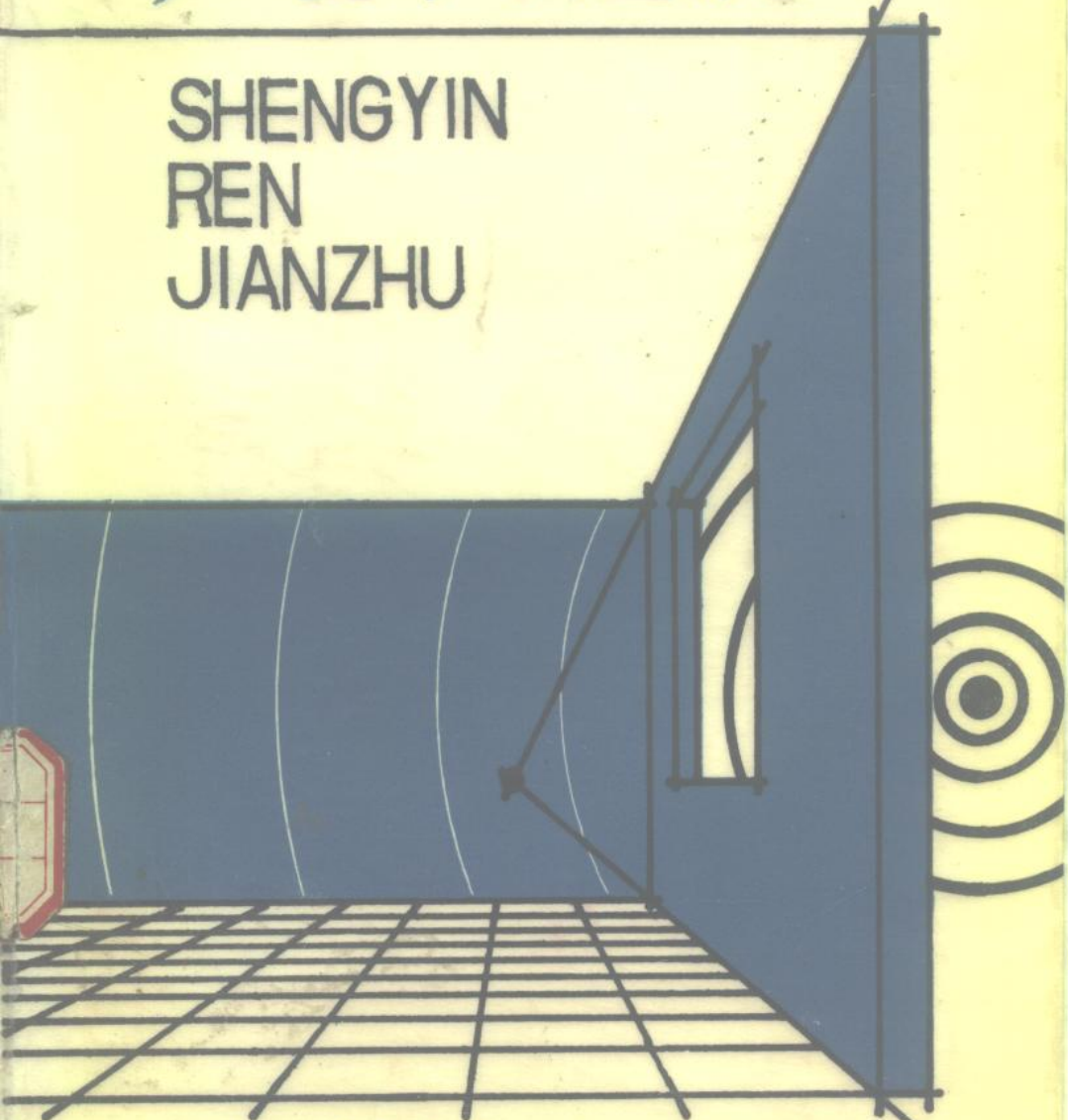


L. H. 肖丁尼斯基 著
林达悃 李崇理 译

声音·人·建筑

SHENGYIN
REN
JIANZHU



中国建筑工业出版社

71.54

935

D662/04

声音 · 人 · 建筑

L.H.肖丁尼斯基 著

林达悃 李崇理 译

中国建筑工业出版社

本书是一本有关建筑和城市环境噪声控制的基础理论读物，作者以人和声音的关系为主题，通过大量的图表和数据，在系统地讨论了声音产生和传播的各种物理特性之后，从生理声学和心理声学的观点，阐明噪声对人的刺激和影响，然后通过实例，介绍了住宅、学校等各类建筑和城市小区的环境噪声控制设计方案。全书论述比较系统、严密，而又尽量避免高深的数学推导，在文字叙述上则比较生动、风趣，因而很适合于建筑设计、城市规划 and 环境保护科技人员和管理干部阅读参考。

L. H. Schaudinischky
Sound, Man and Building
Applied Science Publishers Ltd
London—1976

* * *

声音·人·建筑
林达悃 李崇理 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张，12 字数，322千字
1985年2月第一版 1985年2月第一次印刷
印数：1—11,500册 定价：3.00元
统一书号：15040·4722

译 序

这是英国建筑科学丛书中的一册，主要是供建筑师、噪声控制人员及有关专业工作者阅读、参考的。书中用了大量篇幅介绍有关听觉的生理与心理过程，尽管主要是为噪声控制提供依据，但对从事音频方面工作的其它专业人员，也是有一定参考价值的。

虽然本书避免采用高深而复杂的数学推导，但在声学基础的阐述方面，还是给出了一般的数学运算，而且步骤仔细，是大多数读者易于接受的。这对于理解有关基础知识无疑是有益的。当然，书中所列举的实例，主要应理解其原理，切忌生搬硬套，而必须根据我国具体情况加以应用，以达到洋为中用的目的。

原著在编写及排印方面有许多失误，译者尽可能加以更正。除明显错误外，一般都加了译注说明，其目的是避免由于译者的错误而贻误读者，因此，凡遇有这种情况，最好查阅原文及有关参考文献。

本书在翻译过程中始终得到中国科学院学部委员、南京大学物理系主任兼声学所所长、中国声学学会付理事长，译者之一的老师魏荣爵教授的鼓励与关心，在此谨表衷心感谢！

由于译者学识浅薄，水平不高，错误在所难免，敬请指教。

译 者

1983.8

前 言

嘴和耳朵是人的两个器官，正因为有了它们，才使得虽有生命却不会思维的人，从单纯的存在转化为在这个巨大的地球上占有一定地位的人。在我们这个地球上，充满了人类的喜悦与悲伤，它们纵横交错、互相交织在一起，使地球显得那么沉重，使希腊巨人阿特拉斯泰坦（the Titan Atlas）压弯了腰。面对这样富有生命的现实，如果没有语言，没有音乐，那么，成群的互不相识、互不理解、熙熙攘攘的太古人，又怎能形成社会，形成由许多天真活泼、互相爱慕、互相帮助的男人与女人所组成的社会呢？如果世界上没有欢乐的孩子们的嬉笑，没有丧失亲人时的哀号，没有鸟儿的歌唱，而在田野和灌木丛中游荡的陆地动物，也默默不响，这样的世界又怎能想象呢？谁能置身于森林中，对如同风琴奏乐的风声飒飒、溪流潺潺和如同暴风雨掀起的海涛怒吼充耳不闻，而在沉闷的酷夏日子里的一声沉雷，岂不使人们从可怕的寂静中得到解脱？

由于文明以及与文明相协调的技术的扩展，大大地增强了大自然的声音——产生了大量新的声源，从而给予人类的生活近乎爆炸性的冲击。这些新声源的声波，强制地送入我们的耳朵，而丝毫不顾及我们的意愿，常常使我们难以忍受。这些“新型”的声音形成了强大的、粗犷的混合噪声，这种噪声的骚扰结果，在我们的脑海中留下了混乱的印象。如果噪声仅仅是使我们厌烦，那还可以忍受，但是，更糟糕的是，它剥夺了我们的睡眠，以致于使我们第二天清晨因焦躁愤满的情绪而影响工作质量。如果人们一直或者经常受到噪声的严重干扰，就会产生无法弥补的损害，并导致失聪。

在我们的日常生活中，与噪声作斗争，不管是防之于噪声源地，或者在其接受端，就成了非常迫切的任务之一。如果要想取得这场斗争的胜利，不但要具备声场的物理技术方面的知识，而且还要熟悉它在生理上对现代社会的经济与法律方面的影响，以及它在以后几十年中可能取得的发展。要想承担这个宏伟的任务，不但在涉及应用声学方面的所有领域要有多年的丰富经验，要具备这种基本的财富，还要在过去有过丰富的生活经验与文化修养，也只有这种人，才能将客观认识的宝库与坚强有益的人性结合起来。

我的朋友、也是我的同事里奥·肖丁尼斯基（Leo Schaudinischky）就是这样的一位作者，他具有这一切品质，在编写这本书中也能展示出他的这种才干。希望读者能够对他的这种精神有一种亲切的感受。他在这本书中虽然没有明显地展示出这种才干，但在写这本书时，则时时遵循这种精神，在字里行间处处均有所流露。让我们同心协力，为一个安静的未来而共同努力，使我们在这个广阔的地球上可以听到人类的声音，能够理解贝多芬第九交响乐传来的信息。

弗朗斯·阿仁道夫
(Franz Ollendorff)

序 言

关于技术声学方面已经有好些优秀的著作，其中有的已成为经典著作。此外，近几年来，还出版了一些关于建筑声学与噪声控制方面的书籍。这些书都是用来帮助学生了解声防护问题的，同时还用来协助年轻的声学家处理其日常工作实践。因此，本书作者尽力避免老酒新瓶，而与其致力于达到上述两个目的，不如决心致力于现时代更重要的目标：一是说服读者，使他们坚信，在工程的主导思想与设计计划中，应当以人为中心；二是要求人道主义与道德观能消除我们这个技术时代对于年轻一代所产生的不良影响，使他们能够生活在一个比我们更为美好的世界里。这个目标，现在显得更为重要。

在我着手写这本书的时候，我的第一个目标已被证实是正确的。生态学和环境科学已经广泛深入地渗透到几乎所有技术领域。这个事实本身就证实了我的第一个观点。至于第二个观点，在国际教育向着既定目标前进的过程中，已经可以看到若干这样的迹象。

了解有关基础物理声学的知识，对于寻求解决声防护工作中所遇到的工程问题来说，是非常重要的。因此，本书有关这类问题的章节就比通常多一些。书中所有公式都有完整的一步一步的推导，并尽可能在数学方面简单一些，使一般不习惯于高深分析的建筑师能够理解。在全书中自始至终均采用国际单位制。

大约用一章的篇幅比较详细地介绍了声学测量中最为重要的仪器及其实际应用，但是本书的主要部分却是用来阐述作为接收需要的或不需要的声音的人耳内部的现象。

本书详细论述了人对声音刺激的反应，特别是在高声强时的

情况。了解有关这类知识，对于理解声防护以及选择最有效的工程措施是不可缺少的。

最后一章概括地叙述了前几章所阐明的生理与心理方面的观点，然后论述了一个越来越显得重要的问题：如何在非常吵闹的地区，例如在公路旁，或者在机场附近建立住宅区和城市？在这一部分中，作者发挥了一些不落陈套的新观点和原则，其中包括建设公寓住宅、住房、学校和医院的最佳设计及施工方案。

除此而外，还用了一小部分章节论述了过去未谈到的几个课题。例如：电动汽车，由于它实际上没有噪声，不会污染空气，能够大大地节约能源，因此是解决住宅区机动车辆问题的一个绝妙方案；另外还对原子能发电站的噪声控制问题，以及非自然声场对动物的影响问题作了若干论述。

在列举参考文献方面，作者尽可能等量地列出英语国家的出版物和欧洲（主要是德国）的文献。

本书是在一个亚热带地区写成的，所以着重论述了这个地区的特征，因而也可以说是在这里工作了二十多年的实践经验的总结。

最后，本人希望在学习了这本书之后，能在防治噪声方面取得一些进展，为现在饱受噪声危害的人们谋求福利。

L. H. 肖丁尼斯基

目 录

译序

前言

序言

第一章 物理基础简介	1
1.1 弹性介质中简谐运动的振荡过程	1
1.2 质量—弹簧系统	1
1.3 周期与频率	3
1.4 例：钟表弹簧摆固有频率的计算	6
1.5 次听、可听声与超声	7
1.6 不同声音现象的线状谱	8
1.7 音乐和语言的频率范围	10
1.8 技术噪声与自然噪声	11
1.9 声波的传播	12
1.10 测量声速的简史	13
1.11 声波在空气中的传播	14
1.12 质点的运动	15
1.13 声波传播的速度	16
1.14 固体中的声速	18
1.15 气体（空气）中的声速	21
1.16 液体中的声速	25
1.17 同时存在的两个相互独立的声振荡（声波的干涉）	26
1.18 拍	27
1.19 驻波	28
1.20 多普勒效应	32
1.21 声波的反射（惠更斯原理）	35
1.22 声波在曲面上的反射	39

1.23	圆柱形边界面的扇形反射	40
1.24	圆柱体椭圆弧面的声反射	41
1.25	抛物面的声反射	42
1.26	双曲线形弧面的声反射	43
1.27	凸面的声反射	43
1.28	声波的折射(斯涅耳定律)	44
1.29	在自由声场中, 大气温度对声波传播的影响	46
1.30	声传播的风向效应	48
1.31	风与温度梯度对声传播的综合影响	50
1.32	关于建筑声学的几点结论	51
1.33	障碍物对声波的衍射	51
1.34	声源	54
1.35	点声源	55
1.36	声功率 P_s	56
1.37	声强度 I	57
1.38	声阻抗率 Z_s	58
1.39	声能密度 w_s	58
1.40	线声源	60
1.41	大面积的面声源	62
1.42	立体(三维)声源	64
1.43	声传播的能量损失	64
第二章 耳朵——声波换能器		66
2.1	正常人耳的物理特性	66
2.1.1	外耳	66
2.1.2	中耳	78
2.1.3	内耳	93
2.2	人的听觉系统的物理特性	116
2.2.1	频率特性与老年性耳聋	116
2.2.2	动态范围	117
2.3	掩蔽效应	137
2.3.1	纯音对纯音的掩蔽	137
2.3.2	热频段噪声对纯音的掩蔽	139
2.3.3	谱级	140

2.3.4	临界带宽	141
2.3.5	声强的密度级	143
2.3.6	频率群	144
2.4	声强的鉴别能力	149
2.4.1	恰可辨认的声强差(jnd)	149
2.4.2	用调幅法确定jnd	150
2.4.3	用调幅频带噪声确定jnd	153
2.5	人耳对频率的分辨本领	154
2.5.1	不需要的调频	154
2.5.2	用来确定频率jnd的努特生实验	155
2.5.3	用调频法确定音调的jnd	156
2.5.4	恰可辨认的频率间隔数	158
2.6	音调的主观感觉	158
2.6.1	和谐与不和谐	158
2.6.2	音调与频率	159
2.6.3	基底膜的自然标度	162
第三章	生理声学	164
3.1	引言	164
3.2	噪声及其感觉	166
3.2.1	概述	166
3.2.2	有用声与干扰声	167
3.2.3	寂静	167
3.2.4	影响声音对人的主观干扰程度的因素	168
3.2.5	噪声与睡眠	186
3.2.6	莱曼的“噪声品级”	204
3.2.7	人类的防噪措施	225
第四章	声学测量仪器及其应用	232
4.1	概述	232
4.2	移动式声级计	232
4.3	便携式精密声级计	233
4.3.1	传声器	235
4.3.2	传声器的防风罩	236
4.3.3	交变电压的测定	239

4.3.4	加权网络	241
4.3.5	指示仪表(表头)的动态特性	245
4.3.6	脉冲声级计	246
4.4	室外测量	247
4.5	背景噪声级	248
4.6	建筑物内部的干扰噪声源	253
4.7	实验室仪器	254
4.8	复音的频率分析	255
4.8.1	中心频率	256
4.8.2	窄带分析	257
4.8.3	“有源”频率分析	259
4.8.4	“无源”频率分析	259
4.8.5	有源频率分析的应用	260
4.8.6	无源频率分析的应用	261
4.8.7	心理声学 & 生理声学	261
4.8.8	两种不同的无源分析方法	265
4.8.9	实时分析——采用第二种方法的程序	267
4.8.10	现场频谱分析	269
4.8.11	实验室内的频谱分析	270
4.8.12	录音磁带的分析	271
4.9	声级无规变化的声音的测量	273
4.9.1	引言	273
4.9.2	例1	277
4.9.3	例2	281
4.9.4	几率图	281
4.9.5	ISO R.1996推荐标准	285
4.10	确定宽带噪声响度的专用方法	286
4.10.1	斯蒂文斯法	286
4.10.2	茨维克法	288
4.10.3	测量与加权技术	288
第五章	建筑	290
5.1	引言	290
5.2	公寓	290

5.2.1	在住宅中的人	291
5.3	来自户外的噪声	293
5.4	设计与施工原则	294
5.5	市郊小区与城区	300
5.5.1	市郊小区	300
5.5.2	市郊小区与环境的美化	302
5.5.3	核心建筑	303
5.5.4	市郊小区的边缘地带	304
5.5.5	由居民区或高层建筑组成的市郊小区	309
5.5.6	城市	309
5.5.7	居住在机场附近的人	310
5.5.8	学校建筑中的声学问题	335
5.5.9	声屏蔽墙与声屏蔽建筑	341
5.5.10	机器声场中的动物	346
5.5.11	市内机动车	348
5.5.12	核电站的声学问题	353
5.5.13	备用电源的噪声	355
5.5.14	装有门、窗的隔墙或外墙总的平均传声损失的计算 方法	359
附录	声学史简介	362
参考文献	364

第一章 物理基础简介

1.1 弹性介质中简谐运动的振荡过程

声学是一门研究声音理论的科学。声音主要是在某种弹性介质中的一种振荡过程。介质的基本类型有三种：（a）气体，通常指的是空气（空气传声）；（b）液体，特别是水（水传声）；（c）固体，比如混凝土、砖、金属、木材等等（固体传声）。在最后一类介质中，我们要特别提到的是骨，因为它在生物声学中具有重要地位（声音的骨传导）。

振荡可以这样定义：介质质点在其平衡位置附近随时间进行周期地往复运动或来回运动。这种运动的最简单形式，就称为简谐运动。作为一个例子，可以采用下述方法来获得简谐运动。

1.2 质量—弹簧系统

如图1-1所示，把一个金属小球悬挂在一根柔软的螺旋弹簧的下端。静止时，此小球处于其静态平衡位置 O 点上，如果我们用一个大小为 F 的力，把小球沿 y 方向（正向）垂直向下拉到 A 点，从而使弹簧伸长，然后在 A 点处再把小球突然放掉，那么，整个“小球—弹簧”系统就在 O 点附近开始振动。小球的位移 ξ 将随着时间的增长而减小，直到最后重新静止在静态平衡位置 O 点为止。

在上述系统中，与振动有关的物理量是：小球的质量 m ；弹簧常数，或称弹簧劲度 C （弹簧的质量忽略不计）；小球的静止位置，或小球的静态平衡位置 O ；表明小球相对于静止位置 O 、

沿着正向的极限位置 A ，小球从它的起始位置沿正向所拉长的最大位移 ξ_0 ($\xi_0 = OA$)；小球在某一时刻 t 的位移 ξ ，表明小球相对于它的静止位置 O 、沿着负向的极限位置 A_1 。

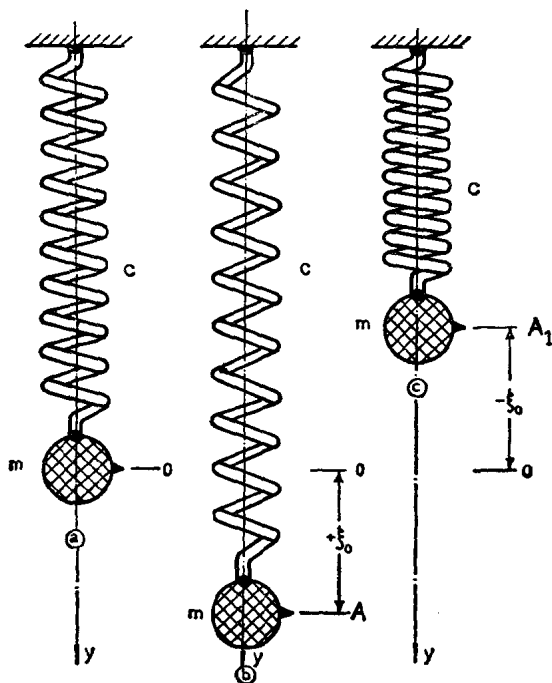


图 1-1 由螺旋形的弹簧与悬挂着金属球的质量组成的机械振荡系统

仔细地观察处于振荡过程中的上述系统，我们可以发现，在把小球放掉之后，小球首先朝着 O 点垂直地向上运动，然后通过 O 点，最后到达上面的极限位置 A_1 。在到达 A_1 点之后，一个类似的运动过程就再度出现，只不过运动的方向相反罢了。我们把振荡过程中的相同状态，称为振荡的同相位，例如上面的极限位移 ($-\xi_0$)，或下面的极限位移 ($+\xi_0$)。如果我们对某一确定的振荡相位再次出现所经过的时间进行反复测定（比如，用一停

表来进行这种测量)，最后，我们可以发现， T 是不变的。因此，对于一个确定的质量—弹簧系统而言， T 是一个恒定的特征量。同一简单的实验，还进一步表明， T 与小球的起始位移的大小无关。

我们所观察的质量—弹簧系统的振荡，是由于外力而引起的对某一确定的平衡状态的扰动。一般地说，这种叙述对于任何形式的振荡，都是适用的。换一句话说，如果只给系统以一次策动力，那么，我们可以看到，最大位移 ξ 。（称为振幅）的大小就将逐渐减小。我们把这种形式的振荡叫做阻尼振荡（图1-2）。阻尼振荡的阻尼或衰减的大小，主要是由于小球与周围空气之间的摩擦而引起的，它使某一确定过程内的弹簧能量逐渐消耗掉。相反，如果我们每隔一定的时间间隔，给质量—弹簧系统以一个恒定的策动力，那么，振荡的振幅就不会衰减（图1-3），因而振荡就可以一直持续下去。

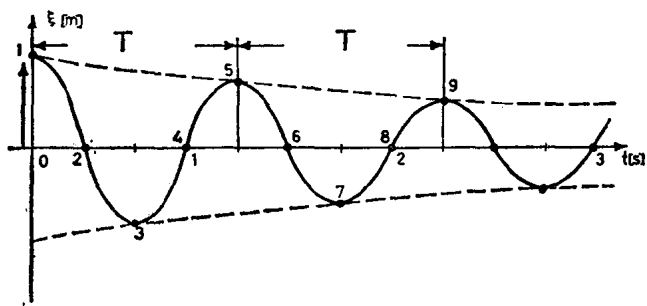


图 1-2 阻尼振荡——位移 ξ 的振幅随时间 t 的增加而减小（对于周期为 T 的整个振荡而言，1, 5, 9……各点是同相位的）

1.3 周期与频率

现在让我们再回到图1-1上来。从图中我们可以看到，如果小球连续两次到达相同的状态（0点除外），那它就必须经过以下过程：（比方说）上面的最大位置 A_1 ，零，下面的最大位置 A_2 ，

零；上面的最大位置 A_i 。

用这样方式描述的振荡，才是一个完整的“全过程”。这种过程所需要的时间，我们称为一个周期 T （图1-2与图1-3）。

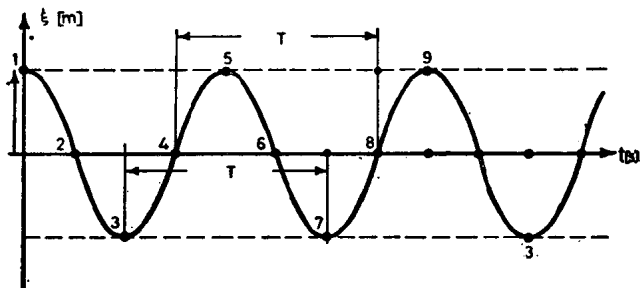


图 1-3 无阻尼的振荡——其振幅 ξ 保持不变，而与时间 t 的长短无关（完成一次振荡的周期为 T ）

如果我们把 T 定为 1 秒（比如，当质量—弹簧系统就是一个小挂钟的钟摆时），那么，就是每秒钟振荡一次。当然，每振荡一次所需要的时间也可以是其它任何数值，因此，系统每秒钟往复振荡的次数可以是许多次。我们把“每秒钟振荡的周数”的总数目，称为频率 f ，其测量单位，国际上统一地记为赫兹（Hertz）[以电磁波的发现者、物理学家海·赫兹（Heinrich Hertz）的名字命名之]。对于周期 T 等于 1 秒的振荡而言，即

$$T=1 \text{ [s]}$$

时，则频率

$$f=1 \text{ [Hz]}$$

频率与周期之间的一般关系是

$$T=\frac{1}{f} \text{ [s]}$$

在许多专著和文献中，过去曾记作“cps”（每秒钟的周数）或“c/s”，这种记号，在英语国家中最常见到。上述的几种表示方法都具有相同的意义：

$$1\text{cps}=1\text{c/s}=1 \text{ [Hz]}(\text{s}^{-1})$$