

## 通风机系统电能平衡测试与计算方法

The methods of electric power balance test and calculation in fan system

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了通风机系统电能平衡测试条件、项目内容、测试与计算方法。  
本标准适用于交流电气传动的通风机系统。

### 2 引用标准

- GB 1236 通风机空气动力性能试验方法
- GB 2624 流量测量节流装置
- GB 8222 企业设备电能平衡通则
- GB 8916 三相异步电动机负载率现场测试方法
- GB 10178 通风机现场试验
- GB/T 13466 交流电气传动风机(泵类、压缩机)系统经济运行通则
- JB 2977 风机与罗茨鼓风机术语

### 3 术语

#### 3.1 有效接管点

通风机系统输出端与用风对象端面的连接处。

#### 3.2 有效通风压力

有效接管点处的全压力。

#### 3.3 系统正常运行工况

生产工艺流程规定通风机系统运行的实际工况。

#### 3.4 常用运行工况

变负荷的通风机系统,按生产工艺流程要求调定的长期运行工况,该工况应具有年统计平均值的代表性。

#### 3.5 通风机高效区

通风机规定的允许使用工作区间(由通风机专业生产厂样本提供)。

### 4 测试的现场条件及要求

4.1 测试前,应具备被测通风机系统的设备参数、能耗及运行等有关资料和必要的系统流程图样。

4.2 根据被测通风机系统现场条件,按 GB 8222 中的要求,合理确定系统边界范围。绘制通风机边界范围系统流程图(见图 1)。系统输入边界为电源开关的电能〔量〕输入端;系统输出边界为有效接管点(系统有效能量输出端)。

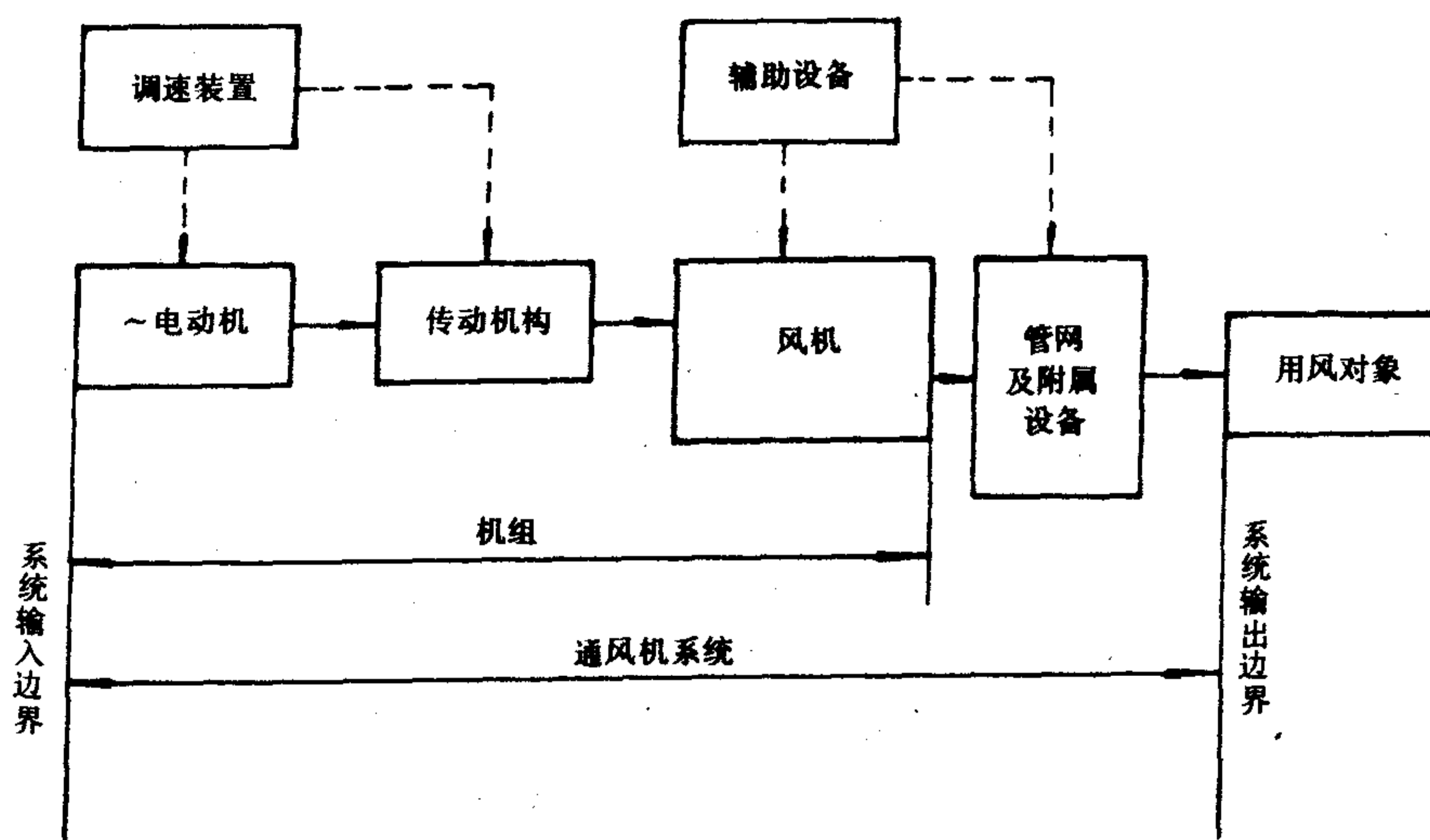


图 1

4.3 编制测试方案。绘制现场测算电能平衡测算表。

4.4 测试前不应通风机系统管网和通风机作任何改动。

4.5 测试工况的确定

4.5.1 稳定负荷运行的系统(即系统流量,压力,生产工艺流程基本不变),以正常运行工况作为测试的基准工况。

4.5.2 变负荷运行的系统、应选取最大、最小及具有代表性工况作为测试工况。

## 5 测算的项目与内容

5.1 系统输入电能〔量〕或功率。

5.2 交流电动机输出功率。

5.3 传动机构的能量损耗或传动效率。

5.4 通风机有效能量或功率(即通风机流量与通风机全压的乘积)。

5.5 机组运行效率、电能利用率。

5.6 管网损失功率和效率。

5.7 系统有效能量或功率(即有效接管点处流量,全压的乘积)。系统运行效率、电能利用率。

5.8 有关测量截面的流体温度、密度及相关的物理量。

## 6 测试方法

6.1 通风机进出口静压的测量

6.1.1 测量截面的选择

6.1.1.1 通风机进口和出口有风管时,静压测量截面应靠近通风机进口和出口管壁上。

6.1.1.2 若不能满足 6.1.1.1 条要求时,可在通风机上下游段(不能包括节流装置)测量静压,但必须将测量值与进出口截面间产生的动压效应和压力损失计算在内,包括风管摩擦损失,系统部件和风管面积变化等产生的损失(查《采暖通风手册》)。

6.1.1.3 有效接管点静压应在有效接管点处进行。

6.1.2 静压测试方法

6.1.2.1 采用“动压管”测量静压时,其结构尺寸应符合 GB 1236“动压管”的规定。动压管测点位置应符合图 2 和表 1 规定。

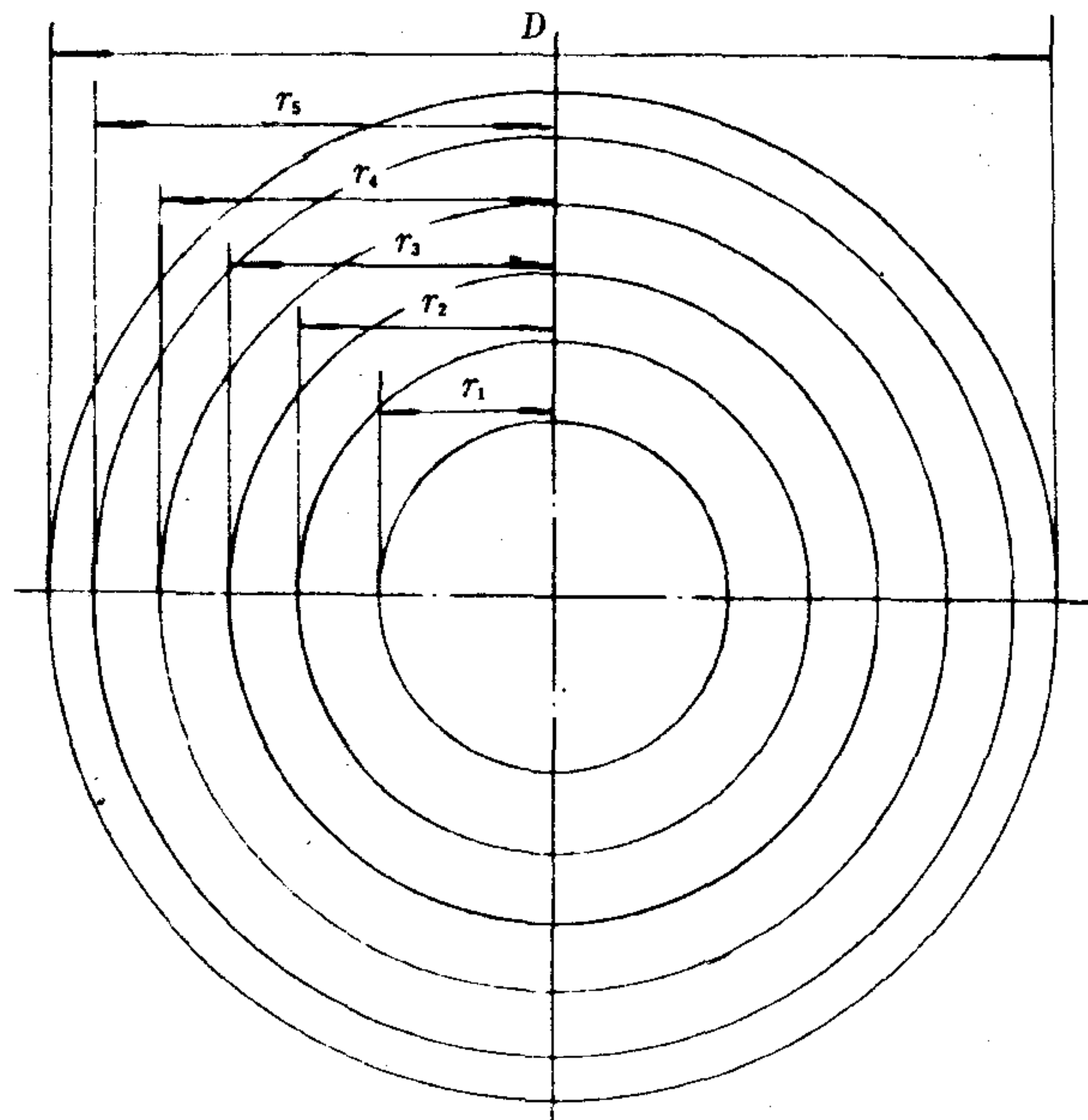


图 2

表 1

风管直径 mm		300	400	500	600	700	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600
测量半径 mm	$r_1$	47	67	79	95	110	126	158	190	221	252	284	316	380	442	500	570
	$r_2$	82	110	137	164	192	219	274	329	384	438	493	548	656	766	876	985
	$r_3$	106	141	177	212	247	283	354	424	495	565	635	707	850	990	1 130	1 270
	$r_4$	126	168	210	250	293	335	420	501	585	670	754	837	1 005	1 170	1 340	1 500
	$r_5$	142	190	238	285	332	380	474	567	664	756	854	949	1 140	1 320	1 520	1 710
纵横向 总测定 点数 $n$		纵向 10					纵横向 20										

6.1.2.2 采用压力测孔测量静压时,取 4 个与管壁垂直的小孔,孔的直径为  $\phi 2 \sim \phi 3$ ,最大不得大于  $\phi 5$ ,其位置相隔  $90^\circ$ 。如果是矩形截面风管,则压力测孔必须在接近每侧壁的中心,压力测孔的风管内表面必须光滑,无凸凹不平等缺陷。

6.1.2.3 测量静压,采用垂直或倾斜水柱压力计与 6.1.2.1 条或 6.1.2.2 条配合使用。

## 6.2 流量测量

### 6.2.1 测量方法选择

测定风管内某一截面的流量可用速度场法或差压法。也可根据现场条件,在保证测量精度的前提下,采用其他测量方法。

若采用差压法进行测量时,其系统上必须具有压差装置,要求风管有一定的长度,并只能用于圆截面风管。

### 6.2.2 测量截面的选择

通风机流量测量截面应选择在靠近通风机和有效接管点无涡流的,流线接近平行且垂直于该截面的位置。

如不能满足上述条件的截面,应在测试报告中说明。

6.2.3 速度场法

6.2.3.1 采用风速计直接测量风速。通常用于矿井的测量。

6.2.3.2 采用动压管直接测量动压。应符合下列条件：

- a. 动压管头直径  $d$  与风管水力直径  $D$  之比  $d/D$  小于 0.02；
- b. “动压管”的结构尺寸应符合 GB 1236 的规定；
- c. 动压管头部轴线与风管轴线的夹角在  $\pm 5^\circ$  以内，为此应配备适当的固定装置；
- d. 各测点的气流方向与风管轴线的夹角不大于  $15^\circ$ ；
- e. 动压管插入风管壁的开孔应进行气密处理，不得漏气。

6.2.3.3 测点位置的确定

a. 圆截面

对圆截面，其平均直径等于 3 个以上测试截面直径（其夹角大致相等）的算术平均值。

测试点不得少于 20 点。测试点应至少分布在 2 条直径线上，且各半径上分布不得少于 5 个测试点。

测试点的位置如图 2、表 1。

b. 环形截面

对环厚度  $e$  应至少 4 个等夹角间距的半径上测量平均值。内径  $D_a$  由测量相应的周长计算出。环形截面积由式(1)计算：

$$A = \pi(D_a + e)e \quad \dots\dots\dots(1)$$

测试点不得少于 16 点，测试点应至少分布在 4 条半径线上，每条半径上分布不得少于 4 个测试点。其测试点位置根据直径比  $D_a/D$  确定（见图 3，表 2）。

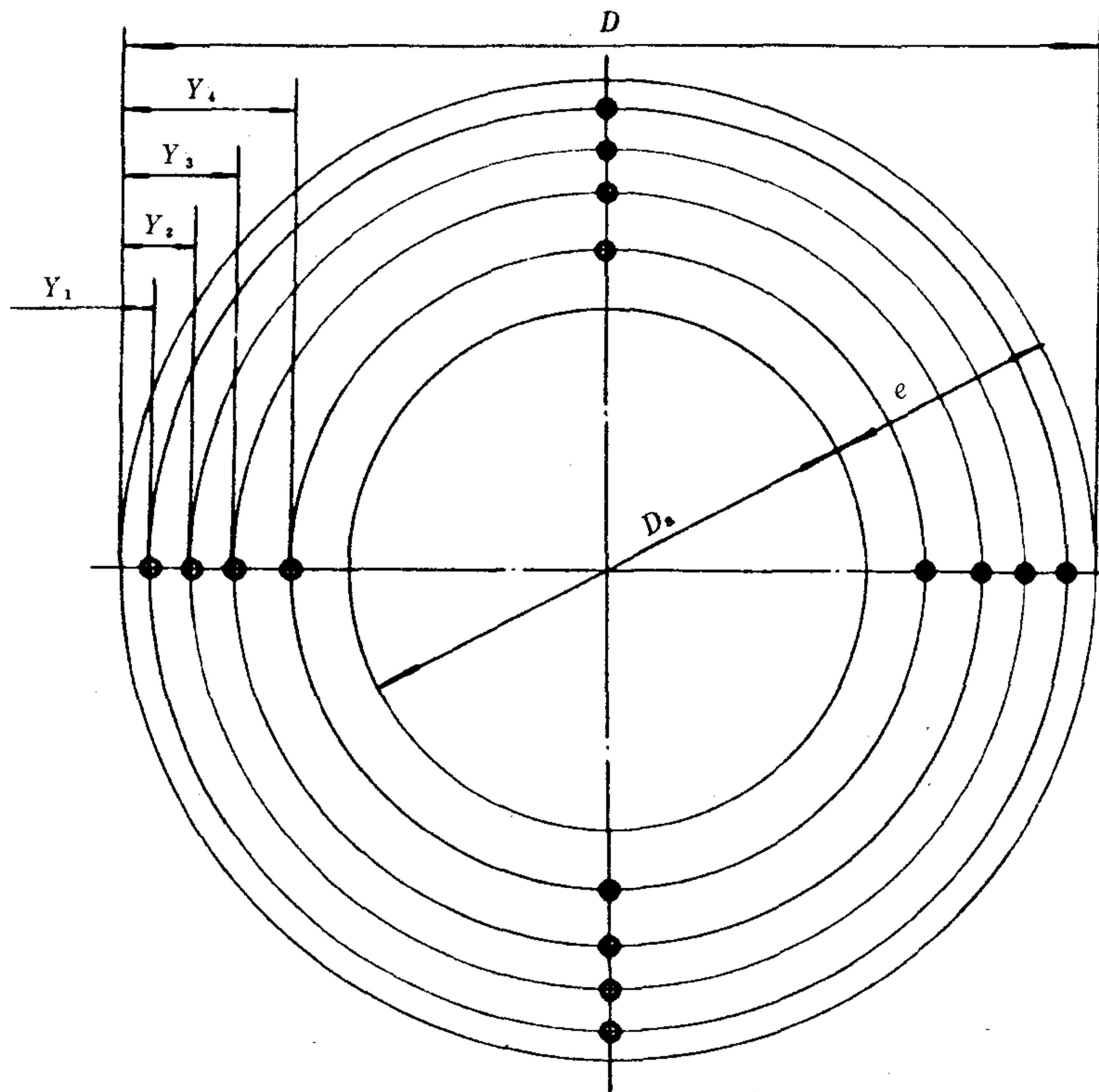


图 3

表 2

$D_a/D$	$Y/D$			
	$Y_1/D$	$Y_2/D$	$Y_3/D$	$Y_4/D$
0.05	0.023 7	0.097 3	0.202 4	0.349 8
0.1	0.023 5	0.096 5	0.200 4	0.345 2
0.15	0.023 2	0.095 1	0.197 0	0.336 2
0.20	0.022 8	0.093 2	0.192 4	0.324 0
0.25	0.022 2	0.090 8	0.186 5	0.309 7
0.30	0.0216	0.087 9	0.179 4	0.293 6
0.35	0.020 8	0.084 4	0.171 4	0.276 1
0.40	0.019 9	0.080 4	0.162 2	0.257 5
0.45	0.018 8	0.076 1	0.152 2	0.238 2
0.50	0.017 7	0.071 2	0.141 3	0.218 2
0.55	0.016 4	0.065 9	0.129 6	0.197 6
0.60	0.015 0	0.060 4	0.118 0	0.176 7
0.65	0.013 6	0.053 8	0.104 3	0.155 4
0.70	0.011 9	0.047 2	0.090 7	0.133 7
0.75	0.010 2	0.040 2	0.076 6	0.111 9
0.80	0.008 4	0.032 9	0.062 0	0.089 8
0.85	0.006 3	0.025 1	0.047 1	0.067 6
0.90	0.004 4	0.017 1	0.030 6	0.045 2
0.95	0.002 2	0.008 7	0.016 0	0.022 6

## c. 矩形截面

在矩形截面风管中,截面的高度和长度(宽度)应按图 4 所示的测点测量。该截面的平均高度或长度应等于所测各个高度或长度的算术平均值。

高度和长度每条线测点数均不少于 5 个,如果矩形截面的长度和高度比大于 1.5,则应将横线增加 5 个以上测点。测点位置见表 3。

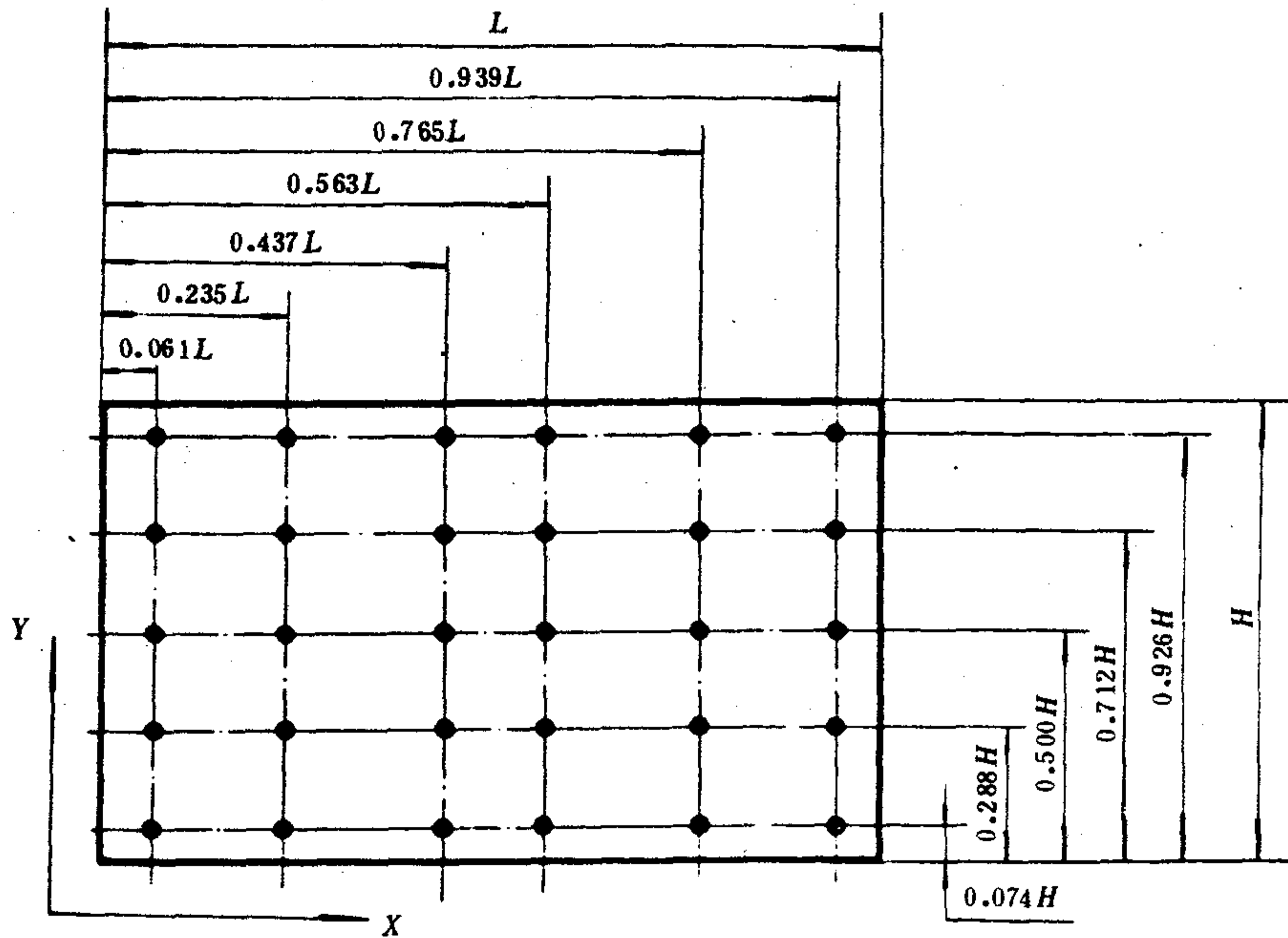


图 4 有 6 条横线, 每条横线上有 5 个测量点的矩形截面

表 3

横线数及每条横线上的测试点数	点	$X_i/L$ 或 $Y_i/H$ 值
5	1	0.074
	2	0.288
	3	0.500
	4	0.712
	5	0.926
6	1	0.061
	2	0.235
	3	0.437
	4	0.563
	5	0.765
	6	0.939
7	1	0.053
	2	0.203
	3	0.366
	4	0.500
	5	0.634
	6	0.797
	7	0.947

6.2.3.4 可用垂直或倾斜水柱压力计测量。如动压值小于 500 Pa 时, 为提高测试精度, 可采用微压计。

6.2.4 差压方法

按 GB 2624 制造和按 GB 10178 附录 D 安装的标准差压装置, 测试的流量在允许的范围, 并且采

用该标准给出的修正系数时,则可不进行计量检定。

按 GB 10178 附录 D 所规定长度段,测试流量在允许的范围内,并且考虑附录 D 所规定的的数据时,则可不进行初校。

### 6.3 功率的测定

按 GB 8916 三相异步电动机负载率现场测试方法,测定电动机输入功率  $P_G$ 、电动机效率  $\eta_0$ 。

### 6.4 气体密度的测算

按 GB 10178 附录 G 密度的测定方法和仪表精度进行各项参数的测定。

### 6.5 计算的确定

测试过程中的读数,对同一工况下流量、压力、转速、功率、温度等被测量参数应同时进行读数。每一被测参数量连续测量 6 次其间隔不少于 5 min。以各组读数的平均值作为计算值。

### 6.6 仪表和要求

6.6.1 测量仪表的精度应符合 GB 10178 和 GB 8916 的规定。

6.6.2 各种测量仪表都必须是国家计量部门认可的产品。使用有效期都必须在各计量部门检定的有效期内。

6.6.3 仪表的量程,应选定被测量最大值的 1.5~2 倍之内。

## 7 电能平衡的计算方法

### 7.1 气体密度

#### a. 通风机进口侧流量测点气体密度

$$\rho_{1p} = \frac{P_a + p_{1p}}{RT_{1p}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $\rho_{1p}$ ——通风机进风口侧测量流量横截面气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$P_a$ ——大气压, Pa;

$p_{1p}$ ——通风机进风口侧静压测量点静压, Pa;

$T_{1p}$ ——通风机进风口端面热力学温度, K;

$R$ ——气体常数(空气:  $R=288.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , 其他气体应根据系统工艺人员提供的有关数据确定  $R$  值)。

#### b. 通风机出风口侧流量测点气体密度

$$\rho_{2p} = \frac{P_a + p_{2p}}{RT_{2p}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $\rho_{2p}$ ——通风机出风口侧测量流量横截面气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$p_{2p}$ ——通风机出风口侧静压测量点静压, Pa;

$T_{2p}$ ——通风机出风口静压测量点热力学温度, K。

#### c. 通风机进口侧有效接管点气体密度

$$\rho_{1Y} = \frac{P_a + p_{1Y}}{RT_{1Y}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $\rho_{1Y}$ ——通风机进口有效接管点气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$p_{1Y}$ ——通风机进口有效接管点静压, Pa;

$T_{1Y}$ ——通风机进口有效接管点热力学温度, K。

#### d. 通风机出口侧有效接管点气体密度

$$\rho_{2Y} = \frac{P_a + p_{2Y}}{RT_{2Y}} \dots\dots\dots(5)$$

式中:  $\rho_{2Y}$ ——通风机出口有效接管点气体密度, kg/m<sup>3</sup>;

$p_{2Y}$ ——通风机出口有效接管点静压, Pa;

$T_{2Y}$ ——通风机出口有效接管点热力学温度, K。

7.2 通风机进风口风速

7.2.1 在通风机进出风口侧测量流量时

a. 采用风速表测量

$$V_1 = \frac{A_{1p}}{A_1} \left[ \left( \sum_{i=1}^n V_i \right) / n \right] \dots\dots\dots(6)$$

式中:  $A_1$ ——通风机进风口端面横截面积, m<sup>2</sup>;

$A_{1p}$ ——通风机进风口侧测量风速横截面积, m<sup>2</sup>;

$V_i$ ——风速表测各点风速, m/s;

$V_1$ ——通风机进风口端面风速, m/s。

b. 采用动压管测量

$$V_1 = \frac{A_{1p}}{A_1} \left[ \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{2\Delta p_i}{\rho_{1p}}} \right) / n \right] \dots\dots\dots(7)$$

式中:  $\Delta p_i$ ——动压管测各点动压, Pa。

c. 采用差压装置测量

$$V_1 = \frac{1}{A_1} \alpha \epsilon f \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{1p}}} \dots\dots\dots(8)$$

式中:  $\Delta p$ ——孔板测差压, Pa;

$\alpha$ ——孔板流量系数(由 GB 10178 取得);

$\epsilon$ ——孔板膨胀系数(由 GB 10178 取得);

$f$ ——孔板孔径面积, m<sup>2</sup>。

7.2.2 在通风机出风口侧测量流量时

a. 采用风速表测量

$$V_1 = \frac{A_{2p} \rho_{2p}}{A_1 \rho_{1p}} \left[ \left( \sum_{i=1}^n V_i \right) / n \right] \dots\dots\dots(9)$$

式中:  $A_{2p}$ ——通风机出风口侧测量流量横截面积, m<sup>2</sup>;

b. 采用动压管测量

$$V_1 = \frac{A_{2p} \rho_{2p}}{A_1 \rho_{1p}} \left[ \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{2\Delta p_i / \rho_{2p}} \right) / n \right] \dots\dots\dots(10)$$

c. 采用差压装置测量

$$V_1 = \frac{\rho_{2p}}{A_1 \rho_{1p}} \left( \alpha \epsilon f \sqrt{2\Delta p / \rho_{2p}} \right) \dots\dots\dots(11)$$



7.3 通风机流量

$$Q = A_1 V_1 \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:  $Q$ ——通风机流量,  $m^3/s$ 。

7.4 静压测点风速

a. 通风机进风口侧静压测点风速

$$V_{1p} = \frac{Q}{A_{1p}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:  $V_{1p}$ ——通风机进风口侧静压测点风速,  $m/s$ 。

b. 通风机出风口侧静压测点风速

$$V_{2p} = \frac{\rho_{1p} Q}{\rho_{2p} A_{2p}} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:  $V_{2p}$ ——通风机出风口侧静压测点风速,  $m/s$ 。

c. 通风机进口侧有效接管点风速

$$V_{1Y} = \frac{\rho_{1p} Q}{\rho_{1Y} A_{1Y}} \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:  $V_{1Y}$ ——通风机有效接管点进口横截面风速,  $m/s$ ;

$A_{1Y}$ ——通风机有效接管点进口横截面积,  $m^2$ 。

d. 通风机出风口侧有效接管点风速

$$V_{2Y} = \frac{\rho_{1p} Q}{\rho_{2Y} A_{2Y}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:  $V_{2Y}$ ——通风机有效接管点出口横截面风速,  $m/s$ ;

$A_{2Y}$ ——通风机有效接管点出口横截面积,  $m^2$ 。

7.5 通风机全压

$$p = \left( p_{2p} + \Delta p_2 + \frac{\rho_{2p}}{2} V_{2p}^2 \right) - \left( p_{1p} + \Delta p_1 + \frac{\rho_{1p}}{2} V_{1p}^2 \right) \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:  $p$ ——通风机全压,  $Pa$ ;

$\Delta p_2$ ——通风机出风口至静压测量点管路间损失(按有关阻力手册查取),  $Pa$ ;

$\Delta p_1$ ——通风机进风口至静压测量点管路间损失(按有关阻力手册查取),  $Pa$ 。

7.6 有效通风压力

$$p_Y = \left( p_{2Y} + \frac{\rho_{2Y}}{2} V_{2Y}^2 \right) - \left( p_{1Y} + \frac{\rho_{1Y}}{2} V_{1Y}^2 \right) \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:  $p_Y$ ——有效通风压力,  $Pa$ 。

7.7 通风机有效功率

$$P_{Yp} = \frac{Q p_Y}{1000} \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:  $P_{Yp}$ ——通风机有效功率,  $kW$ 。

7.8 压缩性修正系数

$$K_p = \frac{kP_{1p}}{(k-1)p} \left[ \left( 1 + \frac{p}{P_{1p}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \dots\dots\dots(20)$$

式中:  $k$ ——绝热指数(空气  $k=1.4$ ,其他气体系统由工艺人员提供);  
 $P_{1p}$ ——通风机进口侧绝对静压,Pa。

7.9 通风机系统有效功率

$$P_{YG} = \frac{Q_Y p_Y K_{pY}}{1\ 000} \dots\dots\dots(21)$$

式中:  $P_{YG}$ ——通风机系统有效功率,kW。

7.10 压缩性修正系统

$$K_{pY} = \frac{kP_{1Y}}{(k-1)p_Y} \left[ \left( 1 + \frac{p_Y}{P_{1Y}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \dots\dots\dots(22)$$

式中:  $P_{1Y}$ ——有效接管点处绝对静压,Pa。

7.11 管网损失功率  $P_k$ (kW)

$$P_k = P_{Yp} - P_{YG} \dots\dots\dots(23)$$

7.12 通风机电源输入功率  $P_G$

按 GB 8916 规定计算。

7.13 交流电动机损失功率  $P_D$  和运行效率  $\eta_D$  的计算

按 GB 8916 规定计算。

7.13.1 采用变频调速装置时,应采用铁磁式或整流式仪表测试调速装置输入电功率  $P_{Ti}$  和输出电功率  $P_{To}$ ,此时其效率为:

$$\eta_t = \frac{P_{To}}{P_{Ti}} \times 100\% \dots\dots\dots(24)$$

7.13.2 采用串级调速时效率的测试与测试单台交流电动机方法相同,此时测得的效率是串级调速装置与电动机运行效率的乘积。

7.14 通风机轴功率

$$P_p = (P_G - P_0)\eta_m$$

或

$$P_p = P_G \eta_0 \eta_m \dots\dots\dots(25)$$

式中:  $\eta_0$ ——电动机效率;  
 $P_p$ ——通风机轴功率,kW;  
 $P_0$ ——电动机损失功率,kW;  
 $\eta_m$ ——传动效率。

测定传动机构的能量损耗或效率有困难时,可按表 4 的规定选取。

表 4

传动形式	叶轮与电机直联	联轴器传动	胶带传动	齿轮传动
传动效率, %	100	98	95	产品样本

7.15 通风机轴效率

$$\eta_p = (P_{Yp}/P_p) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中:  $\eta_p$ ——通风机轴效率, %。

7.16 通风机机组效率

$$\eta_j = (P_{Yp}/P_G) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(27)$$

式中:  $\eta_j$ ——通风机机组效率, %。

7.17 通风机系统效率

$$\eta_Y = (P_{YG}/P_G) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(28)$$

式中:  $\eta_Y$ ——通风机系统效率, %。

7.18 管网效率

$$\eta_G = (P_{YG}/P_{Yp}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(29)$$

式中:  $\eta_G$ ——管网效率, %。

7.19 通风机系统有效电能量

$$W_{YG} = \sum P_{YG_i} T_i \quad \dots\dots\dots(30)$$

式中:  $W_{YG}$ ——通风机系统有效电能量, kW·h;

$P_{YG_i}$ ——第*i*时间的通风机系统有效功率, kW;

$T_i$ ——第*i*时间的运行时间, h。

7.20 通风机系统输入电能量

$$W_G = \sum P_{G_i} T_i \quad \dots\dots\dots(31)$$

式中:  $W_G$ ——通风机系统输入电能量, kW·h;

$P_{G_i}$ ——第*i*时间的通风机系统输入功率, kW。

7.21 通风机有效电能量

$$W_{Yp} = \sum P_{Yp_i} T_i \quad \dots\dots\dots(32)$$

式中:  $W_{Yp}$ ——通风机有效电能量, kW·h;

$P_{Yp_i}$ ——第*i*时间的通风机系统输出功率, kW。

7.22 系统电能利用率

$$H_Z = (W_{YG}/W_G) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(33)$$

式中:  $H_Z$ ——系统电能利用率, %。

7.23 机组电能利用率

$$H_{\Sigma} = (W_{Yp}/W_G) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(34)$$

式中： $H_{\Sigma}$ ——系统电能利用率，%。

7.24 标准条件换算

a. 通风机流量

$$Q_0 = \frac{n_0}{n} Q \quad \dots\dots\dots(35)$$

式中： $Q_0$ ——通风机流量(标准条件)， $m^3/s$ ；

$n_0$ ——通风机标准额定转速， $r/min$ ；

$n$ ——通风机实际转速， $r/min$ 。

b. 通风机全压

$$p_0 = \left(\frac{n_0}{n}\right)^2 \frac{\rho_0}{\rho} p \quad \dots\dots\dots(36)$$

式中： $p_0$ ——通风机全压(标准条件)， $Pa$ ；

$\rho_0$ ——通风机标准状态气体密度， $kg/m^3$ ；

$\rho$ ——通风机实际气体密度， $kg/m^3$ 。

c. 通风机轴功率

$$P_{p0} = \left(\frac{n_0}{n}\right)^3 \frac{\rho_0}{\rho_1} P_p \quad \dots\dots\dots(37)$$

式中： $P_{p0}$ ——通风机轴功率(标准条件)， $kW$ 。

**附加说明：**

本标准由国家计委、能源部、机械电子部、国家技术监督局提出。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会合理用电分委员会归口。

本标准由沈阳鼓风机研究所和中国标准化与信息分类编码研究所负责起草。

本标准主要起草人王长祥、陈明良、王恒义。