

铁路内燃机车三等司机职务培训教材

牵引运用



广州铁路局教育处

铁路内燃机车三等司机职务培训教材

牵 引 运 用

曹存恭 主编

广州铁路局教育处

1989年6月

铁路牵引运用

铁路牵引运用

牵 引 运 用

株洲铁路机械学校 曹存恭主编
广州铁路局教育处出版（铁路内部发行）
广东省花城印刷厂印刷



广东省出版事业管理局出版物
印刷许可证1987年第101号



·开本：787×1092毫米×1/16 字数：31.3万字 印张：12.25
1989年6月第二次印刷

前 言

按照铁道部教育局教材[1986]55号《关于组编中级技工培训用教材通知》的分工, 我局根据部颁《铁路运营系统工人技术理论教学计划、教学大纲》的要求, 组编了内燃机车三等司机教材五本, 即: 《牵引运用》、《JZ—7型空气制动机》、《东风₄型内燃机车柴油机》、《东风₄型内燃机车电传动》、《东风₄型内燃机车运用保养》。教材中增加了内燃机车副司机教学计划、教学大纲部分内容, 以作为蒸汽机车乘务员转换内燃三等司机职务培训教材。

这本《牵引运用》共五章, 由株洲铁路机械学校曹存恭担任主编。第一章由株洲铁路机械学校彭德源编写, 第二、五章由曹存恭编写, 第三、四章由郴州机务段马荣生编写。全书由曹存恭统稿。北京局天津职工中等专业学校马蜀华、张凤林主审。在初审过程还得到广州局机务处陈泰成的帮助。对以上单位和同志的支持表示感谢。

由于水平所限, 对错误和不足之处, 请予指正。

广州铁路局教育处

一九八九年六月

目 录

第一章 力学

§ 1—1 运动学基础	(1)
一、概述	(1)
二、点的直线运动	(2)
三、点的匀速直线运动	(3)
四、点的变速直线运动	(3)
五、点的匀变速直线运动	(3)
§ 1—2 动力学基础	(5)
一、力的基本概念	(5)
二、动力学基本定律	(6)
三、惯性力	(8)
四、功	(10)
五、力矩及力矩的功	(12)
六、功率	(13)
七、机械效率	(15)
§ 1—3 构件受力分析	(16)
一、构件受力分析的任务	(16)
二、约束和约束力	(16)
三、力偶、力的平移	(19)
四、力的合成与分解	(20)
五、摩擦	(23)
第一章习题	(26)

第二章 内燃机车牵引计算

§ 2—1 概述	(30)
§ 2—2 内燃机车牵引力	(30)
一、内燃机车牵引力的产生过程	(30)
二、内燃机车牵引力的几个概念	(31)
三、粘着牵引力	(33)
四、柴油机牵引力	(35)
五、传动装置牵引力	(37)
六、内燃机车的几个计算标准	(40)
§ 2—3 内燃机车特性	(42)
一、牵引特性	(42)

二、机车功率和功率分配	(43)
三、机车效率	(47)
§ 2—4 列车运行阻力	(49)
一、概述	(49)
二、基本阻力	(50)
三、附加阻力	(59)
四、起动阻力	(62)
五、列车阻力计算	(63)
§ 2—5 列车制动力及制动距离的计算	(66)
一、列车制动力概述	(66)
二、列车制动力的形成及限制	(66)
三、闸瓦摩擦系数和闸瓦压力	(68)
四、列车制动力的计算	(70)
五、列车制动距离的计算	(76)
§ 2—6 列车运行速度、时间及距离的计算	(85)
一、作用于列车上的合力及合力图	(85)
二、列车运动方程式及其应用	(89)
三、列车运行速度、时间及距离的计算	(92)
§ 2—7 牵引重量的计算	(102)
一、计算坡道上牵引重量的计算	(104)
二、动力坡道上牵引重量的计算	(105)
三、牵引重量的检查及确定	(108)
§ 2—8 电阻制动概述	(112)
第二章习题	(113)

第三章 机车操纵

§ 3—1 发车	(115)
§ 3—2 途中运行	(115)
§ 3—3 不同线路的列车操纵	(117)
一、平道和起伏坡道的操纵	(117)
二、坡道操纵	(118)
§ 3—4 特殊条件下的操纵	(119)
一、上坡道操纵注意事项	(119)
二、牵引油罐列车注意事项	(119)
三、轨面涂油时的操纵注意事项	(120)
四、天气不良时操纵注意事项	(120)
五、寒冷季节操纵注意事项	(120)
§ 3—5 途中运行时的操纵	(121)
一、安全正点	(121)

122	二、空转与撒砂	(122)
§ 3—6	制动机操作基本知识	(123)
123	二、制动机操作原则	(123)
123	二、正确掌握制动距离和有关因素	(123)
124	三、制动机的排风时间和缓解的充风时间	(124)
125	四、过量供给与自然制动	(125)
127	五、再制动与再缓解	(127)
127	六、列车制动机试验及其注意事项	(127)
§ 3—7	旅客列车制动机操纵	(128)
128	一、旅客列车一段制动操纵法	(128)
130	二、旅客列车两段制动操纵法	(130)
§ 3—8	货物列车制动机操纵	(131)
131	一、进站停车时的操纵	(131)
132	二、牵引不同编组列车时的操纵	(132)
133	三、长大下坡道的制动机操纵	(133)
§ 3—9	制动机操纵有关事项	(134)
134	一、紧急制动法	(134)
134	二、发现列车管压力急剧下降时的处理	(134)
134	三、制动减压时有起非常制动现象的处理	(134)
134	四、103、104型制动机操纵注意事项	(134)
§ 3—10	终点站入库（站内交班）作业	(135)
135	第三章习题	(135)

第四章 机车检查

§ 4—1	机车检查的基础知识	(137)
137	一、机车检查分类	(137)
137	二、机车检查的基本要求	(137)
137	三、机车检查方法	(137)
138	四、机车检查注意事项	(138)
§ 4—2	机车检查顺序、内容及要求	(138)
138	一、司机全面检查顺序	(138)
139	二、司机全面检查机车内容和要求	(139)
156	三、司机接班检查机车程序	(156)
§ 4—3	司机途中站停检查机车程序	(158)
159	第四章习题	(159)

第五章 内燃机车运用

§ 5—1	列车运行图	(160)
160	一、列车运行图的作用和基本要求	(160)

二、列车运行图的格式·····	(160)
§ 5—2 机车周转图·····	(162)
一、机车周转图的作用·····	(162)
二、机车周转图和列车运行图的关系·····	(162)
三、机车周转图的编制方法·····	(165)
四、机车周转图的绘制方法·····	(168)
五、计算周转图的各项指标·····	(171)
六、编制机车及乘务组的工作计划表·····	(172)
§ 5—3 机车交路·····	(174)
一、设置机车交路的目的·····	(174)
二、确定机车交路的基本原则·····	(174)
三、机车交路的类型·····	(175)
§ 5—4 机车运用工作指标·····	(176)
一、机车周转时间·····	(176)
二、技术速度和旅行速度·····	(179)
三、机车日车公里·····	(180)
四、机车辅助工作百分率·····	(180)
五、平均牵引总重·····	(181)
六、机车日产量·····	(181)
七、机车年走行公里·····	(182)
第五章习题·····	(182)
附表·····	(184)

第一章 力 学

§ 1—1 运动学基础

一、概述

每一物体都占有一定的空间。物体在空间的位置随时间而变化的现象，叫做运动。研究物体运动规律的学科，叫做运动学。

运动是一个相对的概念，当描述某一物体的运动时，必须选择另一物体作为参考。这个作为参考的物体称为参考体。固结在参考体上的坐标系，称为参考坐标系，简称参考系。同一物体对于不同的参考系的运动是不同的，例如在行驶的列车里的货物，对于以地球为参考系来说，货物是沿列车运行轨道运动的，而对于以列车的车厢为参考系来说，货物则是静止的。由此可见，当描述一个物体的运动时，必需同时指明这一运动是相对哪个参考系而言的，否则所描述的运动便毫无意义。在各种工程和日常生活中，经常以地球作为参考系，为了方便起见，今后若不加特别说明，则所指的运动，都是以地球为参考系的运动。

研究运动时，一般都是从简单的质点运动开始，然后才进而研究刚体的运动。在运动学中，当物体的大小和形状对所研究的问题不起主要作用、并对其结论影响不大时，就可以将这一物体视为质点。所谓质点，就是不计任何方向的尺寸但具有一定质量的物体。例如在研究火箭、炮弹的运动轨迹时，就可以把火箭、炮弹视为一质点。当物体运动时，如果它的体积与其运动范围相比较，并不是一个可以忽略的尺寸，那就可以把它作为一个刚体。刚体是由各个相互距离不变的质点组成的。

运动着的质点，称为动点。动点在空间所经过的路线，称为动点的轨迹。如轨迹为一直线，称为点的直线运动；如轨迹为一曲线，称为点的曲线运动。

如果已知一动点的运动轨迹，就可以用下述方法来表示动点在运动过程中的位置。在轨迹上任取一点O作为参考原点，并规定从原点O沿轨迹的某一方向为正，另一方向为负，如图1—1所示

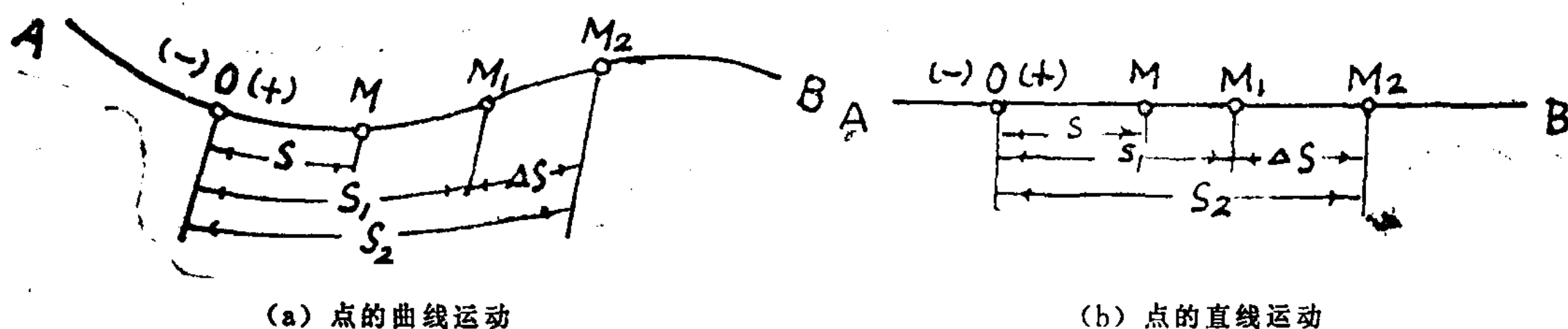


图1—1 点的运动轨迹

当动点M沿轨迹AB运动时，则点M到原点的距离随着时间t而变化。也就是说，距离（或称为路程）S是时间t的单值连续函数，即

$$s = f(t) \quad (1-1)$$

式(1—1)称为点沿已知轨迹的运动方程。利用它就可以确定动点任一瞬时在轨迹上的位置。

二、点的直线运动

1. 直线运动的速度

设有一动点沿直线轨迹 AB 运动, 其运动方程为 $s = f(t)$ 。在某一瞬时 t 时, 动点位于点 M 处, 点 M 到原点 O 的距离为 s ; 在另一瞬时 $t_1 = t + \Delta t$ 时, 动点位于点 M_1 处, M_1 到原点 O 的距离为 $s_1 = s + \Delta s$, 如图1—2所示。显然, Δs 就是在时间 Δt 内动点到原点的距离的增量。 Δs 与 Δt 之比, 称为动点在时间 Δt 内的平均速度, 用 $v_{\text{平均}}$ 表示。即

$$v_{\text{平均}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-2)$$

图1—2 点的直线运动

平均速度只能说明动点在某一时间内运动的平均快慢程度, 而不能说明动点在某一瞬时运动的快慢程度。当时间间隔 Δt 趋近于零时, 其平均速度 $v_{\text{平均}}$ 就趋近于某一极限 v , 这个极限值 v 就是动点在瞬时 t 的速度, 称为瞬时速度, 简称速度。即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta s / \Delta t) \quad (1-3)$$

在直线运动中, 速度的方向是沿着直线轨迹的方向, 因此, 可以视为代数量。当 $\Delta s / \Delta t > 0$ 时, 则动点沿着轨迹的正方向运动, 即速度指向轨迹的正方向; 当 $\Delta s / \Delta t < 0$ 时, 则动点沿着轨迹的负方向运动, 即速度指向轨迹的负方向。所以, 速度 v 的正负号就表明了动点沿直线轨迹运动的方向。

在工程单位制中, 速度的单位为米/秒、或公里/小时等。

2. 直线运动的加速度

设有一动点沿直线轨迹 AB 运动, 在某一瞬时 t 时, 动点的速度为 v , 在另一瞬时 $t_1 = t + \Delta t$ 时, 速度为 $v_1 = v + \Delta v$, 如图1-3所示。在时间 Δt 内, 动点速度的增量为 $\Delta v = v_1 - v$ 。 Δv 与 Δt 之比, 称为动点在时间 Δt 内的平均加速度, 用 $\alpha_{\text{平均}}$ 表示。即

$$\alpha_{\text{平均}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-4)$$

平均加速度只能说明动点在某一时间内速度变化的快慢程度, 而不能说明动

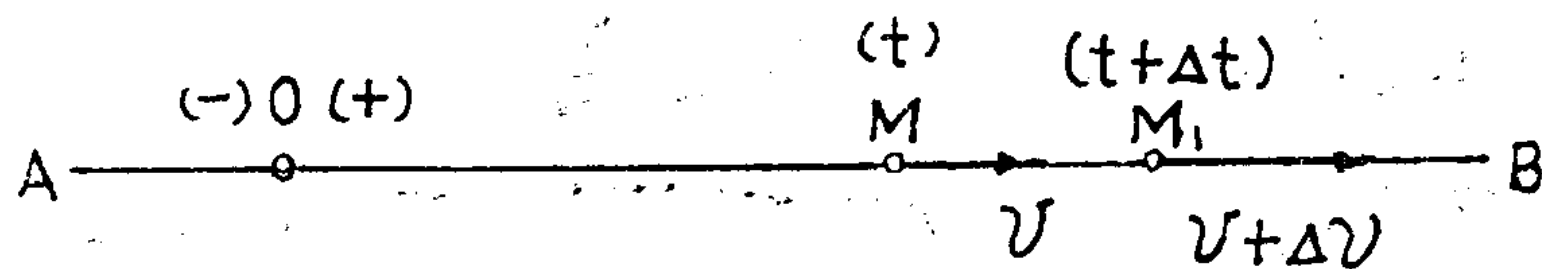


图1—3 点的变速直线运动

点在某一瞬时速度变化的快慢程度。当时间间隔 Δt 趋近于零时, 平均加速度 $\alpha_{\text{平均}}$ 就趋近于某一极限 α , 这个极限值 α 就是动点在瞬时 t 的加速度, 称为瞬时加速度, 简称加速度。即

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-5)$$

在直线运动中, 其加速度只能沿着直线轨迹的方向, 因此, 也可以视为代数值。当 $\Delta v / \Delta t > 0$ 时, 则加速度的方向指向轨迹的正方向; 当 $\Delta v / \Delta t < 0$ 时, 则加速度的方向指向轨迹的负方向。如果 α 与 v 同号时, 则动点作加速运动; 如果 α 与 v 异号时, 则动点作减速运动。

在工程单位制中, 加速度的单位为米/秒²或厘米/秒²

三、点的匀速直线运动

当动点作直线运动时，如果它的速度在运动过程中保持不变，即 $v = \text{常数}$ 、 $\alpha = 0$ 时，则这种运动称为点的匀速直线运动，简称匀速运动。

点在单位时间内所经过的距离，称为速度，它可以作为衡量运动快慢的度量。

当动点沿直线 AB 作匀速运动时，在初瞬时 $t_0 = 0$ 时，动点在原点处，在瞬时 t 时，动点在点 M 处，即在时间 t 内动点经过的距离为 s ，如图 1—4 所示。

距离 s 与速度 v 及时间 t 的关系为

$$s = v \cdot t \quad (1-6)$$

式 (1—6) 就是点的匀速直线运动方程。

它表明距离 s 等于速度 v 和时间 t 的乘积。

如果在初瞬时 $t_0 = 0$ 时，动点不在原点处，而是在距原点距离为 s_0 的点 M_0 处。(图 1—5)，则运动方程变成下面的形式：

$$s = s_0 + v \cdot t \quad (1-7)$$

式中 s_0 称为初距离，它表示计时前动点已经走过的距离。

在这种情况下， t 时间内动点所经过的距离 s_t 可用下式计算：

$$s_t = s - s_0 \quad (1-8)$$

从方程式 (1—6) 可得：

$$t = \frac{s}{v} \quad (1-9)$$

$$v = \frac{s}{t} \quad (1-10)$$

对于图 1—5 所示的情况，只要将上两式中的 s 换成 s_t 即可。

四、点的变速直线运动

当动点作直线运动时，如果它的速度在运动过程中随时间而变化，即 $v \neq \text{常数}$ 、 $\alpha \neq 0$ 时，则这种运动称为点的变速直线运动。

点的变速直线运动的平均速度和瞬时速度可分别用式 (1—2) 和式 (1—3) 进行计算；其平均加速度和瞬时加速度可分别用式 (1—4) 和式 (1—5) 进行计算。

五、点的匀变速直线运动

当动点作直线运动时，如果它的加速度在运动过程中保持不变，即 $\alpha = \text{常数}$ ， $v \neq \text{常数}$ 时，则这种运动称为点的匀变速直线运动。如果速度由小变大，则称为匀加速运动；如果速度由大变小，则称为匀减速运动。对于匀加速运动， α 取正值；对于匀减速运动， α 取负值。它分别表示单位时间内速度的增加或减小。

设在初瞬时 $t_0 = 0$ 时，其初速度为 v_0 ，则在 t 秒钟末的速度为：

$$v = v_0 + \alpha \cdot t \quad (1-11)$$

当初速度 $v_0 = 0$ 时，则

$$v = a \cdot t \quad (1-12)$$

由式(1-11)可得:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \quad (1-13)$$

式(1-13)表明: 匀变速运动的加速度, 等于单位时间内速度的变化量。

当动点沿直线AB作匀变速运动时, 在初瞬时 $t_0 = 0$ 时, 动点位于距原点距离为 s_0 的点 M_0 处, 在经过 t 秒之后, 动点离开原点的距离为 s , 而处于点 M 处, 如图1-6所示。在这种情况下下的距离 s 可按下式(公式推导从略)计算。即

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (1-14)$$

式(1-14)就是点的匀变速直线运动方程。

当 $s_0 = 0$ 时, 则方程式(1-14)变为:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (1-15)$$

又当 $v_0 = 0$ 时, 则

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (1-16)$$

由于匀变速运动的速度是均匀变化的, 所以其平均速度可用下式计算:

$$v_{\text{平均}} = \frac{v_0 + v}{2} \quad (1-17)$$

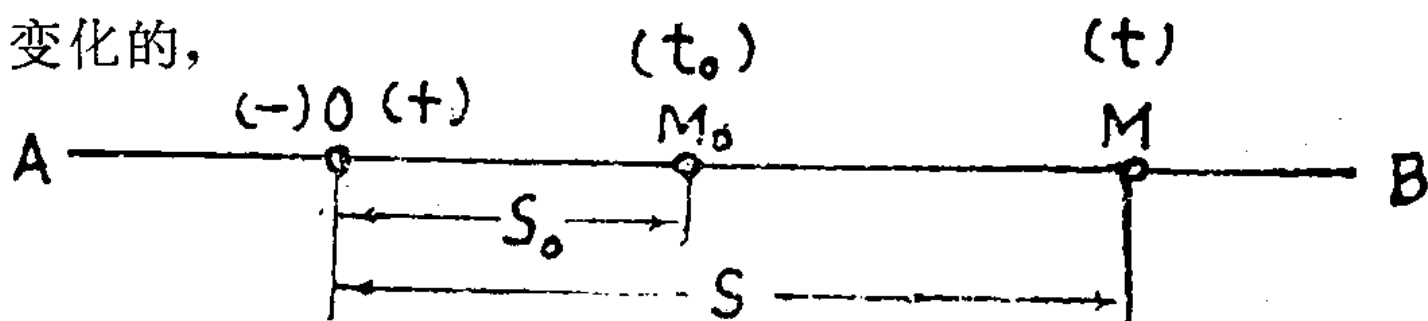


图1-6 点的变速直线运动

即平均速度等于初速度和末速度之和的一半

如从式(1-11)解出:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

并把 t 值代入式(1-15), 经整理后, 便可得到速度和距离的关系式:

$$v^2 - v_0^2 = 2as \quad (1-18)$$

如将(1-13)的 a 值代入式(1-15), 经整理后, 便可得到时间和距离的关系式:

$$t = \frac{2s}{v_0 + v} \quad (1-19)$$

式(1-11)、式(1-15)、式(2-18)、和式(1-19)给出了点的匀变速直线运动的距离 s 、初速度 v_0 、末速度 v 、加速度 a 和时间 t 之间的关系。如已知上述五个量中的任意三个量, 则应用上述公式, 就能求出其余两个量。

应用上述公式时, 通常选取动点开始运动的方向(即初速度的方向)为正方向。因此, 凡是与它方向相反的距离、速度和加速度, 计算时都应取负值。同时要注意各量的相应单位。

例1-1 一列车由静止开始沿平直轨道行驶, 经过500米后速度增至36公里/小时, 设列车在起动过程中为匀加速运动, 试求此列车在起动过程中的加速度及所经过的时间。

解: 已知: $v_0 = 0$; $v = 36$ 公里/小时 = 10米/秒; $s = 500$ 米。

由式(1-19)可得到列车起动时间为:

$$t = \frac{2s}{v_0 + v} = \frac{2 \times 500}{0 + 10} = 100 \text{秒}$$

由式(1—13)可得到列车的加速度为:

$$\alpha = \frac{v - v_0}{t} = \frac{10 - 0}{100} = 0.1 \text{ 米/秒}^2$$

例1—2 一列车沿平直轨道作匀变速运动,其初速度为18公里/小时,加速度为0.1米/秒²。问列车行经多少距离(或路程)和多少时间,其速度才达到54公里/小时?

解:已知 $v_0 = 18 \text{ 公里/小时} = 5 \text{ 米/秒}$; $\alpha = 0.1 \text{ 米/秒}^2$; $v = 54 \text{ 公里/小时} = 15 \text{ 米/秒}$ 。

由式(1—11)可得

$$t = \frac{v - v_0}{\alpha} = \frac{15 - 5}{0.1} = 100 \text{ 秒}$$

由式(1—15)可得

$$\begin{aligned} s &= v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 \\ &= 5 \times 100 + \frac{1}{2} \times 0.1 \times 100^2 \\ &= 500 + 500 = 1000 \text{ 米} = 1 \text{ 公里} \end{aligned}$$

§ 1—2 动力学基础

一、力的基本概念

人们在长期的生活和生产实践中,通过反复的观察、实验和分析,才建立了力的科学概念:力就是物体之间的相互作用,这种作用使物体的运动状态发生变化或者使物体产生变形。使物体运动状态发生变化的效应,称为力的外效应;使物体产生变形的效应,称为力的内效应。

既然力是物体之间的相互作用,所以力不能离开实际物体而单独存在。在分析物体受力时,必须分清哪个是受力物体,哪个是施力物体。

力的作用方式,可以是物体间的直接作用,如起重时,钢丝绳对重物的拉力;也可以是“引力场”对物体的作用,如地球对物体的引力。例如图1—7所示的悬臂起重机中,钢丝绳吊起重物 W 时,重物 W 就是受力的物体,它受到钢丝绳的拉力 T 和地球的引力(即物体的重力) F 的作用,钢丝绳和地球就是施力的物体。

力对物体的作用效应,完全取决于力的大小、力的方向和力的作用点。力的这三个因素称为力的三要素。在这三个要素中,任何一个改变时,力对物体的作用效应也随之而改变。例如图1—8所示的小车,当在车的左端中点 C 处加一水平推力 F 时,小车就会向右前方作直线运动。如力 F 越大,小车的速度就增加得越快,这就说明了力的大小不同,所产生的运动变化也就不同;如果把推力 F 的方向倒过来,变成向左方的拉力

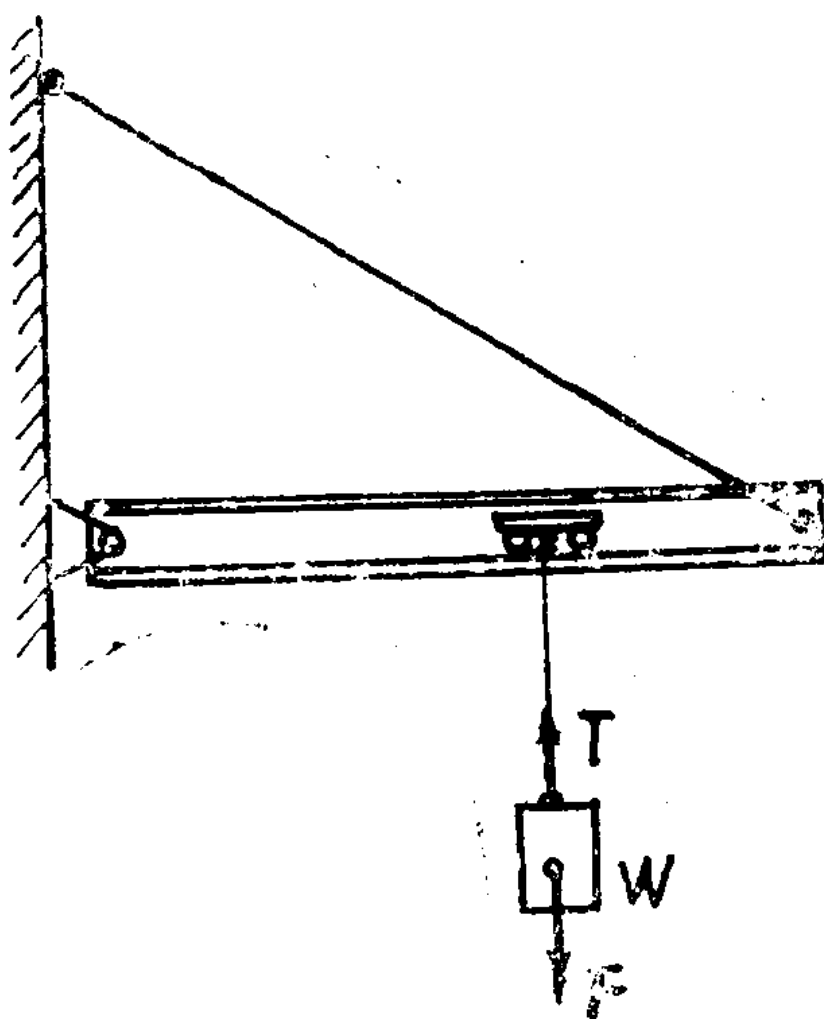


图1—7 悬臂起重机

时, 小车就会向左前方产生直线运动, 这就说明了作用力的方向改变时, 物体运动的方向也随之发生变化; 如果把这个力 F 的作用点由 C 点移至 A 点(或 B 点), 这时小车除了向右前方运动外, 还要向前进方向的右边(或左边)转弯, 这就说明力的作用点发生变化时, 物体的运动状态也随之发生变化。所以, 在描述一个力的作用效应时, 必须说明力的大小、力的方向和力的作用点, 三者缺一不可。

为了测量力的大小, 必须确定力的单位在工程单位制中, 力的单位为公斤力。

由于力是一个具有大小和方向的量, 所以力是矢量, 对于矢量, 在图上都用一个带箭头的直线段来表示(图1—9), 线段的长度按一定的比例尺 K_F 表示力的大小, 即

$$K_F = \frac{\text{图上线段长(毫米或厘米)}}{\text{力的大小(公斤力)}}$$

(毫米/公斤力或厘米/公斤力)

箭头的指向表示力的方向, 线段的起点或终点表示力的作用点, 文字符号则用黑体'字(如 $\mathbf{F}$)代表矢量, 并以同一字母的非黑体字(如 F)代表力的大小(即标量)手写时, 则在字母上加一横(如 $\overline{F}$)表示矢量。

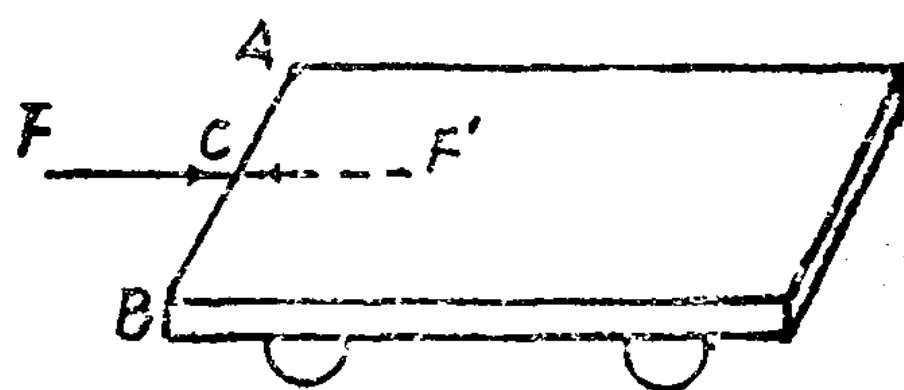


图1—8 小车的运动与受力情况的关系

二、动力学基本定律

动力学的全部理论都是以动力学的基本定律为基础的。这些定律是人们在长期的生活和生产实践中对普遍的机械运动现象进行了大量观察和实验的总结。它是在前人的基础上, 由牛顿于1687年综合总结而成的, 所以一般称为牛顿定律。

第一定律—惯性定律 物体如不受其它物体作用, 则将保持其原来静止或匀速直线运动的状态。

这个定律表明: 任何物体都有保持其运动状态不变的性质, 称为惯性。这是物体重要的力学性质。物体的匀速直线运动又称为惯性运动。

物体运动状态的改变必定是由于受到了其他物体的作用, 即力是使物体产生加速度的原因。

若物体的运动速度为 v , 此定律可以表示为: 当力 $F = 0$ 时, $v = \text{常数}$ 。

第二定律—力与加速度的关系定律 物体受力作用时, 所获得的加速度的大小与力的大小成正比, 而与物体的质量成反比; 加速度的方向与力的方向相同。

设质量为 m 的质点, 受到力 F 作用而沿曲线轨迹运动, 其加速度为 a (图1—10), 于是此定律可以表示为:

$$F = ma \quad (1-20)$$

上式中的力 F , 既可以理解为一个力, 也可以理解为几个力的合力, 其表达式都是正确的, 由于这个方程式是解决动力学问题的基本依据, 故称为动力学基本方程。

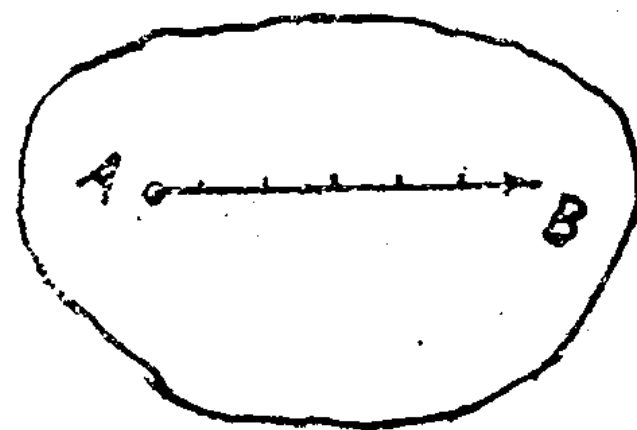


图1—9 力的图示法

由第二定律可知,在相同的力的作用下,质量越大的物体得到的加速度越小,即运动的变化越小,或者说保持自身速度不变的惯性越大。相反地,质量越小的物体得到的加速度越大,即运动变化越大,或者说保持自身速度不变的惯性越小。因此,质量是物体惯性大小的度量。

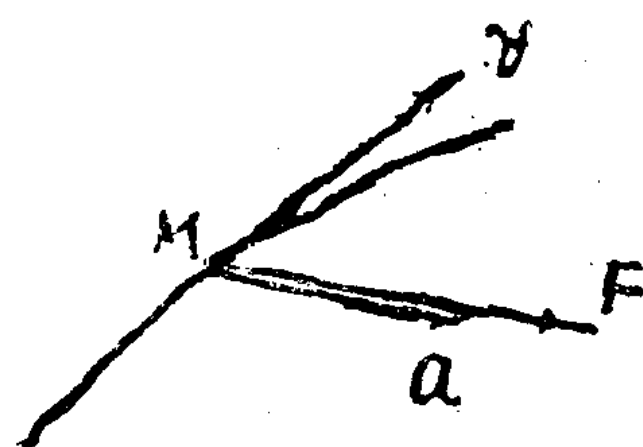


图1—10 力与加速度的关系

由自由落体的实验:质量为 m 的物体,在只受重力 G 作用的情况下下落时,测得的加速度为 g ($g = 9.81$ 米/秒², 在计算中可取 $g = 9.8$ 米/秒²),称为重力加速度。根据第二定律可得:

$$G = mg \quad (1-21)$$

由此而得:

$$m = G/g \quad (1-22)$$

即物体的质量等于其重量(重力)除以重力加速度。

在工程单位制中,重量(重力)的单位为公斤力;重力加速度的单位为米/秒²。故质量的单位就可根据式(1—22)导出:即

$$[\text{工程质量单位}] = \frac{[\text{力的单位}]}{[\text{加速度单位}]} = \frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}}$$

第三定律—作用与反作用定律 两个物体间的作用力与反作用力大小相等,方向相反,并沿同一直线分别作用在两个物体上。

第三定律所阐明的规律,乃是机械运动中的普遍规律,不论对静止的物体或正在运动的物体都是成立的。

例如车刀在工件上切槽时(图1—11),车刀作用于工作上的切削力为 F ,同时工件必有一反作用力 F' 加于车刀上,力 F 和 F' 总是大小相等,方向相反,作用于同一直线上。

又如在运行中的列车(图1—12),机车头通过车钩给后面车列一个拉力 F ,此力 F 作用在车厢的车钩上,一般称为车钩牵引力;同时后面的车列也通过车钩机车头一个反作用力 F' ,此力 F' 作用在机车头的车钩上,一般称为车列阻力(包括基本阻力和附加阻力)。牵引力 F 与阻力 F' 总是等值、反向,共线,并分别作用于机车和车厢的车钩上。

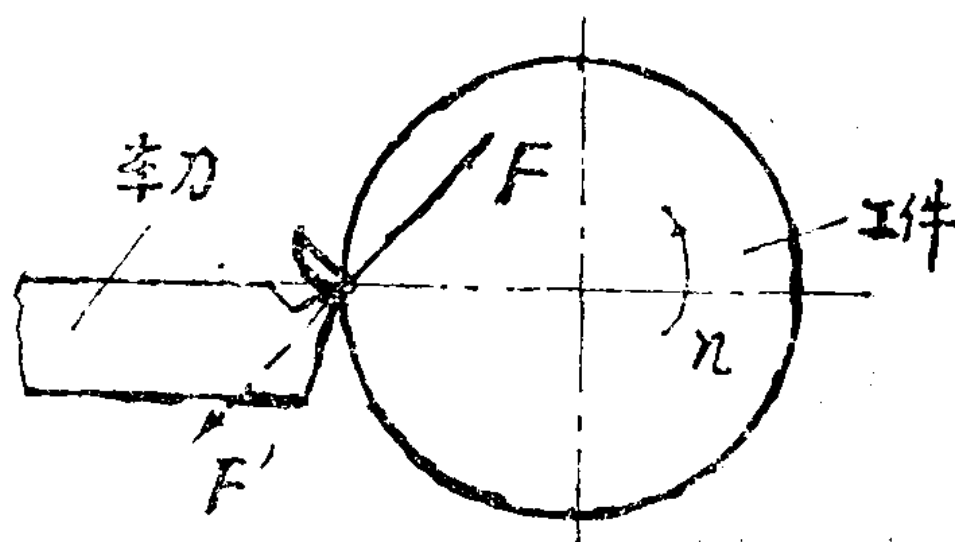


图1—11 车刀在工件上切槽时的作用力与反作用力

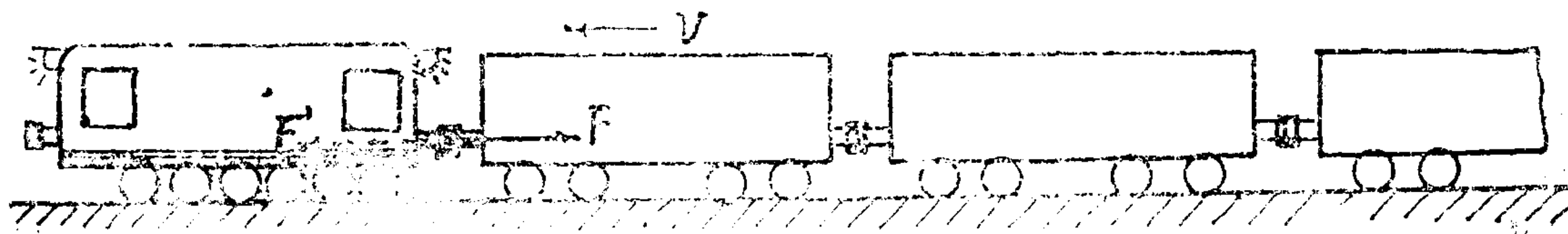


图1—12 运行中的列车车钩上的作用力与反作用力

三、惯性力

在工程中，常遇到惯性力的问题。惯性力是具有加速度的物体所产生的，并作用于施力物体上。

1. 质点作直线运动时的惯性力。

由于物体有惯性，若要使处于平衡状态的物体改变平衡状态，就必须对它施加力。

设有一人沿平直轨道以水平力 F 推动一质量为 m 的小车（图 1—13），使小车产生加速度 a ，如不计小车与地面的摩擦，则人加于小车上的力与小车的加速度间有

$$F = ma$$

的关系。根据作用力与反作用力定律，人对小车作用一力 F 时，必引起小车对人手的反作用力 Q ，两者大小相等，方向相反，且作用于同一直线上。所以小车对人手的反作用力为：

$$Q = -ma \quad (1-23)$$

我们把这个反作用力 Q 称为小车的惯性力。所以，惯性力是：当物体受外力作用而运动状态发生改变时，物体由于惯性而加给施力物体的反作用力，其大小等于运动物体的质量与加速度的乘积，方向与加速度方向相反。

2. 质点作曲线运动时的惯性力

设质量为 m 的质点 M ，受力 F 的作用而作曲线运动，其加速度为 a ，与加速度方向相反的惯性力为 Q （图 1—14）。此力 Q 可分解为两个分力 Q_r 和 Q_n ， Q_r 沿轨迹的切线方向叫切向惯性力； Q_n 沿轨迹的法线方向，叫法向惯性力。 Q_r 和 Q_n 的方向分别同相应的

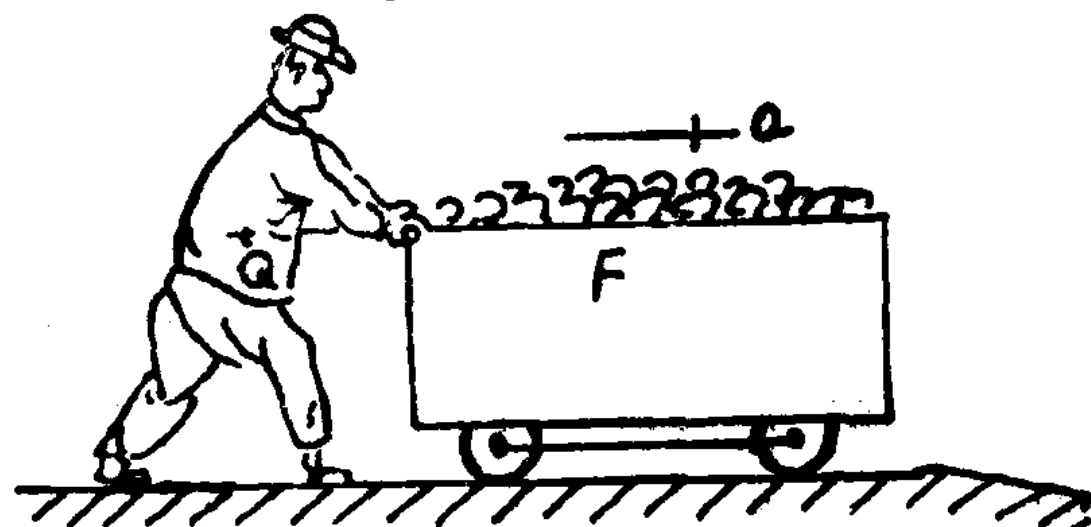


图 1—13 小车作加速运动时的惯性力与施加力的关系

切向加速度 a 和法向加速度 a_n 的方向相反，其大小等于质量与相应加速度的乘积。即

$$\left. \begin{aligned} Q_r &= -ma_r \\ Q_n &= -ma_n \end{aligned} \right\} \quad (1-24)$$

当质点作匀速圆周运动时， $a_r = 0$ ， $a_n = v^2/r$ 。其中 v 为质点的圆周速度； r 为圆周运动轨迹的半径。即质点作匀速圆周运动时，只有法向惯性力，其大小为：

$$Q_n = -m \frac{v^2}{r} \quad (1-25)$$

推动小车的力 F 与小车产生的惯性力 Q 是作用与反作用的关系，不能看成是一对平衡力。但在解答动力学问题时，人们常假想地认为惯性力 Q 也作用在小车上，这样小车就在力 F 和 Q 组成的平衡力系作用下而处于平衡状态（图 1—15）。也就是说：要使一个加速运动的物体假想地处于平衡状态，就必须

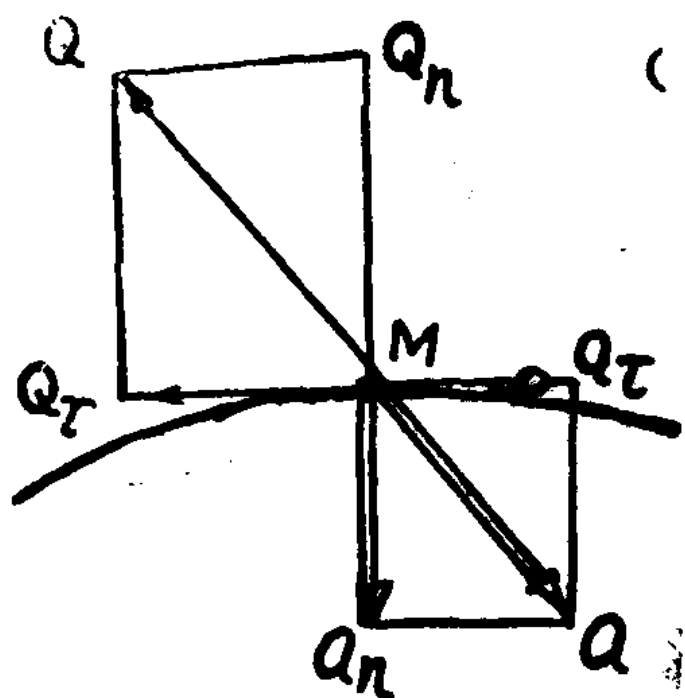


图 1—14 质点作曲线运动的惯性力

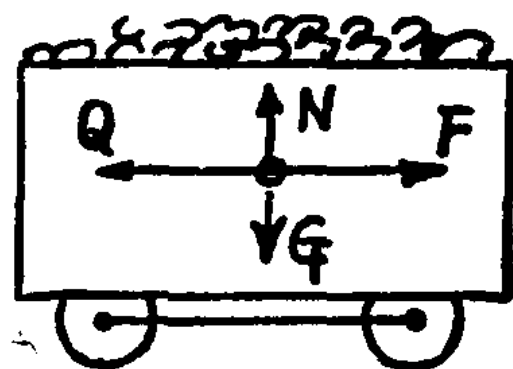


图 1—15 小车的动平衡状态

在该物体上加上它的惯性力。如此，就可以运用静力平衡条件求解。这种解答动力学问题的方法，称为动静法。

例1—3 一桥式起重机吊起一重量为 $G = 100$ 公斤力的物体（图1—16a），试求物体由静止以匀加速度 $a = 1$ 米/秒² 起吊时吊索所受的拉力。

解：此题可以用动力学基本方程求解，也可以用动静法求解。现分别解答如下：

1. 用动力学基本方程求解

设吊索对物体的拉力为 T ，物体的受力情况如图1—16b所示。于是由动力学基本方程可得：

$$\begin{aligned} \text{即} \quad T - G &= ma \\ T &= G + ma \\ &= 100 + \frac{100}{9.8} \times 1 \\ &= 110.2 \text{ (公斤力)} \end{aligned}$$

2. 用动静法求解

利用动静法求解时，必须先将惯性力 $Q = -ma$ 加到物体上。这时物体的受力情况如图1—16c所示。于是根据静力平衡条件可得：

$$\begin{aligned} T - G - Q &= 0 \\ \text{即} \quad T &= G + Q = G + ma = 110.2 \text{ (公斤力)}。 \end{aligned}$$

例1—4 一机车的起动牵引力为 $F = 29 \times 10^3$ 公斤力，列车总重量 $G = 5 \times 10^6$ 公斤力，如行车阻力为车重的0.0015倍，问在水平直线轨道上行驶时，由静止到速度 $v = 36$ 公里/小时所需的时间及运行距离各为多少？

解：假定列车在起动过程中为匀加速直线运动，由式（1—13）可得列车起动时的加速度 a 为：

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

由于列车是由静止开始运动，故初速度 $v_0 = 0$ ，末速度 $v = 36$ 公里/小时 = 10 米/秒。于是

$$a = \frac{10 - 0}{t} = \frac{10}{t} \text{ (米/秒}^2\text{)}$$

设行车阻力为 F' ，根据题意有：

$$\begin{aligned} F' &= 0.0015G \\ &= 0.0015 \times 5 \times 10^6 \\ &= 75 \times 10^2 \text{ (公斤力)} \end{aligned}$$

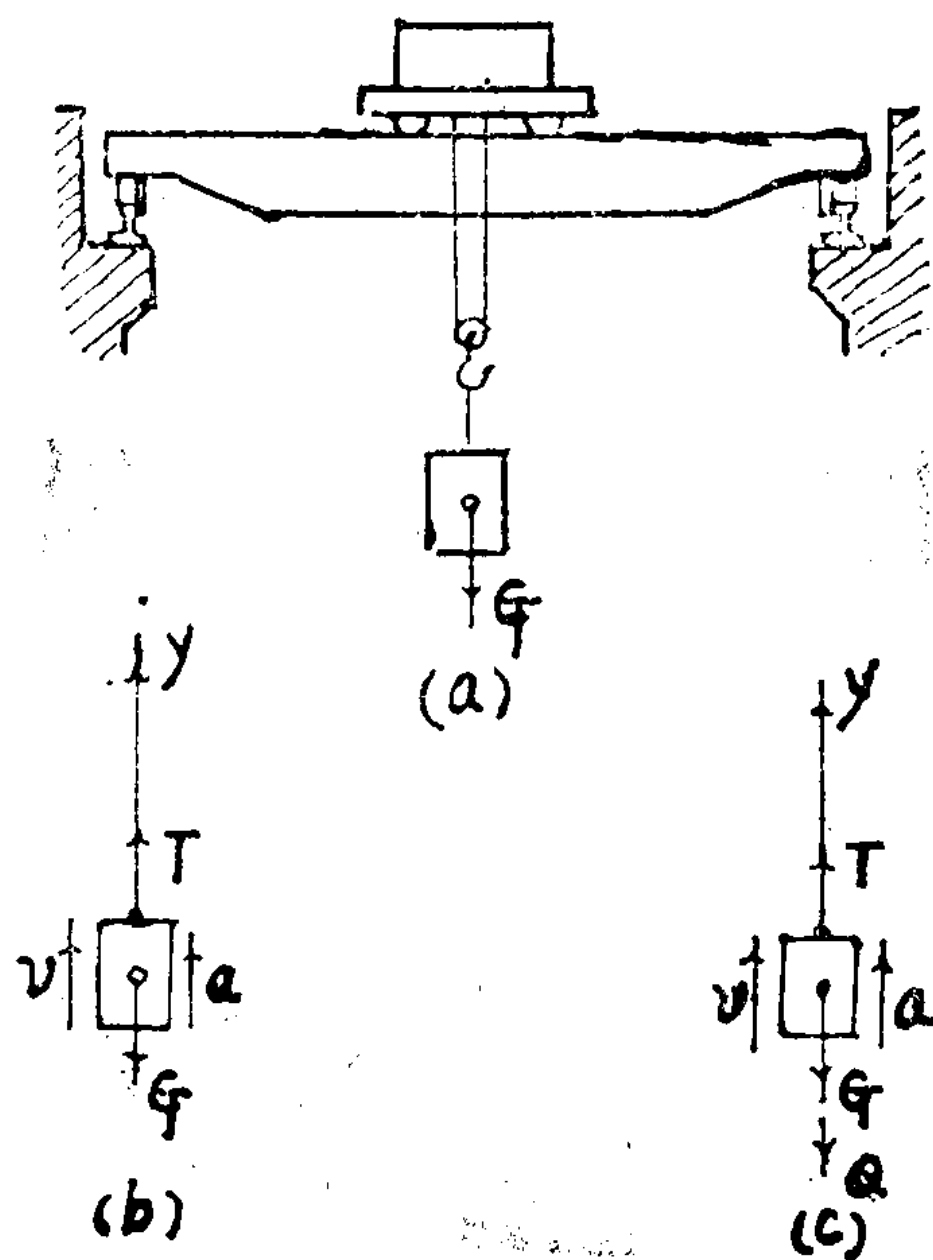


图1—16