



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 化工原理

# 习题解

钟 秦 陈迁乔 王娟  
曲虹霞 马卫华 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 化工原理习题解

钟 秦 陈迂乔 王娟 编著  
曲虹霞 马卫华

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理习题解/钟秦等编著. —北京:国防工业出版社,  
2008.6

ISBN 978-7-118-05629-7

I. 化... II. 钟... III. 化工原理—高等学校—解题  
IV. TQ02-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034795 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 6% 字数 171 千字

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 18.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 前 言

本习题解为钟秦、陈迁乔、王娟、曲虹霞、马卫华编写的第2版《化工原理》配套的教学辅导资料,其中原题为教材各章所附的习题。

化工原理所涉及的内容比较多,大多数高校分上下学期讲授。为便于读者检验所学的内容,本习题解出了10套试卷,按两学期方式组卷,每套试卷均有参考答案。

本习题解由钟秦、陈迁乔、王娟、曲虹霞和马卫华编写,第八章其他化工单元操作由钟秦解答,第一章流体流动和第二章流体输送机械由陈迁乔解答,第三章机械分离和第五章蒸馏由王娟解答,第四章传热和第七章干燥由曲虹霞解答,第六章吸收由马卫华解答。集体共同组卷及解答。本习题解由杜炳华教授主审。

本习题解是南京理工大学“化工原理国家精品课程”建设的重要内容之一,获得了普通高等教育“十一五”国家级规划教材和江苏省高等学校精品教材立项建设的资助。在本习题解的编写过程中,参考了大量相关教材。编者在此一并致谢。

鉴于编者水平有限,解题中难免有不妥之处,敬请广大师生和读者批评指正。

编者

2008年1月

# 目 录

第一章 流体流动	1
第二章 流体输送机械	33
第三章 机械分离	44
第四章 传热	57
第五章 蒸馏	83
第六章 吸收	100
第七章 干燥	119
第八章 其他化工单元操作过程	127
化工原理(上学期)试卷	136
试卷一	136
试卷二	139
试卷三	142
试卷四	146
试卷五	150
化工原理(下学期)试卷	153
试卷一	153
试卷二	156
试卷三	158
试卷四	161
试卷五	164
化工原理(上学期)试卷参考答案	168
试卷一	168

试卷二	171
试卷三	174
试卷四	178
试卷五	181
<b>化工原理(下学期)试卷参考答案</b>	<b>186</b>
试卷一	186
试卷二	189
试卷三	192
试卷四	196
试卷五	199

## 第一章 流体流动

1-1 燃烧重油所得的燃烧气,经分析测知其中含 8.5%  $\text{CO}_2$ , 7.5%  $\text{O}_2$ , 76%  $\text{N}_2$ , 8%  $\text{H}_2\text{O}$ (体积分数)。试求温度为  $500^\circ\text{C}$ 、压强为  $101.33 \times 10^3 \text{Pa}$  时,该混合气体的密度。

$$\begin{aligned}\text{解 } M_m &= M_{\text{A}}y_{\text{A}} + M_{\text{B}}y_{\text{B}} + M_{\text{C}}y_{\text{C}} + M_{\text{D}}y_{\text{D}} \\ &= 44 \times 8.5\% + 32 \times 7.5\% + 28 \times 76\% + 18 \times 8\% \\ &= 28.26 \text{kg/kmol} \\ \rho &= pM_m / (RT) \\ &= 101.33 \times 28.26 / [8.314 \times (500 + 273)] \\ &= 0.455 \text{kg/m}^3\end{aligned}$$

1-2 在大气压为  $101.33 \times 10^3 \text{Pa}$  的地区,某真空蒸馏塔塔顶真空表读数为  $9.84 \times 10^4 \text{Pa}$ 。若在大气压为  $8.73 \times 10^4 \text{Pa}$  的地区使塔内绝对压强维持相同的数值,则真空表读数应为多少?

解 塔内绝对压强维持相同,则可列如下等式

$$\begin{aligned}p_{\text{a1}} - 9.84 \times 10^4 &= p_{\text{a2}} - p \\ p &= p_{\text{a2}} - p_{\text{a1}} + 9.84 \times 10^4 = 8.437 \times 10^4 \text{Pa}\end{aligned}$$

1-3 敞口容器底部有一层深  $0.52 \text{m}$  的水,其上部为深  $3.46 \text{m}$  的油。求器底的压强,以帕斯卡(Pa)表示。此压强是绝对压强还是表压强? 水的密度为  $1000 \text{kg/m}^3$ ,油的密度为  $916 \text{kg/m}^3$ 。

解 表压强

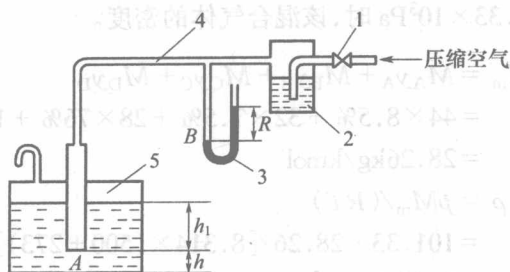
$$\begin{aligned}p(\text{atg}) &= \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 \\ &= 1000 \times 9.81 \times 0.52 + 916 \times 9.81 \times 3.46 \\ &= 3.62 \times 10^4 \text{Pa}\end{aligned}$$

## 绝对压强

$$p(\text{ata}) = p(\text{atg}) + p_a$$

$$= 3.62 \times 10^4 + 101.33 \times 10^3 = 1.37 \times 10^5 \text{Pa}$$

1-4 为测量腐蚀性液体储槽内的存液量,采用如本题附图所示的装置。控制调节阀使压缩空气缓缓地鼓泡通过观察瓶进入储槽。今测得 U 形压差计读数  $R = 130\text{mmHg}$ ,通气管距储槽底部  $h = 20\text{cm}$ ,储槽直径为  $2\text{m}$ ,液体密度为  $980\text{kg/m}^3$ 。试求储槽内液体的储存量为多少吨?



习题 1-4 附图

1—调节阀; 2—鼓泡观察瓶; 3—U 管压差计; 4—通气管; 5—储罐。

解 压缩空气流速很慢,阻力损失很小,可认为  $B$  截面与通气管出口截面  $A$  压强近似相等,设  $h_1$  为通气管深入液面下方距离,因此

$$h_1 = \frac{\rho_A}{\rho} R = \frac{13.6 \times 10^3}{0.98 \times 10^3} \times 130 \times 10^{-3} = 1.804\text{m}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 (h_1 + h)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3.14 \times 2^2 \times (0.2 + 1.80) = 6.28\text{m}^3$$

$$G = \rho V = 9.8 \times 10^2 \times 6.28$$

$$= 6.15 \times 10^3 \text{kg} = 6.15\text{t}$$

1-5 一敞口储槽内盛  $20^\circ\text{C}$  的苯,苯的密度为  $880\text{kg/m}^3$ 。



液面距槽底 9m, 槽底侧面有一直径为 500mm 的人孔, 其中心距槽底 600mm, 人孔覆以孔盖, 试求:

(1) 人孔盖所受静压力, 以牛顿(N)表示;

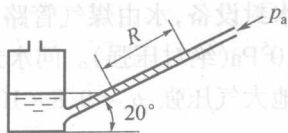
(2) 槽底面所受的压强。

解 人孔盖以中心水平线上下对称, 而静压强随深度做线性变化, 因此可以以孔中心处的压强计算人孔盖所受压力

$$p = \rho g(H - h) = 880 \times 9.81 \times (9 - 0.6) = 72515.52 \text{ Pa}$$

$$F = pA = 72515.52 \times \pi \times 0.5^2 / 4 = 1.42 \times 10^4 \text{ N}$$

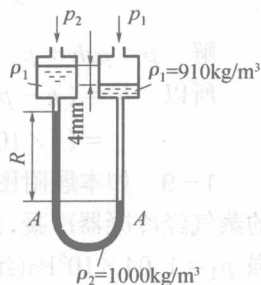
1-6 为了放大所测气体压差的读数, 采用如本题附图所示的斜管式压差计, 一臂垂直, 一臂与水平成  $20^\circ$  角。若 U 形管内装密度为  $804 \text{ kg/m}^3$  的 95% 乙醇溶液, 求读数  $R$  为 29mm 时的压强差。



习题 1-6 附图

$$\begin{aligned} \text{解} \quad \Delta p &= \rho g R \sin 20^\circ \\ &= 804 \times 9.81 \times 29 \times 10^{-3} \times \sin 20^\circ \\ &= 78.23 \text{ Pa} \end{aligned}$$

1-7 用双液体 U 形压差计测定两点间空气的压差, 测得  $R = 320 \text{ mm}$ 。由于两侧的小室不够大, 致使小室内两液面产生 4mm 的位差。试求实际的压差为多少帕斯卡(Pa)。若计算时忽略两小室内的液面的位差, 会产生多少的误差? 两液体密度值见本题附图。



习题 1-7 附图

解 如本题附图所示 A-A 截面为等压面, 所以

$$\begin{aligned} p_2 + \rho_1 g \Delta h + \rho_2 g R &= p_1 + \rho_1 g R \\ \Delta p = p_1 - p_2 &= (\rho_2 - \rho_1) g R + \rho_1 g \Delta h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (1000 - 910) \times 9.81 \times 0.32 + 910 \times 9.81 \times 0.004 \\
 &= 282.528 + 35.708 = 318.236\text{Pa}
 \end{aligned}$$

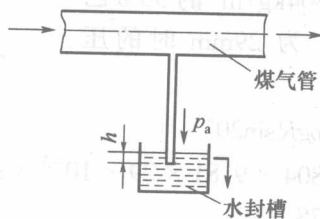
若忽略两小室内液面的位差,则压差为

$$\begin{aligned}
 \Delta p &= p_1 - p_2 = (\rho_2 - \rho_1)gR \\
 &= (1000 - 910) \times 9.81 \times 0.32 = 282.528\text{Pa}
 \end{aligned}$$

相差 35.708Pa

$$\text{误差} (318.236 - 282.528) / 318.236 = 11.22\%$$

1-8 为了排除煤气管中的少量积水,用如本题附图所示的水封设备,水由煤气管路上的垂直支管排出,已知煤气压强为  $1 \times 10^5\text{Pa}$ (绝对压强)。问水封管插入液面下的深度  $h$  应为若干?当地大气压强  $p_a = 9.8 \times 10^4\text{Pa}$ ,水的密度  $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ 。



习题 1-8 附图

解  $p = \rho gh + p_a$

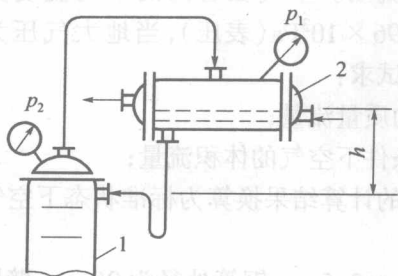
所以  $h = (p - p_a) / \rho g$   
 $= (1 \times 10^5 - 9.8 \times 10^4) / 9.81 \times 1000 = 0.204\text{m}$

1-9 如本题附图所示某精馏塔的回流装置中,由塔顶蒸出的蒸气经冷凝器冷凝,部分冷凝液将流回塔内。已知冷凝器内压强  $p_1 = 1.04 \times 10^5\text{Pa}$ (绝压),塔顶蒸气压强  $p_2 = 1.08 \times 10^5\text{Pa}$ (绝压),为使冷凝器中液体能顺利地流回塔内,问冷凝器液面至少要比回流液入塔处高出多少? 冷凝液密度为  $810\text{kg/m}^3$ 。

解 若使冷凝器中液体能顺利地流回塔内,设冷凝器液面至少要比回流液入塔处高出  $h$ ,则

$$p_1 + \rho gh = p_2$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } h &= (p_2 - p_1) / \rho g \\ &= (1.08 \times 10^5 - 1.04 \times 10^5) / 9.81 \times 810 = 0.503 \text{ m} \end{aligned}$$



习题 1-9 附图

1—精馏塔；2—冷凝器。

1-10 为测量气罐中的压强  $p_B$ ，采用如本题附图所示的双液杯式微差压计。两杯中放有密度为  $\rho_1$  的液体，U形管下部指示液密度为  $\rho_2$ 。管与杯的直径之比  $d/D$ 。试证：

$$p_B = p_a - hg(\rho_2 - \rho_1) - hg\rho_1 \frac{d^2}{D^2}$$

解 等压面为 1-1 截面，由静力学方程  
可得

$$p_B + \rho_1 g \Delta h + \rho_2 g h = \rho_1 g h + p_a$$

$$p_B = p_a + (\rho_1 - \rho_2) g h - \rho_1 g \Delta h$$

由

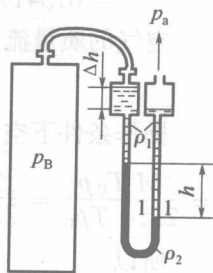
$$\Delta h \pi D^2 / 4 = h \pi d^2 / 4$$

可得

$$\Delta h = h(d/D)^2$$

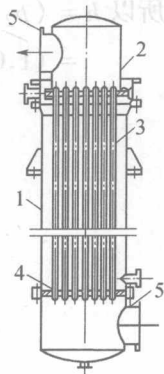
所以

$$p_B = p_a - hg(\rho_2 - \rho_1) - hg\rho_1 \frac{d^2}{D^2}$$



习题 1-10 附图

1-11 列管换热器的管束由 121 根  $\phi 25\text{mm} \times 2.5\text{mm}$  的钢管组成(见本题附图),空气以  $9\text{m/s}$  的速度在列管内流动。空气在管内的平均温度为  $50^\circ\text{C}$ ,压强为  $196 \times 10^3\text{Pa}$ (表压),当地大气压为  $98.7 \times 10^3\text{Pa}$ 。试求:



- (1) 空气的质量流量;
- (2) 操作条件下空气的体积流量;
- (3) 将(2)的计算结果换算为标准状态下空气的体积流量。

注:  $\phi 25\text{mm} \times 2.5\text{mm}$  钢管外径为  $25\text{mm}$ ,壁厚为  $2.5\text{mm}$ ,内径为  $20\text{mm}$ 。

习题 1-11 附图

解 操作条件下空气的体积流量

1—壳体;2—顶盖;

$$V_s = uA = 9 \times 0.785 \times$$

3—管束;4—花板;

5—空气进出口。

$$(0.025 - 0.0025 \times 121)^2 \times 121$$

$$= 0.3419\text{m}^3/\text{s}$$

空气的质量流量

$$w_s = V_s \rho$$

操作条件下空气的密度

$$\rho = \frac{M T_0 p}{22.4 T p_0} = \frac{29}{22.4} \times \frac{273 \times (196 + 98.7) \times 10^3}{323 \times 101.325 \times 10^3} = 3.182\text{kg}/\text{m}^3$$

所以

$$w_s = 0.3419 \times 3.182 = 1.088\text{kg}/\text{s}$$

由于

$$\frac{p V_s}{T} = \frac{p_0 V_{s0}}{T_0}$$

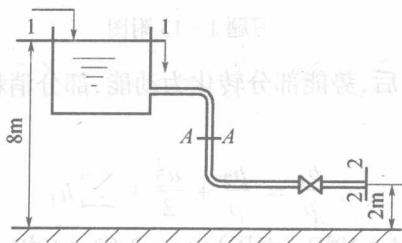
标准状态下空气的体积流量

$$V_{s0} = \frac{p T_0}{p_0 T} V_s = \frac{(196 + 98.7) \times 10^3 \times 273}{101.3 \times 10^3 \times 323} \times 0.342 = 0.84\text{m}^3/\text{s}$$

1-12 如本题附图所示,高位槽内的水面高于地面  $8\text{m}$ ,水从

$\phi 108\text{mm} \times 4\text{mm}$  的管路中流出, 管路出口高于地面 2m。在本题中, 水流经系统的能量损失可按  $h_f = 6.5u^2$  计算, 其中  $u$  为水在管内的流速, 试计算:

- (1) A-A 截面处水的流速;
- (2) 出口水的流量, 以  $\text{m}^3/\text{h}$  计。



习题 1-12 附图

解 在高位槽水面(1-1 截面)和管路出口(2-2 截面)列伯努利方程, 地面为基准面

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_f$$

式中  $Z_1 = 8\text{m}$ ,  $Z_2 = 2\text{m}$ ,  $p_1 = 0$ (表压),  $p_2 = 0$ (表压),  $u_1 \approx 0$ ,  $\sum h_f = 6.5u_2^2$

将数值代入上式, 并简化得

$$u_2 = 2.9\text{m/s}$$

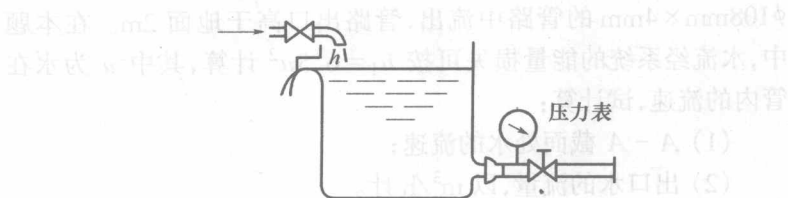
$$Q = u_2 A$$

$$= 2.9 \times 0.785 \times (108 - 2 \times 4)^2 \times 10^{-6}$$

$$= 0.023\text{m}^3/\text{s} = 81.95\text{m}^3/\text{h}$$

1-13 在附图装置中, 水管直径为  $\phi 57\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 。当阀门全闭时, 压力表读数为  $3.04 \times 10^4\text{Pa}$ 。当阀门开启后, 压力表读数降至  $2.03 \times 10^4\text{Pa}$ , 设总压头损失为 0.5m。求水的流量为若干  $\text{m}^3/\text{h}$ ? 水密度  $\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

解 当阀门全闭时, 压力表读数显示了水槽内液面流体的势



习题 1-13 附图

能,当阀门开启后,势能部分转化为动能,部分消耗于阻力损失,列机械能衡算式

$$\frac{p_1}{\rho} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_f$$

式中  $p_1 = 3.04 \times 10^4 \text{Pa}$ (表压),  $p_2 = 2.03 \times 10^4 \text{Pa}$ (表压),  $\sum h_f = 0.5g$

所以

$$u = \sqrt{2 \left( \frac{p_1 - p_2}{\rho} - 0.5g \right)}$$

$$= \sqrt{2 \times \left( \frac{3.04 \times 10^4 - 2.03 \times 10^4}{1000} - 0.5g \right)} = 3.22 \text{m/s}$$

水的流量为

$$V_s = uA = 3.22 \times 0.785 \times (0.057 - 2 \times 0.0035)^2$$

$$= 22.75 \text{m}^3/\text{s}$$

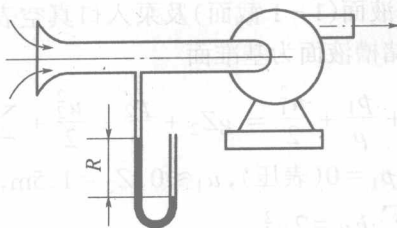
1-14 某鼓风机吸入管直径为 200mm,在喇叭形进口处测得 U 形压差计读数  $R = 25\text{mm}$ ,指示液为水,如本题附图所示。若不计阻力损失,空气的密度为  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ,试求管路内空气的流量。

解 在喇叭进口和风机进口处列伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho} + gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gZ_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

式中  $p_1 = 0$ ,  $Z_1 = Z_2 = 0$ ,  $u_1 = 0$

$$p_2 = -\rho_{\text{H}_2\text{O}}gR = -1000 \times 9.81 \times 0.025 = -245.25\text{Pa}$$



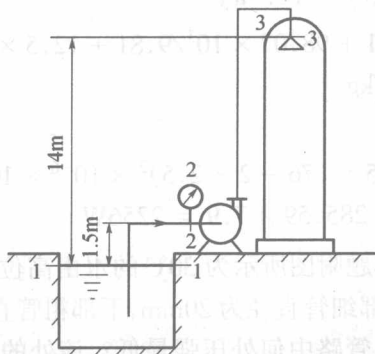
习题 1-14 附图

代入伯努利方程可得

$$u_2 = \sqrt{-\frac{2p_2}{\rho}} = \sqrt{\frac{245.25 \times 2}{1.2}} = 20.22 \text{ m/s}$$

$$w_s = \frac{\pi}{4} d^2 u \rho = \frac{\pi}{4} \times 0.2^2 \times 20.22 \times 1.2 = 0.76 \text{ kg/s}$$

1-15 用离心泵把 20℃ 的水从储槽送至水洗塔顶部, 槽内水位维持恒定。各部分相对位置如本题附图所示。管路的直径均为  $\phi 76 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$ , 在操作条件下, 泵入口处真空表读数为  $24.66 \times 10^3 \text{ Pa}$ , 水流经吸入管与排出管(不包括喷头)的阻力损失可分别按  $h_{f1} = 2u^2$  与  $h_{f2} = 10u^2$  计算。式中  $u$  为吸入管或排出管的流速。排出管与喷头连接处的压强为  $98.07 \times 10^3 \text{ Pa}$ (表压)。试求泵的有效功率。



习题 1-15 附图

解 在储槽液面(1-1截面)及泵入口真空表处(2-2截面)列伯努利方程,储槽液面为基准面

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_{f1}$$

式中  $Z_1=0\text{m}$ ,  $p_1=0$ (表压),  $u_1 \approx 0$ ,  $Z_2=1.5\text{m}$ ,  $p_2=-24.66 \times 10^3\text{Pa}$ (表压),  $\sum h_{f1}=2u_2^2$

将数值代入,并简化得

$$\begin{aligned} 2.5u_2^2 &= -\frac{p_2}{\rho} - gZ_2 \\ &= \frac{24.66 \times 10^3}{1000} - 9.81 \times 1.5 = 9.945 \end{aligned}$$

解得  $u_2=2\text{m/s}$

在储槽液面(1-1截面)及排出管与喷头相连接处(3-3截面)列伯努利方程,储槽液面为基准面

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + W_e = gZ_3 + \frac{p_3}{\rho} + \frac{u_3^2}{2} + \sum h_{f1} + \sum h_{f2}$$

式中  $Z_1=0\text{m}$ ,  $p_1=0$ (表压),  $u_1 \approx 0$ ,  $Z_3=14\text{m}$ ,  $p_3=98.07 \times 10^3\text{Pa}$ (表压),  $u_3=u_2=2\text{m/s}$ ,  $\sum h_{f1} + \sum h_{f2}=12u_3^2$

将数值代入上式,并简化得

$$\begin{aligned} W_e &= 14g + p_3/\rho + 12.5u_3^2 \\ &= 14 \times 9.81 + 98.07 \times 10^3/9.81 + 12.5 \times 2^2 \\ &= 285.59\text{J/kg} \end{aligned}$$

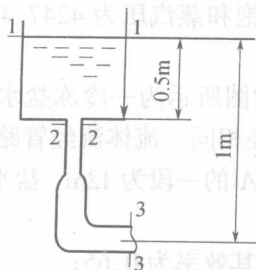
$$w_s = uA\rho$$

$$= 2 \times 0.785 \times (76 - 2 \times 2.5)^2 \times 10^{-6} \times 1000 = 7.9\text{kg/s}$$

$$N_e = W_e w_s = 285.59 \times 7.9 = 2256\text{W}$$

1-16 如本题附图所示为  $30^\circ\text{C}$  的水由高位槽流经直径不等的两段管路。上部细管直径为  $20\text{mm}$ ,下部粗管直径为  $36\text{mm}$ 。不计所有阻力损失,管路中何处压强最低?该处的水是否会发生汽化现象?





习题 1-16 附图

解 在高位槽液面(1-1 截面)和管路出口(3-3 截面)之间列伯努利方程,以管路出口中心线所在水平面为基准面

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = gZ_3 + \frac{p_3}{\rho} + \frac{u_3^2}{2}$$

式中  $Z_1 = 1\text{m}$ ,  $p_1 = 0$ (表压),  $u_1 \approx 0$ ,  $Z_3 = 0\text{m}$ ,  $p_3 = 0$ (表压)

将数值代入上式,并简化得

$$u_3 = \sqrt{2g} = 4.43\text{m/s}$$

又根据连续性方程可知

$$u_2 = u_3(d_3/d_2)^2 = 4.43 \times (36/20)^2 = 14.35\text{m/s}$$

高位槽出口处细管的动能最大,位能较大,静压能最小,压强最低,该处压强为

$$\begin{aligned} p_2 &= \left( E - gZ_2 - \frac{u_2^2}{2} \right) \rho \\ &= \left( gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} - gZ_2 - \frac{u_2^2}{2} \right) \rho \\ &= \left( g + \frac{p_a}{\rho} - 0.5g - \frac{u_2^2}{2} \right) \rho \\ &= \left( \frac{101330}{1000} + 0.5 \times 9.81 - \frac{14.35^2}{2} \right) \times 1000 \\ &= 3273.8\text{Pa} \end{aligned}$$