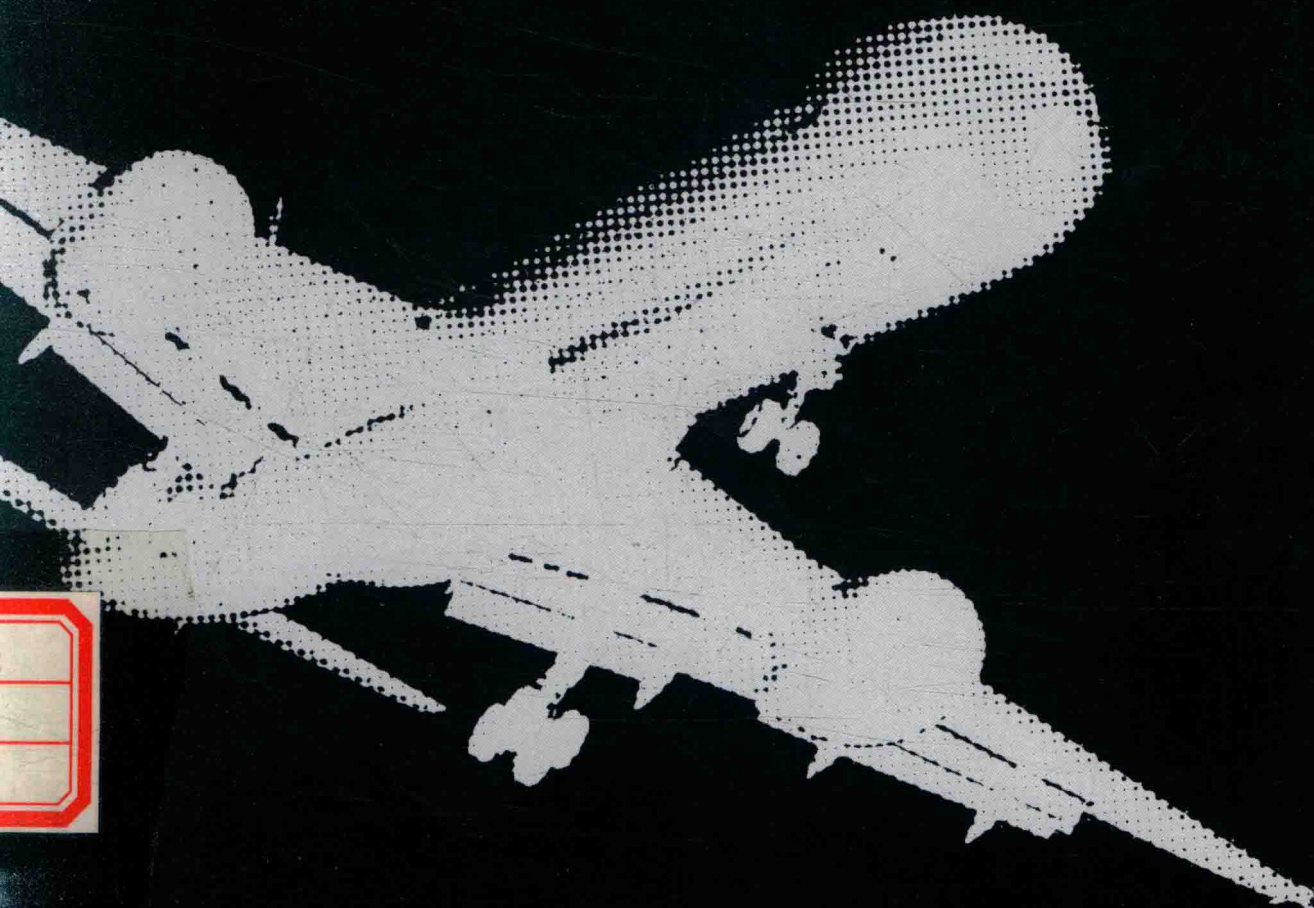


陈蕾蕾 著

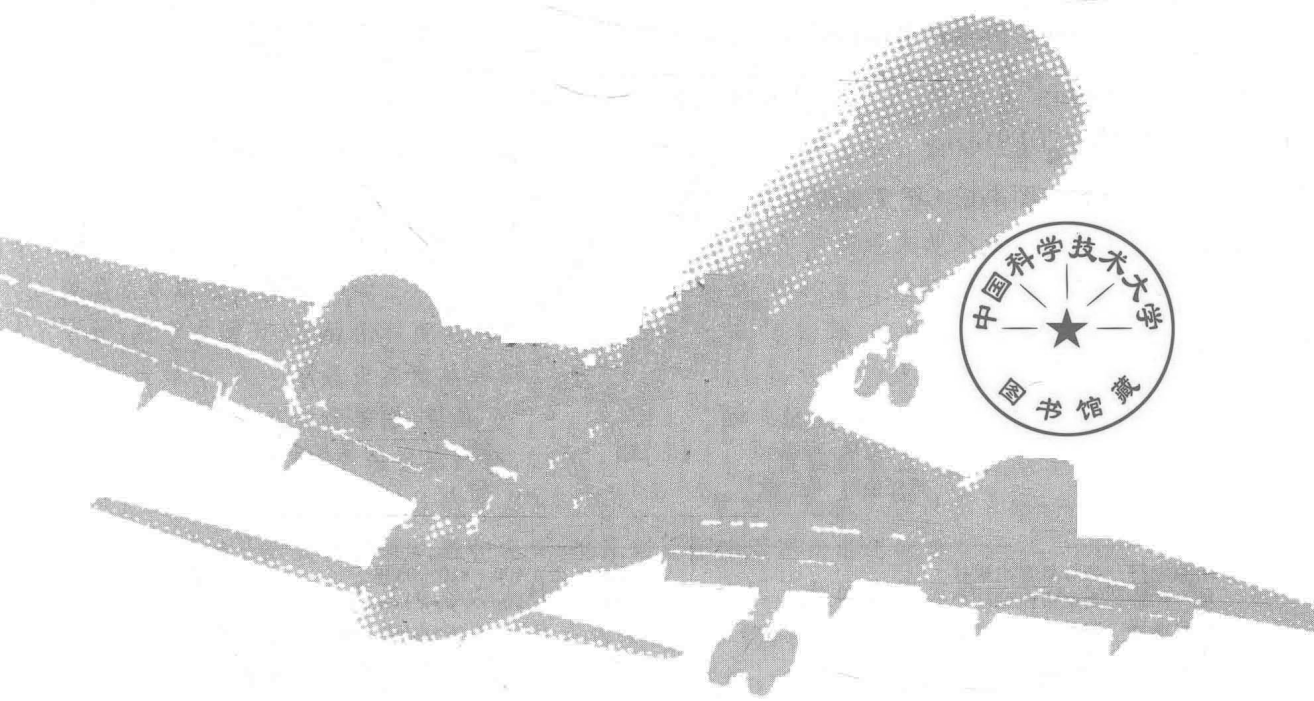
物理与军事



陈蕾蕾 著

WULI YU JUNSHI

物理与军事



内容提要

本书将物理学理论与军事相融合,突出了军事技术中的物理原理,涵盖了物理教学的基本内容,即力学、热学、电磁学、光学和量子论等理论在军事装备上的应用。精选 100 个军事技术实例,包含常规武器装备、当代新式武器装备以及未来新概念武器装备,通过对装备原理的抽象和分解,还原物理学的基本理论,既有定性分析,也有定量计算,为抽象的物理理论找到在军事上的具体应用,内容生动、翔实、广泛,图文并茂。

本书可作为高等工科院校各专业的物理教学配套教材,也可以作为学生能力拓展和科技创新与探索精神激发的培训教材。此外,本书也可作为相关专业技术人员作为跨学科的学术视野拓展的入门级参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

物理与军事/陈蕾蕾著. —北京:高等教育出版社,2016.3

ISBN 978-7-04-044050-8

I. ①物… II. ①陈… III. ①军事物理学—高等学校—教材 IV. ①E912

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247408 号

策划编辑 程福平
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 程福平
责任校对 高歌

封面设计 王 鹏
责任印制 田 甜

版式设计 马云

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 北京市昌平百善印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.25
字 数 330 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.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2016 年 3 月第 1 版
印 次 2016 年 3 月第 1 次印刷
定 价 25.60 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 44050-00

前言

“强国梦”“强军梦”是实现中华民族伟大复兴的坚实基础,军队院校作为培养军事人才的摇篮,更是肩负实现“强军梦”的重任。军队院校的教育训练直通部队和战场,军队院校也是战斗队,应时刻为军事斗争作准备,基础课程也应主动适应军队院校教育转型的新形势,根据学科的教学要求和特点,结合承训任务和涉及的专业学科领域,改造传统教学内容,在学历教育阶段加强学员的军事素质和军事能力的培养,突显基础教学的姓“军”特色。

在军队院校教育转型中物理教学要着力改变基础理论与军事绝缘和脱节的现状,应遵循认知和教学规律,建设军校物理教学面向军事教育急需的教学资源,引入课程教学。我们通过低年级加强物理课程与军事的融合,解决物理学理论在实践上指导军事实际应用的问题,有效解决学员对后续军事和专业课程学习的时间紧、效率低等问题,提升培养军校学员军事素质的效益。

众所周知,物理学的每一次新发现、每一个新理论的建立,都对科学技术的发展和人类文明的进步起到重大的推动作用。在热力学理论的指导下,内燃机技术得到不断改进,使人类从农业社会跨入工业时代,电磁学的发展使人类迈进自动化和信息时代,量子理论的确立使人类对世界的认识进一步加深,必将有力地推动 21 世纪的技术进步和创新。

正如恩格斯所说:“一旦技术上的进步可以用于军事目的,并且已经用于军事目的,它们便立刻几乎强制地,而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式上的改变甚至变革。”随着国防信息化现代化建设的快速发展,先进的工程技术几乎总是越来越迅捷、越来越广泛地应用于军事技术领域。如士兵必备的枪弹,外形、发射系统和发射机制不断地改良,射程在增加,威力在增大,自动化程度在提高;用于阵地攻防的手榴弹、炮弹、地雷,藏于水下的水雷、深水炸弹,无一不是正在发展着的毁伤敌方人员和装备设施的战场利器;能够打击远距离目标的各类精确制导导弹,更是各国军队争相装备的智能武器;素有“千里眼、顺风耳”之称的雷达,具有了识别真假目标的功能;蓝天上的战斗机、侦察机披上了隐身衣;新概念武器和新式装备的研制成为世界性的热点和焦点。物理学的理论在工程技术上的应用,不但为国防建设提供了大量的新式武器和装备,也深刻地影响着军事思想的变革。

科学理论的种子要发芽成长为工程技术的大树,中间要经历从原理到设想技术方案,再到物化的实践过程,因此,军事装备都是非常复杂的系统,涉及到众多的学科领域和工程技术。将军事恰当地引入物理课程教学,一直是一个难题。在教学实践中,我们探索出用“颗粒化”的方法来解决这一难点,先对装备技术简化和分解,削弱次要的理论枝蔓,强化对技术具有支撑作用的物理理论,还原为物理学的基本理论,再细化到具体的知识点上。在这个过程中,经过周密的物理理论定性分析、定量和半定量计算,使装备中的技术和物理理论知识点紧密相扣,凸出物理学的基本理论,使之成为相应知识点的-一个应用案例。

在长期的教学实践中,反复提炼教学内容和重点,积累了大量的案例,逐步建设了涵盖物理学内容的教学资源。本书筛选了其中的部分内容,按照覆盖物理教学各篇章,篇章结构

与物理通用教材相一致,内容难易程度适当,定性分析和定量计算相结合的设想进行了编写。试图通过物理理论在军事装备技术中应用的大量实例,贯通基础理论与军事装备和专业前沿,使学员深入了解基础理论在军事技术及其发展过程中的生长点,拉近物理理论与军事的距离,突出物理理论在军事技术应用上的推动、牵引和支撑作用,加快学员对军事装备和技术的了解,加深对物理学理论的理解和掌握,激发学习兴趣、引导自主思考、激活创新潜能,从而有效提升学员的军事素质和战斗力。

在编写本书的前期准备中,编者走访了军内多所学院的物理教研室、专业教研室和研究所,得到了热情的支持和帮助。在编写的过程中得到余大斌教授、杨华教授的热情鼓励和支持,仔细审查了全部书稿,提出了有益和宝贵的建议;解放军电子工程学院机关和基础部领导给予了大力的支持,教研室全体教员给予了极大的关心,尤其是王勇、吴昌和刘琦为本书编写提供了部分生动的素材,高等教育出版社程福平编辑在本书的编辑出版过程中耐心给予具体指导。正是由于如此众多的关爱和广泛、翔实、丰富的专业学科资源的支撑,才使本书充实、生动、特色明显,在此一并表示深切的感谢。

编写这本书是一次尝试和探索,加之编者的水平所限,难免有不妥和不足之处,恳请读者批评指正。

陈蕾蕾

2015年12月

目 录

第一章 质点运动学 1

- 1. 雷达对目标的探测 1
- 2. 弹道曲线 2
- 3. 加速度计 6
- 4. 惯性导航 7

第二章 质点动力学 10

- 5. 飞机的载荷 10
- 6. 四两拨千斤的缆绳 14
- 7. 火箭的飞行 16
- 8. 舰载机的起降 18
- 9. 火炮的反后坐 21
- 10. 小鸟撞大飞机 23
- 11. 弹丸的“提速” 26
- 12. 卫星变轨 27
- 13. “嫦娥”奔月 31

第三章 刚体的定轴转动 33

- 14. 推力矢量技术与战机的
机动 33
- 15. 机身反转的调整 36
- 16. 陀螺仪的导航 39
- 17. 炮弹的引爆和来复线 40

第四章 狭义相对论 43

- 18. 人造地球卫星的定位 43
- 19. 核弹的杀伤力 44
- 20. 核污染与防护 47
- 21. “神舟”与时间计量 49

第五章 流体力学 52

- 22. 空速管 52
- 23. “深潜号”与饱和潜水 53

- 24. 巧用空气阻力使弹丸增程 ... 56

- 25. 突破音障的超音速飞行 58

- 26. 潜艇的下潜受力 60

- 27. 航海和航空中的安全距离 ... 64

- 28. 机翼的升力和阻力 66

- 29. 高压水枪突破“巴列夫
防线” 69

- 30. 地效飞行器 70

- 31. 音爆的产生和消除 73

- 32. 超空泡——水中兵器的速度
倍增器 75

第六章 机械振动和机械波动 78

- 33. 舰船的振动与航行安全 78

- 34. 弹药的安全运输 81

- 35. 次声波武器 82

- 36. 超声波武器 84

- 37. 噪声武器 85

- 38. 战场的声音静区 86

- 39. 消声瓦 87

- 40. 抛物面天线 89

- 41. 声呐探测 91

- 42. 超声波的衰减 94

- 43. 多普勒声呐测速 95

- 44. 海洋中的声音盲区 97

- 45. 飞机的外形设计与隐身 98

- 46. 电子反噪声耳罩 100

- 47. 天线中的信号传输 101

第七章 气体动理论和热力学基础 103

- 48. 铀浓缩的气体扩散法 103

- 49. 地形匹配制导中的气压与
高度 105

- 50. 气象条件影响火炮射击 107

51. 枪械消音器	109	第十一章 电磁场和电磁波	162
52. 内弹道的热学基础	110	76. 磁场测量技术的应用	162
53. 喷气发动机燃料的选择	112	77. 多普勒雷达测速	164
54. 高寒地区装备车辆的 启动	115	78. 拒敌于千米之外的微波 武器	166
55. 气象武器	118	79. 短波通信的盲区	167
第八章 静电场	121	第十二章 波动光学	169
56. 跨步电压的危害与预防	121	80. “乱花渐欲迷人眼”——迷彩 伪装	169
57. 人体静电对军备物资的 危害和防护	123	81. 激光测距仪	171
58. 高电压下舱内的人员安全	125	82. 光纤陀螺	173
59. 火炮膛压的测量	127	83. 激光陀螺	174
60. 飞机的燃油测量技术	129	84. 位移干涉仪测量爆破飞片 的速度	177
第九章 恒定磁场	132	85. 潜望镜的镀膜	179
61. 磁螺钉“击落”高空侦察 机 U-2	132	86. 机身的雷达波吸收涂层	181
62. 地磁匹配导航	133	87. 雷达的分辨率	182
63. 电磁轨道炮	134	88. 相控阵天线	184
64. 粒子束武器	137	89. 偏振光导航	190
65. 电磁继电器的自动控制	138	90. 偏振光与目标识别	192
66. 舰艇磁性的危害及消磁	140	第十三章 量子物理基础	194
67. 电磁信号的屏蔽方法	143	91. 探测飞机的红外辐射	194
第十章 电磁感应	147	92. 红外热像仪	196
68. 雷电对机身的影响	147	93. 常用光电探测器件的原理	201
69. 探测海流感应场	149	94. 微光夜视仪	203
70. 第二原子弹——电磁脉 冲弹	152	95. 电力设施的“克星”——石墨 炸弹	207
71. 超导磁传感器对舰船的 探测	153	96. 激光枪	209
72. 莫尔斯电码和电报机	154	97. 激光炮	210
73. 水雷磁感应接收器	156	98. 激光雷达	214
74. 线圈炮的弹丸速度	157	99. 弹道研究与电子计算机的 诞生	216
75. 电磁技术探雷	159	100. 传感器和战场感知	217
		参考文献	220

第一章 质点运动学

1. 雷达对目标的探测

相关知识点:坐标

雷达被誉为战场上的“千里眼”,是现代武器效能的倍增器,在信息化战争中发挥着无可替代的巨大作用。经过近 80 年的发展,各种类型的雷达应运而生。其中,对目标进行空间定位的雷达是常见的雷达之一,其主要功能是测量目标的三维坐标参量,这种雷达亦称为三坐标雷达。图 1-1 即是我国自行研制的 820 型雷达系统,它是一种车载型低空目标指示的三坐标雷达。其主要作战使命为探测中低空飞行目标,测量目标的三维坐标参量,为上级指挥系统提供局部空域情报。



图 1-1 国产三坐标雷达系统

所谓的三坐标雷达,就是能同时测定空中目标的距离、方位以及仰角(或高度)三个坐标参量。很显然,如果要获得三个坐标参量,就必须先建立雷达坐标系。如图 1-2 所示,方位角的确定通常以地球的正北方向为坐标的参考方向,此处目标方位角为 0° ,如果雷达所在点到目标的距离为目标距离 r ,以目标与雷达的连线在地面上的投影与正北方向夹角 α ,即为方位角;仰角的确

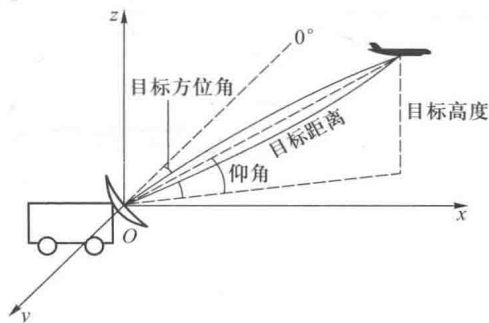


图 1-2 雷达获取目标三维坐标参量的示意图

定是根据目标与雷达的连线与其在水面上的投影的夹角,即仰角 β 。

那么,建立雷达坐标系以后,雷达是如何获得具体的三坐标参量呢?这一点,通过三坐标雷达的扫描方式就可以看出,一般而言,三坐标雷达要在水平和垂直两个方向上进行扫描。

首先,在水平方向上扫描,利用探测到目标的波束偏离参照方向的角坐标,可以得到目标的方位角 α ;并且通过测量雷达电磁波从发射、反射到接收经历的时间间隔 t ,以及电磁波的速率 c ,可以得到与目标间的距离为 $r=ct/2$ 。

其次,在竖直方向上扫描,根据波束与其在水平面上的投影线的夹角,即可以获得仰角 β ;再通过三角函数关系,可以进一步得到目标的高度为 $h=r\sin\beta$ 。

就这样,在建立坐标系的基础上,三坐标雷达能准确地获取空中目标的距离、方位以及仰角(或高度)三个具体的坐标参量,实现对目标的准确定位。获得目标的三坐标参量具有十分重要的意义,这是因为,一旦实现了对空中目标的准确定位,就可以对其进行紧密监视或实施精确打击,这正是三坐标雷达的意义所在,也是三维空间坐标在军事上应用的充分体现。

2. 弹道曲线

相关知识点:牛顿运动定律 空气阻力

炮弹在空中运动,除了受到重力作用外,还受空气阻力的作用,运动轨迹呈现特有的运动曲线,通常称为弹道曲线。由于空气阻力的影响,弹道曲线已非通常的抛体运动呈现的运动轨迹。

设炮弹所受阻为 $F_t=-kv$,对炮弹进行受力分析,建立坐标如图 2-1 所示。

运用牛顿运动定律,得到 x 和 y 方向的动力学方程

$$m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x \tag{2.1}$$

$$m \frac{dv_y}{dt} = -mg - kv_y \tag{2.2}$$

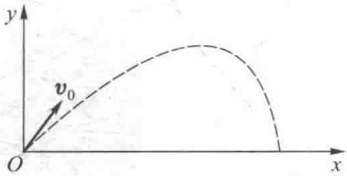


图 2-1 坐标系

初始条件为 $t=0, v_x=v_{x0}, v_y=v_{y0}, x=0, y=0$;对式(2.1)和式(2.2)通过分离变量,解微分方程可得

$$v_x = v_{x0} e^{-\frac{kt}{m}} \tag{2.3}$$

$$v_y = \left(v_{y0} + \frac{mg}{k} \right) e^{-\frac{kt}{m}} - \frac{mg}{k} \tag{2.4}$$

由速度的定义得: $v_x = \frac{dx}{dt}$ 和 $v_y = \frac{dy}{dt}$,再对式(2.3)和式(2.4)求解,得

$$x = \frac{mv_{x0}}{k} \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) \tag{2.5}$$

$$y = \left(\frac{m^2 g}{k^2} + \frac{mv_{y0}}{k} \right) \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) - \frac{mg}{k} t \tag{2.6}$$

对式(2.5)和式(2.6)消去 t , 得到轨道方程为

$$y = \left(\frac{mg}{kv_{x0}} + \frac{v_{y0}}{v_{x0}} \right) x - \frac{m^2 g}{k^2} \ln \left(\frac{mv_{x0}}{mv_{x0} - kx} \right)$$

$$\text{或 } y = \left(\frac{mg}{kv_{x0}} + \frac{v_{y0}}{v_{x0}} \right) x - \frac{m^2 g}{k^2} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{kx}{mv_{x0}}} \right) \quad (2.7)$$

当阻力较小或炮弹的运动距离较短时, $\frac{kx}{mv_{x0}} \rightarrow 0$, 将式(2.7)中第二项展开 $\left[\ln(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \dots \right]$, 整理得

$$y = \frac{v_{y0}}{v_{x0}} x - \frac{1}{2} \frac{g}{v_{x0}^2} x^2 - \frac{1}{3} \frac{kg}{mv_{x0}} x^3 - \dots \quad (2.8)$$

由于在炮弹运动的前段, x 较小, 式(2.8)略去高阶无穷小项, 可近似为

$$y = \frac{v_{y0}}{v_{x0}} x - \frac{1}{2} \frac{g}{v_{x0}^2} x^2$$

可见, 在此段, 炮弹以较大的速率斜向上抛出后, 运动曲线呈现的是升弧, 长而平伸。

当炮弹向较远处运动时, x 的数值越来越大, 由式(2.8)可得, y 的数值快速地减小, 趋近于零, 炮弹很快地下落, 运动曲线呈现的是降弧, 短而弯曲。

如以速率为 610 m/s 射出的炮弹, 在不计空气阻力的情况下, 以最佳角度发射炮弹可以划出一条高达 9.5 km 的巨大抛物线, 射程可达 38 km。然而, 在空气阻力作用下, 炮弹只能飞行 4 km 左右, 射程缩短为约 $\frac{1}{10}$, 如图 2-2 所示, 弹道曲线严重偏离抛物线的轨迹。

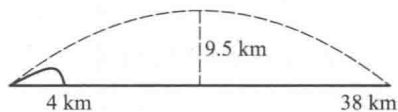


图 2-2 弹道曲线

附：火炮与遂行任务

对于炮弹的运动, 通常讨论炮弹的位置、轨迹以及速率等问题, 一般把炮弹抛出方向与水平方向 (x 轴正方向) 之间的夹角 θ 称为抛射角; 把物体能达到的最大高度 h 叫做射高; 从抛出点到落地点的水平距离 s 叫做射程。如果不考虑空气阻力和风速风向等因素, 仅考虑重力的作用, 出膛的炮弹在水平方向上做匀速直线运动, 在竖直方向以加速率 g 作匀变速运动, 弹道曲线是理想的抛物线。

不考虑空气阻力, 利用直角坐标系分析理想抛体运动, 如图 2-3 所示, 物体以初速率 v_0 斜向上抛出, 从这一瞬间开始计时, 并以此位置为坐标原点。

按坐标分解, 有

$$\begin{cases} v_{x0} = v_0 \cos \theta \\ v_{y0} = v_0 \sin \theta \end{cases} \quad (2.9)$$

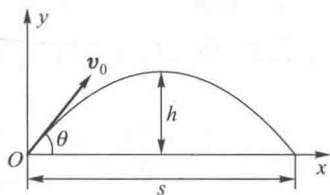


图 2-3 斜抛物线

速率为

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \theta \\ v_y = v_0 \sin \theta - gt \end{cases} \quad (2.10)$$

则 x 、 y 方向的位移为

$$\begin{cases} x = v_0 t \cos \theta \\ y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \quad (2.11)$$

当物体在最高点时, $v_y = 0$, 由速率表示式 (2.10) 可得所用时间

$$t_h = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \quad (2.12)$$

将 t_h 代入坐标式 (2.11) y 中, 得射高

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad (2.13)$$

当 $\theta = 90^\circ$ (θ 常称为抛射角) 时, 有最大射高

$$h_m = \frac{v_0^2}{2g} \quad (2.14)$$

物体飞行的总时间为

$$t_{\text{总}} = 2t_h = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \quad (2.15)$$

代入坐标表示式 (2.11) x 中, 可得射程

$$x = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (2.16)$$

在 v_0 一定时, 当 $\theta = 45^\circ$ (θ 常称为抛射角) 时, 水平射程有最大值

$$x_m = \frac{2v_0^2}{g} \quad (2.17)$$

由上述分析可以知道, 弹道曲线与炮弹的初速率和发射角有关。一般情况下, 要增大射程, 一是要增大发射速率, 二是适当调节发射角。当发射角一定, 初速较大时, 射程较大, 当发射角为 45° 时, 射程最大; 当初速一定, 发射角较大时, 射高较大。

实战中, 根据抛体运动的特点, 火炮按轰击敌方目标的任务要求可分为:

(1) 加农炮

加农炮的特点是身管与口径的比值大于 40, 低发射角射击, 弹道低伸。炮弹的出口速率大于音速, 甚至超过音速四五倍, 可射击十几千米以至几十千米以外的目标。

遂行任务: 主要用于射击垂直目标、装甲目标和远距离目标。如海岸炮、军舰炮、高射炮都是加农炮的化身。如图 2-4 所示为 60 式 122 mm 加农炮, 发射角小于 45° , 初速大于 880 m/s, 最大射程为 27 400 m。

(2) 迫击炮



图 2-4 60 式 122 mm 加农炮

迫击炮的特点是发射角大(最大可达 85°),射高远远超过射程,初速小,弹道弯曲。重量较轻、结构简单,适合于伴随步兵行动(见图 2-5)。

遂行任务:主要用于打击遮蔽物后和反斜面上的目标。如 W1987 式 81 mm 迫击炮,高低射界 $45^\circ \sim 85^\circ$,初速 312 m/s,最大射程 5 700 m。

(3) 榴弹炮

榴弹炮的特点是身管与口径的比值为 20~30,发射角约为 45° ,弹道弯曲。

遂行任务:主要用以歼灭敌有生力量,压制敌技术兵器,破坏敌工程设施等。主要用于打击遮蔽物后目标和水平目标。如图 2-6 为 96 式 122 mm 榴弹炮,初速 690 m/s,最大射程为 18 000 m。



图 2-5 迫击炮



图 2-6 PL96 式 122 mm 榴弹炮

还有将加农炮和榴弹炮的功能合而为一的火炮——加农榴弹炮,简称加榴炮。

3. 加速度计

相关知识点:弹性力 惯性力 欧姆定律

加速度计是测定加速度的基本仪器,常为导弹、飞机、潜艇或宇宙飞船制导系统提供运动信息。加速度仪种类虽多,但主要是惯性力在技术上的应用。

图 3-1 是飞机上安装的加速度表。其中 A 为表盘, B 为弹簧,固连着的指针 D,使 D 平衡时静止于表盘刻度的中点, C 为物块,质量为 m , O 为指针上的支点。飞机静止或匀速飞行时,指针处于平衡位置指向零。当飞机加速上升时,由于惯性力的作用,物块 C 下降,指针 D 向上偏转;当飞机加速下降时,同样由于惯性力的作用,物块 C 上升,指针 D 向下偏转。飞行员可以根据指针偏转知道飞机相对地面在竖直方向上的加速度。

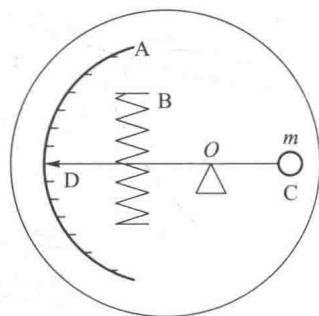


图 3-1 加速度计

另外,还有应变式的加速度计,可提供更为精确的运动信息,原理如图 3-2 所示。支架 AB 固定在待测系统上,质量为 m 的滑块穿过光滑水平横杆,左侧通过一轻弹簧与 A 端相连,滑块的下端以绝缘连动装置固定于变阻器的中心抽头。当系统沿水平方向做变速运动时,滑块在惯性力的作用下相对于支架发生左右位移,从而带动变阻器中心抽头左右移动,此时通过电路转化成电信号从电压表

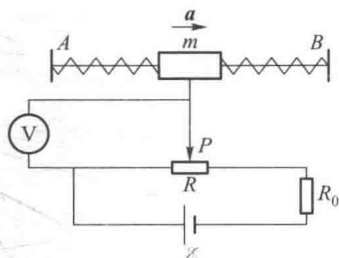


图 3-2 应变式加速度计的原理图

输出。

若已知弹簧的劲度系数为 k , 电压表的量程为 U , 电源电动势为 $\mathcal{E}$, 内阻不计, 滑动变阻器总长为 L , 总阻值为 R 。当待测系统静止时, 测动头 P 位于滑动变阻器 R 的中点, 取 AB 方向为速度正方向, 求该加速度计加速度的测量范围以及为保证电压表正常使用, 电路中定值电阻 R_0 的最小值; 并根据 R_0 的最小阻值, 写出待测系统沿 $A \rightarrow B$ 做变速运动时, 电压表示数 U_v 与加速度 a 的关系。

对于滑块来说, 由于弹簧最大形变量 $x = L/2$, 有最大加速度:

$$a_m = \frac{kL}{2m} \quad (3.1)$$

若以向右为正, 则该加速度计能够测量的加速度范围是 $-\frac{kL}{2m} \sim \frac{kL}{2m}$ 。

又由于当滑动变阻器滑片 P 位于最右端时电压表满量程使用, 根据

$$U = IR = \frac{\mathcal{E}}{R + R_0} R \quad (3.2)$$

可得, 定值电阻 R_0 的最小值

$$R_{0\min} = \frac{\mathcal{E} - U}{U} R \quad (3.3)$$

又据 $U_v = 0$ 时 $a = -\frac{kL}{2m}$, $U_v = U$ 时 $a = \frac{kL}{2m}$ 及 a 随 U_v 按线性规律变化的特点可知, 此时系统加速度 a 与电压表示数 U_v 的关系为

$$a = -\frac{kL}{2m} + \frac{kL}{2m} U_v \quad (3.4)$$

从式(3.4)可得, 通过将加速度的数值转换为电压, 即可用电压信号作为信号源来达到操作各种飞行器的目的。

4. 惯性导航

相关知识点: 加速度 速度 角坐标

惯性导航是精确制导武器的最早制导模式, 诞生于二战时期, 被德国应用于 V-2 地地弹道导弹。目前, 虽然精确制导武器发展了多种制导模式, 但是惯性导航仍然被各种精确制导武器作为中段制导或全程制导, 发挥着重要作用。

惯性导航系统是一个自主式的空间基准保持系统, 由惯性测量装置、控制显示装置、状态选择装置、导航计算机和电源等组成。其中惯性测量装置包括加速度计和陀螺仪。前者用来测量运载器的平动加速度, 指向当地地垂线的方向; 后者用来测量运载器转动的角位移, 指向地球自转轴的方向。通过对测出的加速度进行积分, 可算出运载器在导航参考坐标系的位置。

例如, 一个舰船惯性导航平台是在一个能保持水平的平台上安装指北的陀螺仪和两个加速度计, 一个加速度计用来测量船在南北方向任意时刻的加速度 $a_s(t)$, 另一个加速

度计用来测量船在东西方向任意时刻的加速度 $a_w(t)$ 。设 v_{0s} 是计时开始时南北方向的速度分量, v_{0w} 是计时开始时东西方向的速度分量, λ_0 是初始时刻船位的经度、 φ_0 是初始时刻船位的纬度, R 是地球的平均半径, 则可以通过积分运算求出船在任意时刻的速度和位置。

(1) 确定船的速度

根据加速度的定义式 $a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$, 可得南北方向的加速度与南北方向的速度分量关系为

$$a_s(t) = \frac{dv_s(t)}{dt} \quad (4.1)$$

有

$$dv_s(t) = a_s(t) dt \quad (4.2)$$

两边积分, 可得

$$\int_{v_{0s}}^{v_s(t)} dv_s(t) = \int_0^t a_s(t) dt \quad (4.3)$$

则有

$$v_s(t) = \int_0^t a_s(t) dt + v_{0s} \quad (4.4)$$

同理, 可确定东西方向的速度为

$$v_w(t) = \int_0^t a_w(t) dt + v_{0w} \quad (4.5)$$

(2) 确定船的经纬度

再根据速率和角速度大小的关系 $v = R\omega$, 以及角速度与角坐标的关系 $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$, 由式(4.4)

可得

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{v_s(t)}{R} \quad (4.6)$$

$$d\varphi(t) = \frac{v_s(t)}{R} dt \quad (4.7)$$

两边积分可确定船在南北方向的方位, 即目标位置的纬度为

$$\varphi(t) = \frac{1}{R} \int_0^t v_s(t) dt + \varphi_0 \quad (4.8)$$

同理, 船在东西方向的方位, 即目标位置的经度为

$$\lambda(t) = \frac{1}{R} \int_0^t v_w(t) dt + \lambda_0 \quad (4.9)$$

由式(4.8)和(4.9)可得到任意时刻目标所在位置的纬度和经度, 通过式(4.4)和(4.5)可得任意时刻目标在南北方和东西方的速度分量, 这样能及时得到目标的位置和速度等运动信息。

因此, 惯性导航系统主要优点是不依赖任何外界系统的支持而能独立自主地进行导航, 在载体中使用时, 不需和外界交换任何光电信息, 工作时不依赖外界信息, 也不向外界辐射

能量,因而不易受到干扰,这一点在战时特别重要,而且该系统能连续地提供包括姿态基准在内的全部导航和制导参量,具有对准后良好的短期精度和稳定性。但惯性导航系统也有其缺点,主要是结构复杂、造价较高,导航误差随时间积累而增大,调整和对准时间较长,不能满足远距离或长时间航行以及高精度导航或制导的要求。故采用静电陀螺、激光陀螺、光纤陀螺等新型陀螺较为理想。

第二章 质点动力学

5. 飞机的载荷

相关知识点:力的平衡力 向心力 牛顿运动定律

在飞行的过程中,飞机受到的升力起到至关重要的作用,通常用升力与重力的比较来表示对飞机的升力要求,这一比值被称为过载,也称为载荷因数。在通常情况下,飞机的运动可分为水平飞行和曲线飞行,以及转弯和筋斗等特技飞行。下面对不同航迹的运动曲线分析飞机的升力与载荷特点。

(1) 平飞

飞机在飞行时除重力外,还受到其他力以维持在空中的飞行。当飞机在稳定地水平飞行时所受的力有:飞机的重力为 G ,升力为 F_{L0} ,空气的阻力为 F_{D0} ,发动机的推力为 F_P 。并假设以上各力都通过飞机的重心,受力如图 5-1 所示。

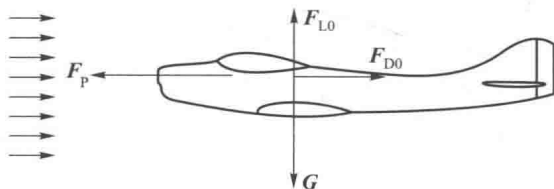


图 5-1 飞机平飞时受力

为了使飞机能以匀速 v_0 水平飞行,飞机所受的力必须平衡,即作用力的总和等于零。因此,有 $F_P = F_{D0}$, $F_{L0} = G$ 。如果 F_P 不等于 F_{D0} ,飞机能保持平飞,但飞行速度必然会有改变。如果 F_{L0} 不等于 G ,不能保持平飞,飞行高度不是升高就是降低,这两种情况都会使飞机进入曲线飞行。所以,水平飞行是 F_{L0} 必须保持与 G 相互平衡。此时,升力等于飞机的总重量,包括飞机自身的重量,以及其他搭载物体的重量。同一飞机在同样高度上平飞时,平飞需要的速度大小与动力装置的推力相关,此外,也与升力系数有关,即与迎角有关。

从空气动力学得知,平飞时的升力为

$$F_{L0} = \frac{1}{2} C_{L0} S \rho v^2 \quad (5.1)$$

式中, C_{L0} 为水平飞行时的升力系数, S 为机翼的面积, ρ 为空气密度。下标 0 表示飞机在水平直线飞行时的数值。

从式(5.1)可知,升力与机翼的面积成正比。总体来说,运输机机翼的翼展较大,能提供