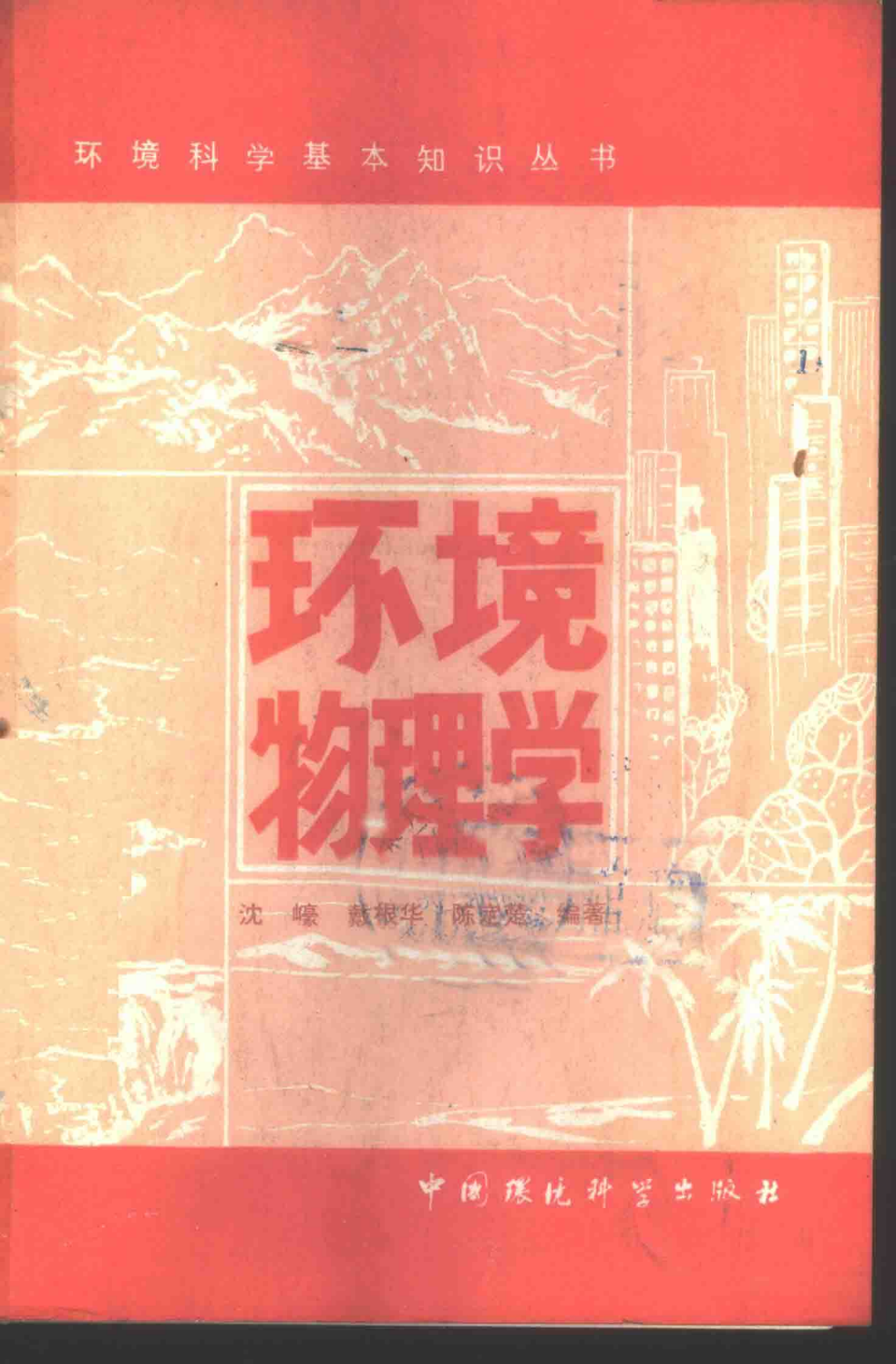


环境科学基本知识丛书



环境物理学

沈一豪 戴根华 陈定楚 编著

中国环境科学出版社

环境科学基本知识丛书

环 境 物 理 学

沈 曠 戴根华 陈定楚 编著

中国环境科学出版社

1 9 8 6

内 容 简 介

本书是《环境科学基本知识丛书》之一。内容包括环境物理学的各个分支：环境声学、环境振动学、环境光学、环境热学、环境电磁学等。全书深入浅出，插有100多幅图表，通俗易懂。

本书着重阐述了环境物理学与人类现代文明生活的关系，适合于中等文化程度的广大读者阅读。

环境科学基本知识丛书

环 境 物 理 学

沈 岷 戴根华 陈定楚 编著
责任编辑 南嘉谋

中国环境科学出版社 出版

北京右安门外大街201号

北京市朝阳区建外印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年6月第一版 开本：787×1092 1/32

1986年6月第一次印刷 印张：7⁹/₁₆

印数：0001—10,000 字数：169,000

统一书号：13239·0029

定价：1.70元

出版者的话

保护环境，造福人类，使广大人民群众以及子孙后代有一个良好的生息和工作环境，这是环境保护的根本目的。

为了提高全民族的环境意识，普及环境科学基本知识，本社组织环境科学方面的专家编写了一套《环境科学基本知识丛书》。这套丛书包括：环境化学、环境物理学、环境生物学、环境地学、环境工程学、环境医学六个分册。每个分册对各该学科的基础理论，基本内容和基本知识进行了比较全面的、系统的介绍和阐述。书中附有图表以加深对内容的了解，力求做到深入浅出。

本丛书可供环境保护系统中的中级技术管理人员和各级领导干部阅读，也可供从事环境保护工作的科技人员和大专院校的有关专业的师生参考。

环境科学是一门新兴的边缘学科，它的研究对象、任务、内容和学科体系等都在发展之中，还有许多问题尚待进一步研究和探讨。同时由于我们组织编写这套丛书的时间仓促，经验不足，难免存在某些缺点和错误，热忱地期望广大读者批评指正。

在组织编写这套丛书过程中，得到许多同志的大力支持与协助，谨致谢意。

中国环境科学出版社

一九八五年十月

前 言

环境物理学包含环境声学、环境振动学、环境光学、环境热学、环境电磁学等。其研究的目的是为人们创造一个适宜于生活和工作的物理环境。由于各学科发展的不平衡,环境物理学各个分支学科的内容相差甚为悬殊。因此以分支学科分章的内容非常不平衡。本书采用了章虚节实的处理方法;也就是说虽然按大类列出了章的名称,但各节的内容力求在维持全书系统性的同时,保持了相对的独立性,并使各节材料相对地保持平衡。因此也可以供不同要求的读者直接选择其中一节来阅读。

防治物理环境污染是四化建设中需要认真解决的问题。本书就是为了介绍这方面的基本科学知识而编写的。内容的取舍是以物理环境的污染和防治以及创造舒适的物理环境为基点;讨论主要局限于小环境,即人们周围的物理环境。但是全书力求系统地包含环境物理学的全部基础内容和最新成就。所以本书不但是一本新技术的科普书,而且还是一本浓缩的知识性手册。读者对象是环境保护系统中的中级技术管理人员和各级领导干部,也可以供从事环境保护工作的科技人员和大专院校的有关专业的师生参考。

本书中第一章,第二章(一)、(二)节,第(七)一(十五)节,第三章,第七章是由沈嶸同志写的;第二章(三)、(六)节,第四章,第五章,第六章是由戴根华同志写的;第二章(四)、(五)、(十六)节是由陈定楚同志写的。全书由沈嶸同志对名词术语和符号作了统一。限于编著者的水平,本书中难免会有些缺点和错误,希望读者批评指正。

沈 嶸

1985年2月 北京

目 录

一 环境物理学概述	(1)
(一) 环境物理学的产生与发展	(2)
(二) 我们周围的物理环境	(4)
(三) 噪声公害	(7)
二 环境声学	(8)
(一) 噪声的基本特性	(9)
(二) 噪声评价	(23)
(三) 噪声控制原理和基本技术	(32)
(四) 工业噪声	(52)
(五) 交通噪声	(62)
(六) 气流噪声	(85)
(七) 飞机和机场噪声	(98)
(八) 噪声对人的影响	(114)
(九) 强噪声的效应	(122)
(十) 次声的生物效应	(132)
(十一) 听力保护	(135)
(十二) 厅堂的音质	(144)
(十三) 电子化音乐厅	(152)
(十四) 家庭放声	(160)
(十五) 噪声的测量和分析	(167)
(十六) 噪声环境的标准与立法	(181)
三 环境振动学	(194)
(一) 振动的基本特性	(195)
(二) 设备和房屋的振动	(198)
(三) 振动对人体的影响和评价	(198)
(四) 振动的测量	(202)

(五) 振动的控制和防护.....	(206)
四 环境光学.....	(209)
(一) 天然光环境和人工光环境.....	(209)
(二) 照度和日照时间要求.....	(213)
(三) 光污染及其防治.....	(215)
五 环境热学.....	(217)
(一) 温室效应.....	(217)
(二) 热岛效应.....	(220)
(三) 室内热环境.....	(221)
六 环境电磁学.....	(224)
(一) 天然电磁辐射和人工电磁辐射.....	(224)
(二) 微波辐射对人的危害与安全卫生标准.....	(225)
(三) 电磁辐射屏蔽技术和个人防护.....	(227)
七 环境物理学的进展和展望.....	(231)
(一) 环境声学 and 振动学的进展.....	(231)
(二) 环境光学、热学和电磁学的展望.....	(235)

一 环境物理学概述

人类生活的环境可以分成自然环境和社会环境。在阶级社会中，每一个人都在一定的阶级地位中生活，这是人们生活的社会环境。自然环境是指人类周围的自然因素的总和，它包括大气、水、土壤、生物和各种矿物资源等。它是人类赖以生存和发展的物质基础。随着社会的进展，人类控制和支配自然界的能力也不断改进。在与恶劣的自然环境作斗争的过程中，人们逐步认识了自然的规律，从而采取措施，使自然环境不断改善。当然，自然环境是不能离开社会环境的，而且人类的生产活动会对自然环境产生影响。二十世纪五十年代以来，随着资本主义的发展，自然环境的污染日益严重。物理环境是自然环境的一部份。地球上的生命生活在地球的表面层；这里有空气、水和土壤等能够维持生命。人们把这个生物有机体生存其中的地球表面层称为生物圈。生物圈是地球表面全部有机体以及与其发生相互作用的物理环境的总称。这里所谓物理环境是指大环境。而与人们生活和从事生产活动密切相关的物理环境则称为小环境。本书内容只涉及小环境。

人们生存于它所适应的物理环境中，并且影响着这种物理环境。研究小范围物理环境同人类相互作用的科学称为环境物理学，它是环境科学的一个分支。环境物理学研究各种物理环境对人类的危害和防治以及有关的控制措施。迄今为止，环境物理学还没有形成完整的科学体系。应该指出，由于环境科学的特点，环境物理学不但研究消除污染，而且也研究适宜于人们生活和工作的声、振动、光、热和电磁等物理条

件，并且还涉及环境社会学。

环境物理学可以分成环境声学、环境振动学、环境光学、环境热学和环境电磁学等。因为环境物理学正在形成中，总的说来各个分支学科的发展是不平衡的。目前只有环境声学比较成熟。环境声学研究人们需要的声音和不需要的声音(即噪声)以改善人们的声环境，特别是研究噪声的产生、传播、评价和控制以及声环境对人类生活和生产活动的影响和危害等。环境振动学研究有关振动的产生、传播、测量、评价以及隔振、防振等措施以消除其危害。环境光学研究适宜于人的光线及其变动范围，控制和改善人类需要的光环境以保护视觉功能，消除光污染的危害。环境热学研究热污染对自然环境的破坏，对人类和生物的影响，研究适宜于人类的热环境，揭示热环境对人类活动的相互关系，控制热污染，为人类创造一个舒适的热环境。环境电磁学研究电磁辐射和辐射控制技术，研究电磁场对通讯、广播的干扰，研究电磁波对光环境的污染及其造成的危害。

(一) 环境物理学的产生与发展

环境污染的产生和发展同人类的生产活动和社会制度有密切关系。人们改造自然，使人类的生产和生活条件不断得到改善；但另一方面由于不合理的社会制度以及由于人们认识事物能力和科学技术水平的限制，也带来了环境污染。早期的环境污染同现在的情况在性质上、程度上是不同的。在生产力不发达的社会中，环境污染的范围和程度都比较小，还没有形成社会公害。但是随着资本主义工业的发展，环境污染日益严重。资本主义生产方式造成的环境污染

威胁着千百万劳动人民的生命和健康。为了保护 和 改善 环境，许多学科相互渗透，形成一门新兴的科学，即 环境 科学。环境物理学是环境科学的一个分支。应该注意，环境污染和防治不但是一个科学和经济问题，而且是一个普遍的社会政治问题。

二十世纪初期，人们开始研究声、光、热等对人类生活和生产活动的影响，并逐渐形成在建筑物内部为人类创造适宜物理环境的学科——建筑物理学。二十世纪五十年代以来，由于物理性污染日益严重，不但在建筑物内部而且在建筑物外部对人们的危害越来越严重，促进了物理学各个分支学科开展对物理环境的研究。环境物理学就是在各个分支学科分散研究并取得一定成果的基础上逐渐汇集起来而形成的一个边缘学科。其中环境声学比较成熟。研究房间音质的建筑声学是近代声学最早发展起来的一个分支学科。而研究减少噪声干扰的噪声和振动控制技术是由于工业和交通运输业发展而建立起来的最新分支学科。二十世纪五十年代以来，许多工业发达国家在工农业发展过程中使人们生活的物理环境遭受严重污染，危害人民健康，成为世界各国需要解决的重大问题之一。这些国家的政府开始重视污染处理，采取环境管理和法律的措施，组织科学研究。环境物理学就是在这样的社会背景下形成和发展的。七十年代我国的环境保护工作也逐渐开展起来，在发展生产的同时注意职工 安全 和健康，认真解决公害问题。要求在建设四个现代化的同时注意环境保护。

环境物理学的基础知识是声学，机械振动学、光学、热学、电磁学，但又不纯粹是物理学问题，它还涉及生理学、心理学、音乐、通讯、建筑学、生物学、医学、社会学、经

济学和管理学等。

(二) 我们周围的物理环境

人类生活在它所适应的物理环境中。物理环境的声、光、热、电等是人类必须的，在环境中是永远存在的。它们本身对人无害，只是在环境中的含量过高或过低时才造成污染。物理性污染和化学性、生物性污染相比有两个特点。第一，物理性污染是局部性的，第二，物理性污染在环境中不会有残剩的物质存在，一旦污染源消除以后，物理性污染也即消失。

物理环境可以分为天然环境和人工环境。火山爆发、地震、台风以及雷电等自然现象会产生振动和噪声，在局部区域内形成自然声环境和振动环境。此外，火山爆发、太阳黑子活动引起的磁暴以及雷电等现象还产生严重的电磁干扰。天然光环境的光源是太阳。地球上的光环境是由直射日光和天空扩散光形成的。由于气象因素和大气污染程度的差异，各地区的光环境的特性也不同。太阳还是环境的天然热源，地球上天然热环境决定于接受太阳辐射的状况，也与大气和地表面之间的热交换有关。上述一些自然现象都会干扰和影响人们的生活和工作。但是环境物理学主要研究人工物理环境，各种物理环境具有不同的特点和影响，简单叙述如下。

1 声环境

声环境要求：需要的声音（讲话和音乐等）能高度保真，不失本来面目；而不需要的声音（噪声）不致干扰人们工作、学习和休息。城市噪声形成人工噪声环境。噪声源主要

是交通噪声、工业噪声、建筑施工噪声、社会生活噪声等。近年来，城市噪声对居民的干扰与危害日益严重，已经成为城市环境的公害。合理的城市规划和城市噪声管理法令对创造一个安静的声环境是很重要的。至于音乐厅、剧院等地方不但要求安静而且要有良好的音质。

2 振动环境

人们的生活中，振动是不可避免的。例如晕车、晕船、晕机等就是由于低频振动引起的。物体作机械运动时，匀速运动对人体没有影响。例如，地球基本上是处于均匀运动中。人类生存在地球上并不感到地球的运动，也没有任何不舒适的反应。但是非均匀的运动对人是有影响的。而长期处在强振动环境中，则可能会引起振动病。在人们从事生产活动中，根据振动作用于人体的部位，可以分为全身振动和局部振动。它们对人们的影响是不同的。对于振动环境，要求不干扰人们的生活和工作以及不危害人体的健康。

3 光环境

白炽灯的发明，创造了现代人工光环境。一个世纪以来，电光源的迅速发展和普及，使人工光环境较天然光环境更容易控制，能够满足人们的各种需要，而且稳定可靠。

人是用眼晴来看东西的，但是没有光就不存在视觉功能。人对光的适应能力很强，人眼的瞳孔可以随环境的明暗进行调节。但是长期在弱光下看东西，目力会受到损伤。反之，在强光下会对眼睛造成永久性伤害。因此要求有适合于视觉功能的光环境。

4 热环境

适合于人类生活的温度范围是很窄的。对于人体不适应的剧烈寒暑变化的天然环境，人类创造了房屋、火炉以及现代空调系统等设施以防御并缓和外界气候变化的影响，并获得生存所必须的人工热环境。

人处在任何环境中，都要不停地与环境进行热交换。人体内部产生的热量和向环境散失的热量要保持平衡。由于人体热调节系统的功能很强，所以适应的环境冷热变化范围相当宽，但是人们感觉舒适的范围却窄得多。人体既不感觉冷，也不感觉热的环境温度大约为15—25℃。

5 电磁环境

在人们生活的空间里到处都有电磁场，它作用于人体和电子设备。电磁场对于通讯、广播、电视是必须的。但是不需要的电磁辐射会干扰电子设备的正常工作并危害人体。由于无线电广播、电视以及微波技术的发展，射频设备的功率不断增大，给环境带来污染和危害。人工电磁污染源有脉冲放电、工频交变电磁场、射频电磁辐射等。鉴于电磁辐射有可能直接影响人体健康，一些国家从五十年代起开始规定了高频电磁辐射的安全卫生标准和微波辐射安全标准以限制电磁环境的污染。

物理环境的污染原则上能够利用技术手段进行控制以创造适宜于人们的生活和从事生产活动的环境。但是采取各种控制技术要涉及经济问题、管理问题和立法问题；所以对物理环境的防治要在允许经济条件下采取综合性最佳防治方案。

(三) 噪声公害

噪声是不需要的声音。噪声污染同水和大气污染相比是局部性的和多发性的。但是噪声源很普遍，影响面很广，例如飞机噪声、交通噪声、车间噪声、建筑工地噪声等。在资本主义社会中，一直到七十年代城市噪声控制仍未能解决。资本主义工业的畸形发展，城市人口的高度集中，使城市交通运输复杂化；交通噪声加剧，妨碍了居民工作和休息。在工厂车间内，对危害工人健康的强噪声不采取控制措施，就会使数千万工人面临造成听力损失的危险。由于噪声越来越严重，影响的面非常广，几乎没有一个城市居民不受噪声干扰或危害。汽车、飞机和机器的噪声已被认为是城市的第三大公害。据日本公害诉讼案件的统计，噪声公害案件名列前茅。根据美国的调查，在美国大约有8000万人受到噪声有害的影响，4000万人面临造成听力损失的危险。在居民区中，大约有1300万人居住在70dB以上的地区，有一亿居民处在55dB以上的地区。在受到噪声公害的地区，不但受强噪声的危害，而且振动和排出有害气体的污染也是非常严重的。

防治噪声公害的措施归纳起来有下述数条：（1）开展环境声学的基础研究和发展控制技术；（2）制定比较完善的环境保护条例和标准；（3）实行污染者承担责任的的原则；（4）建立环境保护管理机构；（5）增加防治噪声污染的投资。

二 环境声学

环境声学是环境物理学的一个分支。由于它和人们的工作、生活有紧密联系，因此很早就受到重视，并且发展较快。迄今为止，控制技术也较成熟。可以这样说，任何音质和噪声问题原则上都是可以解决的。重要的是，必须在容许经济条件下认真地对待。环境声学研究对人们需要的声环境和声环境与人类活动的相互作用。主要内容包含声音的产生、传播和接收，对人们的心理和生理效应，测试和评价，改善和控制声环境的技术，噪声控制标准和管理措施以及厅堂音质等。

人们生活在周围有各种声波的环境中，其中有的声波是用来传递信息和进行社会交际活动的，它是人们所需要的。有的声波则会影响人们的工作和休息，甚至危害人们的健康，这就是不需要的噪声。为了改善声环境，不但要求安静些，改善环境噪声污染，而且要创造适合于人们生活和活动的声环境，例如：安静的休息环境，清晰的谈话环境，欣赏音乐的声环境等。

早期，人们主要研究厅堂的音质。五十年代以后，随着工业、交通运输业的发展，噪声源越来越多，噪声也越来越强，使人们的生活环境受到污染。因此，不但要求改善房间的音质，而且也要求在建筑物内部和外部的一定范围内降低噪声，防止噪声对人们的危害。因为噪声控制往往离不开行政措施，所以环境声学除了技术问题以外，还涉及法令、标准等。广义来说，环境声学是一门与法律、经济、企业管理有

关的综合性学科。这里讨论的重点是它的自然科学方面的内容，下面分几个相对独立的专题来叙述并系统地介绍环境声学的全部基本知识和控制技术。

(一) 噪声的基本特性

声波是和振动紧密联系着的。当物体振动时激励它周围的空气质点振动。由于空气具有弹性，在质点的相互作用下，四周的空气就产生交替的压缩和膨胀过程并且逐渐向外传播而形成声波：它是空气中传播的压强、应力、质点位移、质点速度的变化过程。图 2-1 给出敲击音叉时产生声波的一个例子。声波也指作用到人耳所引起的感觉；为了有别于空气中的声波，通常把它更明确地称为声音。人耳能否听到声音，决定于声波的频率和强度。可听声的频率范围大约为 $20-20000\text{Hz}$ ，其强度范围大约为 $0-130\text{dB}$ 。实际上，声波的频率更为宽广，它从 10^{-4}Hz 一直延伸到 10^{12}Hz 。按照频率范围，声波可以区分为次声 ($10^{-4}-20\text{Hz}$)，可听声 ($20-2 \times 10^4\text{Hz}$)，超声 ($2 \times 10^4-5 \times 10^8\text{Hz}$) 和特超声

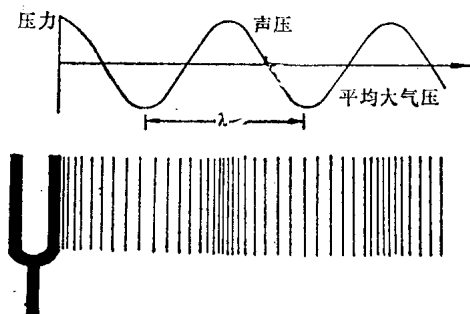


图 2-1 敲击音叉产生的声波(下)和声波的压强变化(上)

($5 \times 10^3 - 10^{12} \text{Hz}$)。本书只涉及与环境污染有关的可听声和次声。

有声波传播的空间称为声场。通常用声压等量来描述声场的特性。声场可以分为自由声场和混响声场。自由声场是指在边界影响可以忽略的均匀媒质中的声场。当声源在室外空旷处发声时就产生这种近似的自由声场。但是，如果声源在房间内发声，墙、天花板和地面对声波的反射是不可避免的。室内空间各点的声能密度是来自各方向的声波叠加的结果。这种反射声占优势并且声能均匀分布的区域称为混响声场。这种声场形成人们工作和生活的声环境。

1 声 波

声波可以区分为周期性声波和非周期性声波两类。最简单的周期性声波是纯音，它是由简谐振动产生的频率恒定并且幅度按正弦形变化的波。复杂声是由一些频率不同的声波组成；对于周期性复杂声波，其谐波的频率是基频的整数倍。用傅里叶变换方法，可以把任意周期性声波分解成一系列谐波。当声波作简谐运动时，其物理量随时间作正弦形或余弦形规律变化，如图 2-1 中上面所画的压强变化曲线。它可以用下述函数描述：

$$a(t) = A \sin(\omega t + \theta) \quad (2.1)$$

式中 A 是幅值， ω 是角频率， θ 是初始相位。

声波的幅值是振动的物理量偏离平衡位置的最大值。函数值每重复一次所需自变量的最小增量称为周期。如果变量是时间，它就是振动一周所需的时间。周期的倒数是频率，它的单位是赫，或每秒周数。角频率等于

$$\omega = 2\pi f \quad (2.2)$$