

汽轮机组 安装的光学测量法

机械工业出版社

汽轮机组安装的光学测量法

哈尔滨汽轮机厂技术推广室译



机械工业出版社

内容提要 本书介绍了汽轮机组装配时所采用的一些光学测量方法及其原理。对各种不同的检测方法进行了分析，论证了汽轮机组装配时利用光学检验法的可能性；同时还分析了所需光学仪器及其附件的结构和采用光学测量法装配汽轮机的工艺特点。

本书可供汽轮机制造厂和电站从事汽轮机安装、调整的工人、工程技术人员及从事其他高精度大型设备安装调整工作的工程技术人员参考。

汽轮机组安装的光学测量法
哈尔滨汽轮机厂技术推广室译
(限国内发行)

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $47 \frac{5}{8}$ · 字数 109 千字
1976 年 11 月北京第一版 · 1976 年 11 月北京第一次印刷
印数 0,001—7,000 · 定价 0.32 元

*

统一书号：15033·(内)681

译 者 的 话

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应我国多、快、好、省地发展动力工业，我们翻译了苏联1973年出版的B. И. 卡拉谢夫及Д. С. 莫奈斯著的《汽轮机组安装的光学测量法》一书。

本书主要根据列宁格勒金属工厂的实践经验介绍了汽轮机工厂总装及电站安装中采用光学测量的工艺方法，同时对所使用的光学仪器及其附件作了详细介绍。本书适用于汽轮机制造厂及电站安装方面的工人、工程技术人员参考。

本书删去了原书第五章。对书中的部分图也作了改动。

由于我们的政治和业务水平有限，错误之处在所难免，望读者批评指正。

一九七五年十月

7-276101

序

现代动力工业的发展与大功率汽轮机组的设计、制造和运行有关。提高汽轮机组的单机容量势必引起转子数量的增多、汽缸和轴承箱尺寸的增大，同时还得采取一系列新的结构。近年来设计制造了50万千瓦大型多缸冷凝式汽轮机、80万千瓦大型多缸冷凝式汽轮机及25万千瓦大型多缸供热式汽轮机。目前，正在设计制造单轴120万千瓦汽轮机组。近十年来汽轮机和发电机的结构有了迅速的发展，汽轮机装置的容量也有所增长，但其制造工艺，尤其是装配和安装工艺却没有重大的变化。

大型多缸汽轮机和发电机的工厂总装及电站安装工艺过程仍基于现有的测量方法，与总装小型单缸汽轮机所采用的方法原则上没有区别。

与此同时，由于汽缸及轴承箱数量的增多及其尺寸的增大，就必须解决安装、调整汽缸、轴承箱和通流部分各零件有关的工艺问题，尤其应解决在电站安装时重现工厂总装结果问题。其中包括安装过程中，由于重量负荷的变化（装入各转子，通流部分各零件，各汽缸盖缸）、水平中分面法兰螺栓的拧紧、冷凝器的焊接、工厂总装与电站安装条件的不同、各汽缸及轴承箱的运输与存放条件不同等等对于各汽缸及轴承箱变形的影响。

目前采用的测量方法仅能解决具有尺寸不大的刚性汽缸的汽轮机总装问题，但难以解决大型汽缸及轴承箱调整时所出现的许多工艺问题。根据现有的技术条件，采用钢丝、假

轴、搪杆、安装平尺、“地质勘测”精密水平仪等测量工具，对大型汽轮机的安装调整不仅不够精确，而且汽轮机在工厂总装及电站安装时，还不能得到相同的装配结果。

由于现有测量方法具有一定的局限性，所以使汽轮机在工厂总装及电站安装过程中的工艺不够完善，从而增加了安装的工作量，延长了安装周期并降低了安装质量。

全苏动力设施建筑公司工艺设计研究所研制并推广了大型机械安装用的高精度光学测量方法。此方法是汽轮机的工厂总装及电站安装工艺完善化的可能途径之一。

目前，这种安装调整各汽缸、轴承箱和通流部分各零件的新工艺正在推广之中。有的工厂对各类汽轮机的总装均采用这种新工艺。例如，对 T-100-130 型及 T-250/300-240 型汽轮机总装亦用了这种新工艺。

毛主席语录

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

目 录

序	
第一章 光学测量法在机器制造业中的应用	1
1. 机器制造业中的主要检查形式及在汽轮机制造中 所用的检验特点	1
2. 光学测量法	7
3. 光学测量在汽轮机制造中的主要形式	18
4. 正确使用光学仪器的条件	22
第二章 汽轮机安装调整的现行工艺方法	26
1. 汽轮机在工厂总装和电站安装的基本要求	26
2. 各汽缸垂直中分面的装配	28
3. 各汽缸及轴承箱的安装与调整	33
4. 通流部分各零件的安装与调整	44
5. 汽轮机的盖缸、校正及最终找中	47
6. 用各种测量方法调整各汽缸、轴承箱及转子时的 调整精度	49
第三章 光学测量法在汽轮机安装调整中的应用、 光学仪器及其附件	52
1. 采用新测量方法的必要性	52
2. 采用光学测量法的汽轮机安装工艺	56
3. 汽轮机总装中采用光学测量法的特点	64
4. 采用光学测量法需准备的原始数据	65
5. 光学仪器及其附件	86
第四章 采用光学测量法的汽轮机安装调整工艺	115
1. 在制造厂进行的汽轮机总装	116
2. 汽轮机的电站安装和调整	136
3. 发电机的安装和调整	147

第一章 光学测量法在机器制造业中的应用

光学仪器在测量学和试验室测量中获得了广泛的应用，但在机器制造业中光学仪器的应用却很少。而它的应用却能给机器的制造及安装精度带来有利的影响，并能减少工作量。因此在机器制造业中采用光学测量法的可能性还是很广泛的。

1. 机器制造业中的主要检查形式及在汽轮机制造中所用的检验特点

对已加工的工件，应根据图纸要求进行尺寸、形状和表面位置的测量检查。

尺寸检查——根据要求的精度，测量长度值或角度值；平面尺寸、圆柱表面或圆锥表面的直径和长度，以及两线间或两表面间的夹角和距离的大小。

形状检查——根据要求的精度，测量产品表面相对于已定正确几何形状的偏差。在机器制造中最常出现的形状偏差有：在一个或几个方向上的非直线性（在几个方向上的非直线性称为不平面度）、不圆度、椭圆度及形状偏差。

位置检查——根据要求的精度，测量产品各表面的相对位置。相对位置由与这些表面有关的中心线、点或线间的距离来确定。表面位置的典型偏差有：径向及端部跳动、不同心度、壁厚不均匀度、中心线的交叉及中心线间距离的偏差、

不对称度、不垂直度、不平行度。

在任何情况下,检查表面位置时都必须对形状进行检查。这首先是由于表面相对位置的测量结果与这些表面的形状误差有关,其次是因为当连接表面之一产生变形时,若重新调整连接表面的相对位置就不可能保证其原来的位置。所以,尺寸检查就是确定一个尺寸的一致性。形状检查就是确定一个表面的形状误差,而位置检查则要确定一个或几个零件的两个以上表面的座标。因为零件的制造和装配不可能绝对正确,而只能不同程度地接近规定的要求,所以尺寸、形状和表面位置的偏差用公差表示。

汽轮机的制造周期包括下列主要阶段:各零件的制造,整台汽轮机在工厂试车台上进行总装及电站安装。

在汽轮机制造的各个阶段中,检查工作也必须及时完成,但检查的特点是不同的。

对汽轮机各汽缸及轴承箱所提出的要求是:接合面紧密吻合;汽缸洼窝中心线与其水平中分面重合;各支座面与水平中分面平行;垂直法兰面与洼窝中心线垂直并在安装时有可能重现各相配汽缸间的相对位置。

全部实现这些要求,主要依赖于机械加工的精度。而机械加工精度本身又取决于机床设备的精度及加工时的零件装夹方法。在汽轮机加工中,汽缸及轴承箱在机床上的装夹精度差及夹紧强度不足是引起违背上述要求的重要原因。大型零件加工的特点是找出能达到接合精度的各种专门方法,以代替形状检查。例如,检查水平及垂直中分面的直线度和平面度时,用一个零件对另一个零件的刮配来代替;检查接配洼窝的不圆度时,用按支承洼窝配准轴瓦来代替等等。因此,在制造汽轮机各汽缸及轴承箱时,只需进行保证尺寸重现的

检查，而不必进行形状检查，这样就避免了保证零件互换的要求。

汽缸及轴承箱加工的复杂性还表现在零件各表面的相对位置上。注窝的同心度及垂直法兰面与注窝中心线的垂直度都可能产生很大的偏差。由于零件的尺寸及注窝的直径都很大，所以同心度及垂直度的检查有困难。这些偏差只有在各汽缸连接以后及汽轮机总装时才能发现。因此，为校正不容许的偏差，必须将有缺陷的零件拆下，放到机床上重新加工，并在总装过程中进行消除缺陷的附加工作。

在编制各汽缸及轴承箱加工工艺时，要考虑到注窝同心度和法兰面垂直度的要求。根据列宁格勒金属工厂所确定的工艺方法，取水平中分面作为加工的基准。加工时零件的装夹应保证注窝中心线与水平中分面重合。

注窝中心线对水平中分面的平移或中心线的交叉，在沿汽缸全长上不得超过 0.1 毫米。检查汽缸各上下半缸的这种偏差值是很简单的，但只有在加工完毕、零件从机床上卸下后才能进行。为此，需在中分面上放置平尺（图 1）并测量尺寸 D 及 H 。然后确定注窝中心线对水平中分面的偏差值和偏斜方向。当 $H \leq D/2$ 时，则注窝中心线高于或重合于水平中分面；当 $H > D/2$ 时，则低于水平中分面。

当严格遵守此工艺时，即使零件在机床上以两次装夹进行加工，注窝中心线的最大偏差也不得超过 0.2 毫米，而垂直法兰面对注窝中心线的最大不垂直度可以超过 0.2 毫米的倍数，和法兰直径大于该段汽缸长度的倍数一样。

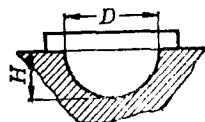


图 1 汽缸下半注窝几何尺寸的测量

由上述可知，在加工汽缸零件时，对零件各表面的位置是不进行检查的，因为根据中分面测得的洼窝中心线偏差，不能看作是零件加工时表面位置的检查。

现行制造工艺中，对汽轮机汽缸及轴承箱各表面的形状和位置不进行检查的原因，是由于大型零件表面的形状和位置在很大程度上取决于其在机床上的装夹情况。因为零件可能由于其本身的重量而产生很大的变形（所谓很大的变形，可认为是数值上等于或超过零件制造精度的公差值），同时，也可能产生尺寸的变化。实际上，当零件在机床上松开装夹以前和从机床上卸下后所测得的数据，可能相差百分之几毫米，甚至十分之几毫米。

在加工转子零件过程中，进行检查的可能性就大得多，而且对其加工精度的要求也很高。转子零件在制造及装配时，不仅对尺寸，而且对形状及位置都应按二级精度的要求进行检查。

汽轮机制造的第二阶段，就是主要部件的装配及整台汽轮机在试车台上总装。总装时，必须：

根据汽轮机的主要中心线，检查在试车台外已装配好的各部套间的相对位置；

固定各部套及零件的位置；

对已总装好的汽轮机进行试车准备，以检验其总装质量和机组在保证正常运行条件下的工作能力；

确定安装数据，以使汽轮机在电站安装时不必进行重大的修配工作，就可重现制造厂的总装结果。

汽缸及轴承箱的装配特点，就是其加工及部套装配的最终检查只能根据转子零件来完成。由于直接根据转子进行检查在工艺上和组织上有很多困难，所以采用一些专用工具，

即用假轴代替转子,用钢丝确定汽轮机各转子的统一中心线。用这些专用工具对汽轮机各洼窝的同心度只能进行大致的检查,因为测量误差比零件的安装精度还要大。垂直法兰面对洼窝中心线的垂直度则不进行检查。

汽轮机在试车台上总装时,为保证各汽缸及轴承箱相互间的同心度,在工艺上并无特殊的困难,但要保证由若干段组成且有垂直中分面的汽缸本身洼窝的同心度却很困难。

为保证安装垂直中分面时各汽缸的同心度,汽缸及轴承箱的加工工艺应满足下列要求(图2):

(1) 两个连接部分的水平中分面应该重合,偏差值 δ 不应大于0.1毫米,以此保证装配零件在垂直方向上的同心度。

(2) 两个配合零件在对中凸肩处的间隙 a 之差值不应超过0.1毫米,以此保证装配零件在水平方向的同心度。

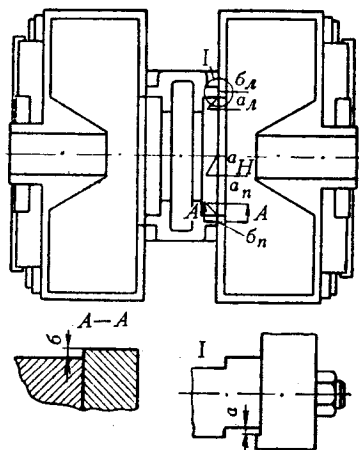


图2 汽缸各段相对位置的测量

假若汽缸各部分加工完毕后,各洼窝的同心度及各垂直法兰面对洼窝中心线的垂直度偏差都不大,则装配垂直中分面时,完成上述两项要求即能保证整个汽缸各洼窝的同心度。

然而还有许多因素对完成装配工作的精度有重要的影响。

由于汽缸尺寸很大,所以由其各支座的负荷所决定的弹

性变形就很大。汽缸由于变形而产生的位移即改变了汽缸各零件表面的形状和位置，所以在机械加工时，必须根据该零件在总装时所要求的位置来决定其在机床上的装夹。

在车间的实际条件下，由于温度变化而引起试车台基础位置及结构的变化也能影响总装精度。试车台某些部分的温度变化可能使已调整好的零件产生十分之几毫米的位移。

根据总装工序进行总装时，先安装调整好的部件，在后安装部件的重量作用下，必然产生变形。这种弹性变形亦可能使调整好的零件产生十分之几毫米的位移。

由此可知，汽轮机在试车台上总装时，只能按工序将各零件的对中情况和所完成的装配工作，提交给技术检查科进行检查。经某一段时间或总装下一个零件后进行复查时，得出的结果与原来数据可能有很大的差别。

根据这一特点，为保证在完成总装工作时达到技术要求，必须既按工序进行检查，又要进行总的检查，即在总装的一定阶段检查主要零件间的相对位置。

在电站安装时，重现工厂总装结果的可能性应从两方面来考虑。首先，汽轮机在电站安装时的安装工艺及检查工作应与该工序在工厂的总装工艺及检查相一致；其次，汽轮机在电站安装及找中时，应以最小的偏差重现工厂的结果。

汽轮机在电站的安装工艺及进行检查的工序，原则上与工厂里进行的工作没有区别，故上述全部试车台上的总装工作均在电站安装中采用。同时，各零件在运输及存放过程中，在垂直中分面的组装、现场安装时的焊接过程中以及因工厂没有场地而必须在安装现场进行的构件连接过程中，都可能使汽缸产生变形。显然，若无专门的检查方法，在电站安装时，就不可能精确地重现试车台的总装结果。要建立这样的

检查工艺和方法，只有不用假轴和钢丝来完成测量工作的情况下才有可能。也就是说，必须编制出与转子零件无关的方法来高精度地测量各汽缸及轴承箱位置。

2. 光学测量法

为精确测量各中心线及表面的尺寸，形状和相对位置，采用光学测量法是最有效的方法。

光学测量法为其他方法难以解决的测量问题创造了测量的可能性。光学测量法的测量精度取决于望远镜的光学系统、在测量时控制望远镜位置稳定的方法及所用的专门光学设备。采用光学测量法不必象机械仪器测量时所必需的高度熟练人员。

机械制造中的光学测量法，可分为两大类：

第一类——测量仪器安置在不直接与所测产品接触的台架上。这个方法通用性较大，且易于用来解决任何局部的测量问题。

当望远镜装置在所测产品之外时，就既可以测量其各元件的相对位置，又可以测量该产品与其本体外的测量基点的相对位置。这就是这种测量方法的通用性所在。

在测量过程中，望远镜光轴、基点及所测元件的位置都不是绝对固定不变的，故由于不易检验瞄准线位置是否固定不变而使测量误差产生积累，从而降低了测量精度。所以为了提高精度，应进行大量重复测量并系统地检验望远镜光轴的位置是否保持固定不变。

第二类——测量仪器安置在所测产品上。这种方法可保证较高的测量精度并能较快地进行测量工作。这是因为比较容易调整，而且瞄准线与产品的相对位置更加稳定。

采用光学测量法，就有可能在汽轮机安装时不采用假轴、钢丝及其他检查方式。

望远镜 望远镜是光学测量法的主要光学工具。对产品检查时可用它来进行各种测量。用望远镜可找出作为各种精密测量基线的直线。同时，望远镜应用于三种基本仪器中：即测量非直线度的显微望远镜、专门经纬仪和水平仪。

图3所示为望远镜的光学原理示意图，也是测量非直线度的望远镜典型原理示意图。由若干透镜组成的组合物镜1是固定不动的，在其后面为聚焦透镜2，移动此聚焦透镜使物体的象在十字板3的平面上聚焦，此十字板平面为刻有十字形、圆形及其他形线条的玻璃片。十字板固定不动，是进行测量的基准。十字板后面为显微镜4，它由物镜（前两个透镜）及目镜组成。用显微镜可以放大观察与十字板重合的物体象。显微镜的目镜为可移动的透镜，以便根据观察者的视力调整目镜的屈光度。

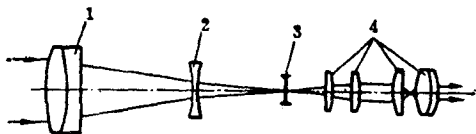


图3 望远镜的光学原理示意图

1—物镜；2—聚焦透镜；3—十字板；4—显微镜

为正确了解望远镜的作用原理，必须研究人眼的某些光学特性及望远镜光学系统与人眼的相互作用。

观察物体时，由物体射出的光线被眼的晶体在视网膜上形成一个倒象。人眼的晶体形状是靠特殊的肌肉调节的，因此调节人眼晶体的聚焦距离，即可使其在视网膜上的象清

晰。当观察较近的物体时，眼的晶体变得更加凸出，而观察远的物体时，则不太凸出。在正常的视力情况下，人的眼睛观察离开 25 厘米至无限远的物体不会有任何困难。改变晶体形状使眼聚焦的能力称为眼睛的调节。

望远镜应对着光线，使光线射入观察者的眼睛，以便容易聚焦。通常用透镜聚焦能力的度量单位——屈光度来评定视力，它是以米表示的透镜焦距的倒数。对距离 25 厘米的物体，光线在 4 个屈光度上发散，眼睛容易聚焦。若对无穷远处的物体聚焦时，则光线在 $1/\infty$ 即零屈光度上发散。对于远视眼的观察者来说，必须有集聚的光线，即光线在负屈光度上发散。

望远镜的目镜是可调整的，使它能调节 + 6 至 - 6 个屈光度范围内发散的光线。通常在显微镜的目镜中标有屈光度的刻度，以便观察者能迅速而容易地根据自己的视力调整目镜。

任何望远镜都有透镜系统。此系统是由相互间严格调整好的若干透镜组合而成。透镜系统可看作是具有该系统全部透镜的综合光学特性的一个透镜，从而简化了望远镜中光线射程图的制作。采用非单个透镜的透镜系统，可以消除单个透镜中所出现的象差现象。

任何象的失真、不清晰或象的清晰度从透镜中心到其边缘产生变化的现象皆称为象差。象差的实质在于某一点光线通过透镜后，不能重新聚合到一点上所致。

在透镜系统中某一部分透镜的象差被另一部分透镜的象差所抵消。

在望远镜中除了采用透镜系统外，还可采用棱镜系统和反射镜系统。这些系统与透镜系统的区别在于透镜系统中采