

汽车力学

〔日〕小林 明

机械工业出版社

汽车力学

〔日〕小林 明

刘树成 钱天蛟 蒋立盛

白原新 杨迪山

张蔚林

译

校



机械工业出版社

本书主要介绍汽车应用力学的基本原理，以解决汽车设计和使用过程中遇到的各种问题。特别是对振动和车辆的方向稳定性问题，作了较详细的论述和计算。全书共分十章。主要包括：直线加速度和旋转运动、制动装置、振动与弹簧、悬架装置以及刚体动力学、汽车方向稳定性及过渡运动。

本书可供汽车专业的科技人员及大专院校师生阅读和参考。

最新自動車力学

自動車工学研究会编

小林 明监修

株式会社図書出版社 1975

* * *

汽车力学

日本汽车工程研究会编

〔日〕小林 明 主编

刘树成 钱天蛟 蒋立盛

白原新 杨迪山

张蔚林

译

校

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $8\frac{3}{4}$ · 字数 190 千字

1982 年 6 月北京第一版 · 1982 年 6 月北京第一次印刷

印数 0,001—6,100 · 定价 0.91 元

*

统一书号：15033 · 5179

译 者 的 话

随着汽车工业及汽车运输业的飞速发展，欧美及日本在汽车设计制造和运用维修等领域内都进行了相当深入的理论研究，积累了丰富的实践经验，使汽车理论这门学科发展到了相当高的水平，其中许多方面是值得我们借鉴和认真学习的。

本书在一定程度上反映了英美学者在汽车力学领域内的研究成果。本书主要讨论如何应用力学基本原理，解决汽车设计和使用过程中遇到的各种力学问题，特别是对振动、悬架、制动装置以及车辆的方向稳定性等问题作了比较详细的分析。尽管书中应用了较深的数学知识，但是作者在叙述过程中循序渐进，深入浅出，将一些本来较难理解的内容，解释得清楚易懂，对我们学习汽车力学的基础知识，了解欧美及日本学者在解决汽车力学问题时的基本观点和方法，是一部很好的参考书。因此，我们全文译出，供我国汽车设计、科研和使用部门的科技人员及大专院校汽车专业的师生参考。

不过本书并没有对汽车行驶过程中的力学问题作全面的阐述，如书中没有涉及汽车制动过程的力学分析。在本书翻译过程中得到了余志生、肖德炳、徐石安、倪佑民、蔡伯钧等同志多方协助，这里谨表谢意。由于我们水平有限，错误在所难免，请广大读者批评指正。

译者

1980年4月

目 录

绪论 基本原理	1
0-1 坐标系	1
0-2 点的位移	1
0-3 位移的方向	2
0-4 位移的表示方法	2
0-5 点的平面运动	2
0-6 连续位移的合成	2
0-7 同时位移	3
0-8 矢量	4
0-9 物体的位移	4
0-10 平移和转动	4
0-11 速率	4
0-12 速度	5
0-13 同时速度	5
0-14 加速度	6
0-15 同时加速度	7
0-16 转动	7
0-17 角速率、角速度、角加速度	7
0-18 牛顿运动定律	8
0-19 力	11
0-20 力矩	13
0-21 平行力的合力	14
0-22 力偶	15
0-23 一力用另一力和力偶矩置换	16
0-24 物体的质心	16
0-25 摩擦	16

0-26	功、能量和功率	18
0-27	平衡法则	19
第一章 处于平衡状态的力——力系的平衡		21
1-1	平衡法则	21
1-2	三轮汽车的重量分配	22
1-3	四轮汽车的重量分配	24
1-4	重心高度	25
1-5	在纵向斜面上的稳定性	26
1-6	车轮轴承载荷	29
1-7	变速器中间轴上的轴承载荷	30
1-8	自由轮滚柱承受的作用力	34
1-9	蜗杆和蜗轮装置的轴承载荷	35
1-10	由螺旋锥齿轮产生的轴承载荷	37
1-11	独立悬架装置中的力	39
1-12	作用在自卸汽车车身上的力	42
1-13	摩擦圆	44
1-14	二轮挂车在横向斜面上的稳定性	47
1-15	铰接式汽车列车 (牵引车——半挂车) 的平衡	50
1-16	在铰盘载荷作用下挂车的稳定性	51
1-17	由传动轴套管 (扭力管) 传递推力及反作用 扭矩的 4×2 汽车	55
1-18	由后悬架传递推力和反作用扭矩的 4×2 车辆	58
1-19	6×4 汽车上的力	59
1-20	索尔尼克劳夫脱公司的六轮汽车	62
参考文献		65
第二章 直线加速度		66
2-1	牛顿第二运动定律	66
2-2	惯性力	67
2-3	以匀加速度行驶的汽车	68

VI

2-4	车轮不产生滑转时的最大加速度	70
2-5	沿着斜坡克服阻力向上行驶时的加速度	70
2-6	离心力	72
2-7	汽车沿横向倾斜路面行驶时的动力学	73
2-8	变加速度	75
2-9	在净驱动力不变的条件下的加速度	80
2-10	性能曲线	81
2-10-1	空气阻力	83
2-10-2	坡度阻力	83
2-10-3	滚动阻力	84
2-10-4	时间和距离的计算	89
2-10-5	比例尺	93
2-10-6	其他图解法	93
第三章	旋转运动	94
3-1	旋转运动	94
3-2	将含有角加速度的问题转化为静力学问题	96
3-3	考虑车轮转动惯量时的汽车等效质量	97
3-4	联动系统	99
3-5	等效的非联动系统	100
3-6	在换档期间齿轮实现同步所需的时间	103
3-7	飞轮对汽车加速度的影响	106
3-8	联动系统的最大加速度速比	107
	参考文献	108
第四章	扭矩关系与齿轮变速器	109
4-1	扭矩关系	109
4-2	行星齿轮机构	110
4-3	由太阳轮和内齿环组成的行星齿轮机构的一般 转速关系式	112
4-4	双太阳轮行星齿轮机构	113

4-5	行星齿轮架转速的计算方法	114
4-6	复式行星齿轮机构	115
4-7	行星齿轮机构的扭矩关系	120
4-8	履带式车辆的行星齿轮转向机构	124
4-9	“可控差动”式转向系	126
4-10	Merritt-Brown式转向系	129
4-11	Merritt-Brown变速器的扭矩关系	132
第五章 振动与弹簧		134
5-1	简谐运动	134
5-2	简单的无阻尼质量—弹簧系统	136
5-3	振幅和相位角的确定: 初始条件	138
5-4	简谐运动的指数表达式	139
5-5	等效弹簧	141
5-6	阻尼振动	143
5-7	库仑摩擦阻尼	143
5-8	与速度成正比的阻尼	146
5-9	阻尼系数的确定	151
5-10	强迫振动 (1)	151
5-11	强迫振动 (2)	154
5-11-1	动态增幅比	156
5-12	在固有振动频率下的响应	156
5-13	强迫振动的另一种表示形式	157
5-14	强迫振动的矢量分析法	158
5-15	因弹簧悬挂点位移引起的强迫振动	160
5-16	惯性激振	160
5-17	另一种形式的阻尼	162
第六章 悬架装置		164
6-1	简单的二轮挂车	164
6-2	简单汽车在起伏路面上的运动	165

6-3	由两个质量和两个弹簧组成的振动系统	170
6-4	具有两个自由度的单质量振动系统	172
6-5	具有两个自由度的单质量系统的另一种分析方法	175
6-6	G 点与 C 点重合, 但 c^2 不等于 k^2 的特殊情况	179
6-7	G 与 C 重合和 $c^2 = k^2$ 时的特殊情况	180
6-8	双重共轭点的特性	180
6-9	增加质量的影响	181
6-10	绕双重共轭点的角振动的频率	182
6-11	带有一根与车架刚性连接的车桥的汽车的振动	182
6-12	补偿悬架系统	183
6-13	汽车的横摇轴	186
6-14	在横向力作用下的独立悬架	189
	参考文献	193
第七章 制动器		194
7-1	图解法	194
7-2	制动力矩的解析计算	200
7-3	对称蹄式制动器	201
7-4	有效摩擦力半径 R_f 的解析计算	201
7-5	装用符合虎克定律的摩擦片的制动器	202
7-6	对称蹄	204
7-7	系数 k 的图解法	204
7-8	操纵机构的形式对总制动力矩的影响	205
7-9	刚性支座面式制动蹄	208
7-10	支座式内制动蹄的解析分析	212
7-11	盘式制动器	217
7-12	简单的盘式制动器	218
7-13	自增力式盘式制动器	219
	参考文献	221
第八章 充气轮胎的特性		222

8-1 充气轮胎的静特性	222
8-2 轮胎的滚动特性	223
8-3 外倾效应	226
8-4 Gough 的轮胎特性图	227
参考文献	230
第九章 刚体动力学	231
9-1 运动物体的表示法	231
9-2 平面运动的物体某点的加速度	232
9-3 沿非平面曲线运动的点的加速度	233
9-4 与物体一起运动的动坐标轴的使用	234
9-5 物体对于空间固定坐标系的动量矩	236
9-6 物体的动量矩及固定在物体上的坐标系的应用	238
9-7 物体的运动方程式及随物体一起运动的动坐标 系的应用	239
第十章 汽车的方向稳定性及过渡运动	241
10-1 方向稳定性	241
10-2 简化为一个装有轮胎刚体的汽车的稳定性	241
10-3 介绍一种较为完善的分析方法	249
10-4 道路车辆的运动方程式	249
参考文献	270

绪论 基本原理

在本绪论中，扼要介绍本书各章用到的力学原理。考虑到这些原理都是读者以前学习过的，因此这里只是提请读者复习一下学过的知识，而不是用来代替早先的学习。

本绪论中介绍的某些原理，在本书首次应用的章节中还要进一步阐述，因此关于这些原理只作简略的说明。

力学是一门研究物体运动的科学。所谓运动是指位置的变化。因此本绪论必须从如何相对于其它点或物体来规定某点或某物体的位置讲起。点或物体的位置，最好采用坐标系来规定。

0-1 坐标系

从一点或从原点引出三条相互垂直的直线，便可构成一个较为方便和广泛采用的直角坐标系（尽管有时其它坐标系更为适用）。只要给出任一点在 X 、 Y 、 Z 轴上的坐标

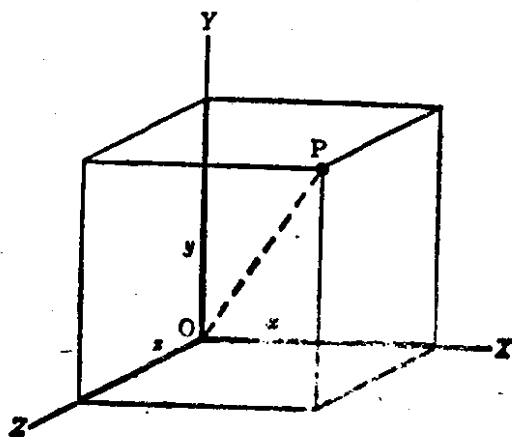


图 0-1

（图0-1），便能相对该坐标系规定这一点的位置。

0-2 点的位移

点的位移只要利用坐标关系就能确定。若取点的最初位置为原点，则其最后位置 P 在 X 、 Y 、 Z 轴上的坐标，便可确定该点的位移 OP 。测量位移的单位与测量距离的单位相

同。

0-3 位移的方向

在图 0-1 中, 由点 O 向点 P 的位移与由点 P 向点 O 的位移方向相反。前者的方向为从 O 向 P, 后者的方向为从 P 向 O, 但这两个位移都在空间的同一直线上, 故它们的方位相同。

0-4 位移的表示方法

在方向已被指明的条件下, 位移可以用与之平行且长度相等的任一直线来表示。位移的方向可以用在该直线上标画箭头, 或者用注明其终点的方法来表示。后一种方法比较灵活, 因为它可以突出位移的双重性。若图 0-1 中的点 O 为位移的始点, 点 P 为终点, 则 $\overline{OP}$ 表示 P 相对于 O 的位移, 方向是从 O 向 P, 而 O 相对于 P 的位移用 $\overline{PO}$ 表示 (方向是从 P 向 O)。一条平行于 OP 并标有 $\overline{OP}$ 的线段, 在符合下述规定的基础上, 可表示二个位移。

若方向从 O 到 P 的线段 $\overline{OP}$ 表示点 P 相对于 O 的位移, 则方向从 P 到 O 的线段 $\overline{PO}$, 便可表示 O 相对于 P 的位移。

0-5 点的平面

运动

如果点 P 位移的某个座标 (例如 Z) 总是零, 那么这个点显

然是在一个平面 (OXY) 上运动, 即做平面运动。

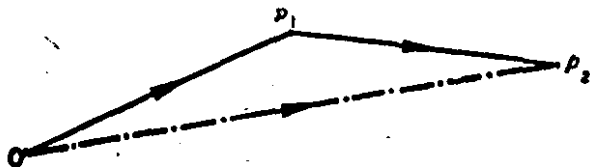


图 0-2

0-6 连续位移的合成

若点 P 相对于点 O 连续进行二次位移 Op_1 和 p_1p_2 (图 0-2), 结果到达最终位置 Op_2 , 显然一次位移 Op_2 亦可达到该终点。与两次连续位移结果相等的这一次位移称为该两次位

移的合成, 即: op_2 是 op_1 和 p_1p_2 的合成, 也可称为位移 op_1 和 p_1p_2 的矢量和。这一原理也适用于二个以上的连续位移。例如在图 0-3 中, 位移 op_1 、 p_1p_2 、 p_2p_3 、 p_3p_4 、 p_4p_5 的合成是 op_5 , 如图 0-3 之类的图形叫作位移的多边形。

值得注意的是, 如果位移的方向, 按图 0-3 所示, 是用箭头来表示的, 那么全部分位移 op_1 、 p_1p_2 等的箭头, 应该沿多边形的周边指向同一方向, 而合成位移 op_5 的箭头方向则

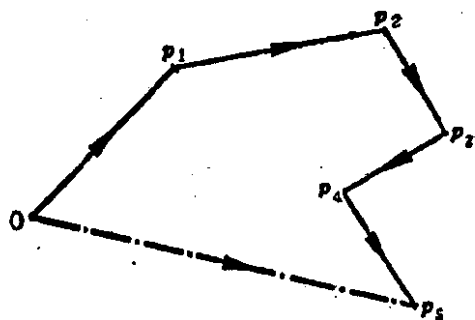


图 0-3

相反。若采用上述规定, 则合成位移 op_5 (方向从 o 到 p_5) 表示点 p 相对于点 o 的位移, 而 p_5o (方向从 p_5 到 o) 表示 o 相对于 p 的合成位移。

0-7 同时位移

严格地说, 一个物体不可能同时进行两个或两个以上的位移。但是, 若物体 A 相对于物体 B 作位移, 而物体 B 同时相对于物体 C 作位移, 则可简便地表示为物体 A 同时进行二个位移。

这种在上述特定意义下的同时位移, 可以用与合成连续位移相同的方法来合成。即在图 0-4 中, 若 ba (方向为从 b 到 a)

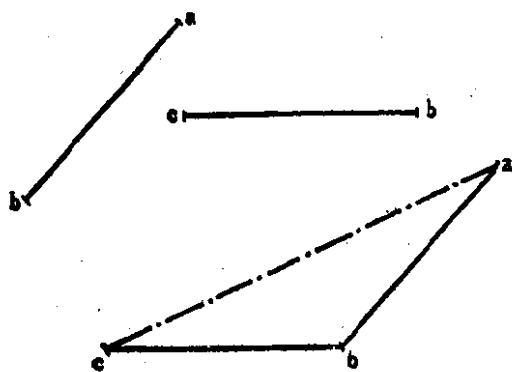


图 0-4

为物体 A 相对于物体 B 的位移, cb (方向为从 c 到 b) 为物体 B 相对于物体 C 的位移, 则在三角形 cba 中, ca 边 (方向为从

c 到 a) 表示物体 A 相对于物体 C 的位移, 而 ac 边(方向为从 a 到 c) 表示物体 C 相对于物体 A 的位移。

0-8 矢量

凡具有大小, 方位和指向的量, 既可用线段表示, 又可用画三角形或多边形的方法合成的量称为矢量。在力学中遇到的矢量有速度、加速度、角速度、角加速度、力以及力偶等。

0-9 物体的位移

因为物体的各点的位置可由相对于参考系的坐标来确定, 所以物体也可以用坐标系来表示, 这是方便的。因此, 某物体相对于另一物体的运动, 可看做为某坐标系相对于另一坐标系的运动来分析。

0-10 平移和转动

物体的运动有二类。一类是平移, 表示物体的坐标系的三根轴, 总是平行于它们的最初位置; 另一类是转动, 物体的各点绕旋转轴线转动。

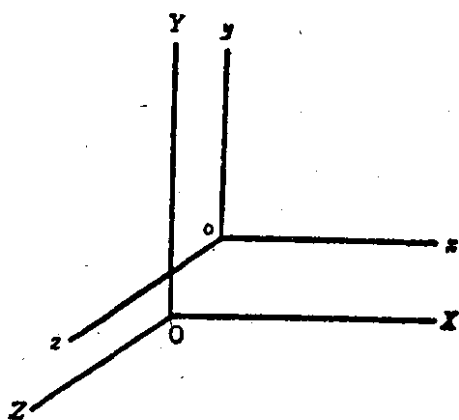


图 0-5

一般地说, 物体 $oxyz$ 相对 $OXYZ$ 的运动 (图 0-5), 可分解为六个分运动, 其中三个是平行于 OX 、 OY 、 OZ 轴的平移, 三个是绕着这些轴的转动。

0-11 速率

若考虑位移所经历的时间, 就产生速率的概念。沿某线段运动的点的平均速率, 定义为点在该线上移动的距离除以移动所经历的时间。如果速率一定, 那么不论时间长短, 时

间除其所对应的距离的商值是相同的。但如果速率是变化的，则平均速率随时间长短的不同而有很大差异。瞬时速率定义为距离/时间的商，其中，时间只是包括该瞬间的一段无限小的时间间隔。瞬时速率可由距离-时间关系曲线（图 0-6）上，与该瞬间相对应的点的切线给出。图 0-6 中由 BC/AC 或 $(s_2 - s_1)/(t_2 - t_1)$ 所给出的 AB 弦的斜率表示从 t_1 到 t_2 这一时间间隔内的平均速率。切线 TT 的斜率，表示时间 t 时的瞬时速率。

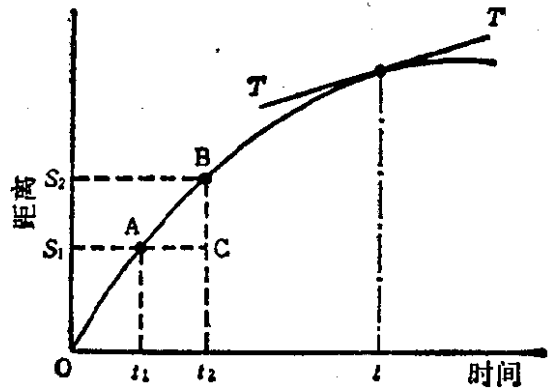


图 0-6

因此，速率的计量单位为距离单位除以时间单位，一般为米/秒。

0-12 速度

当考虑运动的方向时，要使用“速度”这个概念。所谓某点的速度，是指其在一定方位和方向上的速率。以一定的速率在直线上运动的点具有一定的速度，但是如果运动的方向或速率发生变化，速度亦随之变化。即以一定的速率在曲线上运动的点，由于运动方向不断地变化，速度也将随之变化。

0-13 同时速度

点或物体，只有在可同时具有两个或两个以上同时位移的情况下，才能具有二个或二个以上的同时速度。即如果物体 B 相对于物体 A 具有速度 V_a ，同时物体 A 相对于第三个物体 O 具有速度 V_o ，那么可以说此时物体 B 同时具有二个速度，即 V_a 与 V_o 。这时 B 相对于 O 的速度，可由这二个

速度的矢量和来表示，而该矢量和可用绘制矢量三角形的方法求得。从图 0-7 中，令 oa （方向从 o 到 a ）表示 A 相对于 O 的速度， ab （方向从 a 到 b ）表示 B 相对于 A 的速度。这时， ob （方向从 o 到 b ）便表示 B 相对于 O 的速度。反之，矢量 bo （方向从 b 到 o ）表示 O 相对于 B 的速度。

若同时具有二个以上的速度，则与求同时位移相同，可以用绘制矢量多边形的方法来求该矢量和。

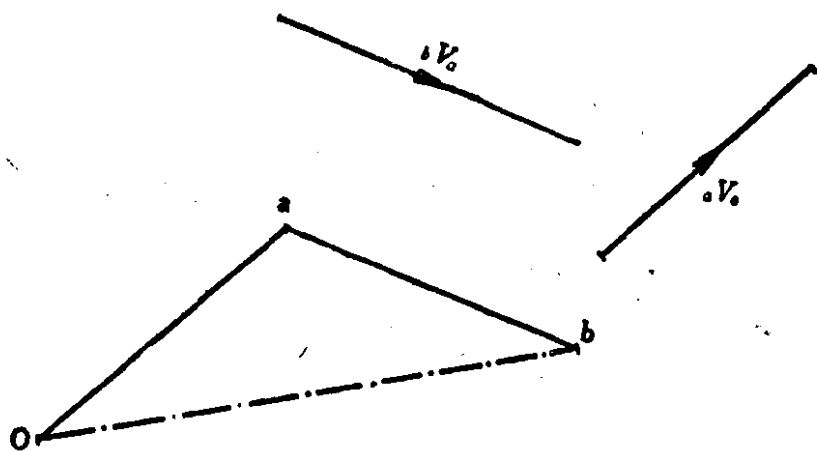


图 0-7

0-14 加速度

某点的加速度，就是该点速度的变化率，定义为速度的变化量除以产生该变化量的时间间隔，即：

$$\text{加速度} = \text{速度的变化量} / \text{时间间隔}$$

加速度与速度一样，可能是不变的，即匀加速度，也可能是变化的，即变加速度。对于匀加速度来说，任意一段相等时间间隔内的速度变化量相等，该时间间隔可取任意大小的值。但对于变加速度来说，只是取某一有限时间间隔内的平均加速度。当无限缩短该时间间隔时，该时间间隔内的平均加速度，可近似地作为这一瞬间的瞬时加速度。加速度的单位为速率单位除以时间单位，一般用 $\text{米}/\text{秒}^2$ 来表示。速度的

变化或是由于速率的变化或是由于方向的变化，或是由于这二者同时变化所引起的。当包括方向的变化时，必须绘制矢量三角形，才能求得速度的变化量。在图 0-8 中，如果 $\overrightarrow{oa_1}$ 是在时间为 t_1 时，点 A 相对于点 O 的速度， $\overrightarrow{oa_2}$ 是在时间为 t_2 时的速度，那么 $\overrightarrow{a_1a_2}$ 便是速度的变化量，平均加速度可由 $\overrightarrow{a_1a_2}/(t_2 - t_1)$ 求得。该加速度的方位为 a_1a_2 ，其方向为从 a_1 到 a_2 。

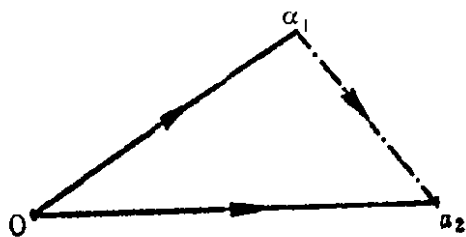


图 0-8

0-15 同时加速度

点或物体，与可以具有同时位移或同时速度的情况一样，也可具有同时加速度，其合成加速度同样可以用绘制矢量三角形或矢量多边形的方法求得。

0-16 转动

如果一动点在圆周上由 A 点向 B 点运动（图 0-9），就可以说该动点的矢径 OA 绕圆心 O 产生角位移，这个角位移可用角度 θ 来表示，在力学中所用的单位为“弧度”。实际上，上述位移是绕与纸面垂直的轴进行的，并且，一切角位移都毫无例外地绕着轴进行，但该轴如图 0-9 所示，往往只看作为一点，所以这种运动一般表现为绕一固定点或圆心的转动。

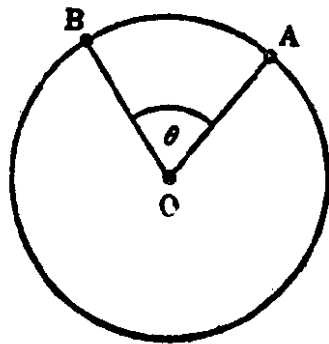


图 0-9

0-17 角速率、角速度、角加速度

角速率、角速度以及角加速度的定义和直线运动速率、