

目 次

前言	
1 范围	
2 规范性引用文件	
3 组装	
3.1 一般要求	
3.2 装配连接要求	
3.3 关键部件装配要求	
4 竖立	
4.1 安装现场的要求	
4.2 安装机组的要求	
4.3 安装人员要求	
4.4 安全要求	
4.5 安装要求	
5 安装检查	
5.1 安装检验要求	
5.2 检验项目	
5.3 试运行	
5.4 交付	
6 质量保证	
附录A (资料性附录)	一般连接螺栓拧紧力矩
附录B (资料性附录)	压装时压入力的计算公式
附录C (资料性附录)	过盈连接各种装配方法的工艺特点及适用范围
附录D (资料性附录)	热装时加热温度和时间的确定
附录E (资料性附录)	冷装时冷却温度和时间的确定

前 言

本标准是根据GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》的规定编写的。
 本标准的附录A、附录B、附录C、附录D和附录E为资料性附录。
 本标准由中国机械工业联合会提出。
 本标准由全国风力机械标准化技术委员会归口。
 本标准起草单位：西安航空发动机（集团）有限公司。
 本标准主要起草人：杨诚。

风力发电机组装配和安装规范

1 范围

本标准规定了风力发电机组装配的一般原则，装配连接方法，关键部件的装配、总装及试车要求。
 本标准适用于风力发电机组的装配和安装。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单

(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级

GB/T 11345 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级

GB/T 19001 质量管理体系 要求 (GB/T 19001—2000, idt ISO 9001:2000)

GB/T 19071.1 风力发电机组 异步发电机 第1部分:技术条件

GB/T 19073 风力发电机组 齿轮箱

JB/T 7929 齿轮传动装置 清洁度

3 组装

3.1 一般要求

3.1.1 进入装配的零件及部件(包括外购件、外协件)均应具有检验部门的合格证,方能进行装配。

3.1.2 零件在装配前应当清理并清洗干净,不得有毛刺、翻边、氧化皮、锈蚀、切屑、油污、着色剂和灰尘等。

3.1.3 装配前应对零部件的主要配合尺寸,特别是过盈配合尺寸及相关精度进行复查。经钳工修整的配合尺寸,应由检验部门复检,合格后方可装配,并有复查报告存入该风力发电机组档案。

3.1.4 除有特殊规定外,装配前应将零件尖角和锐边倒钝。

3.1.5 装配过程中零件不允许磕伤、碰伤、划伤和锈蚀。

3.1.6 油漆未干的零部件不得进行装配。

3.1.7 对每一装配工序,都要有装配记录,并存入风力发电机组档案。

3.1.8 零部件的各润滑处装配后应按装配规范要求注入润滑油(或润滑脂)。

3.2 装配连接要求

3.2.1 螺钉、螺栓连接

3.2.1.1 螺钉、螺栓和螺母紧固时严禁打击或使用不合适的旋具和扳手。紧固后螺钉槽、螺母和螺钉、螺栓头部不得损坏。

3.2.1.2 有规定拧紧力矩要求的紧固件,应采用力矩扳手并按规定的力矩值拧紧。未规定拧紧力矩值的紧固件在装配时也要严格控制,其拧紧力矩值可参考附录A。

3.2.1.3 同一零件用多件螺钉或螺栓连接时,各螺钉或螺栓应交叉、对称、逐步、均匀拧紧。宜分两次拧紧,第一次先预拧紧,第二次再完全拧紧,这样保证连接受力均匀。如有定位销,应从定位销开始拧紧。

3.2.1.4 螺钉、螺栓和螺母拧紧后,其支承面应与被紧固零件贴合,并以黄色油漆标识。

3.2.1.5 螺母拧紧后,螺栓头部应露出2个~3个螺距。

3.2.1.6 沉头螺钉紧固后,沉头不得高出沉孔端面。

3.2.1.7 严格按图样和技术文件规定等级的紧固件装配。不得用低等级紧固件代替高等级的紧固件进行装配。

3.2.2 销连接

3.2.2.1 圆锥销装配时应与孔进行涂色检查,其接触率不应小于配合长度的60%,并应分布均匀。

3.2.2.2 定位销的端面应突出零件表面。待螺尾圆锥销装入相关零件后,大端应沉入孔内。

3.2.2.3 开口销装入相关零件后,尾部应分开,扩角为60°~90°。

3.2.3 键连接

3.2.3.1 平键装配时,不得配制成梯形。

3.2.3.2 平键与轴上键槽两侧面应均匀接触,其配合面不得有间隙。钩头键、楔键装配后,其接触面积应不小于工作面积的70%,且不接触面不得集中于一端。外露部分应为斜面的10%~15%。

3.2.3.3 花键装配时,同时接触的齿数应不小于2/3,接触率在键齿的长度和高度方向应不低于50%。

3.2.3.4 滑动配合的平键(或花键)装配后,相配键应移动自如,不得有松紧不均现象。

3.2.4 铆钉连接

3.2.4.1 铆接时不应损坏被铆接零件的表面，也不应使被铆接的零件变形。

3.2.4.2 除有特殊要求外，一般铆接后不得出现松动现象，铆钉尖部应与被铆零件紧密接触并应光滑圆整。

3.2.5 粘合连接

3.2.5.1 粘接剂牌号应符合设计和工艺要求并采用有效期限内的产品。

3.2.5.2 被粘接的表面应做好预处理，彻底清除油污、水膜、锈迹等杂质。

3.2.5.3 粘接时，粘接剂应涂均匀。固化的温度、压力、时间等应严格按工艺或粘结剂使用说明书的规定。

3.2.5.4 粘接后应清除表面的多余物。

3.2.6 过盈连接

3.2.6.1 压装时应注意：

a) 压装所用压入力的计算可参考附录B；

b) 压装的轴或套允许有引入端，其导向锥角 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，导锥长度应不大于配合长度的5%；

c) 实心轴压入盲孔时，允许开排气槽，槽深应不大于0.5mm；

d) 压入件表面除特殊要求外，压装时应涂清洁的润滑剂；

e) 采用压力机压装时，其压力机的压力一般为所需压力的3~3.5倍。压装过程中压力变化应平稳。

3.2.6.2 热装时应注意：

a) 热装的加热方法可参考附录C选取；

b) 热装零件的加热温度根据零件材质、结合直径、过盈量及热装的最小间隙等确定，确定方法见附录D；

c) 油加热零件的加热温度比所用油的闪点应低 $20 \sim 30$ ；

d) 热装后零件应自然冷却、不允许快速冷却；

e) 零件热装后应紧靠轴肩或其他相关定位面，冷缩后的间隙不得大于配合长度尺寸的0.3/1000。

3.2.6.3 冷装时应注意：

a) 冷装时的常用冷却方法可参考附录C选取；

b) 冷却时零件的冷却温度及时间的确定方法可参考附录E；

c) 致冷零件取出后应立即装入包容件。对零件表面有厚霜者，不得装配，应重新冷却。

3.2.6.4 胀套时应注意：

a) 胀套表面的结合面应干净无污染、无腐蚀、无损伤。装前均匀涂一层不含 MoS_2 等添加剂的润滑油；

b) 胀套螺栓应使用力矩扳手、并对称、交叉、均匀拧紧；

c) 螺栓的拧紧力矩 T_a 值按设计图样或工艺规定，亦可参考附录A并按下列步骤进行：

1) 以 $1/3T_a$ 拧紧；

2) 以 $1/2T_a$ 拧紧；

3) 以 T_a 值拧紧；

4) 以 T_a 值检查全部螺栓。

3.3 关键部件装配要求

3.3.1 滚动轴承装配

3.3.1.1 轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔不允许有卡滞现象，装配时允许整修半圆孔。

3.3.1.2 轴承外圈与开式轴承座及轴承盖的半圆孔应接触良好，用涂色检验时，与轴承座在对称于中心线 120° 、与轴承盖在对称于中心线 90° 的范围内应均匀接触。在上述范围内用塞尺检查时0.03mm的塞尺不得塞入外圈宽度的1/3。

3.3.1.3 轴承内圈端面应紧靠轴向定位面，其允许最大间隙，对圆锥滚子轴承与角接触为0.05mm，其他轴承为0.1mm。

3.3.1.4 轴承外圈装配后定位端轴承盖端面应接触均匀。

3.3.1.5 采用润滑脂的轴承，装配后应注入相当与轴承容积的1/2~1/3的符合规定的清洁润滑脂。凡稀油

润滑的轴承，不应加润滑脂。

3.3.1.6 轴承热装时，其加热温度应不高于120℃。轴承冷装时，其冷却温度应不低于—80℃。

3.3.1.7 可拆卸轴承装配时，应严格按原组装位置，不得装反或与别的轴承混装。对可调头装的轴承，装配时应将轴承的标记端朝外。

3.3.1.8 在轴的两端装配径向间隙不可调的向心轴承，且轴向位移是以两端端盖限定时，其一端应必须留有轴向间隙C（单位：mm），C值可按下式计算：

$$C = \alpha \times \Delta t \times L + 0.15 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- α——轴材料线膨胀系数，对钢：α=12×10^{—6}/℃；
- t——轴最高工作温度与环境温度之差，单位为摄氏度（℃）；
- L——两轴承中心距，单位为毫米（mm）；
- 0.15——轴热胀后剩余间隙，单位为毫米（mm）。

一般情况下取 t=40℃，因此装配时，只需根据L尺寸，即可按公式（2）计算C值；

$$C = 0.0005L + 0.15 \dots\dots\dots (2)$$

3.3.1.9 滚动轴承装好后用手转动应灵活、平稳。

3.3.2 齿轮箱装配

3.3.2.1 齿轮箱的装配和运输应符合GB/T 19073的技术要求。

3.3.2.2 齿轮箱装配后，应按设计和工艺要求进行空运转试验。运转应平稳、无异常噪音。

3.3.2.3 齿轮箱的清洁度应符合JB/T 7929的规定。

3.3.3 液压缸、气缸及密封件装配

3.3.3.1 组装前应严格检查并清除零件加工时残留的锐角、毛刺和异物，保证密封件装入时不被擦伤。

3.3.3.2 装配时应注意密封件的工作方向，对O形圈与保护挡环并用时应注意挡环的位置。

3.3.3.3 对弹性较差的密封件，应采用扩张或收缩装置的工装进行装配。

3.3.3.4 带双向密封圈的活塞装入盲孔油缸时，应采用引导工装，不允许用螺丝刀硬塞。

3.3.3.5 液压缸、气缸装配后要进行密封及动作试验，应达到如下要求：

- a) 行程符合要求；
- b) 运行平稳，无卡阻和爬行现象；
- c) 无外部渗漏现象，内部渗漏按图样要求。

3.3.3.6 各密封毡圈、毡垫、石棉绳、皮碗等密封件装配前应渗透油；钢纸板用热水泡软、紫铜垫作退火处理。

3.3.4 联轴器装配

3.3.4.1 每套联轴器在拆装过程中，应与原装配组合一致。

3.3.4.2 刚性联轴器装配时，两轴线的同轴度应小于0.03mm。

3.3.4.3 挠性、齿式、轮胎、链条连轴器装配时，其装配精度应符合表1的规定。

表1 联轴器装配精度

联轴器轴孔直径/mm	两轴线的同轴允差(圆周跳动)/mm	两轴线的角度偏差/(°)
≤100	0.05	0.05
>100 ~ 180	0.05	0.05
>180 ~ 250	0.05	0.10
>250 ~ 315	0.10	0.10
>315 ~ 450	0.10	0.15

>450 ~ 560	0.15	0.20
>560 ~ 630	0.15	0.20
>630 ~ 710	0.20	0.25
>710 ~ 800	0.20	0.30

3.3.5 发电机安装

- 3.3.5.1 发电机的安装和运输应符合GB/T 19071.1的要求。
- 3.3.5.2 发电机安装后，发电机轴与齿轮箱输出轴的同轴度应符合3.3.4.2和3.3.4.3的要求。
- 3.3.5.3 在发电机机座上，应以对角方式在两端安装接地电缆。

4 竖立

4.1 安装现场的要求

- 4.1.1 安装风力发电机组的地基应按照有效批准程序批准的技术文件进行施工，并且能够保证承受其安装后最大工作状态的强度。
- 4.1.2 安装地基应用水平仪校验，地基与塔架接触面的水平度不大于1mm，以满足机组安装后塔架与水平面的垂直度要求。
- 4.1.3 地基联接法兰和相应构件位置应准确无误并牢固地浇注在地基上。
- 4.1.4 地基应有良好的接地装置，其接地电阻应不大于3.5Ω。

4.2 安装机组的要求

- 4.2.1 组装后的部、组件经检验合格后，方能到现场安装。
- 4.2.2 组装后的部、组件运到安装现场后，应进行详细检查，防止在运输中碰伤、变形、构件脱落、松动等现象。不合格的产品不允许安装。

4.3 安装人员要求

- 4.3.1 现场安装人员应具有一定的安装经验。
- 4.3.2 关键工序如：吊装工、焊接及焊接检验人员应持有当地省市劳动部门颁发的上岗证，方可上岗。

4.4 安全要求

- 4.4.1 安装现场的工作人员应佩带安全装备，如：安全鞋、安全帽、工作服、防护手套、听觉防护（需要时）、防护镜（需要时）、安全带等。
- 4.4.2 高空作业的现场地面不允许停留闲杂人员，不允许向下抛掷任何物体。也不允许将任何物体遗漏在高空作业现场。
- 4.4.3 安全防护区应有警告标志。
- 4.4.4 吊装物应固定牢靠，防止坠落，发生意外。
- 4.4.5 大型零部件在运输时应采取有效措施，保证运输的安全；应提出对道路的宽度、最小转弯半径、最大承载力要求，应考虑当地的道路高度。
- 4.4.6 在平均风速大于10m/s时和雷雨气候下不允许吊车工作。
- 4.4.7 应有吊装现场的风力发电机组和吊车在吊装中的位置图。

4.5 安装要求

4.5.1 塔架安装

- 4.5.1.1 塔架安装前应对地基进行清洗、将地脚螺栓上的浇注保护套取掉并清掉螺栓根部水泥或砂浆。螺栓应加注少许润滑油，在法兰接触面涂密封胶。
- 4.5.1.2 将要在地基上固定的构件按规定的位置固定好。
- 4.5.1.3 塔架起吊前应检查所固定的构件是否有松动和遗漏。
- 4.5.1.4 塔架起吊后要缓慢移动，塔架法兰螺纹孔要对准对应的螺栓位置后轻轻放下并按照对称拧紧方法拧紧，以保证受力均匀。

4.5.1.5 塔架安装后检查其安装位置，如果误差较大应进行调整、防止挤压螺栓。

4.5.1.6 塔架安装后检查垂直度，塔架中心线的垂直度应不大于千分之一的塔架高度。

4.5.2 机舱安装

4.5.2.1 机舱安装前应对叶片、机舱、轮毂、延长段的重量、外形尺寸、重心位置列出详细的图和表说明。

4.5.2.2 机舱安装前应清理干净。

4.5.2.3 机舱安装时应注意安全吊装。

4.5.2.4 对螺纹紧固件的螺纹表面应进行润滑，并按规定的力矩和装配方法拧紧。

4.5.2.5 安装风轮时，各叶片安装角的相对偏差不得超过设计图样的规定。

4.5.2.6 吊装风轮时，应注意叶尖不能碰着地面和塔架，以免损伤叶尖。

4.5.2.7 传动系统安装时，要保证图样规定的间隙，不允许有任何卡滞现象，并在规定的部位装好润滑油或润滑脂。润滑油或润滑脂的牌号应符合图样或技术文件的规定。

4.5.3 电气安装

4.5.3.1 电气接线和电气连接应可靠，所需要的连接件如接插件、连接线、接线端子等应能承受所规定的电（电压、电流）、热（内部或外部受热）、机械（拉、压、弯、扭等）和振动影响。

4.5.3.2 母线和导电或带电的连接件，按规定使用时，不应发生过热松动或造成其他危险的变动。

4.5.3.3 在风力发电机组组装时，发电机转向及发电机出线端的相序应标明，应按标号接线，并在第一次并网时检查相序是否相同。

4.5.3.4 电气系统及防护系统的安装应符合图样设计要求，保证连接安全、可靠。不得随意改变连接方式，除非设计图样更改或另有规定。

4.5.3.5 除电气设计图样规定连接内容外的其他附加电气线路的安装（如防雷系统）应按有关文件或说明书的规定进行。

4.5.3.6 机舱至塔架底部控制柜的控制及电力电缆应按国家电力安装工艺中的有关要求安装，应采取必要的措施防止由于机组运行时振动引起的电缆摆动和机组偏航时产生绞缆。

4.5.3.7 各部位接地系统应安全、可靠、绝缘性能应不大于 $1\text{M}\Omega$ 。

5 安装检查

5.1 安装检验要求

安装检验是一项非常重要的工作，应高度重视。应设专门检验员进行检验，以保证安装质量。

5.2 检验项目

检验项目要求：

a) 螺纹连接件的松紧度是否达到要求；

b) 焊缝是否焊牢固，有无裂纹、夹杂等缺陷，连接强度是否可靠；钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级按GB/T 11345执行；钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级按GB/T 3323执行；

c) 机械零件的辐射保护；

d) 电器设备的安装质量（如电缆铺设、接地设备和接地系统）；

e) 液压系统管道是否泄漏；

f) 塔架与地基、机舱与塔架的形位公差是否符合图样要求；

g) 显示系统、警示标志是否清楚、齐全；

h) 操作系统是否灵活、安全、可靠。

5.3 试运行

5.3.1 按风力发电机组运行规范进行试运行。

5.3.2 按风力发电机组日常使用、维护手册进行操作和日常维护。

5.3.3 试运行程序进行完后，应按相应的试运行验收标准进行验收。

5.4 交付

试运行完成后，向用户提交安装检验报告和试运行验收报告，由用户验收。

6 质量保证

安装的质量保证应符合GB/T 19001的要求。

附 录 A
(资料性附录)
一般连接螺栓拧紧力矩

A.1 一般连接螺栓拧紧力矩见表A.1。

表A.1

螺栓性能等级	螺栓公称直径/mm													
	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72
	拧紧力矩 T_a /N·m													
5.6	3.3	8.5	16.5	28.7	70	136.3	235	472	822	1319	1991	3192	4769	6904
8.8	7	18	35	61	149	290	500	1004	1749	2806	4236	6791	10147	14689
10.9	9.9	25.4	49.4	86	210	409	705	1416	2466	3957	5973	9575	14307	20712
12.9	11.8	30.4	59.2	103	252	490	845	1697	2956	4742	7159	11477	17148	24840
注1：适用于粗牙螺栓。 注2：拧紧力矩允许偏差为±5%。 注3：预紧载荷材料的 $0.70\sigma_b$ 计算。 注4：摩擦系数为 $\mu=0.125$ 。 注5：所给数值为使用润滑剂的螺栓，对于无润滑剂的螺栓的拧紧力矩应为表中值的133%。														

附 录 B
(资料性附录)
压装时压入力的计算公式

B.1 压入力的计算

压入力的计算按（B.1）式：

$$p=p_{i\max}\times\pi\times d_1\times L_1\times\mu \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：
 p ——压入力，单位为牛（N）；
 $p_{i\max}$ ——结合表面承受的最大单位压力，单位为牛每平方米（N/mm²）；
 d_1 ——结合直径，单位为毫米（mm）；
 L_1 ——结合长度，单位为毫米（mm）；
 μ ——结合表面摩擦系数，见表B.1。

表B.1

材 料	摩擦系数 μ	
	无润滑	有润滑
钢—钢	0.07 ~ 0.16	0.05 ~ 0.13

钢—铸钢	0.11	0.07
钢—结构钢	0.10	0.08
钢—优质结构钢	0.11	0.07
钢—青铜	0.15 ~ 0.20	0.03 ~ 0.06
钢—铸铁	0.12 ~ 0.15	0.05 ~ 0.10
铸铁—铸铁	0.15 ~ 0.25	0.05 ~ 0.10
—	—	—

B.2 最大单体压力的计算
最大单位压力 $p_{i_{\max}}$ 的计算按（B.2）式：

$$p_{i_{\max}} = \frac{\delta_{\max}}{d_1 \left(\frac{C_2}{E_2} + \frac{C_1}{E_1} \right)} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：
 δ_{\max} ——最大过盈量，单位为毫米（mm）；
 C_2 、 C_1 ——系数，见式（B.3）和式（B.4）；
 E_2 、 E_1 ——分别为包容件和被包容件的材料弹性模量，单位为牛每平方米（N/mm²），见表B.2。

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d_1^2}{d_2^2 - d_1^2} + \nu \dots\dots\dots (B.3)$$

$$C_1 = \frac{d_2^2 + d_1^2}{d_2^2 - d_1^2} - \nu \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：
 d_2 、 d_1 ——分别为包容件外径和被包容件内径（实心轴 $d_1=0$ ），单位为毫米（mm）；
 ν ——泊松系数，见表B.2。

表B.2

材 料	弹性模量E/ (kN/mm ²)	泊松系数 ν	线膨胀系数 $\alpha/(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	
			加热	冷却
碳钢 低合金钢 合金结构钢	200 ~ 235	0.30 ~ 0.31	11	—8.5
灰口铸铁 HT150 HT200	70 ~ 80	0.24 ~ 0.25	11	—9

灰口铸铁 HT250 HT300	105 ~ 80	0.24 ~ 0.26	10	—8
可锻铸铁	90 ~ 100	0.25	10	
非合金球墨铸铁	160 ~ 180	0.28 ~ 0.29	10	
青铜	85	0.35	17	—15
青铜	80	0.36 ~ 0.37	18	—16
铝合金	69	0.32 ~ 0.36	21	—20
镁铝合金	40	0.25 ~ 0.30	25.5	—25

附 录 C
(资料性附录)
过盈连接各种装配方法的工艺特点及适用范围

过盈连接各种装配方法的工艺特点及适用范围见表C.1。

表C.1

装配方法		主要设备和工具	工艺特点	适用范围
压 装	冲击压入	手锤或用重物冲击	简便、但导向性不易控制，易出现歪斜	适用于配合面要求低或长度较短的过渡配合连接件，如销、键短轴等，多用于单件生产
	工具压入	螺旋式、杠杆式、气动式、压入工具	导向性比冲击压入好，生产率较高	适用于不宜用压力机压入的小尺寸件连接，如小型轮圈、轮毂、齿轮、套筒、连杆、衬套和一般要求的轴承等，易于实现压入过程自动化，成批生产中广泛应用
	液压垫压入	液压垫（一般用厚2mm ~ 3mm的钢板制成空心，注入压力流体）	压力在10000kN以上	用于压入行程短的大型、重型连接件，多用于单件或小批生产以代替大型压力机
热 装	火焰加热	喷灯、氯乙炔、丙烷加热器炭炉	加热温度低于350℃ 丙烷（加其他气体燃料）加热器热量集中、加热温度易于控制、操作简便	适用于局部加热和热膨胀尺寸要求严格的中型和大型连接件、如汽轮机、鼓风机、压缩机、叶轮等
	介质加热	沸水槽、蒸汽加热槽、热油槽	沸水槽加热温度80℃ ~ 100℃，蒸汽加热槽可达120℃，热油槽可达90℃ ~ 320℃，均可使连接件除油干净、热胀均匀	适用于过盈量小的连接件，如滚动轴承、液体静压轴承、连杆衬套齿轮。对忌油连接件用沸水或蒸汽加热
	电阻加热和辐射加热	电阻炉、红外线辐射加热箱	加热温度可达400℃以上，热胀均匀、表面洁净、加热温度容易控制	适用于中、小型连接件
	感应加热	感应加热箱	加热温度可达400℃以上，加热时间短、调节温度方便、热效率高	适用于采用重型和特重型过盈配合的大、中型连接件
冷	干冰冷缩	干冰冷缩装置（或以酒精、丙酮、汽油为介质）	可冷至—78℃，操作简便	适用于过盈量小的小型连接件和薄壁衬套等

装	低温箱 冷缩	各种类型低温箱	可冷至—40 ~ 140 ，冷缩均匀、表面洁净、温度易于控制、生产率高	适用于配合面精度较高的连接件
	液氮肥 冷缩	移动式或固定式液氮槽	可冷至—195 ，冷缩时间短、生产率高	适用于过盈量较大的连接件
	液氧 冷缩	移动式或固定式液氧槽	可冷至—180 ，冷缩时间短、生产率高	适用于过盈量较大的连接件

附 录 D
(资料性附录)
热装时加热温度和时间的确定

D.1 热装时包容件的加热温度计算
热装时包容件的加热温度可按推荐公式 (D.1) 计算：

$$t_n = \frac{e_{on}}{\alpha d_1} + t = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{\alpha d_1} + t \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

t_n ——包容件加热温度，单位为摄氏度（ ）；

e_{on} ——包容件内径的热胀量，单位为毫米（mm）（等于过盈量 Δ_1 与热装时最小间隙 Δ_2 之和）；

α ——材料线膨胀系数，单位为每摄氏度（1/ ）；

d_1 ——结合直径，单位为毫米（mm）；

t ——环境温度，单位为摄氏度（ ）。

D.2 热装时最小间隙选用
热装时最小间隙 Δ_2 按表D.1选用。

表D.1 单位为毫米

直径 d	>80 ~ 100	>100 ~ 120	>120 ~ 150	>150 ~ 180	>180 ~ 220	>220 ~ 260	>260 ~ 310	>310 ~ 360	>360 ~ 440	>440 ~ 500	>500 ~ 560
装配间隙 Δ_2	0.1	0.12	0.20	0.25	0.30	0.38	0.46	0.54	0.66	0.75	0.84
直径 d	>560 ~ 630	>630 ~ 710	>710 ~ 800	>800 ~ 900	>900 ~ 1000	>1000 ~ 1120	>1120 ~ 1250	>1250 ~ 1400	>1400 ~ 1600	>1600 ~ 1800	>1800 ~ 2000
装配间隙 Δ_2	0.94	1.10	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.60	2.90	3.20

注：热装时所需间隙 Δ_2 的经验数据为配合直径的1/1000 ~ 1.5/1000。

D.3 加热和保温时间
加热和保温时间的经验数据，一般可按10mm厚度需要10min的加热时间，40mm厚度需要10min的保温时间。

附 录 E
(资料性附录)
冷装时冷却温度和时间的确定

E.1 冷装时冷却温度计算
冷装时冷却温度应控制合适，可按推荐公式 (E.1) 计算：

$$t_c = \frac{e_u}{\alpha d_1} = \frac{2\Delta_1}{\alpha d_1} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

- t_c ——冷却温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；
- e_u ——被包容件外径的冷缩量，单位为毫米（mm）；
- α ——材料线膨胀系数，单位为每摄氏度（ $1/^{\circ}\text{C}$ ）；
- d_1 ——结合直径，单位为毫米（mm）；
- Δ_1 ——过盈量，单位为毫米（mm）。

E.2 零件的冷却时间计算

零件的冷却时间按公式（E.2）计算：

$$T_c = k\delta + 6 \dots\dots\dots (E.2)$$

式中：

- T_c ——零件冷却所需时间，单位为分（min）；
- δ ——被冷却件的最大半径或壁厚，单位为毫米（mm）；
- k ——与零件材质和冷却介质有关的综合系数（见表E.1），单位为分每毫米（min/mm）。

表E.1

零 件 材 质		钢	铸铁	黄铜	青铜
冷却介质	液态氮	1.2	1.3	0.8	0.9
	液态氧	1.4	1.5	1.0	1.1

E.3 冷却剂工作温度

冷却剂工作温度见表E.2。

表E.2

干冰加酒精或丙酮 —78	液态氮 —120
液态氧 —180	液态氮 —195