



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

物理学原理 在工程技术中的应用

(第三版)

马文蔚 苏惠惠 解希顺 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



清华大学出版社
Tsinghua University Press

物理学原理 在工程技术中的应用

第二版

主编 王冀成 副主编 王冀成 王冀成

清华大学出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

物理学原理 在工程技术中的应用

第三版

马文蔚 苏惠惠 解希顺 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是为配合教师和学生使用和学习《物理学》(第五版)和《物理学教程》(第二版)而编写的。本书在第二版的基础上根据实际的教学需要和科技的最新发展,增删了部分选题,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前沿的基础作用。为了更好的帮助读者学习物理学,作者在《物理学》(第五版)和《物理学教程》(第二版)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,因而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,
解希顺主编.—3版.—北京:高等教育出版社,
2006.6

ISBN 7-04-019576-3

I. 物... II. ①马...②苏...③解... III. 物理学
—应用—工程技术—高等学校—教材 IV. TB13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052608 号

策划编辑	庞永江	责任编辑	庞永江	封面设计	张楠
责任绘图	朱静	版式设计	马静如	责任校对	杨凤玲
责任印制	韩刚				

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 100011
总机 010-58581000
经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京中科印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×960 1/16
印张 22.75
字数 420 000

版次 1995年9月第1版
2006年6月第3版
印次 2006年6月第1次印刷
定价 30.70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 19576-00

前言

物理学是现代工程技术的重要理论基础。在高等学校工科大学物理教学中恰当地做好理论与实际间的联系,不仅有利于学生加深对物理基本原理的理解,而且有利于培养他们分析问题解决问题的能力,并能促进学生科学素质的提高。本书第一版成书于1992年。在历经10余年的时间里,在许多作者的共同努力下,本书得以逐步完善,深受广大师生的赞许。现在该书的第三版以崭新的面貌再次出版。我们企盼,《物理学原理在工程技术中的应用》(第三版)能在大学物理课程的建设和发展中起到有益的作用。

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。本书也可供大学物理课程的师生参考或作为开设选修课的教材。

本书修订时着意保持原书的编写思想和特点,并参照各方面的建议,对原有104个选题进行了认真地分析研究,保留了原书中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,其中有:声悬浮和电磁悬浮技术、GPS的原理与应用、绝热去磁制冷、磁光盘的物理原理、高精度激光陀螺的物理基础、光栅衍射方程在金属材料应变测量中的应用、红外技术的物理基础及其军事应用、光纤及其应用等。本书所涉及的内容较好地符合非物理专业大学物理课程教学基本要求,在新增加的选题中,大部分选题反映了近代科学技术中的物理原理。

本书承蒙北京交通大学李文博教授审阅,编者感谢李文博教授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

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

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	降落伞和跳伞塔	14
6	跳台跳水游泳池的深度	17
7	GPS 的原理与应用	19
8	力学模型和规律在“哥伦比亚”号失事原因分析中的应用	24
9	河流拐弯处的堤坝	27
10	静平衡和动平衡	29
11	哑铃式铁锤的打击中心	33
12	汽车的驱动与制动	36
13	弧形闸门省力	38
14	高速转动物体的极限转速	40
15	门的制动器	42
16	重车和空车同时到吗?	45
17	汽车的极限加速度和极限速度	49
18	同步卫星的发射	51
19	洲际导弹的射程	55
20	重力勘探	57
21	浮子流量计	60
22	孔板和流量测定	62
23	喷雾器	64
24	旋转空管法测液体黏度	68
25	保温瓶胆的真空度	71
26	气体血栓	74

27	喷气发动机燃料的选择	77
28	提高热机效率的两种方法	80
29	温室效应	83
30	建筑中的热平衡	87
31	热泵	91
32	绝热去磁制冷	94
33	冰箱制冷	97
34	能制多少冰	100
35	几种常见的电容传感器	104
36	电容电感与动压测量	109
37	高压输电线的电晕放电	113
38	一种测量人体静电电量的方法	116
39	静电除尘器	119
40	静电复印	124
41	静电透镜	127
42	电器接地与危险区域	131
43	用物理方法消除高氯酸铵粉料加料过程中的静电	134
44	电阻应变片	137
45	高电压绝缘与局部放电	141
46	气体放电光源与五彩缤纷的灯	144
47	电力系统中母线截面形状与安培力的关系	148
48	离子抽运泵	151
49	离子推进器	153
50	电磁铁吸力的计算	156
51	电磁炮的基本原理	159
52	磁透镜	162
53	汽车测试用的五轮仪	166
54	磁光盘的物理原理	169
55	地下金属管线探测	173
56	显像管偏转线圈的绕线规律	176
57	磁流体发电	180

58	电磁流量计	183
59	磁盘与磁记录	187
60	感应加热的原理与应用	190
61	感应加热在铁路工务部门的应用	193
62	微波加热的物理原理	197
63	弹簧减振	201
64	防振锤	204
65	缓冲包装设计	207
66	用薄板共振控制噪声	210
67	穿孔板共振消声	213
68	用声波干涉控制噪声	216
69	监测车速	218
70	多普勒声纳	220
71	声悬浮和电磁悬浮技术	224
72	医用超声成像诊断仪	228
73	双光束干涉原理在煤矿甲烷体积分数监测中的应用	231
74	高精度激光陀螺的物理基础	234
75	增透膜	239
76	二向色镜在彩色液晶电视中的应用	243
77	激光干涉仪	248
78	半波带及其应用	251
79	光的衍射法测细丝直径	254
80	光的单缝衍射的一些应用	258
81	光栅的莫尔条纹及光栅的其它应用	263
82	光栅衍射方程在金属材料应变测量中的应用	267
83	平面应力状态模型在平面偏振光中的光弹效应	270
84	全息照相	275
85	全息干涉及其应用	279
86	光盘	282
87	光全息存储器	287
88	光纤及其应用	291

89	光纤传感器	297
90	模压全息及其应用	300
91	相衬显微镜	304
92	放射性衰变规律在地质年代学中的应用	308
93	红外技术的物理基础及其军事应用	313
94	γ 射线物位计	318
95	核子秤	320
96	X 射线和计算层析技术	323
97	扫描隧穿显微镜	326
98	超导与磁悬浮列车	330
99	核磁共振及其医学成像原理	332
100	光电法测转速	335
101	光电池与太阳能电池	337
102	石英电子表	340
103	电荷耦合器件及其应用	344
104	纳米材料及其应用	349

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。

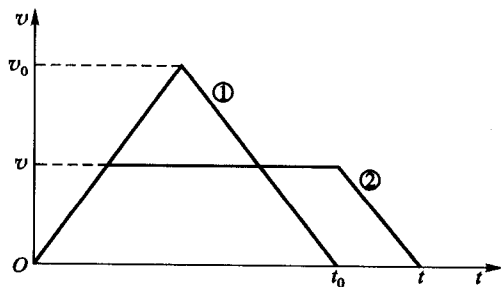


图 1-1

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 $\frac{1}{2}v_0 t_0$ 。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 $H = vt - v \frac{v}{a}$, 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 $H = \frac{1}{2}v_0 t_0, a = \frac{2v_0}{t_0}$ 。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 $v \geq 0.5v_0$ 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 $v = 0.5v_0$,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 $\frac{1}{2}$,而一次提升延续的时

间仅延长了 $\frac{1}{4}$ 倍。综合比较可得,竖井的最大提升速度取 $v = 0.5v_0 = 0.5 \sqrt{aH}$

是最为经济合理的。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

$$v = 0.5 \sqrt{H} \quad (5)$$

式中, v 以 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位, H 以 m 为单位。因此,由 $a = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $v = 0.5 \sqrt{H}$ 所确定的速度图为提升过程的最佳速度图。

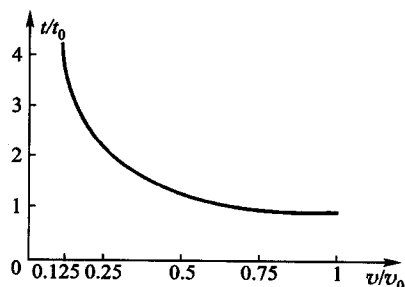


图 1-2

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] 黎佩琨主编. 矿山运输及提升. 北京:冶金工业出版社,1984
- [2] 范家骏编. 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,摩擦系数 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,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

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

图 2-1

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。所以底角保持为定值 φ 。若已知摩擦角 φ 和高 h ,则可求出物料的体积为

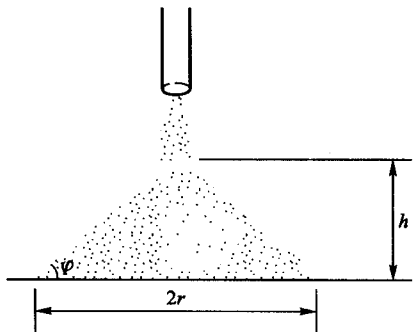


图 2-2

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

式中, μ 已不是原来意义的摩擦系数, 它称为当量摩擦系数, 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。

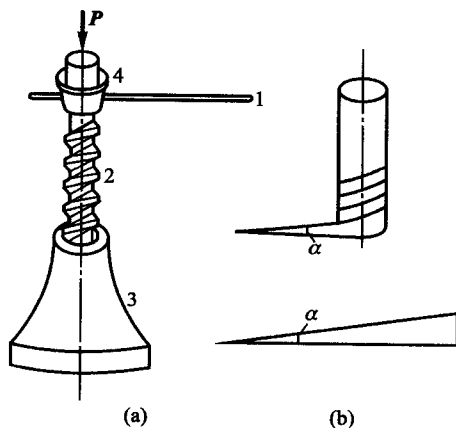


图 2-3

螺旋可以看成是绕在一圆柱体上的斜面, 如图 2-3(b)。螺纹升角 α 相当于斜面的倾角 θ , 螺母 (图中未画出) 相当于斜面上的物块, 加于螺母的轴向载

荷相当于物块的重力 P , 螺旋与螺母之间有正压力和摩擦力作用。由前面讨论知, 螺旋的自锁条件是螺纹升角 $\alpha \leq \varphi$ 。如果选用 45 钢或 50 钢做螺杆, 螺母的材料用青铜或铸铁, 螺杆与螺母之间的摩擦系数 $\mu = 0.1$, 则

$$\varphi = \arctan 0.1 = 5.72^\circ$$

为保证螺旋千斤顶自锁, 一般取螺纹升角 $\alpha = 4^\circ \sim 4.72^\circ$ 。

3

外 轨 超 高

余守宪

当机车车辆在水平面内拐弯时,所需的向心力靠外侧钢轨(外轨)对车轮的侧压力提供。按照牛顿第三定律,外轨就要受到侧压力,其大小与车速的平方成正比,与弯道的曲率半径 R 成反比。当车辆高速转弯时,这不仅会使外轨磨损很大,而且行车稳定和安全也得不到保证。因此,在铁路转弯处,常把路基的外侧垫起,使外侧钢轨抬高,以避免外轨受到侧压力,称之为外轨超高。下面,用惯性离心力的概念分析这一问题。

选取随车体绕弯道的曲率中心转动的参考系。从这个非惯性系来看,车体是静止的,它在惯性离心力、重力以及钢轨的作用力下达到“平衡”。下面用静力学的平衡条件来分析。

如图 3-1 所示,如果外轨与内轨高度相等,则沿水平方向,惯性离心力 F_n ①(其值为 $m \frac{v^2}{R}$,方向指向外侧,即图中左方)将与外轨对外侧车轮的侧压力(指向曲率中心)平衡,因而外轨所受的侧压力大小为 $m \frac{v^2}{R}$ 。设两个车轮间的距离为 s ,车体质心 C 离轨道平面的高度为 h_c ,则车体将在惯性离心力 $F_n = -ma_n$,重力 $P = mg$,外轨的侧压力 F_1 ,支承力 F_{N1} 及内轨的侧压力 F_2 ,支承力 F_{N2} 的作用下平衡(图 3-1 中未画出 F_1 与 F_2)。这里 $F_1 = m \frac{v^2}{R}$, $F_2 = 0$ 。由竖直方向的平衡条件,有

$$F_{N1} + F_{N2} = mg$$

又按照力矩平衡条件,取车轮与外轨的接触点 A 为参考点,有

$$F_{N2}s + m \frac{v^2}{R} h_c = mg \frac{s}{2}$$

① 张之翔. 惯性离心力通过质心. 大学物理. 1983(5):7