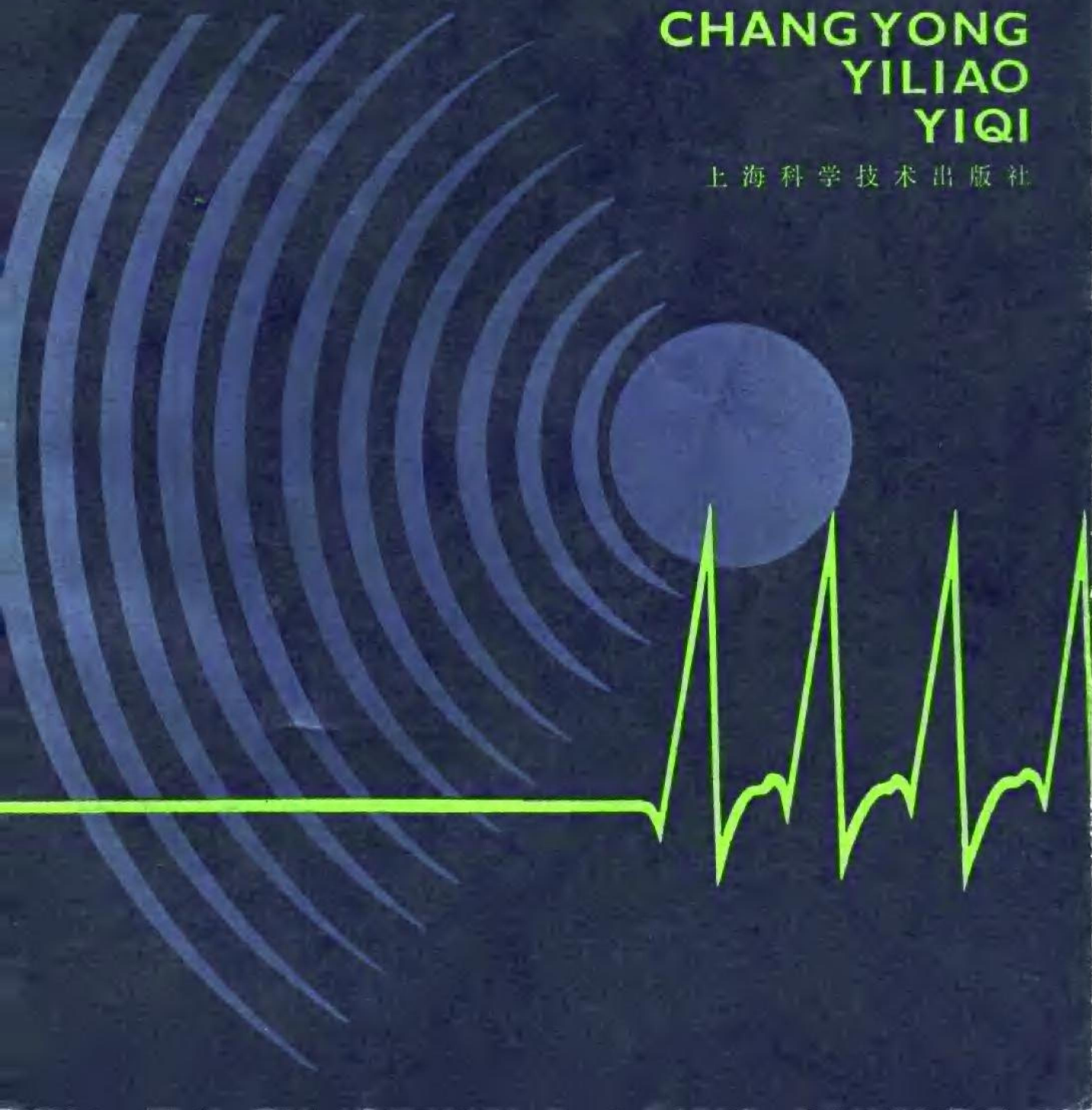


常用医疗仪器

陈复生主编

CHANGYONG
YILIAO
YIQI

上海科学技术出版社



87
R197.39
9
3

常用医疗仪器

主 编 陈复生
副主编 宋水庆
索 硕
主 审 方谦逊

b633/27

上海科学技术出版社



B 371723

内 容 提 要

本书详细介绍了近 30 种我国目前一般医院常用的医疗仪器,重点介绍了这些仪器的功能、结构、原理、使用、维护及维修等方面的知识。为阅读方便,还把这些仪器所涉及的物理、电路等方面的基本知识,以第一篇作专门论述。全书内容丰富,图文并茂,条理清楚,文字简练,是广大医务工作者和医药院校师生必备的参考书,也可以作为医疗仪器使用或维修人员的培训教材。

责任编辑 吴德才

常用医疗仪器

主 编 陈复生

副主编 宋水庆

索 硕

主 审 方谦逊

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 祝桥新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 44.75 插页 1 字数 1078,000

1986 年 12 月第 1 版 1986 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—3,000

统一书号: 14119·1838 定价: 8.20 元



参 考 书 目

(按拼音字母排列)

- | | | | |
|-----|-----|---------|---------|
| 主 编 | 陈复生 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| 副主编 | 宋水庆 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| | 索 硕 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| 主 审 | 方谦逊 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| 编 委 | 胡新珉 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| | 许仲昌 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| | 邵长春 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| | 游创新 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |
| | 刘 德 | 《中国音乐史》 | 人民音乐出版社 |

作者名单

(按篇、章顺序排列)

陈复生	华西医科大学
宋水庆	成都科学仪器厂
索 硕	四川省医药公司
胡新珉	华西医科大学
许仲昌	国营亚光电工厂
邵长春	国营新兴仪器厂
游创新	华西医科大学附院
刘 德	国营建安仪器厂
夏宗友	华西医科大学附院
李培慈	华西医科大学仪器厂
刘学智	绵阳医用电子仪器厂
吴关林	上海医用电子仪器厂
张少泉	国营新兴仪器厂
吴开明	绵阳医用电子仪器厂
陈友如	国营涪江机器厂
尧宗润	国营亚光电工厂
韦思瑶	国营新兴仪器厂
陈延诚	绵阳四〇七电子设备制造厂
张诗和	国营万众机器厂
陶俊卿	国营万众机器厂
黄治宜	成都电子研究所
许振通	国营国光电子管厂
晋华良	成都温度表厂
张计明	重庆光学仪器厂
沈 琴	重庆光学仪器厂
陈 琨	中国人民解放军总后卫生部药检所
荣德舆	西南医用设备厂
兰祥福	国营建安仪器厂
曾荫高	国营建安仪器厂
荣维勤	国营建安仪器厂
黄正德	国营建安仪器厂
吴素兰	国营建安仪器厂
茅 仁	国营建安仪器厂

序 言

近百年来的医学发展,特别是进入本世纪四十年代以来日新月异的进步,都与基础科学及现代工程技术的结合和应用紧密关联。几十年前不可想象的心脏直视手术,断肢断指再植,人工器官,各类器官移植,以及对恶性肿瘤防治的进展等,都因基础科学、现代工程技术和医疗仪器的发展及应用而成为现实。换言之,现代医疗预防机构的水平,在很大程度上取决于其应用现代医疗仪器设备的水平,仅靠一个听诊器行医的时代已经一去不复返了。

由于现代科学及工程技术大量渗入医学,已在国际上形成了一门新兴的边缘学科——生物医学工程学。医疗仪器工程是这一学科的重要组成部分,且越来越显示出其对医学的推动作用。在这种情况下,随着我国人民保健事业的迅速发展,医疗仪器设备的不断增添和更新,逐步达到现代化水准,已成为各级医疗卫生单位一项重要工作的组成部分。可以认为,每个医疗卫生单位,都面临着一个新的课题:即在不断增加的大量仪器中,如何根据自己的实际情况,挑选适合需要的最佳设备;如何合理地科学地使用这些设备;维修这些设备。而要解决这一课题的关键是:要增添和抓紧培养能正确使用和维护这些设备的工程技术人员,迅速建立起一支有能力为现代医学服务的生物医学工程技术队伍。

《常用医疗仪器》一书,就是适应以上形势和需要而撰写的,它是医工结合的产物,是由一些长期从事医疗仪器研制、使用和维修的专家和工程技术人员共同努力编写而成。全书详细介绍了近三十种适合基层医院现阶段使用的医疗仪器,且以我国现有产品为主。每个仪器设备的介绍,都是以使用方法和维修为中心内容,包括工作原理、操作方法、检测方法、可能发生的差误和事故及其预防等。现代医疗仪器与物理学、特别是电学和电子学关系密切,本书专篇介绍了其基础理论知识。全书内容较丰富,文字简练,条理清楚,理论联系实际,既有基础理论知识,又有详细使用和维修各种仪器的方法及必要的图解,是各基层医院有关人员必备的参考书,也可作为各地区培训使用和维修医疗仪器人员的良好教材。

方谦逊 邓尊贤

1985年1月

编 者 的 话

自然科学、工程技术和现代医学的相互促进,推动着医疗仪器日新月异地发展,并在临床诊疗中起着愈来愈大的作用,我国医药卫生部门的医疗仪器也在不断充实和更新。为使医务工作者适应这种客观形势的需要,较系统地了解医疗仪器的有关知识,充分发挥常用医疗仪器的作用,四川省生物医学工程学会、医疗仪器设备专业委员会和四川省自动化及仪器仪表学会、科学仪器专业委员会,从1982年开始,联合举办了几期“医疗仪器学习班”,聘请省内外有关单位的工程技术人员主讲,并编写了全部教材。这几期学习班,取得了良好效果,深受各方面的普遍欢迎,省内外不少单位和个人,纷纷函索教学资料,为满足广大读者的要求,两学会又组织有关人员,对原教材进行了全面修改、充实,并增加了近三分之一的内容,写成了本书。

本书的主要读者对象是具有高中数理程度的医生、护士、检验人员、维修人员、经营管理人员和医药院校的师生。

本书主要介绍我国目前地、市、县级医院已经普及和即将普及的国产医疗仪器,因此书名定为《常用医疗仪器》。书中所及的仪器近三十种,每种仪器以介绍其功能、结构、原理、使用、维护为主,适当介绍维修知识和在医学中的应用。为节省篇幅和便于读者学习,特把各专题中所涉及的有关物理学、电工学、电子学等方面的共同问题,集中在“基础知识”一篇中作简要叙述。

本书是由三十多位长期从事医疗仪器设计或维修的工程技术人员集体编写而成。为使它能更好地为广大医务工作者服务,在编写中除广泛征求过医疗仪器使用人员的意见外,还特别注意了“医工结合”,力求按医学的需要,决定内容的取舍,论述中尽量结合医学实际,并注意解决在临床使用中可能出现的具体问题。对仪器的工作原理,则以定性扼要说明其物理过程为主,不过多地涉及高等数学知识。由于“医工结合”是初次尝试,又限于作者水平,故缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

本书在编写过程中,得到了四川省生物医学工程学会秘书长邓尊贤、副秘书长江佑林的大力支持,并承江西医学院吕景新,浙江医科大学华蕴博,泸州医学院闵基昌,苏州医学院秦诚,川北医学院何绍涛,成都电讯工程学院傅崇伦,解放军59823部队药品器械检验所王振声,成都784厂徐代谋,华西医科大学张书琴、黄承孝、周树舜、王文杰、韩洪富、肖中蓉、李观荣、管昌田等同志分别审阅了有关章节,提出了很多宝贵意见;华西医科大学神经内科提供了临床实践的总结资料;国内很多医疗仪器的生产和科研单位,特为本书寄送了有关资料;参加编写本书的各单位中还有很多同志协助抄稿,绘制附图,谨此一并致谢。

编者 一九八五年元旦

目 录

第一篇 基础知识	1
1 超声及核医学基础.....	2
2 直流电路和正弦交流电路.....	27
3 放大、振荡与电源	69
4 脉冲电路基础	104
5 集成运算放大器	125
第二篇 生理参数检测仪器	135
6 医用测温仪器	136
7 肌电图机	167
8 电子听诊器	197
9 心电图机	203
10 血流传感仪	235
11 血流图仪	248
第三篇 超声诊断仪器	277
12 超声仪器基础	278
13 A型超声诊断仪	285
14 超声心动图仪	298
15 机械扇扫超声实时显像仪	322
第四篇 理疗仪器	353
16 负氧离子发生器	354
17 磁疗机	362
18 超声波治疗机	377
19 超声雾化器	394
20 短波和超短波电疗机	402
21 微波治疗机	415
22 气体激光医疗机	433
第五篇 医用光学仪器	455
23 生物显微镜	456
24 光学纤维内窥镜	496
25 血液生化分析仪	526

第六篇 医用X线机	545
26 X线简述	546
27 X线在医疗上的应用	552
28 X线机的结构	564
29 X线机的使用与维护	573
30 X线机的检验、安装与常见故障修理	577
第七篇 常用核医学仪器	597
31 核医学仪器概论	598
32 安全防护仪器	625
33 甲状腺吸碘功能仪	647
34 肾图仪	659
35 彩色扫描机	675

第 一 篇

基 础 知 识

超声及核医学基础

1.1 机械振动	3	1.2.6 超声场及其指向性	15
1.1.1 谐振动的特征和位移、速度、加速度方程	3	1.2.7 多普勒效应和多普勒诊断法原理	16
1.1.2 谐振动的量度物理量	5	1.3 原子核	17
1.1.3 谐振动的能量	6	1.3.1 原子核及其组成	17
1.1.4 谐振动的矢量图表示法和谐振动的合成	6	1.3.2 放射性和核衰变	18
1.2 声波和超声波	8	1.3.3 核衰变规律	20
1.2.1 机械波的产生条件和传播过程	8	1.4 射线与物质的相互作用	22
1.2.2 波动中常用的几个概念和量度物理量	9	1.4.1 带电粒子与物质的相互作用	22
1.2.3 声波和超声波的声功率、声强、声压及声阻	10	1.4.2 γ 光子与物质的相互作用	23
1.2.4 声波的反射和折射	12	1.4.3 中子与物质的相互作用	23
1.2.5 物质对声能的吸收	13	1.5 辐射量及我国的放射防护规定	24
		1.5.1 辐射量及其单位	24
		1.5.2 我国的放射防护规定	25

本章首先从机械振动入手,介绍其量度物理量和有关规律,进而讨论机械波的形成、量和强度,最后讨论声波及超声波的物理特性和有关规律。另外,对核医学物理作了概要性叙述,主要讨论原子核的组成,核衰变的类型及规律,射线与物质的相互作用以及辐射量和辐射防护等方面的基础知识。

1.1 机械振动

物体在某一平衡位置的附近,作来回往复的运动称为机械振动。例如,钟摆的来回运动,活塞的往复运动等,都是机械振动。

常见的机械振动,一般是周期性运动,即是每隔一定的时间 T ,运动完全重复一次, T 称为周期。而每秒钟内重复运动的次数则称为频率 f ,其单位为赫兹(Hz),根据它们的定义,既然物体在一秒钟内振动了 f 次,那么振动一次所需的时间就是 $1/f$,也就是周期 T ,因此频率与周期应有如下关系

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

机械振动仅仅是振动现象中的一种,自然界中还广泛存在着各式各样的振动现象,一般地说,凡是描述物质运动状态的物理量,在某一定值附近作周期性的变化,都可称为振动。例如,本书中将要讨论的交流电路,其中的电压和电流是随时间作周期性的变化;其附近的电场和磁场也是随时间作周期性的变化,这些都是广义的振动现象,它们虽然不是机械振动,但却和机械振动遵循相似的规律,可以用相似的数学公式来统一描述,所不同的只不过是公式中各量代表的具体意义不同而已。因此,机械振动的基本规律,不仅是超声物理学的基础,它也是本书将要涉及的波动光学,电子电路,无线电技术等许多问题的基础。

自然界虽有各式各样的振动,但可以证明^①:任何一个周期性振动,都可以分解为一系列谐振动(又称简谐振动),这些分解出来的分振动的频率,均为原振动频率的整倍数,其中与原振动频率相同的分振动称为基频振动(有时也称为基波),其他的分振动按照其各自的频率相对于基频的倍数相应地称为二次、三次……谐频振动(有时也分别称为二次、三次……谐波);对于任何一个非周期振动,因为可以把它看成是周期无限长(即频率为零)的振动,所以也可以分解为许多谐振动,只不过这些分振动的频率之差接近于零而已。由此可见,谐振动是最简单最基本,也是最重要的振动。下面将讨论谐振动的有关问题。

1.1.1 谐振动的特征和位移、速度、加速度方程

在弹性力(或准弹性力)作用下引起的振动,称为谐振动。设想把一个质量可以忽略的弹簧和一个不变形的物体联在一起(如图 1-1),再把弹簧的左端固定,并使物体在非常光滑的水平面上运动,这样,物体所受的重力和平面对它的正压力相平衡,摩擦力又可忽略,所以,这样的物体可以认为只受到弹簧的弹性力作用,因此,它的振动是谐振动。

① 根据高等数学的傅里叶分析:如某一振动,其位移与时间的关系可表示为 ω (角频率,等于 $2\pi/T$) 的函数 $F(t)$, 则

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t)$$

式中 k 为正整数; $a_0, a_1, a_2, \dots$ 和 $b_0, b_1, b_2, \dots$ 均为常数; $a_1 \cos \omega t, a_2 \cos 2\omega t, \dots, b_1 \sin \omega t, b_2 \sin 2\omega t, \dots$ 均为这个振动的分振动,并且都是谐振动。

如图 1-1 所示,设物体在位置 O 处是原长,作用在物体上的弹性力为零,这个位置称为物体的平衡位置。如将物体向右移至 B 处后放开,这时由于弹簧已被拉长,因而有指向平衡位置(向左)的弹性力作用在物体上,使物体返回平衡位置。当物体回到平衡位置时,作用在物体上的弹性力虽为零,但物体在返回过程中获得了加速度,速度愈来愈大,由于物体的惯性,它将继续向左运动。物体一经处于平衡位置左边,因为弹簧被压缩,故又有指向平衡位置(向右)的弹性力作用在物体上,因而物体的运动速度将逐渐减小,直到速度为零的位置 C 为止。在这以后,物体在弹性力作用下,将向右运动,情况和上述向左的运动相似。这样,在弹性力作用下的物体,就在平衡位置 O 附近作来回往复的运动。由此可知,影响机械振动的主要因素是物体所受的回复力和物体本身的惯性。现取 O 为 x 轴的原点,并设 x 轴的正向向右,物体所受的弹性力为 F ,弹簧的伸长或压缩量为 x (等于物体对平衡位置的位移,伸长时取正值,压缩时取负值),根据虎克定律

$$F = -kx$$

式中 k 是弹簧的倔强系数,它在数值上等于弹簧伸长或压缩单位长度时所产生的弹性力。式中的负号则表示 F 和 x 的方向相反。设物体的质量为 m , 根据牛顿第二定律, 物体的加速度 a 应为

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x \quad (1-2)$$

因为 k/m 为一常量,故上式表明:作谐振动的物体,其加速度与位移成正比,而方向相反,这即是谐振动的运动特征。

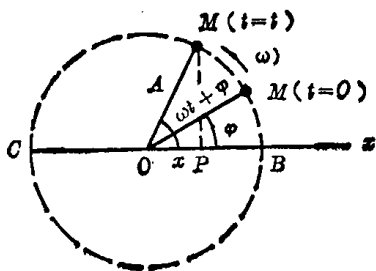


图 1-2 作匀速率圆运动的质点在 x 轴上的投影的运动

我们再来考虑作匀速率圆运动的质点在 x 轴上的投影的运动,如图 1-2 所示,设某质点 M 以匀角速 ω 绕圆心 O 作反时针旋转,那么, M 在 x 轴上的投影 P 将在 BC 范围内来回往复运动。设 $t=0$ 时,半径 A (质点 M 与圆心 O 的连线) 与 x 轴的夹角为 φ , 经过时间 t 后, A 与 x 的夹角变为 $(\omega t + \varphi)$, 显然,这时质点 M 在 x 轴上的投影 P 对原点 O 的位移 x 应为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-3)$$

另外, 经过时间 t 后投影 P 的加速度 a 应为质点 M 的向心加速度 ($A\omega^2$) 在 x 轴上的分量, 即:

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-4)$$

因为 a 的方向总是指向原点 O , 与位移的方向相反, 故有一负号。再把式 (1-4) 除以式 (1-3), 可得

$$\frac{a}{x} = -\frac{A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi)}{A \cos(\omega t + \varphi)} = -\omega^2$$

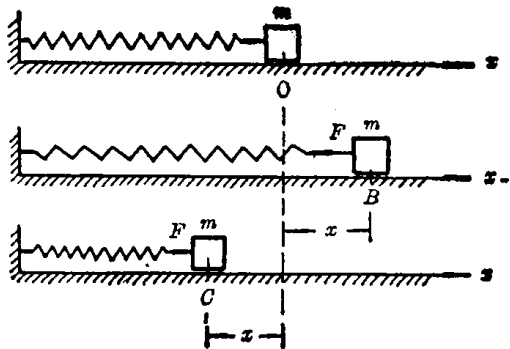


图 1-1 弹簧振子的振动

即

$$a = -\omega^2 x \quad (1-5)$$

对匀速率圆运动, ω 为常量, 故此式说明: 作为匀速率圆运动的质点 M 在 x 轴上的投影 P , 其加速度和位移成正比, 方向相反, 符合谐振动的运动特征, 因此, 可以认为 P 点是在作谐振动, 而 P 点的位移和时间的关系〔即式(1-3)〕则视为谐振动物体的位移方程。同理, 式(1-4)即谐振动物体的加速度方程。

把式(1-3)对时间求一阶导数, 就可得到谐振动物体的速度方程为

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-6)$$

综上所述, 物体作谐振动时, 它的位移、速度和加速度都是时间的余弦或正弦函数。

1.1.2 谐振动的量度物理量

我们现在来分析谐振动位移方程 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ 中各量的物理意义。

(1) A 称为振幅, 因余弦的绝对值不能大于 1, 故 x 的绝对值不能大于 A , 所以振幅 A 是振动体的最大位移。后面我们将要说明, 它和振动能量密切相关。

(2) ω 称为圆频率(或角频率), 也是与谐振动相应的匀速率圆运动的匀角速度值, 圆频率的单位用弧度/秒表示。从图 1-2 的分析可知, 作匀速圆运动的质点绕圆心 O 旋转一周(即 2π 弧度角)所需时间, 与谐振动的周期 T 相同, 因此:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-7)$$

式中 f 为谐振动的频率。此式说明: 圆频率 ω 在数值上等于振动物体在 2π 秒时间内的振动次数。

把式(1-7)代入式(1-3)中, 谐振动的位移方程还可以有如下两种表示形式

$$x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (1-8)$$

或

$$x = A \cos(2\pi ft + \varphi) \quad (1-9)$$

同理, 把式(1-7)分别代入式(1-4)和(1-6)中, 还可以得到谐振动的加速度方程和速度方程的两种表示形式, 此处不再重述, 读者可自行得出。

(3) $(\omega t + \varphi)$ 称为相位角, 简称为相位。从谐振动的位移方程和速度方程可知, 当 A 和 ω 一定时, 相位不仅可以确定物体在某一时刻的位移, 还可以确定该时刻的速度和加速度。因此, 相位是决定振动物体运动状态的物理量。在一次完全振动的过程中, 任何时刻的运动状态都是不同的, 但这种不同不能用位移 x 来表示, 只能反映在相位的不同上。例如, 在图

1-2 中(图上未直接画出), 当 $(\omega t + \varphi) = \frac{\pi}{2}$ 时, $x = 0$, $v = -\omega A$, 这表示 P 的位移为零(即

在平衡位置上), 并以速度 ωA 向左运动; 当 $(\omega t + \varphi) = \frac{3}{2}\pi$ 时, $x = 0$, $v = \omega A$, 这表示 P 的位移虽仍为零, 但以速度 ωA 向右运动。可见在振动体的位移相同时, 运动状态仍可能不同, 只有相位才能反映这种差异。相位的单位用“弧度”或“度”表示。

另外, 对一定的谐振动来说, ω 和 φ 均为常量, 因此相位 $(\omega t + \varphi)$ 是和振动时间 t 成正比的, 所以相位的大小也可以间接地反映振动时间的长短。

(4) φ 是 $t = 0$ 时的相位, 称为初相位, 简称为初相。它是决定振动物体在 $t = 0$ 时(即

开始计算振动时间时)的运动状态的物理量,其单位与相位的单位相同。

上述量度谐振动的物理量中,相位这个量特别重要,这是因为在实际问题中,常常需要比较两个谐振动的运动状态,即需要比较它们是否是同时达到最大或同时为零等等,这时起决定作用的就是两个谐振动的相位差了。另外,在研究两个谐振动的叠加结果时,它们的相位差也起着决定性的作用。这些问题在后面讨论振动的合成和波的叠加时,我们还将进一步介绍。

1.1.3 谐振动的能量

我们以图 1-1 所示的弹簧振子为例来说明谐振动的能量。由于弹簧的质量忽略不计,因此,系统的动能就是物体的动能;又由于物体的形变可以不计,并且假设只受到弹性力,因此,系统的势能就是弹簧形变后贮存的弹性势能。

设物体的质量为 m ,在某一时刻的速度为 v ,并把式(1-6)代入,则物体的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi) \quad (1-10)$$

再设这同一时刻,物体的位移即弹簧的伸长为 x ,弹簧的屈弹系数是 k ,并把式(1-3)代入,则弹簧的弹性势能为

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t + \varphi) \quad (1-11)$$

比较式(1-2)和式(1-5)可知: $\frac{k}{m} = \omega^2$,即 $k = m\omega^2$,把它代入式(1-11)得

$$E_p = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\cos^2(\omega t + \varphi) \quad (1-12)$$

故系统的总能量为:

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (1-13)$$

以上说明谐振动的动能和势能虽各随时间变化,但在振动的过程中,它们又相互转换,保持总能量不变,这个总能量的大小与振幅 A 的平方和振动频率 $f\left(=\frac{\omega}{2\pi}\right)$ 的平方成正比。

1.1.4 谐振动的矢量图表示法和谐振动的合成

用矢量图表示谐振动,不仅可以帮助我们形象地了解谐振动的量度物理量,同时在研究谐振动的合成时,还可以使所要的结果能很简便地推导出来。因此种方法在分析正弦交流电路中也被广泛采用。在 2.3 中还要具体介绍。

对于给定的谐振动 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$,我们可以用如下的矢量图来表示:如图 1-3 所示,取横轴为 x 轴,在轴上任取一点 O 作为原点,自 O 点作一矢量 A ,其长度等于振幅 A ,并使它与 x 轴所夹的角为初相角 φ ,想象矢量 A 在 $t=0$ 时,从这个位置开始以大小和圆频率 ω 相同的角速度沿反时针方向旋转,在任一时刻 $t=t$ 时,矢量 A 与 x 轴所夹的角变为 $(\omega t + \varphi)$,从图可见,矢量 A 在 x 轴上的投影 $A\cos(\omega t + \varphi)$ 就表示了所给谐振动的位移 x 。

这种表示法是假想矢量 A 以角速度 ω 沿反时针方向旋转,因此,这种表示法也称旋转矢量法。矢量 A 旋转一周的时间即谐振动的周期 T ,相位 $(\omega t + \varphi)$ 由 0 变至 2π 过程中,在

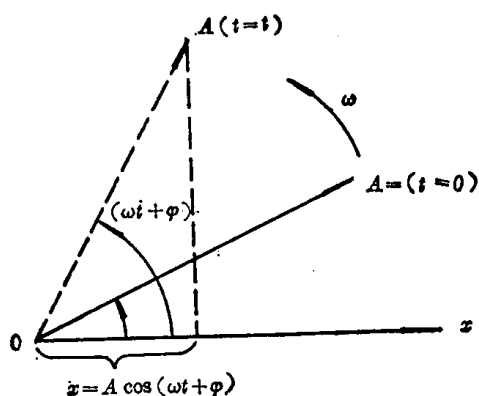


图 1-3 表示谐振动的矢量图

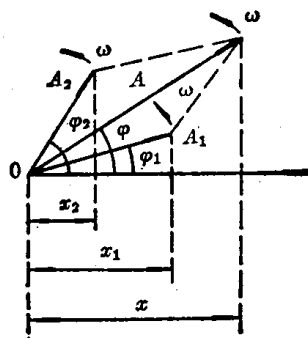


图 1-4 两个同方向的谐振动的合成矢量图

x 轴上可以显示振动体在一个周期中各个不同的运动状态,因此,相位是决定振动体运动状态的物理量也就形象地显示出来了。

下面我们再利用旋转矢量来求同方向、同频率的谐振动的合成振动。

设两个同方向(即在同一直线上)、同频率的谐振动,在任一时刻 t 的位移分别为

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

式中 A_1 、 A_2 和 φ_1 、 φ_2 分别为两个谐振动的振幅和初相, ω 为它们的圆频率。如图 1-4 所示,按上述方法,以 O 为原点,分别以旋转矢量 A_1 和 A_2 表示这两个谐振动,再按平行四边形法则作 A_1 和 A_2 的合矢量 A 。因为 A_1 和 A_2 以相同的角速度 ω 沿反时针方向旋转,所以它们之间的夹角不变,因而合矢量 A 的大小也不变,同时 A 在 x 轴上的投影 x 应等于 A_1 和 A_2 在 x 轴上的投影之和,即 $x = x_1 + x_2$,因此,合矢量 A 即为合成振动的旋转矢量,并且旋转的角速度仍为 ω ,因此,合成振动的位移方程应为

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

式中振幅 A 是合矢量 A 的长度,初相 φ 是 $t=0$ 时 A 与 x 轴的夹角。此式说明:合成振动仍是一个谐振动,其频率与分振动的相同。

根据平行四边形的对角线与两边和夹角的关系,由图 1-4 可得

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (1-14)$$

$$\tan \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} \quad (1-15)$$

由式(1-14)知,合成振动的振幅 A , 不仅与分振动的振幅 A_1 、 A_2 有关,而且还与分振动的相位差有关。下面讨论两个特例,因为后面讨论波动过程中的干涉及衍射现象时,常要用到它们。

(1) 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2k\pi$, k 代表零或任意正整数,这时 $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = +1$, 由式(1-14)得:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2} = A_1 + A_2$$

即当分振动的相位差为 π 的偶倍数(又称为二分振动同相)时,合成振动的振幅达最大值,为原来两个分振动的振幅之和。

(2) 相位差 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm (2k+1)\pi$, k 代表零或任意正整数,这时 $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$, 由

式(1-14)得

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2} = |A_1 - A_2|$$

即当分振动的相位差为 π 的奇倍数(又称为二分振动反相)时,合成振动的振幅达最小值,为原来两个分振动的振幅之差的绝对值。

在一般情况下位相差可取任意值,这时合振动都为谐振动。频率也与分振动的相同,但合振动的相位与分振动的不同,合振动的振幅介于 $|A_1 - A_2|$ 和 $|A_1 + A_2|$ 之间。

1.2 声波和超声波

振动的传播过程称为波动,简称为波,它是自然界中广泛存在的一种物质运动形式。波可分为机械波和电磁波两大类,前者是机械振动在弹性媒质中的传播过程,如水波、声波、超声波等;电磁波是变化电场和变化磁场在空间的传播过程,如无线电波、红外线、可见光、紫外线、 x 射线和 γ 射线等。这两类波在本质上虽然不同,但都具有波动的共同特征。例如,都有一定的传播速度,都可以产生反射、折射、衍射、干涉等现象,并且都伴随着能量的传播。本节虽仅讨论机械波的问题,并只着重讨论声波和超声波的有关现象和规律,但本节涉及的某些概念、物理量和规律,在电磁波中仍然适用。

1.2.1 机械波的产生条件和传播过程

在弹性媒质中,各个质点是以弹性力相互联系着的,如果其中某一质点 A ,因受外界扰动而离开平衡位置, A 点周围的质点将对 A 产生弹性力,使 A 回到平衡位置,并在平衡位置附近作振动(如 A 只受到弹性力或准弹性力作用,则 A 是作谐振动)。与此同时, A 点周围的质点,也要受到 A 的作用力,因而使周围的质点也离开各自的平衡位置振动起来。所以,媒质中一个质点的振动会引起其邻近质点的振动,邻近质点的振动又会引起较远质点的振动,这样,振动这种运动状态就以一定速度由近及远地向各个方向传播出去,在媒质中形成了机械波。由此可见,机械波的产生条件是:首先要有作机械振动的物体,即波源;其次是要有能够传播这种机械振动的媒质。例如,我们平时耳闻的声波,就是发声体在空气中振动引起的。

应当注意,波动只是振动状态的传播,媒质中的各质点并不随波前进,各质点只以交变的振动速度在各自的平衡位置附近振动,而振动状态则以另外的速度传向各方。振动的传播速度称为波速。切不可把波速和质点的振动速度混为一谈。另外,质点的振动方向和波的传播方向也不一定相同。如果质点的振动方向和波的传播方向相互垂直,这种波称为横波。例如,用手沿竖直方向抖动绳子的一端,绳子沿水平方向传播的波就是横波;如果质点的振动方向和波的传播方向相同,这种波称为纵波。例如,在空气或液体内部传播的声波和超声波都是纵波。横波和纵波是两种最简单的波,其它的如水面波则是比较复杂的波。当水面波发生时,水的质点一般都沿椭圆轨道振动,使它们回到平衡位置的力不是一般的弹性力,而是重力和表面张力。不过各种复杂的波又都可以分解为纵波和横波来进行研究。

横波只发生于固体中,这是因为当一层媒质相对于另一层媒质平移而发生切变时,固体中会产生恢复这一切变的弹性力,而使质点在平衡位置附近振动起来。液体和气体因不能保持一定的形状,不能产生这种切变弹性力,因此,就不能传播横波,只能传播纵波。