

# 中华人民共和国国家标准

## 船用柴油机涡轮增压器技术条件

GB/T 13410—92

The technical specifications of turbochargers  
used for marine diesel engines

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了船用柴油机涡轮增压器技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等。

本标准适用于船用柴油机涡轮增压器(以下简称“增压器”)。

### 2 引用标准

GB 727 涡轮增压器产品命名和型号编制方法

GB 1105.1 内燃机台架性能试验方法 标准环境状况及功率、燃油消耗和机油消耗的标定

GB 1147 内燃机通用技术条件

GB 2624 流量测量节流装置 第一部分 节流件为角接取压、法兰取压标准孔板和角接取压喷嘴

### 3 技术要求

3.1 增压器必须符合本标准要求,并按经规定程序批准的图样和技术文件制造。

3.2 增压器的型号编制应符合 GB 727 的规定。

3.3 增压器纵倾和横倾工作条件应满足 GB 1147 中 1.15 条规定。

3.4 增压器总效率、流量、压气机压比和效率应达到设计指标或配机指标。在规定压比下,转速偏差为确定值的 $\pm 2\%$ ,流量偏差为确定值的 $\pm 3\%$ 。

3.5 增压器在平台试验时,噪声的平均值(带消音滤清器或吸气弯头测试,声压级)应符合表 1 的规定。

表 1

|         |           |            |            |
|---------|-----------|------------|------------|
| $\pi_c$ | <1.7      | 1.7~2.5    | >2.5       |
| dB(A)   | $\leq 98$ | $\leq 103$ | $\leq 108$ |

3.6 增压器在平台试验时,振动速度值应不大于 4 mm/s。

3.7 增压器的导风轮、压气机叶轮及带叶片轴应做单件动平衡,或对增压器转子总成做整体动平衡,其精度应符合图纸的规定。

3.8 增压器导风轮、压气机叶轮应进行超速试验,超速时间和转速应符合有关技术文件的规定。

3.9 增压器的冷却水腔、油腔应进行水压试验,试验压力为 400 kPa 或 1.5 倍工作压力(两者中取较大值),历时 5 min,应无渗漏现象。

3.10 增压器一般应设有转子锁紧装置。

3.11 增压器的涡轮机进、排气壳和空气壳应在轴线的垂直平面内按配机使用需要相互转动位置,每档

转动角度不大于 30°。

3.12 增压器外型应美观,安装使用方便。外表油漆牢固、光亮,不得有起层、剥落、漏漆等缺陷。小型径流式增压器外表面允许不涂漆,但须平整、光滑。

3.13 增压器运转时,壳体和各密封处不得有漏水、漏油及漏气等现象。

3.14 按制造厂使用维护说明书使用的增压器,保修期自出厂日算起为 365 d,如有特殊情况,另行商定。在保修期内,确因制造质量不良而损坏的零部件,制造厂应免费予以修理或更换。

3.15 增压器交货时,制造厂应提供随机备件、专用工具各一套。同时应提供装箱清单、使用维护保养说明书和包括增压器技术参数的出厂检验合格证书。

## 4 试验方法

### 4.1 试验仪表和方法

试验用仪器仪表应经国家计量部门认可的单位检验和校准,并具有合格证书。

#### 4.1.1 转速测量

一般采用磁电感应测速器,精度为 0.2%。

#### 4.1.2 扭矩测量

采用液力、电力测功器或其他类似设备,误差为±1%。

#### 4.1.3 压力测量

4.1.3.1 压力测量用弹簧式、液体式压力计,压气机和涡轮机进出口压力,用 U 型管压力计,精度为 0.5%或其他相当精度的测量仪表。大气压力用气压计测量,精度为 0.2%。

4.1.3.2 压力测量应在管道中进行,该管道的截面和形状与压气机和涡轮机进、出口相应的截面和形状一致。测量点到压气机进口和涡轮机出口截面的距离不超过相应进、出口管的直径,距压气机出口和涡轮机进口为 1~1.5 倍管道直径。测量段管径与压气机或涡轮机进、出口尺寸不相等时,允许配置锥顶角小于 14°过渡管连接,对于非圆形截面,该距离不大于等面积的圆截面直径。若压气机为径向进气时,上述距离应不大于进口环形截面宽度的一半,见附录 A(补充件)。

4.1.3.3 静压力测量不少于四个点,并沿管道圆周均匀分布。静压孔直径为 0.5~1.5 mm,并垂直于壁面,其边缘不应有毛刺和尖出部分,管壁应光滑平直。气流总压用总压探针测量时,其感受孔应沿管道四个等环面积的中心分布。总压力也可根据静压力与相应截面处速度头的代数和计算而得,见附录 A(补充件)。

#### 4.1.4 温度测量

4.1.4.1 温度测量用电磁仪表或液体温度计,在气流中,应当使用滞止型温度计,其感受器的恢复系数应不小于 0.86。压气机进口温度计的刻度值为±0.1℃,测量误差为±0.2℃。涡轮机进口温度测量误差为±5℃。

4.1.4.2 环境大气温度和湿度的测量仪表安装在距离进气口平面 1.5 m 处,并应防止气流及热辐射的影响。

4.1.4.3 压气机和涡轮机进、出口温度测量孔的距离应符合压力测点布置的要求,温度计可沿气流方向装在压力感受器的后面,距离压力测点为 0.5 倍的管径。并且与测压点相互错开。温度计沿管道周边四点均布,并使温度感受器布置在相等环形面积中心上,压力或温度探针在管道中的堵塞面积不应超过该截面的 5%,见附录 A(补充件)。

4.1.4.4 静温度根据测得的滞止温度和相应截面的气流速度被滞止的温升之差值来确定,并考虑到滞止型温度计的速度恢复系数。滞止护套管几何尺寸见附录 A(补充件)中图 A3 和表 A1,测量时管孔应对准气流方向,套管应采用表面光滑导热系数小的材料制造。

4.1.4.5 测量用的管道应能良好的隔热,使壁面温度接近气流温度,偏差在 15℃以内,管道接合面应严格密封。

#### 4.1.5 流量测量

流量测量应采用标准孔板流量计或端面进气流量计,精度为 1.5%。标准孔板流量计的设计、制造、安装、使用及流量计算按 GB 2624 的规定。

#### 4.1.6 噪声测量

噪声用噪声计测量。测量时,应在增压器轴线水平面上距离增压器周围 1 m 处,测量压气机端 6~7 点,见附录 A(补充件)。

#### 4.1.7 振动测量

振动采用振动仪测量。测量时,将传感器置于轴承附近的壳体上,记录速度值。

### 4.2 试验条件

4.2.1 试验应在符合本标准要求的试验台上进行。

4.2.2 测试前,增压器应运转 10~20 min,以达到热稳定状态。

4.2.3 在测量期间,一个试验工况点的每一观测值与该工况点在整个运行期间的记录平均值的偏差不得超过规定的测量误差值。如果超过时,这一观测值应该废弃。

4.2.4 试验工况持续时间或读数次数,应根据增压器类型及读数波动情况而调整,对关键测量项目有效测量次数至少重复两次。

4.2.5 试验时,轴承进口油压、油温和出口油温及流量,冷却水进口压力、温度和出水温度及流量,均应符合技术文件规定。

4.2.6 增压器试验前,应根据试验项目先拟定试验大纲及操作规程。

### 4.3 型式试验

#### 4.3.1 试验对象

- a. 新设计的增压器;
- b. 通流部分或轴承部分经过重大改进的增压器;
- c. 转厂生产的增压器;
- d. 批量生产抽验的增压器。

#### 4.3.2 试验内容

- a. 压气机性能试验;
- b. 涡轮增压机的性能试验;
- c. 增压器运转的耐久性试验。

4.3.3 压气机和涡轮增压机的性能试验应在专门的部件试验台架上进行,若条件不具备时,亦可在增压器平台上进行。

#### 4.3.4 压气机性能试验

4.3.4.1 在试验台架上,可不带消音滤清器或吸气弯头进行性能试验。首先做不少于 5 条等转速线,每条等转速线的工况点应不少于 6 点(含喘振点),并按整个流量区段均匀分布。测量项目见附录 B(补充件),并计算压比、效率,喘振边界线与流量的关系,作出性能曲线图,见附录 B(补充件)。

4.3.4.2 若提供消音滤清器或吸气弯头,制造厂应提供消音滤清器或吸气弯头的压力损失数据。

4.3.4.3 在确定喘振极限时,压气机后的容积应不小于所配柴油机进气系统的容积喘振点的测取:当压气机出口 U 型压力计液面突然跳动,并同时听到增压器气流响声,记录此时的流量、压力、转速等参数。

4.3.4.4 噪声值的测量,按 4.1.6 条方法进行,取平均值和最大值。其结果应符合 3.5 条规定。

#### 4.3.5 涡轮增压机性能试验

在转速固定(它相当于压气机设计转速)和燃气温度已知情况下进行。涡轮增压机功率测量可用液力或电力测功器直接测功,也可用热力学计算的间接测功法测得。测量项目见附录 B(补充件),并计算涡轮增压机效率与通流特性  $u/c_0$  或膨胀比  $\pi_T$ ,作出性能曲线,见附录 B(补充件)。对于大型涡轮增压器,受试验

室能力所限, 涡轮机特性试验可按有关部门商定的办法进行。

#### 4.3.6 增压器的耐久性试验

4.3.6.1 耐久性试验工况转速为最高转速的 90%, 涡轮机进口温度为低于最高温度 30~50℃, 耐久试验时间: 对于 4.3.1 条的 a.、b.、c., 试验时间为 100 h; 对引进产品, 试验时间为 75 h; 对于 4.3.1 a., 质量稳定者, 可酌情减小耐久试验时间和抽验项目; 对于大型增压器(压气机叶轮直径大于 350 mm), 试验时间和项目由有关单位协商确定。

4.3.6.2 耐久性试验中, 待工况稳定后, 每隔 2 h 测量附录 B(补充件)中表 B1 的参数。试验中增压器不允许出现故障, 若出现非增压器原因而停车, 不得超过两次, 每次停车不得超过 1 h。

4.3.6.3 在涡轮机进口最高温度和最高转速下进行 0.5 h 强度试验, 试验结果应符合有关技术文件中的要求。

4.3.6.4 耐久性试验后, 应进行下列项目的检查:

- a. 装配间隙的变化情况;
- b. 复校转子动平衡, 并进行无损探伤;
- c. 轴承、减振装置磨损及配合间隙的变化情况;
- d. 喷嘴环、涡轮壳体、叶片扩压器等的变化情况;
- e. 涡轮机动叶片的变化情况;
- f. 气封、油封使用情况。

检查结果若发现主要零部件损坏, 试验失效。

#### 4.4 出厂试验

##### 4.4.1 试验对象

每台出厂的增压器应进行出厂试验。

##### 4.4.2 试验内容

- a. 性能点考查试验;
- b. 结构考核试验;
- c. 振动值;
- d. 惰转时间。

##### 4.4.3 性能点考查试验

采用自循环方式, 待工况稳定后, 按附录 B(补充件)中表 B1 中项目进行测量, 并计算出压气机压比、效率和增压器总效率。

##### 4.4.4 结构考核试验

在增压器最高温度、最高转速下运行 15 min。

##### 4.4.5 振动值

振动值的测量按 4.1.7 条方法进行。

##### 4.4.6 惰转时间

在增压器 60% 最高转速下, 采用自循环运行方式, 突然关闭燃油阀, 直至增压器停转, 记录所经历的时间。

#### 4.5 特殊试验

如用户对抗冲击、高背压、急停车等试验有特殊要求, 可由用户与制造厂商定。

#### 4.6 试验结果的计算

##### 4.6.1 标准大气状况

大气压  $p_0 = 100 \text{ kPa}$ ;

环境温度  $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

相对湿度  $\Phi_0 = 30\%$ 。

试验时的环境状况与设计时所取的标准环境状况相差时,应作如下修正。

4.6.1.1 试验转速按公式(1)计算。

$$n_k = n_{np} \sqrt{\frac{T_1}{298}} \dots\dots\dots(1)$$

式中:  $n_k$ ——试验转速,r/min;  
 $n_{np}$ ——标准状况下的转速,r/min;  
 $T_1$ ——压气机进口处总温,K。

4.6.1.2 标准状况下的流量按公式(2)计算。

$$G_{np} = G_k \frac{p_0}{p_1} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{298}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:  $G_{np}$ ——标准状况下的流量,kg/s;  
 $G_k$ ——试验条件下的实测流量,kg/s;  
 $p_0$ ——标准环境状况压力,kPa;  
 $p_1$ ——压气机进口处总压力,kPa。

4.6.2 压气机总压比  $\pi_k$  按公式(3)计算。

$$\pi_k = p_k / p_1 \dots\dots\dots(3)$$

式中:  $p_k$ ——压气机出口总压,kPa。

4.6.3 压气机总绝热效率为空气的绝热压缩功与实际功之比。并按公式(4)计算。

$$\eta_k = \frac{T_1(\pi_k^{(k-1)/k} - 1)}{T_k - T_1} \dots\dots\dots(4)$$

式中:  $T_k$ ——压气机出口总温,K;  
 $k$ ——空气绝热指数,取值为 1.4;  
 $T_1$ ——压气机进口总温,K;  
 $\pi_k$ ——压气机总压比。

4.6.4 涡轮机膨胀比  $\pi_T$

$$\pi_T = \frac{p_T}{p_2} \dots\dots\dots(5)$$

涡轮机理想焓降  $H_T$ :

$$H_T = \frac{k_T}{k_T - 1} R_T T_T \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_T} \right)^{(k_T-1)/k_T} \right] \dots\dots\dots(6)$$

$$u = \frac{\pi D_T \dot{h}}{60} \dots\dots\dots(7)$$

$$C_0 = \sqrt{2gH_T} \dots\dots\dots(8)$$

式中:  $C_0$ ——涡轮机理想速度,m/s;  
 $n$ ——涡轮机转速,r/min;  
 $u$ ——涡轮机轮周速度,m/s;  
 $D_T$ ——涡轮机平均直径,  $D_T = \sqrt{\frac{D_0^2 + D_2^2}{2}}$ ;  
 $g$ ——重力加速度,取值 9.81 m/s<sup>2</sup>;  
 $k_T$ ——燃气绝热指数,取值 1.36;  
 $R_T$ ——燃气气体常数,取值 286.45, J/kg·K;  
 $T_T$ ——涡轮机进口总温,K;  
 $p_T$ ——涡轮机进口总压,kPa;

$p_2$ ——涡轮机出口静压, kPa。

4.6.5 涡轮机效率为涡轮机的轴功率与理想可用功率之比, 直接测功法按公式(9)计算。

$$\eta_T = \frac{N}{N_p} \dots\dots\dots (9)$$

式中:  $N$  —— 涡轮机轴功率,  $N = \frac{P \cdot L \cdot n}{60}$ , W;

$P$  —— 测功器负荷, N;

$L$  —— 磅称力臂, m;

$n$  —— 涡轮转速, r/min;

$N_p$  —— 理想可用功率,  $N_p = G_T H_T$ , W。

4.6.6 整机平台试验用压气机作为涡轮机负载, 并用热力学方法间接计算涡轮机效率, 见公式(10)。

$$\eta_T = \frac{G_k \frac{kR(T_k - T_1)}{k - 1}}{G_T \frac{k_T}{k_T - 1} R_T T_T \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_T} \right)^{(k_T - 1)/k_T} \right]} \dots\dots\dots (10)$$

式中:  $G_T$  —— 燃气流量,  $G_T = G_k + G_B$ , kg/s;

$G_k$  —— 空气流量, kg/s;

$G_B$  —— 燃油流量, kg/s;

$R$  —— 空气气体常数, 取值 287.14, J/kg · K。

注: 按此法计算的涡轮效率, 已包括下列附加损失:

- (1) 涡轮机进气壳和排气壳的压力损失;
- (2) 涡轮机进气壳冷却水带走的能量;
- (3) 自供油润滑、油泵耗功及涡轮端轴承损失; 对外供油润滑, 轴承损失;
- (4) 气封漏气损失;
- (5) 压气机轮盘后的摩擦鼓风损失。

4.6.7 涡轮增压器总效率  $\eta_{Tk}$

压气机的等熵功率与涡轮机膨胀的等熵功率之比。

$$\eta_{Tk} = \frac{G_k \frac{k}{k - 1} R T_1 \left[ \left( \frac{p_k}{p_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]}{G_T \frac{k_T}{k_T - 1} R_T T_T \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_T} \right)^{(k_T - 1)/k_T} \right]} = \eta_k \cdot \eta_T \dots\dots\dots (11)$$

4.6.8 涡轮机通流能力

$$\mu_F = \frac{G_T \cdot R_T \cdot T_T}{p_T \psi_m} \cdot \frac{1}{10^5}$$

式中:  $\psi_m$  —— 通流函数。

当  $\pi_T \leq \left( \frac{k_T + 1}{2} \right)^{k_T/(k_T - 1)}$  时,

$$\psi_m = \sqrt{\frac{2k_T}{k_T - 1} [\pi_T^{-2/k_T} - \pi_T^{-(k_T + 1)/k_T}]} \dots\dots\dots (12)$$

当  $\pi_T > \left( \frac{k_T + 1}{2} \right)^{k_T/(k_T - 1)}$  时,

$$\psi_m = \left( \frac{2}{k_T + 1} \right)^{1/(k_T - 1)} \cdot \sqrt{\frac{2k_T}{k_T + 1}} \dots\dots\dots (13)$$

## 5 检验规则

5.1 增压器的转子轴(整锻)、涡轮盘、涡轮叶片、压气机叶轮和导风轮、压气机蜗牛壳等重要零件的化

学成分和机械性能应作技术检验并记录,其结果应符合设计图纸和技术文件的规定。

5.2 增压器扩压器、喷嘴环的喉口面积应作技术检查并记录。

5.3 增压器的转子轴(整锻)、导风轮、压气机叶轮、涡轮盘、涡轮叶片应按设计图纸和技术文件的规定进行无损探伤检查并记录。

5.4 交货的每台增压器必须经制造厂检验部门和国家检验部门检验合格,并备有产品质量合格证书。

5.5 出厂检验与型式检验按表2的规定进行。

表 2

| 序 号 | 检 验 项 目  | 技 术 要 求         | 检 验 分 类 |     | 备 注 |
|-----|----------|-----------------|---------|-----|-----|
|     |          |                 | 出 厂     | 型 式 |     |
| 1   | 压气机性能试验  | 4.3.3,4.3.4     |         | ✓   |     |
| 2   | 涡轮机性能试验  | 4.3.3,4.3.5     |         | ✓   |     |
| 3   | 增压器耐久性试验 | 4.3.6           |         | ✓   |     |
| 4   | 性能点考查试验  | 4.4.3           | ✓       |     |     |
| 5   | 结构考核试验   | 4.4.4           | ✓       |     |     |
| 6   | 振动值      | 3.6,4.1.7,4.4.5 | ✓       | ✓   |     |
| 7   | 惰转时间     | 4.4.6           | ✓       |     |     |
| 8   | 噪声       | 3.5,4.1.6       | ✓       | ✓   |     |

## 6 标志、包装、运输和贮存

6.1 增压器应有金属铭牌,标明下列内容:

- a. 产品名称;
- b. 产品型号、规格;
- c. 最高转速,r/min;
- d. 最高温度,℃;
- e. 净重,kg;
- f. 出厂日期;
- g. 出厂编号;
- h. 制造厂名称、商标名称及有关检验标记。

对出口产品,铭牌内容应译为外文。

6.2 包装箱标志包括:

- a. 商品分类图示标志;
- b. 供货号;
- c. 品名、规格;
- d. 重量(毛重),kg;
- e. 出厂年月日;
- f. 制造厂名称;
- g. 体积(长×宽×高),mm;
- h. 发货地点和单位;

i. 收货地点和单位；

j. 发运件数；

k. 上下方向及系索位置,并注有“禁止滚翻”、“小心轻放”、“怕湿”及“由此吊起”等字样和标记。

6.3 增压器在运输前必须装箱,且箱体牢固,箱内零件可靠地固定,防止互相碰撞而损坏。箱内应设有防潮、防水措施。

6.4 增压器应贮存于通风、干燥的场地。油封有效期自出厂日期起规定为半年,若油封期满,允许用户按制造厂油封技术条件再次进行油封。



附录 A  
 试验台位图、测点布置、护套几何外形及尺寸  
 (补充件)

A1 试验台位见图 A1。

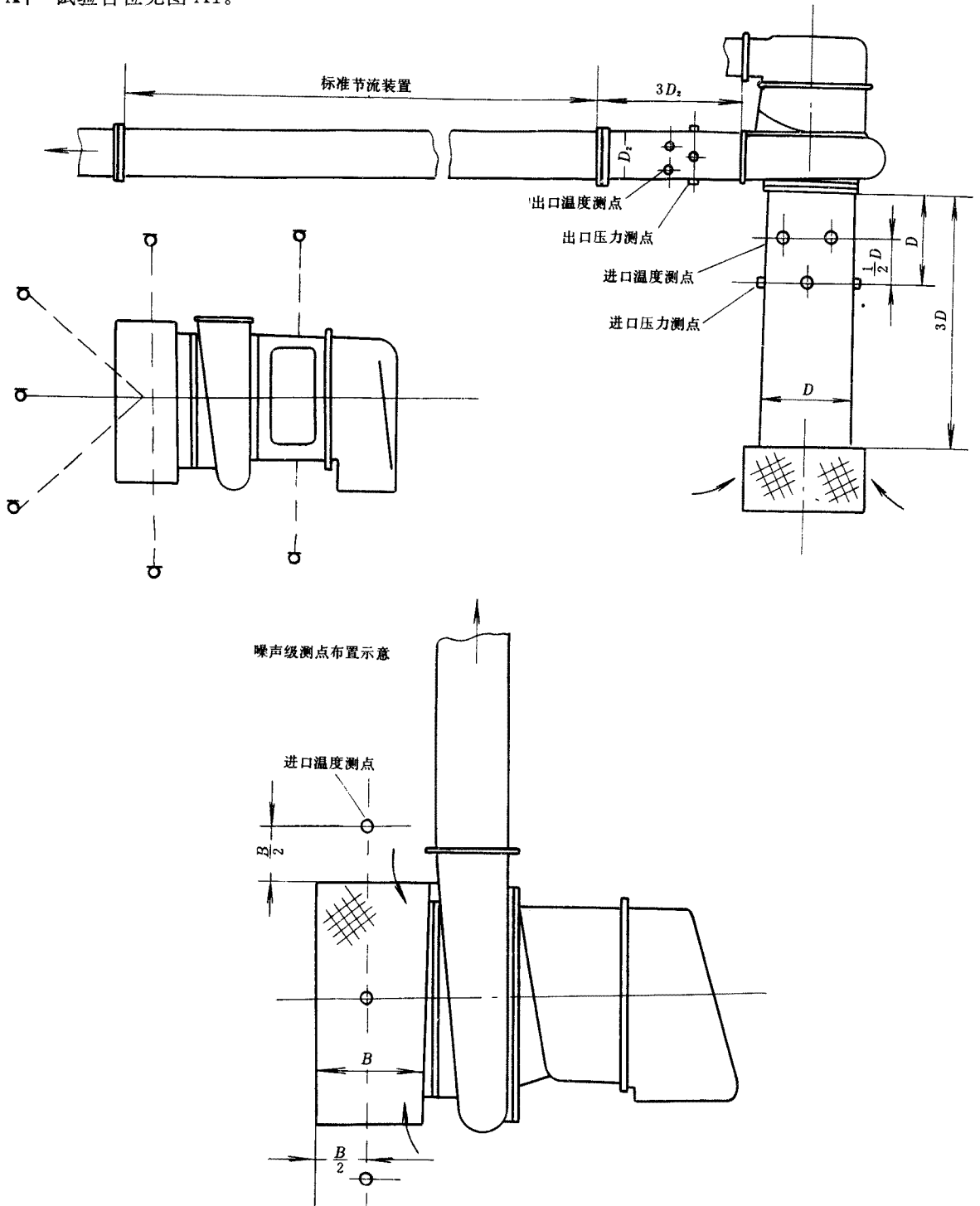


图 A1 试验台位图

A2 测点布置见图 A2。

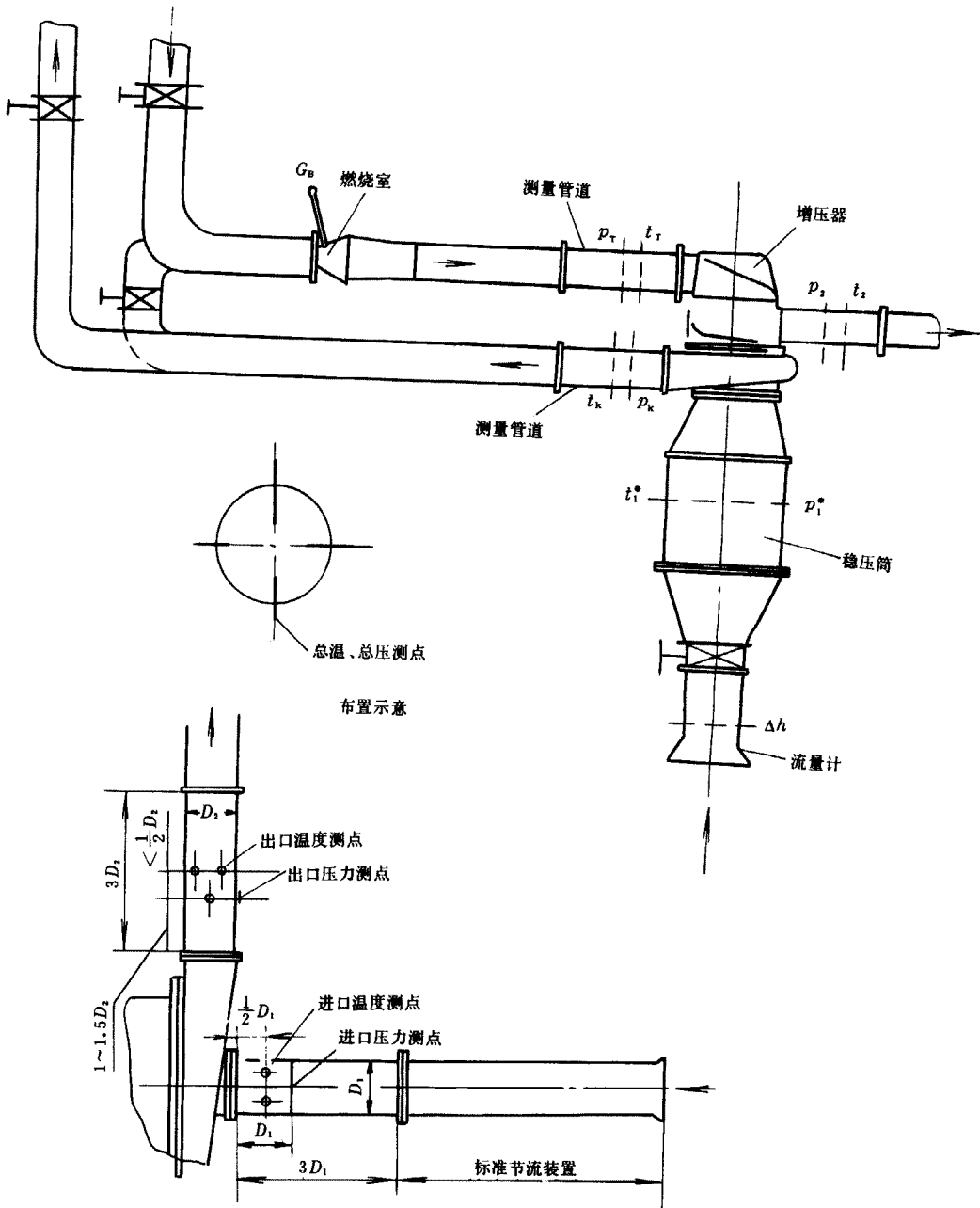


图 A2 测点布置

A3 护套几何外形见图 A3。

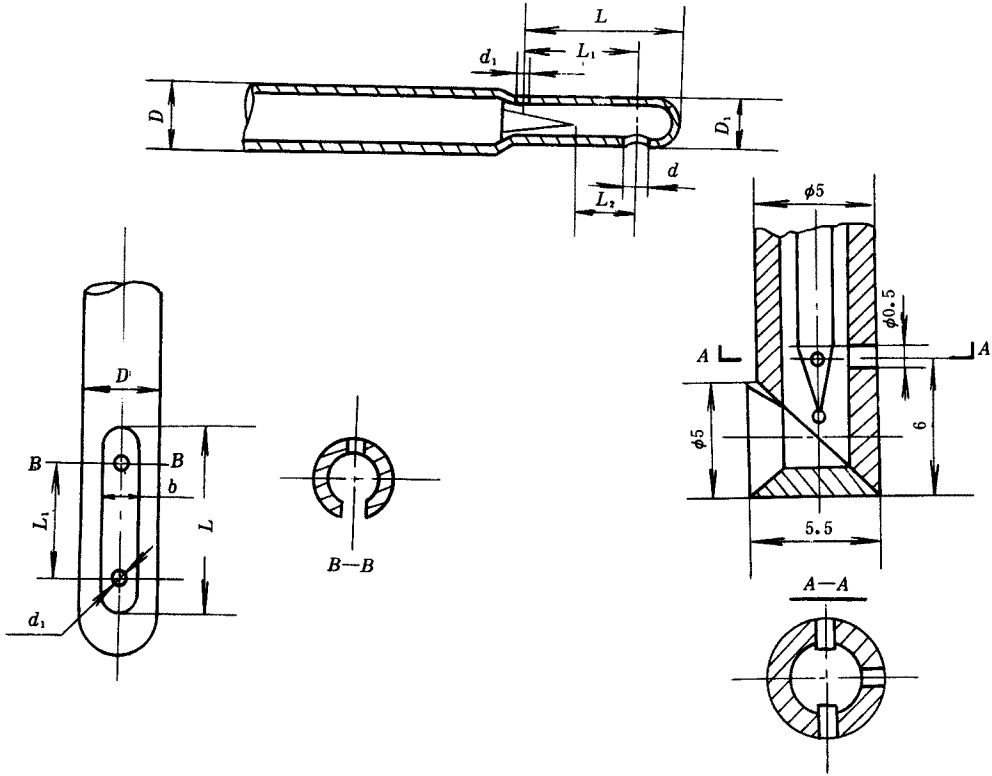


图 A3 护套几何外形

A4 护套尺寸见表 A1。

表 A1

mm

| 几何尺寸<br>组号 | $D$ | $D_1$ | $d_1$ | $d$  | $L$  | $L_1$ | $L_2$ | 热电极<br>直径 |
|------------|-----|-------|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| 1          | 4.3 | 3.5   | 0.64  | 2.15 | 16.4 | 10.4  | 6     | 0.5       |
| 2          | 6   | 4.5   | 0.75  | 2.5  | 22   | 15.7  | 8     | 0.7       |
| 3          | 10  | 8     | 1.5   | 5    | 31.5 | 25    | 10.5  | 1.2       |
| 4          | 15  | 12    | 2.25  | 7.5  | 47.3 | 37.5  | 15.7  | 1.2       |

**附录 B**  
**测量项目和压气机、涡轮机性能曲线**  
 (补充件)

B1 测量项目见表 B1。

表 B1

| 序号 | 测量参数             | 试验类型 |         |         |      |
|----|------------------|------|---------|---------|------|
|    |                  | 验收试验 | 压气机性能试验 | 涡轮机性能试验 | 耐久试验 |
| 1  | 大气压力、温度、湿度       | ✓    | ✓       | ✓       | ✓    |
| 2  | 转速               | ✓    | ✓       | ✓       | ✓    |
| 3  | 扭矩               |      | (直接测功)  | (直接测功)✓ |      |
| 4  | 压气机流量            | ✓    | ✓       | (间接测功)✓ |      |
| 5  | 压气机进口温度和压力       | ✓    | ✓       | (间接测功)✓ | ✓    |
| 6  | 压气机出口温度和压力       | ✓    | ✓       | (间接测功)✓ | ✓    |
| 7  | 涡轮机进口温度和压力       | ✓    |         | ✓       | ✓    |
| 8  | 涡轮机出口温度和压力       | ✓    |         | ✓       | ✓    |
| 9  | 燃气流量             |      |         | ✓       |      |
| 10 | 燃油耗量             |      |         | ✓       |      |
| 11 | 冷却水进口温度和压力       | ✓    |         | ✓       | ✓    |
| 12 | 冷却水出口温度          | ✓    |         | ✓       | ✓    |
| 13 | 冷却水流量            |      |         | ✓       |      |
| 14 | 润滑油进口压力和温度(指外供油) | ✓    | ✓       | (间接测功)✓ | ✓    |
| 15 | 润滑油出口温度          | ✓    | ✓       | (间接测功)✓ | ✓    |
| 16 | 润滑油流量            |      | ✓       | (间接测功)✓ |      |
| 17 | 增压器振动值           | ✓    | ✓       |         | ✓    |
| 18 | 惰转时间             | ✓    |         |         |      |
| 19 | 噪声值              |      | ✓       |         | ✓    |
| 20 | 制造厂与用户协议规定的项目    | ✓    | ✓       | ✓       | ✓    |

B2 压气机性能曲线见图 B1。

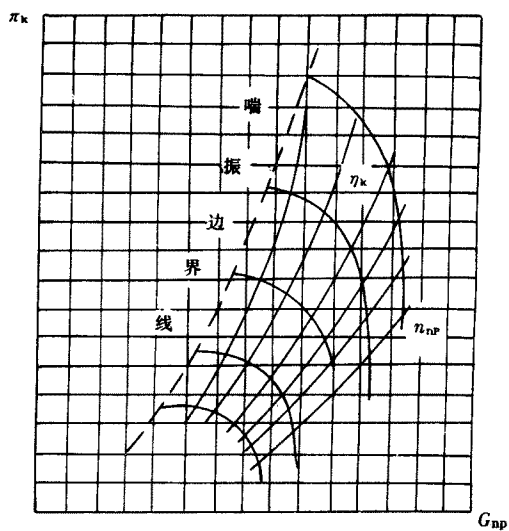


图 B1 压气机性能曲线

B3 涡轮机性能曲线见图 B2。

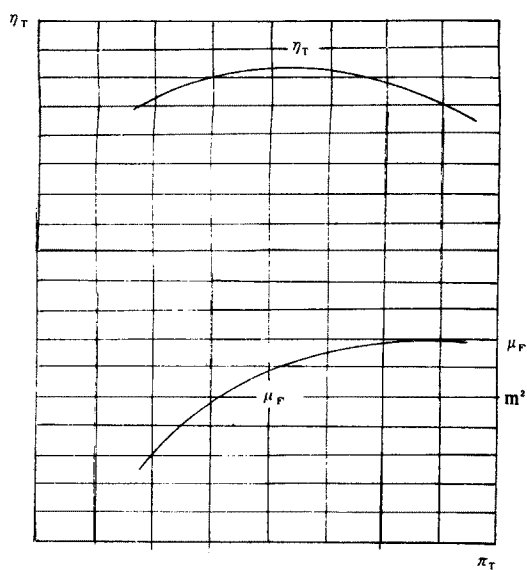


图 B2 涡轮机性能曲线

**附加说明：**

本标准由中国船舶工业总公司提出。

本标准由全国船用机械标准化技术委员会柴油机分技术委员会归口。

本标准由江津增压器厂、中国船舶工业总公司第七研究院 711 研究所、上海新中动力机械厂负责起草。

本标准主要起草人陈江、吴一凡、邵英顺、陈仁泉。