

[日] 川北和明 伊藤美光 著

[中] 黄诗翘 迟桂纯 程相荣 张爱珊 编译

机械设计中的 惯性量 GD^2

2

成都科技大学出版社

机械设计中的惯性量 GD^2

(基础与应用)

(日本) 川北和明 伊藤美光 原著
黄诗翹 迟桂纯 程相荣 张爱珊 编译
吴 逢 光 校审

成都科技大学出版社

1990年·成都

机械设计中的惯性量GD²

(基础与应用)

[日] 川北和明 伊藤美光 原著

黄诗翘 迟桂纯 程相荣 张爱珊 编译

成都科技大学出版社出版发行

四川省新华书店经销

成都科技大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 7.9375

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

字数: 172千字 印数: 1-1000

ISBN7-5616-0614-1/TH·9

定价: 1.78元

内 容 提 要

在高速、精密机电产品的设计制造中，机械惯性量的计算具有重要作用，目前在欧美、日本等工业发达国家都把机械惯性量 GD^2 的计算与应用作为机电产高效率化与可靠性分析的不可缺少的内容。本文从 GD^2 的基本理论与应用出发，进行了深入浅出的论述，有大量的应用实例，应用方便，适于大学、中专机电专业和机电一体化课程作教学参考书，也可供工程技术人员进行机电产品设计与开发时参考。

编译者前言

《机械设计中的惯性量 GD^2 —基础与应用》是日本近年出版的一本畅销的科技书。欧美、日本等工业发达国家都把“ GD^2 ”的计算与应用作为目前机电产品高效率化及可靠性分析的不可缺少的知识。在日本的机电制造行业中普遍把“掌握与运用 GD^2 作为现代工业对机械、电气设计师和管理人员提出的时代要求”这本专著就是为适应这种要求而由日本著名教授和企业专家联合编著的。它以严密的理论性与广泛的实用性而在日本成为一本颇受欢迎的科技新书。

本书围绕着机械惯性量 GD^2 的基本理论和应用这一主题，进行了深入浅出的论述，其中有大量的应用实例，可以直接输入计算机软件磁盘，应用极其方便。

目前，我国尚未正式出版过有关 GD^2 的书籍。可以预见：随着我国四化建设的迅速发展，现代工业对机电装置、设备的高效率化、自动化、精密化提出大量的要求，以及家用电器、工业机器人等的大量使用， GD^2 的理论和方法必将在我国机电行业实现“机电一体化”的过程中得到迅速而广泛的应用。

本书适宜作为大学、中专机电专业的设计和机电一体化课程的教学参考书，对工厂、企业、研究与设计单位的工程技术人员进行机电产品设计，制造及新产品开发也具有较大的参考价值。

本书由黄诗翘、迟桂纯、程相荣、张爱珊共同编译，由

四川省人民政府科技顾问团成员、原航空工业部 611 副所长、飞机设计高级工程师、中国企业管理成都培训中心研究员吴逢光总审校。

我们欢迎广大读者对编译中的缺点和不足提出批评。

编译者

1988年12月于成都

原 序

本书的“基础篇”是在日刊工业新闻“机械设计”杂志连载的基础上修改加工而成的。

当时，惯性量 GD^2 尚未引起工程技术人员的重视。随着机械装置逐步向高速、自动、精密化发展，惯性问题的研究已成为设计中不可缺少的内容，而惯性量 GD^2 自然就成了现代常用的工程术语。可以说 GD^2 作为工程技术概念已是时代赋予设计者的要求！

我打算尽可能地从实际方面入手，将 GD^2 的基本概念和各种公式的适用方法，用通俗易懂的语言加以论述。也许不够充分和不够周到的地方还很多，我想，如果对在设计中面临惯性问题而需要解决的各位设计者能有所帮助的话，我会感到十分荣幸。（川北和明《基础编》）

最近，在机械行业中，人们一谈到机械业面临的趋势时，往往会提出制造周期短，价格便宜，实现高效能及可靠性等倾向吧！

对于设计者来说，这些确实是很苛刻的条件及要求。为了在设计中将这些矛盾统一起来，以满足上述要求，首先要明确设计目的并对进行的内容排出合理的顺序；其次，在进行各种计算时，要从工程学的角度加以判断，再从实际情况出发进行设计和决定方案。本书的应用篇就是基于上述思考，介绍设计中的工作顺序及思路并对 GD^2 在实际设计中的计算处理方法以及与 GD^2 有关联的商品化机械类的选择方法

等逐一加以论述的。若对设计者和工程技术人员有所裨益，我们将感到不胜荣幸。

在本书发行之时，向给我们提供目类、资料等参考文献的单位、厂家及个人致以深深的谢意。（伊藤美光《应用编》）

目 录

I 基础篇

第一章 直线运动与旋转运动的力学	(1)
1.1 直线运动.....	(1)
1.1.1 位移、速度、加速度.....	(1)
1.1.2 力与质量.....	(3)
1.1.3 直线运动中的功和动能.....	(4)
1.1.4 直线运动中的物理量单位.....	(5)
1.2 旋转运动.....	(6)
1.2.1 角位移、角速度与时间的关系.....	(6)
1.2.2 力矩与惯性距.....	(7)
1.2.3 旋转运动中的功与动能.....	(8)
1.2.4 旋转运动中的物理量单位.....	(9)
第二章 基本形体的惯性距	(11)
2.1 对称形物体的惯性矩.....	(11)
2.2 惯性矩的平行轴定理.....	(17)
2.3 惯性矩与旋转半径.....	(20)
第三章 各种形状物体的GD^2	(22)
3.1 惯性矩与 GD^2 的关系.....	(22)
3.1.1 惯性矩与 GD^2 的换算.....	(22)
3.1.2 在 GD^2 中平行轴的换算.....	(23)
3.2 各种形状物体的 GD^2	(23)

3.2.1	圆柱(圆盘)形物体的 GD^2	(24)
3.2.2	中空圆柱(板)形物体的 GD^2	(28)
3.2.3	角柱(板)形物体的 GD^2	(30)
3.2.4	椭圆柱(板)形物体的 GD^2	(33)
3.2.5	具有中空部分的物体的 GD^2	(34)
3.2.6	不对称物体的 GD^2	(35)
3.2.7	各种形状组合成的物体的 GD^2	(38)
第四章	等价GD^2的计算法	(43)
4.1	GD^2 与旋转动能的关系.....	(43)
4.2	连动旋转体的等价 GD^2	(44)
4.3	连动直线运动体的等价 GD^2	(50)
4.4	车轴换算的等价 GD^2	(54)
4.5	旋转体和直线运动体连动装置的等价 GD^2	(55)
第五章	控制问题中的GD^2	(58)
5.1	控制中 GD^2 与力矩, 速度, 时间的关系...	(58)
5.2	控制中的力矩.....	(60)
5.2.1	转动(电机)力矩.....	(60)
5.2.2	负荷力矩与等价负荷力矩.....	(61)
5.2.3	摩擦阻力矩与装置的等价阻力矩.....	(64)
5.2.4	制动力矩与等价控制力矩.....	(67)
5.3	制动控制.....	(69)
5.3.1	制动力矩.....	(69)
5.3.2	制动时间.....	(73)
5.3.3	制动距离(旋转角度).....	(77)
5.4	加速控制.....	(94)
5.4.1	加速(起动)时间.....	(95)

5.4.2	加速距离.....	(102)
第六章	用实验法求GD^2.....	(116)
6.1	根据摆的周期计算 GD^2 的方法.....	(116)
6.2	根据停止所需时间计算 GD^2 的方法.....	(120)

II 应 用 篇

第七章	GD^2的计算方法及其应用	(123)
7.1	GD^2 计算的实例.....	(123)
7.1.1	GD^2 计算的基础.....	(123)
7.1.2	重量的实际计算.....	(124)
7.1.3	GD^2 的计算.....	(131)
7.1.4	GD^2 与惯性矩的换算.....	(133)
7.1.5	平行轴定理的计算顺序.....	(135)
7.2	各种形状物体的 GD^2 计算实例.....	(138)
7.2.1	公式集的实际应用.....	(138)
7.2.2	圆柱(圆板)形状物体的 GD^2 计算实例.....	(138)
7.2.3	平板状物体 GD^2 的计算.....	(148)
7.2.4	机械零件的 GD^2	(152)
第八章	等价GD^2的计算实例.....	(165)
8.1	公式的整理.....	(165)
8.2	等价 GD^2 的计算顺序.....	(169)
第九章	GD^2在机械设计中的诸问题.....	(175)
9.1	电机的选择.....	(176)
9.1.1	选择三相感应电机的注意事项及条件.....	(176)
9.1.2	电机输出的求法.....	(179)

9.1.3	脉冲电机的选择.....	(184)
9.1.4	其它电机的选择.....	(192)
9.2	联轴器的选择.....	(197)
9.3	离合器制动器的选择.....	(202)
9.3.1	离合器制动器的种类.....	(202)
9.3.2	电磁离合器制动器的种类及其特征.....	(202)
9.3.3	型号的选择.....	(203)
9.3.4	性能选择中的各种计算.....	(204)
9.4	齿形皮带的选择.....	(209)
9.5	减速器的选择.....	(214)
9.6	分度头的选择.....	(215)
9.6.1	外购分度头的选择顺序.....	(215)
9.6.2	选择尺寸时必要的计算.....	(217)
9.7	驱动轴的设计, 滚珠丝杆的选择.....	(220)
9.7.1	驱动轴的设计.....	(220)
9.7.2	滚珠丝杆的选择.....	(223)
9.8	算例.....	(224)

附录: GD^2 的公式集

I 基础篇

第一章 直线运动与旋 转运动的力学

机械装置中必然有运动部分，而运动部分设计的理论基础是力学。因此，对设计者来说，熟悉力学知识是很必要的。但设计中涉及的问题仅靠力学计算公式是不够的，还必须运用推证的方法，将其转换成能够计算和应用的数学模型，设计时再将实际问题尽可能地与数学模型吻合。设计者具有这种能力是非常重要的。

1.1 直线运动

1.1.1 位移、速度、加速度

机械设计中的实际问题，一般都属于平面或直线领域。为有利于对概念的理解，通常采用平面坐标系来研究直线运动。一般用黑体字表示矢量，例如速度 $\mathbf{V}$ ；用白体字表示标量，例如速度 v 。

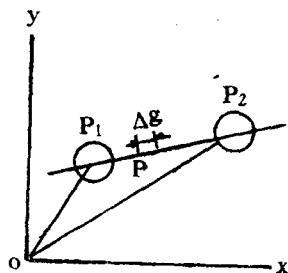


图1.1 直线运动

在图1.1中, 当物体从位置 P_1 直线移动到 P_2 时, 其间的位置差叫做位移。取某一点为基准点, 则此点就决定了 P_1 、 P_2 的方向和长度, 即矢量 $\mathbf{P}_1$ 和 $\mathbf{P}_2$ 。因此, 位移 $\mathbf{S}$ 是既有方向又有大小的矢量。即

$$\mathbf{S} = \mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1 \quad (1.1)$$

设物体在任一点 P 。取时间间隔为 Δt , 相应的位移为 ΔS , 其比值 $(\Delta S/\Delta t)$ 表示点作直线运动的快慢和方向。 Δt 取得愈短, 此值就愈接近瞬时运动速度。其标量可写为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.2)$$

积分得
$$S = \int v dt = Vt + S_0 \quad (1.3)$$

式中, S_0 为 $t=0$ 时的初位置(点 P 的位置)。

当物体作匀速运动时, 式中的速度就是单位时间内移动的距离。

当物体由静止开始运动或由运动逐渐停止, 其速度随时间而变化。例如, 在任意点 P , 物体速度由 V 在 Δt 内变成 $V + \Delta V$; 当 Δt 无限小时, $\Delta V/\Delta t$ 比值称为物体在点 P 的加速度 a , 其标量可写成

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1.4)$$

积分得
$$v = \int a dt = at + v_0 \quad (1.5)$$

式中, v_0 为 $t=0$ 时之初速度。

用公式(1.2)、(1.5)可导出 $ds = v dt = (at + v_0) dt$

$$\text{即} \quad S = \int (at + v_0) dt = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + S_0 \quad (1.6)$$

位移、速度和加速度都是具有大小和方向的矢量。但在设计中，这些量的方向一般都是清楚的，往往仅考虑它的大小，但在概念上应当加以注意。

1.1.2 力和质量

虽然力使物体呈现出各种各样的运动形态，但都具有以下共同性质（牛顿定律）：

1) 物体若不受外力作用，则将保持静止状态或作匀速直线运动。这种性质称为惯性（牛顿第一定律：惯性定律）。

2) 物体受力作用产生加速度，它与作用力方向相同、大小成正比，与物体质量成反比（牛顿第二定律：运动定律）。

3) 两物体相互作用时，其间力的大小相等，方向相反（牛顿第三定律：作用与反作用定律）。

牛顿定律可写成如下方程式

$$ma = F \quad (1.7)$$

式中 a 为加速度， m 为质量（惯性质量），可将质量理解为物体受外力作用时使物体运动状态难以发生变化的量。

由于重力加速度 g 使物体产生重力 W ，物体便具有重量。重的物体难以运动，致使重量与质量容易混淆，但其概念是不同的。设计中经常遇到重量，可由下式求得质量；

$$m = \frac{W}{g} \quad (1.8)$$

一般取 $g=9.8\text{m/s}^2$ (980cm/s^2)。

1.1.3 直线运动中的功及动能

当力作用于物体，使其在力的作用方向上移动一段距离时，该力的大小和物体移动距离的乘积定义为力对物体作的功。如图1.2所示，质量为 m 的物体上作用着力 F ，假设物体在力的作用方向上移动微小距离 ds ，则力作的微小功 dE 为：

$$dE = Fds \quad (1.9)$$

功是标量。积分上式可得出位移为 s 时的功

$$E = \int_0^s Fds = FS \quad (1.10)$$

将式(1.7)、(1.4)、(1.2)代入式(1.9)，得

$$dE = mv \cdot dv \quad (1.11)$$

$$\text{对上式积分有 } E = m \int v dv = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1.12)$$

这是人们熟知的动能算式。

式中的 v 是标量。

式(1.10)和(1.12)表明功是能的一种形态。力可以对物体作功而给予物体动能。反之，运动物体的动能也可还原为功。这就是能量守恒定律。

物体有直线运动和旋转运动

等形式。功的形态也各种各样，

根据能量守恒定律，不同的形态能量可作为同样的量来处理。

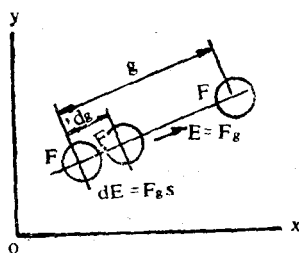


图1.2 在直线运动中的功

1.1.4 直线运动中的物理量单位

力学中必要的基本单位有长度、时间和质量。而速度和力等的单位可由这三个基本单位导出。

我国目前推行SI（国际）单位制，同时还采用其它单位，如常用的工程单位制（重力单位系）MKS。

SI单位制简单地说，是不以重力、加速度等特定值为基础的单位制，而是以长度，质量和时间单位为基本单位，并据此导出一些辅助单位。具体地说，力的单位及与其相关连的能量单位与MKS不同。

工程单位（重力单位）和SI单位的对照关系简单地归纳如表1.1。

表1.1 工程单位（重力单位）和SI单位

量	工程单位（重力单位）		SI单位	
	名称	记号	名称	记号
长度	公尺	m	公尺	m
时间	秒	S	秒	S
速度	每秒公尺	m/S	每秒公尺	m/S
加速度	每秒 ² 公尺	m/S ²	每秒 ² 公尺	m/S ²
力(重量)	千克力(千克重)	kgf(kgw)	牛顿	N
质量	每公尺千克重秒 ²	kgwS ² /m	千克	kg
能量	千克力公尺	kgf·m	焦耳(牛顿·米)	J(N·m)
功率	马力	PS	瓦特	W
(动力)	千瓦	KW	千瓦	KW