

噪 声 控 制 学

马大猷 王 编

科 学 出 版 社

1 9 8 7

内 容 简 介

本书主要论述噪声污染问题,重点放在噪声控制技术上。全书分为三部分,1.声学理论:声场、声传播、声学测量、振动测量;2.控制理论:主要噪声源、阻尼与吸声材料、隔振与隔声技术;3.各类噪声控制技术:齿轮与轴承、内燃机、电机、汽车、飞机和机场、铁道、船舶、城市噪声等。

本书语言简洁、内容广泛、实用性强,可供建筑设计、城市设计、机械设计工作者,大专院校师生和普通工程技术人员参考。

噪 声 控 制 学

马大猷 主编

责任编辑 李义发 韦秀清

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 7 月 第 一 版

开本:850×1168 1/32

1987 年 7 月 第一次印刷

印张:15 7/8

印数:精 1—1,800

插页:精 3 平 2

平 1—4,700

字数:419,000

统一书号:13031·3531

本社书号:5136·13—3

定 价: 布面精装 6.00 元
平 装 4.50 元

科技新书目:144-精 18 平 19

前 言

这本书是以中国声学学会主办的噪声进修班的讲义为基础修订而成的。噪声是当代主要污染源之一,影响非常之广,从各大城市所提出的关于环境污染的意见中,几乎有一半是与噪声相关。一般来说,噪声污染虽然不会致命,但它对人们的健康、生活和工作具有很大的威胁。无法治疗的噪声性耳聋造成老年人晚年生活的痛苦就是其中一例。所以环境噪声的控制已成为目前广泛注意的问题,不少同志已从其它专业转而从事噪声控制工作。目前,在制造业方面,低噪声设备的生产、设计已提上日程;在建筑设计、城市设计中噪声更是着重考虑的因素之一。

为噪声进修班编写讲义的目的是便于对各方面、各专业的工程技术人员进行较为深入的专业知识训练,使其不仅能了解一些噪声问题的处理方法,而且对噪声产生的机理、噪声问题的分析判断以及处理问题的基础也有充分的理解,使结业人员能够负担起噪声控制工程师的任务。

本书大致分为三个部分: I. 声学和噪声学的理论基础,包括声场、声传播、噪声和振动对人的影响以及测量技术。II. 噪声控制学的基本原理,包括一些主要噪声源、噪声处理方法的机理和工厂噪声控制的总论。III. 噪声控制学在不同范畴的实际应用。前两部分是处理一切噪声问题的基础,后一部分是一些例子,读者可以根据需要选读有关部分。

噪声控制的工程性质很强,但是很多问题根据“设计规范”是不能解决的,因此深入了解噪声和噪声控制的基础,寻求最经济、最有效的处理方法,在技术上就可以做出极其重要的创造。如果在这方面,本书能对读者有所帮助,目的就算达到了。

本书准备出版时,各章作者均在讲授的基础上对内容作了修

订，有些章节甚至完全改写。编者力求全书用语、水平一致、内容互相衔接，减少重复，使本书成为一个有机整体。

在编写过程中，各章作者通力合作，使此书得以顺利出版。对此，编者表示衷心感谢。

在组织整理全书的过程中，在内容方面多得 陈绎勤，吕如榆同志帮助，在稿件整理方面多得柯豪同志帮助，在此，一并致谢。

马大猷

1984年12月

目 录

第一编 噪声的性质和计量

第一章 噪声污染及控制.....(马大猷)	1
§1.1 噪声污染.....	1
§1.2 噪声控制.....	2
§1.3 噪声控制的经济方面.....	3
§1.4 噪声降低的目的.....	4
§1.5 噪声控制技术.....	5
§1.6 噪声控制的研究工作.....	6
第二章 声波的物理性质.....(吴文虬)	12
§2.1 引言.....	12
§2.2 平面声波.....	13
§2.3 球面声波.....	20
§2.4 柱面声波.....	25
§2.5 级和分贝.....	27
§2.6 声波的反射、折射与散射.....	34
§2.7 声谱、谱级及频带级.....	37
第三章 户外声传播.....(孙广荣)	40
§3.1 引言.....	40
§3.2 声波发散衰减.....	41
§3.3 空气吸收的附加衰减.....	45
§3.4 声屏障的衰减.....	47
§3.5 地面吸收的影响.....	53
§3.6 气象条件对声波传播的影响.....	55
第四章 管道中和小空间中的声波.....(吕如榆)	60
§4.1 引言.....	60
§4.2 刚性管中的驻波、空腔.....	60
§4.3 长管中的声场.....	63

§4.4	矩形房间中的声场·····	74
§4.5	圆柱形房间·····	86
第五章	厅堂声学·····(车世光)	89
§5.1	引言·····	89
§5.2	狭长房间内平面波的传播·····	89
§5.3	大房间中的声场·····	91
§5.4	声源的指向性因数·····	92
§5.5	混响半径·····	93
§5.6	混响时间·····	94
§5.7	空气吸收·····	95
§5.8	室内几何声学·····	96
第六章	听觉、噪声和振动的评价·····(姚安子)	98
§6.1	听觉生理·····	98
§6.2	噪声对听觉系统的影响与听力保护标准·····	102
§6.3	振动对人体的影响和评价·····	108
§6.4	噪声的评价量·····	113
第七章	噪声和振动的测量技术·····(章汝威)	120
§7.1	引言·····	120
§7.2	噪声和振动的测量·····	120
§7.3	噪声和振动的测量仪器·····	122
§7.4	声级计和磁带记录器·····	133
§7.5	声强测量·····	136
§7.6	噪声测量方法和分析技术·····	138
§7.7	近代噪声测量技术·····	141
第八章	声源声功率的测量·····(章汝威)	147
§8.1	引言·····	147
§8.2	消声室和混响室·····	148
§8.3	实验室内声功率的测量·····	152
§8.4	声功率的现场测量·····	154
§8.5	标准声源·····	159

第二编 噪声控制原理

第九章	机械声源·····(李毅民)	164
-----	----------------	-----

§9.1	引言	164
§9.2	稳态振动声源	164
§9.3	瞬态机械声源	169
§9.4	机械撞击声源	172
第十章	气流噪声 (戴根华)	180
§10.1	三种基本声源	180
§10.2	喷注的湍流噪声	183
§10.3	阻塞喷注的冲击噪声	188
§10.4	多孔材料的出流	192
§10.5	扩散消声原理	195
§10.6	管道噪声	200
第十一章	隔振技术 (陈道常、吴大胜)	206
§11.1	噪声控制中的隔振技术	206
§11.2	隔振的类别及其参数	208
§11.3	振动隔离的基本原理	211
§11.4	冲击隔离的基本原理	218
§11.5	隔振器	219
§11.6	隔振设计	229
第十二章	阻尼材料 (吴大胜)	232
§12.1	阻尼与内阻尼的物理特性	232
§12.2	阻尼材料	239
§12.3	阻尼结构	247
第十三章	隔声技术 (王季卿)	255
§13.1	引言	255
§13.2	隔声的计量及术语	256
§13.3	空气隔声	260
§13.4	结构固体声隔绝	278
第十四章	吸声材料 (马大猷、吕如榆)	288
§14.1	引言	288
§14.2	多孔性材料	290
§14.3	共振吸声结构	296
§14.4	吸声测量	302

第十五章	消声器	(冯瑀正)	310
§15.1	引言		310
§15.2	阻性消声器		313
§15.3	抗性消声器		318
§15.4	其它类型的消声器		322
§15.5	气流对消声效果的影响		325
§15.6	消声器的应用		327
第十六章	工厂噪声	(马大猷、吕如榆)	329
§16.1	如何解决噪声问题		329
§16.2	处理技术		331
§16.3	护耳器		333
§16.4	隔声罩		337

第三编 噪声控制专论

第十七章	齿轮与轴承噪声	(张重超)	350
§17.1	引言		350
§17.2	齿轮噪声		350
§17.3	滚动轴承噪声		358
第十八章	内燃机噪声	(张重超、温敬衡)	366
§18.1	引言		366
§18.2	内燃机空气动力性噪声		367
§18.3	内燃机结构表面的辐射噪声		372
§18.4	发动机噪声的预估		387
第十九章	电机噪声	(陈业绍)	389
§19.1	电机噪声的数值及标准		389
§19.2	电机噪声的特性		396
§19.3	电机噪声的降低和控制		399
第二十章	汽车噪声	(张昌龄)	406
§20.1	引言		406
§20.2	汽车噪声的主要声源		407
§20.3	汽车噪声的测量方法		419
§20.4	我国机动车辆噪声标准		420

第二十一章 飞机和机场噪声.....(沈 嶸)	423
§21.1 引言	423
§21.2 飞机噪声	424
§21.3 机场噪声	427
§21.4 航空噪声评价	433
§21.5 航空噪声控制标准	436
§21.6 飞机场噪声控制	439
第二十二章 铁道交通噪声..... <u>陈绎勤</u>	442
§22.1 引言	442
§22.2 铁道噪声级及其频谱	442
§22.3 客车内部噪声标准	447
§22.4 车站噪声的评价标准	448
§22.5 铁路车辆的振动及其对建筑物的影响	449
§22.6 火车噪声环境质量和轮轨噪声的预测	450
§22.7 火车噪声总声压级随时间变化的计算	454
§22.8 地下铁道噪声	456
§22.9 降低铁道噪声与振动的技术措施	458
第二十三章 船舶噪声.....(陶笃纯)	464
§23.1 引言	464
§23.2 船舶噪声和振动源	465
§23.3 噪声传播途径及噪声控制方法	469
§23.4 结构噪声	471
§23.5 船舶振动和噪声标准	472
§23.6 用隔振支撑降低低频结构噪声和振动	475
第二十四章 城市噪声.....(李炳光)	482
§24.1 引言	482
§24.2 城市噪声的来源	485
§24.3 城市噪声控制	491

第一编 噪声的性质和计量

第一章 噪声污染及控制*

马 大 猷

§ 1.1 噪 声 污 染

噪声污染已成为当代世界性的问题。古代就有噪声问题,“噪”的解释:“扰也”(《说文》),“群呼烦扰也”(《玉篇》),这都是两千年以前的记载,那时只有人声喧哗成为烦扰人的噪声,而近代噪声污染却是工业化带来的后果。噪声问题和工业发展的关系是辩证的,机器越来越多,越做越大,噪声就越来越严重;而另一方面,噪声严重就促进研究、改进,解决了噪声问题,也就提高了机器的效率,延长了机器的寿命,机器就得以向更完善和更精密的方向发展。

噪声污染和空气污染以及水的污染是当代三种主要污染。噪声污染是一种物理污染,一方面它并不致命,同时声源停止,污染也就没有了;此外,噪声虽然对人有干扰,但人也不能生活在毫无声息的环境中,人并不希望把声音完全消除而是需要适当的声学环境。噪声污染与化学污染不同,在化学污染中,对人有害的化合物最好完全不存在,而且,化学污染只有在产生后果后才引起人们的注意。噪声污染则不然,它日益严重,几乎影响到城市全体居民,

* 本书参考刊物:

1. 声学学报.
2. 应用声学.
3. 噪声与振动控制.
4. Noise Control Engineering.
5. Journal of Sound and Vibration.
6. Applied Acoustics.

每一个人都直接感觉到它的干扰,因此,噪声污染是受到抱怨或控告最多的污染源。

强噪声使人的听力受损,这种损伤是累积性的:在强噪声下工作一天,只要噪声不是过强(115dB 以上),事后只产生暂时性听力损失,经过休息便可完全恢复;如果天天在强噪声下工作,开始虽然可以恢复,但经过一段时间以后,就会逐渐成为永久性听力损失了。一般的噪声影响安宁,干扰讲话和思考,使工作效率降低,使人不舒服。对于休息和睡眠来说,噪声是个严重的干扰。为了保护听力,保护健康,可容许的噪声 A 声级为 70—90dB (70 为下限理想值,完全不使听力受损,90 为上限绝对最高值),保证脑力劳动只能到 40—60dB (同上),休息则为 30—50dB。不同情况或不同场所,噪声标准不同,这是噪声污染与空气或水污染不同的地方,听力保护是需要特别注意的,在强噪声 (A 声级超过 90dB) 下工作虽然不舒服,但感觉不到痛苦,而且经过休息可完全恢复,因此往往不受注意,但长期暴露后,产生的永久性听力损失就不可挽回了。防治噪声污染,重点应当在此。

§ 1.2 噪 声 控 制

噪声是指不需要的声音。一些声音在某些时候也许是人们所需要的,但在工作或休息时则成为不需要的了。例如,音乐广播是受欢迎的,但在晚上休息时,邻居听广播的声音就成为干扰噪声了。噪声控制是一门研究如何获得适当声学环境的技术科学。噪声控制要采取技术措施、需要投资,因此最终只能达到适当的声学环境,即经济上、技术上和要求上合理的声学环境,而不是噪声越低越好。例如,考虑听力保护时,最好使噪声级降到 70dB 最为理想,这在轻工业工厂有时是不难达到的,可以采用。但是在重工业工厂有时在技术上还达不到,或经济上不合理,或虽然达到要求但在操作上将引起很大不便使生产力大为降低,这时就只能采取折衷的标准,但也不能超过 90dB,否则达不到保护的目的。在严重情况

下,达到 90dB 也有困难,这时可以在个人防护上或工作安排上采取措施,所以在要求上要合理。经济上的合理也很重要,费用不可过高,但也不能说不需任何费用。噪声控制是相当难的,而且没有两个噪声控制的问题可以用同一答案解决,我们只能要求费用合理,而不能不作投资。在当前,汽车制造已达到相当高的水平(包括在噪声方面,汽车功率转变为噪声的部分不超过百万分之一左右),但它仍是城市的主要声源,希望噪声降得更低一些。如果能在造价上增加 5% 而使噪声降低 5dB,那就是很大的成功。

噪声控制并不等同于噪声降低。有时,增加噪声可以减少干扰。例如,一面积达 10000m² 的开敞式大办公室,上百人在里面工作,效率虽然提高,但互相干扰却是个严重问题。有人来接洽工作或一组讨论问题都会干扰相邻各组,若各组间用半截屏障(其表面和天花板加吸声处理)隔离虽可改进条件,但仍互相影响。这时最好的解决办法就是在室内发出白噪声,建立起比较均匀的 A 声级 50dB 左右的噪声场。如此,邻组谈话的声音就被白噪声所淹没而听不到了。但本组谈话因距离近,则不受影响。这就有效地建立起各组间的隔离,从而不互相干扰。这个方法可在很多其它情况下使用,在医生的候诊室,保密的谈话室或会议室等,都可以发出白噪声,将室内的谈话声淹没,从而达到声隔离。

§ 1.3 噪声控制的经济方面

噪声控制是需要合理投资的,噪声控制的投资不是浪费,因为保护工人听力就是保护生产力,收获是大的;提高工作效率和学习效率,收获也是难以估计的;保证休息更是长远利益(有些患神经衰弱、高血压等病症的工人多半是因为休息不足所致。这些影响往往当时不甚明显,等到明显时,就已造成损失,甚至无法补救了,所以须特别注意)。控制噪声,一般都是比较困难的,每个问题都需要个别研究。把汽车噪声降低 5dB 的要求似乎不高,但这意味着将噪声能量减少三分之二,这并不是个简单问题。一般需要降

低噪声的设备或场所,往往要降低 20 或 30dB,也就是噪声能量要减少到原来的百分之一或千分之一,这更不是轻而易举的了,因此在经济上有所要求也是合理的。

常常有人问,降低噪声,可否把过多的噪声能量转换为有用的能量形式?这种想法是不现实的。一个 40kW (55 马力) 的汽车所发射的噪声功率还不到十分之一瓦,这能有多少用?可是为了降低噪声,要使机器转动更光滑、平稳、啮合更好,振动更小,燃烧更平稳、效率更好等,这些措施在延长机器寿命和减小运转消耗等方面所产生的经济效益却是可观的。

采取噪声控制措施,如果在机器设计或工程设计开始时就认真加以考虑,结合到设计中去,则噪声控制的附加费用就很有限了,甚至不需要附加费用。若噪声问题已经形成,再采取措施,费用就可观了。例如,选用低噪声设备,低噪声工艺,厂房预加吸声处理等等,都比事后补救要经济得多,这也是噪声控制中应予特别注意的问题。

§ 1.4 噪声降低的目的

对现有的机器、工厂或设计中的机器,工厂采用噪声降低措施的目标(总噪声级降低的分贝数,或各频带噪声级降低的分贝数)等于应达到的噪声标准与实有的或预计的噪声级之差。

首先应研究噪声标准。根据各类场所和不同情况建立噪声标准,表示为所能容许的最高值,或表示为建议达到的范围。具体采用的标准应在此范围内,并符合具体情况的要求和经济、技术条件。

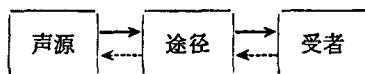
求得现有的或预计的噪声级,需要进行测量和计算。因此测量设备和技术是必需的。

每一个噪声问题都具有其“个性”,与其它噪声问题不会完全相同,为了作好每一个噪声问题的分析和估计,必须具备声学的基础知识。

本书根据上述情况安排具体内容,由声学基础开始,涉及噪声和振动对人的影响,噪声和振动标准、测量,噪声控制的基本技术,以及一些专题噪声问题。

§ 1.5 噪声控制技术

任一声学系统的主要环节是声源、传输途径和受者



声源可以是单个声源,也可以是多个声源同时作用,各个声源性质不同,变化不同,传输途径也常不只一条,不是固定不变的。受者可能是一个人,也可能是若干灵敏设备,对噪声的反应和要求也有不同。所以考虑噪声问题时,要注意这种统计性质,既考虑平均情况,也不忽略出入变化。

图中虚线表示反作用。一个机器装在屋角,声功率输出就要加大;一个报告人面对听者增多时会自动提高嗓门,但在传声器前面时,发声可能恢复正常。声源受途径和受者的反作用是很明显的。传输途径也要受声源和受者的影响,例如一个汽车消声器的特性由于车辆不同、使用场所不同,其性质也有所不同。一个人对不同声源反映不同也是常事,例如,他在城市噪声中可以入睡,但有开门的声音即会惊醒;城市噪声较低时,40dB 的缝衣机声也能使人不能入睡;等等。考虑噪声问题时,这些问题也须注意。

控制噪声是从声源控制,途径上控制和受者保护三个方面进行,具体采取哪一种或几种则应从经济、技术、满足要求上来考虑决定。

声源控制噪声是噪声控制中最根本和最有效的手段,也是近年来最受重视的问题。研究发声机理,限制噪声的发生是根本性措施。例如,减少振动、减少摩擦、减少碰撞,改变气流等都能使声源输出大为减少,减少作用力也是一个方法,例如改进机器的动

平衡,隔离声源的振动部分等,使振动部分的振动减小也很重要,例如使用阻尼材料,润滑,或改变共振频率,破坏共振等。近年来对气流噪声和撞击性噪声的研究颇有进展,有助于声源控制。调整设备操作程序也是控制声源的一个方面,如建筑施工机械或其它在居住区附近使用的设备要在夜间停止操作,不准汽车鸣喇叭,噪声大的设备用远距离操作等都是这方面的措施。

传输途径中的控制是最常用的办法,因为机器或工程已经完成后,再从声源上来控制噪声就受到局限了,但途径上的处理却大有可为,本书对这方面的讨论,内容较多。隔声、隔振处理以及隔声屏障、隔声操作间的使用等都是有效措施。途径中使用吸声材料并不影响操作。但却能起到事后补救的作用。在城市设计和工厂设计中,建筑布局可在降低噪声干扰方面起到重要作用,城市根据噪声要求,分区减少强噪声源的干扰也很重要。使用机罩、消声器等则接近从声源降低噪声。用不同材料使传输途径不连续是控制结构声的最好办法。

在机器多而人少或降低机器噪声不现实或不经济的情况下,对受者的保护是个重要手段。工人可以佩带护耳器(耳罩或耳塞),或在隔声间内操作,灵敏设备(如电子显微镜、激光器、灵敏仪表等)也可用隔声、隔振设计加以保护。在必须使用护耳器时应建立听力保护安排,对工人作宣传教育,检查听力,必要时调整工作。

§ 1.6 噪声控制的研究工作

噪声控制技术在许多方面都是比较成熟的,几乎任何噪声问题在技术上都可以解决。但噪声控制技术本身也正在发展,各方面都进行着大量的研究工作,日益丰富着对噪声源的了解,研制出更有效、更经济的控制手段。近年来在研究噪声的理论方法和技术手段方面也有很大发展,在理论方法方面除了传统的微分方程、格林函数等外,有限元和边界元方法也已成为分析复杂的振动问题和声场问题的有力工具,统计能量分析和能量流的概念等也使

难用严格方法处理的复杂噪声和振动问题有了解决的方法。计算技术的发展给噪声测量分析带来了巨大变化,快速傅里叶变换,振动方式分析,声强测量等都已有了现成设备,以电子计算机和双通道分析器为基础的通用测试设备的不断发展,使过去需要几天、几十天的测量分析工作现在可在几分钟内完成,因而过去不可能进行的工作现在可能了。声学测试设备和技术正经历着巨大的变化,由此还发展出新的控制技术,例如有源吸声、有源吸振等,从而使噪声的研究进一步加速,最终实现使人们生活在舒适优美的声学环境里。

附录 复数的应用

在声学中,声压、力、质点速度、体积速度等都是时间的函数;其分量则是正弦式时间函数。这些量的运算(比值、微分、积分等)涉及正弦式量的运算,这和电学中所遇到的情况完全相似,因此,在早期就把电学的一些概念和复数表示法引入声学,这样不仅使运算大为简化,而且表示结果也简单得多,因为只要求出一个正弦式量并且知道它与其它量的复数关系,则其它量就不必一一列出了。

1.1 时间函数 复数表示法的基础是

$$A \cos(\omega t + \theta) \equiv \operatorname{Re} \mathbf{A} e^{j\omega t}, \quad (1.1)$$

其中 A 为余弦函数的幅值, θ 为 $t = 0$ 时的相角, Re 表示“该式的实数部分”, $j = \sqrt{-1}$ 。

$$\mathbf{A} = A e^{j\theta} = A_{\operatorname{Re}} + j A_{\operatorname{Im}}, \quad (1.2)$$

A_{Re} 和 A_{Im} 分别为 $\mathbf{A}$ 的实数部分和虚数部分。因为

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta,$$

所以

$$A_{\operatorname{Re}} = A \cos \theta, \quad A_{\operatorname{Im}} = A \sin \theta,$$

A 是 $\mathbf{A}$ 的绝对值。表示一正弦式量时,常将符号 Re 略去,直接写成

$$a = A e^{j\omega t}. \quad (1.3)$$

a 为瞬时值, 该式的意义是 a 为余弦函数, 其幅值等于右式的绝对值, 其宗量(相角)为右式的指数, 瞬时值是右式的实数部分。而以复数 A 表示 a 的幅值时, 其绝对值为幅值, 其指数为初相角。

复数表示法可以简化计算, 例如, 设 a 代表速度, 则加速度为

$$\frac{da}{dt} = j\omega A e^{j\omega t} \equiv -\omega A \sin(\omega t + \theta), \quad (1.4)$$

而位移则为

$$\int a dt = \frac{A}{j\omega} e^{j\omega t} \equiv \theta \frac{A}{\omega} \sin(\omega t + \theta), \quad (1.5)$$

微分和积分变为乘和除, 可以直接写出。

1.2 时间函数的比值 在声学系统和振动系统中, 特别是在小信号情况下, 变量之间呈线性关系, 如一点的声压与另一点的声压, 声压与质点速度, 力与加速度等, 但相角可能不同, 这些量用复数表示比较方便, 同时可以引入电学中的阻抗、导纳等概念。

设有两个正弦式时间函数,

$$\begin{aligned} a &= A e^{j\omega t}, \quad A = A e^{j\theta}, \\ b &= B e^{j\omega t}, \quad B = B e^{j\phi}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

其复数之比

$$Z = \frac{A e^{j\omega t}}{B e^{j\omega t}} = \frac{A}{B} = \frac{A}{B} e^{j(\theta-\phi)} \quad (1.7)$$

代表幅值比和相角差, 实数部分和虚数部分都有意义。其中

$$\begin{aligned} |Z| e^{j(\theta-\phi)} &= \left| \frac{A}{B} \right| \cos(\theta - \phi) + j \left| \frac{A}{B} \right| \sin(\theta - \phi) \\ &= R + jX, \end{aligned} \quad (1.8)$$

实数部分为阻, 虚数部分为抗。

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (1.9)$$

R 代表 a 与 b 相位相同的部分与 b 的比, X 则代表 a 与 b 相位正交(相差 90°) 的部分与 b 的比。

声阻抗 在某一表面(或声源面)上的声压与通过这个表面的