

风机噪声与振动控制

华北电力学院 赵俊起 赵玉屏 张培华

摘要 通过对风机噪声的分析及测量,明确了风机噪声的特性,找出了风机噪声的原因和类型,确定了相应的减噪技术措施,即设计了风机消声隔振装置,并详细介绍了该装置的设计方法,结构和降噪效果。

关键词 风机 消声隔振装置 设计 效果

1 前言

位于城市生活区和实验室中的风机在运行中产生的噪声严重地污染了环境,影响了人们的工作、学习和休息。我们通过对电除尘器模拟实验系统的风机的降噪治理,对风机噪声的控制进行了研究。

该系统配有风机一台(功率 13kW,转速 2900r/min,压头 302mmH₂O(1mm H₂O=9.80665Pa)),经实测,风机近声场噪声高达 112.5dB(A),远远超过了我国卫生部和国家劳动总局 1979 年批准颁发的规定,即工业企业的生产车间和实验室等作业场所的噪声标准为 80dB(A),最高不得超过 85dB(A)。为了改善噪声对实验室内环境的污染,我们对该风机进行了隔振和消声治理。治理后使室内噪声级从 112.5dB(A)降至 78dB(A),治理效果达到了设计目的。

2 风机噪声特性分析

从风机产生噪声的机理和机组向外辐射的噪声来分析,风机运转时主要产生以下几种不同类型的噪声:

(1) 由于风机运转而引起的振动所造成的固体声。

(2) 风机运转时机壳轴承联轴节等发

出的机械噪声。

(3) 由于气流通过风机尺寸不一致的进、出口时发生压力变化引起气体脉动而造成的气流噪声。

在上述噪声中,其中以气流噪声占主导地位,也是治理重点,其次是机座传递的固体声,在对风机进行噪声控制时应主要考虑这两部分噪声的影响。

3 隔振设计

风机基于加工、制造和安装上的原因,其旋转部件高速旋转时,不平衡质量产生的振动重则危及风机的正常运行,轻则造成噪声污染。为了减小振动能量传递,降低因振动而产生的噪声,在风机安装前对风机基座采取以下隔振设计技术措施。

3.1 质量隔振

质量隔振,即参考风机外形尺寸(mm):1000×400×800,设计了一个较大的混凝土基座(mm):1400×1400×1400,在基座上安装风机,以减少风机的振动。

3.2 隔振垫

为了达到更好的减振降噪效果,我们将风机与基座的接触面垫了 20mm 厚的橡胶垫,使风机与基座无刚性接触,以便消

减其振动幅度,从而达到降低固体声的目的。

3.3 防振沟

为了防止振动波沿地面传播,在基座四周挖了防振沟,沟内充填成本低廉的木屑沙。具体结构见图1。

4 噪声测量与分析

4.1 噪声的测量

为了掌握隔振后风机噪声级的大小和室内噪声分布特点,找出该风机噪声的主要频率成分和类型,以便设计合理的消声装置,我们使用ND₂精密声级计,按照噪声测量标准对运行状态下的风机近声场

(测点距风机1m,高1m)和实验工作位置的噪声声级与频谱及环境噪声进行了测量。测点布置见图2所示,测量结果见表1(治前)和表2(治前)。

从表1数据可看出,隔振后(即风机消声装置安装前)离风机外壳1m处的噪声级为102dB(A),与没做隔振处理前相比噪声降低10.5dB(A)。

4.2 噪声特性分析

从风机附近及工作位置的噪声可看出该室噪声仍普遍偏高。为了进一步掌握风机噪声的成分及噪声的传播特性,以便找出关键噪声控制措施,我们对风机近声场的噪声进行了倍频程频谱分析,如图3曲线I所示。

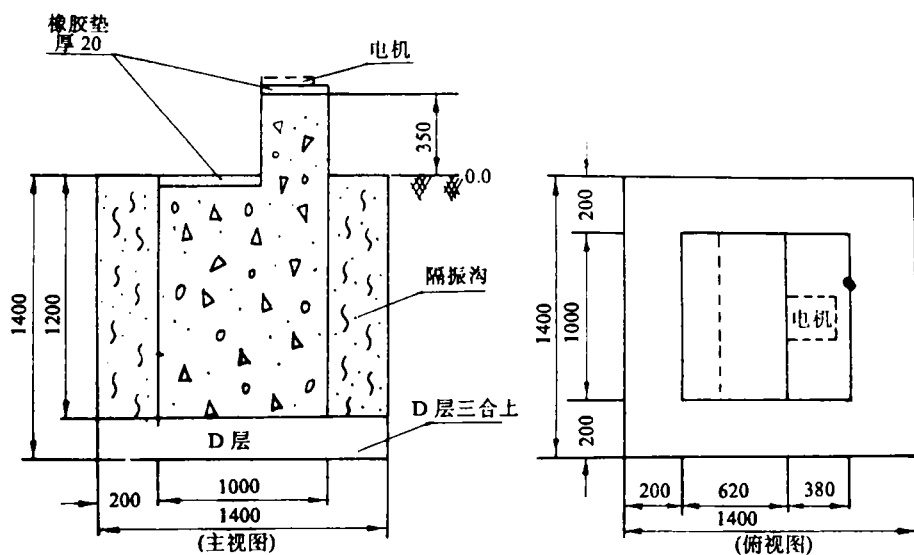


图1 风机基础土建图(尺寸单位: mm)

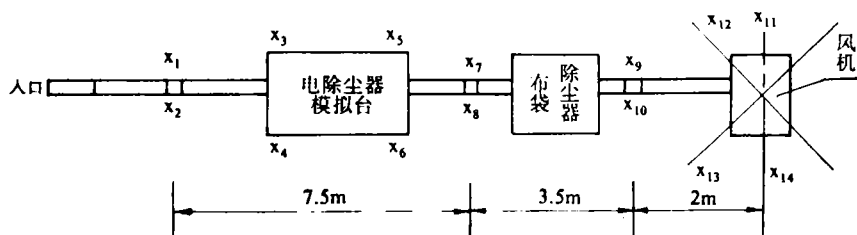


图2 噪声测点布置平面示意图

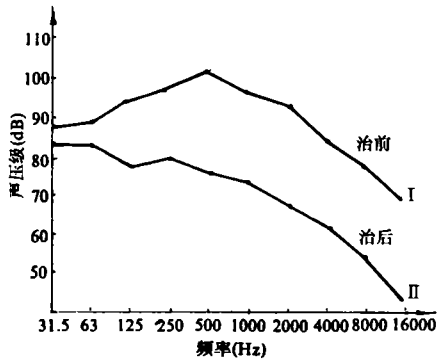


图3 施加消声器前后风机近声场噪声频谱图

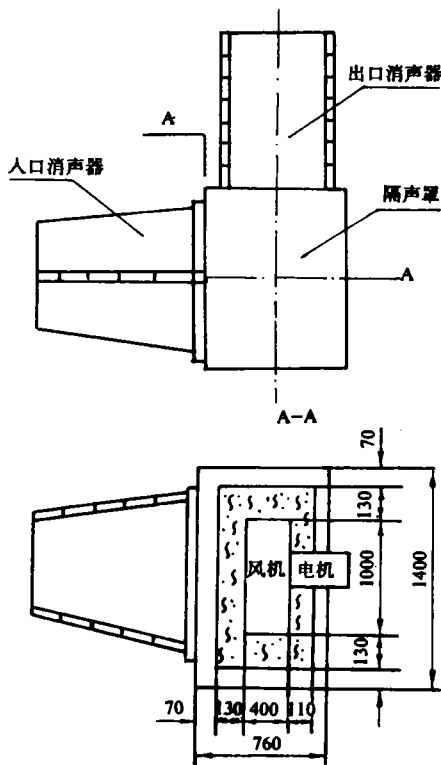


图4 噪声控制装置示意图

从图3可看出,风机的频谱峰值大致集中在31.5Hz~2kHz,而在500Hz频率处出现峰值,其原因是由于风机叶片在高速旋转时与空气相对运动产生的旋转噪声所致。风机旋转噪声的主要峰值频率可由下式计算:

$$f = \frac{n \cdot z}{60} = 485 \text{ (Hz)}$$

式中 n —叶轮转数, 2900r/min;
 z —叶片数, 该风机为10片。

因此可证实500Hz频率出现的峰值和风机叶片的通过频率一致,即风机的主要噪声是旋转噪声。

通过以上测试分析,找出了该风机噪声呈中频的特点和峰值频率,为消声器选型设计提供了可靠依据。

5 噪声控制设计

为便于加工和安装检修方便,该风机消声装置设计为拼装式,即对风机入、出口设计了相应的消声器,对风机本体采用隔声罩,如图4所示。

5.1 风机出、入口消声器的设计

(1) 结构设计

为了有效治理出、入口处的气流噪声,根据降噪要求和噪声的特点,设计了直管阻抗复合消声器。设计消声器罩进风面积为气流通道面积的1.2倍。消声器长1100mm,外径 $\Phi 760\text{mm}$,内径 $\Phi 360\text{mm}$,具体结构如图5所示。

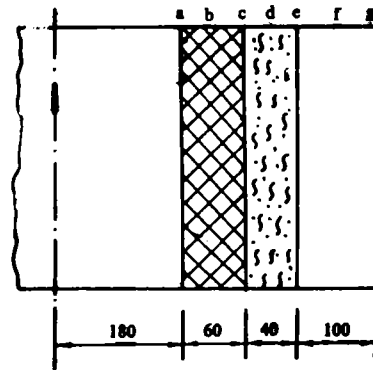


图5 出、入口消声器结构示意图

- a—穿孔板(入口管道打孔,开孔 $\Phi 6$,三角形排列,开孔率25%)
- b—超细玻璃棉,吸声容重 20kg/m^3
- c—玻璃纤维包扎布
- d—木屑层
- e—0.5mm镀锌板,开孔 $\Phi 1$,开孔率1%

r —空气腔

g —护罩钢板, 厚 1.5mm

(2) 孔板固有频率的计算

在设计穿孔板吸声结构时, 要保证孔板固有频率与风机扰动频率基本一致, 才能发生共振吸声作用。该风机噪声峰值频率为 485Hz, 孔板设计采用 0.05cm 镀锌板, 开孔 $\Phi 1$, 开孔率 1%, 其固有频率为

$$\begin{aligned} f_r &= \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L_K \cdot D}} \\ &= \frac{3400}{2\pi} \sqrt{\frac{0.01}{(0.05 + 0.8 \times 0.1) \times 10}} \\ &\approx 475(\text{Hz}) \end{aligned}$$

式中 c ——声速 (常温下取 3400cm/s);

p ——穿孔率, %;

L_K ——孔径有效长度, cm;

$$L_K = t + 0.8d;$$

t ——钢板厚度, cm;

D ——空气腔宽度, cm。

(3) 吸声材料的选择

目前使用的吸声材料种类较多, 阻性消声器最常用的吸声材料是超细玻璃棉。本设计采用容重为 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 的超细玻璃棉及木屑。玻璃棉这种吸声材料具有较好的吸声特性, 木屑不但有较好的吸声特性, 而且又经济, 隔振设计采用了木屑, 证实吸声降噪效果较好。

(4) 消声器消声量的确定

微穿孔板消声器的设计方法与阻性消声器基本相同。不同之处在于用微穿孔板吸声结构代替了阻性吸声材料, 其消声量和单一阻性消声器消声量计算方法相同, 也用彼洛夫公式进行计算, 所以该微穿孔板阻性组合式消声器的消声量约是单一阻性消声器消声量的 2 倍, 即

$$\begin{aligned} \Delta L^{(2)} &= \psi(a_0) \times P \times \frac{L}{S} \times 2 = 13 \times 2 \\ &= 26(\text{dB}) \end{aligned}$$

式中: $\Delta L^{(2)}$ 为消声器消声量, dB; S 为气

流通道横截面积, m^2 ; $\psi(a_0)$ 为消声系数, 查表超细玻璃棉厚 10cm, 容重 $20\text{kg}/\text{m}^3$, 频率约为 500Hz 时吸声系数为 0.85, 则消声系数为 1.2; P 为气流通道断面的周长, m; L 为消声器长度, m。

(5) 消声器的柔性安装

为了隔绝机械噪声的传递, 出、入口消声器与本体连接采用非刚性连接。具体做法是在距风机本体 250mm 的气流通道处设计 30mm 缝隙, 然后用帆布衔接, 缝隙两端的管端焊 $\Phi 6$ 钢筋挡檐, 用来固紧帆布。帆布外缠数圈玻璃布后覆盖玻璃棉, 这样的结构不但加工简便而且隔音效果好。

5.2 本体隔声罩的设计

为了抑制风机的机械噪声, 对本体施加了隔声罩。根据风机外形尺寸 (mm): $1000 \times 400 \times 800$, 设计隔声罩尺寸为 (mm): $1400 \times 760 \times 1000$ 。为防止低频激励薄板产生有损隔声的共振现象, 增加了隔声板强度, 在罩板罩壳钢板四周上下侧加焊了尺寸 (mm) 为 $20 \times 20 \times 2$ 的三角铁骨架。为便于施工及节省材料费用, 隔声罩吸声层上下采用超细玻璃棉, 吸声层中段采用木屑。为了提高隔声量, 在罩壳内表面涂了厚 3mm 的 MH 型阻尼胶, 阻尼胶分两次涂抹。为了保证降噪效果, 隔声罩所有刚性部件连接均采用橡胶垫软性连接, 保证了良好的密封性, 减少了隔声罩的漏声问题。具体结构如图 6 所示。

通风冷却是一个重要环节。一般机器配有动力源, 加罩以后的散热问题应在设计中一并考虑, 必要时应采取通风冷却。根据该风机的具体情况 (一般运行 $1 \sim 2\text{h}/\text{d}$), 采用了自然通风冷却法。

6 降噪效果

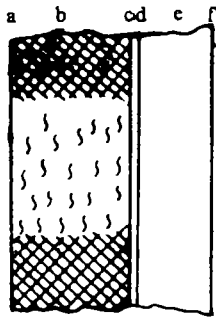


图6 隔声罩壁结构示意图

- a—风机本体
- b—容重 20kg/m³ 超细玻璃棉及木屑
- c—纤维板
- d—厚 1mm 穿孔板开孔 Φ4, 开孔率 3%
- e—空气腔
- f—厚 1.5mm 护罩钢板

为了解控制噪声设计的实际效果, 消声措施实施后对风机噪声进行了测量(使用仪器及测点位置同前), 测点噪声频谱及 A 声级见表 1(治后)和表 2(治后), 频谱图如图 3 曲线 II 所示。

从表 1, 表 2 不难看出与实施消声措施前相比:

(1) 室内各测点 A 声级降低约 21~25dB(A)。

(2) 风机附近噪声在整个音频范围内降低约 2~26dB, 尤其中心频率为 500Hz 的倍频程上, 噪声频程声压级降低最多, 最大达到 26dB。

从表 1 及图 3 曲线 II 可见风机进、出口消声器的消声效果是令人满意的, 达到了设计的预期效果。

7 结 论

(1) 在风机噪声治理中, 通过全面测量和分析, 确切掌握噪声的特性并进行治理, 是行之有效和十分必要的。

(2) 通过隔振治理, 发现木屑、沙结构在隔振降噪治理中是经济而有效的。

(3) 隔振设计的关键是要保证较小的传振系数 T。

(4) 拼装式消声器安装的关键是要保证出、入口刚性管道的软性连接。

(5) 该阻抗复合式消声器消声量大, 经济实用, 结构简单, 便于加工和安装。

表 1 风机消声装置安装前后室内噪声测量结果

| 测点 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-------|------|------|----|------|----|------|------|------|------|-------|-----|-------|-------|-----|
| A 声级 | 97 | 96.5 | 96 | 96.5 | 97 | 96.5 | 97 | 97.5 | 101 | 101.5 | 102 | 102.5 | 102.5 | 101 |
| dB(A) | 74.5 | 74 | 74 | 74.5 | 75 | 74.5 | 75.5 | 76.5 | 77.5 | 76.5 | 79 | 78 | 78.5 | 77 |

注: 本底噪声 42.5dB(A)

表 2 风机消声装置安装前后风机近声场噪声频谱测量结果

| 测点 | | 倍频程声压级(dB) | | | | | | | | | |
|----|----|------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | 16k |
| 11 | 治前 | 87 | 89 | 95 | 97.5 | 102 | 96 | 92 | 82 | 76 | 65 |
| | 治后 | 85 | 86 | 76.5 | 79 | 77.5 | 75 | 69.5 | 62.5 | 53 | 41.5 |
| 12 | 治前 | 88 | 89 | 96 | 98 | 102 | 96.5 | 93 | 85.5 | 80.5 | 72.5 |
| | 治后 | 85 | 85.5 | 80 | 78 | 77.5 | 74 | 67.5 | 62 | 53 | 42 |
| 13 | 治前 | 87.5 | 89 | 94 | 97.5 | 102.5 | 97.5 | 93 | 85 | 79 | 70.5 |
| | 治后 | 78.5 | 79 | 76.5 | 78.5 | 76.5 | 74 | 68 | 62 | 54 | 42.5 |
| 14 | 治前 | 88 | 87 | 95 | 97 | 102 | 96 | 92 | 83 | 74 | 64 |
| | 治后 | 77 | 78 | 78 | 82.5 | 79 | 74 | 68 | 63 | 53.5 | 41 |

荷兰 1675MWe 联合循环电站

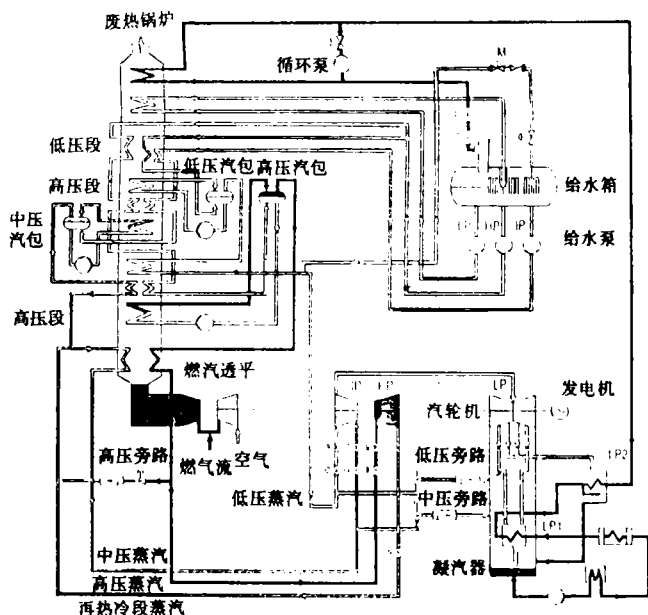
在荷兰北部海岸，靠近德国边界的 EPON 公司的埃姆斯中心厂址 (Eemscentral) 将安装 5 台 350MWe 的 9FA 型燃气轮机联合循环电站机组。该厂址也靠近格罗宁根气田，但根据合同电厂将燃用挪威供应的天然气，格罗宁根气田的天然气仅作为备用燃料使用。因为要求最高的热效率和最小的环境污染，故选用带有再热的三压余热回收锅炉。电厂整套承包合同于 1992 年 3 月 31 日在兹沃勒签定，该厂必须在 1996 年 3 月 31 日以前全部移交。

在荷兰埃姆斯海文附近，靠近原有的 700MWe 埃姆斯电站，该电厂的安装工作已取得很大进展。

通用电气-阿尔斯通公司将供应动力部分的全部机械和电气设备，包括 5 台 350MWe 的 9FA 型联合循环机组。该公司还与 EPON 公司工程队密切合作完成工艺和安装设计，后者将提供广泛的运行维护经验。

关于余热回收锅炉，根据协议，荷兰 Stork Ketels 公司的 Hengelo 工厂将在法国锅炉设计与制造厂商 Stein Industrie 公司的指导下完成锅炉设计与制造工作，后者将参与基本设计工作，并为锅炉性能提供担保。

EPON 公司负责土建工程与施工，并将设计和供应电厂设备的其余部分，例如主冷却水系统、疏水回收系统、补给水和消防水系统。



附图 埃姆斯联合循环电站流程图

1 合同优先考虑事项

根据天然气供应合同条件以及对原有开关场的扩建计划，制定了电厂正式投运日期。

第一台机组将于 1995 年 7 月 1 日移交，第二、三台机组在其后 3 个月内移交，第四、五台机组将在

参考文献

1 福田基-张成译. 噪声控制与消声设计. 国防工业出版社, 1982

2 赵 俭. 工业噪声和振动控制技术. 冶金工业出版社, 1986

(修改稿日期: 1994-06-21)