

物理学原理 在工程技术中的应用

主 编 张晓春 赵志洲
主 审 李富全 赫 然

哈尔滨工程大学出版社

T61

227

459181

物理学原理在工程技术中的应用

主 编	张晓春	赵志洲
副主编	叶彩星	张金学
	陈洪财	毕春良
主 审	李富全	赫 然



00459181

哈尔滨工程大学出版社

内容提要

本书是根据国家教委于1995年颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》第七部分“现代工程技术的物理基础专题”编写的。精选了物理学在工程技术中的应用专题62个,全书共分六章:力学、机械波、光学、电磁学、热学和近代物理。

本书可作为高等工业院校各专业的大学物理教材,也可作为综合性大学、农、林、医、师、商等高等院校及各类成人教育物理课程的教材和参考书。

12341/02

物理学原理在工程技术中的应用

主 编 张晓春 赵志洲

责任编辑 张 彦

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

黑龙江矿业学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10.5 字数 235 千字

1997年4月第一版 1997年4月第一次印刷

印数:1—1500册

ISBN 7-81007-781-3

O·54 定价:15.80元

前 言

《物理学原理在工程技术中的应用》教材是全国十四所高等院校共同商定,为完成国家教委 1995 年颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》第七部分“现代工程技术物理基础专题”教学而编写的。编写的原则是专题内容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。同时拓宽学生知识面,培养学生自学能力和理论联系实际的能力。使学生初步树立工程意识,自觉地探索将物理原理和方法运用于工程技术实际问题的途径,有利于学生科学素质的培养。

参加本书编写的有黑龙江矿业学院张晓春、赵志洲、李富全、金永君、李继男、刘炳胜、赵存友、张金学、艾延宝、崔洪海、赵春刚,上海交通大学王阳,武汉水力电力大学黄慧明,郑州轻工业学院缪兴中,佳木斯工学院陈洪财,北京联合大学机械工程学院邱平、姚淑娜,石家庄军械工程学院南秀华、郑成君,徐州空军后勤学院方延平、王保成、步明辉,武汉化工学院王国平,湘潭矿业学院吴松安,东北民族学院赫然,烟台大学梅雨华、武世文、黄万勇,中南财经大学鲍序淼,曲阜师范大学于国安、于作利,黑龙江省科委叶彩星,黄石摩擦材料厂王三全,七台河矿务局毕春良,八九八七〇部队教导大队张纯红。

一本书的问世,是集体智慧的结晶。书中大部分章节获益于广大物理学工作者和工程技术人员的才智和支持。书中多

处引用了他们的论文、著作和惠寄的资料,作者表示衷心感谢。

全书由张晓春、赵志洲主编,李富全、赫然主审。

编写本书是初次尝试,由于缺乏经验,加之涉及面较广,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1996年10月

目 录

第1章 力 学	1
1.1 速度图与矿井提升动力分析	1
1.2 抛体理论在体育中的应用	4
1.3 跳台高度与跳水的水深.....	11
1.4 重力选矿.....	14
1.5 黄金饰品含金量的测试.....	17
1.6 进动.....	20
1.7 跳汰选矿与矿床的位能分层理论.....	25
1.8 伯努利方程及其应用.....	29
1.9 液体静压原理在液位测量中的应用.....	39
第2章 机械波	44
2.1 立体声音响系统的物理基础.....	44
2.2 超声波测物位.....	47
2.3 超声波测流量.....	51
2.4 多普勒效应在医学诊断中的应用.....	58
2.5 岩体超声检测技术.....	65
第3章 光 学	74
3.1 光干涉式矿井瓦斯检测器.....	74
3.2 激光衍射法测量金属细丝的直径.....	76
3.3 人为双折射与玻璃内应力测量.....	79
3.4 光学原理在测量电学量中的应用.....	86
3.5 激光多普勒效应在水力电测技术中的应用.....	91
3.6 激光外差干涉测试技术的应用.....	93

3.7	光纤传感器	102
3.8	激光加工技术及应用	109
3.9	微测量放大器——莫尔条纹	119
3.10	全息术的物理原理及其应用	126
3.11	光全息检测技术的应用	131
第4章	电磁学	138
4.1	电力安装中的人体和静电	138
4.2	静电在生物工程技术中的应用	145
4.3	静电除尘	148
4.4	静电复印	155
4.5	电场在选矿工业中的应用	159
4.6	电偶极子与心电测量	166
4.7	非平衡电桥在医学上的应用	172
4.8	$10^{15}\Omega$ 数量级绝缘电阻的测定	177
4.9	电容式传感器	179
4.10	磁场与选矿	184
4.11	磁镜原理及其在磁约束中的应用	187
4.12	安培力在力马达上的应用	191
4.13	电磁法检测钢丝绳断丝	194
4.14	电磁流量计	197
4.15	电磁法检测球墨铸铁中珠光体含量	200
4.16	涡流检测	205
4.17	电磁超声无损检测技术的应用	213
4.18	电磁感应规律在电视机修理中的应用	217
4.19	加速器	222

第5章 热 学	230
5.1 电热制冷技术	230
5.2 $\frac{1}{2}$ 自旋 Ericsson 磁制冷机的有限时间 热力学分析	235
5.3 熵及其应用	241
第6章 近代物理	249
6.1 γ 射线在选矿工程中的应用	249
6.2 射线在无损检测中的应用	255
6.3 红外辐射与红外技术	259
6.4 红外测温	263
6.5 红外技术在军事上的应用	267
6.6 被动红外探测技术及应用	274
6.7 光电效应与电视摄象	278
6.8 核物理选矿	282
6.9 磁流体发电	286
6.10 磁流体选矿.....	289
6.11 隐形与反隐形.....	293
6.12 超导现象及应用.....	298
6.13 核磁共振法测磁场.....	306
6.14 精确制导武器的物理基础.....	310
6.15 测量误差与不确定度.....	317

第1章 力 学

1.1 速度图与矿井提升动力分析

矿井提升设备的用途是沿井筒提升矿石、下放物料、升降人员和设备,为井下采矿工程的咽喉,在采矿工程中占有主要的地位。图 1-1 是竖井单绳提升系统简图。

1.1.1 矿井提升速度图

无论是新建矿井,或是老井设备的挖潜改造都要首先确定速度图。

提升过程中,容器及物料的运动一般经历以下几个过程:由静止→加速→匀速→减速→停车卸料。

为了提升过程中运动及提升动力的平稳,加速、减速阶段均采用匀加速、匀减速运动,所以简单的速度图为图 1-2 中 $v(t)$ 所示,其中各段的加、减速度,最大速度 v_m ,由矿井生产能力、井筒深度、矿的安全规程等因素所决定。

1.1.2 速度图与各段提升动力分析

为了着重讨论速度图的作用,我们进行了以下假设:

(1)忽略除容器及物料以外的其它运行阻力。

(2)忽略钢丝绳的质量。

(3)忽略天轮质量。

(4)忽略提升机转动部分的影响,只考虑天轮处的滑动力 T 。

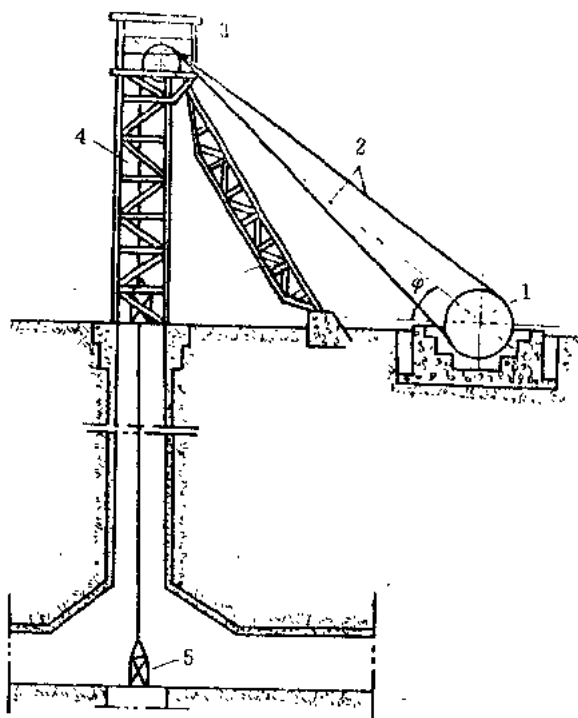


图 1-1 竖井单绳提升示意图

1—提升机；2—提升钢丝绳；3—天轮；4—井架；5—罐笼

由牛顿定律

$$T = M(g + a) \quad (1-1)$$

式中 T —提升拖动力；

M —容器及物料质量；

g —重力加速度；

a —提升加速度。

根据速度图,在不同的提升阶段, a 有不同的值,进而求出各段的拖动力 T ,并求出各段相应的功率 $N=Tv$,其计算结果见表1-1。

由此,可根据速度图画画出加速度图 $a(t)$ 、力图 $T(t)$ 、功率图 $N(t)$,上述图形合在一起,称为提升系统工作图,它表示了提升系统工作时主要参数的变化规律及关键数值如最大拖动力、最大功率等。

当电动机正常工作时, T 基本上与电动机

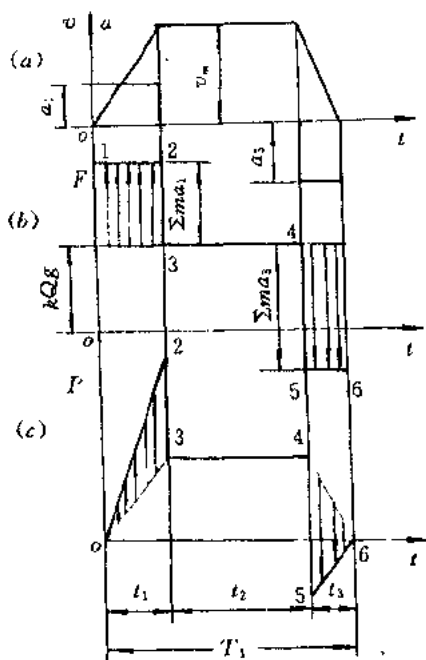


图 1-2 单绳罐笼提升工作图

的定子电流成正比,而定子电流的控制是靠切除定子回路中的附加电阻来进行的。因此,根据速度图、力图,即可确定各提升阶段定子回路中的电阻值及其变化,图1-3是一个六段提升的设计速度图、实测速度图和定子电流图。

表 1-1 各段提升拖动力及功率

加速度 a	加速度 $a_1 > 0$	加速度 $a_2 = 0$	减速度 $a_3 < 0$
拖动力 T	$M(g+a_1)$	Mg	$M(g+a_3)$
功率 $N=Tv$	$M(g+a_1)a_1t$	Mgv_m	$M(g+a_3)(v_m+a_3t)$

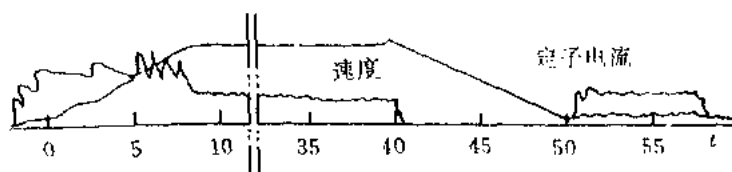


图 1-3 采矿立井提升速度图及定子电流图

图中加速度段中两直线为设计速度图线,自等速度开始,实测速度图与设计速度图基本重合。

图中可以看出,定子电流最大处是两加速段,此阶段的八个起伏的锯齿形尖峰,是由于八次切除定子附加电阻形成的,在达最大速度 v_m 以后的等速段中,拖动力仅克服容器及物料重力。等速阶段终了,切断电源,拖动力为 0,提升系统靠自己的惯性继续前行,此间动能减少,重力势能增加,这种减速称为自由滑行减速方式。低速运行阶段,为使其间匀速运行,电动机再次通电,容器到达终点,切除电源,抱闸、停车。

1.2 抛体理论在体育中的应用

抛体理论是质点力学中的重要内容,它在体育运动中有着极其重要的作用,如体育中的跳高、跳远、投篮、推铅球等项目。抛体理论可定量描述初速度、抛射角等因素对运动成绩的影响,找出取得最佳成绩的途径。

1.2.1 抛体理论

如图 1-4 所示,不考虑空气阻力,物体运动是二维的,建立如图所示的坐标系。令物体的初速度为 v_0 ,抛射角为 α ,则物体的运动方程为

$$\begin{aligned} r(t) &= x(t)i + y(t)j \\ &= v_0 \cos \alpha t i + (v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2)j \end{aligned}$$

或

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \alpha t \\ y = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases} \quad (1-2)$$

速度为

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha \\ v_y = v_0 \sin \alpha - gt \end{cases} \quad (1-3)$$

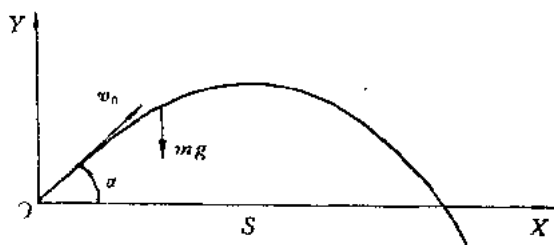


图 1-4 抛体运动

1.2.2 在体育运动中的应用

(1) 滑步掷铅球

运动员身高为 Δh , 则铅球落地点比出手点低 Δh , 即

$y = -\Delta h$, 代入方程组(1-2), 可计算出铅球飞行时间 T 以及水平运动距离 S 。

$$\begin{cases} S = v_0 \cos \alpha T \\ -\Delta h = v_0 \sin \alpha T - \frac{1}{2} g T^2 \end{cases}$$

解得

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2g\Delta h}}{g}$$

$$S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2g\Delta h}{v_0^2 \sin^2 \alpha}} \right) \quad (1-4)$$

可见, 铅球投掷的远近与初速度、抛射角、运动员身高有关。选择合适的抛射角, 增加初速率, 增加出手高度均能提高运动成绩。抛射角 α 的最佳值在 0 到 45° 之间, 其值可通过微分求极值而求得。如图 1-5 所示。为了计算方便, 将描述合运动的物理量 v_0 与 α 用三个独立变量 v_1 、 v_2 和 θ 来表示

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2 \cos \theta} \quad (1-5)$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{v_2 \sin \theta}{v_0} \right) \quad (1-6)$$

式中 v_1 为牵连速度(球出手瞬时的水平助跑速度); v_2 为相对速度(推球速度); θ 为推力的角度, 将式(1-5)、式(1-6)代入式(1-4)得

$$S = \frac{v_0 \sin \theta}{g} (v_1 + v_2 \cos \theta) \left(1 + \frac{\sqrt{2g\Delta h}}{v_2 \sin^2 \theta} \right) \quad (1-7)$$

令 v_1 、 v_2 和 Δh 不变, 将式(1-7)对 θ 微分求极值, 经过计算可求出对应 S 极大值的最佳推力角 θ 及相应的最佳出手角

α_0 。若 $\Delta h=0$ ，由 $\frac{ds}{d\theta}=0$ ，可求得最佳出射角度为

$$\theta_0 = \cos^{-1} \frac{\sqrt{v_1^2 + 8v_2^2} - v_1}{4v_2} \quad (1-8)$$

$$\alpha_0 = \sin^{-1} \left(\frac{v_2}{v_0} \sin \theta_0 \right) \quad (1-9)$$

这是一组简便实用的近似公式

(2) 助跑跳远

跳远运动员在腾空阶段，其运动与上述铅球运动完全相同。牵连速度 v_1 为起跳离地瞬时的水平助跑速度（比蹬地踏跳前的助跑速度略小）；相对速度 v_2 为蹬地起跳速度， θ 为起跳角， α 为腾起角， Δh 为重心降低幅度（约为 0.5m），如图 1-6 所示。

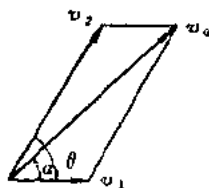


图 1-5 推铅球

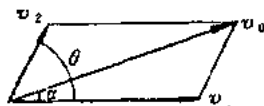


图 1-6 跳远

设某运动员的 $v_1=8\text{m/s}$ ， $v_2=4\text{m/s}$ ，则可算出 $\theta_0=63^\circ$ ， $\alpha_0=19.95^\circ$ ，（按近似公式计算， $\theta_0=68.50^\circ$ ， $\alpha_0=21.47^\circ$ ），将该数值代入式(1-7)可得 $S=8.52\text{m}$ 。由图 1-7 所示可知，跳远成绩由三部分组成：起跳距离 S_1 ，腾空距离 S ，落地距离 S_2 ，即总成绩应为 S_1+S+S_2 。

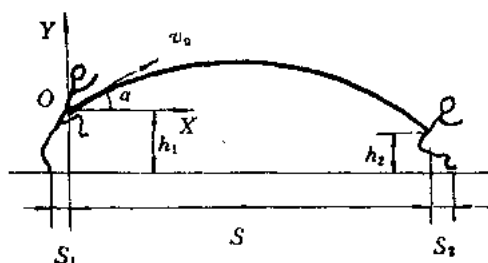


图 1-7 助跑跳远

(3) 助跑跳高

如图 1-8 所示, 运动员离地瞬间身体重心距地面的高度为 H_1 , 重心腾空的最大高度为 H_2 , ΔH 为横杆到重心最高点的距离, 跳高的成绩为 $H = H_1 + H_2 - \Delta H$ 。人体过杆时 $t = T$, $y = H_2$, $v_y = 0$, 代入式(1-2)、式(1-3)得

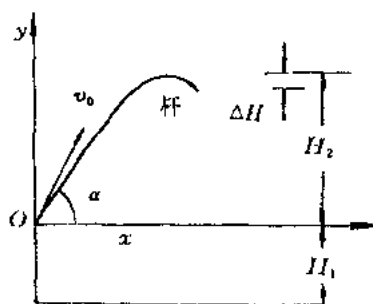


图 1-8 助跑跳高

$$H_2 = v_0 \sin \alpha T - \frac{1}{2} g T^2$$

$$0 = v_0 \sin \alpha - g T$$

解得

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_2 \sin \theta}{g}$$
$$H_2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{v_2^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

跳跃高度为

$$H = H_1 + \frac{v_2^2 \sin^2 \theta}{2g} - \Delta H \quad (1-10)$$

由式(1-10)可知,要提高运动成绩,跳高运动员应努力做到:

1)离地前瞬间充分向上伸腿和躯干,尽可能提高身体重心。所以跳高运动员宜选择腿长的人。

2)提高蹬地速度 v_2 。实践表明,助跑的作用在于增加动作的幅度、力量和速度,力争把更多的助跑速度转变成起跳速度,从而提高运动成绩。

3)起跳角接近 90° ,腾起角在 $70^\circ \sim 80^\circ$ 之间。

4)良好的过杆动作,使重心尽量靠近横杆。俯卧式或背越式过杆容易达到这一点。

(4)投篮

只讨论立定投篮,如图 1-9 所示,设篮圈中心坐标为 (X, Y) ,由式(1-2)可得

$$\begin{cases} X = v_0 \cos \alpha T \\ Y = v_0 \sin \alpha T - \frac{1}{2} g T^2 \end{cases}$$

则

$$Y = X \operatorname{tg} \alpha - \frac{g X^2}{2 v_0^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)$$