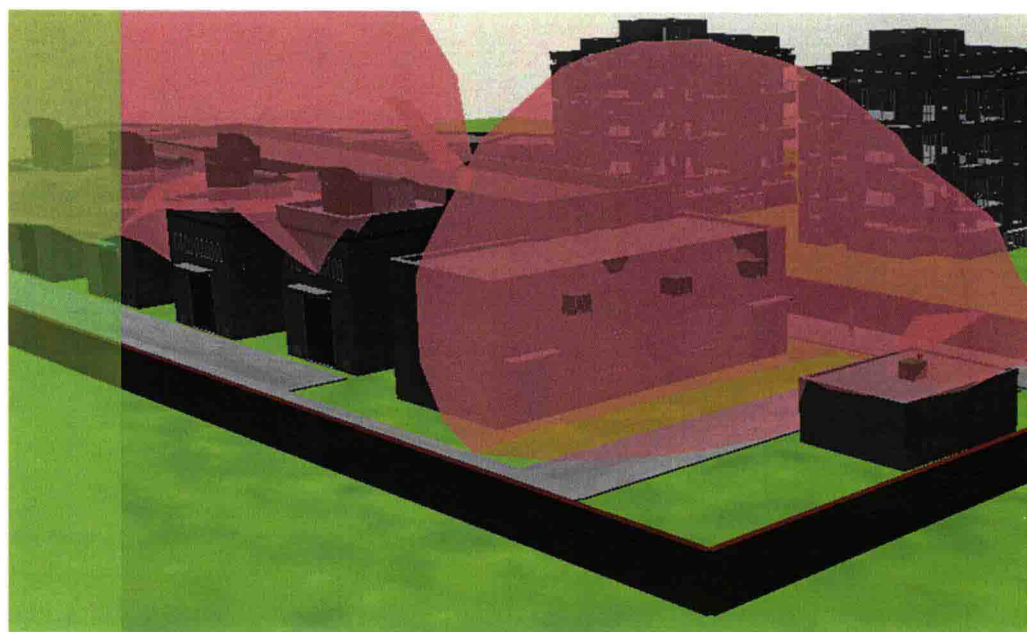


变电站 噪声控制技术

BIANDIANZHAN ZAOSHENG KONGZHI JISHU

徐禄文 邹岸新 / 著



中国环境出版集团

变电站噪声控制技术

徐禄文 邹岸新 著

中国环境出版集团·北京

图书在版编目(CIP)数据

变电站噪声控制技术/徐禄文, 邹岸新著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.3

ISBN 978-7-5111-3530-8

I. ①变… II. ①徐…②邹… III. ①变电所—噪声控制—研究 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 023755 号

出 版 人 武德凯
策划编辑 季苏园
责任编辑 孙 莉
责任校对 尹 芳
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 3 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 12
字 数 270 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

内容简介

目前，城市经济的快速发展和城市化进程的加快需要建设更多的变电站来满足日益增长的电力需求。但是随着变电站与居民生活空间接触日益紧密，使得人们对变电噪声问题的关注度越来越高，这就对变电站的建设及改造提出了更高的要求。

本书在介绍噪声基础知识、变电站噪声及检测、噪声控制基本方法、变电站环境噪声仿真计算分析软件开发的基础上，结合工程实际，系统阐述了变电站噪声控制基本原则和变电站噪声治理改造实例。

本书主要目的是为电力环保技术人员、管理人员在变电站规划设计、噪声工程治理、环境影响评价及科普宣传等方面提供技术参考，也可以作为环境保护工程及其相关专业本科生和研究生的教学用书。

前 言

电力是一种清洁能源，对城市经济发展和繁荣以及居民生活都发挥着重要作用，很难想象当今社会没有电力会变成什么样子！而变电站作为电力系统中最重要的组成部分，更是不可或缺。而且随着城市经济的高速发展和人们生活水平的不断提高，电力需求不断增长，原有变电站无法满足电力供应要求，为了确保电网的安全稳定运行，不仅需要新建更多的变电站，而且还要对原有的变电站进行扩建增容。然而随着人们环保意识的不断增强，新建、改建变电站所带来的环保问题，尤其是变电站噪声问题所引起的矛盾日益突出，投诉和纠纷逐渐增多。这些问题不仅阻碍着电力工业的发展，而且还危及社会的和谐与稳定，因此必须加强变电站噪声的控制。

本书共分6章：第1章通俗易懂、简明扼要地介绍了噪声的基础知识，包括声音的产生和传播、噪声污染、噪声的量度、环境噪声评价标准；第2章主要对变电站主要声源、噪声的检测方法、不同声源特性进行了介绍；第3章从吸声、隔声、消声、隔振与阻尼几个方面详细介绍了噪声控制的基本方法，同时简要介绍了有源噪声、新材料、新工艺等噪声控制等技术；第4章主要从研究背景、理论基础、建模、功能及校验等方面介绍了变电站环境噪声控制分析系统软件（Substation Environment Noise Control System, SENCS）；第5章主要从规划设计、建设、验收、运行等阶段介绍了变电站噪声控制原则，重点阐述了变电站治理改

造基本原则和基本步骤；第6章编者将多年来所参与的多个工程实际案例进行归纳总结，详细地介绍了这些治理改造实例的仿真分析过程，可以为更多噪声治理工程改造项目提供有益的参考。附录主要介绍了变电站噪声治理方案评审细则。本书虽然命名为《变电站噪声控制技术》，而且主要以变电站为对象进行编写，但是本书所罗列的技术和控制措施也可适用于换流站或其他噪声治理有关的工程。

本书主要由国网重庆市电力公司电力科学研究院徐禄文、邹岸新著。但在整书编写的过程中，还有如下一些专家学者参与了部分工作，在此一并表示感谢！具体如下：国网重庆市电力公司杨滔，国家电网公司科技环保处李睿、卢林，国网重庆市电力公司电力科学研究院吴高林、胡晓锐，西南石油大学计算机科学与技术学院刘小玲，全球能源互联网研究院韩钰、聂京凯，国网陕西省电力公司电力科学研究院吴健、白晓春、耿明昕，国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司张广洲、裴春明，中国电力科学研究院张建功、马裕超，国网湖南省电力公司电力科学研究彭继文、李铁楠，国网江西省电力公司电力科学研究伍发元，国网四川省电力公司电力科学研究王方强，四川正升声学科技有限公司汪远东，重庆大学电气工程学院李永明、余森等。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏或不当之处，恳请广大读者批评指正，表示衷心感谢！

作 者

2017年7月

目 录

1 噪声基础知识.....	1
1.1 声音的产生和传播.....	2
1.2 噪声污染	3
1.3 声音的量度	4
1.3.1 声压	4
1.3.2 声强	4
1.3.3 声功率	5
1.3.4 声压级	5
1.3.5 声强级	6
1.3.6 声功率级	6
1.3.7 A 声级 L_A 和最大 A 声级 L_{Amax}	7
1.3.8 等效连续 A 声级 L_{Acq} 或 L_{eq}	8
1.3.9 计权等效连续感觉噪声级 L_{WECPN} 或 $WECPNL$	8
1.3.10 声音的频谱	9
1.4 变电站噪声检测与评价标准.....	11
1.4.1 《声环境质量标准》(GB 3096—2008)	11
1.4.2 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)	12
1.4.3 《建设项目竣工环境保护验收技术规范 输变电工程》 (HJ 705—2014)	13
1.4.4 《建设项目竣工环境保护验收技术规范 输变电工程》 (HJ 705—2014)	15

1.4.5	《电力变压器 第 10 部分: 声级测定》(GB 1094.10—2003)	16
1.4.6	《声学 户外声传播衰减 第 1 部分: 大气声吸收的计算》 (GB/T 17247.1—2000)	16
1.4.7	《声学 户外声传播衰减 第 2 部分: 一般计算方法》 (GB/T 17247.2—1998)	16
2	变电站噪声及检测	19
2.1	主要声源介绍	20
2.1.1	变压器噪声	20
2.1.2	电抗器等大型设备	21
2.1.3	带电构架电晕噪声	22
2.1.4	其他噪声	23
2.2	噪声的检测方法	23
2.2.1	国内外噪声仪器介绍	23
2.2.2	变电站监测仪器要求	26
2.2.3	变电站噪声的监测方法	26
2.3	声源特性	34
3	噪声控制基本方法	37
3.1	吸声	38
3.1.1	吸声的原理	38
3.1.2	吸声系数	38
3.1.3	常用吸声材料及吸声结构	39
3.1.4	吸声降噪量的计算	41
3.2	隔声	43
3.2.1	透声系数与隔声量	43
3.2.2	单层隔声与双层隔声	44
3.2.3	隔声体的形式	46

3.3	消声	48
3.3.1	消声器	48
3.3.2	阻性消声器	48
3.3.3	抗性消声器	50
3.3.4	复合型消声器	52
3.4	隔振与阻尼	52
3.4.1	隔振的基本概念	52
3.4.2	阻尼	54
3.5	有源噪声控制、新材料、新工艺	57
3.5.1	有源降噪技术	57
3.5.2	新型声学功能材料——声子晶体	59
3.5.3	新型减振材料——磁流变弹性体	61
4	变电站环境噪声仿真计算分析	63
4.1	仿真计算分析软件介绍	64
4.1.1	国外软件	64
4.1.2	国内软件	64
4.1.3	变电站噪声计算软件开发的必要性	65
4.2	仿真计算软件的理论基础	65
4.2.1	系统开发基础理论	65
4.2.2	噪声传播计算基础	69
4.3	SENCS 分析系统软件开发	78
4.3.1	模型建立	78
4.3.2	软件内容及功能	84
4.3.3	软件的校验	95
5	变电站噪声控制原则	99
5.1	规划设计阶段	100
5.1.1	变电站规划选址	100

5.1.2	变电站设计方案选择及优化.....	101
5.2	建设阶段	104
5.2.1	低噪声设备的选择	104
5.2.2	噪声源设备招投标技术参数监督.....	105
5.2.3	噪声源设备的验收监督.....	106
5.3	验收阶段	106
5.3.1	降噪工程实施	106
5.3.2	降噪工程现场实测与验收.....	106
5.3.3	噪声控制方案的效果评估.....	107
5.4	运行阶段	107
5.4.1	治理改造基本原则	108
5.4.2	治理改造基本步骤	109
6	变电站噪声治理改造实例.....	113
6.1	工程实例一	114
6.1.1	治理前仿真分析	114
6.1.2	治理效果仿真分析	118
6.2	工程实例二	123
6.2.1	治理前仿真分析	123
6.2.2	治理效果仿真分析	126
6.3	工程实例三	129
6.3.1	治理前仿真分析	129
6.3.2	治理方案仿真分析	134
6.4	工程实例四	140
6.4.1	治理前仿真分析	140
6.4.2	治理方案效果仿真分析.....	144
6.5	工程实例五	148
6.5.1	治理前仿真分析	148
6.5.2	治理后仿真分析	151

6.6 工程实例六	155
6.6.1 治理前仿真分析	155
6.6.2 治理后仿真分析	158
6.7 工程实例七	162
6.7.1 扩建前噪声仿真分析	162
6.7.2 扩建后噪声仿真分析	164
6.7.3 扩建治理噪声仿真分析.....	167
6.8 工程实例八	170
6.8.1 治理前仿真分析	170
6.8.2 治理后仿真分析	174
附 录	177
参考文献	179

1

噪声基础知识

随着环保意识的不断增强，人们对噪声的关注度越来越高，并且迫切希望了解噪声的形成机理、环境影响、量度方式及其评价标准等方面的问题，本章就以上问题作简要介绍。

1.1 声音的产生和传播

声音是如何产生的呢？我们在鼓面上放一些小纸团，然后用力敲打鼓面，这时我们除了能听到敲打的声音外，还能看到小纸团在鼓面上跳动，如果将手轻轻放在鼓面上，也能感受到鼓面的振动。当鼓面的振动停止时，鼓声也随之消失，这个现象告诉我们，声音是由物体的振动产生的。

物体振动发出的声音需要通过中间介质向周围传播出去，被人耳或接收装置接收后感觉到声音的存在。那么，声音是怎样传播出去的呢？我们仍以敲鼓为例，鼓槌敲打鼓面引起自身振动的同时，按鼓点敲打的节奏不断压缩周边空气介质，引起空气介质时而疏、时而密，往复运动，从而形成传播的声波，如图 1-1 所示。

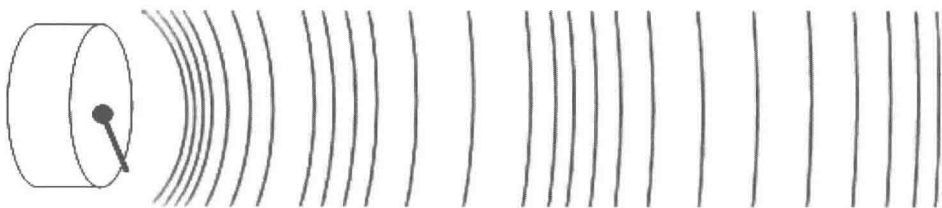


图 1-1 鼓声传播示意图

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

声波在自由空间中传播，当其波长比声源尺寸大得多，声波就以球面波的形式均匀向四周辐射，无方向性；当其波长比声源尺寸小得多，声波的发散性会减小，并会带有一定方向性，直至以平面波无发散的形式向前传播。

声波在传播过程中声能量会随距离而不断降低，这就是声波的衰减。引起声

波衰减的主要原因有能量扩散(空间增大导致通过单位面积的能量减小)、媒质吸收(声能转化为热能等其他能量形式而散失)和散射衰减(传播路径变化)。声波在传播过程中遇到障碍物时,会产生反射(散射)、折射(透射)和衍射(绕射)。声波的频率越低,波长越大,衍射现象越严重。

在生产中,机器转动、气体排放、工件撞击与摩擦所产生的噪声,称为生产性噪声或工业噪声。生产性噪声包括以下3类:

(1) 空气动力噪声。它是由于气体压力变化引起气体扰动,气体与其他物体相互作用所致。例如,主变室、电气室用于通风换热的各种风机,以及空气压缩机、风动工具、喷气发动机等,即是由于压力脉冲和气体排放发出的噪声。

(2) 机械性噪声。它是由于机械撞击、摩擦或质量不平衡旋转等机械力作用下引起固体部件振动所产生的噪声。例如,各种车床、电锯、电刨、球磨机、砂轮机和织布机等发出的噪声。

(3) 电磁性噪声。是由于磁场脉冲,磁致伸缩引起电气部件振动所致。如电磁式振动台和振荡器、大型电动机、发电机和变压器等产生的噪声。

1.2 噪声污染

人们在生活和工作中离不开声音,而这些声音有的是需要的,如用于传递信息、思维和感情的声音;有的是不需要的,那就是噪声。通常所说的噪声污染是指人为造成的,是指发声体做无规则振动时发出的声音;从生理学观点来看,凡是干扰人们休息、学习和工作以及对所要听的声音产生干扰的声音,即是不需要的声音,统称为噪声。而环境噪声指在工业生产、建筑施工、交通运输和社会生活中所产生的干扰周围生活环境的声音(频率在20 Hz~20 kHz的可听声范围内)。当噪声对人及周围环境造成不良影响时,就形成噪声污染。工业革命以来,各种机械设备的创造和使用,给人类带来了繁荣和进步,但同时也产生了越来越多而且越来越强的噪声。噪声不但可能对听力造成损伤,还可能影响人们的工作或休息,甚至诱发多种疾病。本书后面所提到的“噪声”就是指“可听噪声”。

1.3 声音的量度

我们听到的声音除了与声源的频率有关外，还与声音的强弱有关，声音的强弱通常用声压、声强、声功率以及声压级、声强级、声功率级来表示。

1.3.1 声压

当空气中没有声波传递时，空气中的压强即为大气压；当声波传播时，某处的空气时疏时密，使压强在原来大气压附近上下变化，相当于在原来大气压强上叠加了一个变化的压强，这个叠加上去的压强就叫作声压，即声波扰动引起的和平均大气压不同的逾量压强就是声压，记作 P 。

$$P = P_1 - P_0 \quad (1-1)$$

式中， P_0 ——平均大气压强；

P_1 ——弹性媒质中密部分的压强。

压强单位为微巴 (μbar)，也常用单位 Pa ，有时也用 N/m^2 作单位。

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10 \mu\text{bar} \quad (1-2)$$

对于正常人耳，当频率为 $1\,000 \text{ Hz}$ 时，人耳能听到的最低限为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ($0.000\,2 \mu\text{bar}$)，这个最低限称作人耳的“可听阈”，人耳能听到的最高限为 20 Pa ($200 \mu\text{bar}$)，这一限度为“痛阈”。人正常说话声压为 $0.02 \sim 0.03 \text{ Pa}$ ($0.2 \sim 0.3 \mu\text{bar}$)。

1.3.2 声强

声场中某点的声强是指在单位时间内，声波通过垂直于声波传播方向单位面积的声能量，记作 I ，单位为 W/m^2 。

若声能通过的面积为 S ，则：

$$I = W/S \quad (1-3)$$

在自由平面波或球面波的情况下,某处的压强与该处的声压 P 的平方成正比,而与媒质的密度 ρ 和声速 c 的乘积成反比,即:

$$I = P^2 / \rho c \quad (1-4)$$

1.3.3 声功率

声功率 W 是指单位时间内声源辐射出来的总声能量,或单位时间内通过某一面积的声能,单位为 W 。

$$W = \frac{sP_e^2}{\rho_0 c} \quad (1-5)$$

声功率与声压的区别在于一个是能量关系,一个是压力关系。

对于正常人耳,当频率为 1 000 Hz 时,人耳能听到的最低限为 0.000 2 μbar (相应的声强为 10~12 W/m^2),人耳能听到的最高限为 200 μbar (相应的声强为 1 W/m^2),可见人耳允许的声压相差 100 万倍 (声强相差 1 万亿倍),所以用声压表示声音的强弱不便于计算。同时人们发现,人的听觉与声压或声强不是成正比关系而是近似的与它们的对数值成正比。

人们采用一种按对数方式分级的办法作为表示声音大小的常用单位,这就是声压级、声强级和声功率级。

1.3.4 声压级

所谓某点的声压级 L_P ,是指该点的声压 P 与参考声压 P_0 的比值取常用对数再乘以 20,单位为 dB,即:

$$L_P = 20 \lg(P/P_0) \quad (1-6)$$

其中: $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 。

于是人耳从可听阈到痛阈的变化,用声压级表示后就变成了 0~120 dB。

声压变化 10 倍相当于声压级变化 20 dB,声压变化 100 倍相当于声压级变化 40 dB。

常见声源声压级是,可听阈 0 dB,高级播音室安静时 14 dB,普通办公室 54 dB,对话 74 dB,工厂 114 dB,大型喷气式飞机 154 dB。

1.3.5 声强级

由于声强和声功率具有能量关系，它们与声压的平方成正比，所以声强级和声功率级在取对数的时候乘以 10。

所谓某点的声强级 L_I ，是指该点的声强 I 与参考声强 I_0 的比值取常用对数再乘以 10，单位为 dB，即：

$$L_I = 10 \lg(I/I_0) \quad (1-7)$$

其中： $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ 。

由于在自由平面波或球面波的情况下， $I = P^2/\rho c$ ，因此有：

$$L_I = 10 \lg(I/I_0) = 10 \lg \{[P^2/\rho c]/[P_0^2/\rho c]\} = 20 \lg [P/P_0] = L_P$$

在一定条件下声强级与声压级在数值上是相等的，所以声强级的概念一般不常见。

1.3.6 声功率级

所谓某点的声功率级 L_W ，是指该点的声功率 W 与参考声功率 W_0 的比值取常用对数再乘以 10，单位为 dB，即：

$$L_W = 10 \lg(W/W_0) \quad (1-8)$$

其中： $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ 。

声压级和声功率级的关系可由下式表示：

$$L_P = L_W - 10 \lg S \quad (1-9)$$

式中： S ——包围声源的面积， m^2 。

上述公式的适用条件是自由声场或半自由声场，声源无指向性，其他声源的声音均小到可以忽略。

自由声场指声源位于空中，它可以向周围媒质均匀、各向同性地辐射球面声波， S 可为球面面积。