

变电站噪声控制技术 及典型案例

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

周年光 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

变电站噪声控制技术 及典型案例

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

周年光 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统讲述了噪声控制在变电站中的应用,并列举了部分典型案例。全书共分6章,主要内容有基础知识,变电站内主要噪声源及其特性,新、改、扩建变电站噪声控制,运行变电站噪声治理,变电站常用降噪设施及其设计方法,变电站噪声控制典型案例。

本书可供变电站噪声控制技术人员及其相关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

变电站噪声控制技术及典型案例 / 周年光主编;国网湖南省电力公司电力科学研究院组编. —北京:中国电力出版社,2015.12
ISBN 978-7-5123-8626-6

I. ①变… II. ①周…②国… III. ①变电所—噪声控制
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 290186 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015年12月第一版 2015年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11.25印张 210千字

印数 0001—2000册 定价 48.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



编写成员名单

主 编 周年光

副 主 编 胡 胜 彭继文

参编人员 周建飞 阳金纯 吴晓文 李铁楠

吕建红 李国勇 陶 莉 欧阳玲

曾惠芳 黄 韬 周艳明 车 垚

张 鸿 邹妍晖 陈绍艺 侯 贇

方 芳 唐 奇



前言

随着我国环境保护事业的不断发展，公民环保意识日益增强，噪声如同水、大气和固体废弃物等污染一样，越来越引起人们的重视。近年来，随着国民经济和城市建设的快速发展，越来越多的变电站被居民所包围，变电站的噪声问题日益受到人们的关注。如何更好地控制变电站的噪声水平，并应用于变电站噪声控制工程实践，是作者编写本书的主要目的。

本书共分6章。第1章简明叙述了噪声控制的基础知识和评价标准。第2章详细介绍了变电站内的主要噪声源及其声源特性。第3章阐述了新、改、扩建三类变电站的噪声控制流程，从变电站建设全过程着手控制变电站的噪声水平，确保变电站噪声达标。第4章介绍了运行变电站的噪声治理技术，针对变电站声环境现状，制定适当的降噪措施。第5章简单介绍了变电站的常用降噪材料和设施及其设计方法。第6章对全户内变电站、半户内变电站、全户外变电站以及配电变压器的噪声控制典型案例进行介绍，以供参考。

由于编者水平所限，书中难免有疏漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2015年12日



目 录

前言

■ 第 1 章 基础知识	1
1.1 声学基础	1
1.2 噪声测量	13
1.3 噪声控制	26
1.4 噪声预测	28
■ 第 2 章 变电站内主要噪声源及其特性	31
2.1 变电站内主要噪声源	31
2.2 变压器噪声产生机理及特性分析	31
2.3 高压并联电抗器噪声产生机理及特性分析	43
2.4 电晕噪声产生机理及特性分析	46
2.5 通风风机噪声产生机理及特性分析	48
■ 第 3 章 新、改、扩建变电站噪声控制	51
3.1 新、改、扩建变电站噪声控制流程	51
3.2 站址规划	52
3.3 新建变电站噪声控制设计方案	53
3.4 改、扩建变电站噪声控制设计方案	57
3.5 设备噪声控制	57
3.6 降噪措施	63
3.7 噪声控制方案的实施和验收	63
■ 第 4 章 运行变电站噪声治理	69
4.1 运行变电站噪声治理流程	69

4.2	声环境调查与噪声检测	71
4.3	变电站降噪方案设计	75
4.4	降噪技术方案仿真评估	88
4.5	降噪工程方案编制与评审	88
4.6	降噪工程实施	89
4.7	降噪工程现场实测与验收	89
4.8	设施的维护保养及检测	89
	第 5 章 变电站常用降噪设施及其设计方法	91
5.1	隔声屏	91
5.2	隔声门和窗	95
5.3	隔声罩	97
5.4	消声器	100
5.5	吸声材料	103
5.6	隔振装置	107
	第 6 章 变电站噪声控制典型案例	111
6.1	全户内变电站噪声控制典型案例	111
6.2	半户内变电站噪声控制典型案例	127
6.3	全户外变电站噪声控制典型案例	145
6.4	配电变压器噪声控制典型案例	164
	参考文献	170

基础知识

1.1 声学基础

1.1.1 声波的定义

声波是指弹性媒质中传播的压强、应力、质点位移、质点速度的变化或几种变化的综合。声波与振动紧密相关。当一个物体在媒质中振动时，在它周围就会产生声波，依靠媒质的弹性和惯性将振动传播出去。声波作用到受体引起的感觉称为声音。

声音在媒质中向四面八方传播，只是媒质振动的传播，媒质本身并没有向前运动，始终在平衡位置附近往复振动。根据媒质质点的振动方向与声波传播方向的关系，声波又分为横波和纵波。如果媒质质点的振动方向与波的传播方向垂直，称为横波；如果媒质质点的振动方向与波的传播方向一致，则称为纵波。在液体和气体媒质中只能传播纵波；在固体媒质中，既能传播纵波，也能传播横波。

噪声是一种声波，一般指物理上不规则、间歇或随机的声波，或者指心理上任何难听的、不和谐的声波。声波中频率为 $20 \sim 2 \times 10^4 \text{ Hz}$ 的可听声是我们噪声控制的主要对象。

1.1.2 声波的描述

1. 声压、声强和声功率

(1) 声压。声压就是大气压受到声波扰动后产生的变化，即为大气压强的余压，它相当于在大气压强上叠加一个声波扰动而引起的压强变化。由于声压的测量比较容易实现，通过声压的测量也可以间接求得质点速度等其他物理量，因此声学中常用这个物理量来描述声波。

声压通常用 p 来表示，即

$$p = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中 F ——某一面积上所受的力，N；

S ——面积, m^2 ;

p ——单位面积上所受的力, Pa (N/m^2)。

声音在传播的过程中, 声压 p 实际上随着时间迅速地变化, 人耳感受到的实际效果只是迅速变化的声压 (又称为瞬时声压) 在某一时间段平均的结果, 称为有效声压。有效声压是瞬时声压的均方根值, 对于符合正弦运动的声波, 为声压的最大值除以 $\sqrt{2}$, 即

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p_m^2 \sin \omega t dt} \quad (1-2)$$

在实际应用中, 如果未加以说明, 一般声压就是指的声压有效值。

(2) 声强。声波作为一种波动形式, 将声源的能量向空间辐射, 人们可用能量来表示它的强弱。在单位时间内, 通过垂直声波传播方向的单位面积上的声能, 称为声强。声强用 I 表示, 单位为 W/m^2 。声强的大小和离声源的距离有关, 这是因为声源每秒内发出的声能量是一定的, 离声源的距离越远, 声能量分布的面积越大, 通过单位面积的声能量就越小, 即声强越小。

在自由声场中, 声压与声强有密切的关系, 即

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad (1-3)$$

式中 p ——有效声压, Pa ;

I ——声强, W/m^2 ;

ρ_0 ——空气密度, kg/m^3 ;

c ——空气速度, m/s 。

从式 (1-3) 可以看出, 声强和声压的平方成正比, 因此测量出声压, 即可求出声强。

(3) 声功率。声源在单位时间内辐射的总能量称为声功率, 通常用 W 表示, 单位为 W , $1\text{W}=1\text{N} \cdot \text{m}/\text{s}$ 。

在自由声场中, 声波作球面辐射时, 声功率与声强有下列关系

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1-4)$$

式中 W ——声源的声功率, W ;

I ——离声源 r 处的声强, W/m^2 。

声功率是表示声源特性的物理量, 是单位时间内声源辐射出来的总声能量。不同声源的声功率会有很大的不同, 如大型宇宙火箭发射的声功率约达 $4 \times 10^7 \text{W}$, 轻声耳语的声功率只有 10^{-9}W , 相差 4×10^{16} 倍。

2. 声波的波长和频率

完成一次声波振动所需要的时间称为周期, 每秒钟完成声波振动的次数称为频率。

声波振动中两个相临等声压点之间的距离称为波长，用 λ 表示，单位是 m。频率是周期的倒数，波长等于声速除以频率。声波的频率范围很广，为 $10^{-4} \sim 10^{12}$ Hz。声波按频率范围可分为次声 ($10^{-4} \sim 20$ Hz)、可听声 ($20 \sim 2 \times 10^4$ Hz)、超声 ($2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^8$ Hz) 和特超声 ($5 \times 10^8 \sim 10^{12}$ Hz)。

人耳可听域的频率范围是 $20 \sim 2 \times 10^4$ Hz，相应声波的波长为 $17 \sim 0.017$ m。人耳对声波的频率响应以及材料的声学性能皆随频率而异，人耳可听域的频率范围越宽，噪声控制的难度越大。

1.1.3 声波的传播

一般来说，凡是弹性媒质都能传播声波，例如气体、液体和固体。经空气传播而来的声波称为空气声；经固体（建筑结构）传播振动而引起的声波称为固体声（结构声）；经水传播的波形振动称为水中声波。

对于在运变电站，其设备噪声主要通过空气与固体结构传递至接收者。声音在通过空气介质传播至接收者的过程中会发生反射、折射、投射、干涉以及散射、衍射等物理现象。固体结构传声过程较为复杂，声源振动通过地面传递至建筑物结构单元引起建筑物结构发生振动，振动传递至居民住宅室内引起室内空气振动形成噪声，固体结构传声与建筑物结构、材料等因素有关。

1. 声波的反射、折射与透射

声波在两种媒质的分界面上会发生反射、透射（对垂直入射声波）和折射（对斜入射声波）现象。在无限大分界面上，存在两种声学边界条件，即声压连续条件以及法向质点振速连续条件

$$p_1 = p_2 \tag{1-5}$$

$$v_1 = v_2 \tag{1-6}$$

对于一维斜入射平面波问题，入射波声压和质点振速可表示为

$$p_i = p_{ia} e^{j(\alpha x - k_1 x \cos \theta_i - k_1 y \sin \theta_i)} \tag{1-7}$$

$$v_{ix} = -\frac{\cos \theta_i}{\rho_1 c_1} p_i \tag{1-8}$$

反射波声压和质点振速为

$$p_r = p_{ra} e^{j(\alpha x + k_1 x \cos \theta_r - k_1 y \sin \theta_r)} \tag{1-9}$$

$$v_{rx} = -\frac{\cos \theta_r}{\rho_1 c_1} p_r \tag{1-10}$$

在媒质另一侧的投射波声压和质点振速为

$$p_t = p_{ta} e^{j(\alpha x - k_2 x \cos \theta_t - k_2 y \sin \theta_t)} \tag{1-11}$$

$$v_{tx} = -\frac{\cos \theta_t}{\rho_2 c_2} p_t \quad (1-12)$$

在分界面上，有以下边界条件

$$p_i + p_r = p_t \quad (1-13)$$

$$v_{ix} + v_{rx} = v_{tx} \quad (1-14)$$

由此可以获得声波反射与折射定律

$$\theta_i = \theta_r \quad (1-15)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1-16)$$

2. 声波的干涉

如果空间中存在多个声源，则会产生不止一系列的声波。以两列同频率、相差固定的平面波为例，合成场的声压为

$$p = p_a \cos(\omega t - \varphi) \quad (1-17)$$

$$p_a^2 = p_{1a}^2 + p_{2a}^2 + 2p_1 p_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1-18)$$

$$\varphi = \arctan \frac{p_{1a} \sin \varphi_1 + p_{2a} \sin \varphi_2}{p_{1a} \cos \varphi_1 + p_{2a} \cos \varphi_2} \quad (1-19)$$

合成声场的平均声能密度为

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_1 + \bar{\varepsilon}_2 + \frac{p_{1a} p_{2a}}{\rho_0 c_0^2} \cos \varphi \quad (1-20)$$

可以看出，两列声波叠加后的声波平均声能密度会出现极大、极小值交错的现象，这就是声波的干涉现象。对于不同频率的两列固定相差声波，有

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_1 + \bar{\varepsilon}_2 \quad (1-21)$$

对于具有相同频率的两列相位随机变化的声波，有

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_1 + \bar{\varepsilon}_2 \quad (1-22)$$

对于多列这样的声波，有

$$p_a^2 = p_{1a}^2 + p_{2a}^2 + \cdots + p_{ma}^2 \quad (1-23)$$

3. 声波的散射和衍射

当声波在介质中传播时，可能遇到几何尺寸大小不一的障碍物，如大气中的悬浮颗粒、建筑物、花草树木等。这些障碍物会引起声波的反射、散射以及衍射等声学现象。

在声传播过程中遇到障碍物时，当障碍物尺寸远远大于声波波长时，会发生发射现象；当障碍物尺寸比较小且大于入射声波波长时，就会出现一部分声波发生反射而另一部分波偏离原来的路径传播的现象。通常，把实际的波与假设障碍物不存在时所出现的不受干扰的波之间的差值定义为散射波。散射波一部分均匀地向各个方向散开，

另一部分则集中在障碍物后面，与反射波干涉叠加，从而形成阴影区；当障碍物尺寸远小于入射波波长的時候，通过散射作用而使得散射波和一部分的入射波干涉叠加，从而使得障碍物后面没有明显的“阴影区”，这时可以认为是声波绕过障碍物继续传播，我们把这种现象称为声波的衍射。总之，散射和衍射都是声波遇到障碍物后，由于一部分声波的传播方向被改变从而使得在障碍物后面形成了复杂的干涉和叠加的物理现象。散射和衍射的区别在于入射波波长和障碍物尺寸比值：当声波的波长小于障碍物尺寸时为散射，反之为衍射。从波动原理考虑，二者之间没有本质的区别。

4. 声场基本特性

声场所在空间总体上分为自由空间和有界空间两大类。理想的自由空间是指无限大的、没有障碍的空间。有界空间指的是空间部分或全部被边界所包围。纯粹的自由空间并不多见，如果空间边界和空间内物体对声传播方式的影响较小，则该空间中的声场可近似为自由声场，如旷野中的变压器噪声声场。在自由场中，声波只是从声源向四周辐射出去，而不受边界和其他物体的阻碍，同时也没有另外的声波干扰，声场中只传播自由行波。

1.1.4 声压级、声强级和声功率级

正常人耳能听到的最低声压称为听阈声压，对于 1000Hz 的声音听阈声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，普通人谈话声的声压为 $(2 \sim 7) \times 10^{-2} \text{Pa}$ ，大街上载重汽车的声压为 $0.2 \sim 1 \text{Pa}$ ，凿岩机声压约为 20Pa ，喷气飞机附近声压为 $200 \sim 630 \text{Pa}$ 。对于频率 1000Hz 的声音，正常人耳痛阈声压一般为 20Pa 。从听阈声压到痛阈声压，具有 $10^{-5} \sim 1 \text{Pa}$ 的压力范围，这个比值相当于 1t 同 1g 之比。在这样宽广的范围用声压或声强的绝对值来衡量声音的强弱是不方便的，因此在实践中人们引入了“级”的概念。声音的物理量（声压、声强和声功率）的级的划分是采用数学中的对数标度来表达的，单位 dB。

1. 声压级

声压级的定义是某一声压与基准声压（频率为 1000Hz 时听阈声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ）之比的常用对数乘以 20，用数学式表达为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \tag{1-24}$$

式中 L_p ——声压级，dB；

p ——声压，Pa；

p_0 ——基准声压（取 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ），Pa。

用声压级代替声压的好处是把刚刚听到的声压与震耳欲聋的声压由差值为数百万倍的范围压缩为 0~120dB 范围，在计算上用小的数字来代替大的数字。用声压级的

差值来表示声压的变化，这也与人耳判断声音强度的变化大体一致。例如声压变化 1.4 倍，就等于声压级变化 3dB，这种声音强度的变化人耳刚刚可以分辨；又如声压变化 3.16 倍，声压级变化 10dB，人耳感到响度约增加 1 倍；如果使声压提高或降低 10 倍，声压级将有 20dB 的变化，这对人耳听觉来说变化是很大的。不同环境下的声压和声压级见表 1-1。

表 1-1 不同环境下的声压和声压级

环境	声压 (N/m ²)	声压级 (dB)	环境	声压 (N/m ²)	声压级 (dB)
喷气飞机附近	630	150	繁华街道	0.063	70
喷气飞机附近	200	140	普通说话	0.020	60
开坯锻锤，铆钉枪	63	130	微电机附近	0.0063	50
大型球磨机	20	120	安静房间	0.0020	40
大型鼓风机附近	6.3	110	轻声耳语	0.00063	30
纺织车间	2.0	100	树叶落下的沙沙声	0.00020	20
普通风机附近	0.63	90	农村静夜	0.000063	10
公共汽车上	0.20	80	刚刚听到的声音	0.000020	0

2. 声强级

与声压一样，声强也可用级来表示，这就是声强级，它的单位也是 dB。声强级 L_I 表达式为

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \tag{1-25}$$

式中 I_0 ——基准声强值（听阈值），取 10^{-12}W/m^2 。

声音在空气中传播，在传播方向上的声强 I_0 为 10^{-12}W/m^2 时，由式（1-4）计算可得相应的声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。此时， I_0 和 P_0 的参考值在数值上是一致的，都是 1000Hz 的听阈值。忽略大气温度、压力变化的影响， L_p 约等于 L_I 。

3. 声功率级

声功率用级表示就是声功率级，单位也是 dB。如果声功率为 W 时，声功率级 L_W 表达式为

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \tag{1-26}$$

式中 W_0 ——基准声功率，取 10^{-12}W 。

1.1.5 声压级的计算

前述的声压级、声强级和声功率级都是通过对数运算得来的。在实际工程中，常

遇到某些场所会有几个噪声源同时存在，人们可以单独测量每一个噪声源的声压级，那么当噪声源同时向外辐射噪声时，它们总的声压级是多少呢？我们不能把两个声压级进行简单的代数相加，能进行相加运算的只能是声音的能量。

1. 相同声压级的合成

两个特性相同、声压级相等的噪声相加，其总声压级比单个声源的声压级增加 3dB。如果有 N 个性质相同、声压级相等的声源叠加到一起，总声压级可用下式表示

$$L = L_p + 10 \lg N \tag{1-27}$$

式中 L_p ——单个声源的声压级，dB；

N ——声源的个数。

如有 10 个相同的声源，每个声源的声压级为 100dB，那么，由式 (1-27) 可知，它们的总声压级为 $L_p=100+10\lg 10=110$ (dB)。

2. 声压级分贝的加法

对声源不相同的声压级加法可这样计算：设有两个不同声压级 L_{p1} 、 L_{p2} ，并有 $L_{p1}>L_{p2}$ ，则

$$L = L_{p1} + \Delta \tag{1-28}$$

其中

$$\Delta = 10 \lg \left(1 + 10^{\frac{L_{p1}-L_{p2}}{10}} \right) \tag{1-29}$$

由式 (1-28) 和式 (1-29) 可看出，总的声压级等于较大的声压级 L_{p1} 加上一个修正项，其中修正项 Δ 是两个声压级差值的函数。为方便起见，通常由声压级叠加分贝的增值图来计算。

当两个相同声压级噪声相加时，因其声压级差值为零，则总声压级等于一个噪声的分贝数加上 3dB；当两个噪声的声压级差值在 10dB 以上时，修正项 Δ 小于 0.5dB，即对总声压级影响较小；当两个噪声的声压级差值大于 15dB 时，其对总声压级的影响可以忽略不计。

3. 声压级分贝的减法

在某些实际工作中，常遇到从总的被测声压级中减去本底或环境噪声声压级来确定由单独声源产生的声压级的情况。如某加工车间内的一台机床，在它运行时，辐射的声压级是不能单独测量的，但是机床未开动前的本底或环境噪声是可以测量的，机床开动后机床噪声与本底噪声的总声压级也是可以测量的，那么，计算机床本身的声压级就可采用声压级的减法。求声压级分贝的减法的计算与由声压级的定义推导声压级分贝的加法计算一样，推导得

$$L_{p1} = L_p - \Delta \tag{1-30}$$

4. 平均声压级

在噪声测量和控制中,若一车间有多个噪声源,各操作点的声压级不相同,一台机器在不同的时间里发出的声压级不同或接受点的声压级不同,这时就需求出一天内的平均声压级。在测量一台机器的声压级时,由于机器各方向的声压级不同,因此,需测若干个点的声压级,然后求平均声压级。

设有 N 个声压级,分别为 L_{p1} 、 L_{p2} 、 $\cdots$ 、 L_{pN} 。因为声波的能量可以相加,故 N 个声压级的平均值 L_p ,可由下式表示

$$\bar{L}_p = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right) \quad (1-31)$$

平均声压级的计算是由声能的平均原理导出的,它与人耳对噪声的主观感受基本相符。

1.1.6 声音的频谱

1. 倍频程

可听声的频率为 $20 \sim 20000 \text{ Hz}$,高达 1000 倍的变化。为了方便起见,通常把宽广的声频变化范围划分为若干个较小的频段,称为频带或频程。在噪声测量中,最常用的是倍频程和 $1/3$ 倍频程。在一个频程中,上限频率与下限频率之比为

$$\frac{f_u}{f_L} = 2 \quad (1-32)$$

式中 f_u ——上限截止频率, Hz;

f_L ——下限截止频率, Hz。

式 (1-32) 称为一个倍频程,倍频程通常用它的几何中心频率来表示

$$f_c = \sqrt{f_u f_L} = \frac{\sqrt{2}}{2} f_u = \sqrt{2} f_L \quad (1-33)$$

式中 f_c ——倍频程中心频率, Hz。

当把倍频程再分成三等份,即 $1/3$ 倍频程时,上限频率 f_u 与下限频率 f_L 之比为

$$\frac{f_u}{f_L} = \frac{\sqrt[3]{2}}{1} \quad (1-34)$$

那么, $1/3$ 倍频程的几何中心频率为

$$f_c = \sqrt[3]{f_u f_L} = \frac{1}{\sqrt[3]{2}} f_u = \sqrt[3]{2} f_L \quad (1-35)$$

$1/3$ 倍频程把频率分得更细,可以更清楚地找出噪声峰值所在的频率。在噪声的测量与分析中,最常用的是 1 倍频程和 $1/3$ 倍频程。表 1-2 和表 1-3 所示分别为 1 倍频程和 $1/3$ 倍频程的频率范围。

表 1-2

1 倍频程的频率范围

单位: Hz

下限频率 (f_l)	中心频率 (f_c)	上限频率 (f_u)	下限频率 (f_l)	中心频率 (f_c)	上限频率 (f_u)
22.3	31.5	44.6	707	1000	1414
44.6	63	89	1414	2000	2828
89	125	177	2828	4000	5656
177	250	354	5656	8000	11312
354	500	707	11312	16000	22624

表 1-3

1/3 倍频程的频率范围

单位: Hz

下限频率 (f_l)	中心频率 (f_c)	上限频率 (f_u)	下限频率 (f_l)	中心频率 (f_c)	上限频率 (f_u)
17.8	20	22.4	562.1	630	708.2
22.4	25	28.2	707.7	800	891.6
28.2	31.5	35.5	891.0	1000	1122.4
35.5	40	44.7	1121.6	1250	1413.1
44.7	50	56.3	1412.0	1600	1779.0
56.2	63	70.8	1777.6	2000	2239.6
70.8	80	89.2	2237.8	2500	2819.5
89.1	100	112.2	2817.3	3150	3549.5
112.2	125	141.3	3546.7	4000	4468.6
141.2	160	177.9	4465.1	5000	5625.6
177.8	200	224.0	5621.2	6300	7082.3
223.8	250	282.0	7076.7	8000	8916.0
281.2	315	355.0	8909.0	10000	11220.6
354.7	400	446.9	11215.0	12500	14131.0
446.5	500	562.6	14119.8	16000	17789.8

2. 频谱分析

声音的频率成分是很复杂的，为了较详细地了解声音成分的分布范围和性质，通常对一个噪声源发出的声音，将它的声压级、声强级或者声功率级，按频率顺序展开，使噪声的强度成为频率的函数，并考查其频谱形状，这就是频谱分析，也称频率分析。通常以频率（Hz）为横坐标，声压级（声强级或声功率级）（dB）为纵坐标，来描述频率与噪声强度的关系，这种图称为频谱图。

图 1-1 所示为某换流变压器和某居民点噪声频谱图。

根据频谱图分析噪声的频率成分与相应的强度，了解噪声的性质，为控制噪声进行声学设计提供依据，称作频谱分析。在工业噪声控制中，经常使用频带声压级，也称为频程声压级。

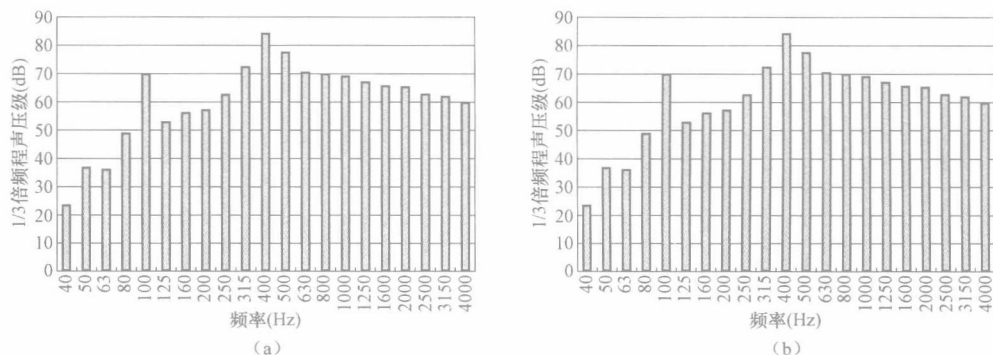


图 1-1 噪声频谱图

(a) 某换流变压器噪声频谱; (b) 某居民点噪声频谱

1.1.7 响度与响度级

当外界声振动传入我们耳朵内, 在我们的主观感觉上会形成听觉上声音强弱的概念。人耳对声振动的响度感觉近似地与其强度的对数成正比。深入的研究表明, 人耳对声音的感觉存在许多特性。人对声音的感觉不仅与声振动本身的物理特性有关, 而且包含了人耳结构、心理、生理等因素, 涉及人的主观感觉。例如, 同样一段音乐在你期望聆听时会感觉到悦耳, 而在你不想听到时会感觉到烦躁; 同样强度不同特点的声音会给你悠闲或危险等截然相反的主观感觉。

人们简单地用“响”与“不响”来描述声波的强度, 但这一描述与声波的强度又不完全相同。人耳对声波响度的感觉还与声波的频率有关, 即使声压级相同但频率不同的声音, 人耳听起来也会不一样响。例如, 同样是 60 dB 的两种声音, 一个声音的频率为 100 Hz, 而另一个声音为 1000 Hz, 人耳听起来 1000 Hz 的声音要比 100 Hz 的声音响。要使频率为 100 Hz 的声音听起来和频率为 1000 Hz、声压级为 60 dB 的声音同样响, 则其声压级要达到 67 dB。

为了定量地确定声音响的程度, 通常采用响度级这一参数。当某一频率的纯音和 1000 Hz 的纯音听起来同样响时, 这时 1000 Hz 纯音的声压级就定义为该待定声音的响度级。响度级的符号为 L_N , 单位为方 (phon)。例如, 1000 Hz 的纯音的响度级等于其声压级, 对于其他频率的声音, 通过调节 1000 Hz 的纯音的声压级, 使它和待定纯音听起来一样响, 这时 1000 Hz 纯音的声压级就等于该待定声音的响度级。对各个频率的声音作这样的试听比较, 得出达到同样响度级时频率与声压级的关系曲线, 通常称为等响曲线。图 1-2 所示是正常听力对比测试所得出的一系列等响度曲线, 每条曲线上各个频率纯音听起来都一样响, 但其声压级差别又很大。例如, 图 1-2 中 70phon 曲线表示, 95dB 的 30Hz 纯音、75dB 的 100Hz 纯音以及 61 dB 的 4000Hz 纯音听起来