[美]F.W.SEARS 等著

大学物理学

第二册

习题解答

人民教育出版社

[美] F. W. Sears 等著

大学物理学

第二册

习题解答

刘聚成 徐 德 袁贞丰 等编

人民教育出版社

本书将 F. W. Sears 等著《大学物理学》(第五版)中译本中的习题(除思考题外)全部作了解答．全书共分四册，第一册为力学习题解答，第二册为热学习题解答，第三册为电磁学习题解答，第四册为光学和原子物理学习题解答．

本书主要供电视大学及有关高等学校教师与辅导人员内部参考．

本书责任编辑：奚静平．

[美] F. W. Sears 等著

大学物理学

第二册

习题解答

刘聚成　徐　德　袁贞丰　等编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河南第二新华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32　印张 5.75　字数 136,000

1980 年 1 月第 1 版　1981 年 5 月第 2 次印刷

印数 155,901—196,900

书号 13012·0421　定价 0.43 元

(教师用书)

编 者 的 话

本书将 F. W. Sears 等著《大学物理学》(第五版) 中译本中第十五章至第二十三章习题(思考题除外)全部作了解答. 为了更好地配合原书的使用, 在解答过程中, 我们注意了以下几点:

1. 习题的解法力求逻辑严密、步骤简练, 但为了结合习题所在章节的教学内容, 对有多种解法的题目, 我们只用了该章教学内容所要求的解法, 因此不一定是最佳解法.

2. 所用公式、符号及解题格式, 力求与原书一致.

3. 单位换算均采用原书所附"换算因子"表中所列的数据. 答案一般取三位有效数字.

由于解答工作是在很短时间内仓促完成的, 难免有很多不妥或错误的地方, 敬希读者指正.

张三合、王其俊二同志参加了本册题解的部分工作.

西安交通大学汪立椿同志审阅了初稿, 并提出了宝贵的意见, 在此我们表示深切的感谢.

编 者

1979 年 12 月

目　　录

第十五章　温度和膨胀

15-1　若气体的体积保持不变，当温度为铅的熔点和水的三相点时，气体压力比的极限值是 2.19816. 问：铅熔点的开氏温度是多少？

解　根据课文中(15-2)式

$$T_m = (273.16\text{K})\left(\frac{X_m}{X}\right) = (273.16\text{K})(2.19816) = 600.45\text{K}$$

15-2　*a*) 若你在法国生了病，发烧 40°C，应否得到关照？

b) 人的正常体温是摄氏多少度？

c) 液态氧的正常沸点是 −182.97°C. 在开氏和兰氏温标中它的值应为多少？

d) 华氏温标和摄氏温标在什么温度时两者读数相等.

解　*a*) 生病后体温达 40°C 时，应当引起重视.

b) 人的正常体温是 37°C.

c) 由课文中(15-3)式

$$\begin{aligned} T &= t + 273.15\text{K} \\ &= (-182.97 + 273.15)\text{K} = 90.18\text{K} \end{aligned}$$

由课文中(15-4)式

$$\begin{aligned} T_R &= \frac{9}{5}T \\ &= \frac{(9)(90.18)}{5}\,{}^\circ\text{R} = 162.3^\circ\text{R} \end{aligned}$$

d) 由课文中(15-6)式

$$t_F = \frac{9}{5}t + 32^\circ\text{F}$$

当 $t=t_F$ 时，有

$$t=t_F=-40^\circ$$

15-3 当美国终于正式采用公制单位时，在日常应用中，摄氏温标将很可能取代华氏温标. 试求对应于以下情况的摄氏温度：*a*）凉爽的房间(68°F)；*b*）炎热的夏天(95°F)；*c*）寒冷的冬天(5°F).

解 由课文中(15-6)式

$$t_F=\frac{9}{5}t+32^\circ\mathrm{F}$$

得

$$t=\frac{5}{9}(t_F-32)^\circ\mathrm{C}$$

所以，*a*）当 $t_F=68^\circ\mathrm{F}$ 时

$$t=\left(\frac{5}{9}\right)(68-32)^\circ\mathrm{C}=20^\circ\mathrm{C}$$

b）当 $t_F=95^\circ\mathrm{F}$ 时

$$t=\left(\frac{5}{9}\right)(95-32)^\circ\mathrm{C}=35^\circ\mathrm{C}$$

c）当 $t_F=5^\circ\mathrm{F}$ 时

$$t=\left(\frac{5}{9}\right)(5-32)^\circ\mathrm{C}=-15^\circ\mathrm{C}$$

15-4 用定体气体温度计所作的简单实验中，当温度为水的三相点时，压力是 $4.0\times10^4\mathrm{Pa}$，当温度为水的正常沸点时，压力是 $5.4\times10^4\mathrm{Pa}$. 根据这些数据，试问绝对零度在摄氏温标上是多少度？

解 可以相当精确地认为水的三相点在 0°C，并设它对应于气体温度计的读数为 T_3. 因为气体温度计一度大小与摄氏温标的相同，所以，水的正常沸点 100°C，对应于气体温度计的读数

$T_B = 100 + T_3$. 由课文中(15-1)式

$$\frac{T_B}{T_3} = \frac{X}{X_3}$$

得

$$\frac{100 + T_3}{T_3} = \frac{5.4 \times 10^4 \text{Pa}}{4 \times 10^4 \text{Pa}}$$

因此

$$T_3 = 285.7\text{K}$$

所以，此实验求得绝对零度为摄氏温标 $-285.7°\text{C}$.

15-5 用图 15-6 所示的气体温度计与三相点的水接触时，相应的压力记录为 5.0cm 水银柱高. 问当它与正常沸点的水接触时，读得的压力为多少？

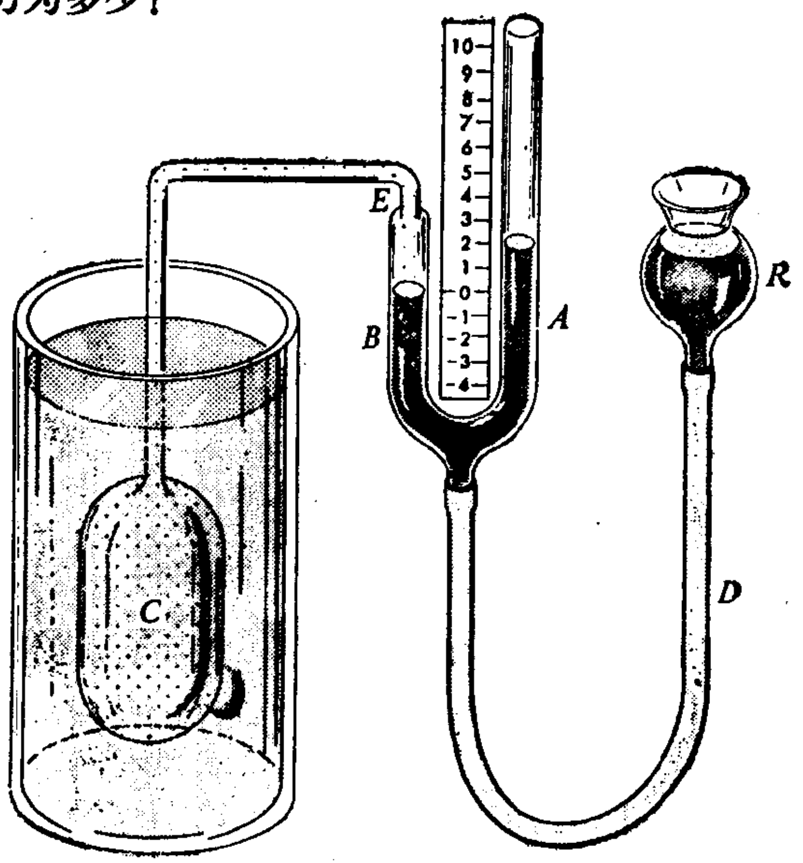

图 15-6

解 在课文(15-1)式

$$\frac{T}{T_3} = \frac{X}{X_3}$$

中，已知 $T_3=273.16\text{K}$，$T=(100+273.15)\text{K}=373.15\text{K}$，$X_3=5\text{cm}$ 水银柱高. 所以

$$X=\frac{T}{T_3}X_3=\frac{(373.15\text{K})(5\text{cm 水银柱高})}{273.15\text{K}}=6.83\text{cm 水银柱高}$$

15-6 某些金属的电阻随温度(用气体温度计测量)的变化关系近似地为 $R=R_0[1+\beta(T-T_0)]$，式中 R_0 是温度 T_0 时的电阻. 某金属的 β 为 0.004K^{-1}.

a) 若 0°C 时电阻值为 100Ω，问 20°C 时的电阻值为多少？

b) 温度多高时，电阻值是 200Ω？

解 已知电阻和温度的关系

$$R=R_0[1+\beta(T-T_0)]$$

$\beta=0.004\text{K}^{-1}$. 所以

a) 当 $R_0=100\Omega$，$T-T_0=20\text{K}$ 时

$$R=(100\Omega)[1+(0.004\text{K}^{-1})(20\text{K})]=108\Omega$$

b) 当 $R=200\Omega$ 时，有

$$200\Omega=(100\Omega)[1+0.004\text{K}^{-1}\Delta T]$$

所以

$$\Delta T=250\text{K}$$

即 $t=250°\text{C}$

15-7 一理想气体的压力 p、体积 V、摩尔数 n 和开氏温度 T 的关系为 $pV=nRT$. 试证明：体胀系数等于开氏温度的倒数.

证 体胀系数的定义是

$$\beta=\frac{1}{V}\frac{dV}{dT}(\text{定压})$$

而由式 $pV=nRT$ 有

$$\frac{1}{V}=\frac{p}{nRT} \tag{1}$$

以及在压力 p 不变时

$$\frac{dV}{dT}=\frac{nR}{p} \tag{2}$$

因此，由(1)式×(2)式得

$$\beta=\frac{p}{nRT}\frac{nR}{p}=\frac{1}{T}$$

15-8 *a*) 对任何物质来说，密度 ρ、质量 m 和体积 V 的关系为 $\rho=m/V$. 试证明：

$$\beta=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial T}$$

b) 在 -193°C 和 -13°C 间，岩盐的密度由经验公式

$$\rho=2.1680(1-11.2\times10^{-5}T-0.5\times10^{-7}T^2)$$

给出，T 用摄氏温标. 试计算 -100°C 时的 β 值.

解 *a*) 对一定质量的物质，由式 $\rho=\frac{m}{V}$ 得

$$\frac{\partial\rho}{\partial T}=-\frac{m}{V^2}\frac{\partial V}{\partial T}=-\rho\frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T}$$

所以

$$\beta=\frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial T}$$

b) 因为 $t=T-273.15\text{K}$，所以

$$\frac{\partial\rho}{\partial T}=\frac{\partial\rho}{\partial t}\frac{\partial t}{\partial T}=\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

已知 $t=-100$°C，因此

$$\begin{aligned}\rho&=(2.1680)[1-(11.2\times10^{-5})(-100)\\&\quad-(0.5\times10^{-7})(-100)^2]\\&=2.191\ \text{密度单位}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial\rho}{\partial t}&=(2.1680)[-11.2\times10^{-5}-(1\times10^{-7})(-100)]\\&=-22.11\times10^{-5}\ \text{密度单位}\cdot(\text{C}^\circ)^{-1}\end{aligned}$$

所以

$$\beta = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial T} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$= -\left(\frac{1}{2.191}\right)(-22.11\times 10^{-5})(\mathrm{C}^{\circ})^{-1}$$

$$= 10.1\times 10^{-5}(\mathrm{C}^{\circ})^{-1}$$

15-9 一金属，在温度由室温（$T_r = 300\mathrm{K}$）变到该金属熔点 T_m 时，其体积总变化 ΔV 与最初体积之比，仍然只是一个很小的分数，因此

$$\frac{\Delta V}{V} = \int_{T_r}^{T_m} \beta dT$$

由表 15-4 中的数据，计算表中三种金属的$\frac{\Delta V}{V}$的平均值.

表 15-4

	T_m, K	β, $10^{-6}\mathrm{K}^{-1}$
铜	1360	$43+0.022T$
钯	1830	$30+0.015T$
铂	2050	$24+0.0086T$

解 已知 $T_r = 300\mathrm{K}$，因为

$$\frac{\Delta V}{V} = \int_{T_r}^{T_m}\beta dT = \int_{T_r}^{T_m}(a+bT)dT = a(T_m - T_r) + \frac{b}{2}(T_m^2 - T_r^2)$$

所以，对铜，$a = 43\times 10^{-6}$，$b = 0.022\times 10^{-6}$，$T_m = 1360\mathrm{K}$，因此

$$\frac{\Delta V}{V} = (43\times 10^{-6})(1360-300) + \left(\frac{0.022\times 10^{-6}}{2}\right)(1360^2 - 300^2)$$

$$= 0.065 = 6.5\%$$

对钯，$a=30\times10^{-6}$，$b=0.015\times10^{-6}$，$T_m=1830\mathrm{K}$，因此

$$\frac{\Delta V}{V}=(30\times10^{-6})(1830-300)$$

$$+\left(\frac{0.015\times10^{-6}}{2}\right)(1830^2-300^2)$$

$$=0.0703=7.03\%$$

对铂，$a=24\times10^{-6}$，$b=0.0086\times10^{-6}$，$T_m=2050\mathrm{K}$，因此

$$\frac{\Delta V}{V}=(24\times10^{-6})(2050-300)$$

$$+\left(\frac{0.0086\times10^{-6}}{2}\right)(2050^2-300^2)$$

$$=0.0597=5.97\%$$

15-10 0°C时，体积恰为$1000\mathrm{cm}^3$的玻璃烧瓶，装满同温度的水银．当烧瓶和水银加热到100°C时，有$15.2\mathrm{cm}^3$的水银溢出．若水银的体胀系数是$0.000182(\mathrm{C}^\circ)^{-1}$，试计算玻璃的线胀系数．

解 已知0°C时烧瓶和水银的体积同为$V_0=10^3\mathrm{cm}^3$．100°C时，水银比烧瓶体积大$\Delta V=15.2\mathrm{cm}^3$．水银体胀系数$\beta_m=0.000182(\mathrm{C}^\circ)^{-1}$．设100°C时水银体积为$V_m$，烧瓶体积为$V_g$，体胀系数为$\beta_g$．则有

$$V_g=V_0(1+\beta_g\Delta T) \tag{1}$$

$$V_m=V_0(1+\beta_m\Delta T) \tag{2}$$

由(2)式－(1)式得

$$\Delta V=V_m-V_g=V_0\beta_m\Delta T-V_0\beta_g\Delta T$$

所以

$$\beta_g=\beta_m-\frac{\Delta V}{V_0\Delta T}=\beta_m-\frac{\Delta V}{V_0\Delta t}$$

$$=0.000182\,(\mathrm{C}^\circ)^{-1}-\frac{15.2\mathrm{cm}^3}{(10^3\mathrm{cm}^3)(10^2\mathrm{C}^\circ)}$$

$$=3.0\times10^{-5}(\mathrm{C}^\circ)^{-1}$$

15-11 温度为 20°C 时，某一烧瓶的体积，测到颈部参考记号处，精确地为 $100\,cm^3$. 瓶内液体盛到记号处，该液体的体胀系数为 $120\times10^{-5}(C°)^{-1}$，瓶和液体均为20°C. 玻璃的线胀系数为 $8\times10^{-6}(C°)^{-1}$. 烧瓶颈的截面积为 $1mm^2$，且可看作不变. 问：当温度升高到 40°C 时，瓶颈中的液体是上升了还是下降了？上升或下降了多少？

解 已知 20°C 时，液体和烧瓶的体积均为 $V_0=100\,cm^3$，液体和烧瓶的体胀系数分别为 $\beta_l=120\times10^{-5}(C°)^{-1}$、$\beta_g=8\times10^{-6}(C°)^{-1}$，烧瓶颈截面积 $A=10^{-2}cm^2$，温度变化 $\Delta T=\Delta t=20C°$. 设 40°C 时液体和烧瓶的体积分别为 V_l, V_g，则有

$$V_l=V_0(1+\beta_l\Delta T) \qquad (1)$$

$$V_g=V_0(1+\beta_g\Delta T) \qquad (2)$$

由(1)式－(2)式得

$$V_l-V_g=V_0\Delta T(\beta_l-\beta_g)$$

因为 $\beta_l>\beta_g$，所以瓶颈中的液面上升了，上升的高度是

$$h=\frac{V_l-V_g}{A}=\frac{V_0}{A}\Delta T(\beta_l-\beta_g)$$

$$=\frac{(100\,cm^3)(20C°)(120\times10^{-5}(C°)^{-1}-8\times10^{-6}(C°)^{-1})}{10^{-2}cm^2}$$

$$=238\,cm$$

15-12 为了确保紧密配合，用于飞机构件中的铝铆钉，都做得比铆钉孔稍大一些，并在铆前用“干冰”(固体CO_2)使之冷却. 假定膨胀系数值保持表 15-2 给出的值不变，设铆钉孔直径为 0.2500 in，当钉铆冷却到 −78°C，即干冰温度时，其直径与铆钉孔直径相同. 问：铆钉在 20°C 时的直径应为多少？

解 已知 −78°C 时的铆钉直径与 20°C 时的铆孔直径相等，即 $D_0=0.2500in$. 铝的线胀系数$\bar{\alpha}=\frac{1}{3}\bar{\beta}=2.4\times10^{-5}(C°)^{-1}$，铆钉

经历的温度变化 $\Delta T=\Delta t=98\text{C}^\circ$. 设 20°C 时铝铆钉的直径为 D, 则有

$$D=D_0(1+\bar{\alpha}\Delta T)$$
$$=(0.2500\text{in})[1+(2.4\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})(98\text{C}^\circ)]$$
$$=0.2506\text{in}$$

15-13 一根 30.0 cm 长的金属棒, 当它的温度由 0°C 升高到 100°C 时, 膨胀了 0.075cm. 长度一样的另一根不同金属棒, 在温度由 0°C 升高到 100°C 时则膨胀了 0.045 cm. 用上述两金属材料各一段, 端与端相接组成第三根棒, 长仍为 30.0 cm, 在温度由 0°C 升高到 100°C 时膨胀了 0.065 cm. 试求这个复合棒的各段长度.

解 已知 0°C 时三根棒均长 $L_0=30\text{cm}$, 当温度由 0°C 增至 100°C 时, 它们分别伸长了 $\Delta L_1=0.075\text{cm}$, $\Delta L_2=0.045\text{cm}$, $\Delta L_3=0.065\text{cm}$. 设第一根棒的线胀系数为 $\bar{\alpha}_1$, 第二根棒为 $\bar{\alpha}_2$, 0°C 时复合棒中第一根棒材料部分的长 L_0', 则有

$$\Delta L_1=L_0\bar{\alpha}_1\Delta T$$
$$\Delta L_2=L_0\bar{\alpha}_2\Delta T$$
$$\Delta L_3=L_0'\bar{\alpha}_1\Delta T+(L_0-L_0')\bar{\alpha}_2\Delta T$$

由以上三式得

$$L_0'=\frac{\Delta L_3-\Delta L_2}{\Delta L_1-\Delta L_2}L_0$$
$$=\frac{(0.065\text{cm}-0.045\text{cm})(30\text{cm})}{0.075\text{cm}-0.045\text{cm}}=20\text{cm}$$

因此, 复合棒中第一、二根棒材料部分的长分别为 20cm、10cm.

15-14 在 20°C 时, 于黄铜板上钻一直径为 1.000in 的孔. 假定膨胀系数保持不变, 问: 当板的温度升高到 200°C 时孔的直径是多大?

解 已知在20°C时, 孔的直径$D_0=1.000\text{in}$, $\bar{\alpha}=2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1}$,

温度变化 $\Delta T=\Delta t=180\text{C}^\circ$，所以

$$D=D_0(1+\bar{\alpha}\Delta T)$$
$$=(1.000\text{in})[1+(2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})(180\text{C}^\circ)]$$
$$=1.004\text{in}$$

15-15 假设围绕地球赤道有一钢箍，在 20°C 时大小恰好吻合. 如果钢箍温度升高 1C°，那么钢箍与地球的间隔应为多少？

解 已知地球赤道半径 $R_0=6.378\times10^6\text{m}$，钢的线胀系数 $\bar{\alpha}=1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1}$，温度变化 $\Delta T=\Delta t=1(\text{C}^\circ)^{-1}$，并假定地球大小不随温度变化，则

$$\Delta R=R-R_0=R_0\bar{\alpha}\Delta T$$
$$=(6.378\times10^6\text{m})(1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})(1\text{C}^\circ)$$
$$=76.5\text{m}=251\text{ft}$$

15-16 有一台钟在 25°C 时走得很准确，这时它的摆振动一次所需时间恰为 2s. 摆杆为钢质的，其质量与摆锤相比可略去不计. *a*)当气温降到 15°C 时，杆的长度的相对变化是多少？*b*) 15°C 时，钟每天是快了或慢了几秒？（提示：用微分）

解 已知钢的线胀系数 $\bar{\alpha}=1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1}$，温度变化 $\Delta T=\Delta t=-10\text{C}^\circ$. 设 25°C 时摆杆长为 L.

a) 摆杆的相对长度变化是

$$\frac{\Delta L}{L}=\bar{\alpha}\Delta t=(1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})(-10\text{C}^\circ)$$
$$=-1.2\times10^{-4}=-0.012\%$$

负号表示摆长缩短了原长的 0.012%.

b) 由课文中(11-21)式，摆的周期 T 是

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \tag{1}$$

当温度变化时，引起 L 变化，因此 T 也改变. 在题所给的情况下，

这变化都很小，故有

$$\Delta T=\pi\left(\frac{L}{g}\right)^{-\frac{1}{2}}\frac{\Delta L}{g} \tag{2}$$

由$\frac{(2)}{(1)}$得

$$\frac{\Delta T}{T}=\frac{1}{2}\frac{\Delta L}{L}=\left(\frac{1}{2}\right)(-1.2\times10^{-4})=-6\times10^{-5}$$

或者

$$\Delta T=(-6\times10^{-5})(2\mathrm{s})=-1.2\times10^{-4}\mathrm{s}$$

负号表示摆每摆动一次比原来少了(或快了)1.2×10^{-4}s，所以一天共少了

$$\begin{aligned}\Delta T'&=\Delta T\times\text{摆在 1 天内摆动的次数}\\&=(-1.2\times10^{-4}\mathrm{s})\left(\frac{1}{2}\right)(24)(60)(60)=-5.18\mathrm{s}\end{aligned}$$

即一天内钟快了 5.18s.

15-17 一个具有黄铜摆杆的钟，在某一定温度时具有准确的时间指示.

a) 若此钟每天快、慢的时间都不超过 1 秒钟，那么必须怎样控制温度？答案和摆的周期有无关系？

b) 温度的升高会使钟走快了还是走慢了？

解 *a*) 已知黄铜的线胀系数 $\bar{\alpha}=2\times10^{-5}(\mathrm{C}^\circ)^{-1}$，由题15-16知

$$\frac{\Delta T}{T}=\frac{1}{2}\frac{\Delta L}{L}=\frac{1}{2}\bar{\alpha}\Delta t \tag{1}$$

$$\Delta T'\geqslant\left(\frac{\Delta T}{T}\right)(86400\mathrm{s}) \tag{2}$$

由(1)、(2)两式得

$$\Delta t\leqslant\frac{2\Delta T'}{(86400\mathrm{s})\bar{\alpha}}=\frac{(2)(1\mathrm{s})}{(86400\mathrm{s})(2\times10^{-5}(\mathrm{C}^\circ)^{-1})}=1.16\mathrm{C}^\circ$$

答案与周期无关.

b) 由摆的周期公式

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

知,温度升高时 L 变大,T 增加,所以钟所指示的时间变慢了.

15-18 有一长 2000 ft 的桥. *a*) 若该桥具有连续跨距,桥的一端固定,另一端可自由运动,问:自由端在寒冷的冬天(−20°F)和炎热的夏天(100°F)移动的距离范围约有多大? *b*) 若在夏天将桥两端固定起来,问在冬天,桥的应力将为多少?

解 *a*) 假定此桥为一钢桥. 已知 $L_0=2000\,\text{ft}$,线胀系数 $\bar{\alpha}=1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1}$,温度变化 $\Delta T=\Delta t=\frac{(120)(5)}{9}\text{C}^\circ=\frac{600}{9}\text{C}^\circ$.

所以,桥移动的范围是

$$\begin{aligned}\Delta L&=L_0\bar{\alpha}\Delta T\\&=(2000\,\text{ft})(1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})\left(\frac{600}{9}\text{C}^\circ\right)=1.6\,\text{ft}\end{aligned}$$

b) 已知钢的杨氏模量 $Y=29\times10^6\text{lb}\cdot\text{in}^{-2}$. 由课文中(15-15)式得

$$\begin{aligned}\frac{F}{A}&=Y\bar{\alpha}\Delta T\\&=(29\times10^6\text{lb}\cdot\text{in}^{-2})(1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1})\left(\frac{600}{9}\text{C}^\circ\right)\\&=2.32\times10^4\text{lb}\cdot\text{in}^{-2}\end{aligned}$$

15-19 一钢棒的横截面积为 1.5in². 当温度由 520°C 降到 20°C 时,为阻止它收缩至少需要多大的力?

解 已知钢的线胀系数 $\bar{\alpha}=1.2\times10^{-5}(\text{C}^\circ)^{-1}$,杨氏模量 $Y=29\times10^6\text{lb}\cdot\text{in}^{-2}$,钢棒截面 $A=1.5\text{in}^2$,温度变化 $\Delta T=\Delta t=500\text{C}^\circ$. 所以