

泵送管路之阻力計算

前言

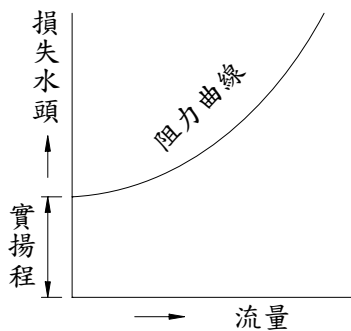
泵送中的液體會遭受各種阻力而影響泵送揚程，此阻力取決於水量（流速）與所用管路的狀況及液體的性質（黏度、濃度）等；當液體流經細管時，阻力增大，彎曲或粗細急變、閘數多、管舊而鏽多時，阻力增大，反之，阻力減少，但是，不論用多新的管，也不可能全無阻力，因此，必須計算此阻力而加於實揚程，成為泵所需求的揚程。

管的阻力

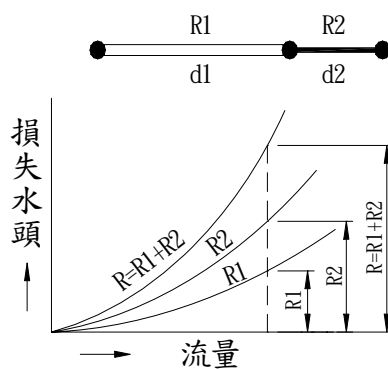
管有各種大小口徑，其材質也有鐵、銅、PVC、混凝土等，就阻力而言，最經濟的水量 Q 大致取決於口徑別，管路阻力反比於管徑 D 的 5 次方(註一)，管徑若不適當，對泵的規範大有影響。

常用的 PVC 管，比起鐵管，其內部表面平滑亦不生鏽，阻力僅有鐵管的 75%；反之，使用內部生鏽之舊鐵管時，阻力甚大，吸上海水的管內面常有各種貝類、海草等附著物而無法吸水；水質不良的井管亦會因水垢附著而無法吸水。

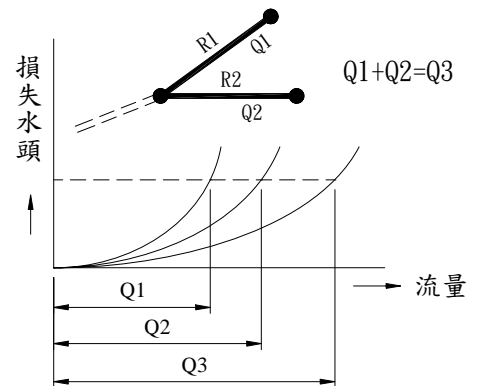
流量與阻力的關係在同口徑的管中成正比於流量的平方，在縱軸取損失水頭、橫軸取水量，即可表成曲線，若加上系統所需之實揚程，則成為圖一所示之情形；系統中若有管徑變化的組合時，管路阻力曲線為該管當時流量的各管路阻力之和（如圖二）；分歧管路時的管路阻力曲線取相對於損失水頭的各流量之和即可（如圖三）。



(圖一)



(圖二)



(圖三)

接頭、閘的阻力

接頭是連接管者，分為連接（管套）、彎曲（肘管、彎管）、分歧（三通管）、改變直徑（異形管套）等，阻力多於直管，為了減少管路損失，儘量使用阻力少者。

阻力是肘管>彎管、異形管套>擴大管，若吸水揚程接近 6 米時，要增粗吸水管以減少管損或採用正壓設計以確保可達到額定之吸入揚程。

閘門阻力依球形閘→閘閘→碟形閘→停止閘之序增大阻力，故閘門的選擇也同接頭一樣要注意。

有黏度的液體、水以外含固形物的液體、造紙用紙漿等，通過管時的阻力值必然大於水，泵所要求的性能及動力亦增大，配管條件也要相對作考慮。

簡易管路損失水頭計算

在管路系統當中，管路直線段的表面阻抗所導致之能量損失稱之為主要損失，而非直線管流之能量損失則稱為次要損失，一般指肘管、閘、T形管、彎管等損失。本文利用Darcy-Weisbach equation及管路次要損失的計算式來表示主要及次要損失水頭。

達西-威斯巴哈方程式 (Darcy-Weisbach equation) 如下式：

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

管路摩擦次要損失水頭，可用下式表示

$$h'_i = k_i \frac{V^2}{2g}$$

合併兩式得到主要及次要的摩擦損失水頭計算式

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} + k_i \frac{V^2}{2g} = \left(f \frac{L}{D 2g A^2} + \frac{k_i}{2g A^2} \right) Q^2 = C Q^2$$

h_L =主要損失水頭 (m) f =摩擦損失係數 h_L =總摩擦損失水頭 (m)

L =直管長度 (m) V =平均流速 (m/s) A =水管斷面積 (m²)

g =重力加速度(m/s²) h'_i =次要損失水頭 (m) Q =流量 (m³/s)

D =直管直徑 (m) k_i =次要損失係數

C 則視管徑 D 、管路長度 L 、摩擦係數 f 及次要損失係數 k_i 而作修訂之係數。

摩擦損失係數 f 之值因管內表面狀況而異，新鐵管為0.02，舊鐵管為0.04，管路損失水頭正比於流速 V 平方和管長 L ，反比於管直徑 D 。

若僅就直管管路損失來作探討，根據連續方程式 $Q = VA$ ，當設計流量 Q 固定時，流速 V 大，管徑斷面積 A 縮小，即所採用的管徑變小，對整個管路摩擦損失而言，其損失增加

($h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$)，若以流速 $V=2.0 \text{ m/sec}$ 及 1.6 m/sec 作比較，相同的流量、相同的設計位置

與地點，大流速所計算的主要損失約為小流速的1.75 倍，故而當採用較小流速時，對於降低管路損及氣蝕現象（泵浦入口揚程之管路）的產生皆有正面的助益。

以上述之總摩擦損失水頭計算式來作為實際運算時，需考量各家不同之摩擦因子經驗式的選用及誤差的範圍，是此公式在運用上較為不便之處，因此業界在計算損失水頭等相關數值時，便將其整理成圖表形式，以便於實際運用查詢，而簡化許多較冗長的計算過程，計算方式如次項說明。

業界常用之經驗計算式

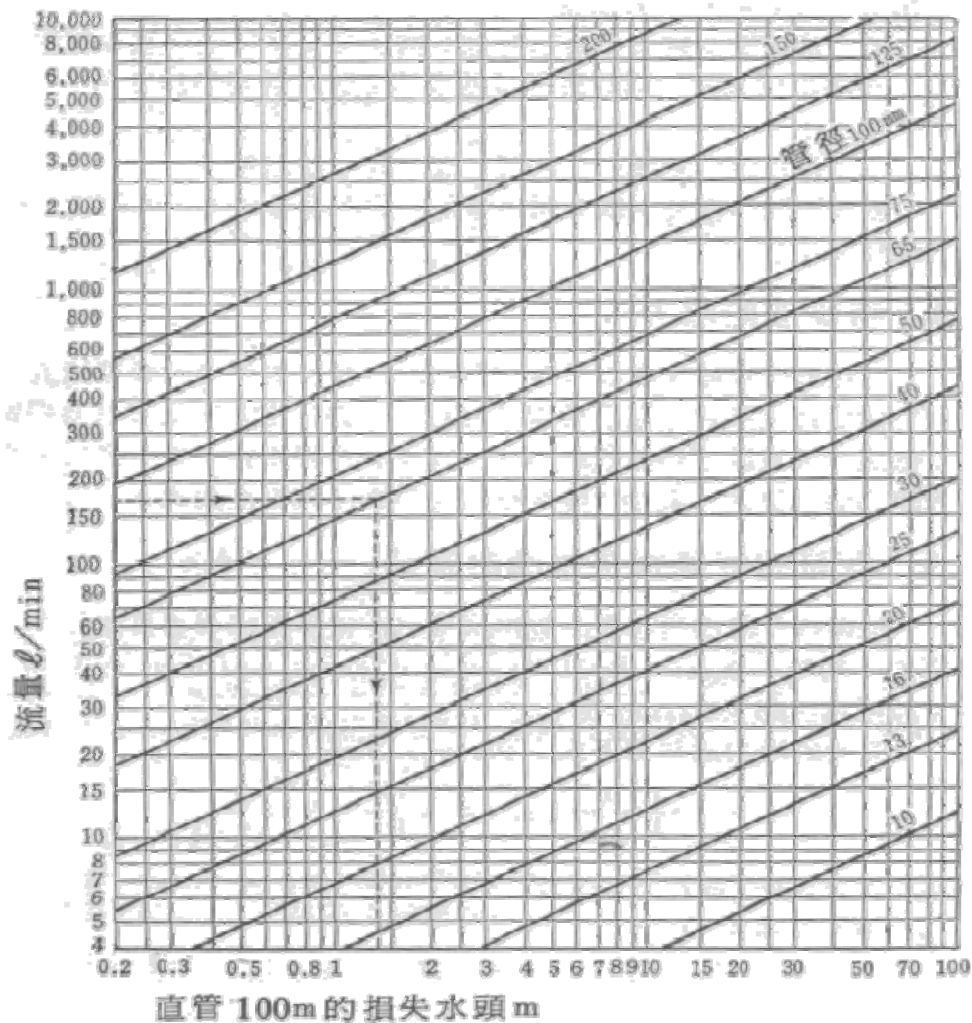
一、直管之摩擦損失水頭

圖四為管路損失所使用之鋼管損失曲線圖，本圖為配管總長每100公尺的損失揚程 (m) 與流量 (ℓ/min) 之關係圖，其近似公式可用池田參考式表示，該式是由鋼管損失圖所轉換的近似公式。

$$h_s = 0.0000412 \frac{Q^{1.97}}{D^{5.09}} \quad \begin{array}{l} h_s = \text{為每100m的損失揚程值。} \\ Q = \text{流量 (ℓ/min)} \\ D = \text{管徑 (m)} \end{array}$$

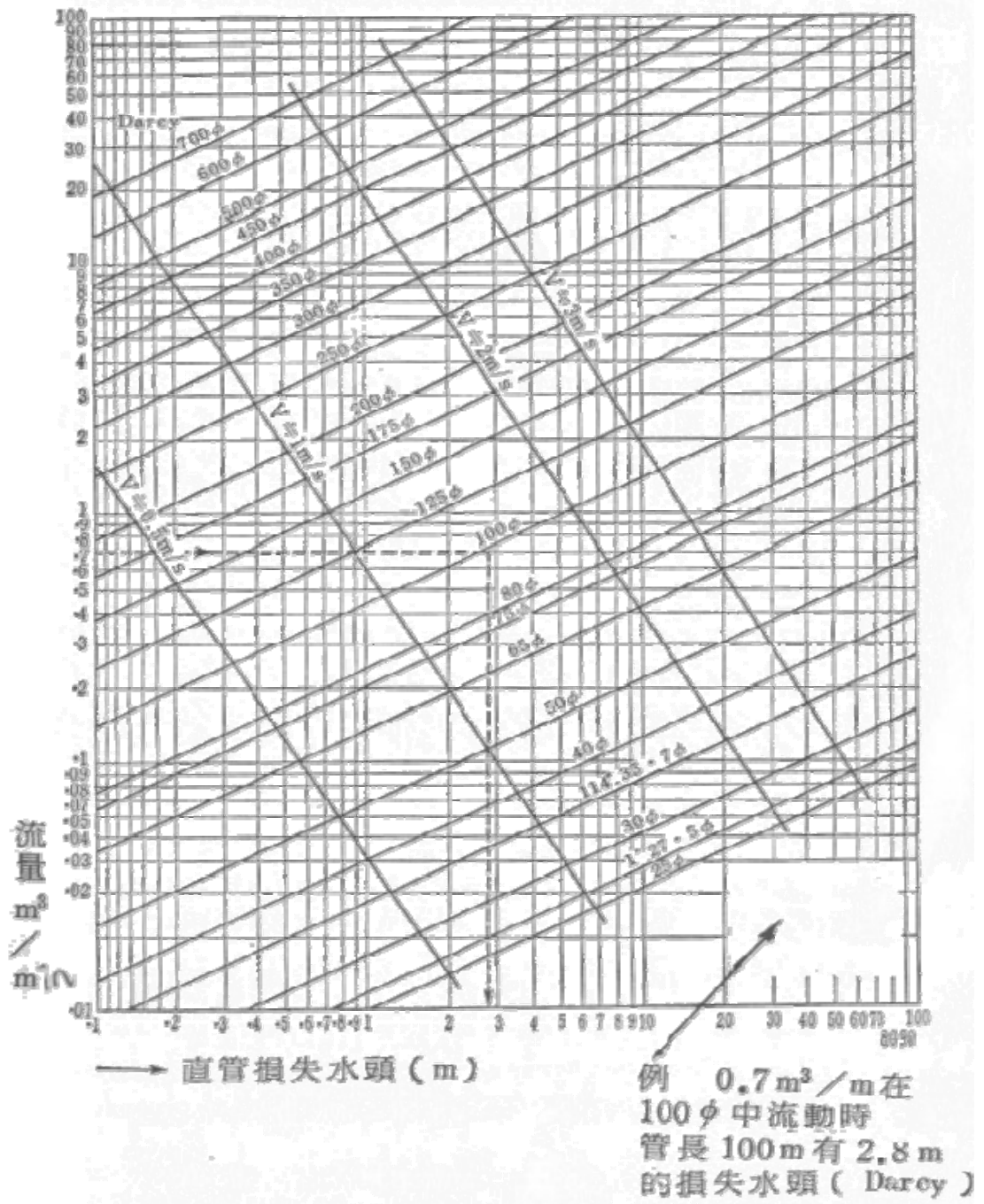
圖五亦為管路損失所使用之鋼管損失曲線圖，本圖為配管總長每100公尺的損失揚程 (m) 與流量 (m³/min) 之關係圖，其近似公式可用Darcy實驗式表示。

$$h_f = \left(0.02 + \frac{0.0005}{D} \right) \times \frac{0.0023}{D^5} \times Q^2 \quad \begin{array}{l} h_s = \text{為每100m的損失揚程值。} \\ Q = \text{流量 (m}^3\text{/min)} \\ D = \text{管徑 (m)} \end{array}$$



例 170 ℓ/min 65 mm/m管時 100 m有 1.35 m的損失。

(圖四)



(圖五)

二、管附屬物的損失水頭

管路中除了直管之外尚有各種的閘類、肘管等附屬管件，在計算上以查表方式來求得其相當於直管之長度，一同併入直管長以求取其損失水頭，如表一、表二及表三所示。

表一 接頭、閘類的相當直管長度表 (m) (其1)

口徑 m/m吋B	90°C	45°C	90°C T形	90°C T形	閘閥	停止閘	折角閘	止回閘	底閘	異徑管套	彎管	翼輪型 量水器	
	肘管	肘管	管分流 (枝管)※	管直流 (主管)※									
15	½	0.6	0.36	0.9	0.18	0.12	4.5	2.4	2.4	2.4	0.36	0.18	3~4
20	¾	0.75	0.45	1.2	0.24	0.15	6.0	3.6	3.6	3.6	0.45	0.24	8~11
25	1	0.9	0.54	1.5	0.27	0.18	7.5	4.5	4.5	4.5	0.54	0.27	12~15
32	1¼	1.2	0.72	1.8	0.36	0.24	10.5	5.4	5.4	5.4	0.72	0.36	19~24
40	1½	1.5	0.90	2.1	0.45	0.3	13.5	6.6	6.6	6.6	0.9	0.45	20~26
50	2	2.1	1.20	3.0	0.6	0.39	16.5	8.4	8.4	8.4	1.2	0.6	25~35
65	2½	2.4	1.5	3.6	0.75	0.48	19.5	10.2	10.2	10.2	1.5	0.75	—
80	3	3.0	1.8	4.5	0.9	0.6	24.0	12.0	12.0	12.0	1.8	0.9	—
90	3½	3.6	2.1	5.4	1.08	0.72	30.0	15.0	15.0	15.0	2.1	1.08	—
100	4	4.2	2.4	6.3	1.2	0.81	37.5	16.5	16.5	16.5	2.4	1.2	—
125	5	5.1	3.0	7.5	1.5	0.99	42.0	21.0	21.0	21.0	3.0	1.5	—
150	6	6.0	3.6	9.0	1.8	1.2	49.5	24.0	24.0	24.0	3.6	1.8	—

※ (注) 90 T形管一分流

表二 管附屬物相相當直管長度表 (m) (其2)

品名	管 徑 (inch)																					
	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24			
90° 肘管短	螺紋	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.4	4.0										
	凸緣			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8	2.2	2.7	3.7	4.3	5.2	5.5	6.4	7.6	7.6	9.1
90° 肘管長	螺紋	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4										
	凸緣			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.5	1.7	2.1	2.4	2.7	2.9	3.0	3.4	3.7	4.3
45° 肘管	螺紋	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.7										
	凸緣			0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.4	2.7	3.3	4.0	4.5	5.0	5.5	6.7
T型管	螺紋	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	1.4	1.7	2.4	2.8	3.7	5.0										
	凸緣			0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.9
T形管	螺紋	0.7	1.1	1.3	1.6	2.0	2.8	3.0	3.7	4.0	5.2	6.4										
	凸緣			0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.9	3.7	4.6	5.5	7.3	9.1	10.3	11.2	13.1	14.3	15.8	18.9
180° 彎管	螺紋	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	2.8	3.4	4.0										
	凸緣			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8	2.2	2.7	3.8	4.3	5.2	5.5	6.4	7.0	7.6	9.1
	長凸緣			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.5	1.7	2.2	2.5	2.8	2.9	3.1	3.4	3.7	4.3

表三 管附屬物相相當直管長度表 (m) (其 3)

品 名		管 徑 (inch)																				
		1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
球形閥	螺 紋	6.4	6.7	6.7	7.3	8.8	11.3	12.8	16.5	18.9	24.1	33.5										
	凸 緣			11.6	12.2	13.7	15.5	18.0	21.3	23.5	28.6	36.5	45.6	57.8	75.1	94.5	11.9					
閘閥	螺 紋	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8										
	凸 緣								0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
折角閥	螺 紋	3.9	4.5	4.6	4.6	5.2	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5										
	凸 緣			4.6	4.6	5.2	5.5	5.5	6.4	6.7	8.5	11.6	15.2	19.2	27.4	36.6	42.6	48.7	57.9	64.0	73.1	91.3
止回閥	螺 紋	2.2	2.2	2.4	2.7	3.4	4.0	4.6	5.8	6.7	8.2	11.6										
	凸 緣			1.2	1.6	2.2	3.1	3.7	5.2	6.4	8.2	11.6	15.2	19.2	27.4	36.6	42.7					
管套節	螺 紋	0.04	0.06	0.06	0.07	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2										
BELL-MOUTH INLET	螺 紋	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.5	1.6	1.9	2.3
	凸 緣										0.2	0.2	0.4	0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.1
SQUARE MOUTH INLET	螺 紋	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.3	1.6	2.0	2.9	4.0	4.9	7.0	8.8	10.7	12.2	14.3	16.1	18.6	23.1
	凸 緣										1.7	2.3		4.0	5.8	7.3	9.1	10.9	13.1	15.2	17.3	21.4
REENTRANT PIPE	螺 紋	0.3	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.6	3.0	4.0	4.8	7.6	9.7	13.7	17.7	21.4	24.4	29.6	33.5	36.5	45.6
	凸 緣										3.4	4.6		7.9	11.3	14.9	18.6	22.2	26.2	30.5	33.5	42.6
SUBDEN ENLARGEMENT		$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$																				

(Hydraulic Institute)

三、管路總損失：

管路總損失 = (配管總長 + 附屬管件之相當的直管長度) ÷ 100 × h_s

【例】如下圖所示，管徑50mm、流量200 l/min，則管路損失水頭為何？全揚程應取幾米為適當？

先求直管全長：

吸水管…… 5 m + 1 m = 6 m

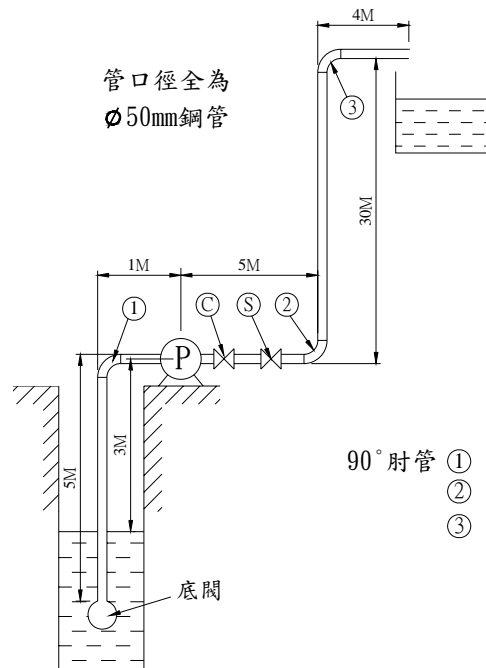
出水管…… 5 m + 30 m + 4 m = 39 m

統計接頭、閥類數量：

- 90° 肘管 3個 ①②③
- 閘閥 1個 ⑤
- 止回閥 1個 ④
- 底閥 1個

查表一求得相當於50mm直管長度：

- 90° 肘管 3個 = 2.1 m × 3 = 6.3 m
- 閘閥 1個 = 0.39 m
- 止回閥 1個 = 8.4 m
- 底閥 1個 = 8.4 m



接頭閥類合計相當於直管長度23.49 m ≈ 24 m

吸水管6 m + 出水管39 m + 接頭閘類24 m = 69 m \doteq 70 m

統計結果相於50 mm管徑之直管70 m長，由圖四得知管徑50 mm直管，流量200 ℓ/min 時，每100 m管路損失7.2 m，故本例之管路損失應為：

$$70 \div 100 \times 7.2 = 5.04 \text{ m}$$

再將管路損失5.04 m加於實揚程 3 m + 30 m = 33 m，而成為38.04 m，故此泵浦流量200 ℓ/min ，揚程40 m即可。

使用PVC管時，管路損失水頭減為鐵管的75%，故成為：

$$70 \div 100 \times 7.2 \times 75\% = 3.78 \text{ m} \doteq 4 \text{ m}$$

當使用舊鐵管時，雖因程度而異，但應以新鐵管管路損失之2倍來做計算較為保障。

管路阻力曲線圖

以前述例子而言，在50 mm管中若通以750 ℓ/min 之流量時，則阻力（管路損失）變成為100 m，這表示50 mm管徑在無任何揚程揚升下，橫引100 m時就需要施壓100 m之水柱壓力（=10 kg/cm^2 ）方可抵銷在該操作條件下之管路損失；同水量而用65 mm的管徑時，將750 ℓ/min 與65 mm的交點垂下得25 m，兩者相較之下不難發現，當管徑由50mm增大為65mm時，管損由100 m降為25 m之甚大差距，因此在整個液體傳輸系統中，將因輸送管口徑選擇的不同，而使得所選用的泵浦的規範亦隨之有重大的變動。

註一：

$$h_l = f \frac{L V^2}{D 2g} = f' \frac{Q^2}{D^5}$$

參考文獻

1. 黃瑞榮，”建築物抽水管路系統之設計方法”，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，2003。
2. 賴耿陽 譯，”現代邦浦實用技術理論及使用”，復漢出版社，1993。