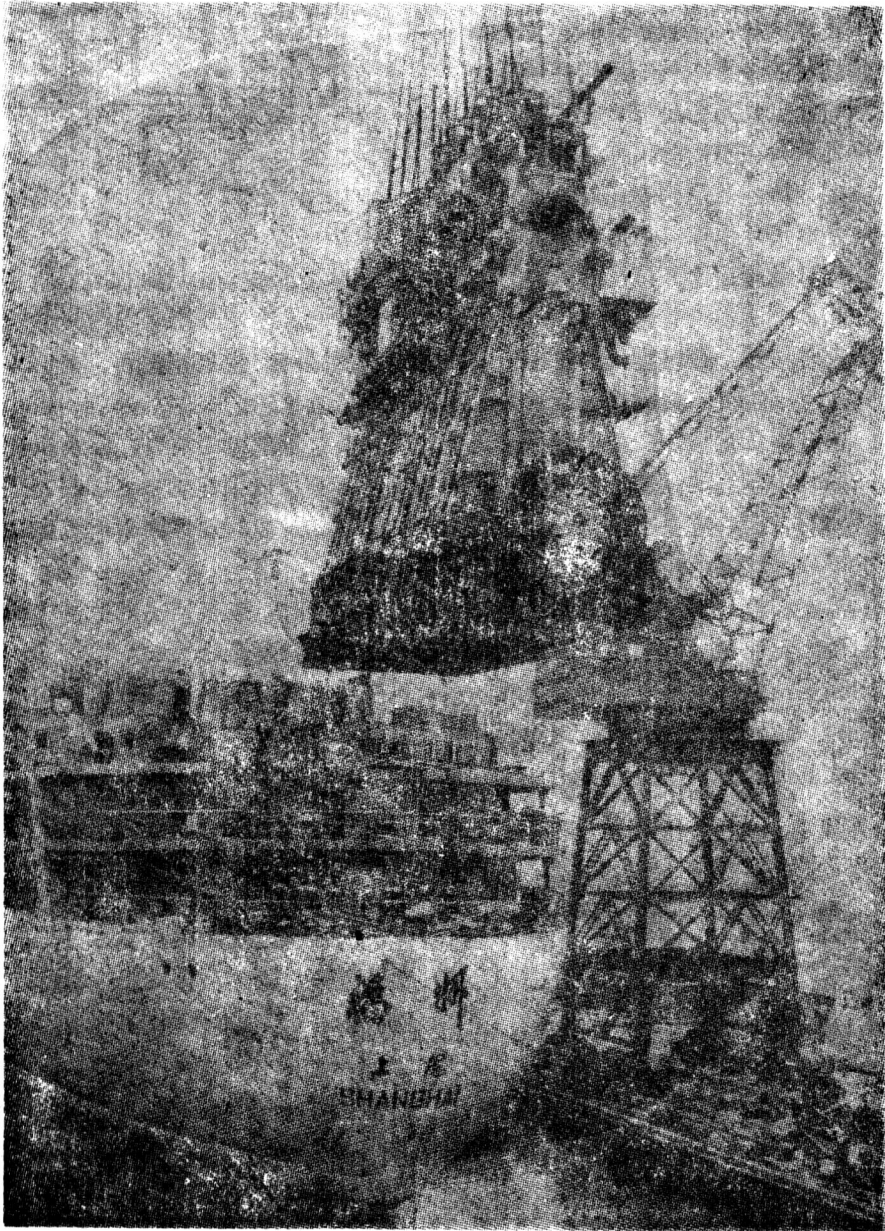


图1-11 主机在进行整机吊装

常是以单独的组件，如减速器，高中低压汽轮机，冷凝器等分别吊船定位安装。也有以主汽轮机组整单元吊船安装的，如图1-12所示。

一般情况下，大型主机的吊运，按下步骤进行：吊运核算，整机搬移，整机起吊。

1. 主机吊运核算

(1) 重量核算：重量核算时，首先算出主机起吊时的净重，核算吊臂在所要求的幅度下的起重量是否足够大于主机的重量（起重机吊臂在不同的幅度下，具有相应的起重量、跨距及吊钩的起升高度）。

(2) 外形尺寸核算：根据主机的长、宽尺寸，核算机舱顶篷开口尺寸能否将主机吊入。

(3) 重心核算：算出主机的重心位置，并求出吊运时，主机在左右、前后方向允许的最大倾斜角度（以主机不致翻倒为原则），用以决定吊钩位置。

(4) 钢丝绳负重核算：根据起吊所采用的工具决定钢丝绳的数目，以及在选定钢丝绳的直径后，验算钢丝绳的强度能否承受主机的重量，必须保证钢丝绳有足够的系数。

钢丝绳的长度，应根据吊钩起升高度、主机高度和机舱高度等因素来考虑。在高度有宽裕的情况下，钢丝绳越长越好，因为角度越小越安全。

(5) 幅度核算：当主机从船侧（或船尾）吊入机舱时，应根据主机半宽（或半长）以及机舱开口中心至船侧（或船尾）的距离，核算起重机的幅度是否足够。

(6) 高度核算：根据主机高度尺寸，主机机座底面能越过机舱部位上层建筑时的高度距离，核算吊臂处于要求幅度下，吊钩的起升高度是否满足。

2. 主机整机搬移

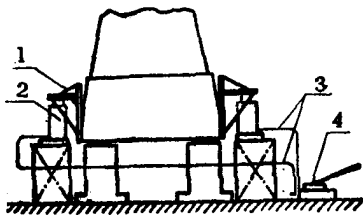


图1-13 整机顶升示意图

1-三角支承托架；2-油压千斤顶；3-油管；4-油泵

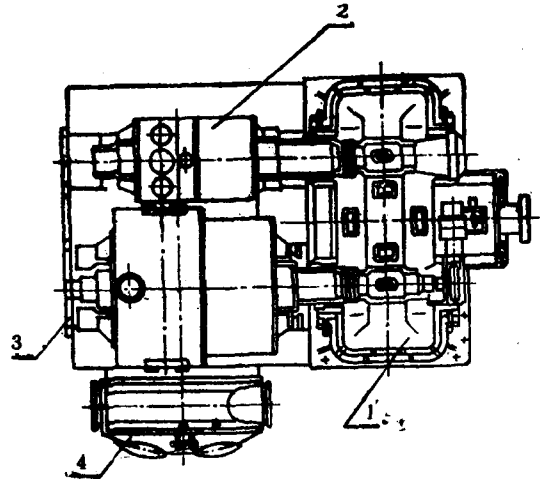


图1-12 功率为7355kW(10000马力)的主汽轮机组
1-减速器，2-高压汽轮机；3-低压汽轮机；4-冷凝器

主机安装到船上之前，必须将主机从存放地搬移至码头或船台边，然后用起重机吊到船上。因此在主机移动前，首先应测量曲轴臂距差、导板与滑板间隙、推力盘与推力块间隙等移动路线，清除沿途场地，准备移位工具等。然后用若干个千斤顶将主机顶起，如图1-13所示。为使各个千斤顶的升起量同步，不使主机产生变形，采用集中供油系统，使每个千斤顶上的压力保持一致。主机顶起后，放入移位装置进行搬移。

主机特别是大型柴油机的搬移是件较费的工作，过去多数采用滚动滑道等方法，所需的设备和牵引力都较大。近年来，随着气垫技术在造船工业中的应用，大型主机的搬移采用高负荷气垫起重移位装置（简称移位装置）。

气垫起重移位装置的支承工作原理及结构如下：

气垫起重移位装置是由气垫单元（图 1-14）或由几个气垫单元组合而成。托板 2 是用来支承主机的，它是一块钢板，板的上面开有与重物（主机）底面相连接的螺栓孔，板的侧面开有气道。托板下面是由氯丁橡胶和二层细帆布组成的盘式薄膜 1，该薄膜用法兰压板 4 与托板紧固。托板的中央有一支承座 3。薄膜未充气之前，支承座与地面接触并承受全部重物的

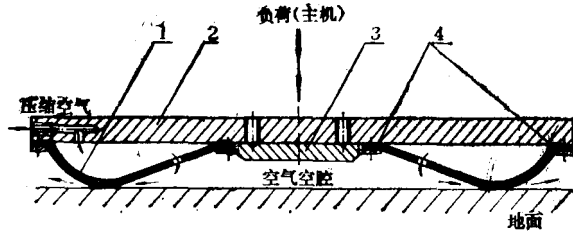


图 1-14 气垫起重移位装置单元结构图

1-薄膜；2-托板；3-支承座；4-压板

的载荷。当压缩空气由托板气道通入薄膜时，薄膜鼓起，并与地面形成一个空气空腔，产生浮力。当这种浮力大到能举起重物时，支承座就脱离地面，此时托板浮起达到抬起重物的目的。与此同时，在薄膜与地面接触处，形成了一层很薄的气垫——气膜，使移位装置与地面之间的摩擦力大大减少。因此，当用较小的牵引力拉动时，托板靠与重物之间很大的摩擦力，与重物一起移动。

气垫起重移位装置的优点：

（1）由于摩擦力小，移动时所需的牵引力很小，故运载能力大。移位装置与地面之间相隔一层气膜，运动时的阻力主要是气膜内空气分子之间的摩擦力。根据由气膜隔开的两平板间的摩擦力的计算公式 $F = \frac{\eta Av}{h}$ （ η 为空气粘度； v 为板的相对速度； A 为平板面积； h 为气膜厚度）可知，摩擦力与负荷大小无直接关系。如某船厂将一重量为 450t 的主柴油机从车间移到码头，所用的最大牵引力为 49kN，压缩空气的压力为 $29 \times 10^4 \text{Pa}$ ，在整个搬移过程中移位装置工作情况良好。

（2）操作简便灵活，机动性好。在水平位置上，移位装置可沿任意方向运动，又能绕铅垂轴旋转。这种特性，对需通过狭窄地区，或需作横移、回转运动的移动就更有意义。

（3）移位装置结构简单，没有运动部件，运输能力与自重之比较大。如移动 3t 重物时移位装置自重仅为 45kg，所以该移位装置不仅安全可靠，而且设备成本费也较低。

（4）对地面的压力很小。如移动 3t 的重物，移位装置对地面的压力仅有 $1.96 \times 10^4 \text{Pa}$ ，而移动同样重量的轮式车辆对地面的压力则为 $98 \times 10^4 \text{Pa}$ ，故这种装置可降低对路面的强度要求。

气垫起重机移位装置的缺点是它不能在粗糙的地面上工作。由其工作原理所知，薄膜与路面组成空气空腔，由于水泥路面比较粗糙，为保证空腔内所需的空气压力，路面上可铺设一层 20mm 厚的质量差的钢板。

3. 主机整机吊运

首先将经重心计算后所确定的主机起吊部位装上起吊工具，如图 1-15 所示。

图 1-15a) 中的吊梁通过主机的贯穿螺栓与主机相连接，钢丝绳挂在吊梁两侧的销轴上即可起吊。为了防止整机吊装时主机的变形，起吊时各部分必须受力均匀，不产生弯曲或扭曲等变形，因此将吊梁作成是一个坚固的箱形体。

起吊时，应将主机缓慢地提升，当吊离地面约 200mm 时，稳定约 10min，观察主机是否

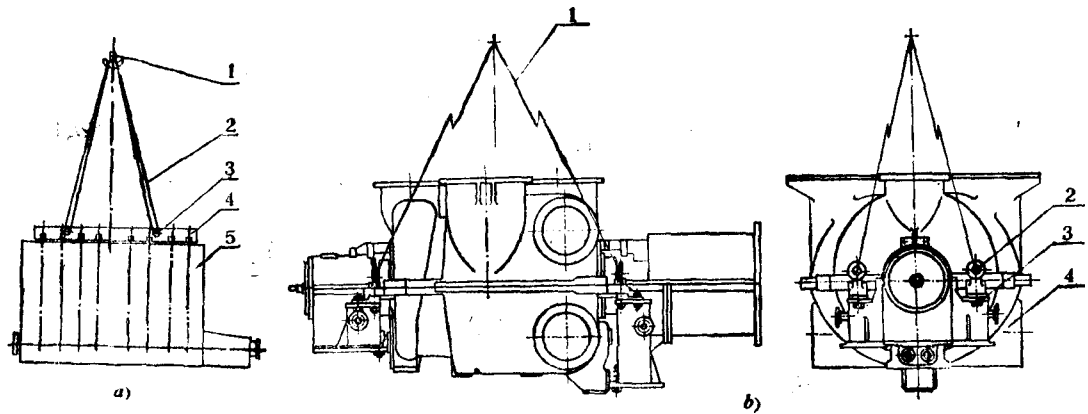


图1-15 主机的起吊工具

a) 主柴油机起吊工具；

1-吊钩；2-钢丝绳；3-销轴；4-吊梁；5-主机

b) 汽轮机的起吊工具

1-钢丝绳；2-环有螺栓；3-螺母；4-汽轮机

水平，起吊工具是否有不正常现象。如不水平，应将钢丝绳作适当调整，然后继续提升。主机吊到机舱口上空时，为便于对准入口，在主机四角系上麻绳，用人工帮助转动使其对准舱口，然后将主机徐徐下降。为使主机准确落位，事先在主机基座四角的紧固螺栓孔内，装入四根导杆，并在基座上放置木垫，当主机下降离基座400mm时，利用机舱四角设置的葫芦相配合，使主机机座四角相应的四个螺栓孔对准导杆，在导杆的引导下，主机坐落在木垫上。至此，主机吊运完毕。

大型主机采用整机吊装工艺，大大缩短船舶建造周期，保证了主机的安装质量，减轻了劳动强度。主机采用拆散安装工艺，一拆一装需多次搬动。易造成柴油机零件拉毛，碰伤或损坏等。此外，由于总装周期长，给零部件、油封的保养带来不便。整机吊装可克服以上缺点。

§1-4 主机校中（定位）

主机校中（或称定位），就是按轴系中线调整好主机在机舱中的位置，使安装好的主机轴线与轴系中线同轴、平行（轴系通过减速箱与主柴油机连接）或成合理的曲线状态。对于轴系通过减速箱传动的主柴油机和主汽轮机组，主机校中工作都从校中减速箱（器）开始，然后以减速箱（器）为基准校中主柴油机或汽轮机。主机或减速器的校中，是主机安装中最主要的一部分工作。

主机或减速器吊运上船后，在校中前，先要对它们进行初步校中。一般使用的方法是：根据主机垫片布置图上指定的位置焊装调位支架，常用的主机调位工具是用调节螺钉，如图1-16a所示。对于中、大型柴油机，由于重量较大，调位工具大多用楔一螺纹千斤顶，如图1-16b所示。吊运进舱的主机或减速器，按第一中间轴法兰或所划的中线和螺栓孔连心线将其位置大致对准，然后坐落在一定数量的均匀分布的临时木垫块上，用调位工具将主机或减速器的左右高度调成一致，相差在2mm以内算合格。当船体没有横倾或横倾在允许范围

内，可用连通管水平仪测量调整。在一般情况下，或船的横倾超过规定时，可以基座上平面为基准，用钢直尺测量机座左右高度，并调成一致。调好后拆除木垫块，用斜铁临时垫好后即可正式进行主机校中工作。

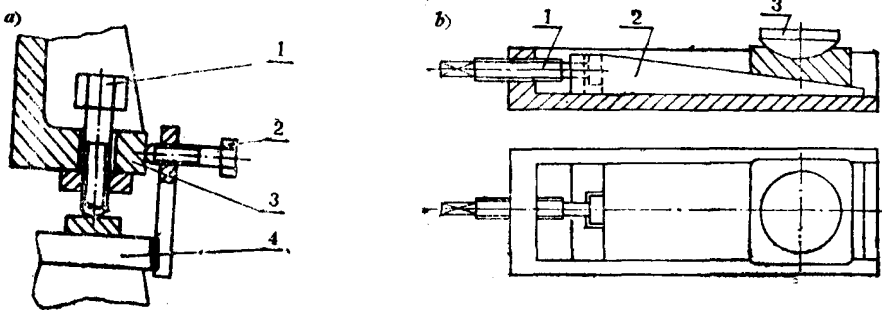


图1-16 调位工具

- a) 用螺钉调位；
1、2- 调节螺钉；3- 机座；4- 机座
- b) 楔— 螺纹千斤顶
1- 螺杆；2- 楔块；3- 自位支承块

主机（或减速器）的校中方法与轴系安装密切相关，主要有两种方法：先安装轴系再安装主机（或减速器）时，则以连接法兰上的偏移和曲折进行校中；在先安装主机（或减速器）再安装轴系时，则以轴系理论中线校中。

一、按连接法兰上的偏移和曲折校中

按连接法兰上的偏移和曲折校中俗称平轴法。此法是以先安装好的轴系推力轴或第一中间轴的前法兰为基准，用直尺和塞尺，或用两对指针和塞尺，测量它与主柴油机或主汽轮机组减速器输出轴法兰上的偏移和曲折，来校中主机高低和左右位置。主机轴向位置则由轴系连接法兰端面位置确定。它是最常用的校中方法。

所谓偏移（ δ ），是指两相邻轴的轴线不重合，但平行；所谓曲折（ φ ），是指两相邻轴的轴线相交成一定角度，如图 1-17 所示。一般情况下，偏移和曲折是同时存在的。用此方法校中主机时，根据连接法兰上偏移和曲折的大小，就可以定柴油机曲轴轴线或减速器输出轴轴线与轴系中线的不同轴度。对于采用合理校中方法安装轴系的大型低速柴油机，此连接法兰上的偏移和曲折的大小，反映出柴油机曲轴轴线与轴系中线的相对位置符合程度。

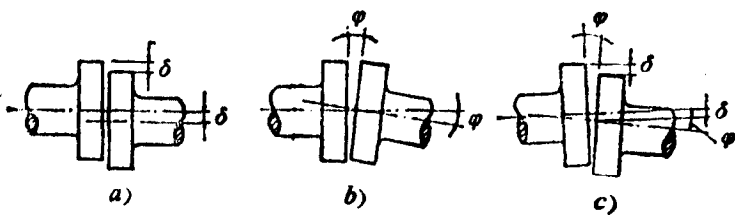


图 1-17 两轴连接法兰的偏移和曲折
a) 偏移；b) 曲折；c) 偏移和曲折同时存在

按法兰校中时，为便于测量偏移和曲折，两连接法兰端面之间应留有0.5~1.0mm间隙。如法兰之间有定位凸肩，则应使凸肩脱开并使两者间有0.5~1.0mm的间隙。

1. 用直尺和塞尺测量偏移、曲折

连接法兰上的偏移和曲折值，一般是用直尺和塞尺进行测量，并进行简单的计算而得，如图1-18所示。

(1) 偏移的测量和计算：将直尺贴附在以轴系推力轴或第一中间轴为基准的法兰外圆母线上，同时用塞尺测量与之连接的柴油机曲轴或减速器输出轴法兰外圆表面与直尺之间的间隙值，依次在法兰外圆的上、下、左、右四个部位分别测得 $a_{上}$ 、 $a_{下}$ 、 $a_{左}$ 、 $a_{右}$ 四个数值 (mm)。

于是，在垂直平面内两轴轴线的偏移值为：

$$\delta_{垂直} = \frac{a_{上} + a_{下}}{2} \quad (mm)$$

在水平平面内两轴轴线的偏移值为：

$$\delta_{水平} = \frac{a_{左} + a_{右}}{2} \quad (mm)$$

在计算时采用上、下或左、右两部位上测量的平均值，则可消除两法兰直径加工误差的影响。

(2) 曲折的测量和计算：依次用塞尺在两法兰端面间的上、下、左、右四个位置测量其间隙，测得 $b_{上}$ 、 $b_{下}$ 、 $b_{左}$ 、 $b_{右}$ 四个数值 (mm)。

于是，在垂直平面内两轴轴线的曲折值为：

$$\varphi_{垂直} = \frac{b_{上} - b_{下}}{S} \quad (mm/m)$$

在水平平面内两轴轴线的曲折值为：

$$\varphi_{水平} = \frac{b_{右} - b_{左}}{S} \quad (mm/m)$$

式中： S ——法兰直径， m 。

这种测量方法较简单，用得也较多，但测量精度较低。

2. 用两对指针测量偏移、曲折

当连接法兰的直径较小 (小于100mm)，或相连接的两法兰的直径不相等，表面不平整，以及用齿轮式、牙嵌式和封闭式联轴器连接时，则应采用两对指针测量其偏移和曲折，才能获得较准确的数值。这时，须在法兰外圆对称地装上两对指针，然后用塞尺测量其间隙值，再进行简单计算而得，如图1-19所示。

测量时，指针的微动螺钉端面与测量端面之间的间隙应尽可能地小些，这样可提高用塞尺测量其间隙时的精度。同时，应将两测量轴同步旋转，并在每转90°后用塞尺分别测

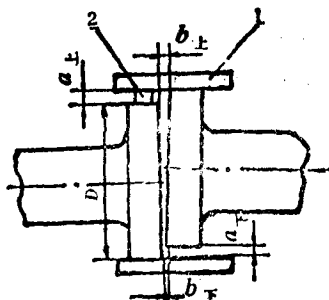


图1-18 用直尺和塞尺测量法兰的偏移、曲折
1-直尺；2-塞尺

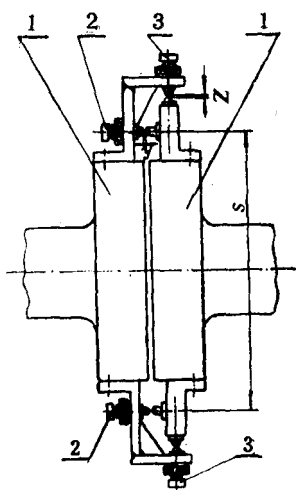


图1-19 用两指针测量轴的偏移和曲折
1-法兰；2-水平微动螺钉；3-垂直微动螺钉

量各指针间的相应间隙值，两对指针以注脚 1 和 2 标记，间隙用字母 Z 和 Y 表示。依次测得表示偏移的径向间隙 $Z_{上}$ 、 $Z_{下}$ 、 $Z_{左}$ 、 $Z_{右}$ 和表示曲折的轴向间隙 $Y_{上}$ 、 $Y_{下}$ 、 $Y_{左}$ 、 $Y_{右}$ 共八对数值 (mm)。

于是，在垂直平面内两轴轴线的偏移值为：

$$\delta_{垂直} = \frac{(Z_{1上} + Z_{2上}) - (Z_{1下} + Z_{2下})}{4} \quad (\text{mm})$$

在水平平面内两轴轴线的偏移值为：

$$\delta_{水平} = \frac{(Z_{1右} + Z_{2右}) - (Z_{1左} + Z_{2左})}{4} \quad (\text{mm})$$

在垂直平面内两轴轴线的曲折值为：

$$\varphi_{垂直} = \frac{(Y_{1上} + Y_{2上}) - (Y_{1下} + Y_{2下})}{2S} \quad (\text{mm/m})$$

在水平平面内两轴轴线的曲折值为：

$$\varphi_{水平} = \frac{(Y_{1右} + Y_{2右}) - (Y_{1左} + Y_{2左})}{2S} \quad (\text{mm/m})$$

式中 S ——两个水平指针的间距，mm。

采用两对指针测量偏移和曲折时，由于在测量过程中二相邻轴是转动的，而偏移和曲折取其转动前后的平均值，这样可以避免轴法兰机械加工误差对校中精度的影响。

由于用两对指针测量仍摆脱不了使用塞尺测量间隙大小所带来的测量误差，尤其当测量空间位置不很方便时，常用两组百分表代替两对指针，如图 1-20 所示。即可直接测得读数，而且精度较高。测量方法和计算方法完全和指针法相同。

根据测量和计算两连接法兰上的偏移和曲折大小来校中主机（或减速器）时，应调节主机或减速器位置，使其输出轴法兰与轴系连接法兰上的偏移、曲折值不超过规范的允许范围，或满足轴系计算书要求的数值范围。但应注意考虑轴系连接端法兰因自重造成的下垂量影响，校中时予以修正（详见第三章）。

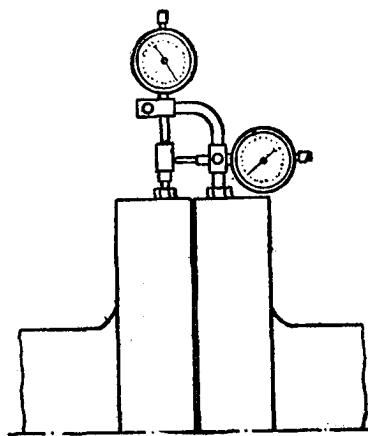


图 1-20 用百分表测量轴的偏移和曲折

二、按轴系理论中线校中

此方法适用于先装主机（或减速器），轴系尚未安装的情况。即以确定轴系理论中线的基准点为基准来校中主机（或减速器）的高低、左右位置；其轴向位置则根据轴系设计长度，按图纸上规定的主柴油机（或减速器）输出轴法兰端面或主柴油机的某气缸轴线至某号肋位的距离来确定。

校中主机或减速器的高低、左右位置，可用光学投射仪。对于某些大型柴油机拆散上船定位安装时，则可用拉线法校中。