

科學圖書大庫

流體實驗

編著者 嚴 轟



徐氏基金會出版

流 體 實 驗

編著者 嚴 轟

徐氏基金會出版

編輯大意

本書係遵照 教育部頒佈之五年制工專機械工程實驗標準編輯而成，內容包含五個實驗：(一)水泵性能實驗、(二)管路系統水頭損失實驗、(三)送風機性能實驗、(四)孔口水噴流性能實驗及(五)空氣壓縮機性能實驗等。

甚多工專，均有同型之五套流體實驗設備，然惜無敘述完備之教材據以井然施教。學子課業繁重，為使其能於最短時間內充分了解實驗之目的、原理、操作保養、紀錄運算、描繪特性曲線以及問題檢討等，引發其主動認真與實事求是的活力，乃搜集相關資料十餘種，竭智盡慮，取其所需，並揉合實作經驗，組成是冊。甚盼原於流體機械或者力學所習得之智識，復自具體之實驗得以印證，進而確切認定，並獲深刻之印象，永銘五中。

名詞力求合理而通俗，單位則採用我國頒佈之公制。原理引述詳實；操作細節，儘量針對安全，予以鄭重提示；紀錄運算則本順序列表，循之可一氣呵成。問題檢討，旨在彌增心得之回味與領悟實際經驗之可貴。

理論與實際多少是存有差距的。科技人員如何透過實驗以對理論作周詳之補償而創立適用之算式，洵為使科技突破創新之動力。

為求提高準確度與爭取時效，設備尚有需要繼續謀求改進之處。實驗期間，得江慶宗先生匡助良多，謹此誌謝。筆者才疏學淺，繆誤難免，尚希方家賜教是幸！

編著者 嚴 轟

西元一九八二年六月北投謹誌

目 錄

編輯大意	I
參考文庫	II
一、水泵性能實驗	1
(一)目 的	1
(二)設 備	2
(三)原 理	3
(四)操 作	8
(五)紀錄、演算及繪水泵性能曲線	9
(六)問題討論	11
二、管路系統水頭損失實驗	12
(一)目 的	12
(二)設 備	12
(三)原 理	12
(四)操作程序	20
(五)實驗紀錄、計算及描性曲線	21
(六)問題討論	26
三、通風機性能實驗	28
(一)目 的	28
(二)設 備	28
(三)原 理	33
(四)操 作	41

(五)通風機性能實驗紀錄、運算及繪性能曲線·····	43
(六)問題討論·····	45
四、孔口板水噴流特性實驗·····	46
(一)目 的·····	46
(二)設 備·····	47
(三)原 理·····	49
(四)操 作·····	53
(五)孔口噴流特性實驗紀錄、運算及繪性能曲線·····	55
(六)問題討論·····	57
五、空氣壓縮機性能實驗·····	58
(一)目 的·····	58
(二)設 備·····	58
(三)原 理·····	61
(四)操 作·····	69
(五)紀錄、運算及繪壓縮機性能曲線·····	74
(六)問題討論·····	76
六、最新國際單位與常用數據·····	77
(一)基本單位·····	77
(二)導出單位·····	77
(三)常用數據·····	77
七、英漢名詞對照索引·····	79

一、水泵性能實驗

(一) 目的

了解直角堰求流量率、總揚程、水功率、軸功率及泵效率，並測定諸性能之關係。

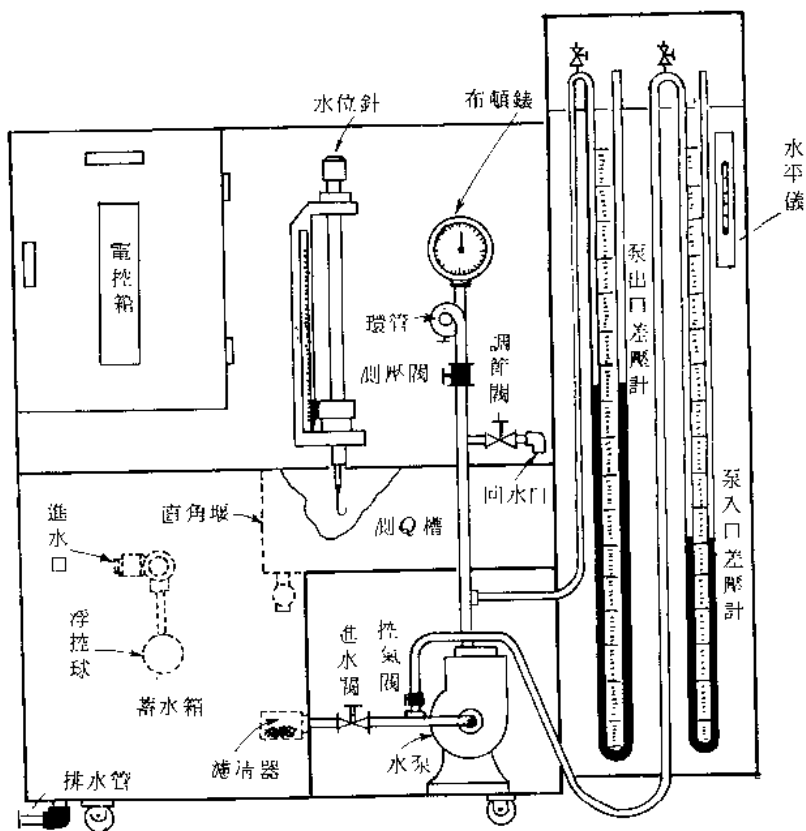


圖 1-1 水泵性能實驗設備

(二) 設 備

馬達、渦型離心泵、管路、布頓錶、差壓計、溫度計、光電測速器、蓄水箱、測 Q 槽、水位計、水平儀、打氣筒、電流計、三用電錶及電控箱等。

如圖 1-1 所示，原動機為半匹馬力（HP）之馬達（Motor），三相，電壓 220 伏特，電流為 1.5～2.5 安培，轉速 3450 RPM；直接或經由無段變速裝置帶動水泵旋轉。

離心泵係藉離心力對流體加壓原理設計而成。高壓與大流量率問題均憑離心泵之改良創新，迎刃而解，故離心泵應用日廣。

本設備之渦型離心泵主體，如圖 1-2 所示。一般情形，在出水口與排出管之間，多裝有調節閥和止回閥；前者用以管制流量率，後者在泵停抽時防止水之倒流。最應注意者，泵於起動時，若渦型殼內之水不滿，因有空氣，當葉輪旋轉之際，真空度往往不夠，致無法將低處之水自入水管吸入；故在渦型殼上部，復設有注水漏斗和旋塞，以便必要時將水由其注入之。本設備情形特殊，蓄水箱水到位時，遠高於漏斗，僅需卸塞放氣，並注視其將外溢而未出之際速予以旋塞之。惟其水滿，葉輪高速轉動時，乃可在泵內產生大離心力，導致水以高速、高壓離開，而於殼中心處形成適度真空，水方為之吸入，源源不斷，經葉輪將其自側管排出之。由於水位高於泵入口，故水除受吸力外，復承有水之壓力。

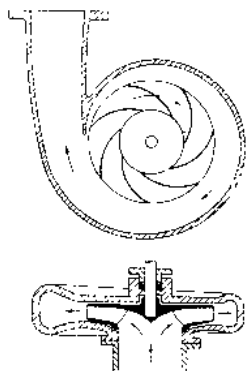


圖 1-2 渦型泵 (Volute Pump)

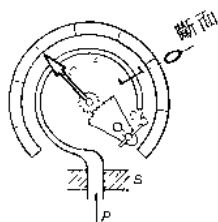


圖 1-3 布頓管壓力錶 (Bourdon Pressure Gauge)

回顧 1-1 圖，水自進水口流入蓄水箱，約及八成滿，浮攪球即已全關進水口。蓄水箱的水經濾清器被泵吸入，輸往外用管路，由回水口流入測 Q 槽，穿直角堰而呈瀑布狀瀉回蓄水箱。泵入口和出口附近各接有水銀差壓計，顯示其壓力差。出口上方，復安有如圖 1-3 所示之布頓管壓力錶，指示其中心處之錶壓力，即較大氣壓高若干之壓力。故泵出口之靜壓水頭，係同時用兩種方法在求；一為差壓計法，他一為布頓錶法，二者可彼此印證，以期確保無誤。錶下之閥，宜於馬達啓動之後，流量已經穩定，再慢慢旋開，並注視指針不搖晃時記錄之，繼即關閉，並開環管下方之旋塞放水，以釋壓力而利錶之壽命。次則利用測 Q 槽與水位計，進行流量率 (volume rate of flow) 之測定。

(三) 原 理

1. 直角堰求流量率

- (1) 堰 (Weir) 板呈鉛直狀而垂直於測 Q 槽之底面，賴水平儀校正之。
- (2) 切口為直角形，二直角邊對稱於堰板之中線。
- (3) 切口邊緣厚度為 2 mm ，再自此向外側傾斜 45° ，如圖 1-4。

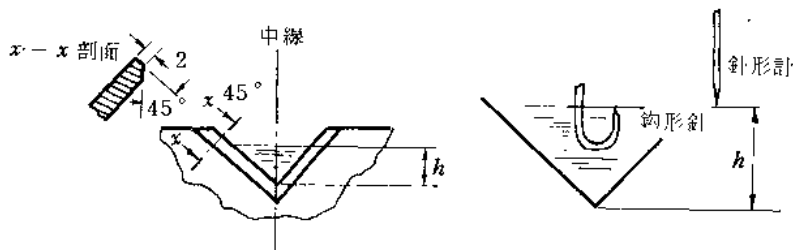


圖 1-4 直角堰與測針

- (4) 堰板之內表面必須平滑，務使不發生亂流。
- (5) 切口頂點至水槽底面之高須大於 $3h_M$ ， h_M 表該堰可測 h 之最大值。
- (6) 水槽寬度須大於 $4h_M + 0.3$ 公尺，其長度須大於 $15h_M$ 。
- (7) 水槽內之水流應極均勻，此需特別裝置；該整流裝置須設於水位計之上游。
- (8) 為使鉤形計或其他水位計能正確表示，此等計須設在距堰板 $3h_M \sim 4h_M$ 之波動甚小處。
- (9) 流量率之計算

4 流體實驗

① 當直角頂點至鉤形針或針形測位計尖端之距離

$h \leq 0.05$ 公尺，則由 CNS B7015 知

$$Q = 10^3 Ch^{5/2} \dots\dots\dots (1)$$

式中之 Q 表流量率〔公升每秒〕

$$C \text{ 爲流量係數} = 1.334 + \frac{0.0205}{Rh}, \quad R = 0.1 h \sqrt{h/\nu}$$

ν 表水之動黏度(Kinematic Viscosity)〔 m^2/s 〕，查表 1-1 可得。

h 之最小值以流出之水不會與口外斜面相切爲限。

h 之精度須讀至 $0.4\% h$ ， h 之單位爲公尺。

表 1-1 水的物理性質

(在 1 標準大氣壓下)

溫度 °C	比重 γ kN/m^3	密度 ρ kg/m^3	黏度 $\mu \times 10^{-4}$ $N \cdot S/m^2$	動黏度 $\nu \times 10^{-5}$ m^2/s	表面張力 σ N/m	蒸汽壓力 P_v $kN/m^2 \text{ abs.}$	蒸汽壓力水頭 P_v/γ m	體積彈性係數 $E_v \times 10^{-5}$ kN/m^2
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.0756	0.61	0.06	2.02
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.0749	0.87	0.09	2.06
10	9.804	999.7	1.307	1.306	0.0742	1.23	0.12	2.10
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.0735	1.70	0.17	2.15
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.0728	2.34	0.25	2.18
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.0720	3.17	0.33	2.22
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.0712	4.24	0.44	2.25
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.0696	7.38	0.76	2.28
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.0679	12.33	1.26	2.29
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.0662	19.92	2.03	2.28
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.0644	31.16	3.20	2.25
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.0626	47.34	4.96	2.20
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.0608	70.10	7.18	2.14
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.0589	101.33	10.33	2.07

② 若

 $h = 0.05 \sim 0.18 M$ ，則由湯木生 (J.J. Thomson) 實驗

公式

$$Q = 1.4 h^{5/2} \dots\dots\dots (2)$$

 式中 Q ：流量率 [M^3/sec]， h [M]

(註) (1) 式中之流量係數，宜改書為

$$C = 1.334 + 0.205 h^{-5/2} \nu^{1/2}$$

$$Q = C h^{5/2} \quad , \quad Q \text{ 之單位為 } M^3/s \dots\dots\dots (3)$$

2. 總揚程 (Total Lift)

(1) 依柏努利定理為：

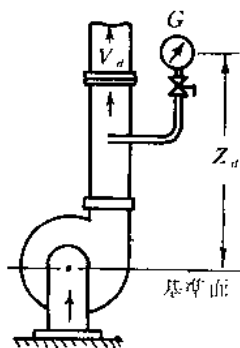
$$H = \left(\frac{P_d}{\gamma_w} + Z_d + \frac{V_d^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_s}{\gamma_w} + Z_s + \frac{V_s^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (4)$$

(2) 實驗求法：

總揚程 = (出口之全水頭) - (吸口之全水頭)，即

$$H = h_d - h_s \dots\dots\dots (5)$$

若吸、出二方之管徑相等，因 $V_d = V_s$ ，則分別僅需計算位能水頭 Z 與壓力水頭 p/γ 之和，動能水頭 $V^2/2g$ 不予考慮。“ $Z + p/\gamma$ ”通常合稱為靜壓水頭，以別於動能者；復因其恒顯示於管中，亦名之為常見水頭。

 ① h_d 之布頓錶求法，如圖 1-5。

 圖 1-5 布頓錶求 h_d

$$h_d = \frac{10G_d}{\gamma_w} + Z_d \dots\dots\dots (6)$$

 式中 h_d ：基準面排出之靜壓水頭 [M]

 G_d ：壓力錶指示其中心處之錶壓力
[kgf/cm^2]

 γ_w ：水之比重量 [kgf/l]

 Z_d ：錶中心至基準面之高度 [M]

上式用於出、吸二口管徑相同者。若否，則

$$h_d = \frac{10G_d}{\gamma_w} + Z_d + \frac{V_d^2}{2g} \dots\dots\dots (7)$$

V_d : 出口之水速 [M/s]

[註] : $p_d, h_d \dots\dots$ 之 d 表 discharge, 即排出之意。

$p_s, h_s \dots\dots$ 之 s 表 suction, 乃吸入之意。

若用皮氏管測全壓時, 動能水頭亦可顯示於其中。倘藉 U 型管, 令全壓孔和靜壓孔連通, 則二者之水柱差即動能水頭。詳見通風機實驗。

② h_d 之水銀差壓計求法, 如圖 1-6 所示, 則

旋塞, 用以排除空氣,
使 AB 段充滿淨水

$$h_d = \frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_w} M_d + Z_d \dots\dots\dots (8)$$

式中

h_d : 基準面排出之靜壓水頭 [M]

γ_{Hg} : 水銀之比重, 13.55 kgf/l

γ_w : 水之比重, 1 kgf/l

M_d : 二水銀面之高度差 [M]

Z_d : 低水銀面與基準面之高度差 [M]

[註] 若出、吸二處之管徑不同, 則上式須加以 $V_d^2 / 2g$ 。

管之內徑須大於 13 mm 。

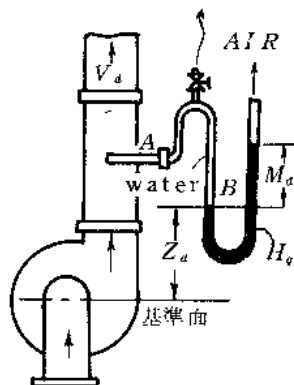


圖 1-6 差壓計求 h_d

③ h_s 之水銀差壓計求法, 如圖 1-7 所示, 入水管水平, 差壓計接於管之上方, 則 Z_s 為管之內半徑, 而氣柱壓力不計, 故

$$h_s = -\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_w} M_s + Z_s \dots\dots\dots (9)$$

式中 h_s : 基準面吸入之靜壓水頭 [M]

γ_{Hg} : 水銀之比重, 13.55 kgf/l

γ_w : 水之比重, 1 kgf/l

M_s : 二水銀面之高度差 [M]

Z_s : 吸口中心與基準面之高度差 [M]

[註] : 若差壓計接於入水管前側中心線上, 則 $Z_s = 0$, $h_s =$

$-(\gamma_{Hg}/\gamma_w) M_s \dots\dots\dots (10)$

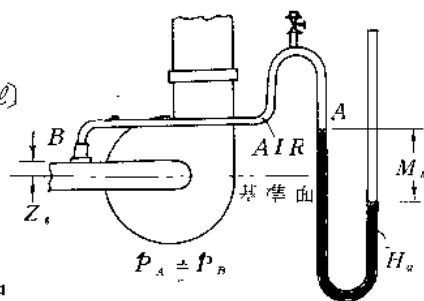


圖 1-7 差壓計求 h_s

若水源低，入水管呈鉛直狀，差壓計接於管上，其接口位於基準面下方，則 Z_s 與圖示者適相反，故

$$h_s = - \left(\frac{r_{H_2O}}{r_w} M_s + Z_s \right) \dots\dots\dots (11)$$

若管徑異於出口者，則上式須加上 $V_s^2 / 2g$ 。

3. 水功率 (Water Power)

乃泵予水之功率

$$L_w = \frac{1}{102} r_w H Q \dots\dots\dots (12)$$

式中 L_w : 水功率 [kw]

r_w : 水比重量 (Specific Weight) , [$10^3 \text{ kgf} / M^3$]

H : 總揚程 [M]

Q : 流量率 [M^3 / sec]

4. 軸功率 (Shaft Power)

係泵得自馬達之功率

$$L_s = 10^{-3} \sqrt{3} V A (\cos \theta) \eta_M \dots\dots\dots (13)$$

式中 L_s : 軸功率 [kw]

V : 電壓 [volts]

A : 電流 [Amp]

$\cos \theta$: 功率因數，姑設為 65 %

η_M : 馬達效率，姑設為 70 %

[註]

(1) 若附有功率 (輸入馬達者) 計，當其指示為 L_i [kw] 時，則

$$L_s = L_i \eta_M \dots\dots\dots (14)$$

(2) 倘復有無斷變速裝置介於馬達與水泵之間，則須再乘以變速效率

η_v ，即

$$L_s = L_i \eta_M \eta_v \dots\dots\dots (15)$$

5. 泵效率 (Pump efficiency)

$$\eta_p = \frac{L_w}{L_s} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (16)$$

6. 諸性能之關係範例，可作實驗參考，如圖 1-8。

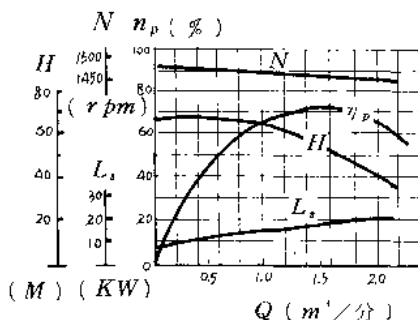


圖 1-8 水泵之性能曲線例

(四) 操 作

1. 準備工作

- (1) 各軸承部位注入適量之潤滑油。
- (2) 檢查整個設備，務使牢固、靈活而光潔。
- (3) 將水泵之進水閥和調節閥完全打開。布頓錶下之閥暫時關閉。
- (4) 放水入蓄水箱達約八成之部位，注意泵之漏斗，水滿即關緊。
- (5) 將電力控制箱內之電源接通，箱面綠燈即亮，電壓錶指示電壓為 $220V$ ($\pm 10\%$)。
- (6) 將箱面之“ON”鈕一按，泵即運轉；紅色燈亮，電流錶指示電流為 $1.5 \sim 2.5 A$ 。
- (7) 慢慢打開布頓錶下之閥。
- (8) 凡水流經過之處應完全充水，不得有氣泡存在。
- (9) 出水一萬，測孔至水銀面之間，氣須放盡，完全充水。

- (10) 進水一方，測孔至水銀面之間，須充滿空氣，不得有水。
- (11) 水溫須在 0 至 40°C 之間，其比重量約為 1 kgf/l 。
- (12) 用透明連通管量取布頓錶中心和基準面的位置，即二者各在直尺上之公厘數，以利實驗有關之計算。

2. 開始實驗

- (1) 由直角堰求流量率，須注意水之流動穩定和測位 h 之精確。先求直角頂點在水位計上之讀數。水位漸升至定值穩定後，再測之，所得讀數，減去角頂的，即為所求之 h 的讀數。
- (2) 自停供狀態開始到達最大供水，至少須測五種流量率。
- (3) 注意排水一方充水部位全無氣泡，方能正視讀取數據。
- (4) 留心吸水一方充氣部位完全無水，方能正視讀取數據。
- (5) 將二測壓孔和泵進、出口凸緣之間的各別摩擦損失水頭，依達西公式

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{求出之；若其和大於此前所求得之總揚程 } H \text{ 的}$$

0.5%時，則須以之追加於 H ，方能據以計算水功率。

即 實際總揚程 = $H + \Sigma h_f$ (17)

- (6) 工業上水泵檢驗之最低試驗水壓為 1.5 kgf/cm^2 。1.5 倍最高壓試三分鐘，不得漏水。
- (7) 若安有無斷變速裝置，可順序設定多種轉速，仿上法行之。
- (8) 泵未停，千萬別關進水閥。若不幸而誤關，則入口差壓計的水銀將為之吸入泵中，大大降低泵之效率。

3. 故障處理與維護

- (1) 使用中馬達突然停止運轉，應先開斷總開關，然後逐一檢查。
- (2) 若玻璃管型 3 A 保險絲燒壞，換新時切勿放大。
- (3) 若過載保護器自動跳脫，則需約隔三分鐘後方可再按開關，恢復操作。
- (4) 水濾清器須定時清洗。
- (5) 實驗完畢，水須放光，增長設備壽命。

(五) 紀錄演算及繪水磊性能曲線

1. 離心式水泵性能實驗記錄與運算順序表

項 目	轉速 N	水 位 高 h	角 速 率 Q	因吸入、排出二水管直徑相等， $\therefore V_s = V_d$ ， 故 $V_s / 2g + V_s^2 / 2g$ 不計入，免用全水頭					吸入方之 靜壓水頭 $h_s =$ $\frac{f_{sp} M_s}{f_w}$	總揚程 (H) $h_s + h_d$
				排出方二 水銀面之 高度差 M_d	低水銀面 與基準面 之高度差 Z_d	排出方之 靜壓水頭 $h_d =$ $\frac{f_{sp} M_d}{f_w} + Z_d$	吸入方二 水銀面之 高度差 M_s	吸入方中心 與基準面 之高度差 Z_s		
單 位	RPM	M	M^3/sec	M	M	M	M	M	M	M
記 數										
與 運										
算										

水 之 比 重 量 γ_w	水功 L_w $102 f_w H Q$	馬達輸入水泵之軸功率				系 效 率 $[\eta_p]$ L_w / L_s
		電 壓 V	電 流 A	功 率 W $\cos \theta$	馬達 效率 η_M $\frac{\sqrt{3} V A \cos \theta}{1000} \eta_M$	
$10^3 \text{ kgf}/M^3$	KW	$volts$	Amp	$\sim 65\%$	$\sim 70\%$	KW
						$\%$

2. 仍前示之水泵性能曲線範例，就實驗數據描繪

 $Q-N$ 、 $Q-\eta_p$ 、 $Q-H$ 及 $Q-L_s$ 諸曲線！

(六) 問題討論

1. 繪出之諸曲線和範例相似嗎？若否，何故？
2. 布頓錶和乙型管之兩種 h_a 求法，結果一致嗎？
3. 當 $h = 0.05 M$ 時，求 Q 的公式兩個都可以用，所得答案一樣嗎？
4. 實驗心得如何？試簡述之！
5. 泵轉動時，若其進水閥尚未全開，將會造成什麼損害？
泵未停而先關閉進水閥，又如之何？

二、管路系統水頭損失實驗

(一) 目的

1. 測定摩擦因數 f 和非均勻流動損失係數 K_L ，與理論或經驗值比較之。
 2. 了解管路系統之主要零件及其特性，進而熟悉有關管路之最佳設計。
- 〔註〕水流經之諸斷面無變化者，其間之流動稱為均勻流。若斷面有變化者，則為非均勻流。

(二) 設備

泵、水箱、直管、彎管、閘閥、球閥、突增管、突縮管、壓力錶、馬錶、打氣筒及溫度計等。

(三) 原理

1. 管路系統之水頭損失，其原因有二：

- (1) 由於摩擦者，其討論限於遠離管路出、入口之斷面無變化之直管部分。
- (2) 由於形狀變化者，如管路出口和入口、彎曲處、水閘、突增或突縮處及分枝處等等的非均勻流動皆屬之。

上二原因所產生的水頭損失，其求法均引用柏努利定理 (Bernoulli's Theorem)。

先用差壓計測得二壓力孔口之儀壓頭，或稱

$$\text{水柱差} = \left(\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + Z_2 \right)$$

次由 $V = \frac{Q}{A}$ ，求取 $\frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2)$ ，加於上式，乃得

$$\text{水頭損失 } H_L = \left(\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (18)$$