

液氮冷装配技术

——热胀冷缩现象在工业中的应用

柳 涛

(南京金陵职业大学, 南京 210001)

吴秀芳

(南京师范大学物理系, 南京 210024)

通常, 温度改变时, 物体的体积总要发生改变, 大多数物体(包括固体、液体、气体)温度升高时体积要增大, 温度降低时, 体积要缩小, 这种现象称为热胀冷缩. 在工业生产中, 热胀冷缩现象有着广泛的应用. 例如, 在机械装配过程中, 有很多零件间的配合需采用静配合, 像电动机的轴与轴承之间的配合, 蜗轮铜质外壳与钢质内套之间的配合, 火车轮箍与车轮间的配合, 滚动轴承外圈与机座之间的配合等. 这一类静配合的特点是, 孔的尺寸小于轴(或轴套)的尺寸, 两者配合时有过盈现象, 从而使它们能牢固地结合在一起. 为实现工件之间的静配合, 一般采用的方法是用键击, 或用压力机压入. 不过, 这种方法只适用于尺寸较小的工件, 而且, 有其明显的缺点: 在敲击或挤压的过程中, 会影响工件的几何精度. 对于大型工件, 或几何精度要求甚高的工件, 则常用“热套”的方法实现工件间的静配合, 即把带孔工件放在油箱中加热, 使其孔径膨胀, 然后将另一配合工件装在孔内, 待冷却后两个工件便可牢固地结合在一起. 然而“热套”也有缺点: 首先, 生产效率低, 因为含有孔的工件往往是机座、箱体等大件, 浸在油中加温所需时间长, 一般加热要八小时之多. 长时间的加热对装配流水线来说, 是一个不能“容忍”的缺点. 其次, 油箱加热耗能大, 而且, 油加热后, 油液横溢, 油烟弥漫, 工件从油箱中取出时, 油液滴落, 这些都会污染环境.

为了克服“热套”的缺点, 人们在实践中又创造了一种新方法, 即把二个静配合工件中的一个, 先放在液氮中冷却, 使其直径缩小, 然后

将它放入另一个工件的孔内, 待温度回升后, 两个工件也就牢固地结合在一起了. 这种装配技术与“热套”方法一样, 同样实现了机器零件之间静配合的目的. 这种先将工件放在液氮中冷却, 而后进行装配的技术, 称为液氮冷装配技术.

液氮是大型化纤、钢铁企业的副产品, 它是一种新的冷源, 其温度为 -196°C . 在冷装配过程中, 如把工件放在液氮中冷却时间过长, 工件的缩小量便太多, 这既浪费了冷源, 提高了产品的成本, 又会使工件恢复原状的时间太长, 降低了冷装配的工作效率. 那么, 究竟如何控制冷却时间呢?

表征物体受热时其长度或体积增大程度的物理量, 叫做膨胀系数. 膨胀系数一般分为线胀系数和体胀系数两种.

固态物质当温度改变 1°C 时, 其长度的变化和它在 0°C 时的长度的比值, 叫做线胀系数. 按此定义, 线膨胀的公式为:

$$d_1 - d_2 = d_1 \beta \Delta t, \quad (1)$$

式中 d_1, d_2 , 分别是工件冷却前后的直径, β 是线胀系数, 如黄铜 $\beta = 1.9 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$, Δt 是温度降低量. 由(1)式可见, Δt 愈大, 工件缩小量也愈大, 即 $\Delta d = d_1 - d_2$ 也愈大. 在装配过程中, 只要把工件缩小到能顺利地插入到孔中即可, 完全没有必要将工件的温度降低到 -196°C 这样低的温度. 例如, 一只直径 $\phi = 100\text{mm}$ 的黄铜轴套, 欲将其直径缩小 0.2mm , 则温度降低量应为:

$$\Delta t = \frac{d_1 - d_2}{\beta d_1} = \frac{0.2}{1.9 \times 10^{-5} \times 100} \doteq 105^{\circ}\text{C}.$$

如果原工件保存在常温下,并设 $t_0 = 25\text{ }^\circ\text{C}$,则工件只要将其温度降至 $t = -80\text{ }^\circ\text{C}$ 即可.由此不难发现,在冷装配中,控制工件的冷却温度直接关系到提高装配效率,减少液氮消耗量的问题.

其实,冷却时间 τ 与冷却温度 t 之间存在着下列函数关系^[1]

$$\tau = \frac{\rho CV}{\alpha S} \ln \frac{t - t_L}{t_0 - t_L}, \quad (2)$$

式中 $\bar{\alpha}$ 是平均换热系数, ρ, C, V 分别是工件的密度,比热,体积,而 S 是工件与液氮接触的面积, t_L 是液氮的温度 ($-196\text{ }^\circ\text{C}$), t_0 是初始温度(通常是室温).

在具体装配过程中,先按图纸要求确定工件缩小量 Δd ,然后由(1)式算出温度变化量 Δt .由于 $\Delta t = t - t_0$,已知室温 t_0 时,便可确定冷却温度 t .因此,一旦装配工件确定, $t, t_0, t_L, \rho, C, V, S$ 均为已知,而工件与液氮之间的平均换热系数 $\bar{\alpha}$ 也是一个可以确定的已知量.这样,冷却时间 τ 便可直接进行控制了.

液氮冷装配技术不仅适用于手工操作,也可在装配流水线上使用.冷装配技术的主要优点是:

第一,节约能源.这可从两个方面来理解,一方面,液氮是由制氧机分离出来的副产品,因此,推广液氮冷装配技术不需要额外消耗能量,而目前工厂使用的“热套”装配技术,则要消耗大量能量;另一方面,工件进行冷装配时,耗用液氮量并不多(冷却工件实际所消耗的液氮量,与工件本身的大小、形状有关).目前,南京液氮

的市场价格每升为2.5元.

第二,装配效率高.工件把在液氮中的冷却时间约为数十秒至几分钟,另加装配时间,其装配效率比“热套”装配效率高几十倍乃至上百倍.而且,这种装配技术,操作方便,给生产厂家带来很高的经济效益.

第三,用途广泛.适用于机床、汽车、火车、拖拉机、飞机、钟表、轻工、模型等工业部门的装配过程.只要有过盈配合的场合,均可采用冷装配技术.南京金陵造船厂、南京511厂采用液氮冷装配技术多年,取得了明显的经济效益和社会效益.

第四,提高了装配精度.由于冷装配技术避免了装配过程中的敲打、挤压等现象,因此工件的几何形状及安装位置均不受影响,从而提高了工件的装配精度.这种装配技术,特别适用于精密机械行业,例如,钟表、仪器制造等.

第五,无环境污染.由于液氮无毒性、无刺激性,不自然也不助燃.因此,使用时安全可靠.在装配过程中,一旦有氮气溢出容器之外,只需将其用排气机通过吸风罩抽出车间,而不会有其他污染.

必须指出的是,由于液氮温度过低 ($-196\text{ }^\circ\text{C}$),在冷装配操作过程中,应严格防止液氮滴漏、飞溅冻伤手脚及其他部位.为此,需要制定严格的生产工艺,工人操作时应穿劳保服,劳动鞋,戴石棉手套及防护眼镜.

[1] 柳 涛 吴紫城,低温工程,5(1989),52.