

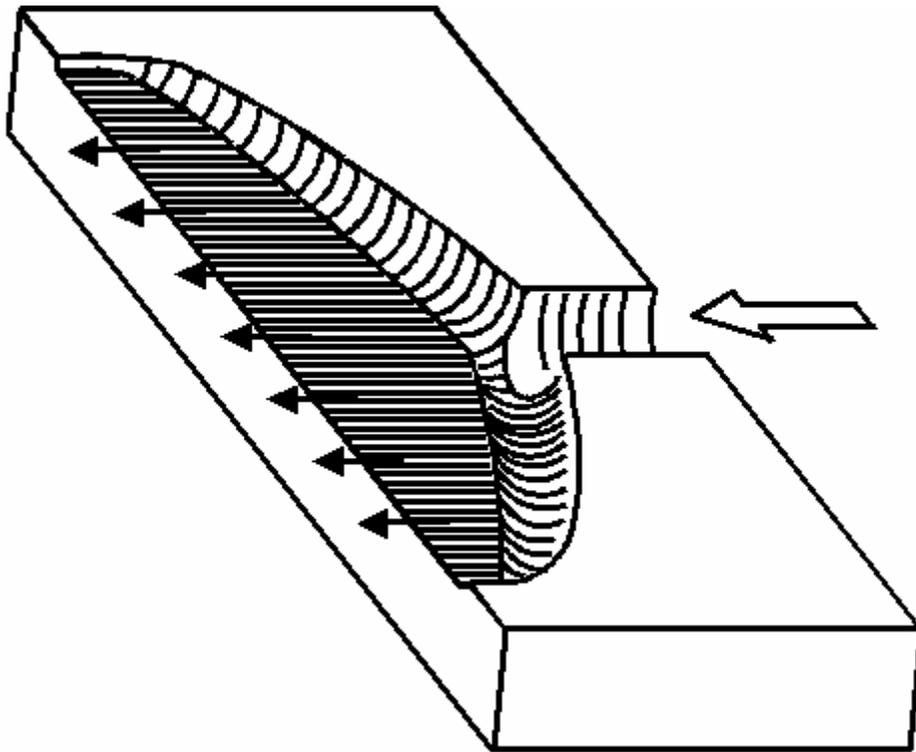
# 平膜押出模頭(Flat Dies)設計 與分析

國立高雄應用科技大學

模具工程系塑膠精密加工研究室

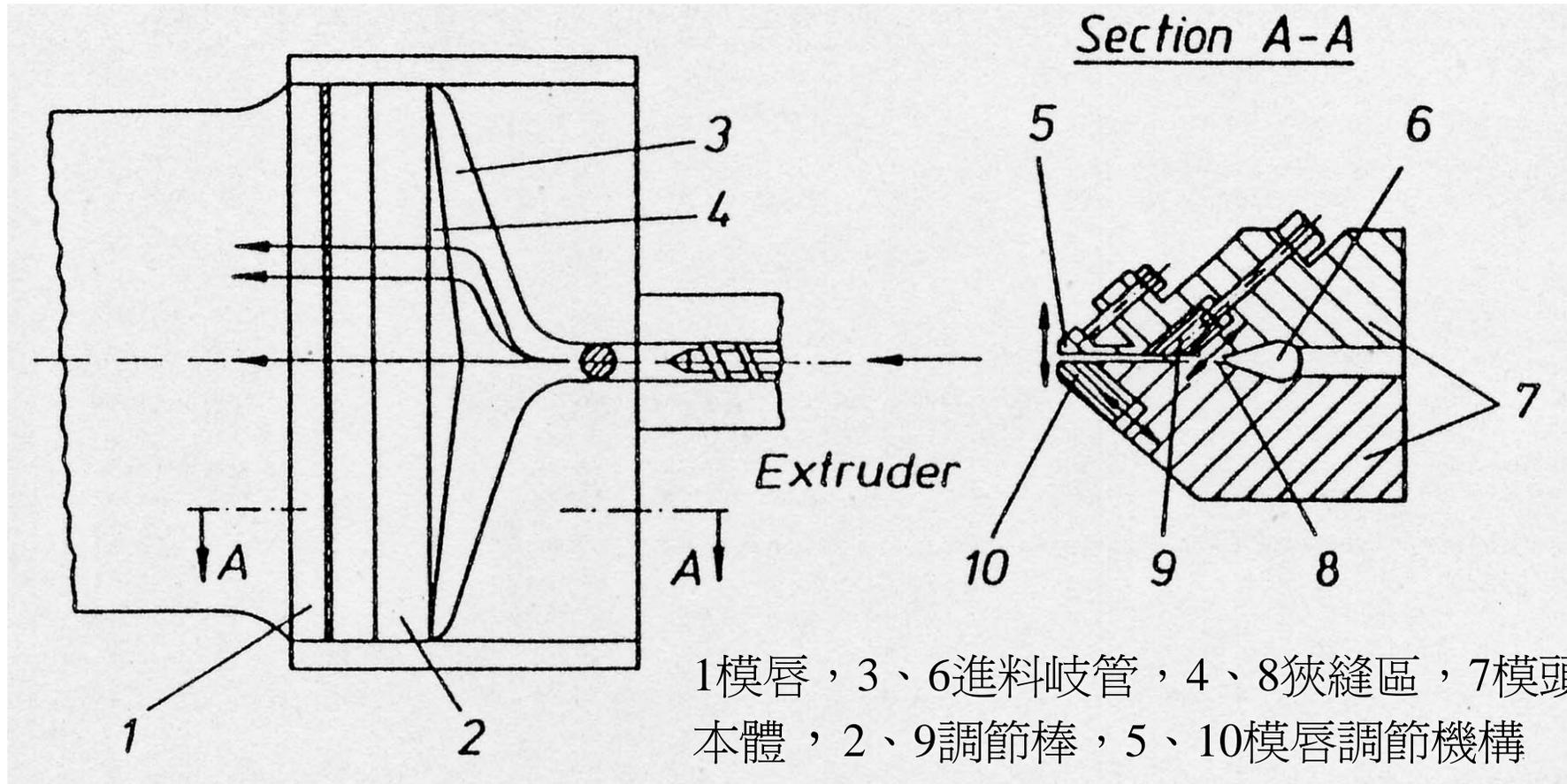
黃俊欽 教授

# 平膜押出模頭(Flat Dies)

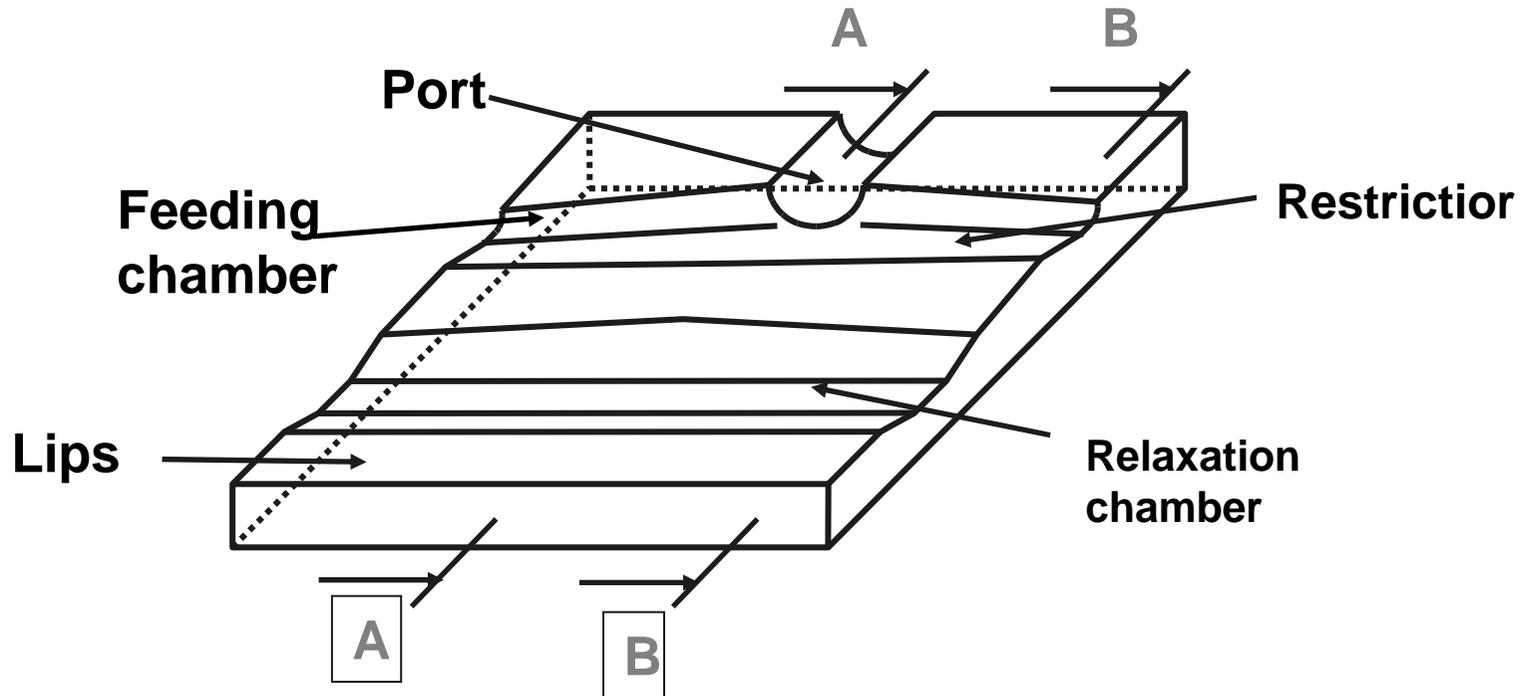


Compliments of ER-WE-PA  
Davis-Standard

# 塑膠平膜押出模頭



# 模頭斷面



**Cross-section at the centre of the die A - A**

**Cross-section close to the edge B - B**

鬆弛區

進料區

Relax. cham..

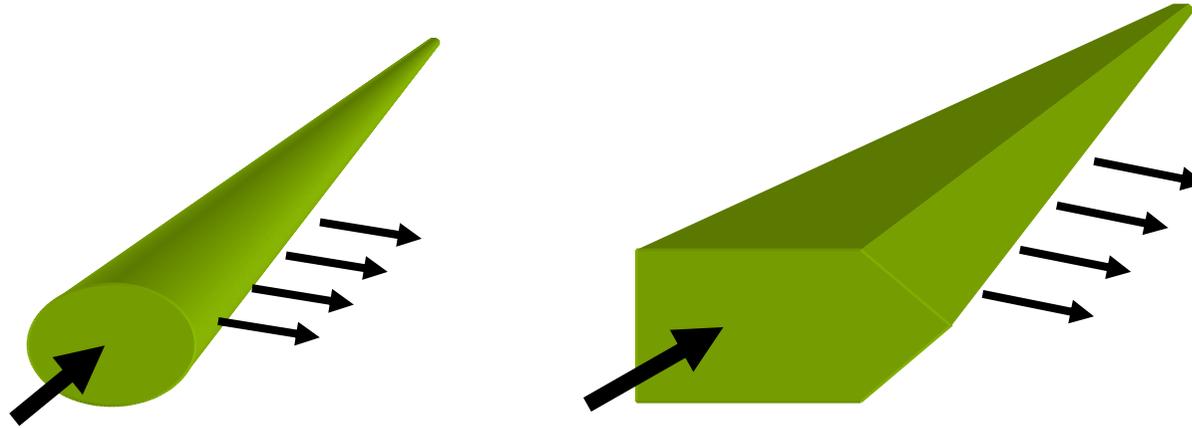
Feeding ch.



# 各部份功能

- 進料歧管(manifold)：將熔膠導流分配至整個寬度。
- 狹縫調節區(Restrictior)：導引熔膠沿軸向流動，並平衡熔膠在進料分配歧管內的壓力損失。
- 調節棒(choker bar)：調節熔膠流量，使其在整個寬度上均勻分配。
- 鬆弛區：使塑料有時間能釋放應力
- 模唇(lip)：控制押出物的尺寸，並配合後處理以得適當之產品。

# 進料岐管形狀



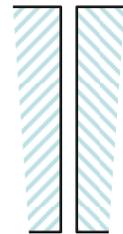
- 熔膠延進料區流動，將因洩流至夾縫區而使流量逐漸降低。
- 進料區的斷面漸縮使留在其內的熔膠，保持適當的速度，避免因流速太慢產生滯流。



進料岐管  
末端因滯  
流而產生  
燒焦。

# 狹縫區的不同間隙設計

在中央區有較長且較窄的流道以限制流量

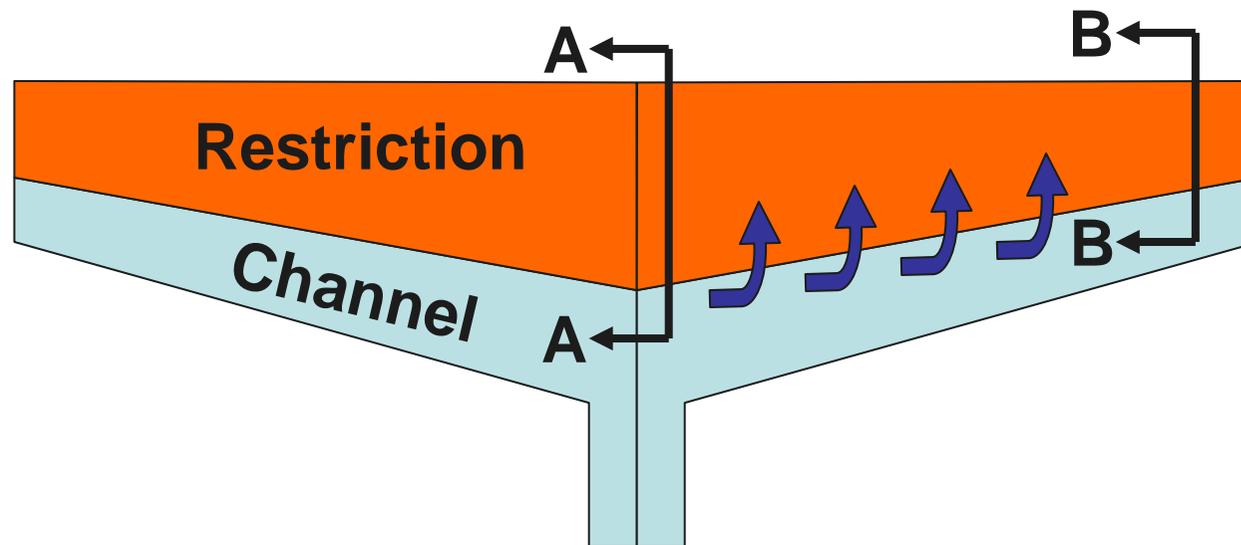


A - A

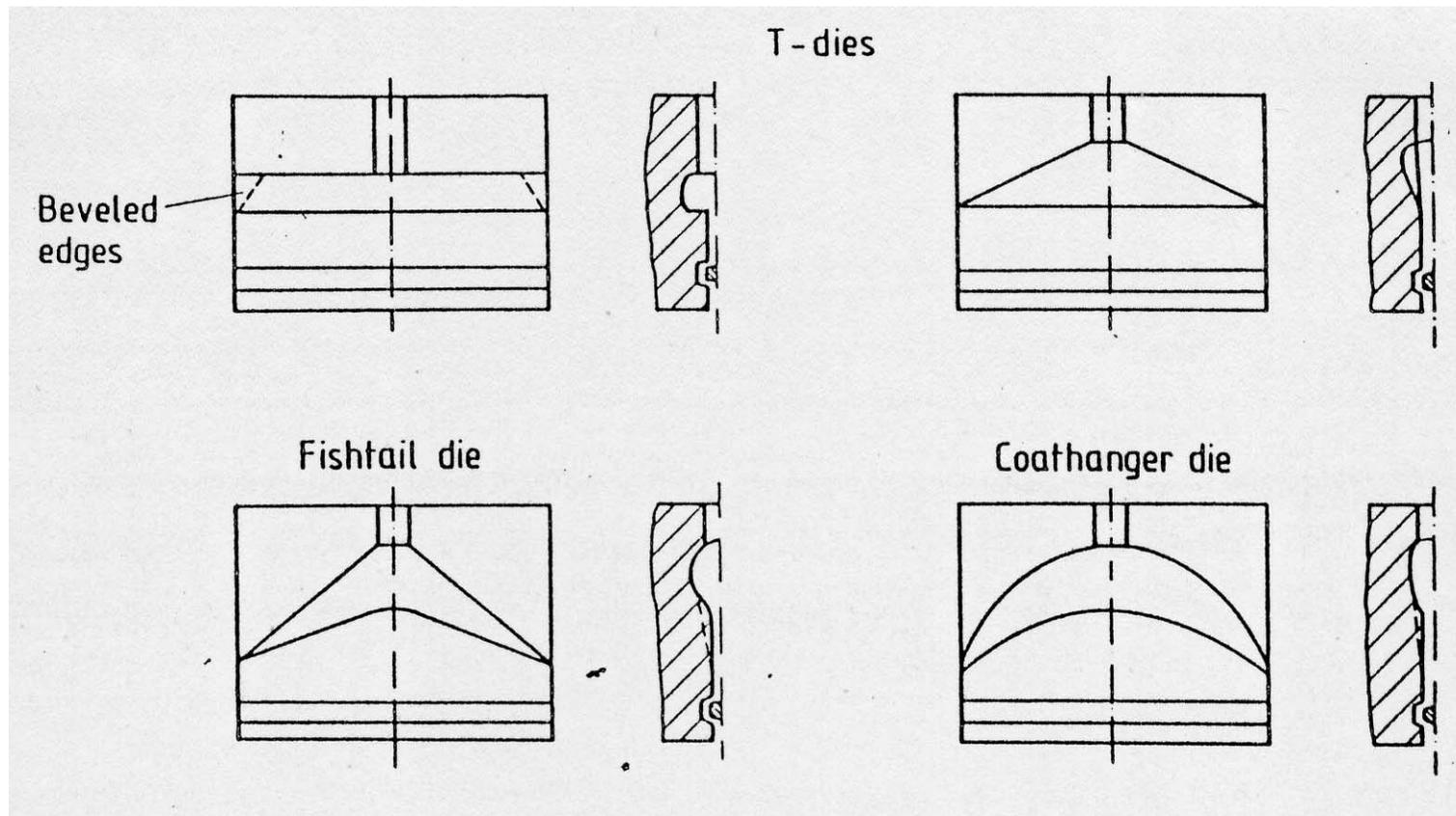


B - B

在邊端有較短且較寬的流道以促進流量



# 不同型式的分配區 (feed channel & Restrictor)

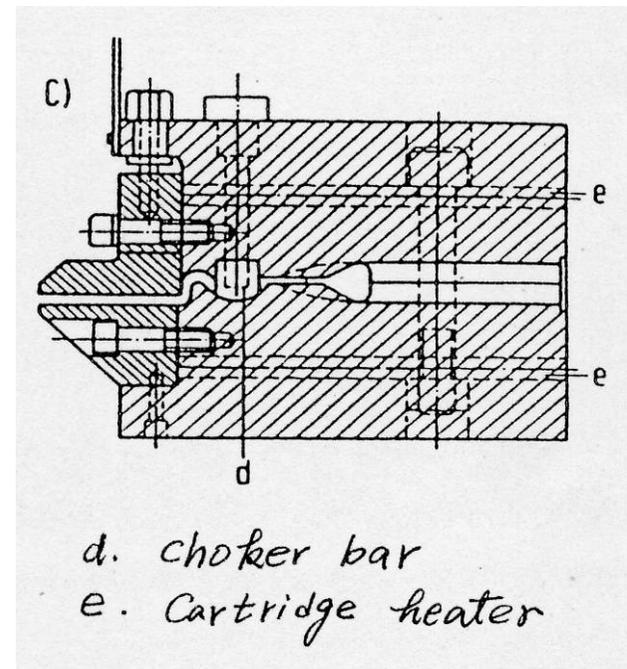
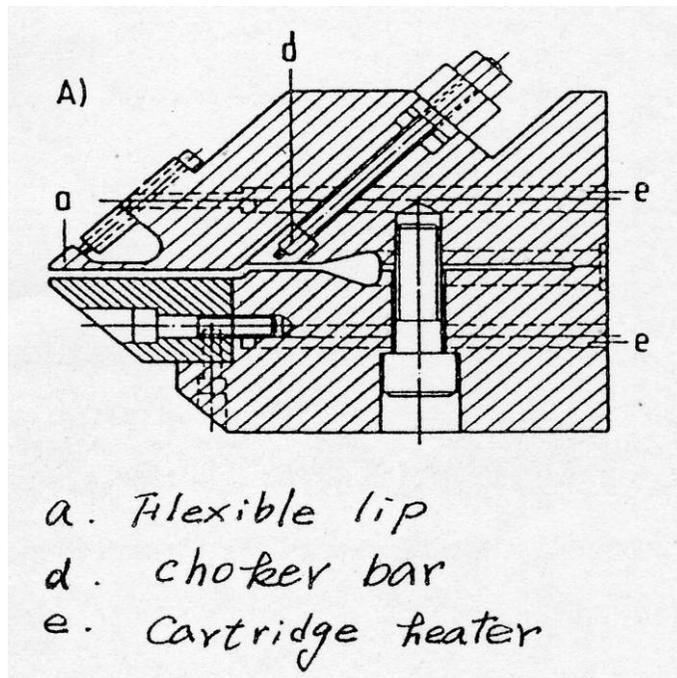


# 各種岐管的比較

	衣架模頭 Coat hanger	T-型模頭 T-Dies	魚尾型模頭 Fishtail
製造成本	偏高	便宜	中等
出口流量 均勻度	佳	差	中等
調節方式	choker bar	flex lip	choker bar
其它特性	1. 對操作條件獨立性高 2. 適於平板押出	1. 不適用於熱敏性膠料的押出 2. 一般用於 coating	1. 性質界於前兩者之間

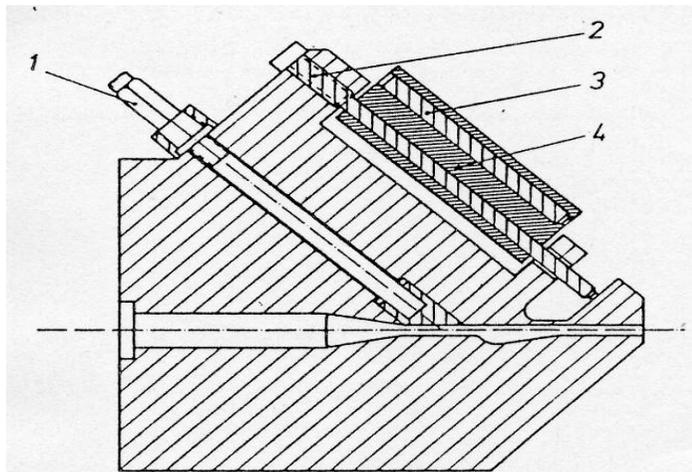
## 調節棒(choker bar)

- 利用調整棒調整流量在寬度方向的流量均勻度。
- 調整棒往下，此處流道受限，熔膠流量減少，調整棒往上，此處流道較暢通，熔膠流量增加。
- 斜式的調整棒加工較困難，但比較不會產生滯流區。
- 垂直式的調整棒加工較易，但比較會在前端產生滯流區。



# 模唇(lip)

- 利用其彈性變形可微調出口の間隙以促進流量均勻，而且不會對流場產生明顯干擾。
- 調整方式以電熱控制調節桿的熱脹冷縮進行之。
- 可在模唇區作一導流溝使壓力及流量較均勻。
- 模唇區提供熔膠一個均勻地應力分佈，並且控制押出物的尺寸。
- 模唇區的長度與間隙比(L/H)一般約 10:1 ~ 30:1，但大部分約 20:1



[61], 1 Bolt for the choker bar adjustment, 2 Bolt for the lip adjustment, 3 Bolt heating, 4 Heating block



# 狹縫模頭的設計重點及目標

## ■ 設計重點：

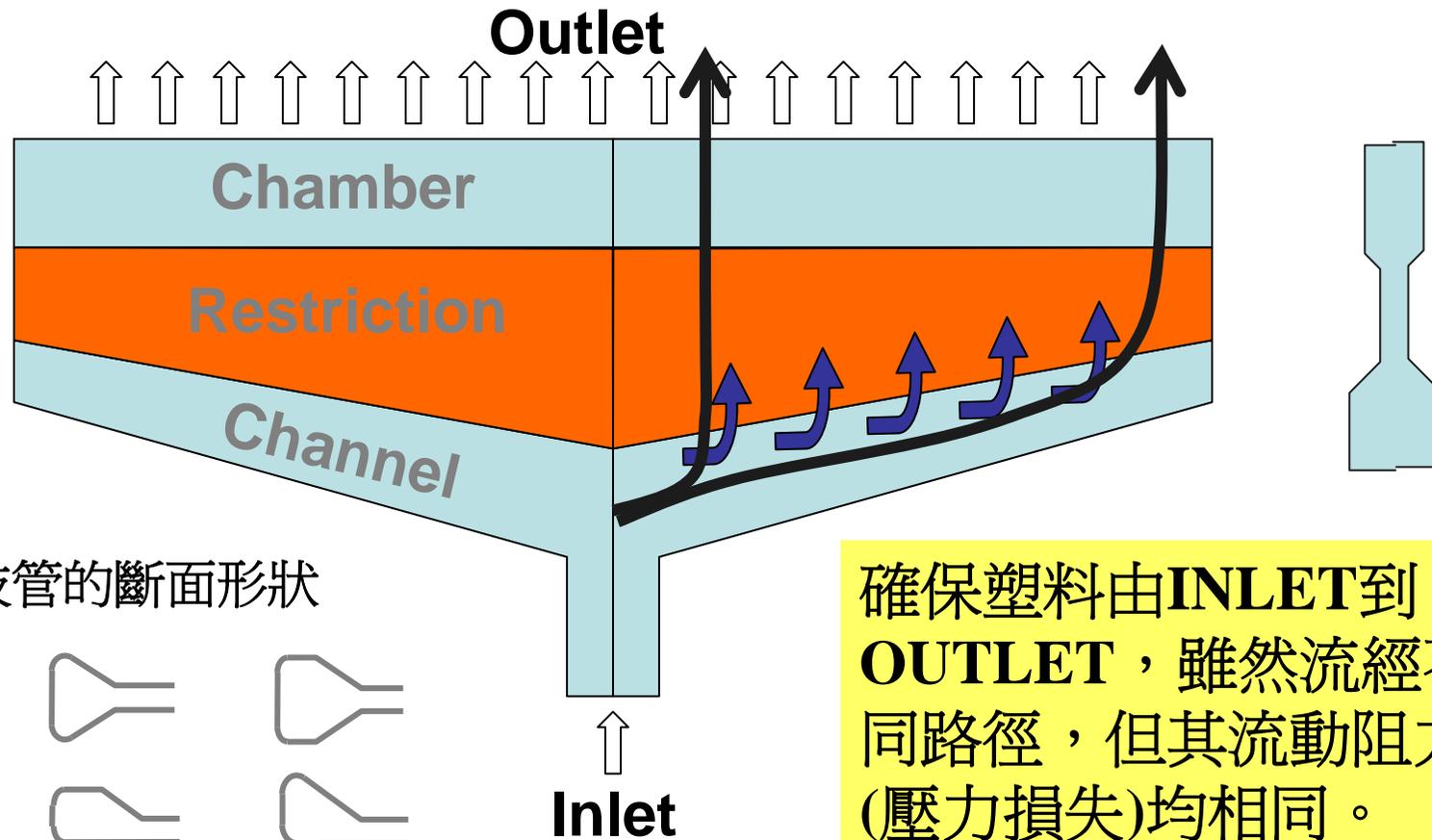
- 分配岐管與狹縫區的幾何形狀

## ■ 設計目標：

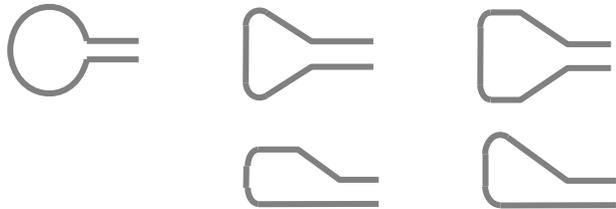
- 均勻的流量分佈
- 較低的壓力損失
- 均勻的滯流時間分佈
- 剪切率不宜過小，造成滯流。
- 剪切應力不宜過大，造成押出物表面粗糙。
- 對操作條件及不同的塑料有較廣的使用範圍

# 設計原理

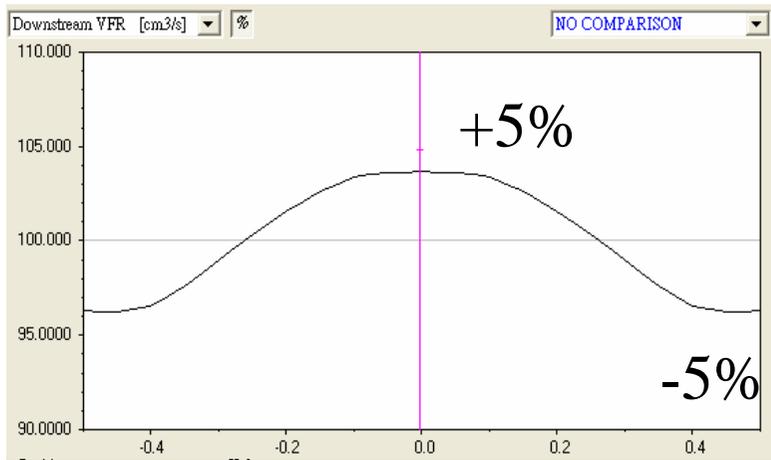
滿足均勻流量的條件  $\longrightarrow \Delta P1 = \Delta P2$



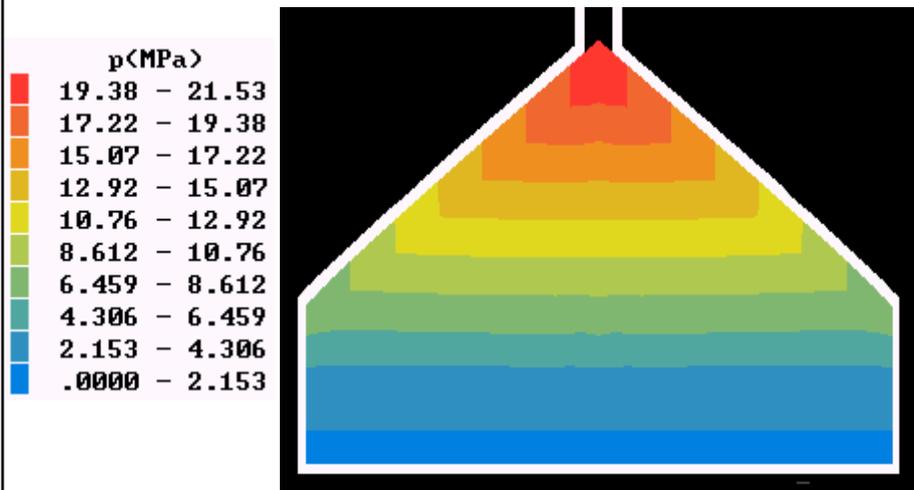
進料歧管的斷面形狀



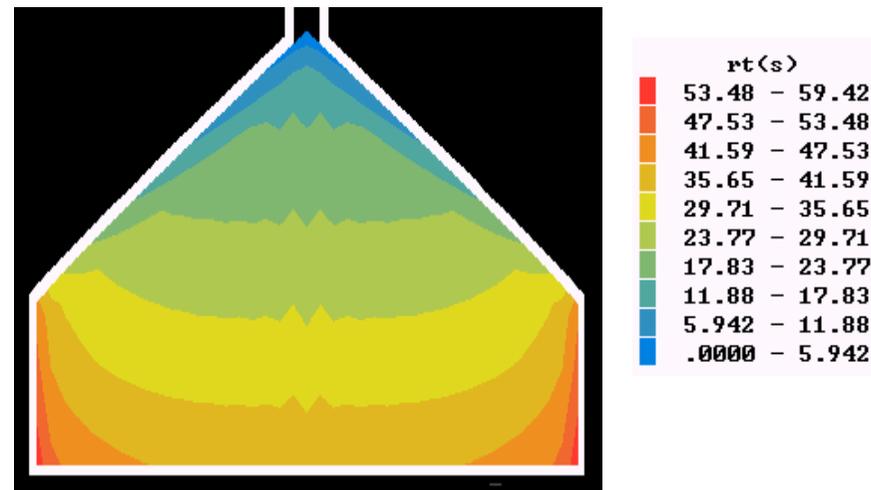
確保塑料由**INLET**到**OUTLET**，雖然流經不同路徑，但其流動阻力(壓力損失)均相同。



出口流量分佈

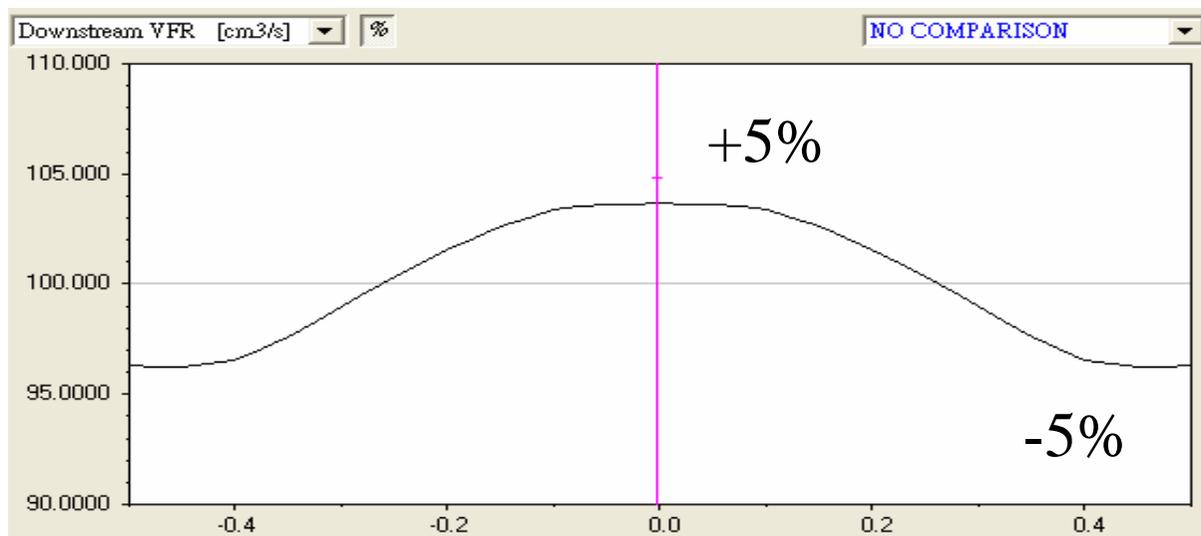


模頭內壓力分佈

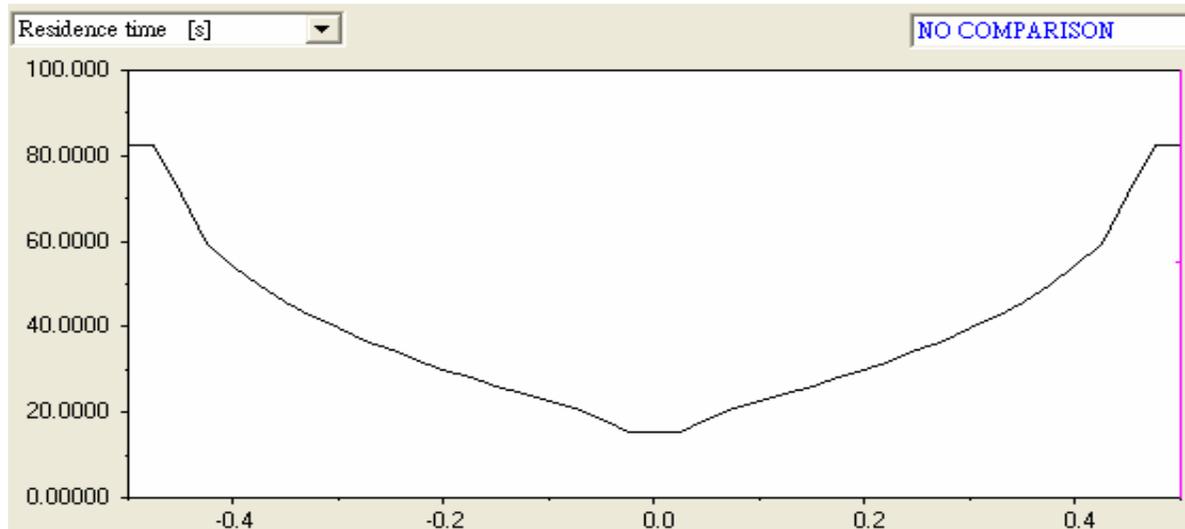


滯流時間分佈

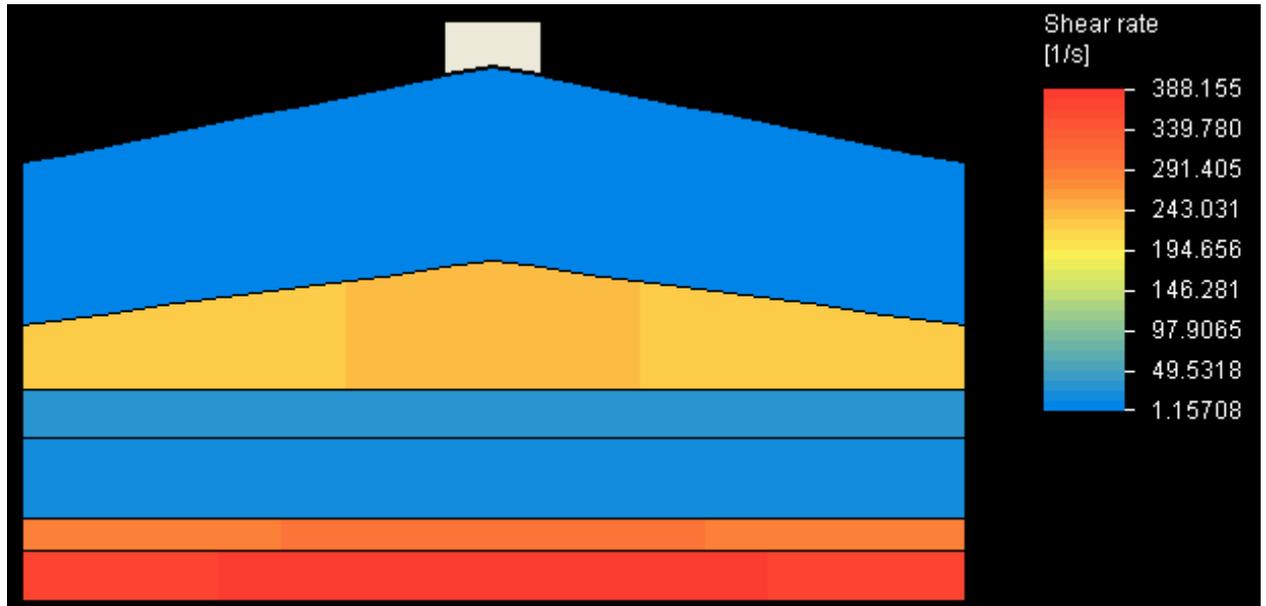
# 出口處的流量分佈與滯留時間分佈



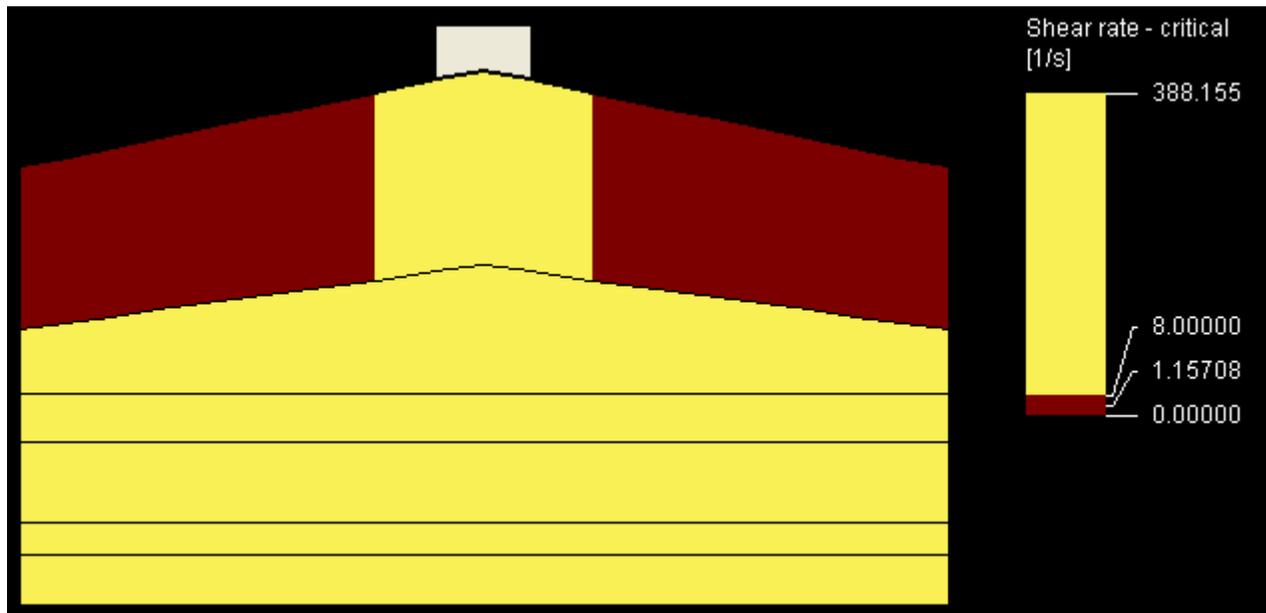
流量分佈



滯留時間分佈



剪切率分佈



小於臨界  
剪切率的  
區域，容  
易滯流。

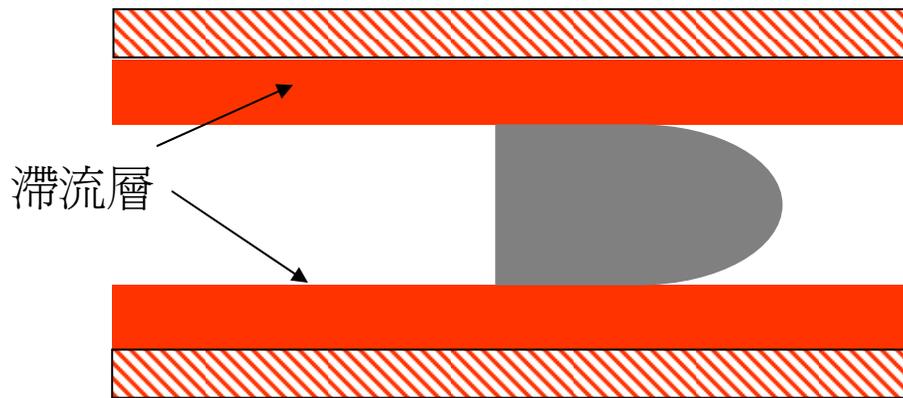
# 模頭設計的注意事項

## ■ 塑料的適用種類

## ■ 產能範圍

- 由產能下限及產能上限，決定模頭內部流道尺寸
- 避免流速過低，滯留時間過長，造成變色。
- 模壁剪切率過低，無法拖拽黏附在管壁的熔膠層，熔膠黏附在管壁形成熱劣解。
- 避免流速過快，膠黏在管壁上的剪切率及剪切應力過大，造成押出物表面品質不佳，如鯊魚皮。
- 若剪切應力過高，也會造成分子鏈被剪斷，降低產品機械物性

# 管道效應(Channeling)



適當的流速將在模壁上產生足夠的剪應力，扮演擦式的作用，可以避免滯流層的生成。若塑料流速太低，則滯留時間將增長，易導至劣化。甚至低到產生“channeling”現象，即塑料只從流道中心通過，而靠近模壁的区域則因速度過低呈靜止狀態。在押出模頭內部的流動，最小剪切率一般要求在 $10(1/s)$ ，在此情況下，以MI=1的LDPE為例，其相對的剪應力約30kPa。

# 模頭設計的注意事項

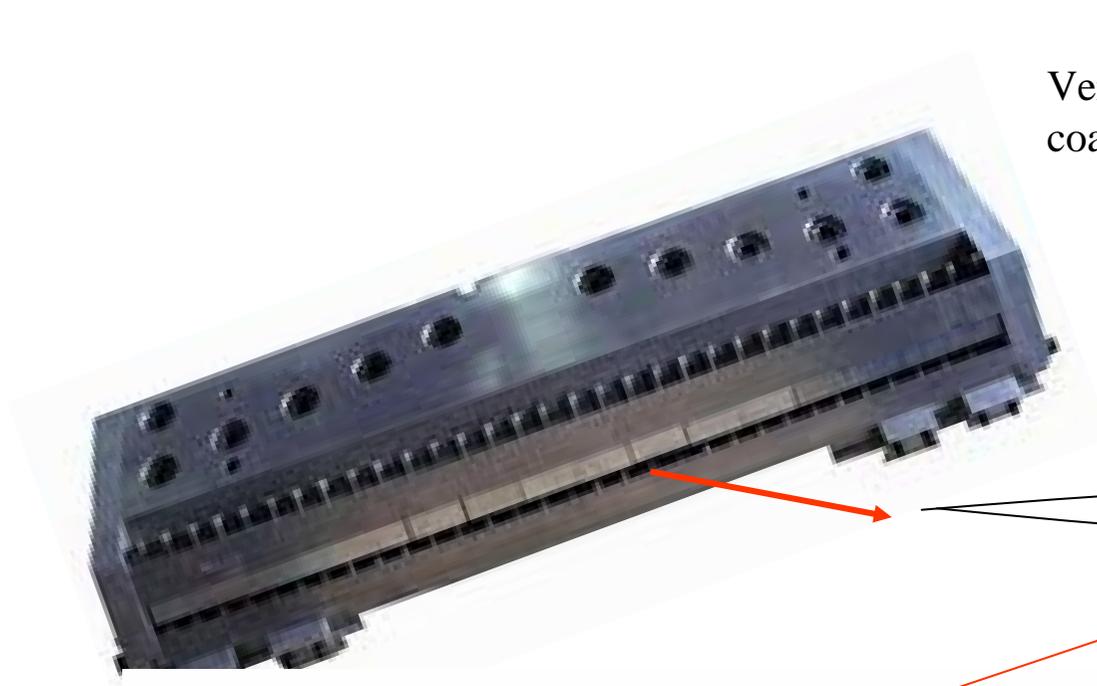
## ■ 最大壓降(Maximum Pressure Drop)

- 在最大產能下，應避免模頭內壓過大，造成模頭變形。
- 在最小產能下，應避免模頭所提供的背壓不足，造成塑料熔化不佳。背壓不足可藉由增加過濾網提高螺桿背壓。
- 由模頭內壓，決定模頭壁厚及結構強度。

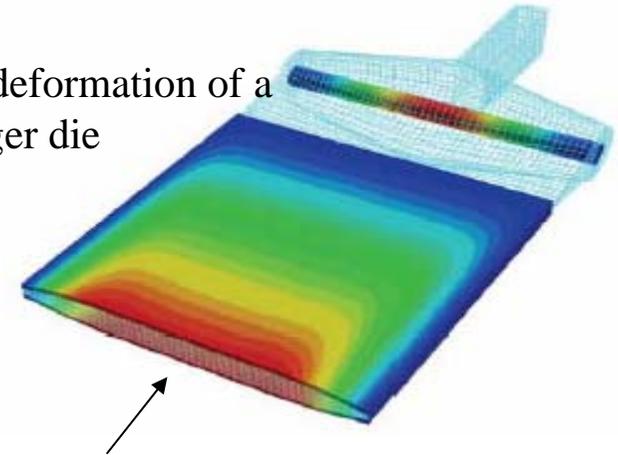
## ■ 滯留時間的差異不宜太大

- 熔膠通過模頭的滯留時間愈均勻愈好，滯留時間差異所造成的押出物溫度偏差應在可接受範圍。

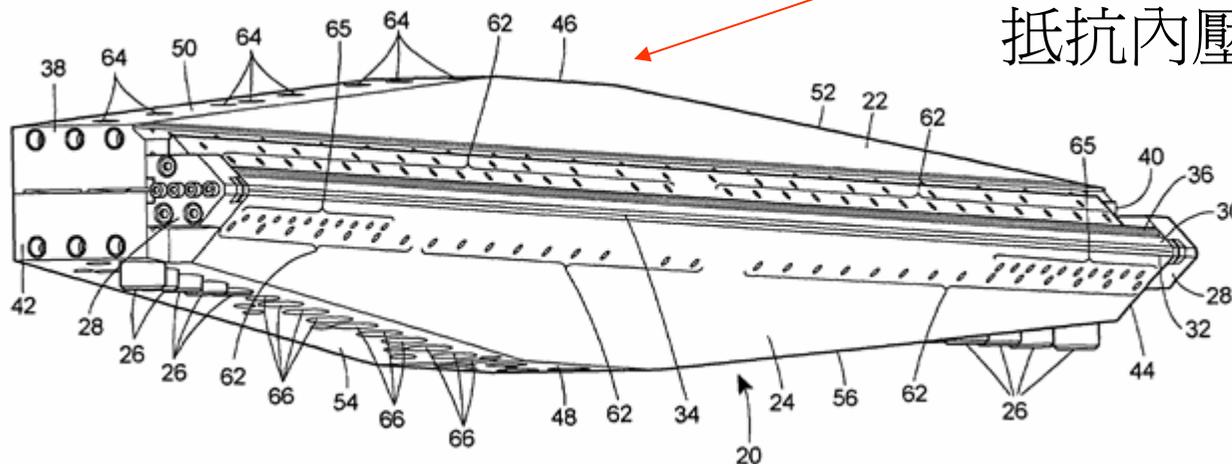
# T-型模頭因壓力過大而變形



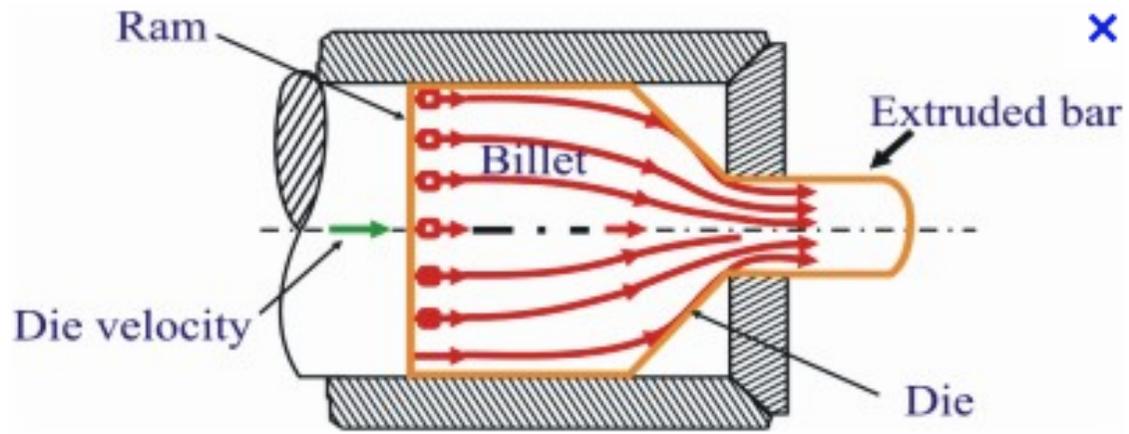
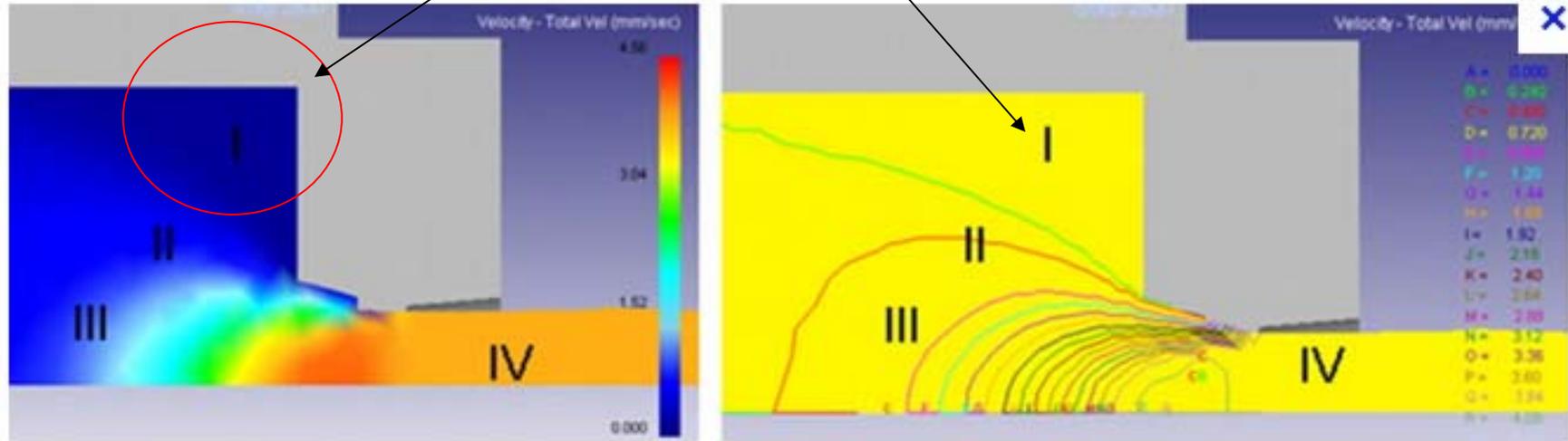
Vertical deformation of a coat hanger die



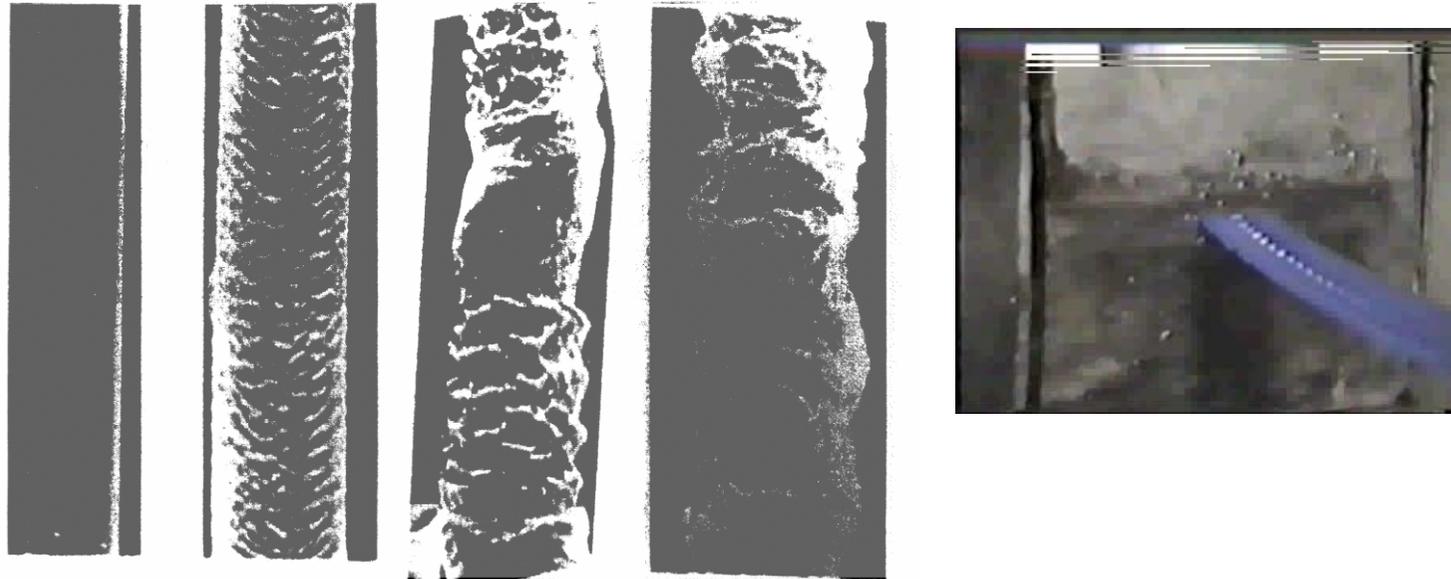
增加模頭中間模壁厚度以抵抗內壓，避免變形。



滯流區



# 押出物表面缺陷(surface defects)

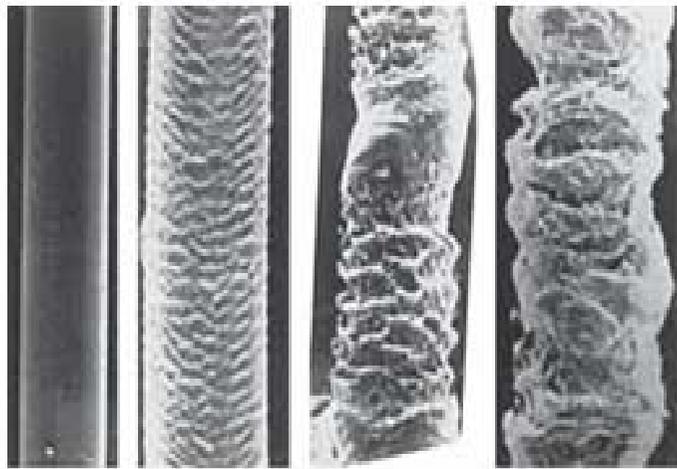


- 鯊魚皮Shark skin – 產品具有粗糙的表面，破壞了表面的美觀
- 以PVC為例，其臨界壁剪切應力(Critical wall shear stress)約 140 kPa，超過此值即會有此現象。
- 降低壁剪切應力的方法有增加溫度、增加出口間隙、使用滑劑

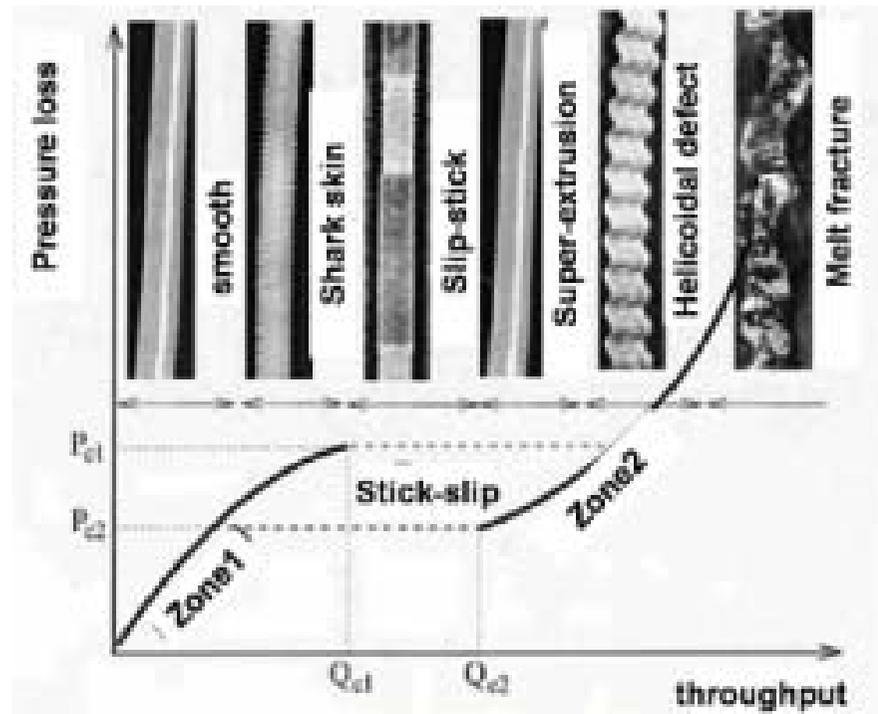
# 剪切應力臨界值與熔融破裂

- 鯊魚皮 **Shark skin** – 產品具有粗糙的表面，破壞了表面的美觀
- 以 **PVC** 為例，其臨界壁剪切應力 (**Critical wall shear stress**) 約 **140 kPa**，超過此值即會有此現象。
- 降低壁剪切應力的方法有增加溫度、增加出口間隙、使用滑劑

光滑 鯊魚皮 滑動 螺旋變型 熔融破裂



流量增加(剪切率shear rate增加)



# 設計時的基本假設

- 恆溫、穩定且完全發展的層狀流動模式。
- 流體為不可壓縮
- 忽略入口及出口效應
- 模壁上無滑動現象
- 將分配岐管假設成圓形，並以形狀因子校正其他斷面形狀的分配岐管
- 整個狹縫區(**Restrictor**)的間隙是相同的



# 方法一

$$R(x) = R_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y(x) = y_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R_o = 0.842(BH^2)^{\frac{1}{3}}$$

$$y_o = 1.474(HB^2)^{\frac{1}{3}}$$

# 方法二

此方法計算步驟：

- (1). 給一  $Ro$  值及操作條件 ( $V_o$ )，計算剪切率。
- (2). 將剪切率代入熔膠的組成方程式計算出黏度。
- (3) 計算出  $y_o$
- (4) 決定模頭的形狀

$$\eta_R = f(\dot{\gamma}_R)$$

$$\eta_S = f(\dot{\gamma}_S)$$

$$\dot{\gamma}_R = \frac{4V_o}{\pi R_o^3} \bullet e_o$$

$$\dot{\gamma}_S = \frac{6V_o}{LH^2} \bullet e_{oo}$$

$$e_o = 0.815$$

$$e_{oo} = 0.772$$

$$\Rightarrow y_o = \frac{\eta_R}{\eta_S} \frac{H^3 L^2}{\pi R_o^4} \Rightarrow$$

$$R(x) = R_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y(x) = y_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}}$$

# 方法三

$$R(x) = R_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$R_o = \left[ \frac{m^n (3n+1)}{2(2n+1)} \right]^{\frac{1}{3(n+1)}} \left( \frac{H^2 L}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$y(x) = y_o \left[ 1 - \frac{H(x)}{H(x^*)} \right]$$

$$y_o = \frac{3H(x^*)L^{n+1}H^{2n+1}}{2R_o^{3n+1}} \left[ \frac{(3n+1)}{2\pi(2n+1)} \right]^n$$

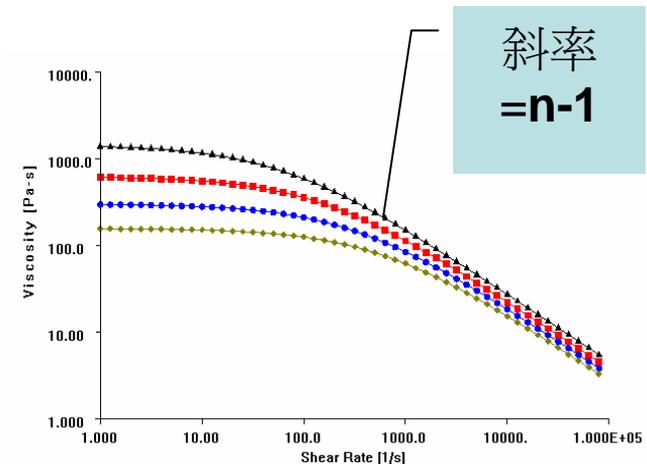
$$H(x) = \left\{ (1-\lambda)^{\frac{1}{2}} + \lambda \ln[1 + (1-\lambda)^{\frac{1}{2}}] \right\} - \left\{ \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \left[ \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}} - \lambda \right]^{\frac{1}{2}} + \lambda \ln \left[ \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}} + \left[ \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{2}{3}} - \lambda \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

$$H(x^*) = \left\{ (1-\lambda)^{\frac{1}{2}} + \lambda \ln[1 + (1-\lambda)^{\frac{1}{2}}] \right\} - \frac{\lambda}{2} \ln \lambda$$

$$\lambda = \left( \frac{\pi R_o^2}{mLH} \right)^2 \quad m = \frac{dx/dV_x}{dz/dV_z} \quad n : \text{flow index}$$

■ 由  $m$  及  $n$  計算  $R_o$ ，再計算  $\lambda$ ，再計算  $H(x)$ 、 $H(x^*)$ ，再計算  $y_o$ ，即可求得  $R(x)$  及  $y(x)$

黏度曲線



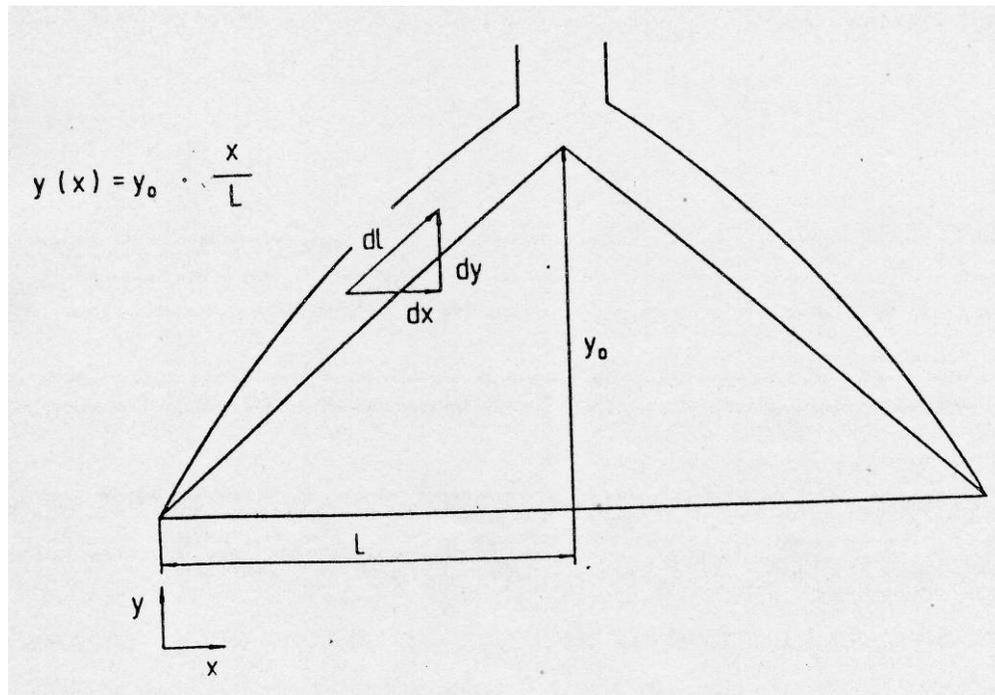
# 方法四

$$R(y) = R_o \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{n}{3n+1}}$$

$$R_o = \left\{ \frac{H^{2n+1}}{\sin \theta} \left[ \frac{L(3n+1)}{2\pi(2n+1)} \right]^n \right\}^{\frac{1}{3n+1}}$$

$$y = y_o \left(\frac{x}{L}\right)$$

$$y_o = L \tan \theta$$



■ 由  $n$  及  $\theta$  計算  $R_o$  及  $y_o$ ，即可求得  $R(x)$  及  $y(x)$ 。

# 實例分析

- 加工溫度190C，流量200 kg/hr，比重1.4的情形下欲由衣架模押出，模頭出口狹縫為1050 mm \* 2.2 mm
- 由黏度與剪切率的資料進行曲線擬合(curve fitting)並以power-law model描述熔膠的流變性質

$$\eta = k \dot{\gamma}^{n-1}$$

	170 C	190 C	210 C
n	0.3575	0.3308	0.3534
k(Pa.S )	39957.3	22120.9	12746.8

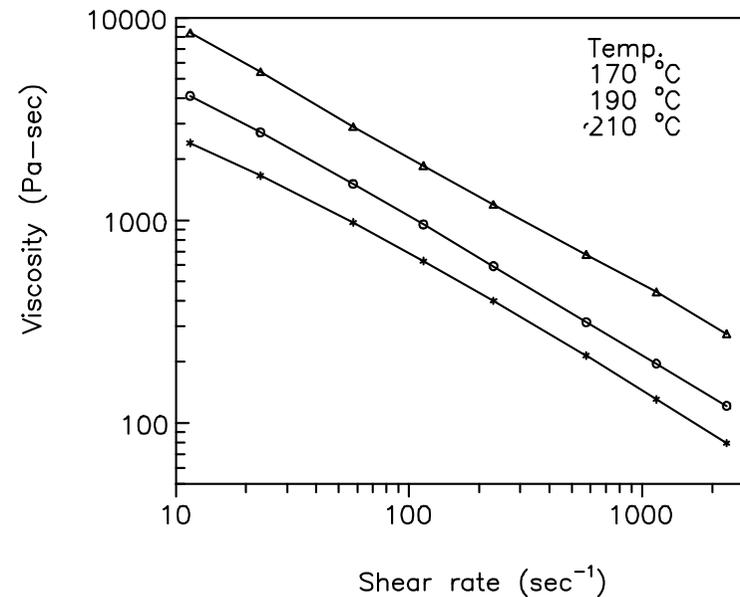


Figure relationship between viscosity and shear rate

# 不同方法所設計的進料區及夾縫區型狀

中央 → 邊端

只繪出一半模頭

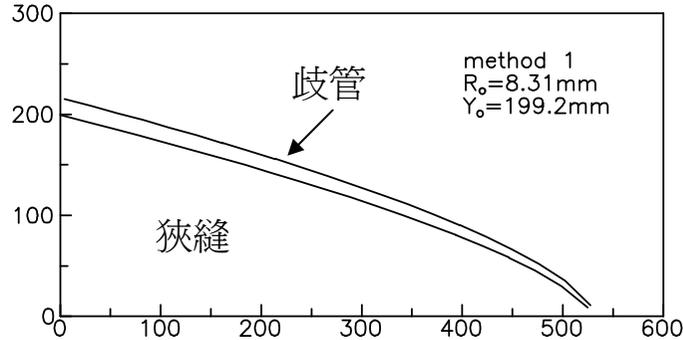


Fig.1 Geometry of coat-hanger die designed by method 1

方法一

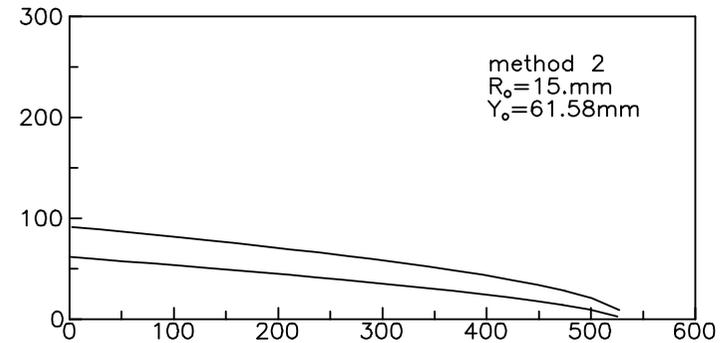


Fig.2 Geometry of coat-hanger die designed by method 2

方法二

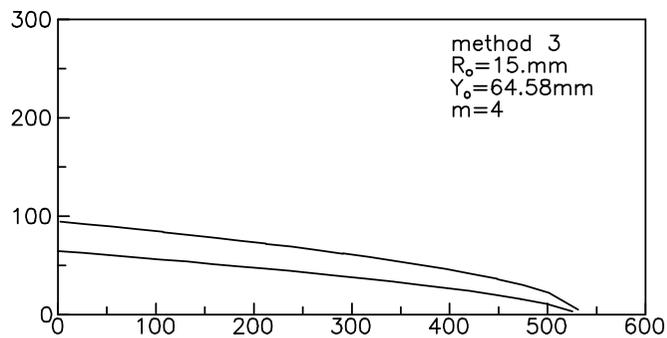


Fig.3 Geometry of coat-hanger die designed by method 3

方法三

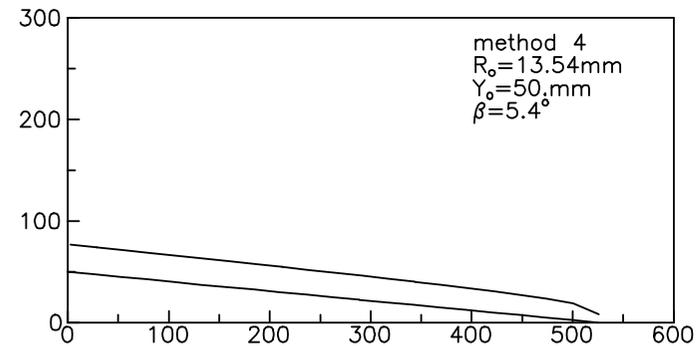


Fig.4 Geometry of coat-hanger die designed by method 4

方法四

# 評估模頭特性的項目

- 流量均勻度：愈接近1愈佳，表示整個寬度流量均勻
- 總壓力降：壓力降小，表示產量可以提高
- 滯流時間：流經不同路徑的滯流時間愈均勻愈好
- 平均滯流時間：愈短愈好

$$UI = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{q_i}{q_{ave}} - 1 \right)^2}$$

# 模頭特性評估

	RO	YO	流量偏差	P(bar)	RT ratio
方法1	8.311	199.2	+4.8%~-14.4% (UI=0.938)	184.6	0.97
方法2	13.54	50	+0.17%~-0.04% (UI=0.99)	55.17	10.04

RT ratio=熔膠走邊端的時間/熔膠走中央的時間

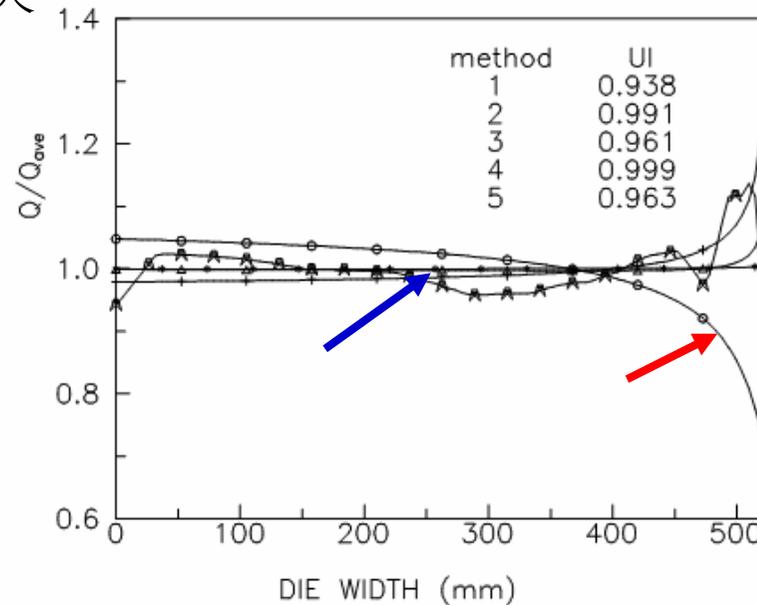
P(bar)=熔膠通過模頭的壓力損失

方法1：

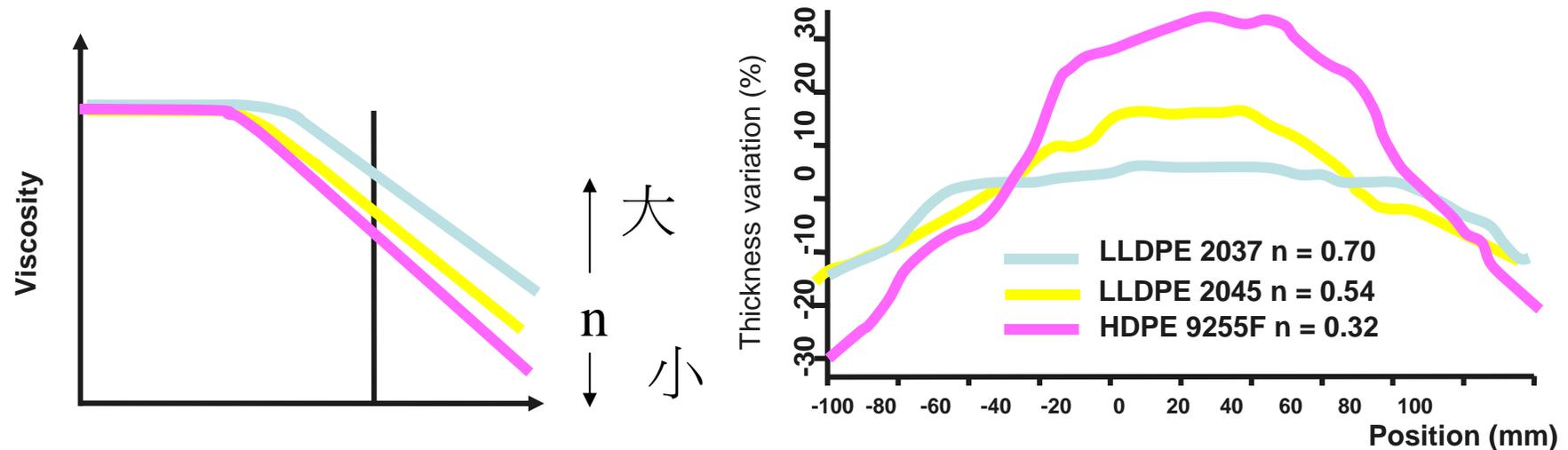
流量均勻度尚可，模頭較長，壓損大，RT較均等。

方法2：

流量均勻度佳，模頭較短壓損小，RT差異大。

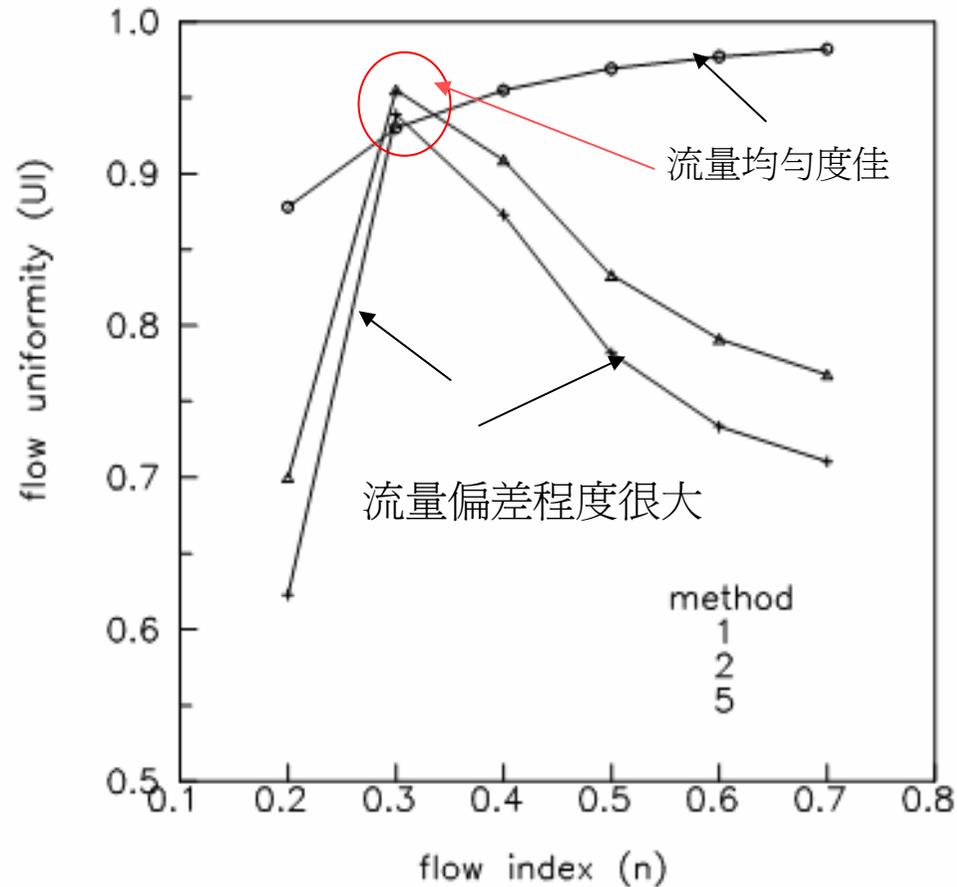


# 不同設計方法的適用性比較



■ 同一付模頭對不同塑料的適用性不同，且對塑料的流變性質非常敏感。

# 不同設計方法的適用性比較



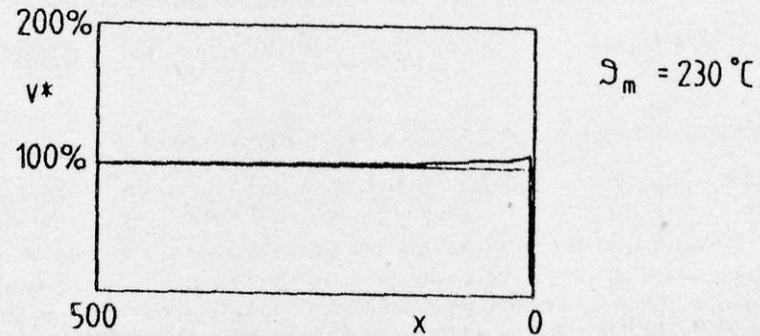
不同的塑料

- 設計1屬於泛用型，對不同塑料都有不錯的流量均勻度，適用性佳
- 設計2針對 $n=0.33$ 的塑料，流量均勻度非常好，但用於 $n=0.2$ 或 $n>0.4$ 則流量均勻度明顯降低，表示流量偏差程度很大。

# 各種設計方法的特色

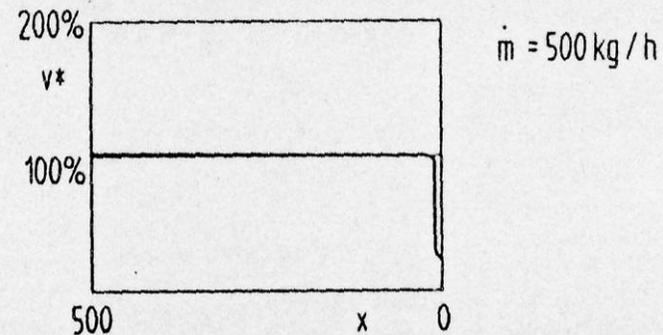
- **method 1** 所設計的模頭與塑料的性質無關，其land長度最長，而分配管管徑最小，這將導致最大的壓力損失，但流經模頭中心位置與末端的滯留時間偏差較小，即有最均勻的滯留時間分佈。
- **method 2** 有相當好的流量均勻度，但滯留時間分佈偏差校較大。
- 此類平板模頭對熔膠流變性質非常敏感。針對某種塑料所設計的模頭往往不適合用於其他塑料，除非有相近的 **flow index n** 值。
- **method 1** 所設計的模頭形狀對不同性質塑料的適用性最好，當 **n** 值大於**0.25**以上時都可得到均勻的流量分佈。

# 操作條件對流量均勻度的影響



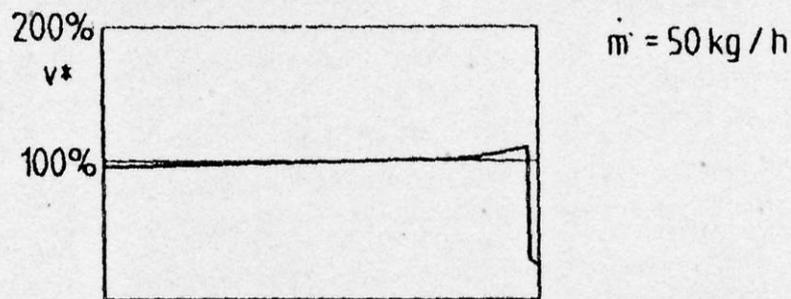
a) Distribution of the volume flow rates for an increased melt temperature

增加溫度：影響不大



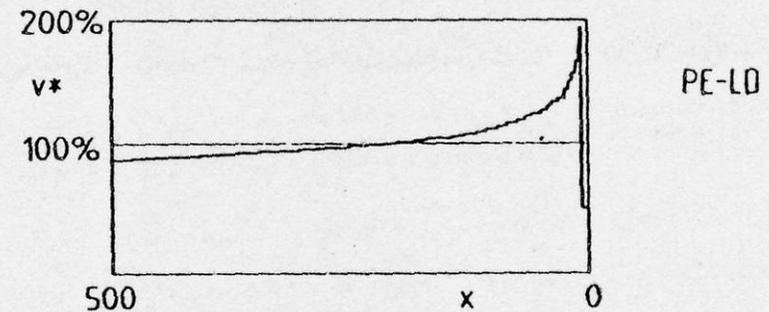
b) Distribution of the volumetric flow rates for an increased mass throughput

增加流量：影響不大



c) Distribution of the volumetric flow rates for a reduced mass throughput

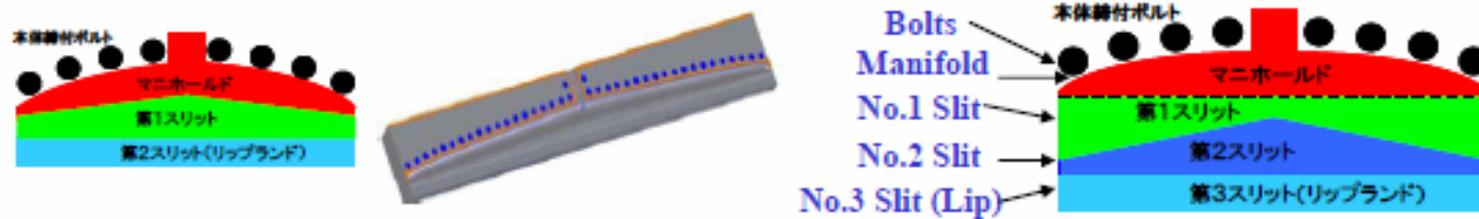
減少流量：影響不大



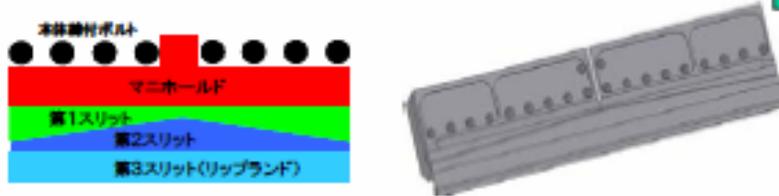
b) Distribution of the volume flow rates for a different polymer

改變塑料：影響明顯

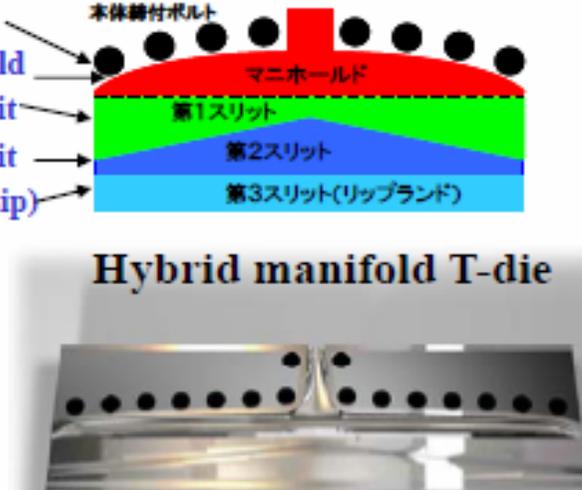
# 其它设计方式



Coat-hanger T-die

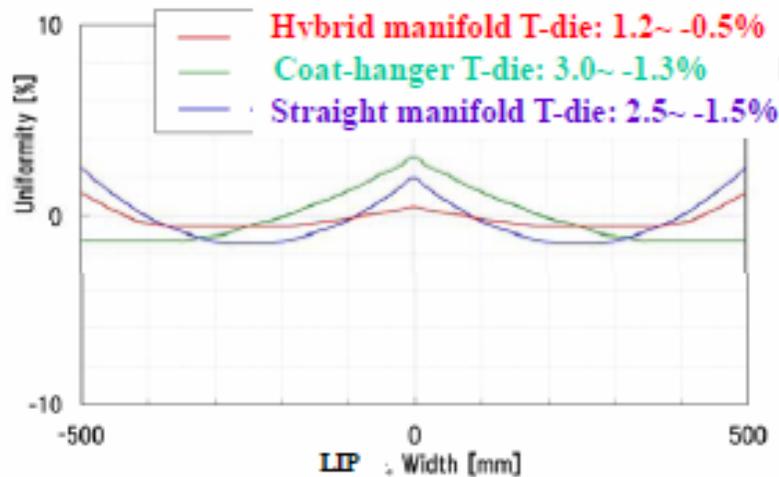


Strait manifold T-die

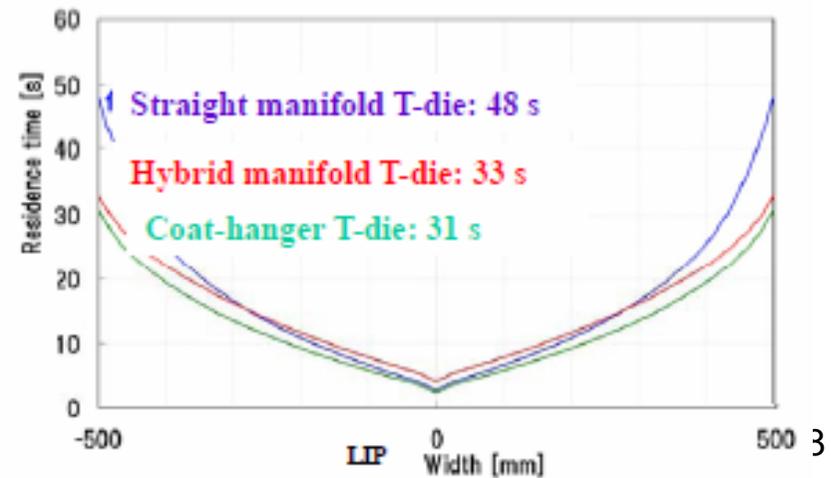


Hybrid manifold T-die

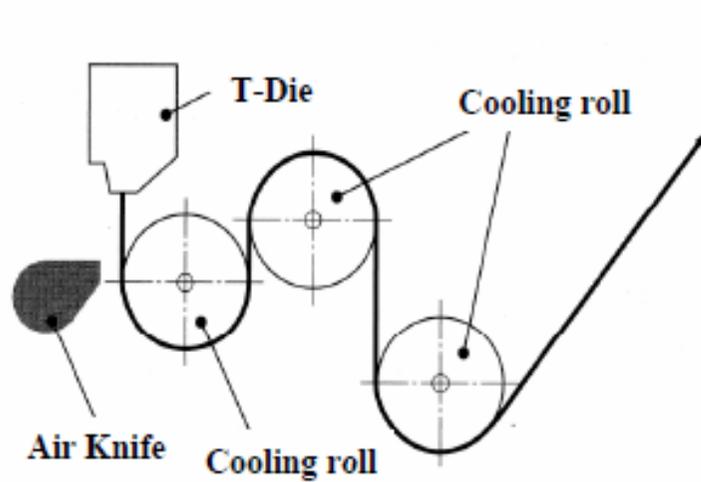
Thickness uniformity



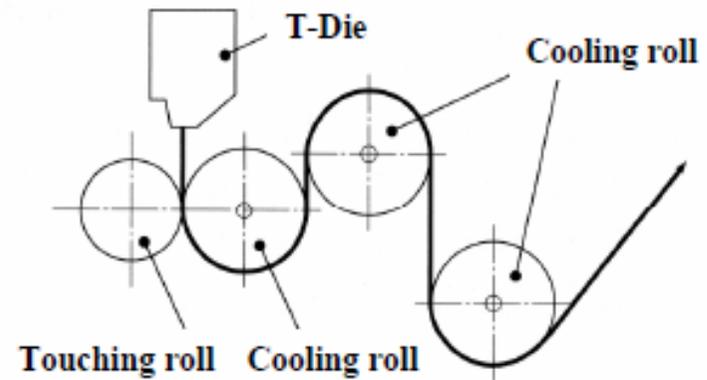
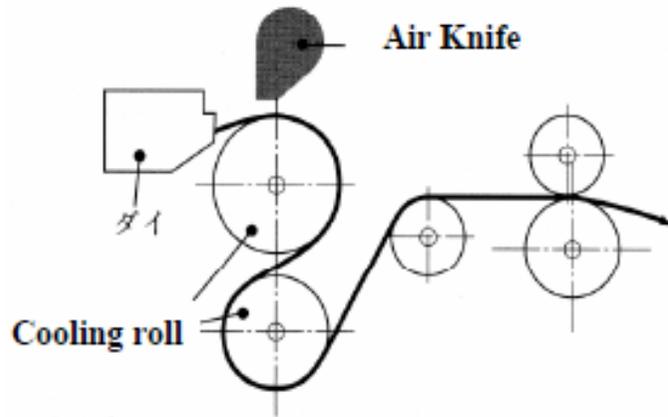
Residence time



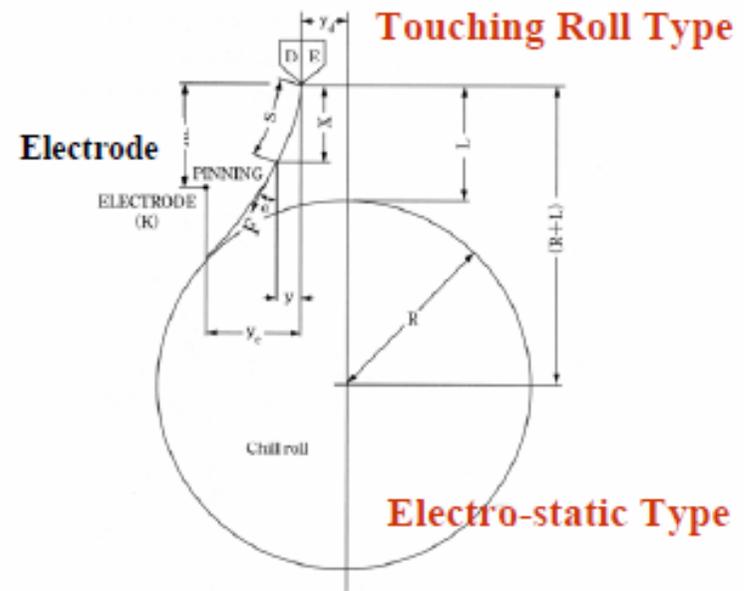
# 薄膜與輥輪的接觸方式



**Air Knife Type**

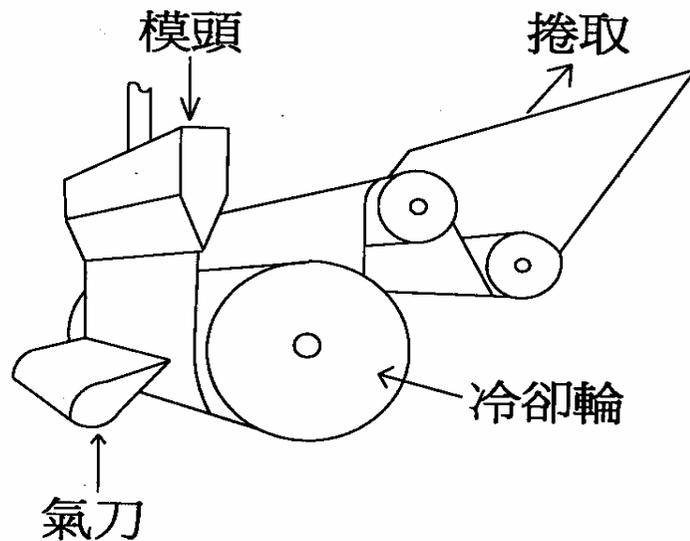


**Touching Roll Type**



**Electro-static Type**

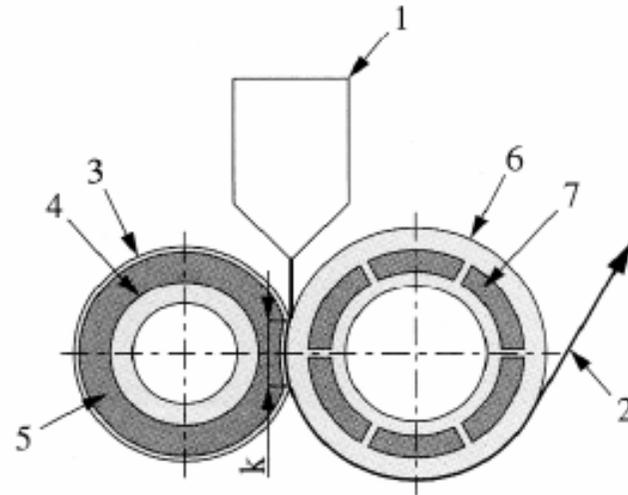
# 氣刀的作用



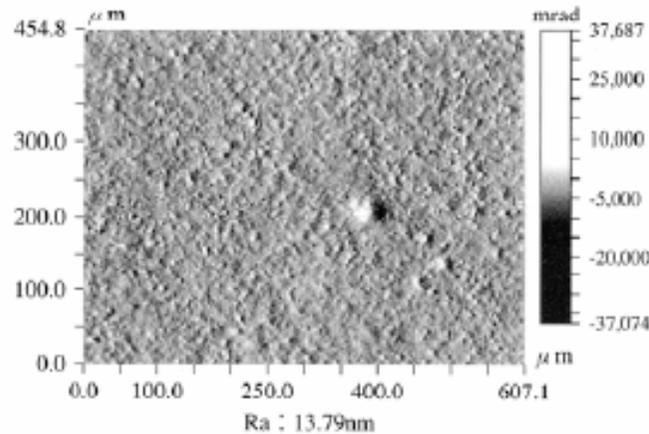
■ 熔膠由T-型模頭押出後，以氣刀輔助，與冷卻輥輪充份接觸進行冷卻，並由後續輥輪組捲取。

- 牽引速度在90m/min以上時，需要一個壓住裝置，在流延法中一般為氣刀。
- 氣刀吹出的空氣，壓住薄膜的位置必須在薄膜接觸輥輪之後。
- 氣刀吹出的空氣壓力必須平均，避免出向模頭，氣孔處不能有傷痕。
- 氣刀可以將被薄膜帶入的空氣擠出，使薄膜緊貼在輥輪。

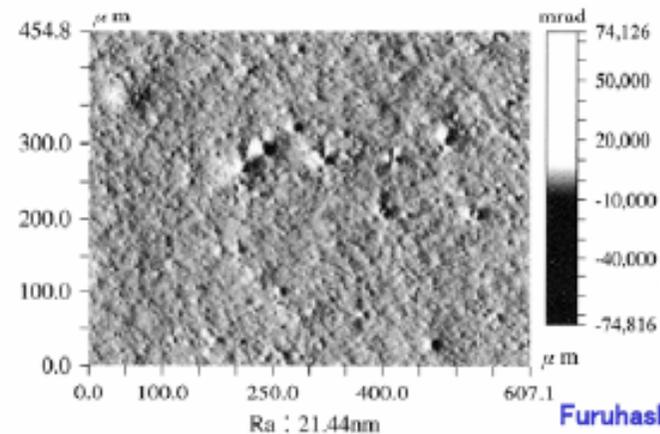
# 彈性輥輪對薄膜表面的影響



- 1. Die
- 2. Film/Sheet
- 3. Flexible roll(outer roll)
- 4. Roll inner structure
- 5. Cooling fluid
- 6. Metal roll (outer roll)
- 7. Cooling fluid
- k: Contact length**



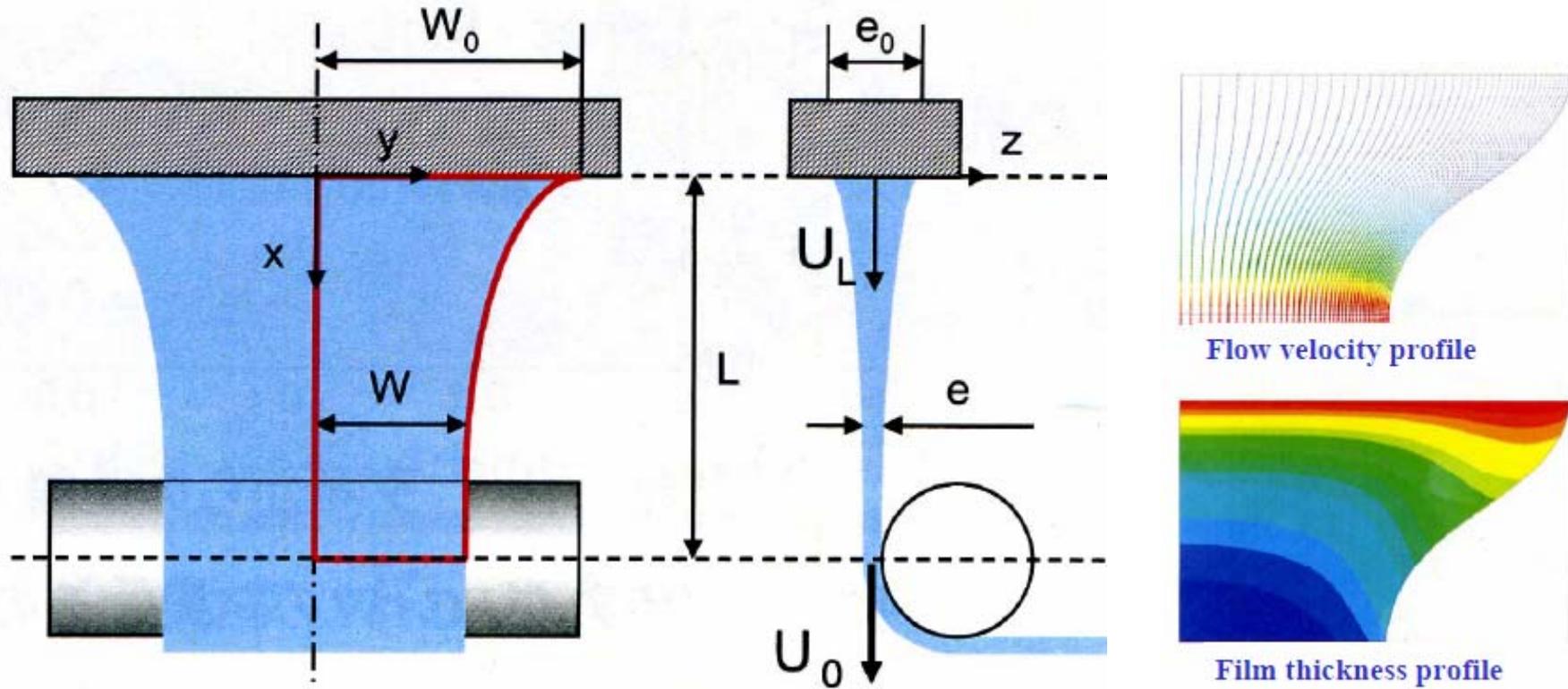
**With flexible roll**



**Without flexible roll**

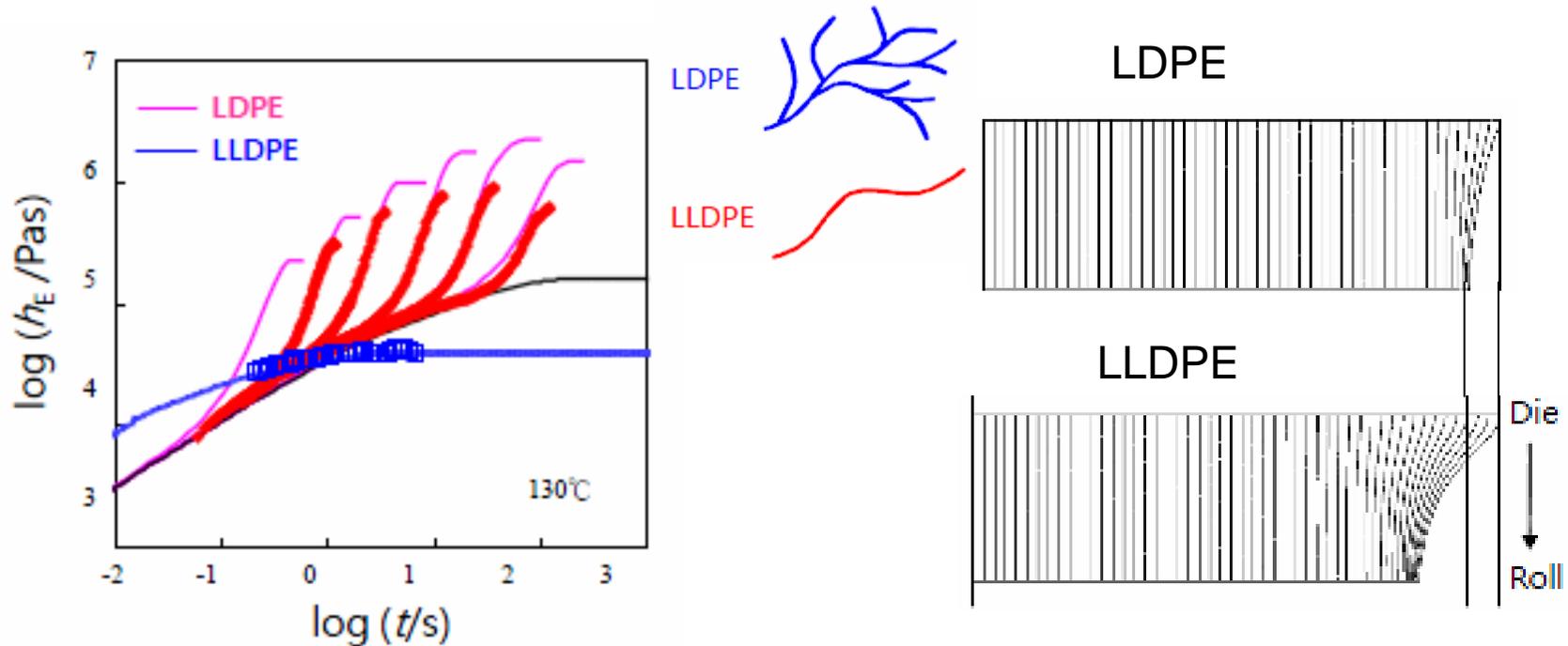
Furuhashi, et al,  
Plastics Age, Nov.  
P114, (2007)

# 薄膜的縮頸現象



熔膠的彈性性質愈強 (Deborah number愈高的材料)，縮頸現象會減少，即 $(W/W_0)$ 會提高。

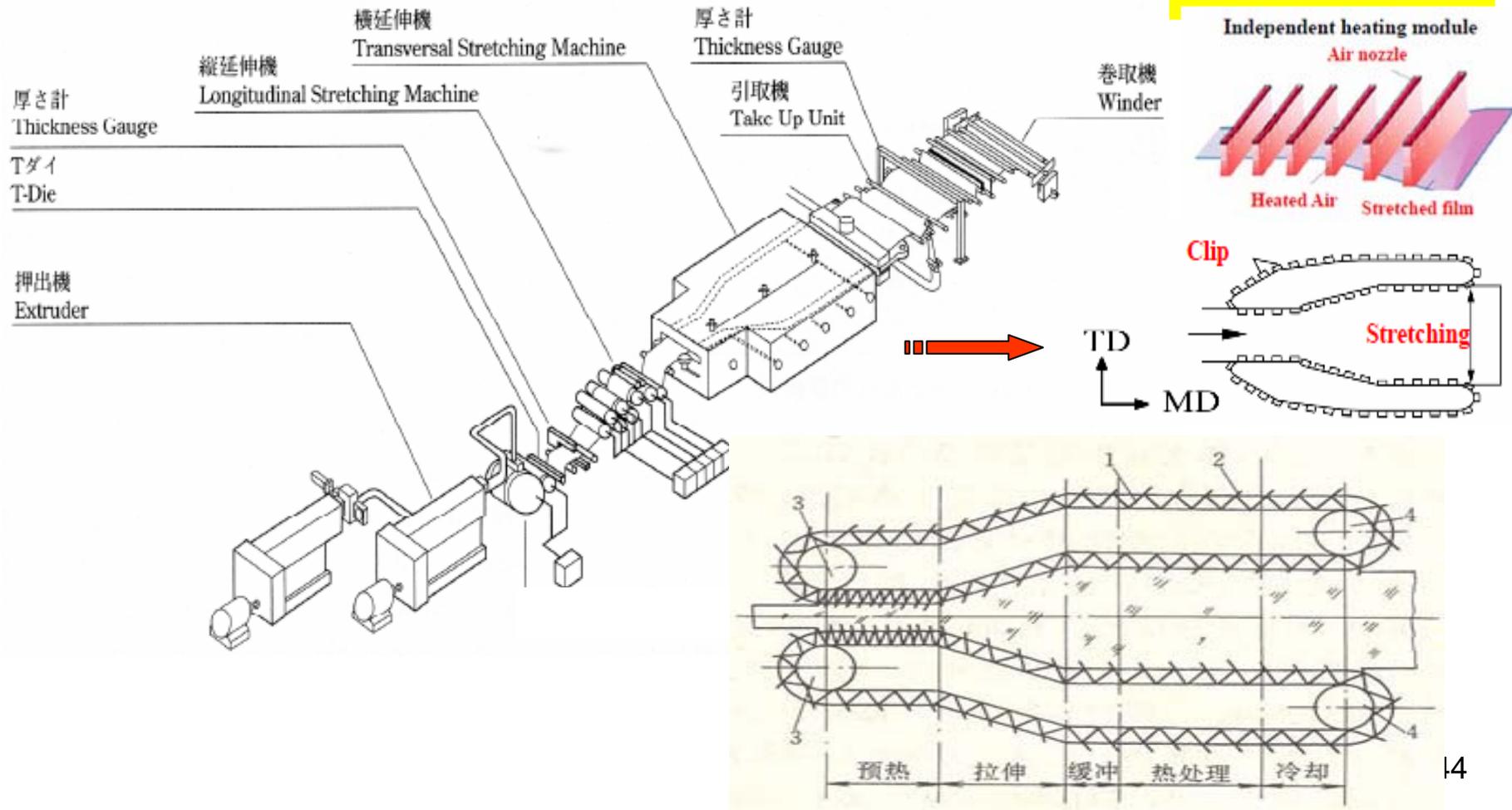
# 伸長黏度對縮頸現象的影響



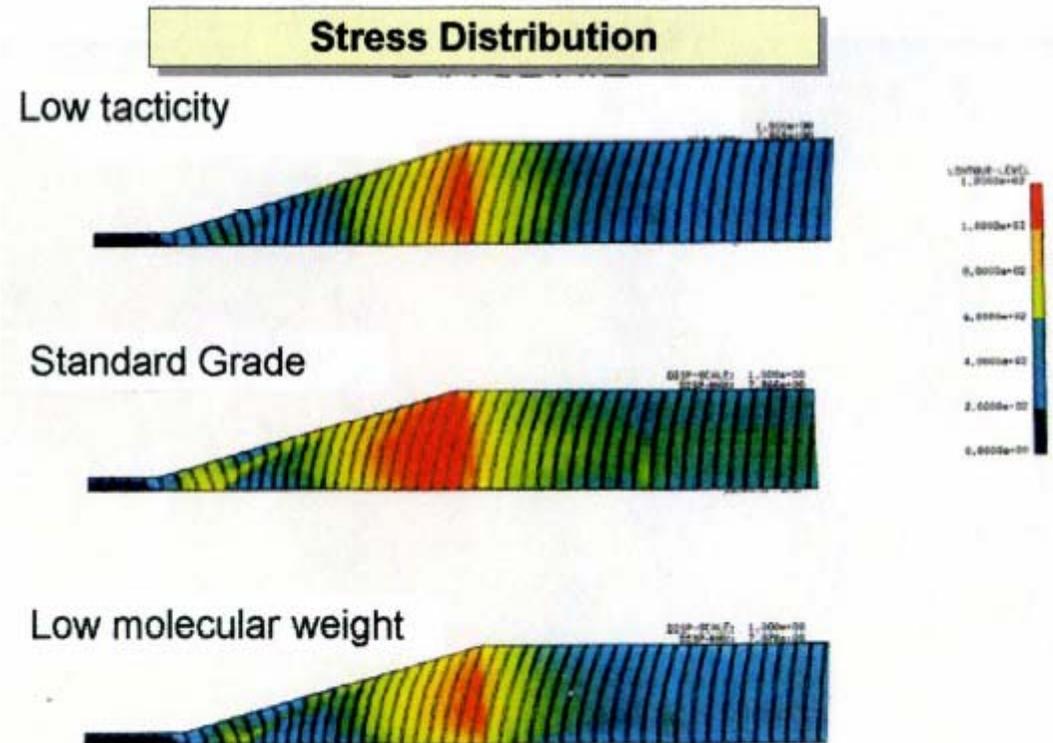
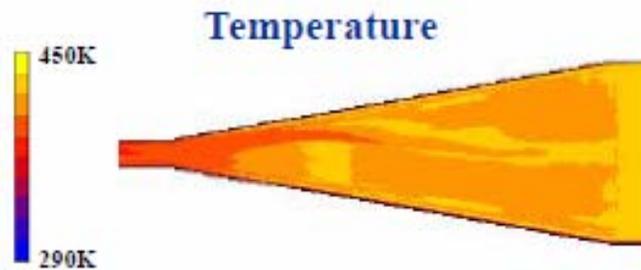
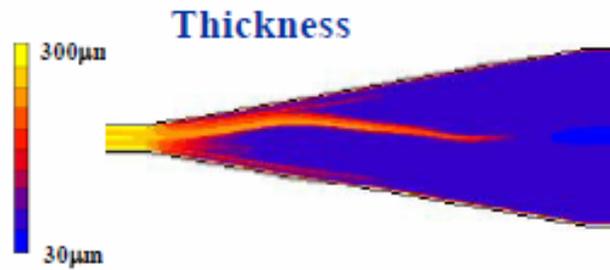
伸長黏度較高的材料，在伸長流動時伸長黏度會增加，即所謂的變形硬化性，**LDPE**的伸長黏度較高(因為側鏈較多)，因此在押出之後，受輾輪轉動延伸，伸長黏度會增加，硬化性高，故縮頸現象較小。

# Casting film的雙向延伸

- 可用斜向引取裝置進行二次延伸，使拉伸方向與橫斷方向物性差異縮小

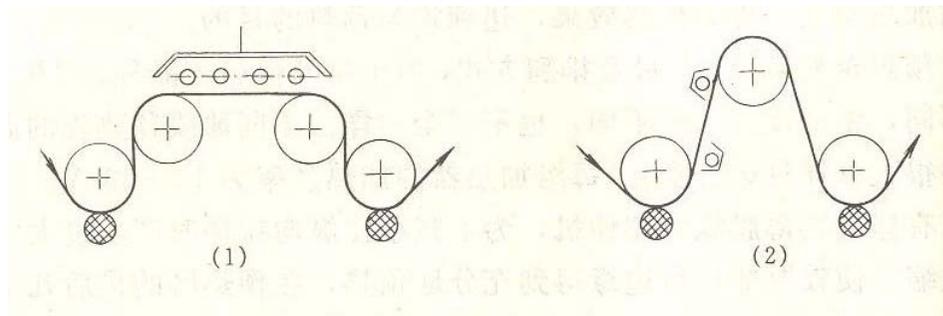
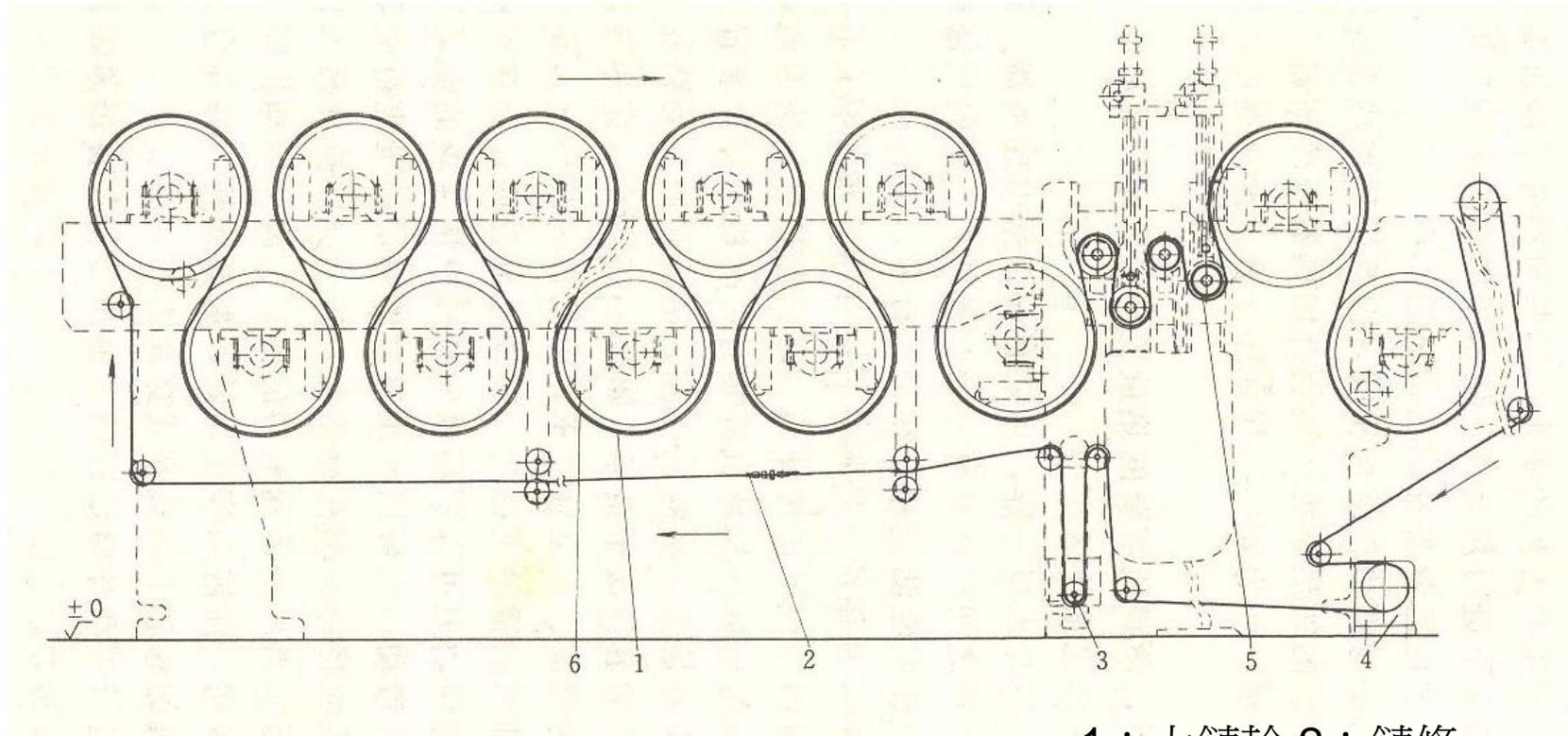


# 薄膜橫向延伸時的變化



T.Kanai, AWPP plenary lecture Nov. (Penang) (2009)

# 縱向延伸機系統示意圖



- 1 : 大鏈輪 2 : 鏈條
- 3 : 浮動式張緊器
- 4 : 電動機 5 : 小鏈輪
- 6 : 滾動輪

# BOPP薄膜與未拉伸PP膜之性能比較

項目		BOPP薄膜	未拉伸PP膜
拉伸強度/MPa	(MD)	> 120	~20
	(TD)	> 250	~40
斷裂延伸率%	(MD)	< 180	~600
	(TD)	< 65	~300
彈性模數/MPa	(MD)	1900~2500	600~900
霧度		1~2.5	2~4
熱收縮率 120±3°C、2min	(MD)	< 5	0
	(TD)	< 4	0
耐折曲壽命(次)		> 10000	
使用溫度°C		-50~120	0~120
氧氣穿透速率 g/m <sup>2</sup> /day/0.1mm/atm)		1.1~1.3	3.3
介電強度/(kV/mm)		130~200	30~110
體積電阻/(Ω.cm)		> 1.0e16	> 1.0e10

# 適用於BOPP的聚丙烯PP

- MI(g/10min)約2~4
- 等規聚丙烯佔95~97%，無規聚丙烯佔3~5%的均聚物，才適合生產雙向拉伸薄膜。前者結晶快、結晶度高，使薄膜機械性質提高，後者有利於配向、改善光學性能，但會降低機械性質。
- 用於生產薄膜的PP其數量平均分子量( $\overline{M}_n$ )約8500，重量平均分子量與數量平均分子量之比( $\overline{M}_w / \overline{M}_n$ )約4~4.5。此值愈小表示分子量分佈較窄，膜的拉伸強度愈高，但加工條件愈嚴苛，適度加寬分子量分佈，有助於加工成膜性。

**THE END**