

第1章 机电设备安装 工程概述



1.1 机电设备安装的任务和准备工作

1.1.1 机电设备安装的任务

机电设备的安装就是准确、牢固地把机电设备安装到预定的空间位置上，经过检测、调整和试运转，使各项技术指标达到规定的标准。

机电设备安装质量的好坏，不仅影响产品的产量和质量，而且会直接影响设备自身的使用寿命，所以整个安装过程必须对每个环节严格把关，以确保安装质量。

1.1.2 机电设备安装的一般过程

尽管各种机电设备的结构、性能不同，但其安装过程基本上是一样的，即一般都必须经过：基础的验收，安装前周密的物质和技术准备，设备的吊装、检测和调整，基础的二次灌浆及养护，试运转，然后才能投入生产。所不同的是，在这些工序中，对各种不同的机电设备将采用不同的方法。例如在安装过程中，对大型设备采用分体安装法，而对小型设备则采取整体安装法。

1.1.3 机电设备安装的准备工作

1. 成立组织机构和技术准备

(1) 成立组织机构。在进行一项大型设备的安装之前，应根据当时的情况，结合具体条件成立适当的组织机构。例如，在施工的管理上，成立联合办公室、质量检查组，设工地代表等；在安装工作中，成立材料组、吊运组、安装组等，以使安装工作有计划有步骤地进行，并且分工明确，紧密协作。

机电设备安装过程中，根据施工作业内容的不同，需要各工种协同作业，如铆工、电焊工、气焊工、起重工、操作工、油漆工、电工、驾驶员、钳工及其他专业工作人员等。

(2) 技术准备。

① 准备好所用的技术资料，如施工图、设备图、说明书、工艺卡 and 操作规程等。

② 熟悉技术资料，领会设计意图，若发现图样中的错误和不合理之处要及时提出并加以解决。

③ 了解设备的结构、特点和与其他设备之间的关系，确定安装步骤和操作方法。

2. 工具和材料的准备

(1) 工具的准备。根据图样和设备的安装要求，便可知道需要哪些特殊工具及其精度和规格；一般工具，如扳手、锉刀、手锤等的需要量、品种、规格；还需要哪些起重运输工具、检验和测量工具等。不但要准备好工具，而且要认真地进行检查，以免在安装过程中工具不能使用或发生安全事故。

(2) 材料的准备。安装时所用的材料（如垫铁、棉纱、布头、煤油、润滑油等）也要事先准备好。对于材料的计划与使用，应当既要保证安装质量与进度，又要注意降低成本，不能有浪费现象。

1.2 机电设备安装工程测量、测试基础

1.2.1 常用测量工具及测量方法

1. 钢直尺

钢直尺是用来测量直线尺寸（如长、宽、高）和距离的一种量具，如图 1-1 所示。钢直尺用薄的不锈钢板制成，其规格有 150mm，300mm，500mm，1000mm，1500mm，2000mm 六种。

使用钢直尺测量时，必须使钢直尺的零线和被测量工件的边缘相重合。如果零线模糊不清或有损坏，可以改用 10mm 刻度线作为起点。读数时，视线必须和钢直尺的尺面相垂直，否则，将因视线歪斜而造成读数误差。

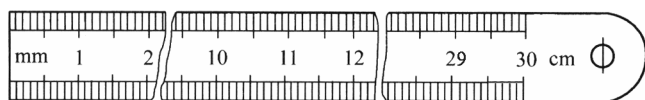


图 1-1 钢直尺

2. 塞尺

塞尺是用来检验两结合面之间间隙的一种精密量具。它由一些不同厚度的薄钢片组成，每一片上都标有厚度，如图 1-2 所示。

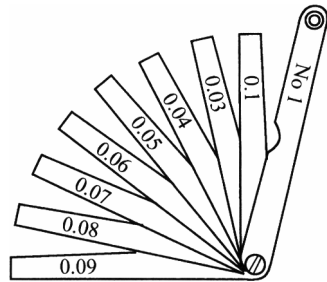


图 1-2 塞尺

使用时，要将塞尺表面和要测量的间隙内部清理干净，选择适当厚度的塞尺插入间隙内进行测量，用力不要过大，松紧要适宜，如果没有合适厚度的塞片，可同时组合几片（一般不超过三片）来测量，根据插入塞尺的厚度即可得出间隙的大小。

3. 铸铁平尺

铸铁平尺（通称平尺）用于检验工件的直线度和平面度。

常用的铸铁平尺有 I 字形、II 字形平尺和桥形平尺两种。I 字形、II 字形平尺用于检验狭长导轨平面的直线度，亦可作为过桥来检验两导轨平面的平行度；桥形平尺不仅可检查狭长导轨平面的直线度，而且可作为刮削狭长导轨面时涂色研点的基准研具。

单位: mm



4. 90° 角尺

90° 角尺是用来测量工件上的直角或在装配中检查零件间相互垂直情况的量具，也可以用来画线。

90° 角尺由长边和短边构成，长边的前后面为测量面，短边的上下面为基面。测量时，将 90° 角尺的一个基面靠在工件的基准面上，使一个测量面慢慢地靠向工件的被测表面，根据透光间隙的大小，来判断工件两邻面间的垂直情况。如果想知道误差的具体数值，可用塞尺测量出工件与角尺基面间的间隙后，计算出角度的大小。

90° 角尺是一种精密量具，使用时要特别小心，不要使角尺的尖端、边缘和工作表面相磕碰。

5. 游标卡尺

游标卡尺是用于测量工件长度、宽度、深度和内外径的一种精密量具，其测量范围有 0~125mm，0~150mm，0~200mm，0~300mm，0~500mm，0~1000mm 等六种。

游标卡尺的构造如图 1-3（a）所示，它由尺身和游标组成。

游标卡尺用膨胀系数较小的钢材制成，内外测量爪要经过淬火与充分的时效处理。

在使用游标卡尺前，首先要检查尺身与游标的零线是否对齐，并用透光法检查内外测量爪的测量面是否贴合。如有透光不均匀，说明测量爪的测量面已经磨损，这样的卡尺不能测量出精确的尺寸。

使用游标卡尺测量工件外径、内径和深度的方法如图 1-3（b）所示。

测量时将工件放在两测量爪中间，通过游标刻度与尺身刻度的相对位置，便可读出工件的尺寸。当需要使游标做微动调节时，先拧动紧固螺钉，然后旋转微动装置，就可使游标微动。

使用游标卡尺时，切记不可在工件转动时进行测量，亦不可在毛坯和粗糙表面上测量。游标卡尺用完后，应擦拭干净，长时间不用时，应涂上一层薄油脂，以防生锈。

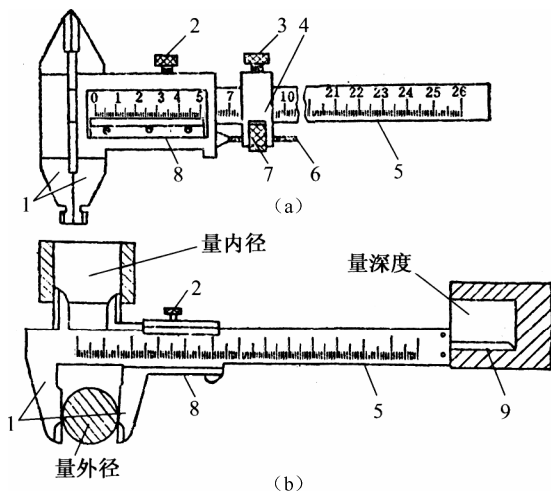


图 1-3 游标卡尺

1—内外测量爪；2，3—紧固螺钉；4—滑块；5—尺身；6—螺杆；7—微动装置；8—游标；9—深度尺



6. 外径千分尺

外径千分尺用于测量精密工件的外形尺寸，通过它能准确读出 0.01mm，并能估计出 0.005mm。外径千分尺的构造如图 1-4 所示。

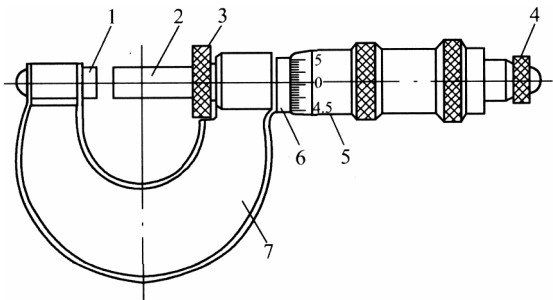


图 1-4 外径千分尺

1—测砧；2—测微螺杆；3—定位环；4—测力装置；5—微分筒；6—固定套管；7—尺架

使用外径千分尺前，应先将校对量杆置于测砧和测微螺杆之间，检查它的固定套管中心线与微分筒的零线是否重合，如不重合，应进行调整。

测量时，当两测量面接触工件后，测力装置棘轮空转，发出“轧轧”声时，才可读出尺寸。如果由于条件限制，不能在测量工件时读出尺寸，可以旋紧止动环，取下外径千分尺后读出尺寸。

使用外径千分尺时，不得强行转动微分筒，要尽量使用测力装置；千万不要把外径千分尺先固定好再用力向工件上卡，这样会损伤测量表面或弄弯测微螺杆。用完后，要擦净再放入盒内，并定期检查校验，以保证精度。

7. 百分表

百分表用于测量工件的各种几何形状误差和相互位置的正确性，并可借助于量块对零件的尺寸进行比较测量，其优点是准确、可靠、方便。

百分表的测量范围有 0~3mm，0~5mm 和 0~10mm 等三种，分度值为 0.01mm，精度等级有 0 级和 1 级。

常见的百分表构造如图 1-5 所示。量杆的下端有测量头。测量时，当测量头触及零件的被测表面后，量杆能上下移动。量杆每移动 1mm，主指针转动一周。表盘圆周分成 100 等份，每等份为 0.01mm，即主指针每摆动一格时，量杆移动 0.01mm，所以百分表的测量精度为 0.01mm。

在使用时可将百分表装在表架上，把零件放在平板上，使百分表的测量头压到被测零件的表面，再转动刻度盘，使主指针对准零位，然后移动百分表，就可测出零件的直线度或平行度。将需要检测的轴装在 V 形架上，使百分表的测量头压到被测零件表面，用手转动轴，就可测出轴的径向跳动。

百分表不用时，应解除所有负荷，用软布把表面擦净，并在容易生锈的表面上涂一层工

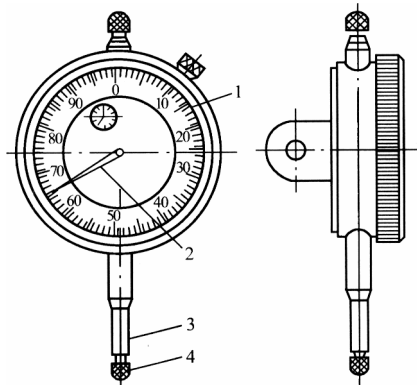


图 1-5 百分表

1—表盘；2—主指针；3—量杆；4—测量头

业凡士林，然后装入匣内。

8. 量块

量块原称块规，是极精密的量具，常用来测量精密零件或校验其他量具与仪器，也可用于调整精密机床。在技术测量上，量块是长度计量的基准。

量块由特种合金钢制成，并经过淬火硬化和精密机械加工，两个平面的精度达到 $0.0001 \sim 0.0005 \text{mm}$ 。

量块一般成套制作，装在特制的木盒内，如图 1-6 所示。为了减少量块的磨损，每套量块中都备有保护量块的护块。

测量时，为了适应不同尺寸的需要，常将量块叠接使用，但是叠接的量块越多，误差越大。因此需要叠接使用时，量块越少越好，最好不要超过四块。

叠接量块时，要特别小心。否则，不仅量块贴合不牢，而且会很快磨损。

测量完毕后，应立即拆开量块，洗擦干净，涂上防护油，放在木盒的格子内。

9. 正弦规

正弦规用于检验精密工件和量规的角度。在机床上加工带角度的零件时，也可用其进行精密定位。不过，正弦规的测量结果，还须通过计算得出。

正弦规由精密的钢质长方体和两个精密圆柱体组成，如图 1-7 所示。两个圆柱体的直径相等，其中心连线与长方体的平面互相平行。

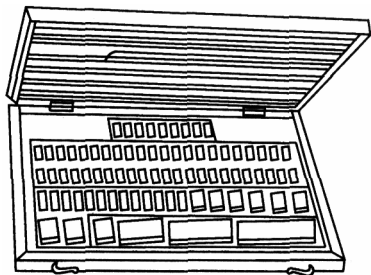


图 1-6 量块

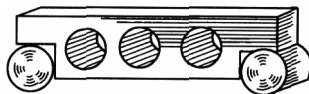


图 1-7 正弦规

测量时，将正弦规放在平板上。圆柱的一端用量块组垫高（图 1-8），然后用百分表检验。当工件表面和平板平行后，可根据量块组的高度尺寸和正弦规的中心距，用下式来计算测量的角度：

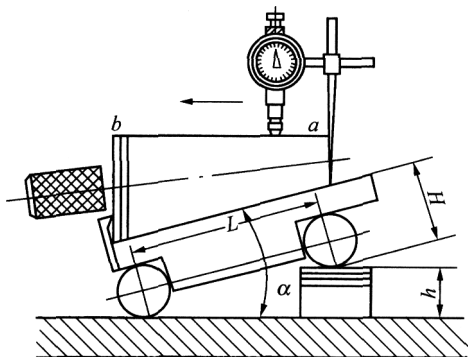


图 1-8 正弦规的使用方法

$$\sin \alpha = h/L$$

式中 α ——工件的锥度（单位： $^{\circ}$ ）；
 h ——量块的高度（单位： mm ）；
 L ——正弦规的中心距（单位： mm ）。

【例 1-1】 已知 h 为 5mm ， L 为 100mm ，求 α 。

【解】 $\sin \alpha = h/L = 5/100 = 0.05$

查三角函数表可知

$$\alpha = 2^{\circ} 52'$$

此外，正弦规还可用来测量内锥体、外锥体的大小端直径和校正水平仪等。

10. 水平仪

水平仪是检验平面对水平或垂直位置偏差的仪器，主要用于检查零件平面的平面度、机件相互位置的平行度和设备安装的相对水平位置等。

(1) 水平仪的种类。机械设备安装工作中常用的水平仪有条式和框式两种，其构造如图 1-9 所示。

① 条式水平仪。它由 V 形的工作底面和与工作底面平行的水准器（即气泡）两部分组成。当水准器的底平面准确地处于水平位置时，水准器的气泡正好处于中间位置。当被测平面稍有倾斜时，水准器的气泡就向高的一方移动，在水准器的刻度上可读出两端高低相差值。刻度值为 0.02mm/m 的条式水平仪，即表示气泡每移动一格时，被测长度为 1m 的两端上，高低相差 0.02mm。

② 框式水平仪。它有四个相互垂直的都是工作面的平面，并有纵向、横向两个水准器。因此，它除了具有条式水平仪的功能外，还能检验机件的垂直度。常用框式水平仪的刻度值为 0.02mm/m 和 0.05mm/m。

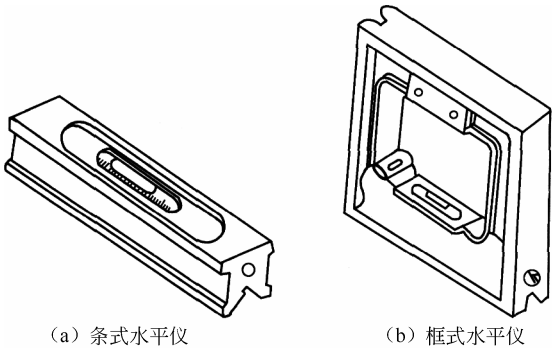


图 1-9 水平仪

(2) 水平仪的技术规格。水平仪按刻度值可分为三组，见表 1-2。每组用于测量不同的直线斜度或角度。

表 1-2 水平仪的组别及刻度值（GB/T 16455—2008）

组 别	I	II	III
刻度值（mm/m）	0.02	0.03~0.05	0.06~0.15
规格系列尺寸（mm）	100, 150, 200, 250, 300		

(3) 水平仪的使用方法。测量前，须将被测量表面与水平仪工作表面擦干净，以免测量不准或损坏工作表面。

测量机床导轨的水平度时，一般将水平仪在起端位置时的读数作为零位，然后依次移动水平仪，记下每一位置的读数。根据水准器中的气泡移动方向与水平仪的移动方向来评定被检查导轨面的倾斜方向。如方向一致，读数为正值，它表示导轨平面向上倾斜；如方向相反，则读数为负值，表示导轨平面向下倾斜。

为了准确起见，找水平时，可将水平仪在被测量面上原地旋转 180°，再测量一次，利用两次读数的结果进行计算而得出测量的数据。具体计算方法见表 1-3。

表 1-3 水平仪测量数据的计算方法

	水平仪读数			
	例 1	例 2	例 3	例 4
第一次测量	0	0	x_1	x_1
第二次测量 (转 180° 后)	0	x_2	x_2 (方向与 x_1 相反)	x_2 (方向与 x_1 相同)
a —被测表面水平仪偏差 b —水平仪误差	$a = b = 0$	$a = \frac{1}{2}x_2$ $b = \frac{1}{2}x_2$ $a = b$	$a = \frac{x_1 - x_2}{2}$ $b = \frac{x_1 + x_2}{2}$	$a = \frac{x_1 + x_2}{2}$ $b = \frac{x_1 - x_2}{2}$

11. 读数显微镜

读数显微镜是与拉钢丝相配合来测量机床 V 形导轨在水平面内的直线度的，如图 1-10 所示。

在床身 V 形导轨上，放一块长度为 200~500mm 的 V 形垫铁，垫铁上安装一个带有刻度的读数显微镜（读数显微镜的镜头垂直放置）。在 V 形导轨的两端，各固定一个小滑轮，用一根直径等于或小于 0.3mm 的钢丝，一端固定在小滑轮上，另一端用重锤吊着（或两端都吊着重锤），然后调整钢丝的两端，使读数显微镜在钢丝两端时刻线相重合。移动 V 形垫铁，每隔 200mm 或 500mm 记录一次读数，在导轨全部长度上检验。把读数显微镜的测量数值依次排列在坐标纸上，画出垫铁的运动曲线图。由曲线图可看出机床 V 形导轨在水平面内的直线度。

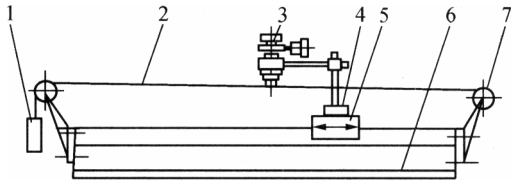


图 1-10 读数显微镜的使用方法

1—重锤；2—钢丝；3—读数显微镜；4—支架；5—V 形垫铁；6—床身导轨；7—滑轮及支架

测量时应注意以下要求：

- (1) 所有钢丝不得有打结、弯曲等不直现象；
- (2) 检查机床导轨精度用的优质钢丝的直径不得超过 0.3mm，一般拉线的钢丝直径不超过 1mm；
- (3) 拉钢丝时，应有足够的拉紧力，一般应为线材极限强度的 30%~80%。

12. 水准仪

在设备安装中，常用水准仪对设备基础（或垫铁）的标高进行测定。水准仪的主要结构如图 1-11 所示。

- (1) 水准仪的主要部件。
 - ① 制动扳手。可固定望远镜在水平方向的转动。
 - ② 微动螺旋。当制动扳手扳紧后，可转动微动螺旋，使望远镜在水平方向进行微小转动。

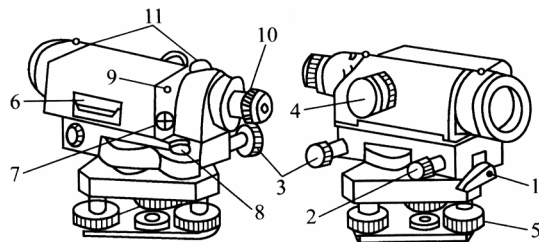


图 1-11 水准仪

1—制动扳手；2—微动螺旋；3—微倾螺旋；4—对光螺旋；5—地脚螺栓；6—长水准管；7—校正螺丝；
8—圆水准器；9—长气泡观察孔；10—目镜；11—瞄准器

③ 微倾螺旋。可使望远镜和长水准管一起在竖直方向进行微小转动，也可使望远镜的视线水平。

④ 对光螺旋。可使目标成像清晰。

⑤ 地脚螺栓。用来调节仪器水平。

⑥ 长水准管。将长气泡停在水准管的中间，调整望远镜的视线水平。

⑦ 校正螺丝。用以校正长水准管的位置。

⑧ 圆水准器。粗略调整仪器水平。当其圆气泡居中时，说明望远镜已水平。

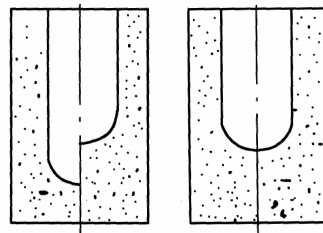
⑨ 长气泡观察孔。即长水准管的气泡观察孔，可在观察孔内看到气泡通过棱镜折射后形成的中间剖开的两个气泡头，如图 1-12 所示。

⑩ 目镜。用来调节十字丝的成像清晰度。

⑪ 瞄准器。用来粗略瞄准目标。

(2) 水准仪的使用。使用水准仪测定设备基础标高时，先把水准仪安装在三脚架上，将三脚架的顶面大致放成水平位置，并把三脚架的三个脚踩入土中（或放在混凝土的平面上），然后转动地脚螺栓，使圆水准器的圆气泡居中。

圆气泡调平方法：首先相对地转动两个地脚螺栓，使圆气泡移到与两个地脚螺栓等距的地方，即在另一个地脚螺栓与圆水准器中心的延长线上，如图 1-13 (b) 所示 [图 1-13 (a) 所示为调整前圆气泡的位置]；其次转动另一个地脚螺栓使圆气泡居中，如图 1-13 (c) 所示。



(a) 气泡不居中 (b) 气泡居中

图 1-12 水准仪的气泡观察

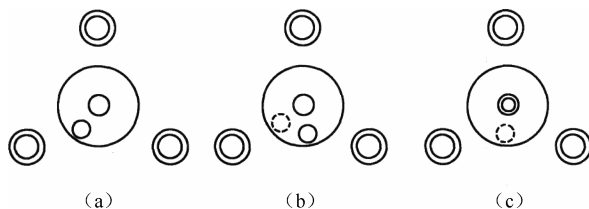


图 1-13 圆气泡调平方法

若一次不能使圆气泡居中，可反复 2~3 次，直至圆气泡居中。这时，仪器已粗调平。然后从长水准管的气泡观察孔看水准气泡，右手转动微倾螺旋，使气泡两端的像吻合，以达到精确调平。

(3) 读数。读数应以横丝为准, 绝不能用上丝或下丝来读数。由于望远镜成像是倒像, 所以读数时应从上到下读出来、分米、厘米, 并估读毫米, 共四位数。读一位数后, 还应检查长水准管气泡是否仍居中, 如不居中, 应重新精确调平后再读数。

(4) 水准仪的检验与校正。水准仪因长期使用或搬运中的震动等, 其精度将会降低, 故应定期进行检验校正。

① 圆水准器的检验与校正。用地脚螺栓使圆气泡居中。然后将仪器旋转 180° , 若气泡偏出了圆水准器的中心, 就应对圆水准器进行校正。校正的方法是: 用校正针拨动圆水准器的校正螺丝, 使气泡向圆水准器中心移动偏离数值的一半, 其余一半用地脚螺栓调整使气泡居中。校正应反复进行, 直到满足要求为止。

② 横丝的检验与校正。仪器精确调平后, 先用横丝的一端瞄准某一个明显目标, 固定制动扳手, 慢慢转动微动螺旋, 若在望远镜中看到的目标始终沿横丝移动, 则说明横丝水平, 否则需校正十字丝环。校正的方法是: 用小螺丝刀松开十字丝环(十字丝分划板的校正螺丝), 微微转动十字丝环进行调整。

③ 长水准管的检验与校正。可用划线法校正水准仪。在施工现场选择一个长 60m 以上的墙面, 仪器放在靠近墙面的中间。气泡居中后, 在与仪器等距离的墙面上, 分别用望远镜中的水平十字丝在墙面两头画出标高相等的 a, b 两条水平线, 如图 1-14 所示。然后将仪器搬到墙的一头, 离墙 3~4m, 使气泡居中后, 再在两头的墙面上, 分别画出水平丝的位置 a', b' (a', b' 线要与 a, b 线画在同一竖直位置上)。如果 a', b' 的画线都在 a, b 画线的下面或上面, 并且对应画线之间的距离相等, 则说明仪器是准确的, 即长水准管的轴平行于望远镜的视准轴。如果不相等就要用下列方法校正长水准管: 在离水准仪较远的一端墙面上, 用小尺子在墙面上量一段距离 bc 使其等于靠近仪器一端墙面上的两条线之间的距离 aa' , 并用红铅笔在墙上画一水平线 c (此线的标高与墙面上的另一头 a' 线的标高相等)。用微倾螺旋使仪器的水平丝对准墙面上的画线 c , 此时气泡已不居中, 可用校正针拨动长水准管的校正螺丝, 使长气泡居中。直到 aa' 与 bb' 之差小于 3~5mm 为止。

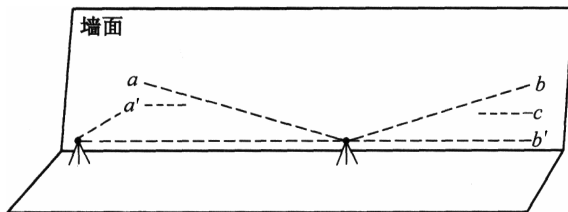


图 1-14 用划线法校正水准仪

(5) 水准仪的保养。

① 水准仪使用时应轻拿轻放。从箱中取出时, 要用双手握住基座部分, 不准用手拎住望远镜取出。使用完毕, 要放到箱内原位。

② 仪器装到三脚架上时, 必须拧紧连接螺旋, 以防仪器摔损。

③ 调整仪器时用力要轻。制动扳手未松开时, 不能用力转动仪器或望远镜, 以免损坏仪器。

④ 仪器不能在阳光下曝晒, 使用完毕应用绸布擦干净(不准用手摸镜头或去污)。仪器应存放在干燥通风的场所。若长时间不用时, 应定期开箱通风, 调换干燥剂(硅胶), 以防



镜头受损。

13. 经纬仪

在机械安装过程中,常用经纬仪对大型设备基础的纵横向十字中心线、垂直线、地面两个方向之间的水平角等进行测定。如图 1-15 所示为光学经纬仪的构造。

(1) 结构。光学经纬仪主要由照准部(或视准部)、水平度盘、基座三部分构成。

① 照准部:是光学经纬仪上灵活转动的部分,有望远镜、竖盘、横轴、水准管、支架及左支架内的光学棱镜系统、读数显微系统和竖轴等部件。

望远镜用于照准目标,它与横轴固定在一起,安放在支架上,可在竖直面内绕横轴转动,由望远镜制动螺旋和水平微动螺旋来控制。只有在望远镜制动螺旋紧固后,水平微动螺旋才起作用。

竖盘是用有机玻璃制成的,它固定在横轴上,用于测定垂直角。

水准管有照准部水准管和竖盘水准管。前者用于水平度盘,使竖轴处于垂直位置;后者用于控制竖盘读数指标处于正确位置。

光学棱镜系统用来将水平度盘、竖盘的分划影像反射、放大在读数窗内,以便读数。

竖轴是照准部的旋转轴,在水平度盘的轴座内,可使照准部件水平转动,由望远镜制动螺旋和水平微动螺旋控制。

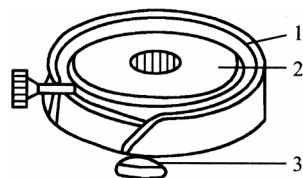


图 1-16 水平度盘

1—度盘外壳; 2—度盘; 3—外轴

② 水平度盘:它是一个有精密刻度、由有机玻璃制成的圆盘,安装在度盘外壳内,并可转动,如图 1-16 所示。

③ 基座:又名三角基座,它由三角轴套、三角基座螺旋(脚螺旋)和三角座垫组成。它用中心连接螺旋将仪器和三脚架结合在一起。

(2) 光学经纬仪的使用方法。使用光学经纬仪测定时,首先要进行仪器的调平和对点工作,即将仪器安装在已知的测点上并调平。

光学经纬仪调平原理与水准仪相同,其操作步骤如图 1-17 所示。

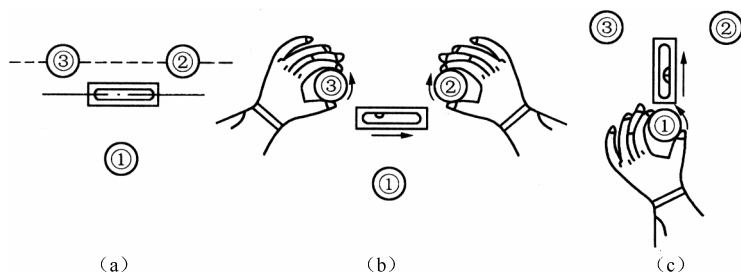


图 1-17 光学经纬仪的调平步骤

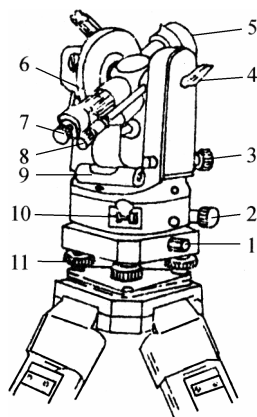


图 1-15 光学经纬仪

1—轴座固定螺旋; 2—水平微动螺旋;

3—望远镜微动螺旋;

4—望远镜制动螺旋; 5—物镜;

6—对光螺旋; 7—目镜;

8—读数显微镜; 9—水准管;

10—制动按钮; 11—脚螺旋

首先松开照准部制动螺旋，转动照准部，使其水准管的轴线同基座螺旋②、③的中心连线大致平行，如图 1-17 (a) 所示；再按图 1-17 (b) 所示箭头方向同时转动基座螺旋②、③，使气泡居中；最后将仪器转动 90° 后，转动基座螺旋①，使气泡居中，如图 1-17 (c) 所示。调平工作要耐心细致，经常要反复几次才能完成。

光学经纬仪的对点用光学对点器或用挂在仪器上的线坠来进行，如图 1-18 所示。

仪器经过调平和对点以后还须进行目标瞄准。其步骤是：首先松开望远镜制动螺旋，转动照准部，使望远镜对准目标。调好对光螺旋，使目标和十字丝都比较清晰。紧固望远镜制动螺旋，转动水平微动螺旋，使目标移到十字丝的双竖丝中间或与单竖丝重合，如图 1-19 所示。若对准目标有偏离十字丝现象，则说明望远镜的对光螺旋（或目镜）还没有调到最佳位置，须重新调节对光螺旋。

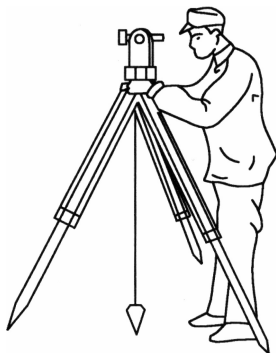


图 1-18 光学经纬仪的对点

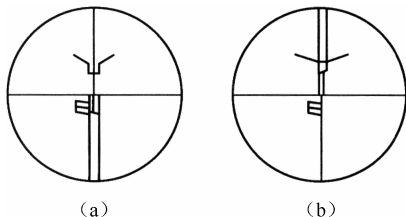


图 1-19 十字丝对目标

(3) 光学经纬仪的读数方法。

① 固定分微尺读数方法。如图 1-20 所示，在读数显微镜中有两个窗口。上面为水平度盘分微尺的读数，以符号“—”表示，下面为竖直度盘分微尺的读数，以符号“⊥”表示。

固定分微尺将度盘上 1° 的间格等分为 60 格，分微尺上每格相当于度盘上 $1'$ 。因此“度”的读数在度盘上读出（图 1-20 中为 268 或 359），“分”“秒”数则在分微尺上读出（图 1-20 中为 $15'$ 或 $45'$ ），然后将两者加起来即为测点的读数（ $268^\circ 15'$ 或 $359^\circ 45'$ ）。

② 活动分微尺读数方法如图 1-21 所示。图中下面的标尺是水平度盘的读数（度数），

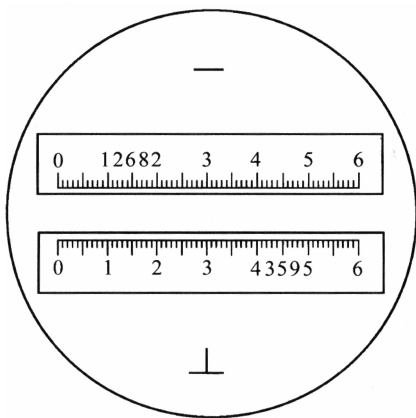


图 1-20 固定分微尺读数

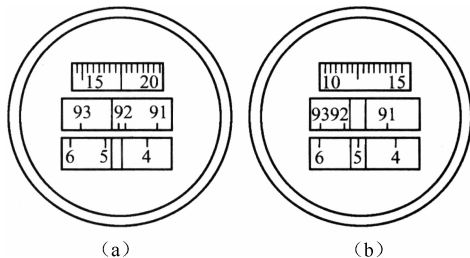


图 1-21 活动分微尺读数方法



中间的标尺是竖直度盘的读数(度数),上面的标尺是共用的活动分微尺读数(分、秒读数),分微尺上每小格为 $20''$ 。读数时,先读显微镜中双竖线夹准的度盘读数(度数),再读活动分微尺上的读数(分、秒读数)。图 1-21(a)显示的竖直度盘读数为 $92^{\circ}17'40''$,图 1-21(b)显示的水平度盘读数为 $5^{\circ}12'$ 。

(4) 光学经纬仪的保养。光学经纬仪的保养与水准仪的保养相同。

1.2.2 测量误差及数据处理

1. 测量误差

从长度测量的实践中知道,当测量某一被测量时,用同一台仪器,按同一测量方法,由同一测定者进行的若干次测量所获得的结果是不同的。如果用不同仪器、不同的测量方法,由不同的测定者来测量同一被测量,则这种差别将会表现得更加明显。这是由一系列不可控制的和不可避免的主观或客观因素所造成的。因此,任何一次测量中,不管测量得多么仔细,所使用的仪器多么精密,采用的测量方法多么可靠,在所获得的测量值中,不可避免的总含有一些误差。也就是说,所得到的测量值仅仅是被测量的近似值,它们之间的差异叫作测量误差,即

$$\delta = x - Q$$

式中 δ ——测量误差;

x ——实际测得的被测值;

Q ——被测量的真正尺寸。

由于 x 可能大于或小于 Q ,因此, δ 可能是正值或负值。这样,真正尺寸为

$$Q = x - \delta$$

2. 测量误差产生的原因

测量误差产生的原因也就是测量误差的组成。测量误差由以下几项误差组成:测量仪器的误差、基准件误差、测量力引起的变形误差、读数误差、温度变化引起的误差等。

(1) 测量仪器的误差。它是由于测量仪器(量具)设计、制造或装配调整不准而引起的误差,如仪器中量头的直线位移与指针的角位移不成比例,仪器度盘安装偏心等。这些误差使测量仪器所指示的数值并不完全符合被测量变化的实际情况,叫作示值误差。当然这种误差是很小的,每一种仪器都规定有容许的示值误差。

(2) 基准件误差。任何作为基准的东西都不可避免地存在误差。在相对测量时,基准件误差包含在测量误差内,因为在测量时,用来与被测量进行比较的基准件(如量块)误差将直接反映到测量结果中,引起测量误差。例如,在立式光学比较仪上用 2 级量块做基准调零,测量 $\phi 20\text{ mm}$ 的塞规时,仅由 2 级量块就会产生 $\pm 0.6\mu\text{m}$ 的测量误差。在测量时,要合理地选择基准件的精度,一般来说,基准件的误差应不超过总测量误差的 $1/3 \sim 1/5$ 。

(3) 测量力引起的变形误差。使用测量仪器进行接触测量时,测量力使测量仪器和工件接触部分变形而产生测量误差。特别是当量头移动的速度较快时,由于冲击而产生的动态测量力会形成较大的测量误差。因此为减少测量力的变化所造成的测量误差,在操作时要轻放测量头,并且尽可能使调零时和测量时保持一致。

一般测量仪器的测量力大多控制在 200g 之内,高精度量仪的测量力控制在几十克甚至几

克之内。为了控制测量力对测量结果的影响,测量仪器一般应具有使测量力保持恒定的装置。

(4) 读数误差。它包括视差和当指示器停留在两条刻度线之间时估读的误差,这对于不同的人将会得到不同的结果,这就形成了测量结果的读数误差。

(5) 温度变化引起的误差。测量时的标准温度规定为 20℃,实际上由于各种原因造成温度上的差异而引起测量误差。此测量误差可用下式表示

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2)$$

式中 Δl ——由于温度变化引起的测量误差;

l ——被测量的大小;

α_1 ——被测件的线胀系数;

α_2 ——测量仪器的线胀系数;

Δt_1 ——标准温度与被测工件间的温度差(单位:℃);

Δt_2 ——标准温度与测量仪器间的温度差(单位:℃)。

为了减小温度对精密测量的影响,除了尽量使用与工件线性膨胀系数相同的测量仪器外,测量工作最好在标准温度(20℃)下进行,并且力求被测工件温度与测量仪器温度相等。一般可把被测工件和测量仪器放在同一条件下,经过一定时间,使工件、测量仪器与周围介质的温度接近。

3. 测量误差的分类

测量误差来源于各个方面,就其性质而言,可分为系统误差、随机误差和粗误差。

(1) 系统误差。在一定的测量条件下,多次重复测量时,以一定的规律(或为定值,或为周期性规律等)影响着每次测量结果的误差称为系统误差。例如,量块按等级检定后的实际偏差属于系统误差,表盘安装偏心所造成的示值误差属于周期性的系统误差。

系统误差影响测量的准确性,但由于系统误差的数值和符号有明显的规律,所以用实验分析的方法加以确定。这种误差可通过在测量结果中修正或改善测量方法来消除。

(2) 随机误差。测量时,对每次测量结果总有影响,但无法预知其影响的具体结果的误差称为随机误差。例如,量块按等级检定后的测量误差或按级别使用时的制造误差,量仪在测量过程中的不稳定因素(如传动机构的摩擦、间隙、测量力和温度等)所造成的误差均属随机误差。

随机误差是由许多未知规律或一时不便控制的微小因素所造成的,对于某一次具体的测量,每一个因素的出现与否,以至这些因素所产生误差的方向、大小,预先是无法知道的。总之,随机误差是在多种多样的误差因素综合影响下造成的,因而无法从测量结果中消除或校正。但是人们通过长期的反复实践认识了随机误差所特有的规律,在多次测量中,它出现的概率可用概率论和统计方法来确定,因而可通过估算来减小并控制其对测量结果的影响。

(3) 粗误差。粗误差是由于测量时的疏忽大意(如读数错误、计算错误等)或环境条件的突变(冲击、震动、干扰等)造成的某些较大的误差。如在测量中出现粗误差,就要设法从测量结果中剔除不用。

上述是对测量误差类型的一个概况分析,至于某种测量误差究竟表现为哪种特性,还要根据具体条件进行分析。而且系统误差和随机误差在一定条件下又可互相转化。例如,前面提到的测量仪器的示值误差,对于一批同样的测量仪器,其示值误差是在规定的某个范围内变化的,因此属于随机误差。当选定某一台测量仪器以后,其示值误差为一定值,则随机误



差就转化为系统误差了。

在测量过程中,系统误差与随机误差是经常同时出现的,因而对系统误差总是设法加以消除,使其影响减小。



1.3 机电设备在安装位置的测试

1.3.1 机电设备在安装位置的常用测量方法

1. 设备平面位置测量方法

(1) 线坠校准法。拉设安装基准线并挂上线坠,在设备上放置钢板尺,检测垂线在钢板尺上的位置,以确定设备是否找正,如图 1-22 所示。有些设备底座较宽,可制作样板代替钢板尺。

(2) 两线坠校准法。设备上有定位基准冲眼,在拉设的安装基准线上挂两个线坠(即两点成一线),看两垂丝与冲眼是否对准在一起,如图 1-23 所示。

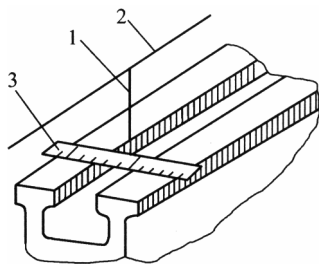


图 1-22 线坠校准法

1—线坠垂丝; 2—安装基准线; 3—钢板尺

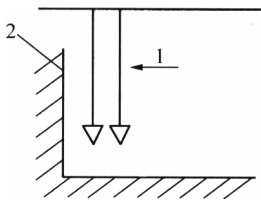


图 1-23 两线坠校准法

1—目测视线; 2—设备定位基准冲眼

(3) 挂边线校准法。对一些圆形机件或中心不易对准的部件组,可采用挂边线校准法,使线坠垂丝沿其边线下垂,测量垂丝距基准线的距离 L ,如图 1-24 所示,则圆形机件中心至安装基准线的距离 L' 为

$$L' = L + D/2$$

检测设备平面位置时,设法平稳地移动设备,使其中心位置与基础中心位置相吻合,此操作过程称为设备拨正。常用的设备拨正方法如图 1-25 所示。

2. 设备标高测量方法

(1) 当设备加工面是水平面时,可用加工面作为测量标高的水平面,用水平仪、平尺等量具测量出设备的安装标高,如图 1-26 所示为减速机标高的测量。

(2) 当设备加工面是弧面时,可采用辅助装置测量,经计算而得标高;也可用水准仪测量标高,如图 1-27 所示。

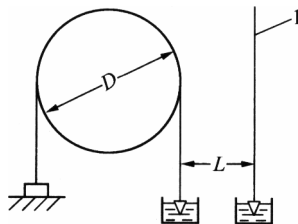


图 1-24 挂边线校准法

1—安装基准线;

L —垂丝至安装基准线的距离;

D —圆形机件的直径

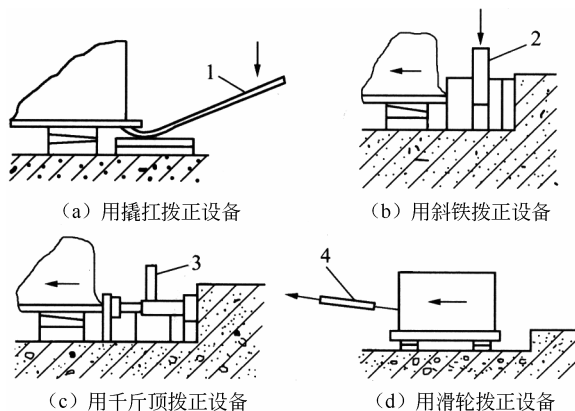


图 1-25 常用的设备拨正方法

1—撬杠；2—斜铁；3—千斤顶；4—滑轮

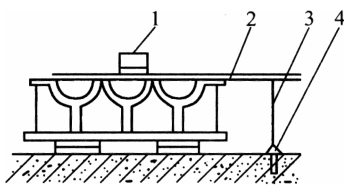


图 1-26 减速机标高的测量

1—水平仪；2—平尺；3—量具；4—标高基准点

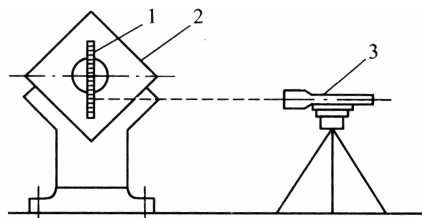


图 1-27 水准仪测量标高

1—标尺；2—被测工件；3—水准仪

1.3.2 回转件的平衡

机械在运转过程中，运动构件所产生的惯性力将在运动副中引起附加的动压力。这种附加动压力将使机械效率、工作精度和可靠性下降，加速零件的损坏，缩短机械的使用寿命。当这些惯性力的大小和方向呈周期性变化时，会使机械和基础产生振动。因此，研究机构平衡的目的，就是要消除或减小惯性力的不良影响，这是机械工程中的重要问题。

机械的平衡问题可以分为两类：一类是做回转运动构件的惯性力平衡，也称为回转件的平衡；另一类是做直线运动或复合运动构件的惯性力平衡，也称为机构在机座上的平衡。工程中常见的是回转件的平衡问题。所以这里仅讨论回转件的平衡原理和方法。

1. 机械平衡的目的和分类

由于回转件结构不对称、制造和安装不准确或材料不均匀等原因，使其质心偏离回转轴线，当回转件转动时，将产生离心惯性力。惯性力的大小与转动角速度的平方成正比。例如，一个质量为 10kg，质心偏离回转轴心距离 $e = 1\text{mm}$ 的回转件，当转速 $n = 30\text{r/min}$ 时，其离心惯性力为

$$F = me\omega^2 = 10 \times 0.001 (\pi \times 30/30)^2 \approx 0.1 (\text{N})$$

离心惯性力很小，可以略去不计。但当转速 $n = 3000\text{r/min}$ 时，其离心惯性力为

$$F = me\omega^2 = 10 \times 0.001 (\pi \times 3000/30)^2 \approx 987 (\text{N})$$

离心惯性力约为回转件质量的 10 倍，不可忽视。所以在高速、重载、精密的机械中，离心



惯性力的平衡是很重要的。

回转件的不平衡就是指由于其质量分布不均匀而产生的离心惯性力的不平衡。根据回转件不平衡质量的分布情况，回转件平衡问题可分为静平衡和动平衡。

(1) 静平衡。质量分布在同一回转平面内的平衡问题。

如图 1-28 (a) 所示为轴向宽度不大的回转件 (宽度与直径之比 $B/D \leq 0.2$)。如齿轮、带轮、飞轮等，可以认为其质量分布在同一回转平面内，这类回转件的平衡问题属于静平衡。

如图 1-28 (b) 所示，假设在同一回转平面内有不平衡质量 m_1 、 m_2 和 m_3 ，其质心向径为 r_1 、 r_2 和 r_3 。当回转件以等角速度 ω 回转时，各不平衡质量所产生的惯性力分别为

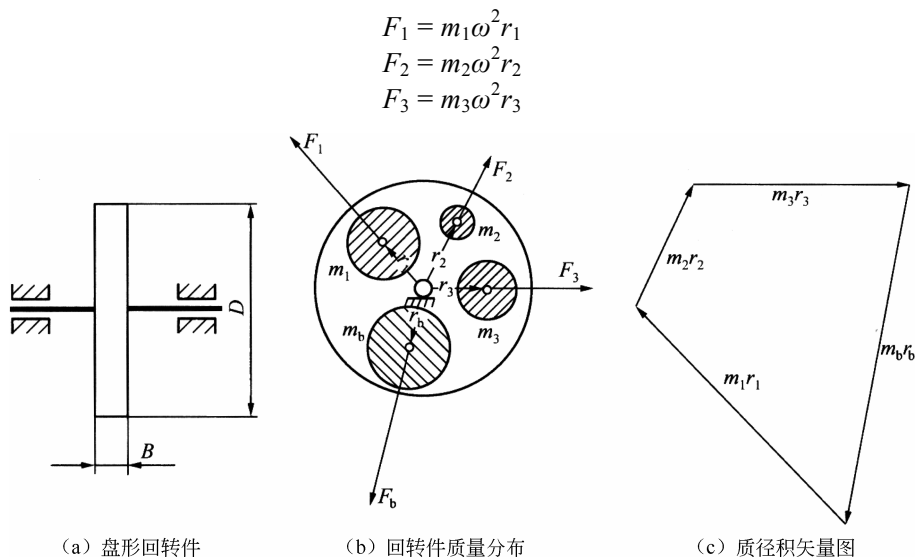


图 1-28 用图解法求平衡质量的质径积

欲使其平衡，可在同一回转平面内加一个平衡质量 m_b ，使 m_b 产生的离心惯性力 ($F_b = m_b \omega^2 r_b$) 与原有离心惯性力的合力平衡，即

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_b = 0$$

或

$$m_1 \omega^2 r_1 + m_2 \omega^2 r_2 + m_3 \omega^2 r_3 + m_b \omega^2 r_b = 0$$

消去 ω^2 后得

$$m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3 + m_b r_b = 0$$

式中 $m_1 r_1, \dots, m_b r_b$ ——质量与向径的乘积 (mr) 称为质径积。

平衡质量 m_b 的质径积 $m_b r_b$ ，可用矢量图解法求得，如图 1-28 (c) 所示。

上面两式表明：回转件平衡后，其质心与回转轴线重合，回转件可在任意位置保持静止而不会自行转动。因此静平衡的条件是：回转件上各质量的离心惯性力的向量和等于零或质径积的向量和等于零。

有时由于实际结构的原因，不能在所需平衡的回转面上加平衡质量，如图 1-29 所示的单缸发动机曲轴，因结构限制不能在轴颈另一侧加上平衡质量，可改在两侧平面 (I, II)

内分别加一平衡质量。

(2) 动平衡。质量分布不在同一回转平面内的平衡问题。对于轴向宽度较大的回转件(宽度与直径之比 $B/D > 0.2$)，如多缸发动机、电动机转子和机床主轴等，这些构件的质量分布不在同一回转平面内，但可看作是分布在垂直于回转轴线的若干互相平行的回转平面内。

如图 1-30 所示的回转体，两个不平衡质量 $m_1 = m_2$ ，向径 $r_1 = -r_2$ 。虽然总质心在回转轴线上，满足静平衡条件 $m_1 r_1 + m_2 r_2 = 0$ 。但由于两个不平衡质量不在同一回转平面内，离心惯性力 F_1 与 F_2 形成的惯性力偶使回转件仍处于不平衡状态。这种状态只有在回转件转动时才显示出来。如果回转件的质心不在旋转轴线上，则既有不平衡的惯性力，又有不平衡的惯性力偶。这种包含惯性力和惯性力偶的不平衡称为动不平衡。因此，回转件动平衡的条件是回转件上各个质量的离心惯性力的向量和等于零，同时离心惯性力偶矩的向量和也等于零。

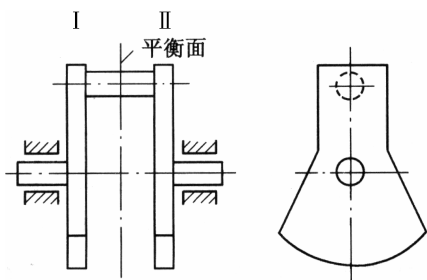


图 1-29 单缸发动机曲轴的静平衡

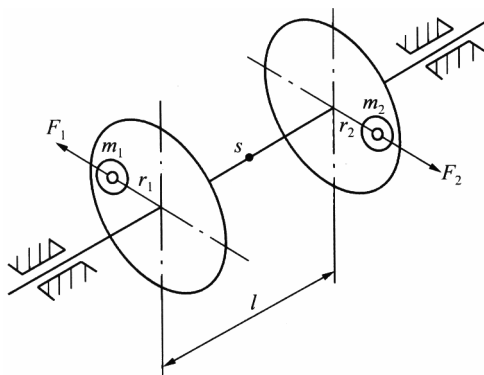


图 1-30 静平衡但动不平衡的构件

如图 1-31 (a) 所示，设回转件的不平衡质量分布在 1, 2, 3 三个回转面内，依次以 m_1 , m_2 , m_3 表示，其向径各为 r_1 , r_2 , r_3 。

按力的分解原理，某平面内的质量 m_i 可由任选的两个质量 m'_i 和 m''_i 代替，且 m'_i 和 m''_i 处于回转轴线与 m_i 的质心组成的平面内。现将平面 1, 2, 3 内的质量 m_1 , m_2 , m_3 分别用任选的两个回转面 T' 和 T'' 内的质量 m'_1 , m'_2 , m'_3 和 m''_1 , m''_2 , m''_3 来代替，则

$$\begin{aligned} m'_1 &= (l'_1 / l) m_1 & m''_1 &= (l''_1 / l) m_1 \\ m'_2 &= (l'_2 / l) m_2 & m''_2 &= (l''_2 / l) m_2 \\ m'_3 &= (l'_3 / l) m_3 & m''_3 &= (l''_3 / l) m_3 \end{aligned}$$

因此，上述回转件的不平衡质量可以认为完全集中在 T' 和 T'' 两个回转面内。对于回转面 T' ，其平衡方程为

$$m'_b r'_b + m'_1 r'_1 + m'_2 r'_2 + m'_3 r'_3 = 0$$

做矢量图，如图 1-31 (b) 所示，由此求出质径积 $m'_b r'_b$ ，选定 r'_b 后即可确定 m'_b 。同理，对于回转面 T'' ，其平衡方程为

$$m''_b r''_b + m''_1 r''_1 + m''_2 r''_2 + m''_3 r''_3 = 0$$

做矢量图，如图 1-31 (c) 所示，由此求出质径积 $m''_b r''_b$ ，选定 r''_b 后即可确定 m''_b 。

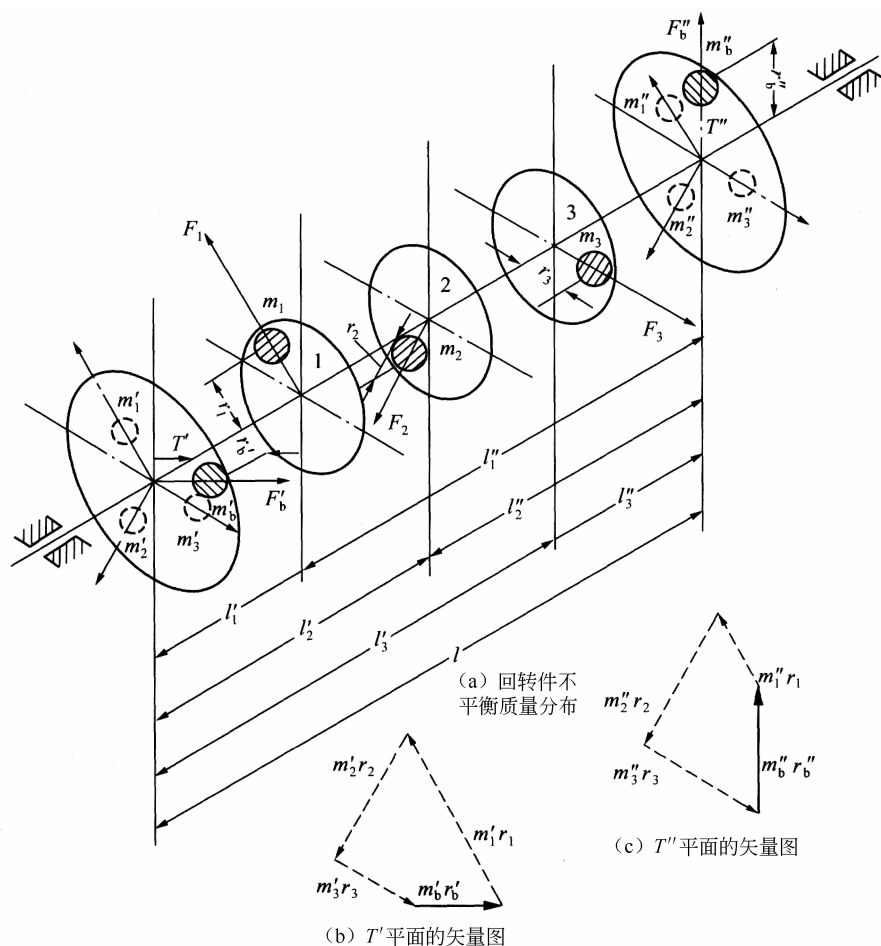


图 1-31 不同回转面内质量的平衡

由上述分析可知,对质量分布不在同一回转面内的回转件,即使是质量分布在多个互相平行的回转面内,都可以分别把各不平衡质量分解到任选的两个平衡平面上,然后再在这两个平衡平面上,分别加上(或减去)平衡质量,使整个回转件达到动平衡。

显然,由于动平衡同时满足了静平衡条件,因此,达到了动平衡的回转件一定是静平衡的。

2. 回转件平衡试验

在实际工程中,经过平衡计算的回转件,由于制造、安装的误差和材料的不均匀等原因,仍然会存在不平衡,因此,还必须进行平衡试验。

(1) 静平衡试验。静平衡试验通常在静平衡架上进行。如图 1-32 (a) 所示为导轨式静平衡架示意图,其主要组成部分为水平安装的两条相互平行的刀口形导轨。试验时,将回转件的轴放在导轨上。如果质心 C 不处在铅垂线下方,如图 1-32 (b) 所示,则转子将在重力矩 $M = Gh$ (G : 重力, h : 重心的水平方向偏心距) 的作用下沿轨道滚动,直到质心 C 转到铅垂线下方时转子才会停止滚动。用橡皮泥或其他方法,在质心的相反方向加一适当的平衡质量,并逐步调整其大小或径向位置,如此反复试验,直到该回转件在任意位置都能保持静止不动为止。然后取下橡皮泥,将质量与其相等的金属焊接在平衡质量的位置,或在相反方向去掉相等质量的一块材料,使其成为静平衡的回转件。

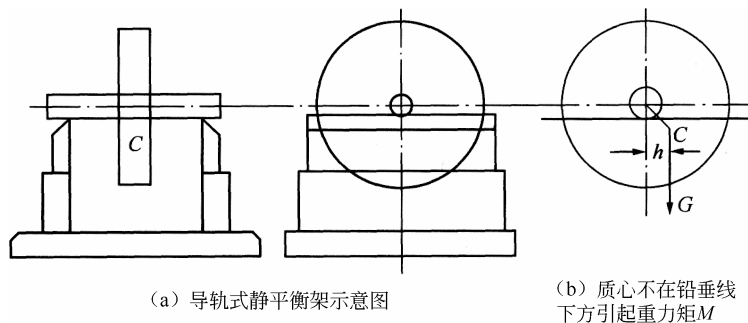


图 1-32 导轨式静平衡架

(2) 动平衡试验。回转件的动平衡试验是在动平衡机上进行的。进行动平衡试验时，常常先经过静平衡试验，以减小动平衡试验中所加的平衡质量。

动平衡机可分为机械式和电测式两大类。不论哪种动平衡机，其目的均在于测定回转件不平衡质量的大小和方位，用以改善被平衡回转件的质量分布，具体测量方法参阅有关书籍。

1.3.3 旋转机械的振动

在机械故障的众多诊断信息中，振动信号能够更迅速、更直接地反映机械设备的运行状态，据统计，70%以上的故障都是以振动形式表现出来的。

1. 旋转机械振动及其种类

旋转机械振动是表示机械设备在运动状态下，机器上某观测点的位移量围绕其均值或相对基准随时间不断变化的过程。

旋转机械振动情况可分为两大类，即稳态振动和随机振动，如图 1-33 所示。稳态振动是指在某一时间 t 后，其振动波形的均值不变，方差在一定的范围内波动；而随机振动是指信号的均值和方差都是时间函数。

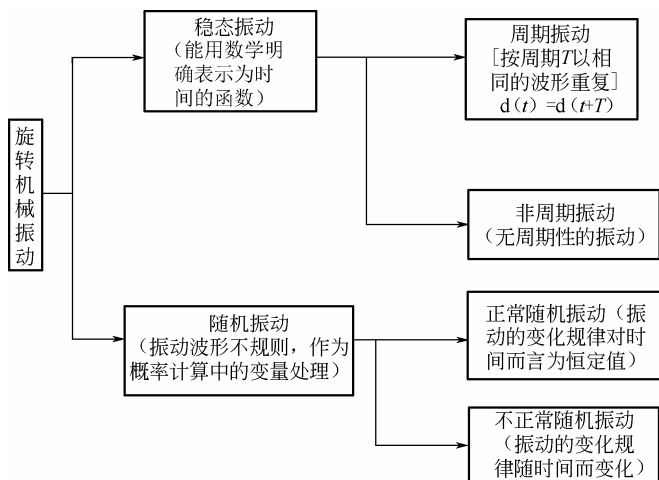


图 1-33 旋转机械振动的种类和特征