

QGSDWLSY

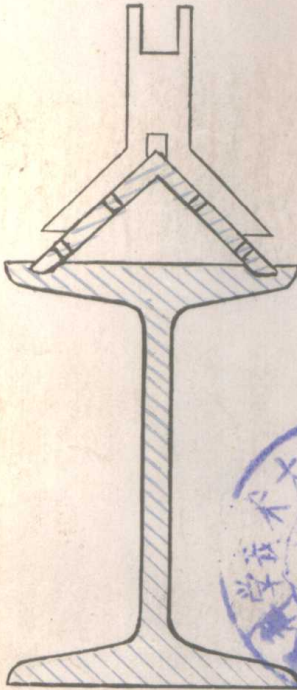
凌肇元 编著

717635

332

3431

气轨上的 物理实验



成都科学技术大学图书馆
基本藏书



科学普及出版社

气轨上的物理实验

袁肇元 编著

科学普及出版社

内 容 提 要

长期以来, 物理的力学实验, 由于摩擦力的影响和计时仪不够精确, 实验效果很不理想。现在, 人们把先进的气垫技术引入教学, 制成了气垫导轨, 大大降低了摩擦力, 同时采用了数字式计时仪器, 使实验效果显著提高。本书系统介绍了气垫导轨的基本原理和结构, 介绍了运用气轨进行有关实验的内容、方法和测量技术; 不仅密切结合物理教材, 而且扩展了知识内容。

本书是中学生的物理辅导读物, 并可供大中学教师、实验员和有关工程技术人员参考。

气轨上的物理实验

凌肇元 编著

责任编辑: 吴之静

封面设计: 窦桂芳

*

科学普及出版社出版(北京市海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丰台岳各庄印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 $1/32$ 印张: $9 \frac{1}{4}$ 字数: 200 千字

1983年12月第1版 1983年12月第1次印刷

印数: 1—5,300 册 定价: 0.87元

统一书号: 13051·1348 本社书号: 0637

前 言

力学实验向来是个难题。由于摩擦力难以克服和时间计量不够精确，致使运动学规律、牛顿定律、动量守恒、能量守恒等基本力学规律的实验，存在着较大的误差，给力学现象的直观演示带来了一定的困难。

近年来，气垫技术获得迅速发展，诸如气垫船、气垫火车、气垫轴承等，应用越来越广。不仅如此，气垫技术还被引入力学实验，用以消除两个相对运动物体间的接触摩擦力。例如，根据气垫原理做成了气垫导轨和气垫桌等近似无摩擦力的力学实验装置，如果再配备上比较精确的时间记录仪器，这就为提高力学实验的精确度和作出力学现象的直观演示，创造了良好的条件。

本书试图系统地介绍运用气垫技术做成的力学实验装置——气垫导轨的构造和原理，着重说明用气垫导轨进行力学实验的技术、内容和方法，并在附录里简要地介绍了一些比较精确的时间测量仪器及闪光照相技术等。

书中介绍了二十个实验课题，每个课题都列有数个典型实验。尽管如此，实际上可做的实验都远远地超过了书中所列的实验数量。运用气垫导轨不仅可以做大量的演示实验，还可以安排学生独立进行实验。通过实验可以验证一些物理基本规律和测定一些基本物理量，训练学生的实验技能，用数学形式表明物理问题的能力，处理数据以及分析误差的方

法等等。此外，书中还注意到启发学生对实验装置的改进和对实验方法提出创造性的建议。这些对改进实验方法和提高学生实验的能力都是很有好处的。

运用气垫导轨，可以设计一些原先难以进行的实验。例如，动量定理实验，这个实验要记录一个变力对时间积分的过程和结果，这在过去是很难做到的，但在气垫导轨上使用火花记录，就比较容易实现。

在气垫导轨上做的力学实验，可获得相当好的实验精度，如牛顿第二定律、机械能守恒、动量守恒等实验，误差都在百分之五以内，甚至在百分之二以内。但在本书所举的实例中，有时为了反映出某些实验中存在的矛盾，故意同时取一些误差较大的数据。

气垫导轨只能做一维的力学实验。对于两个自由度的力学实验，如圆周运动、抛体运动、非对心碰撞、力矩作用和刚体的运动、角动量、散射、多个耦合振动系统、模拟晶格以及两度气体中的动力学理论等等实验，需要在“气垫桌”上进行。实验用气垫桌装置，有两种形式，桌面喷气式气垫桌和气垫器式气垫桌。我国目前正在进行这方面的研制工作，并做了多种比较，这两种装置各有特色。可以预见，在不远的将来，气垫桌实验装置也将会迅速普及到各个学校。由于目前气垫桌在国内还未被广泛的采用，所以本书仅对气垫导轨上的有关实验技术、内容和方法做一介绍。

在设计和探索气垫导轨上的力学实验时，编者曾参阅了大、中学校的现行教材和大学实验讲义。如在测定空气的粘滞系数、力和势的关系等实验中，引用了北京大学力学实验讲义，在测定气膜厚度、讲述火花打点仪时，参考了天津大

学力学实验讲义。其它如孤立系统的研究、滚动球的线速度、简谐振动、阻尼力等实验内容，还参考了国外资料Ealing和Berkeley的力学实验。

为了使读者对书中的实验有一个量的概念，书中大部分实验均附有实验数据。这些数据是从多次实验结果中选了一、二组列出表的。

本书尽可能避免复杂的数学运算过程。但是为了清楚地揭示某些物理现象的本质，仍然运用了一些数学分析，其中大多是比较典型的微分方程。

本书作为一本物理实验教学参考书，主要供普通中学、大专院校、中专、技校的物理教师、实验员和学生阅读，也可供与物理专业有关的其他方面的同志参考。

由于作者知识有限，经验不足，书中谬误和不妥之处必不可免，恳请读者批评指正。

本书在写作过程中，得到教育部组织的气垫导轨联合设计组、天津大学、南开大学、北京师范大学和天津四十二中学的大力支持和帮助，并得到徐鸣、陈名泰、金其伟、杨兰、王树华、张庆云、李心沂等同志的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

凌肇元

目 录

第一章 气垫导轨概述	1
1.1 气轨的原理和结构	1
1.2 气轨的几个基本物理量之间的关系	8
1.3 气轨的零附件	20
1.4 测量数据的记录方法概述	22
1.5 使用气轨的注意事项	23
第二章 气垫导轨的调整和操作技术	29
2.1 调整 and 检查气垫导轨的平直度	29
2.2 用弹射法使滑行器获得初速度	34
2.3 滑轮	38
2.4 气源	41
2.5 滑行器加重	43
2.6 获得匀加速度的方法	46
2.7 形成阻尼的方法	48
2.8 用磁体代替缓冲弹簧作软碰撞	50
2.9 完全非弹性碰撞	52
2.10 进气阀门和滑行器的“急停”	54
2.11 光电门	55
第三章 实验内容	60
3.1 平均速度和瞬时速度	60
3.2 研究匀变速直线运动的规律	67

3.3	测定匀加速直线运动的加速度	81
3.4	测定重力加速度	89
3.5	孤立系统中的力学实验	105
3.6	牛顿第二定律	116
3.7	碰撞和动量守恒	124
3.8	碰撞恢复系数	137
3.9	完全非弹性碰撞	145
3.10	冲量和动量定理	150
3.11	气轨实验的阻尼力	159
3.12	磁相互作用——力和势的关系	171
3.13	机械能守恒	182
3.14	滚动球的线速度和机械能的转化	186
3.15	简谐振动	190
3.16	简谐振动的能量	204
3.17	阻尼振动	210
3.18	受迫振动和共振	220
3.19	耦合振动	228
3.20	测定气膜厚度和空气的粘滞系数	237
附录 1	数字计时器和光电门记录法	242
附录 2	数字毫秒计	251
附录 3	贮存式毫秒仪及被测数据的贮存	257
附录 4	火花计时仪和火花计时法	265
附录 5	闪光照相记录法	273
附录 6	引起气轨变形的原因分析	280
附录 7	参考书目	285

第一章 气垫导轨概述

1.1 气轨的原理和结构

“气垫”顾名思义是指空气形成的垫子。所谓气垫导轨(以下简称气轨),是指在滑块和导轨这两个相对运动的物体之间,有一层空气薄膜。由于空气的粘滞性几乎可以忽略不计,这层薄膜就成为极好的润滑剂,这时虽然还存在气垫对滑块的粘滞阻力和周围空气对滑块的阻力,但这些阻力和通常的接触摩擦力相比,是微不足道的。因此可以认为,气轨给我们提供了一种摩擦力接近于零的力学实验装置,使过去我们很难做准确的实验,现在能够获得比较精确的实验数据,甚至某些过去难以进行的实验,现在也可以做了。从改革物理教学的角度来看,气轨确实为力学实验提供了比较先进的手段。

气轨的外貌,如图1所示。由图2可知,气轨的导轨轨面呈倒“V”形,面上有成排的喷气孔。导轨的轨面上放置有被称为滑行的滑块,滑行器底部与轨面严密配合。当由气源向导轨空腔送入一定流量和压力的空气时,轨面上的气孔便向外喷射空气,于是在滑行器和导轨之间就形成了气垫。对于一般实验用的气轨来说,理论和实践都证明:有 $0.05\sim 0.20$ 毫米厚的气垫,即可消除面接触摩擦。

目前生产的气轨,根据其导轨的结构形式和不同的使用要求,大致可分为固定式和可调式两类。固定式气轨一般又



图1 气垫导轨

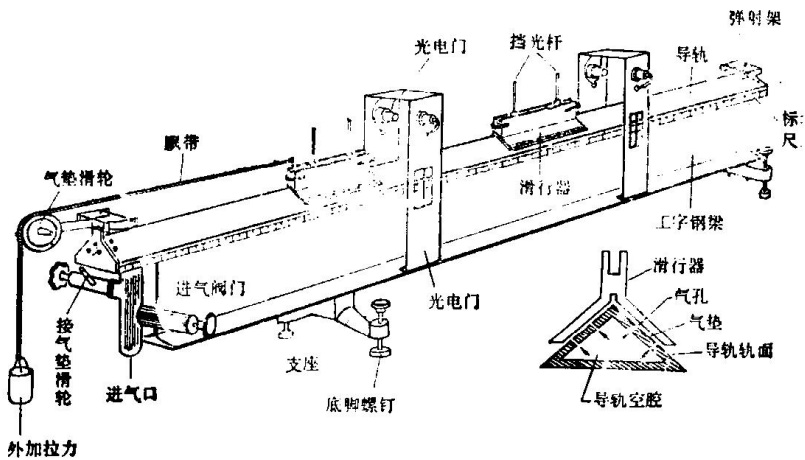


图2 固定式重型气轨

有两种形式，一种是把由铝合金角钢制成的导轨固定在刚性很强的工字钢梁上，其结构如图3所示。在工字钢梁顶面上，刨出两条凹槽，铝合金角钢插入槽内，再灌入环氧树脂加以密封。待粘结牢固后，将铝合金角钢的两个夹角为 90° 的表面（即轨面）磨平或者铣平。由于工字钢的刚性很强，所以铝合金角钢不易变形，而且加工这种导轨的方法比较简单，它一般采用金属滑行者。通常我们把具有这种导轨的气轨称为**固定式重型气轨**。

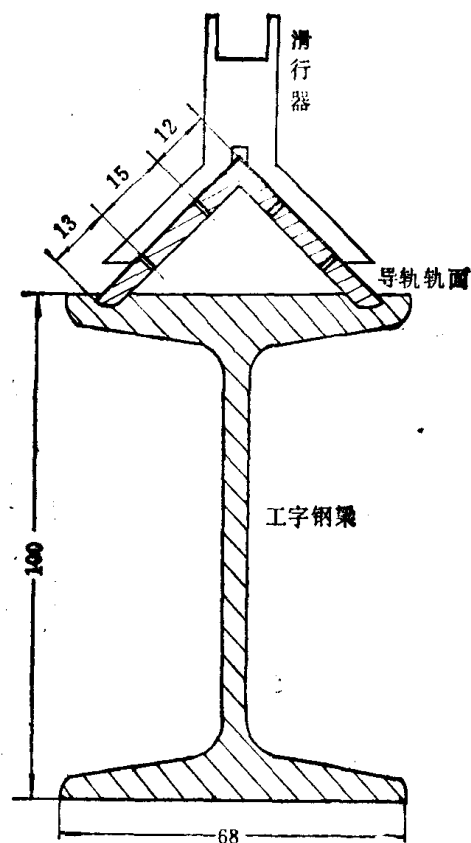


图3 重型气轨的导轨截面

另一种是用铝合金型材做成的导轨，如图4所示。由图可见，导轨的底部垂直方向有两道筋，是用以防止导轨在垂直方向变形的，导轨水平方向的两道筋，除用来防止导轨产生水平方向的变形外，左面筋上还可以贴火花放电计时用的记录纸条，右面筋的斜面上贴标尺。这种气轨一般采用较轻的有机玻璃滑行器与小功率气源，所以成本较低。但由于采用了轻滑行器，这就限制了它去做那些必须在滑行器上加重

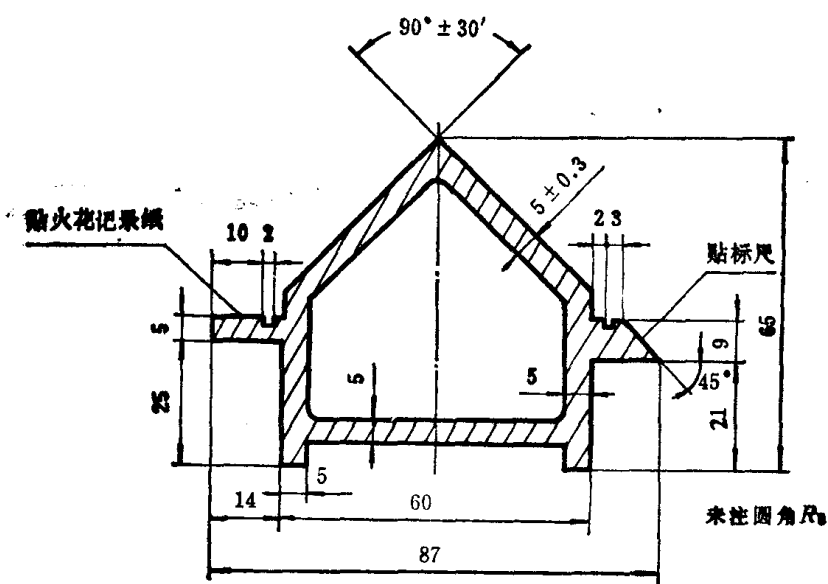


图4 轻型气轨的导轨截面

的实验。我们通常把具有这种导轨的气轨称为固定式轻型气轨，如图5。这种气轨目前已被中学广泛采用。

可调式气轨如图6所示。在导轨和刚性很强的支承梁之间，装有特制的双排调整螺母，用来调整导轨与支承梁之间的距离。

图7是单排可调式气轨的结构示意图，支承梁是用铝合金矩形管制成，也有用铝合金槽钢的。在支承梁上，每隔20厘米装有一个调整螺母，当导轨产生变形时，旋拧调整螺母，可使导轨恢复平直。详细调整方法将在第二章里作介绍。

如果用作导轨的铝合金角钢的表面质量很好，则无需对轨面进行机械加工。采用壁厚为2~2.5毫米的角钢，可直接利用螺母来调平轨面。

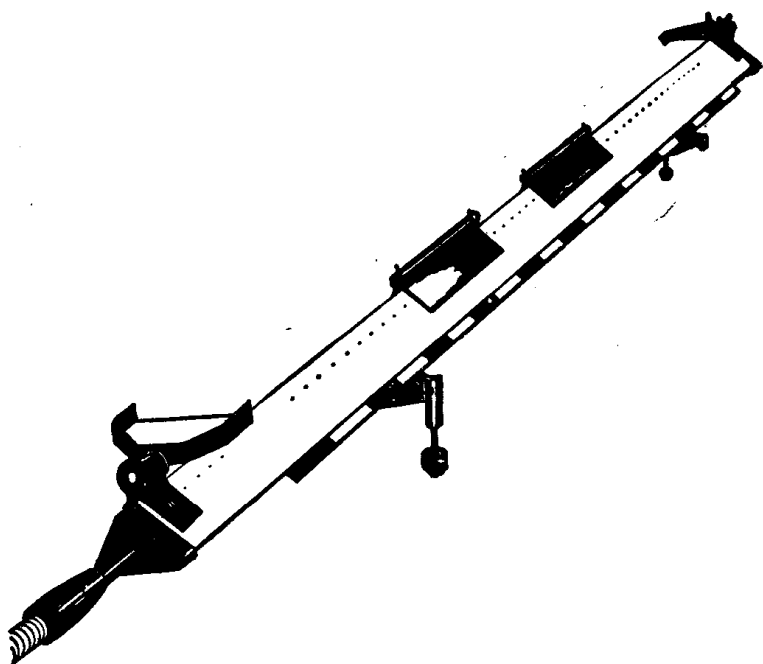


图5 固定式轻型气轨

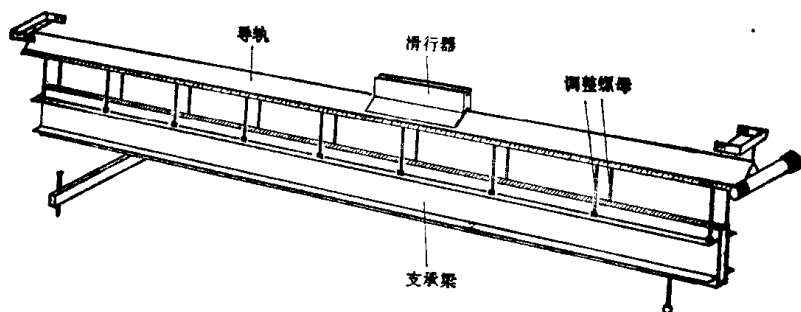


图6 双排可调式气轨

无论是固定式气轨或可调式气轨，其导轨轨面的宽度通常都取4~5厘米，气孔一般为两排，孔与孔的间距及两排间的距离如图8所示，两排孔的位置互相错开，以便使滑行器运动时所覆盖的气孔均匀增减，孔数在200~500之间，孔径

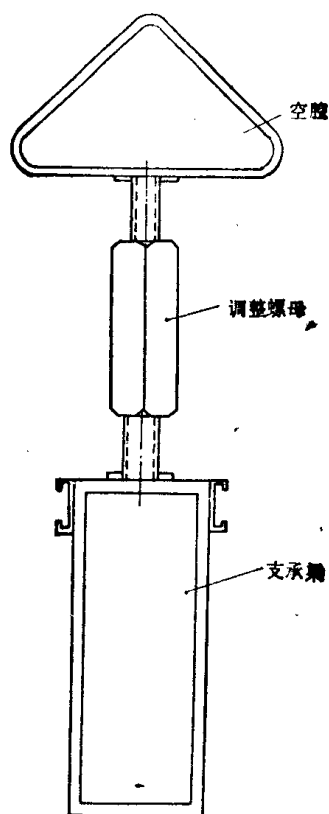


图7 单排可调式气轨结构示意图

一般取0.5~0.9毫米。

图9所示的简易气轨也属轻型气轨。轨面上每边只有一排气孔，孔径有1毫米、1.2毫米、1.5毫米三种。滑行器则轻（只有几十克）而短。

气轨的长度，一般做成1.2米、1.5米和2米，中学一般使用1.2米和1.5米，大学则多用1.5米和2米。气轨过长，会给制造、存放和维护增添不少困难。

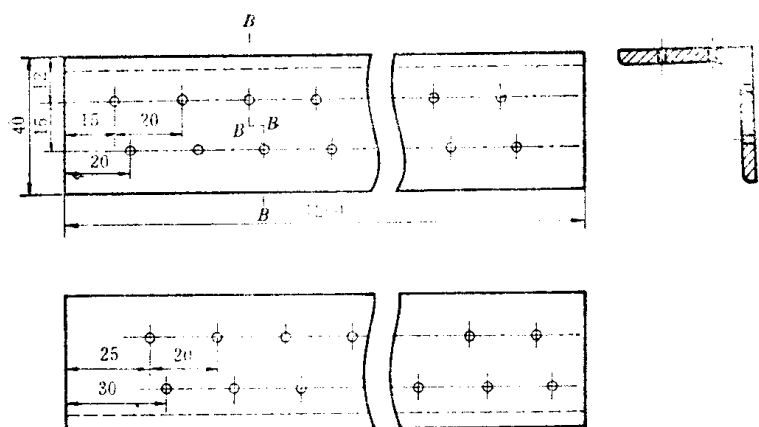


图8 轨面气孔分布尺寸

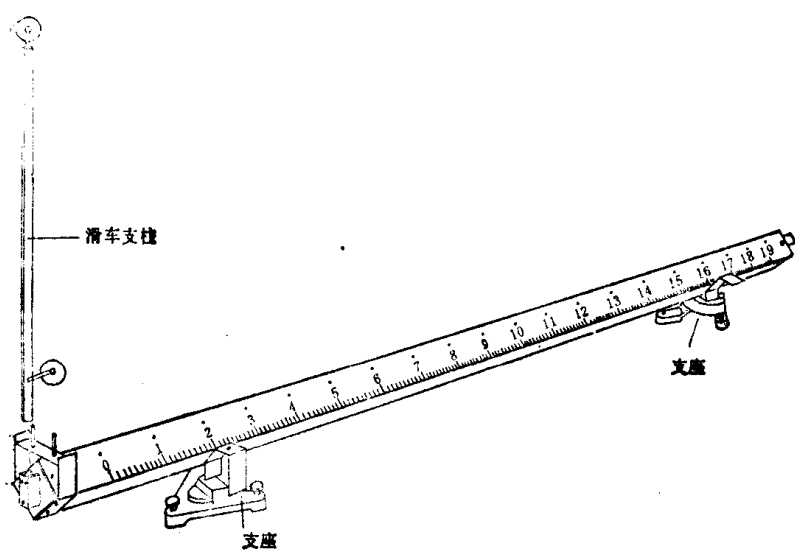


图9 简易气轨

气轨的一端还装有滑轮和进气阀门装置。滑轮有多种, 有的运用气垫原理, 叫做气垫滑轮; 有的用普通滑轮镶上轴承或用轻质顶尖式滑轮, 目的都是尽可能减小摩擦。采用轻质滑轮的另一个目的是要减小转动惯量, 这在下一章里还要讨论。

气轨的两个支座, 一个是单脚 (又称纵调正架), 另一个是双脚 (又称横调正架), 以便在前后、左右方向都能调节。

导轨的侧面装有标尺, 用来指示滑行器的位置和光电门的位置, 标尺的分度为毫米。

滑行器和光电门, 是气轨的两个主要部件, 因为几乎所有的实验都要通过滑行器的运动来进行。而滑行器的运动及其变化情况, 则要通过光电门来测量。关于滑行器和光电门, 在第二章里还要讨论。图10(a) 为滑行器示意图; 图10(b) 为滑行器截面图。滑行器顶部和两侧均有直齿槽, 螺柱可由直齿槽的任一位置拧入, 通过它可以附加各种实验零件, 比如加砝码使滑行器载重。为了使加重后滑行器的质心位置不变, 两侧直齿槽的中心位置应处在整个滑行器质心所在的水平中心线上。滑行器两端还装有碰撞用缓冲弹簧。缓冲弹簧必须位于质心所在的水平面上, 否则碰撞时会引起滑行器震动。图11是另一种滑行器, 这种滑行器长 250 毫米, 上面能装更多的演示用零件。

1.2 气轨的几个基本物理量之间的关系

一台符合使用要求的气轨, 其技术性能主要表现在: 摩擦力极小; 滑行器之间碰撞以及滑行器与导轨端部碰撞时弹性很好; 导轨的直线度和平面度误差小; 在一定的喷气流量和压力下, 滑行器浮起一定的高度后, 气垫还应具有足够的

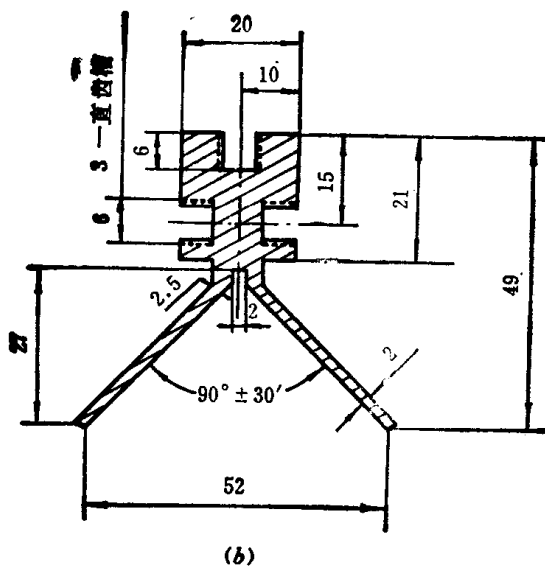
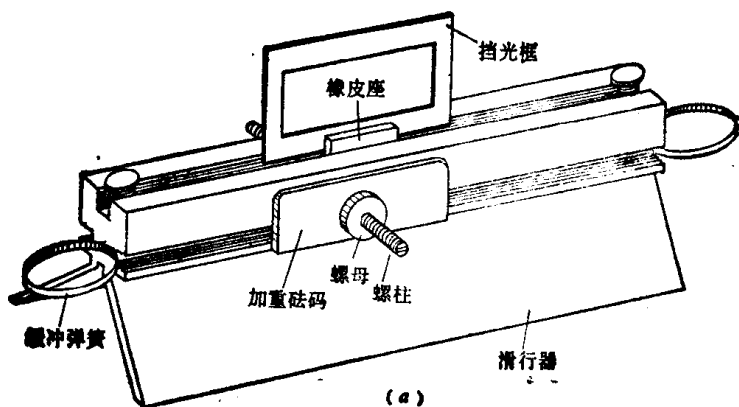


图10 滑行器示意图及其截面图