物　理　学

习题解答

《下　册》

沈阳化工学院物理教研室

目　录

第四篇　电磁学

第五篇　波动光学基础

第六篇　量子物理基础

第三章　直 流 电

1. 为了节约用铜，导线改用铝线，但铝线强度差。为了增加电缆强度，用铜制成“芯线。外包铝皮，制成“铜芯铝”电缆。设有这种电缆1000米，外径为6毫米，心线直径为2毫米。计算该电缆的（1）心线电阻；（2）缆皮电阻；（3）总电阻。已知$\rho_{铜}=1.5\times10^{-8}$欧姆·米，$\rho_{铝}=3\times10^{-8}$欧姆·米

解：由$R=\rho\frac{L}{S}$

$$（1）R_{心}=\rho_{铜}\frac{L}{S_1}=\frac{1.5\times10^{-8}\times1000}{3.14\times(10^{-3})^2}=4.78欧姆$$

$$（2）R_{皮}=\rho_{铝}\frac{L}{S_2}=\frac{3\times10^{-8}\times1000}{3.14\times(3^2-1^2)\times10^{-6}}$$

$$=1.19欧姆$$

（3）电阻并联时

$$\frac{1}{R_{总}}=\frac{1}{R_{心}}+\frac{1}{R_{皮}}\qquad\therefore\ R_{总}=\frac{R_{心}\cdot R_{皮}}{R_{心}+R_{皮}}$$

$$R_{总}=\frac{4.8\times1.2}{4.8+1.2}=0.96欧姆$$

2. 碳棒与同样粗细的铁棒相串联，求两棒长度之比应为若干时，其组合的电阻不随温度而变化。已知：碳的$\rho_0=4\times10^{-5}$欧姆·米，$\alpha=-0.8\times10^{-3}$度$^{-1}$；铁的$\rho_0=12\times10^{-8}$欧姆·米，$\alpha=6\times10^{-3}$度$^{-1}$。

解：用足标1、2分别代表铁棒和碳棒。根据串联条件有：

$$R = R_1 + R_2 = \rho_1 \frac{L_1}{S} + \rho_2 \frac{L_2}{S}$$

而$\rho_1 = \rho_{01}(1+\alpha_1 t)$，$\rho_2 = \rho_{02}(1+\alpha_2 t)$

$$\therefore R = (\rho_{01}+\rho_{01}\alpha_1 t)\frac{L_1}{S}+(\rho_{02}+\rho_{02}\alpha_2 t)\frac{L_2}{S}$$，由题意有$\frac{dR}{dt}=0$

即：$\rho_{01}\alpha_1 \frac{L_1}{S} + \rho_{02}\alpha_2 \frac{L_2}{S} = 0$

$$\therefore \quad \frac{L_1}{L_2} = -\frac{\alpha_2\rho_{02}}{\alpha_1\rho_{01}} = -\frac{1\times 10^{-6}\times(-0.8\times 10^{-3})}{6\times 10^{-3}\times 12\times 10^{-8}} = 44$$

（设L_1和L_2分别为铁棒和碳棒的长度）

3． 图(4—3—23)表示由两个电阻串联组成的分压器，已知电源两端电势差为$U_1 = 6$伏，$R_1 = 4$千欧姆，现要求a、b两引线间的电压$U_2 = 2$伏，求R_2等于多少？

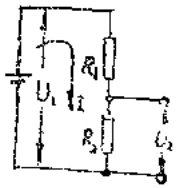


图 4 — 3 —23

解： 设回路电流为I，方向如图

$U_1 - U_2 = 6—2 = 4$伏

$$\because \quad I = \frac{U_1 - U_2}{R_1} = \frac{4}{4\times 10^{-3}} = 1\times 10^{-3}安培$$

$$\therefore \quad R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{2}{1\times 10^{-3}} = 2千欧$$

4． 两只伏特计的内阻分别为$R_1 = 6000$欧姆，把它们串联起来，并与一均匀导线做成的滑线电阻$R_3 = 10000$欧姆

相并联（图4—3—24）。若如图加入U＝180伏电压时，求（1）当开关K打开时，伏特计上读数各为若干？（2）当开关K闭合时，且将滑线电阻的滑动端D移到中点位置，伏特计上读数各为若干？（3）移动D，直到两伏特计读数相等，问此时R_3被D分成的两部分电阻多大？

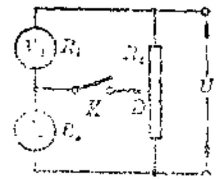


图 4-3-24

解：(1) 当开关K打开时，流过R_1和R_2的电流为I_{12}

$$I_{12}=\frac{U}{R_1+R_2}=\frac{180}{4000+6000}=0.018\text{安培}$$

$$U_1=I_{12}\times R_1=6000\times 0.018=108\text{伏}$$

$$U_2=I_{12}\times R_2=4000\times 0.018=72\text{伏}$$

$$(2)R''=\frac{R_2\times\frac{R_3}{2}}{R_2+\frac{R_3}{2}}=\frac{4000\times 5000}{4000+5000}=\frac{2\times 10^4}{9}\text{欧姆}$$

$$R'=\frac{R_1\times\frac{R_3}{2}}{R_1+\frac{R_3}{2}}=\frac{6000\times 5000}{6000+5000}=\frac{3\times 10^4}{11}\text{欧姆}$$

$$I=\frac{U}{R'+R''}=\frac{180}{\left(\frac{3}{11}+\frac{2}{9}\right)\times 10^4}$$

$$=\frac{180\times 99\times 10^{-4}}{49}\text{安培}$$

$$\therefore U_1 = I \cdot R' = \frac{180 \times 99 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^4}{49 \times 11} = 99\text{伏}$$

$$U_2 = IR'' = \frac{180 \times 99 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^4}{49 \times 9} = 81\text{伏}$$

（3）设与R_1并联部分为R_1x，与R_2并联部分为R_2x 当$U_1 = U_2$时由（2）可知$R' = R''$

即$\dfrac{R_1 \cdot R_1x}{R_1 + R_1x} = \dfrac{R_2 \cdot (R_3 - R_1x)}{R_2 + (R_3 - R_1x)}$

由等式两边分子相等，或分母相等可求得：

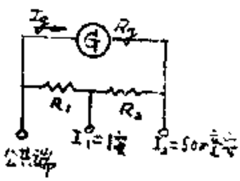
$R_1 \cdot R_1x = R_2 \cdot (R_3 - R_1x)$

$$\therefore \quad R_1x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2} = \frac{4000 \times 10000}{6000 + 4000} = 4000\text{欧姆}$$

$$R_2x = R_3 - R_1x = 10000 - 4000 = 6000\text{欧姆}$$

5. 有一电流计，其内阻为15欧姆，容许通过的最大电流为1毫安(即满刻度时的电流)。（1）如要改装成能测量500毫安和1安培两种量程的安培计，应如何处理？两量程必须有一公共接头。（2）如要改装成能测量3伏特和5伏特两种量程的伏特计，又应如何处理？两量程必须有一公共接头。（3）作图表示上述两种情况。

解：（1）改制的安培计如图（1）所示：因分流电阻愈小，量程愈大。当取公共端为I_2端时，



有：$(I_2 - Ig)(R_1 + R_2) = Ig\,Rg$ ……①

当取公共端为I_1端时

有： $(I_1 - I_g)\ R_1 = I_g(R_g + R_2)$……②

整理①②两式得

$$R_1 + R_2 = \frac{I_g}{I_2}\ (R_1 + R_2 + R_g)\ \cdots\cdots③$$

$$R_1 = \frac{I_g}{I_1}\ (R_1 + R_2 + R_g)\cdots\cdots④$$

③ ÷ ④ $\quad \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{I_1}{I_2}$

$$R_2 = R_1\left(\frac{I_1 - I_2}{I_2}\right) \qquad ⑤$$

⑤代入①

$$R_1 = \frac{I_g R_g}{(I_2 - I_g)(1 + \frac{I_1 - I_2}{I_2})}$$

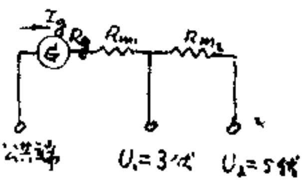
代入数值

$$R_1 = \frac{1 \times 15}{(500 - 1)(1 + \frac{500}{500})} = 1.503 \times 10^{-3}欧姆$$

由⑤式得 $\quad R_2 = 1.503 \times 10^{-3}欧姆 \cdot \left(\frac{500}{500}\right) = 1.503$

$\times 10^{-3}$欧姆

（2）改制的伏特计如图，因倍增电阻愈大，量程愈大，故



$U_1 = I_g(R_g + R_{m_1})\ \cdots⑥$

$U_2 = I_g(R_g + R_{m_1} + R_{m_2})\cdots⑦$

由⑥得 $R_{m_1} = \frac{U_1}{I_g} - R_g$

代入数值：

$$R_{m_1}=\frac{3}{1\times10^{-3}}-15=2985\text{欧姆}=2.985\times10^{3}\text{欧姆}$$

由⑦得

$$R_{m_2}=\frac{U_2}{Ig}-R_g-R_{m_1}\quad \text{代入数值}$$

$$Rm_2=\frac{5}{1\times10^{-3}}-15-2985=2000=2\times10^{3}\text{欧姆}$$

6. 载面积为一厘米平方的铜导线，流过1安培的电流，求铜线内电子的漂移速度为多大？直径为1毫米的铜导线同样流过1安培的电流，电子的漂移速度又为多大？已知铜的密度为8.92×10^{3}千克·米$^{-3}$，一摩尔原子质量的铜为64克，阿伏伽德罗常数$N_0=6.02\times10^{23}$原子/摩尔，每个铜原子有一个自由电子。

解： $\because\quad I=nevS$，$\therefore\quad v=\dfrac{I}{neS}$，而$n=\dfrac{\rho N_0}{\mu}$

当$S=1$厘米^2；　$\bar{v}=\dfrac{1}{neS}=\dfrac{\mu I}{\rho N_0 Se}$

$$=\frac{64\times10^{-3}\times1}{8.92\times10^{3}\times6.022\times10^{23}\times1.6\times10^{-19}\times10^{-4}}$$

$=7.45\times10^{-7}$米·秒$^{-1}$

当$D=1$毫米时　$S=\pi\left(\dfrac{D}{2}\right)^2=\pi\times(0.5)^2\times10^{-6}$

则： $$\bar{v}=\frac{64\times10^{-3}\times1}{8.92\times10^{3}\times6.022\times10^{23}\times1.6\times10^{-19}\times3.14\times0.5^2\times10^{-6}}$$

$=9.48\times10^{-5}$米/秒。

7. 试求氢原子中电子绕核旋转所形成的电流。已知电子的轨道半径为5.3×10^{-11}米。

解：电子绕原子核运动时有

$$F_e = F_{内} \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\therefore \quad v = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$则 \quad \omega = \frac{v}{r} = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m r^3}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$I = ev = e\frac{\omega}{2\pi} = \frac{e^2}{2\pi r(4\pi\varepsilon_0 r m)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{1.6^2\times10^{-38}}{2\times3.14\times5.3\times10^{-11}\times(4\times3.14\times8.85\times10^{-12}\times5.3\times10^{-11}\times9.1\times10^{-31})^{\frac{1}{2}}}$$

$$= 1.052\times10^{-3}安培$$

8. 试求在下列情形中电流作工的功率及一秒内产生的热量。（1）在电流强度为1安培、电压为2伏特的导线中；（2）在以1安培的电流充电的畜电池中，此时两极间的电压为2伏特，畜电池的电动势为1.3伏；（3）在以1安培电流放电的畜电池中，此时端电压为2伏，电动势为2.6伏。

解：设畜电池内阻上的电压为U_r

（1）$P = U\cdot I = 1\times2 = 2$瓦特

$Q = P\times t = 2\times1 = 2$焦耳

（2）$P = U\cdot I = 1\times2 = 2$瓦特

$$Q=IU_r t=1\times(U-\varepsilon)t=1\times(2-1.3)\times1$$
$$=0.7\text{焦耳}$$

(3) $P=-IU=-1\times2=-2$ 瓦

$$Q=IU_r t=I(\varepsilon-U)t$$
$$=1\times(2.6-2)\cdot1$$
$$=0.6\text{焦耳}$$

9. 一电源的电动势为ε，内阻为r(均为常数)。若与可变外电阻R连接，则电源供给的电流I将随R而变化。试求(1)电源端电压与外电阻R的关系；(2)断路时($R=\infty$)端电压为若干？电流为若干？(3)短路时($R=0$)端电压为若干？电流为若干？(4)消耗于外电阻的功率为P(称为输出功率)，求P与R的关系式；(5)欲使电源有最大输出功率，R应为多少？(6)电源的能量一部分消耗于外电阻，另一部分消耗于内电阻。外电阻中消耗的功率与电源的总功率之比称为电源的效率η，求η与R的关系，当有最大输出功率时，η为若干？

解：

(1) $\because\ I=\dfrac{\varepsilon}{R+r}$ 而$\varepsilon=U+Ir$

$$\therefore\ U=\varepsilon-Ir=\frac{\varepsilon}{1+\dfrac{r}{R}}$$

(2) $R=\infty$时 $U=\varepsilon$，$I=0$

(3) $R=0$时 $U=0$，$I=\dfrac{\varepsilon}{r}$

(4) $P=I^2\cdot R=\dfrac{\varepsilon^2}{(r+R)^2}\cdot R$

（5）$\frac{dP}{dR}=\frac{r-R}{(r+R)^3}\cdot\varepsilon^2=0$

求得：R＝r时P最大

（6）$P_外=I^2\cdot R$，$P_总=I^2(R+r)$

$$\therefore\quad \eta=\frac{P_外}{P_总}=\frac{I^2\cdot R}{I^2(R+r)}=\frac{1}{1+\frac{r}{R}}$$

当电源有最大输出功率，即：R＝r时

$$\eta=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$$

10．蓄电池在充电时，通过的电流为3安培，此时蓄电池的端电压为4.25伏；当蓄电池在放电时，流出的电流为4安培，此时端电压为3.90伏。求这蓄电池的电动势及电阻。

解：由一段含源电路的欧姆姆定律

可求得：$\begin{cases}U=\varepsilon+Ir\cdots\cdots（1）充电\\ U'=\varepsilon-I'r\cdots\cdots（2）放电\end{cases}$

由（1）、（2）式求得

$$r=\frac{U-U'}{I+I'}=\frac{4.25-3.90}{3+4}=5\times10^{-2}欧姆$$

$$\therefore\quad \varepsilon=U'+I'r=3.9+4\times5\times10^{-2}=4.1伏特$$

11．一电路如图(4—3—25)所示，其中$\varepsilon_1=12$伏，$\varepsilon_2=10$伏，$\varepsilon_3=8$伏，$r_1=r_2=r_3=1$欧，R＝2欧，$R_1=3$欧。求（1）a、b两点间的电势差。

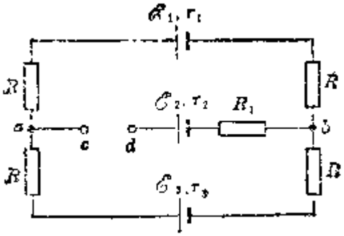
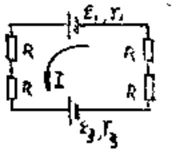


图 4-3-25

解： 取回路方向如图



$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{4R + r_1 + r_3} = \frac{12 - 8}{4\times2+1+1}$$

$= 0.4$安培

（1）$U_a - U_b = \varepsilon_1 - 2IR - r_1 I$

$= 12 - 2\times0.4\times2 - 1\times0.4 = 10$伏

（2）$U_c - U_d = \varepsilon_1 - 2IR - r_1 I - \varepsilon_2 = 10 - 10 = 0$伏

12. 在图(4—3—26)所示的电路中，已知 $\varepsilon_1 = 24$伏，$r_1 = 2$欧姆；$\varepsilon_2 = 6$伏，$r_2 = 1$欧姆，$R_1 = 2$欧姆，$R_2 = 1$欧姆，$R_3 = 3$欧姆。求（1）电路中的电流强度；（2）a、b、c各点电势；（3）ε_1电池的端电压。

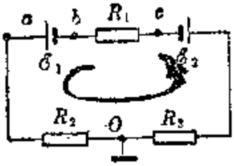


图 4-3-26

解：（1）取逆时针方向为闭合回路电流I的正方向，则ε_1为正，ε_2为负，总电阻为$R = R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2$，则根据闭合回路欧姆定律得

$$I=\frac{\sum\varepsilon_i}{\sum Ri}=\frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{R}=\frac{24-6}{9}=2\text{安培}$$

（2）根据一段含源电路欧姆定律，对于a—0段电路，则有下列关系

$$IR_2=U_a-U_0$$

因0点接地$U_0=0$所以

$$U_a=IR_2=2\times1=2\text{伏}$$

对于0～b段电路，电流I经R_3、ε_2、R_1流到b，ε_2为负，故

$$I(R_3+r_2+R_1)=-\varepsilon_2+(U_0-U_b)=-\varepsilon_2-U_b$$

所以　$U_b=-[2(3+1+2)+6]=-18$伏

同理　$I(R_3+r_2)=-\varepsilon_2+(U_0-U_c)$

所以　$U_c=[2(3+1)+6]=-14$伏

（3）对于b—a段电路有ε_1电池的端电压

$$Ir_1=\varepsilon_1+(U_b-U_a)$$

所以　$U_a-U_b=\varepsilon_1-Ir_1=24-2\times2=20$伏

13．一发电机的电动势为$\varepsilon=7$伏，内阻为$r=0.2$欧姆，如图(4—3—27)所示与一电池连接，电池的电动势为$\varepsilon=6.3$伏，内阻为$r_1=0.05$欧姆，求流过电池的电流及电池的端电压。

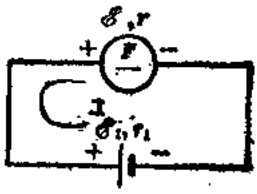


图 4-3-27

解：设回路电流为I，并取图示方向为回路方向：

则　$$I=\frac{\varepsilon-\varepsilon_1}{r+r_1}=\frac{7-6.3}{0.2+0.05}=2.8\text{安培}$$

$$\therefore\quad U=\varepsilon_1+Ir_1=6.3+2.8\times0.05=6.4\text{伏}$$

14. 上题中，若电池再并联－R＝0.3欧姆电阻（图4—3—28），试求流过发电机的电流及A、B两点间的电势差。

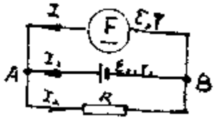


图 4—3—28

解：根据一段含源电路欧姆定律，列如下方程

$$U_A - U_B = \varepsilon - Ir \cdots\cdots (1)$$

$$U_A - U_B = \varepsilon_1 - I_1 r_1 \cdots\cdots (2)$$

$$U_A - U_B = I_2 R \cdots\cdots (3)$$

$$I_2 = I + I_1 \cdots\cdots (4)$$

解以上方程

$$I = \frac{\varepsilon(R + r_1) - \varepsilon_2 R}{(R + r)(R + r_1) - R^2} = \frac{7(0.3 + 0.05) - 6.3 \times 0.3}{(0.3 + 0.05)(0.3 + 0.2) - 0.3^2}$$

$= 6.588$安培

$$U_A - U_B = \varepsilon - Ir$$

$$= 7 - 6.588 \times 0.2$$

$$= 5.68\text{伏}$$

15. 在半径分别为1厘米的两同心金属球壳中间，均匀充满电阻率为2×10^{-2}欧姆·米的物质（图4—3—29），若两球壳间开始时的电势差为100伏，求（1）开始放电时，电流密度与r的关系；（2）开始放电时的电流强度；（3）球壳间导电物质的电阻等于多少？能否由积分直接计算此电阻。

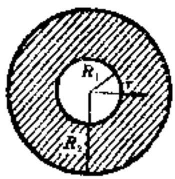


图 4-3-20

解：设开始放电时内球壳带电为q，而两球壳间离球心

的距离为r处的场强。

$$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}\cdots\cdots(1)$$

而 $U_{12}=\int_{R_1}^{R_2}\vec{E}\cdot\vec{dr}=\int_{R_1}^{R_2}\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dr}{\varepsilon_r r^2}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[-\frac{1}{r}\right]_{R_1}^{R_2}$

$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]=\frac{q(R_2-R_1)}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R_1R_2}$$

解得 $q=\dfrac{U_{12}4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R_1R_2}{(R_2-R_1)}\cdots\cdots(2)$

将(2)代入(1)得$E=\dfrac{U_{12}4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R_1R_2}{(R_2-R_1)4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}$

$$=\frac{U_{12}R_1R_2}{(R_2-R_1)r^2}$$

$$j_0=\gamma E=\frac{1}{\rho}\cdot\frac{U_{12}R_1R_2}{(R_2-R_1)r^2}$$

$$=\frac{1}{2\times10^{-4}}\cdot\frac{100\times1\times10^{-2}\times10\times10^{-2}}{(10-1)\times10^{-2}\times r^2}$$

$$=\frac{55.5}{r^2}\text{安}\cdot\text{米}^{-2}$$

$$I_0=j_0S=\frac{55.5}{r^2}\cdot4\pi r^2=55.5\times4\pi$$

$$=697.4\text{安}$$

$$R=\frac{U_{12}}{I_0}=\frac{100}{697.4}=0.143\text{欧姆}$$

由 $R=\rho\dfrac{L}{s}$ 有$dR=\rho\dfrac{dr}{4\pi r^2}$

$$\therefore \quad R = \frac{\rho}{4\pi}\int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho}{4\pi}\left[-\frac{1}{r}\right]_{R_1}^{R_2}$$

$$= \frac{\rho}{4\pi}\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$= \frac{2\times10^{-2}}{4\times3.14}\times\left[\frac{1}{0.01} - \frac{1}{0.10}\right] = 0.1433\text{欧}$$

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{100}{0.143} = 697.7\text{安}$$

$$j_0 = \frac{I_0}{S} = \frac{697.7}{4\pi r^2} = \frac{55.51}{r^2}\text{安/米}^2$$

由以上作法可知能由积分直接计算此电阻

第四章 磁 场

1. 如图（4—4—51）所示，已知磁感应强度$B=2.0$韦·米$^{-2}$的均匀磁场，方向沿X轴正向，试求

（1）通过abcd面的磁通量。

（2）通过abfe面的磁通量。

（3）通过整个封闭曲面的磁通量。

解：$\Phi = \vec{B}\cdot\vec{S}$

$= BS\cos\alpha$

其中 α为平面S 的法线$\vec{n}$与$\vec{B}$的夹角。

1）$\because$ $\vec{B}$平行于abcd面

$\therefore$ $\alpha = 90°$ 则$\Phi_{abcd} = BS\cos90° = 0$

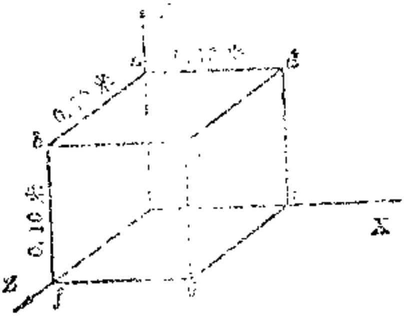


图 4-4-51

2）∵ $\vec{B}$ 垂直于 abfe面 ∴ $\alpha=0°$

$\Phi_{abfe}=BS\cos 0°=2.0\times 0.10^2=0.02$韦伯

3）∵ $\vec{B}$ 平行于aehd面、efgh面和bcgf面

$\Phi_{aehd}=\Phi_{efgh}=\Phi_{bcgf}=0$

又$\vec{B}$垂直于cdhg面，$\alpha=0°$

$\Phi_{cdhg}=BS\cos 0°=2.0\times 0.10^2\times 1=0.02$韦伯

对图中正立方体来说，如取各面向外的法线为正方向，则：

$\Phi_{abfe}=2.0\times 010^2\times\cos 180°=-0.02$韦伯

$\Phi_{cdhg}=2.0\times 0.10^2\times\cos 0°=0.02$韦伯

故$\Phi_{总}=0$

2. 图(4—4—52)所示的是磁流体发电机，它是一种新型的发电装置。它利用石油、煤等燃烧放出的热量，将气体加热到很高温度（约3000K以上）使之电离，然后使这种高温电离气体高速地通过平板电极a、b之间，且在a、b之间