

气垫导轨 在中学的应用

王兴乃 等 编



人民教育出版社

气垫导轨在中学的应用

王兴乃 等编

人民教育出版社

内 容 提 要

气垫导轨是近年来实验室常用的力学实验装置,可用来研究匀速运动、匀变速直线运动、牛顿三定律、机械能守恒、动量守恒、简谐振动等多种现象,因阻力很小,实验效果比较理想。本书着重介绍气垫导轨在中学物理教学中的应用。内容包括气垫导轨及与其配套的计时器的基本工作原理和构造,安装和调整方法,具体实验方法,误差分析及检验和维修的知识。

本书可供中学物理教师和实验员参考,也可供仪器设计、生产和检修人员参考。

气垫导轨在中学的应用

王兴乃 等编

人民教育出版社出版发行

新华书店总店科技发行所经销

北京市房山区印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 10.75 字数 257,000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 1—3,100

ISBN 7-107-10446-2

C·1579 定价 4.00元

前 言

气垫导轨(简称气轨)是用来研究物体直线运动规律的力学实验装置。我国从70年代初开始研制,10多年来,已有许多工厂生产,在大学、中学的物理教学中得到了广泛应用。

由于气垫导轨应用了气垫技术,作为研究对象的滑行者(滑块)运动时,飘浮在导轨上,不存在与导轨间的接触摩擦力,只有很小的空气阻力。因此,滑行器的运动,可以近似地看作是无摩擦运动。在气垫导轨上做实验,大大减小了摩擦力引起的误差,从而可以收到良好的实验效果。例如,在研究匀变速直线运动、牛顿三定律、机械能守恒、动量守恒、简谐振动的实验中,教学效果都比较理想。使用气垫导轨,的确是物理教学中力学实验的一项重大改进。

为了使广大中学物理教师和实验员能够对气垫导轨有更多的了解,我们编写了这本《气垫导轨在中学的应用》,以便更好地发挥气垫导轨在中学物理实验教学中的作用。本书分为五部分。第一章介绍气垫导轨及与其配套的计时器的基本工作原理和构造;第二章介绍仪器的安装、调整和一些基本物理量的测定方法,以及使用注意事项;第三章介绍用气垫导轨做中学物理实验的方法;第四章分析用气垫导轨做实验所产生的误差;第五章介绍气垫导轨及与其配套的气源、计时器的实验室检验与维修。

本书由王兴乃、陈湘华、李伯明、郭连璧、徐鸣、李安福、吴小千、孙德哲、尤学贵、于振、张月珍、刘云起、李子玉、高志英、

高翔、贺振龙等共同编写。由于我们的水平有限，书中不免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1988年4月

目 录

第一章 气垫导轨简介	(1)
一、气垫导轨.....	(1)
(一) 气垫导轨的工作原理.....	(1)
(二) 气垫导轨的类型.....	(3)
(三) 气垫导轨的结构.....	(5)
1. 导轨.....	(5)
2. 滑行者.....	(7)
3. 实验附件.....	(8)
二、小型气源.....	(11)
三、计时器.....	(13)
(一) 数字计时器的基本工作原理.....	(13)
(二) 数字计时器的结构和功能.....	(15)
(三) J0201-1 型数字计时器.....	(29)
1. 标准时基脉冲信号发生器单元.....	(29)
2. 控制单元.....	(22)
3. 计数、译码、显示单元.....	(26)
4. 电源单元.....	(31)
5. 用 CMOS 集成电路构成的 J0201-1 型数字计时器.....	(31)
(四) J0201 型数字计时器.....	(35)
(五) J0201-2 型数字计时器.....	(36)
第二章 气垫导轨的使用常识	(44)
一、仪器的安装与调整.....	(44)
(一) 安装气垫导轨.....	(44)
(二) 安装、调整光电门.....	(45)

(三) 调整导轨	(47)
1. 静态调整法	(48)
2. 动态调整法	(48)
(四) 贮存式数字毫秒计的调整	(50)
(五) 火花计时仪的调整与安装	(50)
二、获得匀速运动与变速运动的方法	(52)
(一) 获得匀速运动的方法	(52)
(二) 获得变速运动的方法	(54)
1. 恒力与匀加速运动	(54)
2. 恒力与匀减速运动	(56)
3. 变力与变加速运动	(58)
三、有关物理量的测定方法	(59)
(一) 测定运动时间	(59)
1. 用数字计时器测定运动时间	(60)
2. 用贮存式数字毫秒计测定运动时间	(62)
3. 用火花计时仪测定运动时间	(63)
(二) 测量运动位移	(64)
(三) 测定运动速度	(65)
1. 平均速度	(65)
2. 即时速度	(66)
(四) 测定加速度	(73)
1. 用数字计时器计时的测量方法	(74)
2. 用火花计时仪计时的测量方法	(82)
(五) 测定振动周期	(87)
1. 用数字计时器“ T ”挡功能测定	(88)
2. 用数字计时器“ S_2 ”挡功能测定	(89)
3. 改进光电门电路,用数字计时器“ S_2 ”挡功能测定	(90)
四、使用仪器的注意事项	(92)
 第三章 气垫导轨在中学物理实验中的应用	(93)
一、研究匀速直线运动的规律	(93)

(一) 用数字计时器计时的实验方法·····	(93)
(二) 用贮存式数字毫秒计计时的实验方法·····	(100)
(三) 用火花计时仪计时的实验方法·····	(101)
二、研究匀变速直线运动的规律·····	(104)
(一) 匀加速直线运动的规律·····	(104)
1. 用数字计时器计时,砝码牵引滑行者做匀加速运动·····	(105)
2. 用数字计时器计时,滑行者倾斜导轨上匀加速地下滑·····	(111)
3. 用火花计时仪计时,滑行者倾斜导轨上匀加速地下滑·····	(113)
(二) 匀减速直线运动的规律·····	(117)
1. 用数字计时器计时,砝码牵引滑行者沿倾斜导轨匀减速地向上爬行·····	(117)
2. 用火花计时仪计时,滑行者沿倾斜导轨匀减速地向上爬行·····	(119)
(三) 初速度为零的匀加速直线运动的规律·····	(121)
三、研究变加速运动的规律·····	(127)
(一) 多级砝码牵引滑行者做变加速运动·····	(127)
(二) 链条牵引滑行者做变加速运动·····	(129)
四、判别物体运动性质的实验方法·····	(133)
(一) 根据 $v-t$ 图象判别·····	(133)
(二) 根据速度与位移的关系判别·····	(134)
(三) 根据火花点的位置判别·····	(134)
五、验证牛顿第二定律·····	(138)
(一) 验证 $a \propto F$ 及 $a \propto \frac{1}{m}$ ·····	(138)
1. 在水平导轨上验证·····	(138)
2. 在倾斜导轨上验证·····	(147)
(二) 测出 m, F, a , 代入公式验证·····	(151)
六、验证动能定理·····	(152)
(一) 外力对物体做的正功等于物体增加的动能·····	(152)
(二) 外力对物体做的负功等于物体减少的动能·····	(156)
(三) 合外力对物体做功时物体动能的变化·····	(158)

七、验证机械能守恒定律	(160)
(一) 滑行器在倾斜导轨上自由下滑时机械能守恒	(160)
(二) 滑行器在砝码牵引下沿水平导轨运动时机械能守恒	(161)
(三) 滑行器在砝码牵引下沿倾斜导轨运动时机械能守恒	(164)
八、验证动量定理	(166)
(一) 在水平导轨上验证动量定理	(166)
(二) 在倾斜导轨上验证动量定理	(168)
九、验证动量守恒定律	(168)
(一) 原来静止的物体相互作用	(169)
(二) 碰撞	(170)
1. 完全非弹性碰撞	(171)
2. 弹性碰撞	(180)
3. 非弹性碰撞	(190)
4. 用火花计时仪研究碰撞	(191)
十、测定重力加速度	(194)
十一、研究简谐振动的规律	(195)
(一) 弹簧振子的振动周期	(195)
(二) 简谐振动的速度、加速度与位移的关系	(201)
(三) 简谐振动的位移-时间图象	(209)
(四) 受迫振动	(211)
(五) 绕制弹簧及测定倔强系数的方法	(213)
第四章 实验误差	(216)
一、质量的测量误差	(216)
二、长度的测量误差	(218)
(一) 挡光宽度 l 的测量误差	(218)
(二) 垫块高度 H 的测量误差	(218)
(三) 位移 s 的测量误差	(219)

(四) 导轨两端支承脚间的距离 L 的测量误差	(219)
三、时间的测量误差	(220)
(一) 时基频率误差引起的误差	(220)
(二) “ ± 1 个计数误差”	(220)
(三) 计时功能对时间测量的影响	(221)
四、时间测量误差引起的速度与加速度误差	(224)
五、导轨未调平产生的误差	(226)
(一) 引起的速度误差	(226)
(二) 引起的加速度误差	(227)
六、导轨不平直产生的系统误差	(229)
七、粘滞摩擦阻力产生的系统误差	(230)
八、滑轮转动惯量产生的系统误差	(232)
九、用挡光框测量加速度产生的系统误差	(234)
(一) 用 $a = (v_2^2 - v_1^2) / 2s$ 计算产生的误差	(234)
(二) 用贮存式数字毫秒计计时, 用 $a = (v_2 - v_1) / t$ 计算 产生的误差	(239)
(三) 用数字计时器计时, 用 $a = (v_2 - v_1) / t$ 计算产生的 误差	(241)
(四) 用 $a = 2s_1(\sqrt{s_2/s_1} - 1)^2 / t^2$ 计算加速度, 没有 系统误差	(243)

第五章 气垫实验装置的检验与维修 (248)

一、气垫导轨的检验与维修	(248)
(一) 测量、修正挡光宽度 l	(248)
(二) 测量导轨两端支承脚间的距离 L	(249)
(三) 复核导轨标尺刻度	(250)
(四) 测定两只光电门之间的距离, 调整光电门在 龙门架上的位置	(251)
(五) 测量滑行器升起的高度	(254)
(六) 检测导轨的直线度	(256)

(七) 检测气轨的使用性能·····	(261)
二、小型气源的检测与维修·····	(264)
三、数字计时器的检测与维修·····	(265)
(一) 检测时基频率·····	(265)
(二) 检验计时功能·····	(265)
(三) 其他性能的检验·····	(266)
(四) 数字计时器常见故障检修方法·····	(267)
附录一、弹簧弹射器·····	(269)
附录二、火花计时仪·····	(271)
附录三、贮存式数字毫秒计·····	(275)
附录四、四路数字计时器·····	(289)
附录五、用 AppleII 作计时器·····	(295)
附录六、本书所用 PMOS 集成电路引线图·····	(329)
附录七、本书所用 CMOS 集成电路引线图·····	(331)

第一章 气垫导轨简介

气垫导轨实验装置,主要由气垫导轨、小型气源、数字计时器三部分组成,本章分别作简要的介绍。

一、气垫导轨

(一) 气垫导轨的工作原理

气垫导轨是利用气垫原理来进行工作的。在一根空腔导轨的两个工作面上,均匀地钻通一定数量的小孔,导轨的一端密封,从另一端用气源向导轨空腔内不断地通入压缩空气,进入导轨空腔的压缩空气将从工作面上的小孔喷出。当内表面形状与导轨工作面相吻合的滑行器置于导轨上时,在滑行器及导轨之间便形成一层薄空气层,称之为气膜或气垫,如图 1-1 所示。在滑行器边缘,空气不断地向外逸出,但喷气孔又不断地向气垫补充空气,使得气垫一直存在。这个气垫可近似地看作为密闭气体,根据帕斯卡定律,加在密闭气体上的压强,能够大小不变地向气体的各个方向传递,因此喷气孔中的压强等量地传递到气垫各处,并作用在滑行器上。当滑行器受到气垫的“托力”与它本身所受的重力相等时,滑行器就能浮在气轨上。由于导轨工作面上的喷气孔是均匀分布的,滑

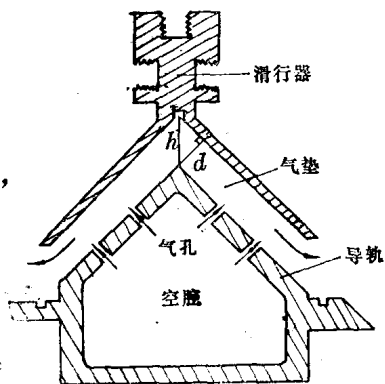


图 1-1 气垫导轨的结构和
工作原理(截面图)

行器在导轨的任何位置上,所覆盖的喷气孔数目相等,受到气垫的托力也相等,所以滑行器能够稳定地飘浮在气轨的任何地方。这样,滑行器在气轨上的运动不是在导轨工作面上滑动,而是在气垫上沿导轨做相对运动。所以这种导轨称为气垫导轨。

滑行器在气轨上运动时,不与导轨表面接触,不存在固体间的滑动摩擦阻力,只有气垫中空气的粘滞性摩擦阻力及周围空气对滑行器的阻力。在通常情况下,粘滞摩擦阻力为

$$F = \frac{\eta A v}{d} \quad (1-1)$$

η 为空气的粘滞系数, A 是滑行器对气轨的覆盖面积, v 是滑行器对导轨的相对运动速度, d 是气垫的厚度。在常温常压下,空气的粘滞系数 $\eta = 1.8 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 。气垫中的空气密度较大,粘滞系数会大一些,但不会大得很多,所以,滑行器在气轨上运动时受到的粘滞摩擦阻力极其微小,在一般情况下可以忽略不计。滑行器在气轨上的运动速度不会很快,在运动方向上与空气的接触面积也不是很大,受到的空气阻力也可忽略不计。气垫导轨提供了近似于无摩擦的实验系统,大大减小了实验误差。

从1-1式可知,气垫厚度 d 越大,滑行器受到的粘滞摩擦阻力越小。但气垫厚度过大,会使滑行器飘忽不定。而气垫厚度太小,不仅会增大粘滞摩擦阻力,还会导致滑行器与气轨工作面的局部接触而产生滑动摩擦阻力,擦伤导轨,这是要绝对避免的。一般情况下,气轨上气垫的厚度在 $0.08 \sim 0.20 \text{ mm}$ 为宜。

气垫的厚度决定了滑行器的浮起高度 h (简称浮高),参看图1-1。气轨的两个工作面互呈直角,滑行器的浮高 h 与气垫厚度 d 之间的关系为

$$h = \frac{d}{\sin 45^\circ}$$

若气垫厚度 $d = 0.1 \text{ mm}$,则滑行器的浮高 h 为 0.14 mm 。

1-1 式还表明,粘滞摩擦阻力和滑动摩擦阻力的性质不同,粘滞摩擦阻力与滑行器的运动速度成正比。也就是说,滑行器的速度越小,粘滞摩擦阻力也越小。但滑行器速度过小,由于导轨不平直等因素引起的实验误差增大。因此实验时应根据实验要求及导轨性能选择滑行器的运动速度。

(二) 气垫导轨的类型

气轨的分类方法有二种:一是按气轨所需的气源气压和滑行器的质量来分类,分为高压气、重滑行器型气轨及低气压、轻滑行器型气轨。二是按导轨棱线的平直度(简称导轨的平直度,下同。)能否调整来分类,分为固定式(平直度不可调)和可调式(平直度可调整)气轨。

不同类型的气轨,具有不同的特点。高压气、重滑行器型气轨的导轨,壁较厚,有增强筋,不易变形。滑行器质量大,惯性大,实验误差较小。但这种气轨的成本高,高压气源噪声大。低气压、轻滑行器型气轨造价低,便于普及,低气压气源噪声也较小。缺点是

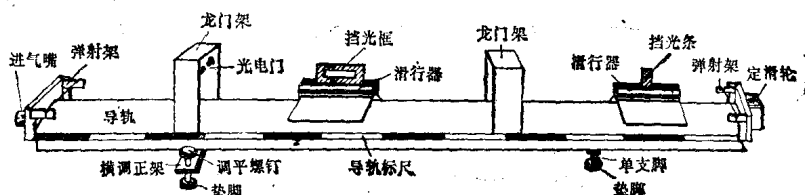


图 1-2 J2125 型气轨

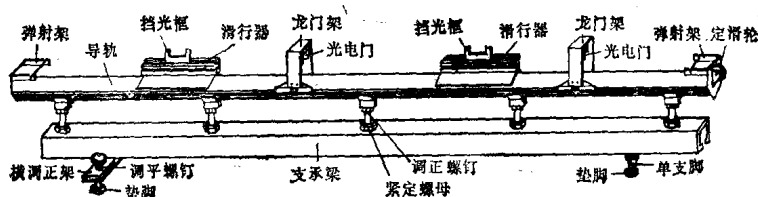


图 1-3 J2125-1 型气轨

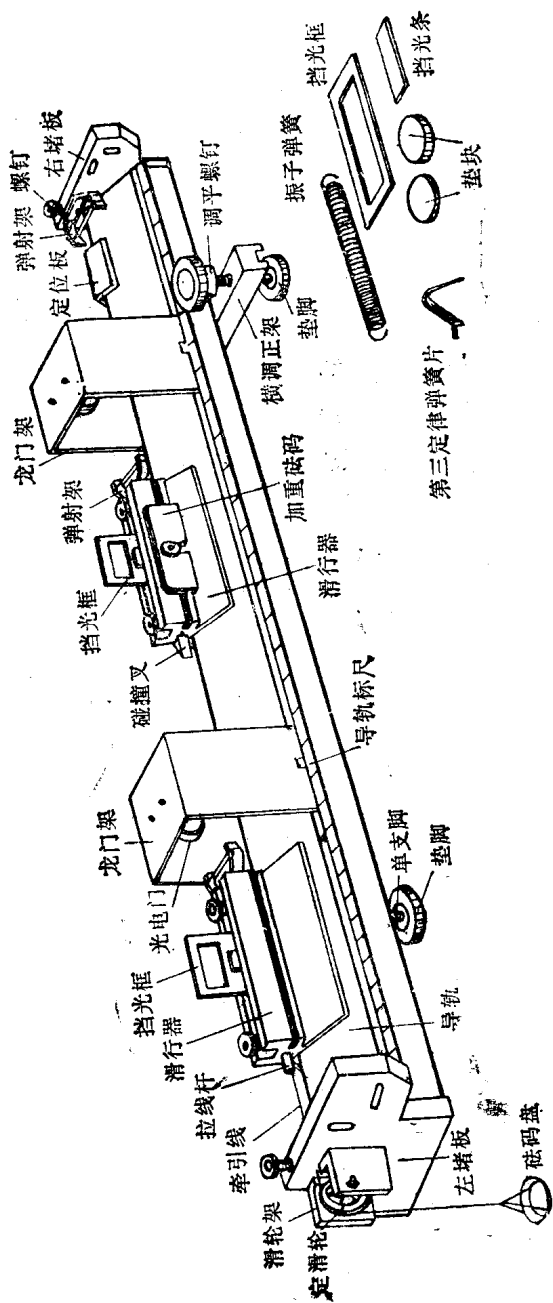


图 1-4 J2125-2 型气机

容易变形,滑行器质量小,实验误差相应增大。可调式气轨可随时校正导轨的平直度,对导轨本身的加工要求不高,但因增加了调整装置,增加了成本,使用也比较麻烦。不可调式气轨是靠精密的机械加工来保证导轨本身的平直度,如加工后有变形,无法校正。这种气轨实验前无需校正导轨的平直度,使用方便,比较适合中学教学使用。

原教育部颁发的 JY 63-80《气垫导轨》(试行)标准,规定了中学使用的气垫导轨的三种型号: J 2125 型、J2125-1 型及 J2125-2 型。J 2125 型是低气压、轻滑行器、平直度不可调气轨。其结构外形见图 1-2。J 2125-1 型是高气压、重滑行器、平直度可调式气轨,结构外形如图 1-3 所示。J 2125-2 型气轨属于高气压、重滑行器、不可调式气轨,它的结构外形及主要附件见图 1-4。

(三) 气垫导轨的结构

气垫导轨由导轨、滑行器及有关附件组成。不同型号的气轨在结构、技术参数上略有不同,附件也有些差异,这里着重介绍目前中学用得较多的 J 2125-2 型气轨。为方便读者了解其他二种型号的气轨,本节末尾将列表阐明它们的主要部件——导轨及滑行器的技术参数,见表 1-1。

1. 导 轨

导轨是气垫导轨的主体。它是由一根平直、光滑的空心铝合金型材加工制成的,横截面形状有三角形(Δ)、方形($\square$)、五边形

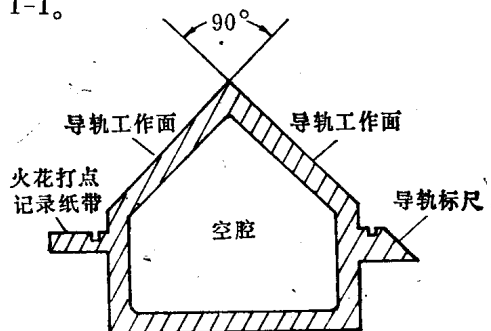


图 1-5 J2125-2 型导轨截面图

(∇)等。J 2125-2 型导轨的横截面形状如图 1-5 所示,导轨空腔

喷气孔的位置互相错开,这样,滑行器在运动中所覆盖的喷气孔数目不变,以保持滑行器的稳定。当导轨空腔的容积及气源气压一定时,喷气孔径的大小及滑行器所覆盖的喷气孔数直接影响滑行器的负载(或称浮重)和浮高。为保证滑行器有足够的负载及合适的浮高,喷气孔总面积与导轨空腔截面积之比不大于1:3。J2125-2型导轨的喷气孔直径为0.7 mm,每隔20 mm钻一个孔,总孔数约240个。

• 6 •