

827557

中等物理计算

下册

23

—

835

T·2



清华大学图书馆
基本藏书



中国青年出版社

827557

33

—

835

T·2

2.2
835

中等物理计算

下2

下 册

钱 拙 王溢然 编

中国青年出版社

中等物理计算 (下册)

钱 拙 王溢然 编

*

中国青年出版社 出版 发行

太阳宫印刷厂印刷 新华书店经销

*

787×1092 1/32 16.25 印张 310 千字

1987 年 7 月北京第 1 版 1987 年 7 月北京第 1 次印刷

印数 1—8,000 册 定价 2.90 元

编 者 的 话

这是为高中同学编写的一本课外读物(共分上、下两册),也可以供具有相当文化水平的青年自学用。本书的取材主要依据中学物理课本,但只限于有关计算的部分。对于高等师范院校物理专业的同学以及一部分担任中学物理教学工作不久的新教师,我们希望本书也能给他们一定的帮助。

编写本书的目的是为了帮助读者掌握中等物理计算的技巧和方法,更重要的是希望通过例题分析、演解和讨论,有助于读者进一步理解中等物理范围内有关概念、规律,有助于读者培养和提高独立思考、分析推理、严密论证以及运用理论知识和数学方法解决实际问题的能力。

本书基本按照高中物理课本的次序分章。上册的内容包括全日制十年制学校高中课本《物理》上册的前八章并增加“流体静力学”一章(这一章是初中课本内容的补充)。现在这一本下册的内容包括高中课本《物理》上册的后两章和下册的大部。课本中只作定性的分析讨论、不涉及定量计算的内容,如“电子技术基础”等章节,这里没有列入。另外,增加了“热膨胀、热交换、物态变化”和“几何光学”两章(这两章也是初中课本内容的补充)。

本书的编写方法,每章先概述有关的基本概念,然后分节

讨论有关计算问题。例题的内容适当照顾到初中物理课本中的问题,由浅入深,由简及繁,逐步提高。有些问题,孤立地看似乎超出了中学物理课本的范围,但实际上都是在中学物理课讲授的基本概念基础上,稍加启发引导,运用初等数学方法可以解决的。当然,这类问题不能作为中学物理教学的一般要求。

在编写下册的时候,我们特别注意了巩固和加深对基本概念、基本规律的理解以及提高能力两个方面,尤其是提高能力方面。我们所指的能力,不仅是解题计算能力,还包括分析思考、绘图识图用图、根据数学表达式作一般讨论、判断、检验方面的能力。总起来说,就是运用数学分析和解决物理问题的能力。同时,我们还选编了一些联系实际和结合实际的例题和习题,如果能在计算之外,再动手做一些实验,那么,无论是对理解概念、掌握规律、或是提高能力方面来说,都会得到更大的收获。

书中每个例题的下面,一般包括“解”和“讨论”两项。在“解”这一项下,除了解题过程和解答外,还包括对题意以及解题思考过程的分析、选择解题方法的指导等。解题前的分析是物理计算的一个重要步骤,解题过程中应该包括这一部分,但是应该注意简明扼要,不必以本书中的“解”作为一种规范。在“讨论”这一项下,一般包括常见错误的分析、其他解法的介绍、对答案的分析、验证等。有的例题的讨论中,还对解题所得的一般结论详加分析,引导得出新的规律。希望读者能特别重视这种讨论。下册的“讨论”项下,还增加了不少向读者

提出的建议和要求的内容,希望读者重视这些建议和要求,并且认真照着去做。因为只有通过自己的实践,才能有真切的体会,才能取得经验,才能在学得知识、提高能力两方面都得到进步。“讨论”这一项,当然不必作为解题规格的一部分。每章末都附有少量的练习题,题前冠有*号的是较难的,读者可以按自己的水平选择练习。书末附录中有练习题的答案可供参考。

总之,无论就内容还是方法来说,下册都比上册要求高了。我们希望它对于高中同学是适用的。

下册的编写工作是在上册修改完毕以后进行的,原来参加上册编写工作的龚芹生同志由于年事已高,吴保让同志由于担任学校行政工作,没有时间,所以没有参加下册的编写工作。限于我们的水平,缺点错误在所难免,希望读者发现后能予指出,更希望从事中学物理教学工作的同志赐教指正。

编 者

1980年十二月于苏州

7A018/02

目 次

第十章 热膨胀·热交换·物态变化·····	1
一 基本概念(1) 二 热膨胀(2) 三 热交换(13)	
四 物态变化(21) 练习十(29)	
第十一章 气体定律和气态方程·····	31
一 基本概念(31) 二 气体的等温变化和玻意耳-马略特定律(32)	
三 气体的等容变化和查理定律(45) 四 气体的等压变化和盖-吕萨克定律(51)	
五 气体的状态方程(57) 练习十一(75)	
第十二章 内能·能的转化和守恒定律·····	78
一 基本概念(78) 二 热和功(79) 三 热力学第一定律(89)	
练习十二(102)	
第十三章 电场·····	106
一 基本概念(106) 二 库仑定律(106) 三 电场强度(116)	
四 电势和电势差(130) 五 电容(138) 六 带电粒子在电场里的运动(150)	
练习十三(167)	
第十四章 稳恒电流·····	171
一 基本概念(171) 二 部分电路的欧姆定律(172) 三 分压和分流(185)	
四 全电路欧姆定律(200) 五 电势分析法(218) 六 测量的误差(231)	
七 电流的功和功率(248) 练习十四(266)	
第十五章 磁场·····	271

一 基本概念(271)	二 磁感应强度(272)	三 磁场对 电流的作用力(279)	四 带电粒子在磁场里的运动(299)
练习十五(312)			
第十六章 电磁感应 315			
一 基本概念(315)	二 楞次定律(317)	三 法拉第电 磁感应定律(317)	练习十六(348)
第十七章 交流电 354			
一 基本概念(354)	二 表征交流电的物理量(355)	三 简单交流电路(373)	四 交流电的功率(386)
五 变压 器(392) 练习十七(398)			
第十八章 电磁振荡和电磁波 401			
一 基本概念(401)	二 电磁振荡的周期公式和电磁波的 波长、频率(403)	练习十八(412)	
第十九章 几何光学 414			
一 基本概念(414)	二 光的反射和折射(414)	三 平 面镜和球面镜成像(429)	四 透镜成像(439)
五 透镜 成像的图解法(454) 练习十九(461)			
第二十章 光的本性 464			
一 基本概念(464)	二 光的干涉(466)	三 光电效 应(472)	练习二十(476)
第二十一章 原子结构和原子核 477			
一 基本概念(477)	二 原子里电子的运动(479)	三 原子核(486)	练习二十一(493)
附 录 练习题答案 495			

第 十 章

热膨胀 · 热交换 · 物态变化

一 基 本 概 念

1. 热现象 热现象是物体内部大量分子热运动的集体表现。

2. 温度 物体的冷热程度叫做温度。物体温度的高低反映了物体内部分子热运动的平均平动动能的大小。

常用的温度计是利用液体热膨胀的性质制成的，采用摄氏温标，它的刻度是把冰水混合物的温度规定作为 0 度，把一个大气压下沸水温度规定作为 100 度，在这两个刻度之间分成 100 等分，每一等分就是 1 度。摄氏度的符号是 $^{\circ}\text{C}$ 。以 -273.15°C 作为 0 度，而分度和摄氏度相同的温标，叫做热力学温标或绝对温标，也叫开尔文温标。开尔文温标的单位不叫度而叫开尔文，简称开，符号是 K。

3. 热量 物体吸收或放出热的多少叫做热量。高温物体把热量传递给低温物体，是分子热运动的平均平动动能的传递。

热量的单位有卡和千卡。1 克水温度升高(或降低) 1°C

的时候吸收(或放出)的热量就是1卡^①。1千卡=1000卡。

二 热 膨 胀

1. 热胀冷缩现象 一般物体都是受热的时候膨胀,冷却的时候收缩,就是说物体的体积随着温度的变化而变化。这是因为在加热的时候,不但分子运动速度增大,而且分子间的距离也增大。

2. 线膨胀 固体的温度升高的时候,它的各个线度(长度、宽度、厚度)都增长,这种现象叫做固体的线膨胀。

固体由于温度上升 1°C 所引起的线度的增长跟它在 0°C 的时候的线度的比,叫做线胀系数,常用符号 α 表示:

$$\alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 \cdot t},$$

因此 $l_t = l_0(1 + \alpha t),$

式中 l_0 是物体在 0°C 时候的长度, l_t 是物体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时候的长度。

3. 体膨胀 固体由于温度上升 1°C 所引起的体积增大跟它在 0°C 时候的体积的比,叫做体胀系数,常用符号 γ 表示:

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 \cdot t},$$

因此 $V_t = V_0(1 + \gamma t),$

式中 V_0 是物体在 0°C 时候的体积, V_t 是物体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时候的体积。

^① 严格说来1卡指1克水温度从 14.5°C 升高到 15.5°C 所吸收的热量,因为温度不同,水升高 1°C 吸收的热量也不同。不过这个差别不大,所以一般就不加区别了。

各个方向的线胀系数都相同的固体，体胀系数是它的线胀系数的三倍，就是 $\gamma = 3\alpha$ ①。

液体的体积跟温度的关系跟固体的相同，也可以用下式表示：

$$V_t = V_0(1 + \gamma t).$$

例 10-1 一根钢卷尺的刻度是在 20°C 的时候刻制的，现在 0°C 的时候用这根尺去测量某铜棒，测得棒长是 5400 毫米。问：

(1) 这次测量的绝对误差和相对误差各是多少？

(2) 这根铜棒在 40°C 时候的实际长度是多少？

已知铜的线胀系数 $\alpha_{\text{铜}} = 1.9 \times 10^{-5}/\text{度}$ ，钢的线胀系数 $\alpha_{\text{钢}} = 1.2 \times 10^{-5}/\text{度}$ 。

解 (1) 钢卷尺的刻度既然是在 20°C 时候刻制的，那么只有在 20°C 的时候用它来量度物体的长度才能得到正确的结果。由于热胀冷缩，在其他温度的时候尺的长度已经发生变化，而尺面上的刻度并不改变。因此，在不同温度的时候同一刻度所表示的实际长度并不是一样的。在 0°C 的时候用尺量度铜棒长度的读数是 5400 毫米，这不

① 设一长方体在 0°C 的时候体积 $V_0 = l_0 b_0 d_0$ ， l_0, b_0, d_0 分别是长方体在 0°C 时候的长度、宽度和厚度。又设在 $t^\circ\text{C}$ 的时候体积、长度、宽度、厚度分别是 V_t, l_t, b_t, d_t ，那么

$$V_t = l_t b_t d_t = l_0(1 + \alpha t) \cdot b_0(1 + \alpha t) \cdot d_0(1 + \alpha t)$$

$$= l_0 b_0 d_0 (1 + \alpha t)^3 = V_0(1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3).$$

因为 α 极小，括号里后两项可以略去，所以

$$V_t = V_0(1 + 3\alpha t),$$

和 $V_t = V_0(1 + \gamma t)$ 相比较，可知 $\gamma = 3\alpha$ 。

是钢卷尺的实际长度，也不是铜棒的真正长度。要知道铜棒在 0°C 的时候的真正长度，应该先算出长 5400 毫米的这部分钢卷尺在 0°C 时候的实际长度，如图 10-1 所示。

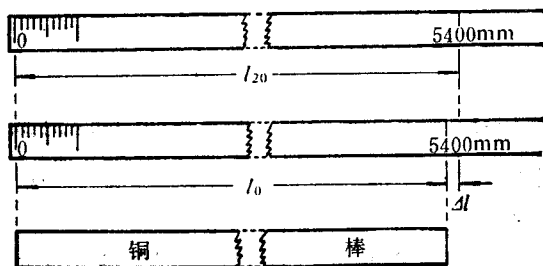


图 10-1.

$$\therefore l_{20} = l_0(1 + \alpha_{\text{钢}} t),$$

$$\therefore l_0 = \frac{l_{20}}{1 + \alpha_{\text{钢}} t} = \frac{5400 \text{ 毫米}}{1 + 1.2 \times 10^{-5} \times 20} = 5398.7 \text{ 毫米}$$

这就是刻度 0—5400 毫米这部分钢卷尺在 0°C 时候的实际长度，也就是铜棒在 0°C 时候的真实长度。

因此，这次测量的绝对误差是：

$$\Delta l = 5400 \text{ 毫米} - 5398.7 \text{ 毫米} = 1.3 \text{ 毫米},$$

相对误差是

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1.3}{5398.7} \times 100\% \approx 0.02\%$$

(2) 铜棒在 40°C 时候的长度是

$$l_{40} = l_0(1 + \alpha_{\text{铜}} t) = 5398.7 \text{ 毫米}(1 + 1.9 \times 10^{-5} \times 40) \\ = 5402.8 \text{ 毫米}.$$

答 在 0°C 的时候用钢卷尺测量铜棒所发生的绝对误差是 1.3 毫米，相对误差大约是 0.02%；这根铜棒在 40°C 的时候实际长度是 5402.8 毫米。

讨论 1. 上面计算误差的时候，只考虑了由于测量仪器本身的精确度等因

素而产生的误差,这种误差叫做系统误差。用题中钢卷尺去测量长度,在环境温度低于 20°C 时候所得的结果都偏大;在高于 20°C 时候所得的结果都偏小。绝对误差和相对误差的大小都跟使用时候的环境温度对钢卷尺刻制时候的温度 (20°C) 的偏离多少有关。

$$\text{绝对误差} \quad \Delta l = l_{20} - \frac{l_{20}}{1 + \alpha t} = l_{20} \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha t} \right) = \frac{l_{20} \alpha t}{1 + \alpha t},$$

$$\text{相对误差} \quad \frac{\Delta l}{l_{20}} = \frac{\alpha t}{1 + \alpha t}.$$

应该注意,它们都不跟温度 t 成简单的正比关系。

2. 计算铜棒在 40°C 时候的长度,下面一些算法对不对? 请读者自行分析。

$$(1) \quad l_{40} = l_{20}(1 + \alpha_{\text{铜}} t) = 5400 \text{ 毫米} \times (1 + 1.9 \times 10^{-5} \times 40) \\ = 5404.10 \text{ 毫米};$$

$$(2) \quad l_{40} = l_0(1 + \alpha_{\text{铜}} t) = 5400 \text{ 毫米} \times (1 + 1.2 \times 10^{-5} \times 40) \\ = 5402.6 \text{ 毫米};$$

$$(3) \quad l_{40} = l_0(1 + \alpha_{\text{铜}} t) = 5398.7 \text{ 毫米} \times (1 + 1.2 \times 10^{-5} \times 40) \\ = 5401.3 \text{ 毫米}.$$

例 10-2 温度 20°C 的时候要把一个内直径 $d_1 = 20.00$ 厘米的钢环套到直径 $d_2 = 20.04$ 厘米的轮子上。问:钢环至少要加热到多少度? (钢的线膨胀系数 $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}/\text{度}$ 。)

解 我们可以把钢环看成是由许多很狭的圈环组成的,如图 10-2 上图所示,把钢环在某处 A 切开并且拉直,一

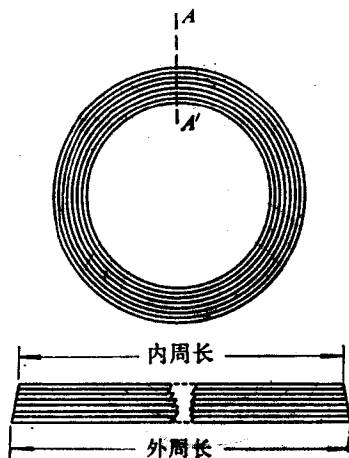


图 10-2.

个个圆环就变成一条条长度从内到外渐次递增的狭钢条，如图 10-2 下图所示。这样，原来环的膨胀问题就变成直棒的线膨胀问题了。

要把钢环套到直径是 d_2 的轮子上，那么钢环的直径必须由 d_1 膨胀到 d_2 ，换句话说，就是要使钢环的内周长由 πd_1 膨胀到 πd_2 。

由线膨胀公式

$$l_1 = l_0(1 + \alpha t),$$

先从 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 的内周长 $l_1 = \pi d_1$ 求 0°C 的内周长 l_0 ：

$$l_0 = \frac{l_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{\pi d_1}{1 + \alpha t_1},$$

仍由线膨胀公式求 $l_2 = \pi d_2$ 时候的温度 t_2 ：

$$\begin{aligned} t_2 &= \frac{\frac{l_2}{l_0} - 1}{\alpha} = \frac{l_2 - l_0}{l_0 \alpha} = \frac{\pi d_2 - \frac{\pi d_1}{1 + \alpha t_1}}{\frac{\pi d_1}{1 + \alpha t_1} \cdot \alpha} \\ &= \frac{\pi \frac{d_2(1 + \alpha t_1) - d_1}{1 + \alpha t_1}}{\frac{\pi d_1 \alpha}{1 + \alpha t_1}} = \frac{d_2(1 + \alpha t_1) - d_1}{d_1 \alpha}. \end{aligned}$$

用 $d_1 = 20.00$ 厘米、 $d_2 = 20.04$ 厘米、 $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$ /度代入：

$$t_2 = \frac{20.04 \times (1 + 1.2 \times 10^{-5} \times 20) - 20.00}{20.00 \times 1.2 \times 10^{-5}} = 187(^\circ\text{C}).$$

答 钢环至少应加热到 187°C 。

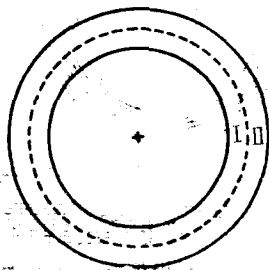


图 10-3.

讨论 1. 有人认为钢环受热后内直径会变小，而外直径会变大，这种想法是不对的。设想有一块质料均匀的圆板，受热膨胀后它的直径必然增大，如果在圆板中心挖掉一块小圆板，它的膨胀情况应该仍是相同的，留下的部分就是一个圆环，受热后环的内外直径都应该是增大的。或者，可以设想有一条中心线把钢环分成 I、II 两部分，如图 10-3 所示。这条中心线圆的

直径对内环Ⅰ来说是外直径,对外环Ⅱ来说是内直径,如果上述想法正确的话,那么,它既要伸长,又要缩短,这岂不是矛盾了吗?因此,在固体平板上挖掉一部分(不论是圆的还是任何其他形状)如图 10-4 所示,当温度变化的时候,中空部分跟实体一样,也是热胀冷缩的。

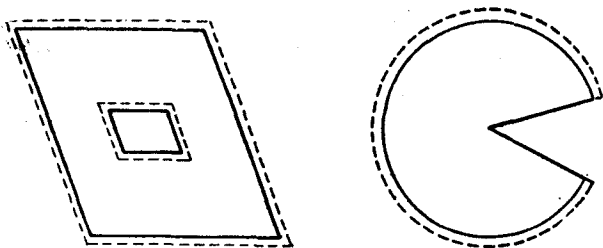


图 10-4.

2. 解这个题目也可以用简化的线膨胀公式

$$l_2 - l_1 = l_1 \alpha (t_2 - t_1),$$

式中 l_1 、 l_2 分别是 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$ 时候的长度。这一公式可以推导如下,

如果已知在 t_1 时候的长度是 l_1 , 要求在 t_2 时候的长度 l_2 , 照理应该先求出 0°C 时候的长度 l_0 , 就是

$$l_1 = \frac{l_0}{1 + \alpha t_1},$$

然后再计算 t_2 时候的长度 l_2 :

$$\begin{aligned} l_2 &= l_0(1 + \alpha t_2) = l_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = l_1 \frac{(1 + \alpha t_2)(1 - \alpha t_1)}{(1 + \alpha t_1)(1 - \alpha t_1)} \\ &= l_1 \frac{1 + \alpha t_2 - \alpha t_1 - \alpha^2 t_1 t_2}{1 - (\alpha t_1)^2}. \end{aligned}$$

α 是一个极小的量, 它的平方值更小, 所以, 当温度变化不大的时候, $\alpha^2 t_1^2 \ll 1$, $\alpha^2 t_1 t_2 \ll 1$, 于是上式可以简化成为

$$l_2 = l_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] = l_1(1 + \alpha \Delta t).$$

从这一简化计算式, 可得

$$l_2 = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \alpha} + t_1,$$

用上式解这个题目, $l_2 = \pi d_2 = \pi \times 20.04$ 厘米, $l_1 = \pi d_1 = \pi \times 20.00$ 厘米, $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}/\text{度}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, 解得

$$t_2 = \frac{\pi d_2 - \pi d_1}{\pi d_1 \alpha} + t_1 = \frac{d_2 - d_1}{d_1 \alpha} + t_1$$

$$= \frac{20.04 - 20.00}{20.00 \times 1.2 \times 10^{-5}} + 20 = 187(^\circ\text{C}).$$

3. 根据上面讨论第1点得出的结论, 这个题目也可直接由直径的变化来解。

设当室温是 t_1 的时候环的内直径是 d_1 , 加热到 t_2 的时候内直径是 d_2 , 用上面推导所得的简化计算式,

$$\therefore d_2 - d_1 = d_1 \alpha (t_2 - t_1),$$

$$\therefore t_2 = \frac{d_2 - d_1}{d_1 \alpha} + t_1,$$

结果跟上面是完全相同的。

4. 同样道理, 我们还可以按面膨胀的规律来计算。

设室温是 t_1 的时候中空部分的面积是 S_1 , 加热到 t_2 的时候中空部分的面积是 S_2 。

由面膨胀简化公式

$$S_2 - S_1 = \beta S_1 (t_2 - t_1) \text{ ①},$$

式中 β 是面膨胀系数, 而且 $\beta = 2\alpha$ ②,

$$\therefore t_2 = \frac{S_2 - S_1}{S_1 \beta} + t_1 = \frac{S_2 - S_1}{2\alpha S_1} + t_1$$

$$= \frac{\pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 - \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}{2\alpha \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} + t_1 = \frac{d_2^2 - d_1^2}{2\alpha d_1^2} + t_1$$

$$= \frac{(20.04)^2 - (20.00)^2}{2 \times 1.2 \times 10^{-5} \times (20.00)} + 20.00 = 187(^\circ\text{C}).$$

① 这一简化公式的推导类似上面线膨胀简化公式的推导。

② 这一关系式的推导类似上面 $\gamma = 3\alpha$ 的推导。

例 10-3 一根截面积是 64 平方厘米的钢梁, 0°C 的时候被紧固在两水泥墩之间, 当温度上升到 40°C 的时候, 如果两壁完全阻止梁的伸长, 问: 壁所受到的压力是多少? 已知钢的线胀系数是 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。对钢梁的材料样品进行试验的时候, 测得长 1 米, 横截面积是 1 平方毫米的钢丝受到 22 千克力作用的时候伸长 1 毫米。

解 设钢梁在 0°C 时候的长度是 L_0 , 温度上升到 $t = 40^{\circ}\text{C}$ 时候的长度是 L_t (不受任何阻碍的时候), 它的长度变化是

$$\Delta L = L_t - L_0 = L_0(1 + \alpha \Delta t) - L_0 = L_0 \alpha \Delta t. \quad (1)$$

现在, 钢梁被紧固在两个水泥墩之间不能伸长, 这种情况相当于两壁对钢梁施加压力, 梁被压缩了 ΔL 。由胡克定律可以算出两壁对钢梁施加的压力是:

$$F = k \Delta L. \quad (2)$$

如果知道了钢梁的倔强系数 k , 压力 F 就可以求了。

题目说明, 对材料样品作试验, 长 1 米、截面积 1 平方毫米的钢丝受到 $f = 22$ 千克拉力的时候伸长 $\Delta l = 1$ 毫米, 这就是说, 钢丝的倔强系数是:

$$k_1 = \frac{f}{\Delta l} = 22 \text{ 千克/毫米}.$$

我们可以把钢梁看成是若干根这样的钢丝联接组成的。钢梁长 L_0 , 截面积是 S , 它的倔强系数就应该是钢丝的倔强系数的 $\frac{S}{L_0}$ 倍, 参看图 10-5。

$$k = S k_1 = \frac{6400 \times 22}{L_0} \text{ 千克/毫米}. \quad (3)$$

把 (1)、(3) 两式的结果代入 (2) 式, 就得到

$$F = k \Delta L = \frac{S}{L_0} k_1 L_0 \alpha \Delta t = k_1 S \alpha \Delta t,$$