



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套辅导书

Physics

物理学原理 在工程技术中的应用 (第四版)

马文蔚 苏惠惠 董科 主编

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

面向 21 世纪 课

Textbook Series for 21st Century

物理学原理 在工程技术中的应用 (第四版)

马文蔚 苏惠惠 董科 主编

内容提要

本书是为配合教师和学生使用和学习《物理学》(第六版)和《物理学教程》(第三版)而编写的。本书在第三版的基础上根据实际的教学需要和科技的最新发展,增加了部分选题,使本书的选题力求做到既有工程技术和现代技术应用背景,又与教学相配套,使读者拓宽视野,加深对物理学基本原理的理解,切实体会物理学的实用,感受物理学在工程技术领域的基础作用。为了更好地帮助读者学习物理学,作者在《物理学》(第六版)和《物理学教程》(第三版)中都以脚注形式提醒读者参阅本书哪些部分,使学习更有针对性,效率更高。

本书选题从工程实际出发,避开技术细节,把实际问题抽象成物理模型,并用物理原理进行分析,得出近似的、合理的解决方案,有利于培养学生分析问题和解决实际问题的能力,有利于学生提高学习兴趣,激发求知欲。

本书可作为高等学校非物理专业物理学课程教学参考书、选修课教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

物理学原理在工程技术中的应用 / 马文蔚, 苏惠惠, 董科主编. —4 版. —北京: 高等教育出版社, 2015.4

ISBN 978-7-04-042339-6

I. ①物… II. ①马… ②苏… ③董… III. ①物理学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 047569 号

策划编辑 缪可可
插图绘制 黄建英

责任编辑 缪可可
责任校对 刁丽丽

封面设计 王洋
责任印制 张泽业

版式设计 余杨

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京丰源印刷厂
开本 787mm×960mm 1/16
印张 25.75
字数 460千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 1995年9月第1版
2015年4月第4版
印 次 2015年4月第1次印刷
定 价 39.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 42339-00

第四版前言

物理学是一切自然科学的基础。它派生出来了许多分支及交叉学科,不仅构成了化学、生物学、材料科学等学科的基础,而且它的基本概念和研究方法被广泛应用到所有自然科学之中。同时,物理科学对人的思维训练和能力形成有很大的影响,它在人才培养中起着十分重要和独特的作用。面向本科生开设的大学物理课是培养学生逻辑思维等能力的重要工具,是研究型人才培养的最自然的切入点,因此,它是高等学校中理工科各专业的一门十分重要的必修基础课。

马文蔚等编写的《物理学》(第六版)是第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,曾获国家教委优秀教材一等奖、中国高校科学技术一等奖等荣誉,是国家精品课程的主讲教材。本书作为《物理学》(第六版)的辅助教材,书中 46 个选题被《物理学》(第六版)以附注形式介绍给学生选学。本书在选题上从工程实际出发,避开不必要的技术细节,把实际问题抽象成物理模型,并用物理原理进行分析研究,提出近似的、合理的解决方法。这样,理论联系实际,有利于巩固加深学生对基本概念和定律的理解,有利于分析问题、解决问题能力的培养,有利于提高学生的学习兴趣,激发他们的求知欲,进一步使学生领会大学物理教育在人才培养中的基础作用。

本书在修订时保留了第三版中全部 104 个选题,并增加了 12 个新的选题,其中有:平带传动的最佳带速、雨滴下落的加速度、关于荡秋千的能量分析、单杠运动中旋转的有关物理问题、驻极体传声器、宇宙飞船中燃料的控制、相控阵雷达原理、从马吕斯定律到液晶显示原理、放射性同位素在考古学中的应用、光镊、电磁黑洞和三维隐身地毯、激光冷却与玻色-爱因斯坦凝聚。

编者感谢许多兄弟院校的同行专家为提高书稿质量提出的宝贵意见。编者还要感谢许多老师在繁忙的教学和科研工作之余,为本书撰写与大学物理课程有关的稿件,且数易其稿,编者对他们的敬业精神深表谢忱。编者对所有参与和关心本书各版次工作的老师们表示衷心的感谢。

马文蔚

2013 年 10 月 1 日

第三版前言摘录

本书是《物理学》系列教材中的一本教学参考书,它与《物理学》(第五版)和《物理学教程》(第二版)紧密配合。在这两本教材中,均以附注形式选取了本书中 30 多个选题指导读者阅读。这样,使用《物理学》(第五版)和《物理学教程》(第二版)作为大学物理课程教材的读者,在学习物理学基本原理的同时,也可获得如何运用物理原理处理科学技术中问题的方法和知识。

本书对原有 104 个选题进行了认真地分析研究,保留了原书 88 个选题,并在内容上作了部分修改。此外,还增加了 16 个新的选题。

本书承蒙北京交通大学李文博教授审阅,编者感谢他为提高书稿质量提出的具体修改意见。余守宪教授在住院期间,仍十分关心本书的修订,他为本书的成书和各版次的完善倾注了心血,他的精神使编者深受教育并深感敬佩。编者还要对所有参与和关心本书各版次工作的老师们表示衷心的感谢。

马文蔚 苏惠惠 解希顺

2005 年 12 月 4 日

第二版前言摘录

本书是马文蔚编写的“九五”国家级重点教材和“面向 21 世纪课程教材”——《物理学》(第四版)系列教材中的一本教学参考书,本书与《物理学》(第四版)联系紧密,其中有近三分之一的选题被以附注形式介绍给学生选学。

本书仍由北方交通大学余守宪教授审阅。选题 1~34、62~71 由苏惠惠负责修改,选题 35~61、72~104 由陈鹤鸣负责修改。全书由陈鹤鸣根据审稿意见进行修改,最后由马文蔚定稿。虽然编者对提高书稿的质量做了许多工作,但由于水平有限,书中仍有许多缺点和不足,敬请广大读者批评指正。

马文蔚 苏惠惠 陈鹤鸣

1999 年 6 月 28 日

第一版前言摘录

物理学是人类在认识自然规律和生产实践活动中产生和发展的。物理学的规律有极大的普遍性。工科院校的物理课程是一门重要的基础课。为使学生更好地理解和掌握物理学的基本概念和规律,学会如何应用物理理论来分析和解决问题,在物理教学中,恰当地联系实际是非常必要的,它是一项重要的教学基本原则。但是多年来,在教学中对这个问题一直未处理好,有时甚至把打好基础与联系实际对立起来,走过不少弯路。这方面的历史教训是很深刻的。

随着教学改革的深入开展,许多老师都认识到理论联系实际的重要性。但在具体做法上怎样才能取得应有的成效呢?1990年4月,在南京东南大学召开的“物理教学改革研究讨论会”上,与会代表一致认为应该选编一本《物理学原理在工程上的应用》教学参考书。在这个会上还确定选题所述内容,必须符合大学物理教学的基本要求,有利于巩固加深对基本概念和定律的理解,有利于分析问题和解决问题能力的培养,有利于提高学生的学习兴趣,激发他们的求知欲,而且还要求所述内容一般须从工程实际问题出发,但须避开不必要的技术细节,把实际问题抽象成物理模型,并用物理原理进行分析研究,提出近似的合理的解决办法。

本书经余守宪、严导淦、徐绪笃、唐光裕、畅贞霞、薛豪和张世良审阅。编者诚挚地期望广大物理教师深入实际,挖掘出更多更好的联系实际的选题,以推动物理教学改革向更深层次开展起来。这也是我们选编这本书的主要目的。

我们衷心感谢关心支持选编本书的同志们,衷心感谢所有为本书提供稿件的老师,没有他们的关心、支持与合作,本书是难以在这样短的时间里完成的。

马文蔚

1992年元月于东南大学兰园

目录

1	竖井提升的最佳速度	1
2	摩擦与自锁	4
3	外轨超高	7
4	球磨机的最佳转速	11
5	平带传动的最佳带速	14
6	降落伞和跳伞塔	17
7	跳台跳水游泳池的深度	20
8	GPS 的原理与应用	22
9	力学模型和规律在“哥伦比亚”号失事原因分析中的应用	27
10	河流拐弯处的堤坝	30
11	雨滴下落的加速度	32
12	静平衡和动平衡	36
13	哑铃式铁锤的打击中心	40
14	汽车的驱动与制动	43
15	弧形闸门省力	45
16	高速转动物体的极限转速	47
17	门的制动器	49
18	关于荡秋千的能量分析	51
19	单杠运动中旋转的有关物理问题	54
20	重车和空车同时到吗?	59

21	汽车的极限加速度和极限速度	63
22	同步卫星的发射	65
23	洲际导弹的射程	69
24	重力勘探	71
25	浮子流量计	74
26	孔板和流量测定	76
27	喷雾器	78
28	旋转空管法测液体黏度	81
29	保温瓶胆的真空度	84
30	气体血栓	87
31	喷气发动机燃料的选择	90
32	提高热机效率的两种方法	93
33	温室效应	96
34	建筑中的热平衡	100
35	热泵	104
36	绝热去磁制冷	107
37	冰箱制冷	110
38	能制多少冰?	113
39	几种常见的电容传感器	117
40	驻极体传声器	122
41	电容电感与动压测量	125
42	高压输电线的电晕放电	129
43	宇宙飞船中燃料的控制	132
44	一种测量人体静电电荷量的方法	135

45	静电除尘器	138
46	静电复印	143
47	静电透镜	146
48	电器接地与危险区域	150
49	用物理方法消除高氯酸铵粉料加料过程中的静电	153
50	电阻应变片	156
51	高电压绝缘与局部放电	160
52	气体放电光源与五彩缤纷的灯	163
53	电力系统中母线截面形状与安培力的关系	167
54	离子抽运泵	170
55	离子推进器	172
56	电磁铁吸力的计算	175
57	电磁炮的基本原理	178
58	磁透镜	181
59	汽车测试用的五轮仪	185
60	磁光盘的物理原理	188
61	地下金属管线探测	192
62	显像管偏转线圈的绕线规律	195
63	磁流体发电	199
64	电磁流量计	202
65	磁盘与磁记录	206
66	感应加热的原理与应用	209
67	感应加热在铁路工务部门的应用	212
68	微波加热的物理原理	216

IV 物理学原理在工程技术中的应用

69	弹簧减振	220
70	防振锤	223
71	缓冲包装设计	226
72	用薄板共振控制噪声	229
73	穿孔板共振消声	232
74	用声波干涉控制噪声	235
75	监测车速	237
76	多普勒声呐	239
77	声悬浮和电磁悬浮技术	243
78	医用超声成像诊断仪	247
79	双光束干涉原理在煤矿甲烷体积分数监测中的应用	250
80	高精度激光陀螺的物理基础	253
81	增透膜	258
82	二向色镜在彩色液晶电视中的应用	262
83	激光干涉仪	267
84	半波带及其应用	270
85	光的衍射法测细丝直径	273
86	光的单缝衍射的一些应用	277
87	光栅的莫尔条纹及光栅的其他应用	282
88	光栅衍射方程在金属材料应变测量中的应用	286
89	相控阵雷达原理	289
90	从马吕斯定律到液晶显示原理	294
91	平面应力状态模型在平面偏振光中的光弹效应	297
92	全息照相	301

93	全息干涉及其应用	305
94	光盘	308
95	光全息存储器	313
96	光纤及其应用	317
97	光纤传感器	323
98	模压全息及其应用	326
99	相衬显微镜	330
100	放射性衰变规律在地质年代学中的应用	334
101	放射性同位素在考古学中的应用	339
102	红外技术的物理基础及其军事应用	341
103	γ 射线物位计	346
104	核子秤	348
105	X 射线和计算层析技术	351
106	扫描隧穿显微镜	354
107	超导与磁悬浮列车	358
108	核磁共振及其医学成像原理	360
109	光镊	363
110	光电法测转速	369
111	光电池与太阳能电池	371
112	石英电子表	374
113	电荷耦合器件及其应用	379
114	纳米材料及其应用	384
115	电磁黑洞和三维隐身地毯	388
116	激光冷却与玻色 - 爱因斯坦凝聚	392

1

竖井提升的最佳速度

乔晓华 孙玉霞

竖井是将地下数百米深处的煤炭、矿石等资源运送到地面的通道。当一次提升的载荷确定后,竖井的提升能力与提升过程延续的时间成反比;提升矿石所需电机的额定功率又与最大提升速度成正比。一般牵引钢丝绳的安全系数限制提升加速度 a 不大于 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。我们运用匀变速直线运动的速度随时间变化的曲线图,分析在一次提升过程中的延续时间和最大提升速度的关系,从而确定既满足竖井提升能力又显著降低提升电机额定功率的提升速度图。

若用横坐标表示提升过程延续的时间,纵坐标表示相应的提升速度。则提升速度图如图 1-1 所示。图中曲线②表示在一次实际提升过程中有加速、匀速和减速三个阶段,而图中曲线①表示只有加速和减速两个阶段,没有匀速阶段。

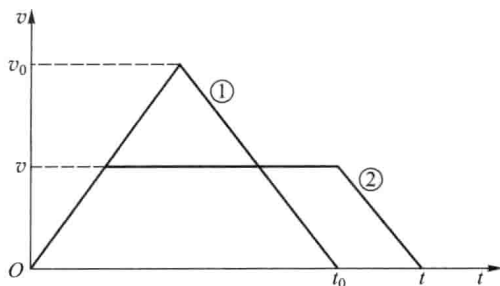


图 1-1

假定在一次提升过程中加速和减速阶段的加速度值均为 a ,提升高度为 H ,最大提升速度为 v_0 。若提升过程无匀速阶段,则提升高度 H 等于图中曲线①下三角形的面积,其大小为 $v_0 t_0 / 2$ 。由匀变速直线运动的规律,有 $v_0^2 = 2a(H/2)$,可得最大提升速度

$$v_0 = \sqrt{aH} \quad (1)$$

相应一次提升延续的时间

$$t_0 = 2 \sqrt{\frac{H}{a}} \quad (2)$$

若提升过程有匀速阶段,其提升速度图为图 1-1 中的曲线②, v 是该过程的最大提升速度。由于曲线②下梯形的面积为 $H = vt - v(v/a)$,可得一次提升延续的时间为

$$t = \frac{v}{a} + \frac{H}{v} \quad (3)$$

可见,提升同样高度 H ,可以有多种不同的提升速度曲线。相应的最大提升速度和一次提升延续的时间也有很大差别。若从提升同样载荷的煤炭或矿石出发,由图 1-1 知, $t_0 < t$,即采用曲线①的速度图,提升一次用时最短,所以竖井的提升能力最大。但由图 1-1 又不难看出 $v < v_0$,即采用曲线②的速度图,最大提升速度 v 较小,因此对提升电机的额定功率要求较低。从降低提升电机的额定功率,提高电机的有功功率等实际经济效益考虑,采用曲线②的速度图又显著优于采用曲线①的速度图。

综合上述分析,既要尽量提高竖井的提升能力又要讲求经济效益,选择提升过程的最佳速度图的关键在于比较两种速度图中最大提升速度之比 v/v_0 的变化对一次提升延续时间之比 t/t_0 的影响。

由前述有 $H = v_0 t_0 / 2$, $a = 2v_0 / t_0$ 。将 H, a 代入式(3)整理得

$$\frac{t}{t_0} = \frac{1 + \left(\frac{v}{v_0}\right)^2}{2\left(\frac{v}{v_0}\right)} \quad (4)$$

为便于利用式(4)比较 v/v_0 与 t/t_0 的关系,令 t 以 t_0 为单位, v 以 v_0 为单位,由图 1-1 得 $t \geq 1, 0 \leq v \leq 1$ 。列表如下。

v	0.125	0.25	0.50	0.75	1
t	4.06	2.13	1.25	1.04	1

选 v/v_0 为横坐标 t/t_0 为纵坐标,作式(4)的函数图像(图 1-2)。

由图 1-2 发现,当最大提升速度 $v \geq v_0/2$ 以后,采用曲线②的梯形速度图,提升一次延续的时间 t 随最大提升速度 v 的增加而减少的幅度就不显著了。若取曲线②的梯形速度图的最大提升速度 $v = v_0/2$,则可使提升电机的额定功率降低为按曲线①的三角形速度图提升时所需功率的 $1/2$,而一次提升延续的时间仅延长了 $1/4$ 倍。综合比较可得,竖井的最大提升速度取 $v = v_0/2 = \sqrt{aH}/2$ 是

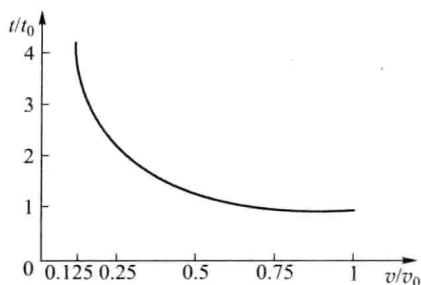


图 1-2

最为经济合理的。考虑到实际提升过程加速度 $a \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的限制, 取 $a = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 可得竖井提升的最大速度 v 与竖井深度 H 的关系为

$$v = \sqrt{H}/2 \quad (5)$$

式中, v 以 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位, H 以 m 为单位。因此, 由 $a = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $v = \sqrt{H}/2$ 所确定的速度图为提升过程的最佳速度图。

显然, 在紧急情况下, 如井下发生事故, 需要迅速撤离人员和物资, 应当采取图 1-1 中曲线①对应的速度提升, 这样可以节省时间, 尽可能避免人员和财产损失。另外, 应选择额定功率较大的电机, 增加提升钢丝绳的保险系数, 确保升降过程的安全性。

本文略去了竖井提升过程的诸多技术问题, 有关实际过程的简化及有关数据的处理, 得到孔凡盈先生的指教, 在此深表谢意。

参考文献

- [1] 黎佩琨. 矿山运输及提升. 北京: 冶金工业出版社, 1984.
- [2] 范家骏. 矿井多绳提升选型设计. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.

2

摩擦与自锁

刘世强 吴义声

根据摩擦定律,最大静摩擦力 F_{fm} 与法向力 F_N 之间的数量关系为

$$F_{fm} = \mu F_N \quad (1)$$

式中,摩擦因数 μ 取决于相互接触物体表面的材料性质及表面状况。

如图 2-1 所示,滑块 m 静止于斜面上,逐渐增大斜面的倾角 θ ,直到 θ 等于某特定值 φ 时,物体达到将动未动的临界静止状态,此时的摩擦力为最大静摩擦力。滑块 m 的平衡方程为

$$\begin{cases} F_N - mg \cos \varphi = 0 \\ F_{fm} - mg \sin \varphi = 0 \end{cases}$$

由方程组和式(1)解出

$$\mu = \tan \varphi \quad (2)$$

φ 称为摩擦角。显然, $\theta \leq \varphi$ 时 m 保持静止状态, $\theta > \varphi$ 时 m 由静止开始下滑。

摩擦角这一物理量被广泛应用于工农业生产和日常生活中。下面举两个实例。

一 估算粉料的体积

粉料或颗粒料(如沙粒,锯末,煤炭,谷物等)自然堆积成圆锥体,如图 2-2 所示。圆锥体的底角必定是该物料的摩擦角 φ 。因为,当底角 $\theta > \varphi$ 时物料将沿锥面下滑,使 θ 减小;当 $\theta < \varphi$ 时物料将停留在锥面上,使 θ 增大。所以底角保

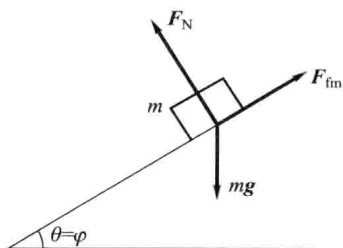


图 2-1

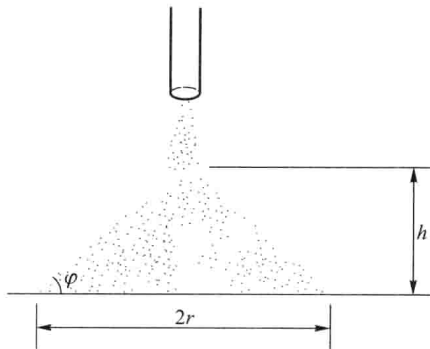


图 2-2

持为定值 φ 。若已知摩擦角 φ 和高 h , 则可求出物料的体积 V 为

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} \pi r^2 h = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{h}{\tan \varphi} \right)^2 h \\ &= \frac{\pi h^3}{3 \tan^2 \varphi} = \frac{\pi h^3}{3 \mu^2} \end{aligned} \quad (3)$$

式中, μ 已不是原来意义的摩擦因数, 它称为当量摩擦因数, 取决于物料的种类和粒度。有经验的人员凭借目测就可估计出 φ 和 h 的数值, 从而估计出物料的体积。这是一种估料方法。反之, 若有一定体积的某种物料需要自然堆放在地面上, 当然必须事先估计出物料堆放后形成的圆锥体的底面积大小, 以便准备合适的场地。这时先用该种物料作一小型模拟试验, 测出其摩擦角 φ 。将 $h = r \tan \varphi$ 代入式(3), 得

$$V = \frac{\pi}{3 \tan^2 \varphi} (r \tan \varphi)^3 = \frac{1}{3} \pi r^3 \tan \varphi$$

则物料所占底面积将为

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{3V}{\pi \tan \varphi} \right)^{2/3} \quad (4)$$

二 螺旋千斤顶

螺旋千斤顶的构造如图 2-3(a) 所示, 它是靠用力推手柄 1, 使螺杆 2 的螺纹沿底座 3 的螺纹槽 (相当于螺母) 慢慢旋进而顶起重物 4。并要在举起重物后, 重物 and 螺杆不会自动下降, 可在任意位置保持平衡, 要实现这点, 必须满足自锁条件。

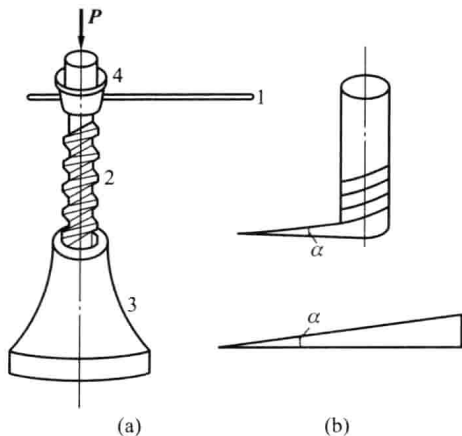


图 2-3