吸收　习题讲解

华东理工大学 化工学院

黄婕　教授




思考

单塔吸收通常采用图1流程，设计时有人建议采用图2流程，请在y-x图上示意表示两种情况下的操作线，并注明其端点组成。

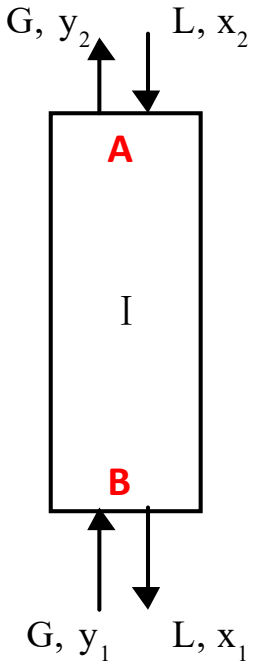


图 1

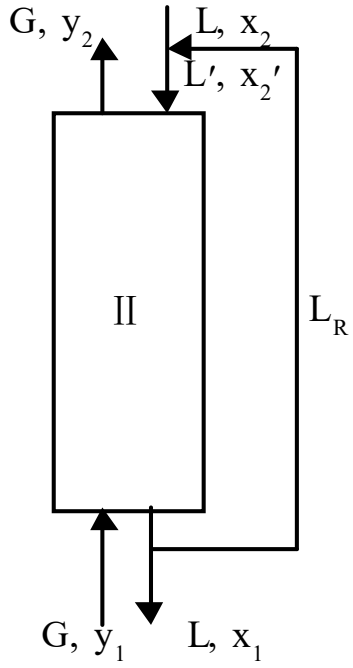
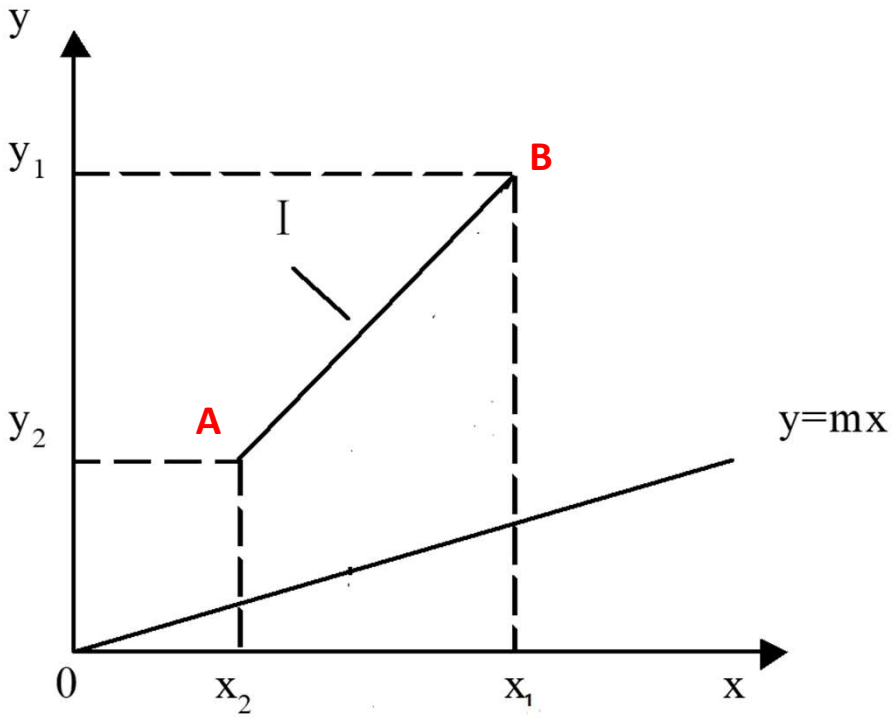


图 2



思考

单塔吸收通常采用图1流程，设计时有人建议采用图2流程，请在y-x图上示意表示两种情况下的操作线，并注明其端点组成。

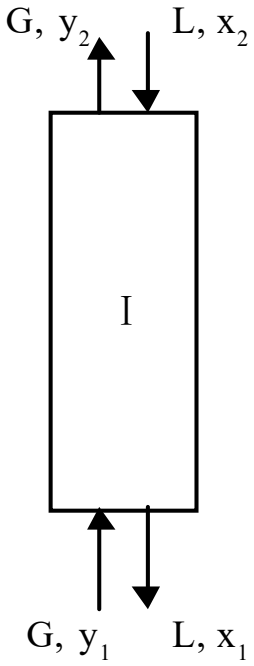


图 1

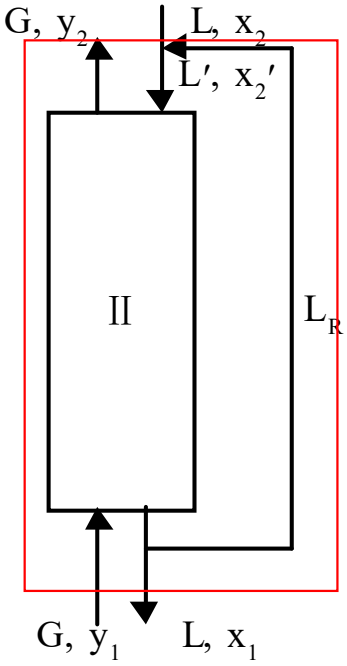


图 2

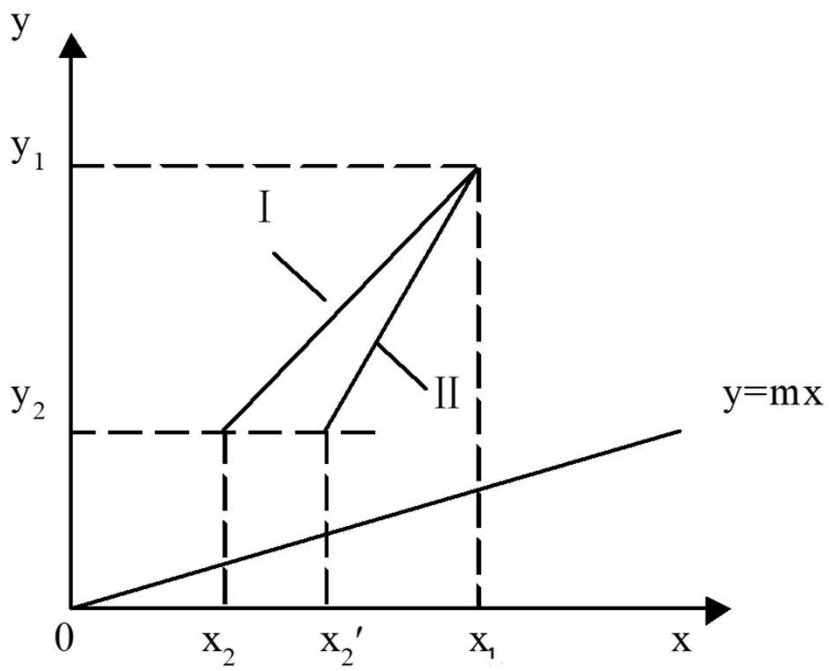
进口X_2、
Y_1 不变。

设计型分离
要求Y_2 不变。

$$G\ (y_{进}-y_{出})=L\ (x_{出}-x_{进})$$

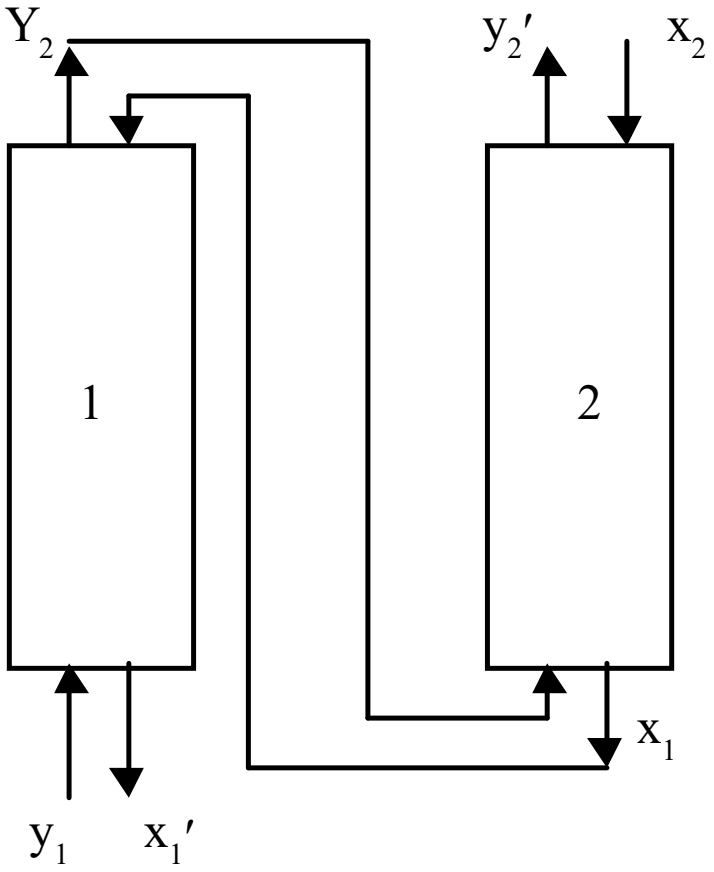
根据物料衡算，
X_1也不 变。

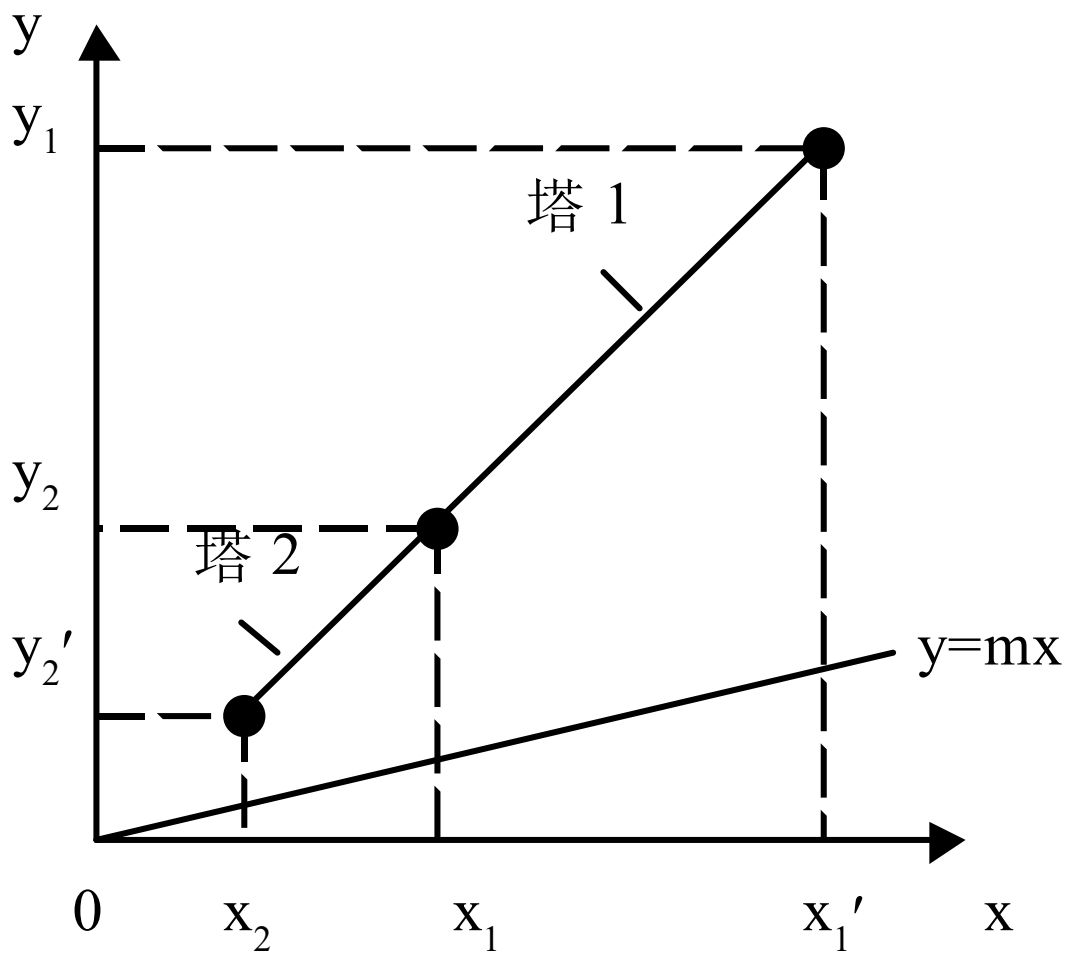
实际操作斜率
线L/G增大，
X'_2也增大。



思考

根据如下图所示的吸收流程，在**y** – x图上示意绘出相应的操作线和平衡线，并标出各塔进出口浓度。设吸收过程为低浓气体吸收，平衡关系符合亨利定律。




y
y1
塔 1
y2
塔 2
y2′
y=mx
0
x2
x1
x1′
x

随堂练习

① 在吸收塔设计中，当吸收剂用量趋于最小用量时（　　）。

(A) 回收率趋向最高　　(B) 吸收推动力趋向最大

(C) 操作最为经济　　(D) 填料层高度趋向无穷大

② 最大吸收率η与_____无关。

(A) 液气比　　(B) 液体入塔浓度x

(C) 相平衡常数m　　(D) 吸收塔型式

③ 对解吸因数1/A ＝0.6的系统进行逆流吸收，相平衡关系y＝mx，当塔高为无穷大时，若系统压力减小一倍，而气液摩尔流量与进口组成均不变，则此时气体入口组成$y_{进}$_____ y_e。

(A) 大于　　(B) 小于　　(C) 等于　　(D) 不确定

答案

① 在吸收塔设计中，当吸收剂用量趋于最小用量时（ D ） 。

A、回收率趋向最高　　B、吸收推动力趋向最大

C、操作最为经济　　D、填料层高度趋向无穷大

② 逆流吸收最大吸收率η与 D 无关。

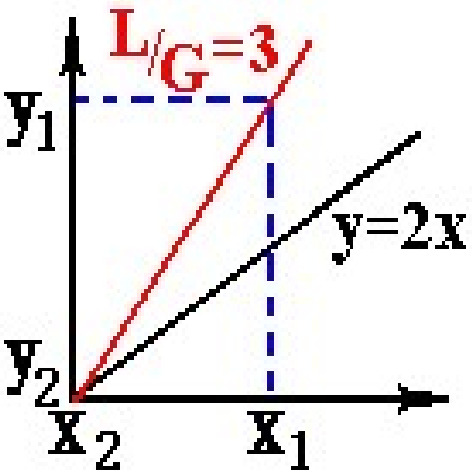
(A) 液气比　　(B) 液体入塔浓度x

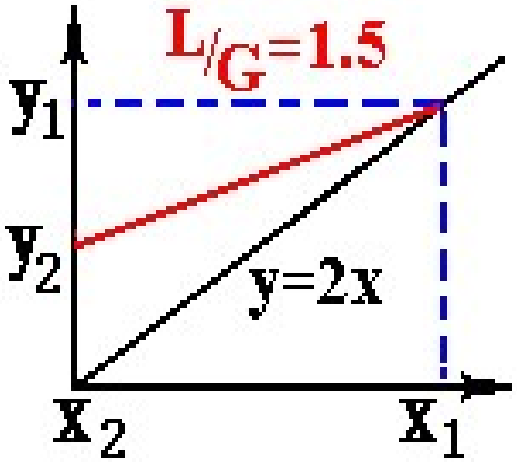
(C) 相平衡常数m　　(D) 吸收塔型式

$$\eta_{max}=\frac{y_{进}-y_{出e}}{y_{进}}$$

$y_{出e}=mx$

设计时，用纯水逆流吸收有害气体，平衡关系为y=2x，入塔y_1=0.1，液气比（L/G）=3，则出塔气体浓度最低可降至__0__，若采用（L/G）=1.5，则出塔气体浓度最低可降至__0.025__。





$$\because \frac{L}{G}=\frac{y_1-y_2}{x_1-0}$$

$$y_2 = y_1 - \frac{L}{G}x_1$$

$$= y_1 - \frac{L}{G}\frac{y_1}{m}$$

$$= 0.1 - 1.5\times 0.05$$

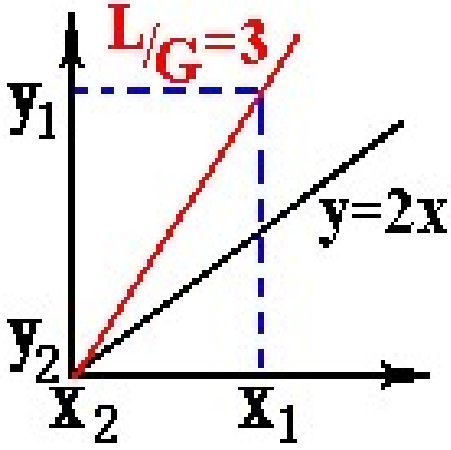
$$=0.025$$

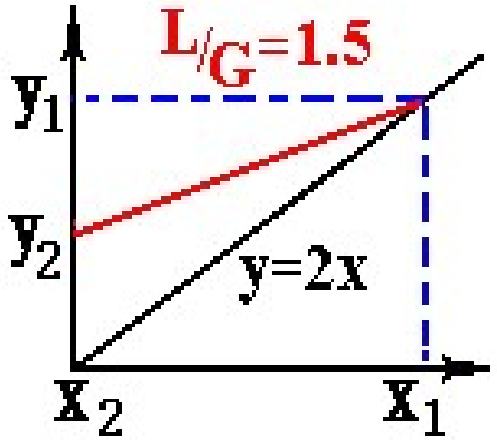
答案

③ 对解吸因数1/A ＝0.6的系统进行逆流吸收，相平衡关系y＝mx，当塔高为无穷大时，若系统压力减小一倍，而气液摩尔流量与进口组成均不变，则此时气体入口组成$y_{进}$ C y_e。

(A) 大于　　(B) 小于　　(C) 等于　　(D) 不确定

1/A ＝0.6，如图1，塔顶平衡；
P减小一倍，m增大一倍
1/A=m/L/G,
1/A=1.2, 如图2，塔底平衡。





基本方程式

全塔物料衡算式

相平衡方程式

$$G\left(y_{进}-y_{出}\right)=L\left(x_{出}-x_{进}\right)$$

吸收过程基本方程式 $y_e=f(x)$

$$H=\frac{G}{K_y a}\int_{y_{出}}^{y_{进}}\frac{\mathrm{d}y}{y-y_e}$$

$$N_{OG}=\frac{y_{进}-y_{出}}{\Delta y_m}$$

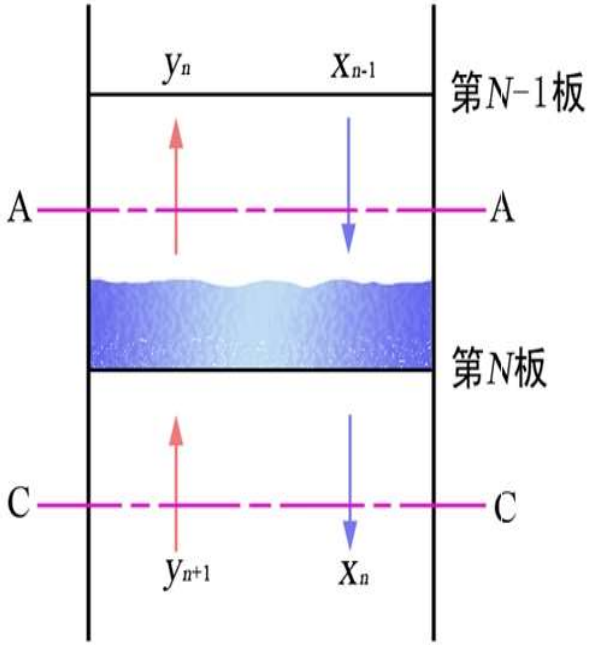
或

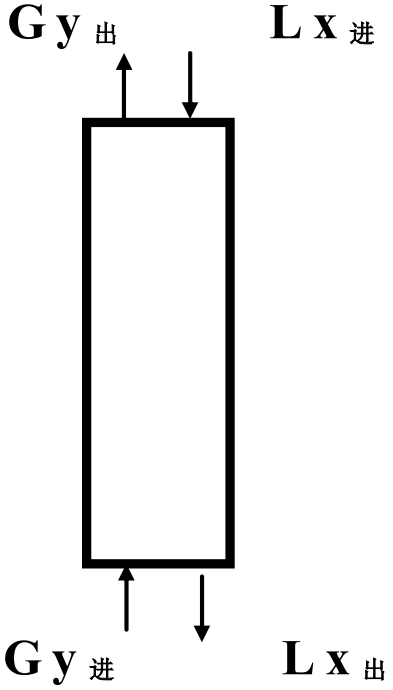
$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln\left[\left(1-\frac{1}{A}\right)\frac{y_{进}-mx_{进}}{y_{出}-mx_{进}}+\frac{1}{A}\right]$$

理论板的计算（8.5.5）

理论板数计算式

$$N = \frac{1}{ln\ \left(\frac{L}{mG}\right)} \ln\left(\frac{y_{进} - mx_{出}}{y_{出} - mx_{进}}\right)$$





逆流吸收塔

例题1

拟用一塔径为0.5m的填料吸收塔，逆流操作，用纯溶剂吸收混合气中的溶质。入塔气体量为100kmol/h，溶质浓度为0.01（摩尔分率），要求回收率达到90%，液气比为1.5，平衡关系为$y = x$。

试求：

(1)液体出塔浓度；

(2)测得气相总体积传质系数$K_y a = 0.10 \text{kmol/(m}^3\cdot\text{s)}$，问该塔填料层高度为多少

解：1、低浓度气体吸收

$$y_{出}=y_{进}(1-\eta)=0.01\times(1-90\%)=0.001$$

$$x_{出}=\frac{y_{进}-y_{出}}{L/G}+x_{进}=\frac{0.01-0.001}{1.5}+0=0.006$$

2、求*H*

$$G=\frac{100/3600}{\frac{1}{4}\pi\times0.5^2}=0.142kmol/(m^2\cdot s)$$ 单位

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

$K_y a$ = 0.10kmol/(m³·s)

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{0.142}{0.10} = 1.42m$$

$$\frac{1}{A} = \frac{mG}{L} = \frac{1}{1.5} = 0.667$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-\frac{1}{A}} \ln\left[\left(1-\frac{1}{A}\right)\frac{y_{进} - mx_{进}}{y_{出} - mx_{进}} + \frac{1}{A}\right]$$

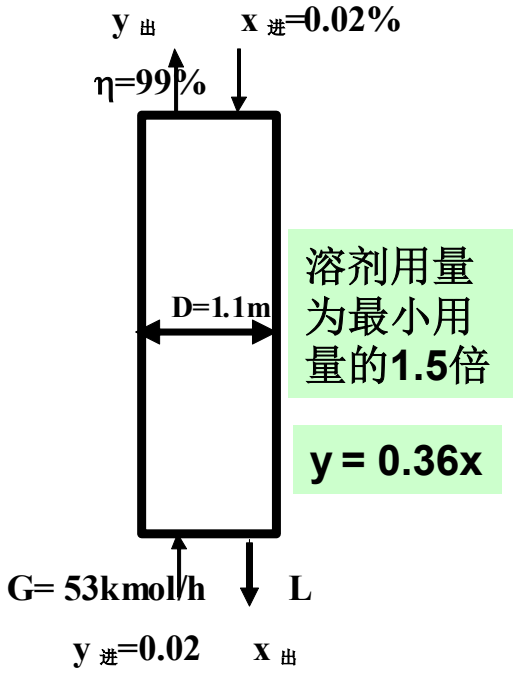
纯溶剂$x_{进}$=0

$$= \frac{1}{1-0.667} \ln\left[(1-0.667)\frac{0.01-0}{0.001-0} + 0.667\right] = 4.16$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = 1.42 \times 4.16 = 5.9m$$

例题2 常压下，用煤油从苯蒸汽和空气混合物中吸收苯，吸收率为99%，混合气量为53kmol/h。入塔气中含苯2%（体积 %），入塔煤油中含苯0.02%（摩尔分率）。溶剂用量为最小用量的1.5倍，在操作温度50℃下，相平衡关系为$y = 0.36x$，总传质系数$K_y a$=0.015kmol/(m³·s)，

塔径为1.1米。试求所需填料层高度。



解：本题求解H，为设计型计算

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$$

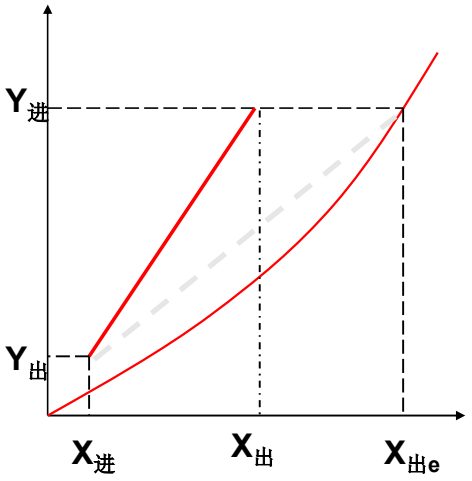
$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{G' \Big/ \left(\frac{1}{4}\pi D^2 \times 3600\right)}{K_y a} = \frac{53 \Big/ \left(\frac{1}{4}\pi \times 1.1^2 \times 3600\right)}{0.015} = 1.03m$$

$$\eta = 1 - \frac{y_{出}}{y_{进}} \Rightarrow y_{出} = y_{进}(1-\eta) = 0.02 \times (1 - 99\%) = 0.0002$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = \frac{y_{进} - y_{出}}{x_{出e} - x_{进}} = \frac{0.02 - 0.0002}{\frac{0.02}{0.36} - 0.0002} = 0.358$$

$$\frac{L}{G} = 1.5\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = 1.5 \times 0.358 = 0.537$$

溶剂用量为最小用量的1.5倍



$$\Rightarrow \frac{1}{A} = \frac{m}{L/G} = \frac{0.36}{0.537} = 0.67$$

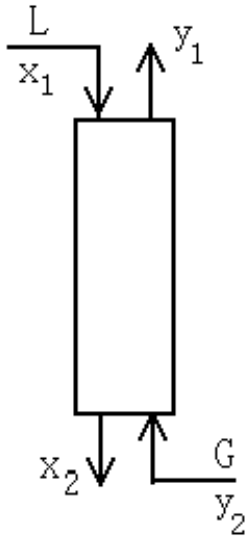
$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \frac{1}{A}} \ln\left[\left(1 - \frac{1}{A}\right)\frac{y_{进} - mx_{进}}{y_{出} - mx_{进}} + \frac{1}{A}\right]$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-0.67} \ln\left[(1-0.67)\frac{0.02-0.36\times 0.0002}{0.0002-0.36\times 0.0002}+0.67\right] = 11.98$$

$$H = H_{OG} \cdot N_{OG} = 1.03 \times 11.98 = 12.4m$$

例题3

解吸塔高6m，L=200kmol/h，$x_{进}$=0.08 (摩尔分率，下同)，用$y_{进}$=0，G=350kmol/h的惰性气体解吸时，得$y_{出}$=0.036，且知平衡关系：y=0.5x，

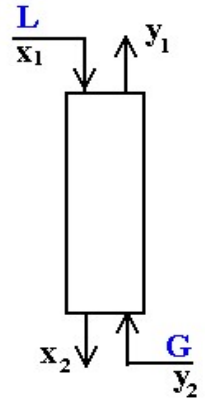


试求：① 该塔的气相传质单元高度H_{OG}；

② 当操作中G增加到400kmol/h时，则$x_{出}$为多少？（设L，$y_{进}$，$x_{进}$不变，G增加时H_{OG}基本不变）

③ 在y~x图上画出G变化前后的操作线。

(1)物料衡算



$$G(y_{出}-y_{进})=L(x_{进}-x_{出})$$

$$\therefore x_{出}=x_{进}-\frac{G}{L}(y_{出}-y_{进})=0.08-\frac{350}{200}(0.036-0)=0.017$$

$$\therefore \Delta y_{出}=y_{出e}-y_{出}=mx_{进}-y_{出}=0.5\times 0.08-0.036=0.004$$

$$\therefore \Delta y_{进}=y_{进e}-y_{进}=mx_{出}-y_{进}=0.5\times 0.017-0=0.0085$$

$$\Delta y_m=\frac{\Delta y_{进}-\Delta y_{出}}{\ln\frac{\Delta y_{进}}{\Delta y_{出}}}=\frac{0.0045}{\ln\frac{0.085}{0.0040}}=0.006$$

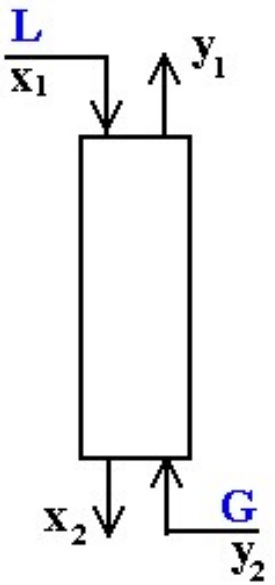
$$N_{OG}=\frac{y_{出}-y_{进}}{\Delta y_m}=\frac{0.036}{0.006}=6 \qquad \therefore H_{OG}=\frac{H}{N_{OG}}=\frac{6}{6}=1(m)$$

(2) ∵H不变，H_{OG}基本不变

∴N_{OG}基本不变　已知 y=0.5x

$$\because \frac{L}{G'}=\frac{200}{400}=0.5$$

∴操作线与平衡线平行



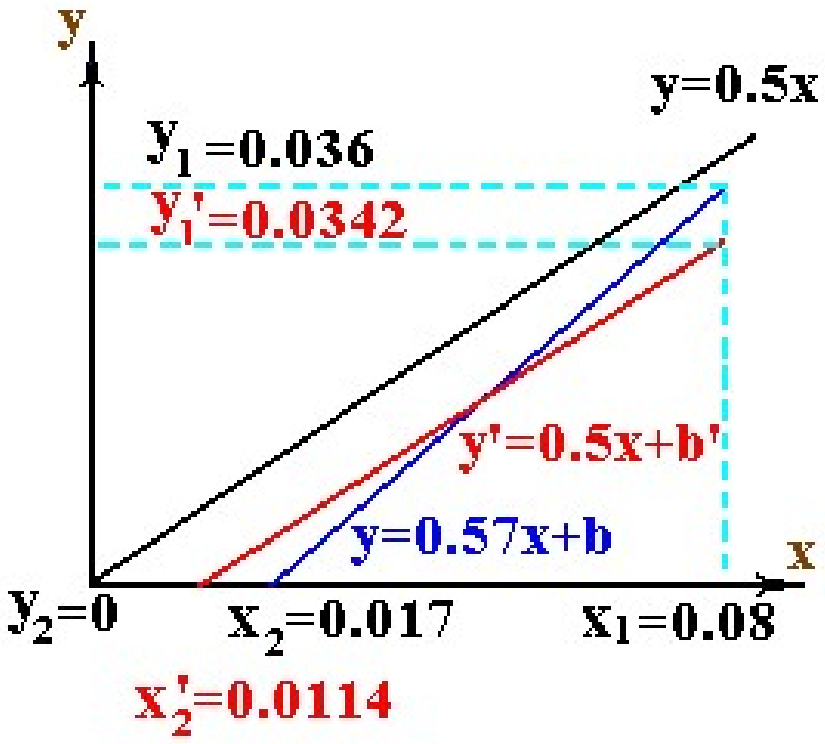
$$N_{OG}=\frac{y'_{出}-y_{进}}{\Delta y_m}=\frac{y'_{出}-y_{进}}{\Delta y_{出}}=\frac{y'_{出}-y_{进}}{mx'_{出}-y_{进}}=\frac{y'_{出}-y_{进}}{mx'_{出}}=\frac{y'_{出}}{0.5x'_{出}}=6$$

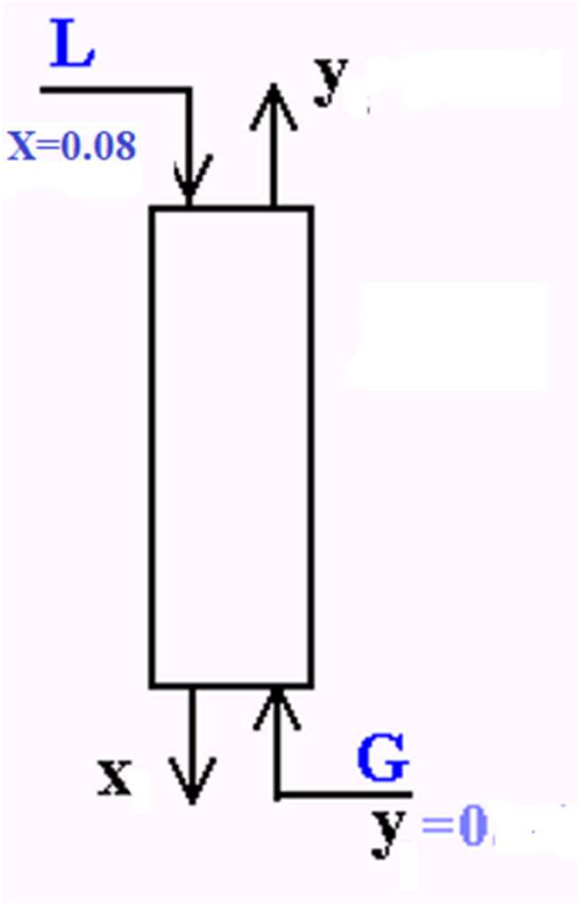
$$G'(y_{出}'-y_{进})=L(x_{进}-x_{出}')$$

$$\therefore y_{出}'=\frac{L}{G'}(x_{进}-x_{出}')=\frac{200}{400}(0.08-x_{出}')=0.04-0.5x_{出}'$$

$x_{出}$'=0.0114　　$y_{出}'$= 0.0342

(3)

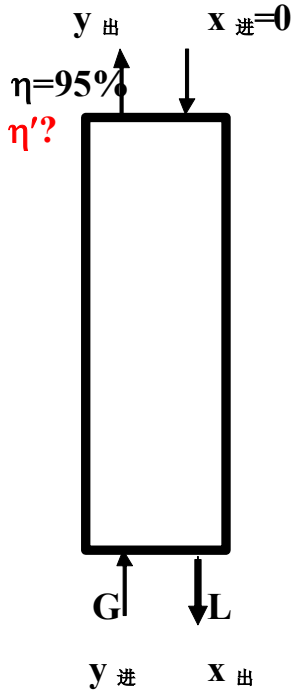

y
y=0.5x
y1=0.036
y1'=0.0342
y'=0.5x+b'
y=0.57x+b
x
y2=0
x2=0.017
x1=0.08
x2'=0.0114


L
y
X=0.08
x
G
y =0

例题4某吸收塔在101.3kPa、293K下用清水逆流吸收丙酮—空气混合气体中的丙酮。混合气入塔浓度为0.02，当操作液气比为2.1时，丙酮回收率可达95%。已知物系平衡关系为y=1.18x，吸收过程大致为气膜控制，气相总传质系数$K_ya \propto G^{0.8}$。试求：

(1)今**气体流量增加**20%，而液量及气液进口浓度不变，回收率变为多少?

(2)若该塔操作时，改用再生溶液，**吸收液进口浓度为0.0005**，其他入塔条件不变，则该塔的回收率η'又为多少?



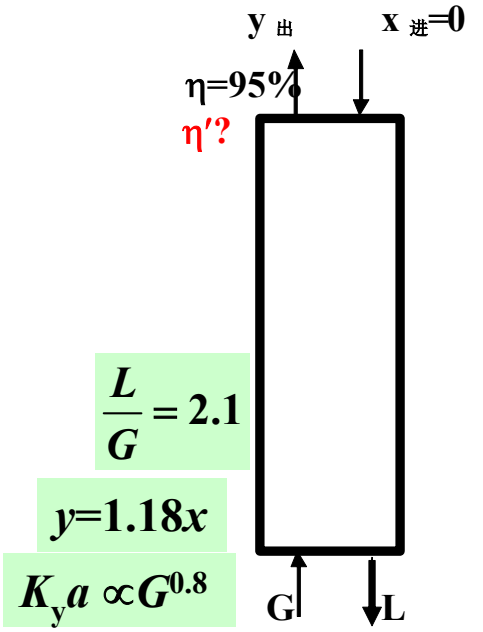
解：$H = H_{OG} \cdot N_{OG}$　　$H_{OG} = \dfrac{G}{K_y a}$

（1）求原工况

$$\frac{1}{A} = \frac{m}{L/G} = \frac{1.18}{2.1} = 0.56$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-1/A}\ln\left[\left(1-\frac{1}{A}\right)\frac{1}{1-\eta}+1/A\right]$$

$$= \frac{1}{1-0.56}\ln\left[(1-0.56)\frac{1}{1-0.95}+0.56\right] = 5.1$$



气体流量增加20%

$$H_{OG}=\frac{G}{K_y a}\propto\frac{G}{G^{0.8}}=G^{0.2}$$

$K_y a \propto G^{0.8}$

思考题：

若液体流量增加20%，如何求?

$$\frac{H'_{OG}}{H_{OG}}=\left(\frac{G'}{G}\right)^{0.2}=1.2^{0.2}=1.04$$

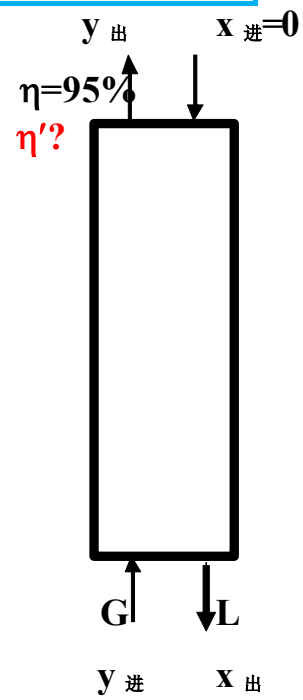
$$\frac{N'_{OG}}{N_{OG}}=\frac{H_{OG}}{H'_{OG}}=\frac{1}{1.04}=0.96$$

$$\therefore\ N'_{OG}=5.1\times 0.96=4.9$$

$$\frac{1}{A'}=\frac{m}{L/G'}=\frac{1.2m}{L/G}=1.2\times 0.56=0.672$$

$$N'_{OG}=\frac{1}{1-1/A'}\ln\left[\left(1-\frac{1}{A'}\right)\frac{1}{1-\eta'}+\frac{1}{A'}\right]=4.9$$

$$\therefore \eta'=92.4\%$$



气体流量增加20%

（2）入塔吸收液浓度$x_{进}$上升，气体出口浓度$y_{出}$改变，但H不变，H_{OG}不变，所以N_{OG}不变。

$$\frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{1.18}{2.1}=0.56$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-1/A}\ln\left[(1-\frac{1}{A})\frac{y_{进}-mx'_{进}}{y'_{出}-mx'_{进}}+\frac{1}{A}\right]=5.1$$

$$\frac{1}{1-0.56}\ln\left[(1-0.56)\frac{0.02-1.18\times0.0005}{y'_{出}-2\times0.0005}+0.56\right]=5.1$$

$$y'_{出}=0.00196 \qquad \eta=\frac{y_{进}-y'_{出}}{y_{进}}=\frac{0.02-0.00196}{0.02}=90.2\%$$

例题5 某填料吸收塔，填料层高度为4.5m，塔径1m，用清水逆流吸收流量为90kmol/h的丙酮混合气。混合气中含有丙酮的体积分率0.06,测得丙酮的回收率为95%, 塔底液体中含丙酮的浓度为0.02(摩尔分率)。操作在101.3kpa、25^0C下进行，物系的平衡关系为y=2x。试求：

1、塔的传质单元高度H_{OG}及总容积传质系数K_ya。

2、若要求丙酮的回收率达到97%，其他条件不变，求需增加的填料层的高度。

解：求N_{OG}

$x_{进}=0$　　$y_{出}=(1-\eta)y_{进}=(1-0.95)\times 0.06=0.003$

$$\Delta y_m=\frac{\Delta y_{进}-\Delta y_{出}}{\ln\dfrac{\Delta y_{进}}{\Delta y_{出}}}=\frac{(y_{进}-mx_{出})-(y_{出}-mx_{进})}{\ln\dfrac{y_{进}-mx_{出}}{y_{出}-mx_{进}}}$$

$$=\frac{(0.06-2\times 0.02)-0.003}{ln\dfrac{0.06-2\times 0.02}{0.003}}=8.96\times 10^{-3}$$

$$N_{OG}=\frac{y_{进}-y_{出}}{\Delta y_m}=\frac{0.06-0.003}{8.96\times 10^{-3}}=6.36$$

$$G=\frac{G'}{0.785\times D^2}=\frac{90}{0.785\times 1^2}=114.65kmol/m^2\cdot h$$

$$\boldsymbol{H_{OG}=\frac{H}{N_{OG}}=\frac{4.5}{6.36}=0.7075m}$$

$$H_{OG}=\frac{G}{K_y a}$$

$$K_y a=\frac{G}{H_{OG}}=\frac{114.65}{0.7075}=162.05kmol/m^3\cdot h$$

$$\boldsymbol{\frac{L}{G}=\frac{y_{进}-y_{出}}{x_{出}-x_{进}}=\frac{0.06-0.003}{0.02-0}=2.85}$$

其他条件不变，若要求丙酮的回收率达到97%，求需增加的填料层的高度。

$$\frac{1}{A}=\frac{m}{L/G}=\frac{2}{2.85}=0.702$$

$$\eta=97\% \qquad y_{出}=(1-\eta)\,y_{进}=(1-0.97)\times 0.06=0.0018$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-1/A}\ln\left[(1-\frac{1}{A})\frac{1}{1-\eta}+\frac{1}{A}\right]$$

$$=\frac{1}{1-0.702}\ln\left[\left(1-\frac{1}{0.702}\right)\times\frac{1}{1-0.97}+\frac{1}{0.702}\right]=7.93$$

H_{OG}不变，　$H_{OG}=0.7075m$

$$H=H_{OG}\cdot N_{OG}=0.7075\times 7.93=5.61m$$

$$\Delta H=H'-H=5.61-4.5=1.11m$$

例题6 吸收剂L流量变化对吸收结果的影响

在填料塔中，用纯吸收剂逆流吸收某气体混合物中的可溶组分A，已知气体混合物中溶质A的初始组成为0.05，通过吸收，气体出口组成为0.02，溶液出口组成为0.098（均为摩尔分率），操作条件下的气液平衡关系为$y = 0.5x$，并已知此吸收过程为**气膜控制**，试求：

①气相总传质单元数N_{OG}；

②当**液体流量增加一倍**时，在气量和气液进口组成不变的情况下，气体出口浓度变为多少？

解：① 属低浓气体吸收，$x_{进}=0$

$$\left(\frac{L}{G}\right)=\frac{y_{进}-y_{出}}{x_{出}-x_{进}}=\frac{0.05-0.02}{0.98-0}=0.306 \qquad \frac{1}{A}=\frac{mG}{L}=\frac{0.5}{0.306}=1.63$$

$$N_{OG}=\frac{1}{1-\frac{1}{A}}\ln\left[\left(1-\frac{1}{A}\right)\frac{y_{进}-mx_{进}}{y_{出}-mx_{进}}+\frac{1}{A}\right]$$

$$=\frac{1}{1-1.63}\ln\left[(1-1.63)\frac{0.05}{0.02}+1.63\right]=4.6$$

②当液体流量增加一倍时，N_{OG}?

L增大一倍时，因吸收过程为气膜控制，故K_ya 不变，H_{OG}不变，所以N_{OG}也不变。

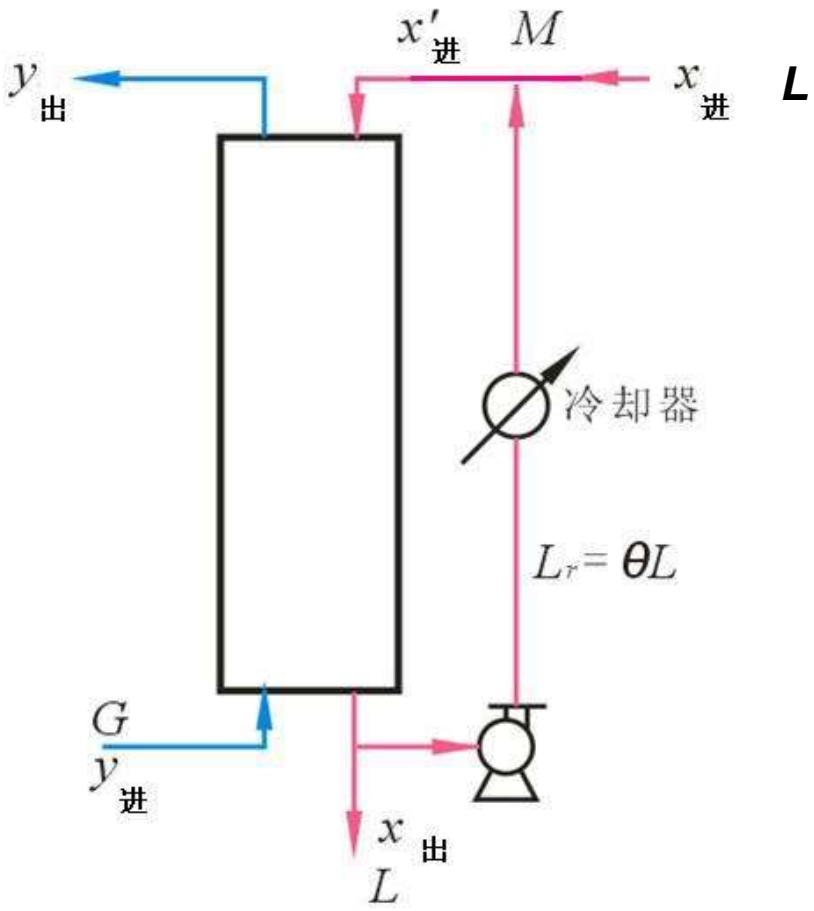
$$\frac{1}{A'}=\frac{mG}{2L}=\frac{1.63}{2}=0.815$$

塔高不变，L增大，气体出口y减小

$$4.6=\frac{1}{1-\frac{1}{A'}}\ln\left[\left(1-\frac{1}{A'}\right)\frac{y_{进}}{y'_{出}}+\frac{1}{A'}\right]=\frac{1}{1-0.815}\ln\left[(1-0.815)\frac{0.05}{y'_{出}}+0.815\right]$$

$$\therefore y'_{出}=0.00606$$

吸收剂再循环



设吸收剂循环量L_r为新鲜吸收剂量L的θ倍

对M点衡算

$$Lx_{进} + L_r x_{出} = (L + L_r)x'_{进}$$

入塔吸收剂浓度

$$x'_{进} = \frac{\theta x_{出} + x_{进}}{1 + \theta}$$

例题7 在常压逆流操作、塔径为1.2m的填料塔中，用清水吸收混合气中的A组分，混合气流率为50kmol/h, 入塔时A组分浓度为0.08(摩尔分率)，回收率为0.90，相平衡关系为$y=2x$, 设计液气比为最小液气比的1.5倍, 总传质系数$K_ya=0.0186kmol/m^3s$,且$K_ya \propto G^{0.8}$。

试求：（1）吸收塔气、液出口浓度各为多少？所需填料层高度为多少米？

（2）若设计成的吸收塔用于实际操作时，采用20%吸收剂再循环流程，新鲜吸收剂用量及其它条件不变，问气相和液相出口浓度及回收率？

解：1、 $y_{出} = y_{进}(1-\eta) = 0.08 \times (1-0.90) = 0.008$

$$G = \frac{50}{0.785 \times 1.2^2} = 44.23 kmol/m^2h = 0.01229 kmol/m^2s$$

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} = \frac{0.01229}{0.0186} = 0.661m$$

$$\left(L/G\right)_{\min} = \frac{y_{进} - y_{出}}{x_{出e} - x_{进}} = m\eta = 2 \times 0.9 = 1.8 \quad \frac{L}{G} = 1.5(\frac{L}{G})_{\min} = 1.5 \times 1.8 = 2.7$$

$$x_{出} = x_{进} + \frac{G}{L}(y_{进} - y_{出}) = 0 + \frac{1}{2.7}(0.08 - 0.008) = 0.0267$$

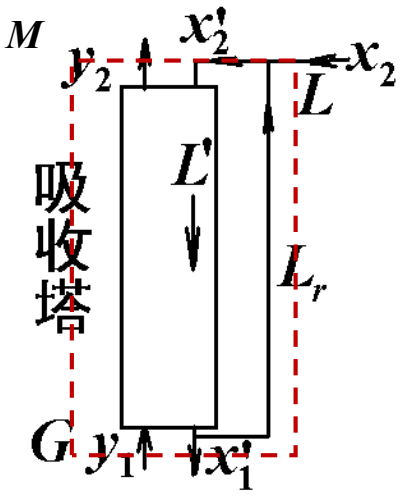
$$\frac{mG}{L} = \frac{2}{2.7} = 0.741$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-\frac{mG}{L}} \ln[(1-\frac{mG}{L})\frac{1}{1-\eta} + \frac{mG}{L}$$

$$N_{OG} = \frac{1}{1-0.741} \ln[(1-0.741)\frac{1}{1-0.9} + 0.741] = 4.65$$

$$H = H_{OG} N_{OG} = 0.661 \times 4.65 = 3.10m$$

2、操作-新工况下新鲜吸收剂量不变



$$L' = L + 0.2L' \qquad L' = \frac{L}{0.8} \qquad y'_2, x'_2, x'_1 \text{(均改变)}$$

$$x'_2 = \frac{Lx_2 + 0.2L'x'_1}{L'} = 0.2x'_1$$

气膜, $L \uparrow \Rightarrow K_y a$不变

$$\frac{1}{A} = \frac{mG}{L'} = 0.741 \times 0.8 = 0.593$$

$\Rightarrow H_{OG}$不变$\Rightarrow N_{OG}$不变

$$N_{OG} = \frac{1}{1-0.593}\ln[(1-0.593)\frac{0.08 - 2\times 0.2x'_1}{y'_2 - 2\times 0.2x'_1} + 0.593] = 4.65$$

$$\frac{0.08 - 0.4x'_1}{y'_2 - 0.4x'_1} = 14.40$$

全塔物料衡算 $\frac{L}{G} = \frac{0.08 - y'_2}{x'_1 - 0} = 2.7$

$$y'_2 = 0.0146 \qquad x'_1 = 0.0242 \qquad \eta = 1 - \frac{y'_2}{y_1} = 1 - \frac{0.0146}{0.08} = 0.8175$$