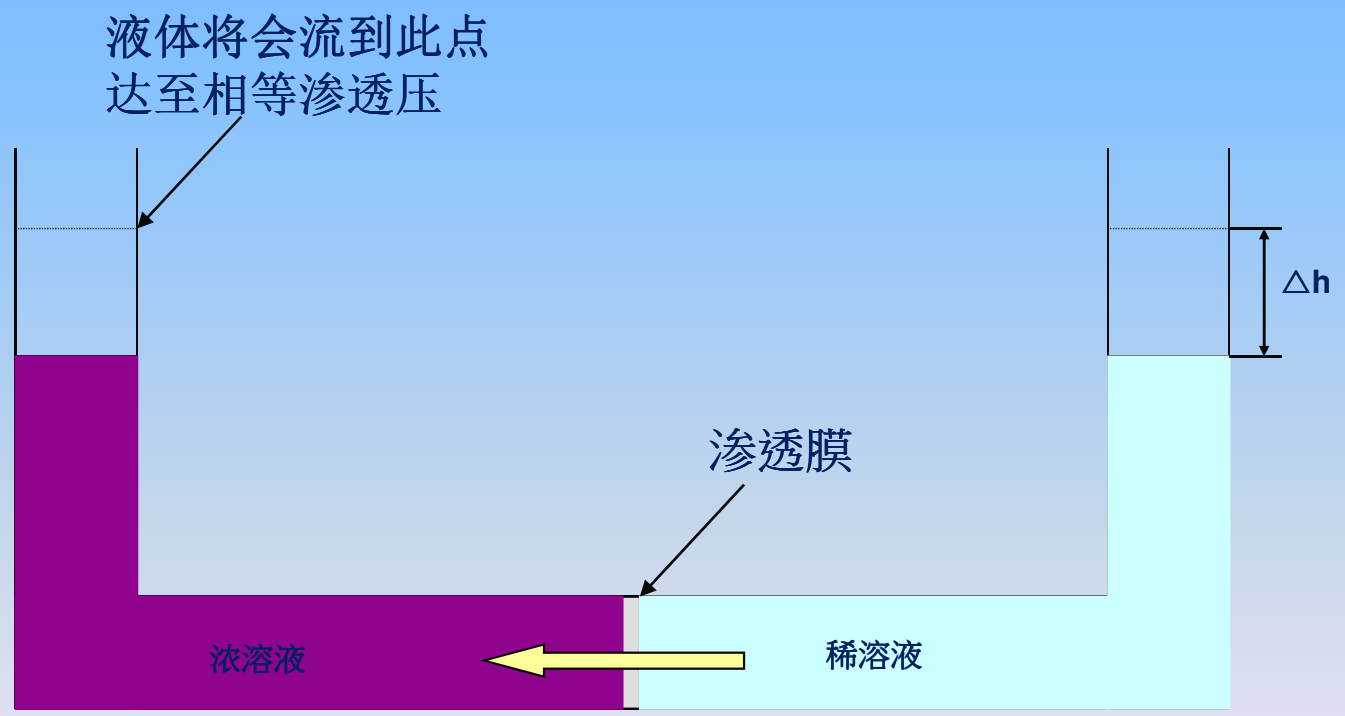
AQUASOURCE COMPONENTS LIMITED

反滲透原理
Principle of Reverse Osmosis

http://www.aquasource.hk

什么是反渗透?

我们可以从渗透得知过程：



正常渗透过程是水由较稀溶液通过渗透膜流向较浓溶液

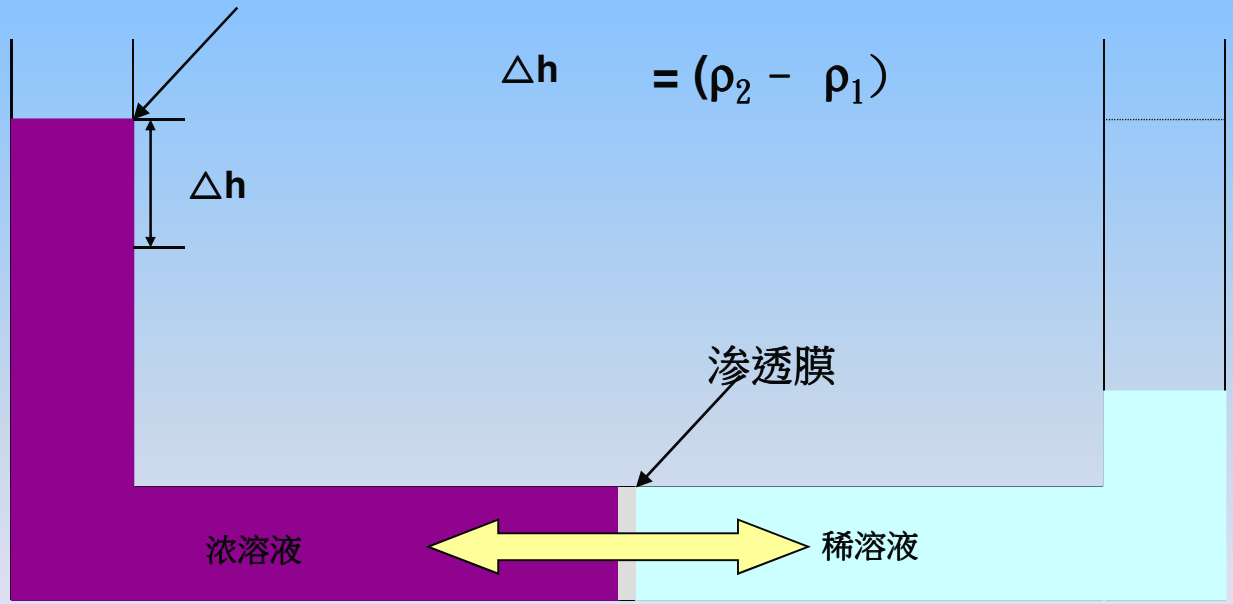
由于渗透膜是只容许水份子(或小部份离子)通过.
若渗透膜两边水份子浓度不同，渗透膜之间产生位能差异,较稀溶液拥有较高能量(ρ_1)，而较浓溶液拥有较低能量(ρ_2).水份子便由高能量流向低能量直至位能达至平衡.即

$$\triangle h = (\rho_1 - \rho_2)$$

ρ_1 =较稀溶液的渗透压

ρ_2 =较浓溶液的渗透压

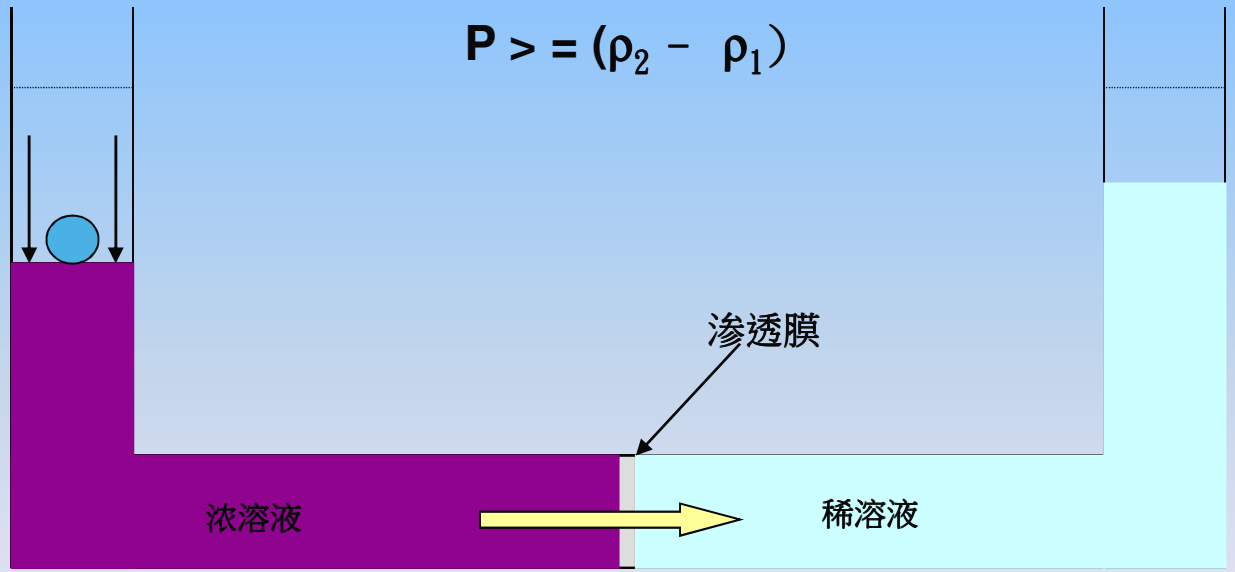
液体流到此点达至相等渗透压



- 反渗透是利用外来压力将水份子从较浓溶液，经过反渗膜流回较稀溶液.

- 由此利用反渗透原理，可达到分隔溶液内成份．例如水与溶解物质.

外来加压



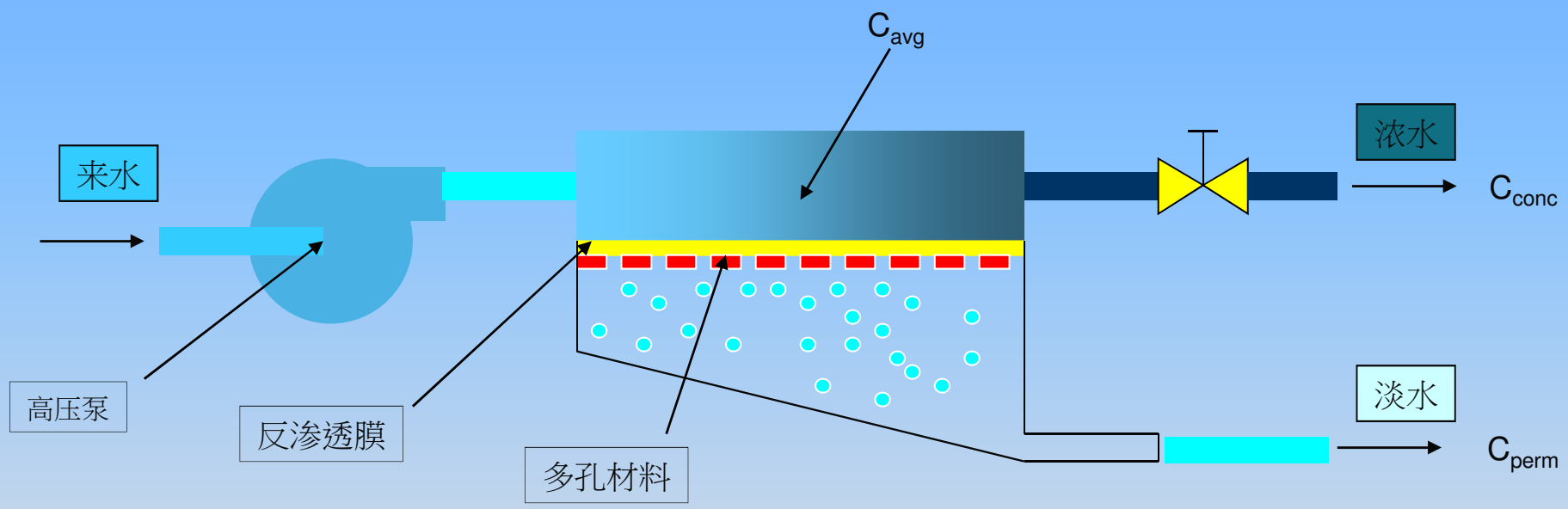
经反渗透过程产生净化水流速是决定于 ：

1. 外来压力

2. 反渗膜两边液体浓度差异

3. 反渗膜面积及其特性

模拟反渗机



C_{feed} 入水浓度

C_{perm} 淡水浓度

C_{conc} 浓水浓度

C_{avg} 平均浓度

技术名词

TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS) 总溶解固体 TDS

指有机和无机盐溶于水中得出浓度 (单位为 ppm 或 mg/l)

FEED 入水 C_{feed}

在压力下; 溶液进入反渗透系统

PERMEATE 淡水 C_{perm}

溶液透过反渗膜; 并收集而成; 一般指净化水

CONCENTRATE 浓水 C_{conc}

没有经过反渗膜溶液而离开反渗透系统; 成份含有大量盐份及有机物

技术名词

REJECTION 脱盐率 REJ

溶解物质不通过反渗透膜的比例

PASSAGE 通过率 PASS

溶解物质通过反渗透膜的比例

RECOVERY 回收率

淡水与入水之比例

$$\text{RECOVERY} = \frac{\text{PERMEATE FLOW RATE}}{\text{FEED FLOW RATE}} = \frac{Q_{perm}}{Q_{feed}}$$

AVERAGE CONCENTATION 平均浓度

反渗膜感应溶液平均浓度

$$C_{avg} = \frac{C_{feed} + C_{conc}}{2}$$

技术名词

CONCENTRATE CONCENTRATION 浓水之浓度

离开反渗透系统; 溶液的浓度

物质平衡定律 → $Q_{feed} \cdot C_{feed} = Q_{conc} \cdot C_{conc} + Q_{perm} \cdot C_{perm}$

入水 浓水 淡水

流量 浓度

在一个理想情况下 $C_{perm} \rightarrow 0$

$$\Rightarrow Q_{feed} \cdot C_{feed} = Q_{conc} \cdot C_{conc} + Q_{perm} \cdot 0$$

$$\Rightarrow Q_{feed} \cdot C_{feed} = Q_{conc} \cdot C_{conc}$$

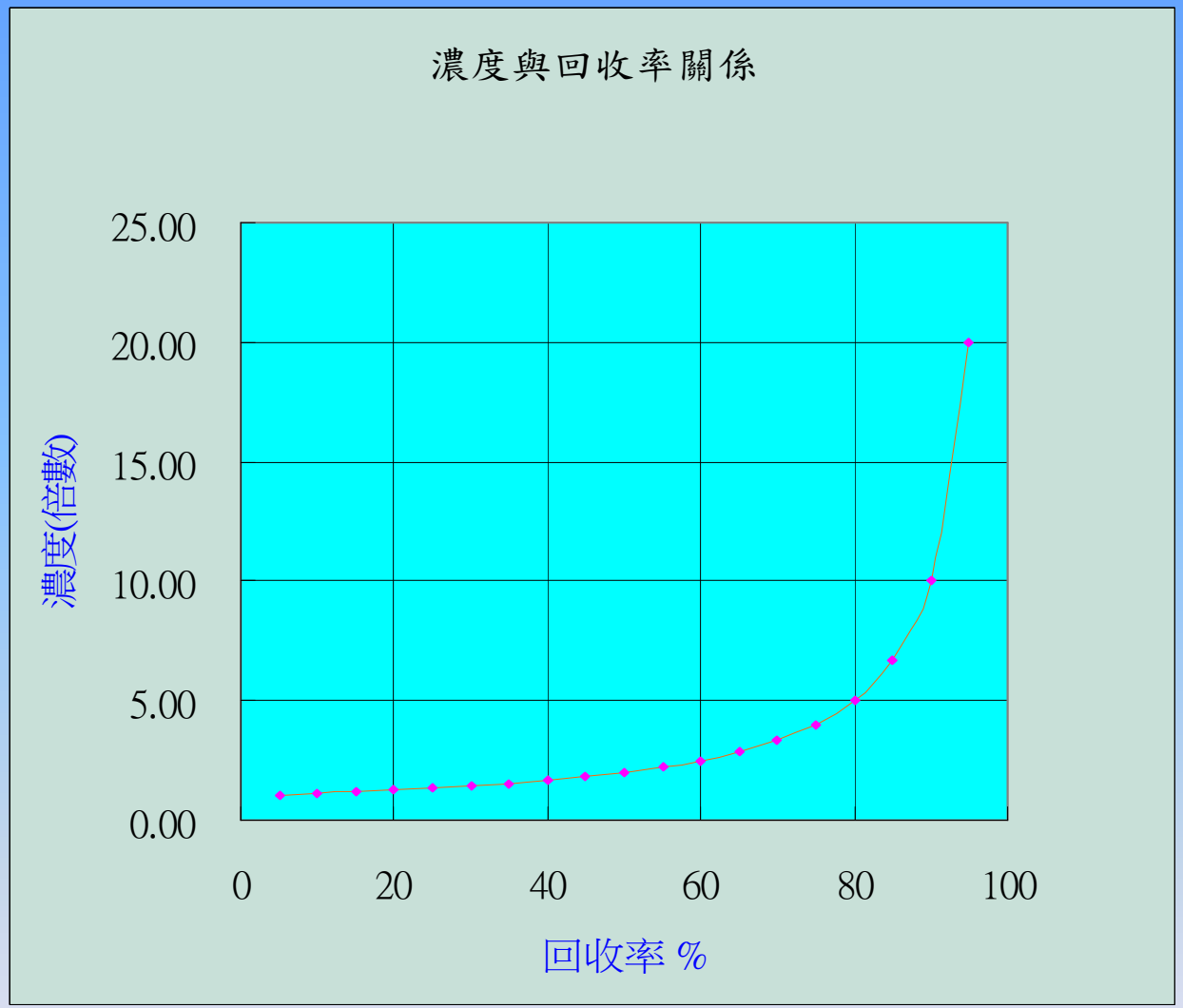
$$\Rightarrow C_{conc} / C_{feed} = Q_{feed} / Q_{conc}$$

$$\Rightarrow \boxed{C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - \text{RECOVERY})}}$$

$$\text{RECOVERY} = \frac{Q_{perm}}{Q_{feed}} \quad \&$$

$$Q_{feed} = Q_{conc} + Q_{perm}$$

濃度(倍數) conc.	回收率 recovery
1.05	5
1.11	10
1.18	15
1.25	20
1.33	25
1.43	30
1.54	35
1.67	40
1.82	45
2.00	50
2.22	55
2.50	60
2.86	65
3.33	70
4.00	75
5.00	80
6.67	85
10.00	90
20.00	95

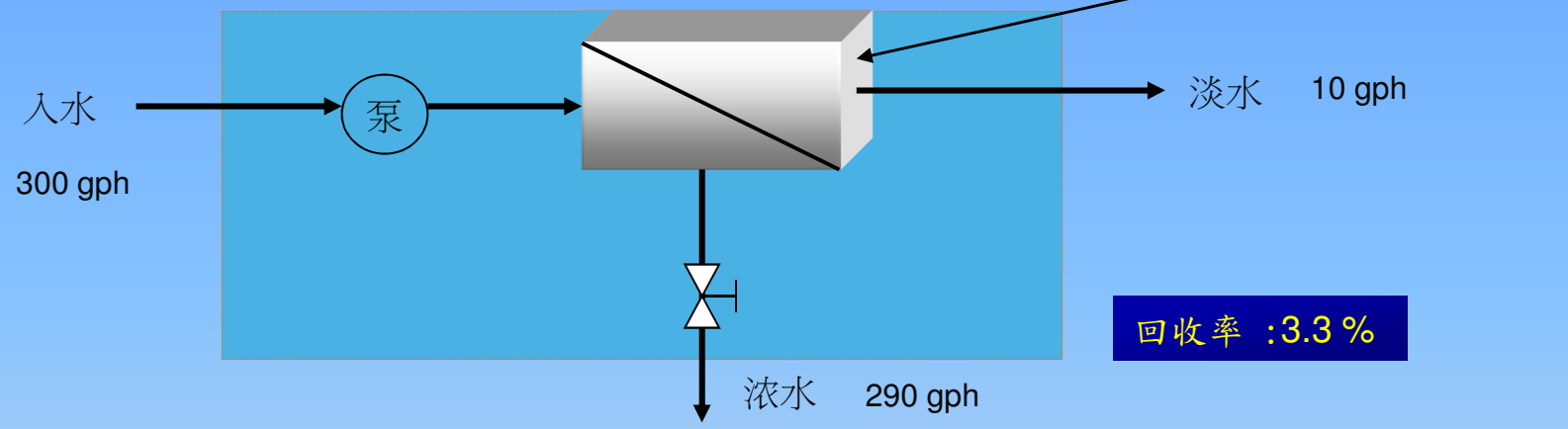


$$C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - RECOVERY)}$$

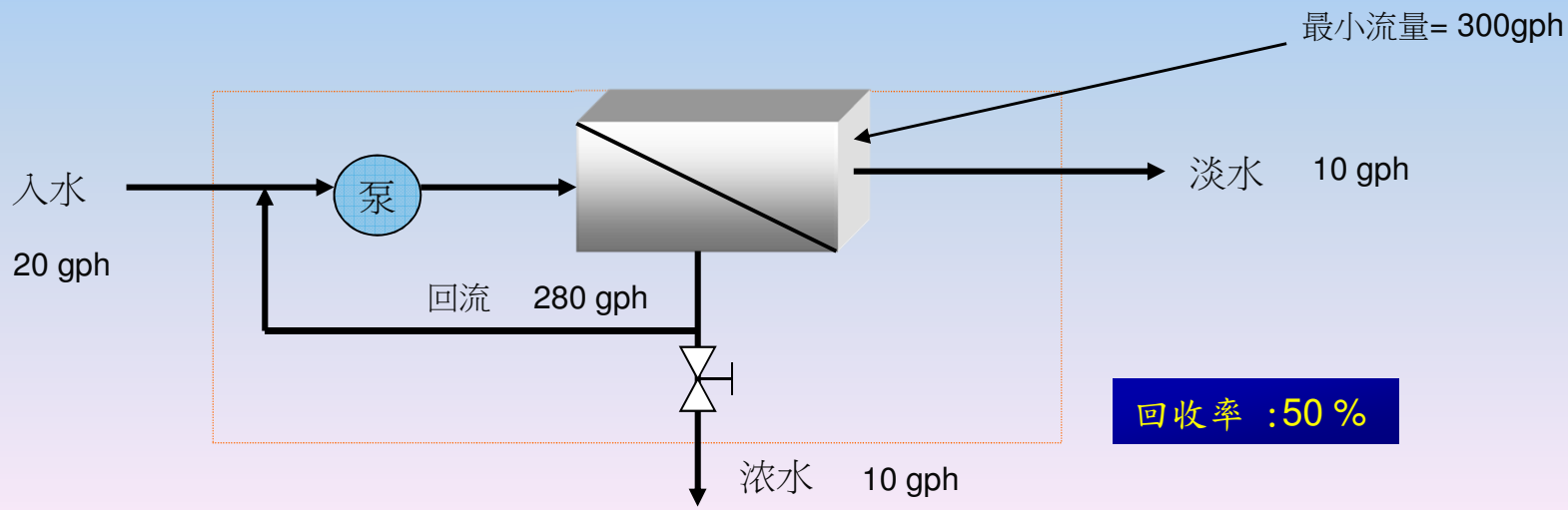
C_{feed} =1 ppm

怎样增加回收率

增加浓水回流



回收率 :3.3 %

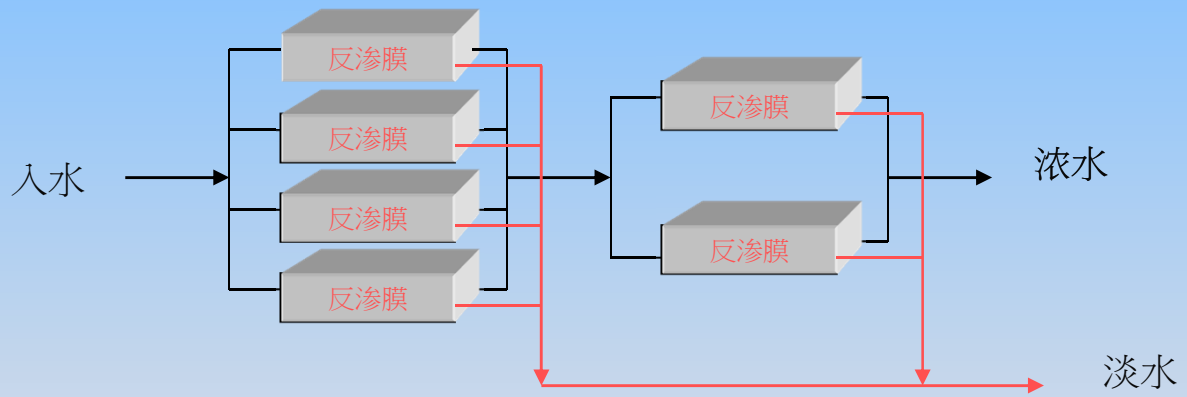


回收率 :50 %

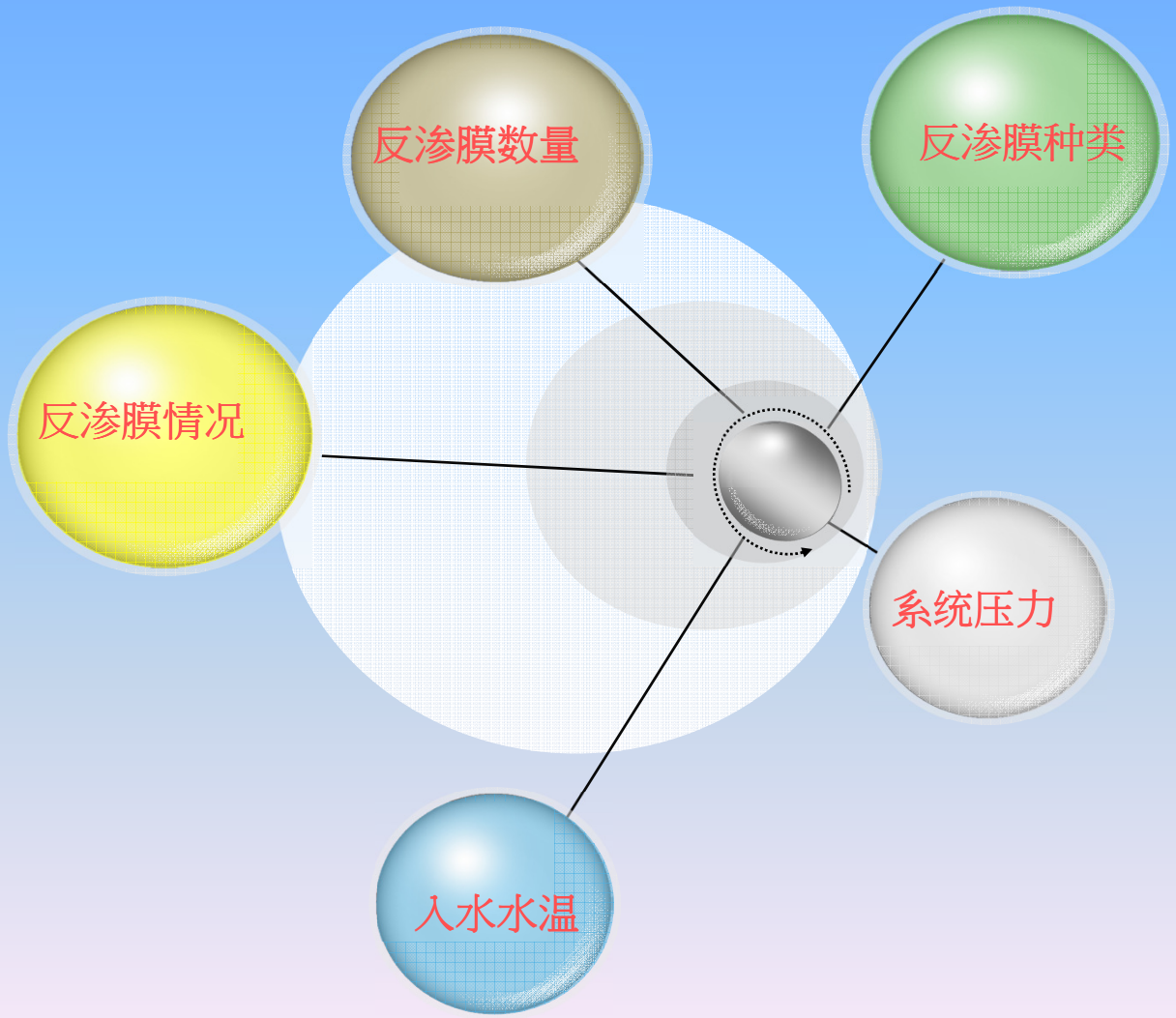
增加反渗膜数量

-为了增加回收率，可增加反渗膜数量，因每根反渗膜增加淡水流量.

-回流量减少，淡水水质可得到提高.



因素影向淡水流量



例子 一

设 回收率 :80 %

若 C_{feed} = 500 ppm

根据

$$C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - \text{RECOVERY})}$$

$$C_{conc} = 500 /(1-0.8) = 2500 \text{ ppm}$$

$$C_{avg} = \frac{C_{feed} + C_{conc}}{2}$$

$$C_{avg} = (500 + 2500)/2 = 1500\text{ppm}$$

当入水浓度低或回收率低;
C_{avg} 也相对地偏低, 对反渗透压力会较少.

氯化钠渗透压为 1 psig 相对于 100 ppm 总溶解固体 TDS

硫酸钠渗透压为 0.5 psig 相对于 100 ppm 总溶解固体 TDS

为了方便，我们假设所有总溶解固体为氯化钠

若 C_{avg} = 1500ppm

渗透压力= 1500/100 = 15 PSI

相对于 操作压力 200 PSIG，渗透压力（15 PSI）比例上较小，
可不用在计算上考虑.

例子 二

假若处理溶液为电镀, 海水 等高浓度溶液. 渗透压力必须考虑.

如电镀液浓度 = 2500 ppm; 回收率 = 95 %

根据

$$C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - \text{RECOVERY})}$$

$$C_{conc} = 2500 /(1-0.95) = 50{,}000 \text{ ppm}$$

$$C_{avg} = \frac{C_{feed} + C_{conc}}{2}$$

$$C_{avg} = (2500 + 50000)/2 = 26{,}250 \text{ ppm}$$

渗透压力= 260 psi ; 设计时必须考虑.

無機鹽	濃度	滲透壓力
氯化鈉	0.5%	55 psi
	1.0%	125 psi
	3.5%	410 psi
硫酸鈉	2.0%	110 psi
	5.0%	304 psi
	10.0%	568 psi
氯化鈣	1.0%	90 psi
	3.5%	308 psi
硫酸銅	2.0%	57 psi
	5.0%	115 psi
	10.0%	231 psi

有機鹽	濃度	滲透壓力
SUCROSE	3.3%	35 psi
MW	6.4%	73 psi
342	9.3%	110 psi
	24.0%	350 psi
	30.0%	500 psi
	35.0%	645 psi
DEXTROSE	3.3%	62 psi
MW	9.3%	190 psi
198	24.0%	605 psi
	30.0%	863 psi

MW	分子量
PPM =	10000 x 濃度百分比

其它浓度可用直线程序得出

$$\frac{\text{MW OF SUCROSE}}{\text{MW OF ORGANICS}} = \frac{\text{B OF SUCROSE}}{\text{B OF ORGANICS}}$$

B = 滲透压力

例子 四

Assume 有2% 糖水 (内含 20% Dextrose ; 80% Sucrose), 回收率 = 90%

Because , Dextrose 及 Sucrose 脱盐率为 99.9%

$$C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - \text{RECOVERY})}$$

$$C_{conc} = 2\%/(1-0.9) = 20\%$$

$$C_{avg} = \frac{C_{feed} + C_{conc}}{2}$$

$$C_{avg} = (2\%+20\%)/2 = 11\%$$

Dextrose = 0.2 x 11% = 2.2 %

Sucrose = 0.8 x 11% = 8.8 %

有機鹽	濃度	滲透壓力
SUCROSE	3.3%	35 psi
MW	6.4%	73 psi
342	9.3%	110 psi
	24.0%	350 psi
	30.0%	500 psi
	35.0%	645 psi
DEXTROSE	3.3%	62 psi
MW	9.3%	190 psi
198	24.0%	605 psi
	30.0%	863 psi

其它浓度可用直线程序得出

$$\frac{\triangle B_{suc} - 73}{110 - 73} = \frac{8.8 - 6.4}{8.8 - 6.4}$$

$$\triangle B_{suc} = 103.6 \text{ psi}$$

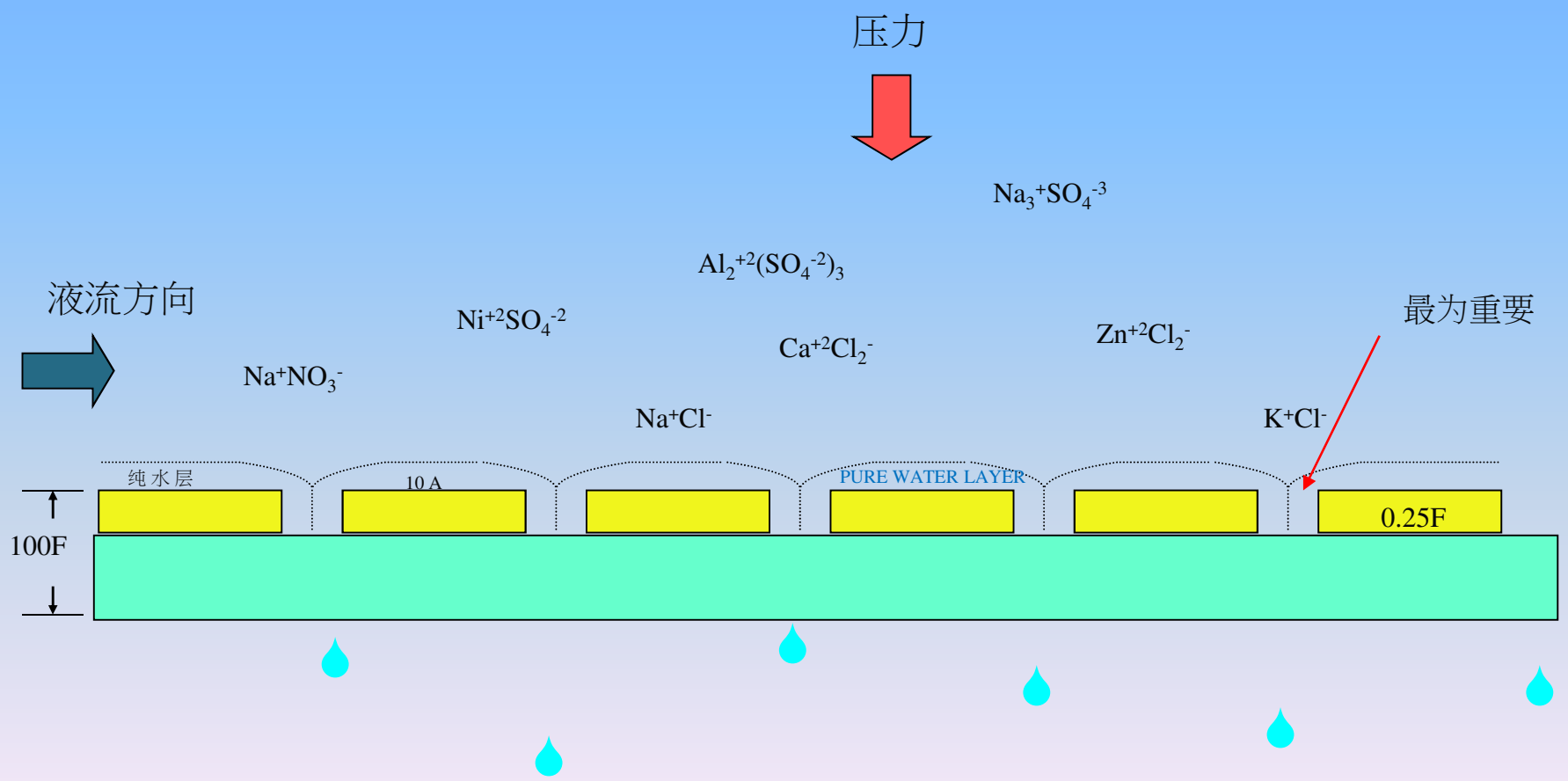
$$\frac{\triangle B_{dex} - 0}{62 - 0} = \frac{2.2 - 0}{3.3 - 0}$$

$$\triangle B_{dex} = 41.3 \text{ psi}$$

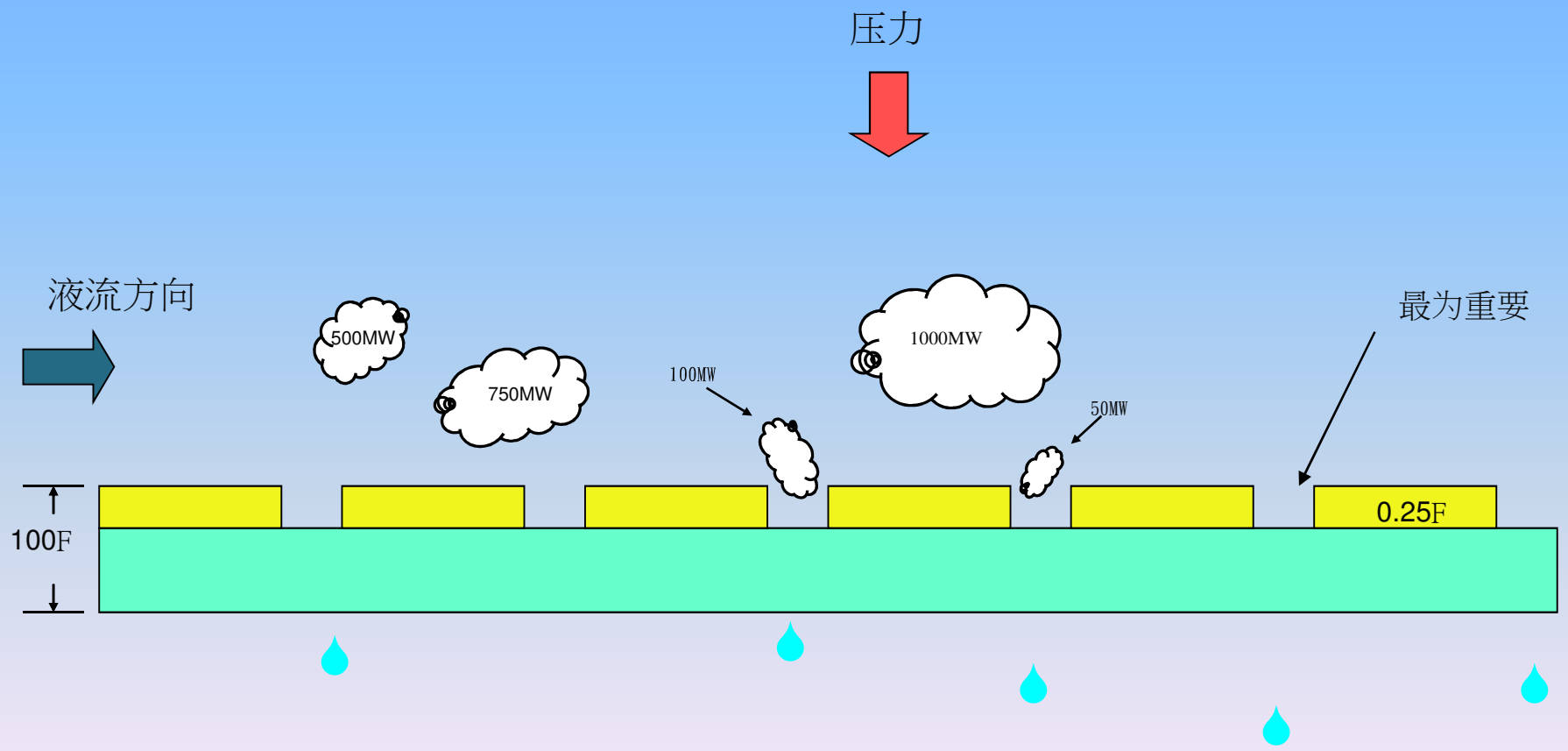
总渗透压为 = $\triangle B_{dex} + \triangle B_{suc}$

= 144.9 psi

由于压力, 水中离子互相排斥, 不同离子电荷多少,
偏离膜面有不同距离



有机物脱盐率是决定于分子的大小及其形状;
同时携带离子的有机物, 相对地更难通过.



例子 五

如何预测淡水内, 离子的浓度.
若 回收率 = 80%; Na^+= 100 ppm 进水; HR (PA) 膜

$$C_{conc} = \frac{C_{feed}}{(1 - \text{RECOVERY})}$$

$$C_{conc} = 100\ (1\text{-}0.8) = 500 \text{ ppm}$$

$$C_{avg} = \frac{C_{feed} + C_{conc}}{2}$$

$$C_{avg} = (100+500)/2 = 300 \text{ ppm}$$

$C_{perm} = C_{avg}$ x 通过率

$= 300 \times 0.04$

$= 12$ ppm

正離子			脫鹽率 (%)
SODIUM	鈉	Na^{+}	95 - 97
CALCIUM	鈣	Ca^{+2}	96 - 97
MAGNESIUM	鎂	Mg^{+2}	96 - 97
POTASSIUM	鉀	K^{+}	95 - 97
IRON	鐵	Fe^{+2}	98 - 97
MANGANESE	錳	Mn^{+2}	98 - 97
ALUMINUM	鋁	Al^{+3}	99+
AMMONIUM	銨	NH_4^{+}	88 - 97
COPPER	銅	Cu^{+2}	98 - 97
NICKEL	鎳	Ni^{+2}	98 - 97
ZINC	鋅	Zn^{+2}	98 - 97
STRONTIUM	鍶	Sr^{+2}	96 - 97
HARDNESS	硬度	Ca^{+2} & Mg^{+2}	96 - 97
CADMIUM	鎘	Cd^{+2}	96 - 97
SILVER	銀	Ag^{+}	94 - 97
MERCURY	汞	Mg^{+2}	96 - 97

負離子			脫鹽率 (%)
CHLORIDE	氯化物	Cl^-	95 - 97
BICARBONATE	酸式碳酸鹽	$HCO3^-$	95 - 96
SULPHATE	硫酸鹽	SO_4^{-2}	99+
NITRATE	硝酸鹽	NO_3^-	93 - 96
FLUORIDE	氟化物	F^-	94 - 96
SILICATE	硅酸鹽	SiO_2^{-2}	95 - 97
PHOSPHATE	磷酸鹽	PO_4^{-3}	99+
BROMIDE	溴化物	Br^-	94 - 96
BORATE *	硼酸鹽	$B_4O_7^{-2}$	35 - 70
CHROMATE	鉻酸鹽	CrO_4^{-2}	90 - 98
CYANIDE *	氰化物	CN^-	90 - 95
SULFITE	亞硫酸	SO_3^{-2}	98 - 99
THIOSULFATE	硫代硫酸鹽	$S_2O_3^{-2}$	99+
FERROCYANIDE	亞鐵氰化物	$Fe(CN)_6^{-3}$	99+
* 決定於酸鹼度			

分子量			脫鹽率 (%)
SUCROSE SUGAR	蔗糖	342	100
LACTROSE SUGAR	乳糖	360	100
PROTEIN	蛋白質	10000 UP	100
GLUCOSE	葡萄糖	198	99.9
PHENOL	苯酚	94	*** -
ACETIC ACID	醋酸	60	*** -
FORMALDEHYDE	甲醛	30	***
DYES	染料	400 TO 900	100
BOD	生化需氧量	BOD	90 - 99
COD	化學需氧量	COD	80 - 95
UREA	尿素	60	40 - 60
BACTERIA & VIRUS	細菌及病毒	50,000-500,000	100
PYROGEN	熱原體	1000-5000	100
GASES	氣體		
CARBON DIOXIDE	二氧化碳	CO_2	30 - 50
OXYGEN	氧	O_2	***
CHLORINE	氯	Cl_2	30 - 70

Thank You !