

柴油发电机组和冷却塔 噪声治理技术

沈保罗 编著



汕头大学出版社

柴油发电机组和冷却塔 噪声治理技术

沈保罗 编著

汕头大学出版社

粤新登字 15 号

图书在版编目(CIP)数据

柴油发电机组和冷却塔噪声治理技术 / 沈保罗 编著

—汕头: 汕头大学出版社, 1996. 5

ISBN 7-81036-139-2/T·9

I. 柴…

II. 沈…

III. 柴油发电机组—冷却塔——噪声治理技术

IV. TH

汕头大学出版社出版发行

(广东省汕头市汕头大学内)

闽南日报印刷厂印制 新华书店经销

1996 年第 1 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 7.25

字数: 178 千字 印数: 0~2,000 册

定价: 12.00 元

序 言

在我国,随着城市现代化过程的推进,城市环境噪声污染有日益加重之势。二、三十年前,广大居民对噪声这个术语还是陌生的;现在,他们的工作、学习、和生活一旦受到噪声的严重干扰,就会行使权力,纷纷向环保部门投诉。各个城市的环保投诉函电,噪声投诉在数量上占水、气、声中的首位。我国对保护环境十分重视,有关环境保护的立法工作始终在抓紧进行。国家已制定了各类环境噪声标准,还专门制定了“中华人民共和国环境噪声污染防治条例”(已于一九八九年十二月一日开始实行),其中对防治环境噪声污染制定了详细的法律条款,使我国的环境噪声管理工作提高到一个新水平。

环境声学是声学的一个重要分支,也是环境科学的一个主要部分。在这个领域内,科学技术的进步十分显著。五十年代,国外已有一些有关噪声控制的专著问世;当时,国内尚停留在出几本涉及噪声控制内容的译著上。而有关环境声学的专业学术会议国内几乎没有开过。到了八十年代,由于社会发展的迫切需要,环境声学已成为声学领域中最为活跃的分支之一。各类专著竞相出版。每年都要召开有关噪声和振动控制的国际和国内学术会议。由国际噪声控制工程协会主办的学术会议(简称 inter-noise)每年要在不同国家举行。以 inter-noise87 北京会议为例,会议宣读论文达 412 篇,来自 29 个国家和地区,创造了会议论文最多之记录。在国内,有关噪声控制的专著已达几十种。保守的估计,涉及该领域的科技人员达到近万人。尽管在环境声学方面,我国已取得不

少瞩目的科技成果,但中国是个大国,环保工作起步较迟,环保领域的科学技术尚有待于大力推动和发展,噪声源治理工作有待于更有效地进行。

本书作者抓住了柴油发电机组和冷却塔这两类城市环境噪声污染最为严重的噪声源,进行了多年的科研工作,积累了许多宝贵的治理技术资料,取得了较为丰富的实际经验。在此基础上,作者采用环境声学的基础理论与实践相结合的方法,从应用角度出发,编写了本书,这无疑会促进城市环境噪声的治理工作,为改善我国环境质量作出应有的贡献。我相信它会受到广大环保科技人员、环境声学工作者的欢迎,衷心祝愿本书取得成功。

舒宗骨

1995年5月

前 言

笔者自八十年代末期调来广东之后,就投入到轰轰烈烈的国民经济建设高潮中去,把过去近三十年积累的声学专业知识广泛应用到环境噪声治理、厅堂音质设计等领域中,为当地的社会、经济发展作出了一定的贡献。在忙碌之中,早就想写一本有关专著,从应用角度出发,系统介绍治理柴油发电机组和冷却塔噪声的一些经验和教训。近年来,手头积累的资料达到一定的程度,终于花了半年时间了此心愿。

本书侧重实际应用,用大量篇幅介绍应用实例。为使不具备声学专业知识的科技人员便于阅读,书中亦简单介绍了一些环境噪声控制的基本知识。希望本书的出版,使活跃于环境噪声治理战线上的广大非声学专业科技人员有所借鉴,减少一些设计上的失误;亦使声学专业科技人员获取噪声治理上的不少实用信息。通过共同努力,来提高我们所生存的城市环境质量,不断完善、创新一些噪声控制技术,为环境治理作出新贡献。

在本书的出版过程中,我的老师、中国声学学会名誉理事长、中科院院士魏荣爵教授在百忙之中为本书写了序言。南京大学声学研究所所长、中科院院士张淑仪教授,南京大学电子科学与工程系系主任、声学研究所副所长孙广荣教授对本书进行了细致的审阅,提出了不少宝贵的修改意见。乐平同志为本书作了文字修饰和全书电脑打字,没有她的大力支持,在如此短的时间内完成全书的写作与打字工作是根本不可能的。作者对他们一并表示衷心的感谢。

本书编写时间仓促,又涉及大量实用资料,书中肯定会有不少不妥和错误之处,希望得到读者和同行们的指正。

作 者

1995年6月于汕头大学

目 录

第一章 噪声基础知识	(1)
§ 1.1 噪声的物理特性和量度	(2)
一、频率、声速和波长	(2)
二、声压、声强和声功率	(2)
三、级的概念	(4)
四、噪声的迭加	(6)
五、噪声频谱	(8)
§ 1.2 噪声的评价量和容许标准	(11)
一、噪声评价量	(11)
二、噪声容许标准	(17)
§ 1.3 噪声测量	(21)
一、噪声测量系统	(21)
二、声级计	(24)
三、环境噪声测量方法	(27)
第二章 工业噪声源治理的常用手段	(31)
§ 2.1 吸声	(32)
一、多孔吸声材料	(34)
二、共振吸声结构	(39)
三、空间吸声体	(43)
四、吸声减噪设计	(44)
§ 2.2 隔声	(48)
一、表征隔声性能的评价量	(49)
二、墙的隔声	(50)
三、隔声屏障	(54)
四、隔声设计中一些注意问题	(58)
§ 2.3 消声器	(66)

一、阻性片式消声器	(66)
二、消声弯头和室式消声器	(81)
三、其它消声器	(84)
四、压力损失估算	(93)
§ 2.4 隔振	(100)
一、设计原理	(100)
二、钢弹簧隔振器	(102)
三、橡胶隔振器	(103)
四、隔振垫	(104)
第三章 冷却塔噪声治理技术	(107)
§ 3.1 噪声源分析及降噪的一般方法	(109)
一、冷却塔结构	(109)
二、噪声源分析	(110)
三、降噪的一般方法	(112)
四、测量基准	(116)
§ 3.2 应用消声器来降低排风口和进风口噪声	(117)
一、排风口消声器	(117)
二、进风口消声器或消声通道	(121)
§ 3.3 隔声屏障的应用	(122)
§ 3.4 其它一些降噪措施	(126)
一、降低淋水噪声	(126)
二、隔振措施	(127)
三、附属设备的噪声控制	(128)
§ 3.5 三个噪声治理实例	(128)
一、治理实例之一——楼顶冷却塔	(128)
二、治理实例之二——地面冷却塔	(131)
三、治理实例之三——室内冷却塔	(134)
第四章 柴油发电机组噪声治理技术	(142)
§ 4.1 噪声源分析及降噪的一般方法	(146)
一、柴油发电机组结构	(146)

二、噪声源分析	(155)
三、降噪的一般方法	(156)
§ 4.2 降低排气噪声	(159)
一、几个原则	(159)
二、几种常用的降噪方法	(160)
三、设计中应注意的一些问题	(162)
§ 4.3 降低轴流风机噪声	(163)
一、轴流风机噪声特性	(163)
二、排风消声器的选择	(165)
§ 4.4 机房的隔声、吸声处理和机组隔振	(167)
一、机房隔声	(167)
二、进风和排风	(168)
三、吸声处理	(168)
四、室内空气的交换	(169)
五、观察室	(169)
六、隔振地基	(170)
§ 4.5 应用实例	(170)
一、520 千瓦柴油发电机组噪声治理	(170)
二、200 千瓦柴油发电机组噪声治理	(180)
三、75 千瓦柴油发电机组噪声治理(兼谈小型机的噪声治理) ...	
.....	(191)
四、1120 千瓦柴油发电机组噪声治理	(194)

附录

附录 1 城市区域环境噪声标准 GB3096-93	(206)
附录 2 工业企业厂界标准 GB12348-90	(208)
附录 3 超标环境噪声排污费征收标准	(210)
附录 4 常用声学材料的吸声系数	(211)
附录 5 一些常用墙体结构的隔声量	(213)
参考文献	(216)
后记	(218)

第一章 噪声基础知识

广义来说,凡人们不需要的声音通称噪声。声按严格定义,应是在具有弹性的媒体中传播的压力、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合。简单地说是机械振动在具有弹性的媒体中的传播过程,此时最好称为“声波”。机械振动都是由物体产生的,该物体称作声源。声源产生的机械振动必须通过周围媒质才能传播出去。这种媒质可以是气体,也可以是液体或固体。按定义,声波可以是纵波,也可以是横波,甚至是既有纵波又有横波。不过,在气体和液体中传播的声波一般为纵波,而在固体中传播的声波则纵、横波都有。根据传播媒质不同,可以把声波区分为空气声、液体声和固体声(或结构声)。在噪声控制中所研究的主要是空气声。

噪声既是声音的一种,声波具有的共性它也应该有,同时它也具有其个性。噪声往往是由许多不相干的声源无规迭加而成,它就没有单频率声波因位相相反而相消的特性;噪声频谱一般都具有连续特性等等,这些都是其独特的性质。噪声的基本性质包括物理和生理两个方面。前者是由客观属性来描述,例如声压、频率、声速等,后者则包括人的主观感觉甚至心理因素,如响度、烦恼度等。

要对一个声源进行治理,首先要知道用什么样的参数来评价这类噪声源最为合适,其次必须弄清楚其适用标准是什么?换句话说,治理到什么程度才符合国家有关标准或规范,居民不会再来投诉。这些评价参数又是怎样测得的,应该遵循哪些规定?所有

这些都是本章需要解答的问题,在本书中将着重阐述与工业噪声源有关的一些内容,读者若需进一步了解其它内容,可参考书末的有关文献。

§ 1.1 噪声的物理特性和量度

一、频率、声速和波长

声波是机械振动在具有弹性的媒质中的传播过程。声波是一种波动,波动是各处质点速度随时间和空间分布不同而变化。为简便起见,假定声波是沿 x 方向传播的平面波(这在满足一定条件的管道中可以实现),则质点速度 u 满足如下解析式:

$$u = u_0 \sin 2\pi f(t - x/c) \quad (1.1)$$

式中 u_0 为质点速度振幅(m); f 为声波频率(Hz); t 为时间(s); c 为声波传播速度,简称声速(m/s)。

质点速度有个振动方向问题,因此质点速度是个矢量。(1.1)式括号中统称为位相。凡在同一时刻位相相同的点所形成的面称为波阵面。该式 x 相同的点构成一个垂直于 x 轴的平面,故称它为平面波。声速受温度 $T^\circ\text{C}$ 的影响较大,在空气中其关系遵循如下公式:

$$c = 331.4 + 0.6t \quad (1.2)$$

频率 f 是每秒振动的次数,而声速 c 是每秒传播的距离,所以表示每振动一次声波传播的距离的波长 λ (m)为

$$\lambda = c/f \quad (1.3)$$

二、声压、声强和声功率

声压是噪声量度中最基本的物理量。声波在空气(亦可在其

它媒质)中的传播,使原大气压强均匀的空气各部份产生压缩和膨胀的周期性变化。压缩时压强增加,膨胀时压强减小,即引起压强随时间作周期性的增减。这一部份变化的压强,即声波通过时的压强与大气压强的差值就称声压,用 p 表示。声压亦具有振幅与位相两个部份,其解析式与(1.1)类似,将 p 替代 u 。声压与声源的振动状况有关,声压 p 与质点速度 u 之间存有一定的关系,对于沿 x 方向传播的平面波,可以推导出

$$p = \rho c u \quad (1.4)$$

式中 ρ 为媒质密度(kg/m^3); c 为声速。

(1.4)式表明,在平面波中声压与质点速度成正比,而且位相相同。积 ρc 称作媒质的特性阻抗,它是反映媒质传播声波特性的重要参量。

某个时刻 t 的声压值称之为瞬时声压,在一定时间间隔中将瞬时声压对时间求方均根值,即得有效声压。一般声学仪器上测得的声压即为有效声压,用 p_e 表示。习惯上如声压无特别注明者,常指有效声压。声压单位亦用压强的单位,在国际单位制中是帕斯卡,简称 Pa。1 帕等于每平方米上受 1 牛顿的压力。

声强定义为在声传播方向上单位时间内垂直通过单位面积的声能量,用 I 表示,单位为瓦/米²(W/m^2)。这种能量传递来之于声源振动能量的传递。声强的大小可用来衡量声音的强弱,声强愈大,听到的声音也愈响;反之就愈轻。声强还与所传播的距离有关,离声源的距离愈远,声强就愈小。声强亦是矢量。现在已有能直接测量声强的声强仪,它可极为方便地用来直接测量某方向的声强,进而可推算出声功率。声强仪的出现,使传统的声压测量有了突破,并在噪声控制上正发挥着愈来愈大的作用。当声波以平面波或球面波传播时,声强与声压间的关系可推导出

$$I = P^2 / \rho c \quad (1.5)$$

式中 ρ 为媒质密度； c 为声速； P 为有效声压。

声功率定义为在单位时间内发射出的总能量，用 W 来表示。单位为瓦(W)。对于球面声波的辐射，声功率与声强间存有如下关系

$$I = W / S \quad (1.6)$$

式中 S 为声源通过的波阵面面积(m^2)。如点声源向自由空间辐射声波，则波阵面为球面，离声源 r 处的 $S = 4\pi r^2$ ；如把点源置于刚性反射面上， $S = 2\pi r^2$ 。

声功率是一个衡量声源输出能量大小的基本量。在鉴定机械、电子等产品是否合格时，声功率是一个极其重要的参数，必须测定。利用(1.5)、(1.6)两式，测得声压值后，可方便地算出声源的声强和声功率，目前一般也是这样做的。但声压的测量受到测试环境影响很大，譬如说要测量一台柴油发电机组的声功率，将它放在户外和室内，距其一米处测得的声压值会相差很大。就是都在室内测，房间大小和壁面吸声的不同依然会使结果差异较大。为使测得声压后精确换算成声功率，必定要规范测试环境，建造专用的声学实验室——消声室或混响室。如果我们把声源通过的波阵面等分成许多小块，用声强仪直接测量每一小面积上的声强，就可直接算出声功率。这种测量就不受测试环境、离声源的距离和方向的影响。昂贵的消声室、混响室亦可省去。

三、级的概念

声压的变化范围很大，人耳刚能听到的声音其声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ (听阈值)，而人耳膜感到疼痛的声压约 20Pa (痛阈值)，两者相差 100 万倍。因此，用声压来表示声音的大小不甚方便。另

外,人耳对声音大小的感觉并不是与声压成正比,而是与声压的对数相关。所以,在噪声控制中常用声压级来衡量声音的大小。一个声音的声压级定义为这个声音的声压与基准声压的比值取常用对数后再乘以 20,其表达式为

$$L_p = 20 \lg(P/P_0) \quad (1.7)$$

式中 L_p 为对应于声压 p 的声压级,单位为分贝(dB),无量纲; P_0 为基准声压,取人耳对 1000 赫声音刚能听到的声压值 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

声压采用对数标度后,可使数值相差悬殊的变化缩小到适当的范围。上述提到的,从人耳听阈到痛阈,声压变化达 100 万倍,而声压级只从 0 变到 120 分贝,从而提高了声压计量的简明度。

一些典型噪声源产生的 A 声级见表 1.1, A 声级是个更接近人耳听觉特性的评价量,详细描述见下节。

表 1.1 一些典型噪声源产生的 A 声级[dB(A)]

噪 声 源	测 点 位 置	A 声级
520kW 柴油发电机组	排烟口 1 米处	110
250kW 柴油发电机组	机房内	100
520kW 柴油发电机组	冷却风机 1 米处	90
菱和 FT-175 型冷却塔淋水声	进风口 1 米处	80
菱和 FT-150 冷却塔	进风口 5 米处	70
DBNL3-200 型低噪声冷却塔	进风口 4.3 米处	60
CDBNL3-20 型超低噪声冷却塔	进风口 2 米处	50

声强级定义为

$$L_I = 10 \lg(I/I_0) \quad (1.8)$$

式中 L_I 为对应于声强 I 的声强级, 单位为分贝(dB); I_0 为基准声强, 取 10^{-12} W/m^2 , 它相当于人耳能听到最弱声音的强度。

对于自由传播的平面波和球面波情况, 声压级与声强级数值上近乎相等。因为由(1.5)、(1.7)两式以及 P_0 和 I_0 值可得

$$L_I = L_p + 10 \lg(400/\rho c)$$

式中 ρc 为媒质的特性阻抗, 单位为瑞利, 1 瑞利等于 1 千克/米²·秒。对于空气, 在室温 20℃ 和标准大气压下 $\rho c = 415$ 瑞利, 声强级比声压级小 0.1 分贝, 一般予以略去。因此通常均视声强级与声压级值相等。

声功率级定义为

$$L_W = 10 \lg(W/W_0) \quad (1.9)$$

式中 L_W 为对应声功率 W 的声功率级, 单位分贝(dB); W_0 为基准功率, 取 10^{-12} 瓦(W)。

四、噪声的迭加

噪声的迭加在噪声控制中始终碰到。譬如说, 测量冷却塔噪声时, 能测到的两个量中, 一个是冷却塔本身的噪声与环境噪声迭加后的总噪声, 另一个是冷却塔不工作时的环境噪声。真正的冷却塔噪声是无法测得的, 只能由上述两个数据加以一定计算得到。

两个声源发出的声波在空间某点迭加, 其幅值呈现稳定的互相加强或减弱的现象称之为干涉。能产生干涉现象的波称为相干波, 产生干涉的条件为两波源的频率相同, 位相差保持不变。由此可见, 两个(或多个)噪声源之间是不相干的。两个不相干声源的

迭加是遵循能量相加的法则,而能量是与振幅的平方成正比,故两个有效值分别为 P_1 和 P_2 的声波,其迭加后总声波的有效值 P 为

$$P^2 = P_1^2 + P_2^2$$

其相应的总声压级 L_p 为

$$L_p = 20 \lg(P/P_0) = 10 \lg(10^{0.1L_{p1}} + 10^{0.1L_{p2}}) \quad (1.10)$$

式中 L_{p1} 、 L_{p2} 分别为 P_1 和 P_2 的声压级。

推广到 N 个声压级分别为 L_{p1} 、 L_{p2} ... L_{pn} 的声波迭加,迭加后的总声压级 L_p 为

$$L_p = 10 \lg\left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pi}}\right) \quad (1.11)$$

(1.11)式即为噪声迭加后的计算公式。如果仅有两个噪声源迭加,它们的声压级相同,则迭加后的总声压级为单个声源的声压级加 3 分贝。若两个噪声源声压级相差 10 分贝,代入(1.10)式得出总声压级为声压级大的那个噪声源声压级加上 0.4 分贝,它一般可略去。因此可以说,若两个声源的声压级相差 10 分贝以上,则声压级小的那个噪声源对总声压级的贡献可以不计。在计算器十分普及的情况下,计算(1.11)并不繁琐。亦可用直观的图表来简化计算(1.10)式。设 $L_{p1} \geq L_{p2}$, 令 $\Delta L_p = L_p - L_{p1}$, 由(1.10)式,经过推导,可得到

$$\Delta L_p = 10 \lg[1 + 10^{-0.1(L_{p1} - L_{p2})}] \quad (1.12)$$

已知 L_{p1} 和 L_{p2} , 即可从(1.12)式得到 ΔL_p 值,总声压级 $L_p = L_{p1} + \Delta L_p$ 即可得到。 ΔL_p 与 $L_{p1} - L_{p2}$ 之间的关系曲线见图 1.1。从图表中得出的仅为近似值。如声源为两个以上,每两个声源按图 1.1 相迭加后,再与第三个迭加,余此类推。