

07079

高等學校教學用書

# 水 力 學

下 冊

Н. З. ФРЕНКЕЛЬ 著  
劉成玉 徐華舫等譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



水 力 學

下 冊

H. 3. 富蘭凱爾著  
劉成玉 徐華舫等譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的富蘭凱爾 (Н. З. Френкель) 著“水力學” (Гидравлика) 1947 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為機械高等學校和機械系的教科書。

參加譯本前十一章譯校工作的有北京航空學院劉成玉、王寶興、陳克鏘、夏培原、袁幼圃等同志，最後由徐華舫同志負責校訂；後九章由徐華舫同志翻譯。

# 水 力 學

下 冊

書號50(課47)

---

富 蘭 凱 爾 著  
劉 成 玉 徐 華 舫 等 譯  
高 等 教 育 出 版 社 出 版  
北 京 瑞 瑤 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售  
商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷  
上 海 天 通 海 路 一 九 〇 號

---

開本850×1168 1/32 印張5 10/16 字數 142,000  
一九五四年八月上海第一版 印數 4,001—5,500  
一九五五年二月上海第二次印刷 定價 羊 10,000

# 下 冊 目 錄

第十二章 貯水塔中水位不變下輸水管系的水力學計算。解析法 及圖解法(水面不變之下的水力學計算) .....	249
§ 109. 等截面的自流管路(簡單輸水管路) .....	249
§ 110. 管截面有變化的簡單自流管路 .....	251
題 41. ....	252
§ 111. 虹吸式輸液管路及其工作特點。工作量的求法 .....	253
§ 112. 虹吸式管路臨界點上壓強的算法。極限高度的求法 .....	255
§ 113. 虹吸式輸液管路或自流輸水管路的工作量圖解法 .....	256
題 42. ....	258
§ 114. 具有支路的自流管路(串連並連管路系)的圖解法 .....	259
§ 115. 導管中的水錘。儒可夫斯基和米紹的公式 .....	261
§ 116. 水錘揚水機 .....	266
題 43. ....	268
第十三章 由孔口及噴管出來的外射流動 .....	269
§ 117. 定高水位下由薄底孔口外射的流動。速度係數、收縮係數及流量係數。完 善收縮與不完善收縮。全部收縮與部份收縮 .....	269
§ 118. 流量係數。收縮係數。速度係數和阻力係數的實驗求法。流跡。反形 .....	274
§ 119. 定高水位下由鉛直薄壁上等寬孔口出來的射流 .....	279
§ 120. 定高水位下由鉛直薄壁上三角孔口出來的射流 .....	279
§ 121. 定高水位下由鉛直薄壁上圓孔口出來的射流 .....	280
§ 122. 定高水位下由浸沒孔口出來的射流 .....	282
§ 123. 經文氏直管嘴和包達直管嘴出來的射流 .....	283
§ 124. 錐形管嘴和劈錐曲面管嘴出來的射流 .....	288
§ 125. 射流的鉛直射高及水平射程 .....	290
第十四章 洩盡貯器的時間 .....	293
§ 126. 基本方程 .....	293
§ 127. 沿高度橫截面積不變的貯液器之洩盡時間 .....	295
§ 128. 變截面貯液器的洩盡時間 .....	296
題 44—51. ....	300

§ 129. 洩盡時間圖解法 .....	308
題 52. ....	310
<b>第十五章 給水管路系 .....</b>	<b>311</b>
§ 130. 簡單給水管路, 流量模數及給水公式 .....	311
§ 131. 有支路的給水管路系 .....	315
§ 132. 沿途不斷消耗的給水管路系 .....	318
§ 133. 三貯水櫃問題 .....	320
§ 134. 水泵設備的水能平衡關係, 水泵的有效功率, 水泵壓頭, 原動機功率 .....	324
§ 135. 管路經濟核算要旨 .....	328
題 53. ....	331
<b>第十六章 明渠中水的等速流動 .....</b>	<b>334</b>
§ 136. 等速流動的基本方程, 舍季公式, 速度特性數, 流量特性數 .....	334
§ 137. 求舍季係數 $C$ 的半經驗公式和經驗公式 .....	337
§ 138. 渠道最有利截面形狀的求法, 渠道充水程度 .....	342
題 54. ....	347
<b>第十七章 稜形河床中水的不等速流動 .....</b>	<b>348</b>
§ 139. 流體作定型漸變不等速流動的水力斜度, 截面的能量, 臨界深度 .....	348
§ 140. 定型漸變不等速流動的自由液面之微分方程, 水躍 .....	350
<b>第十八章 水堰 .....</b>	<b>352</b>
§ 141. 水堰分類 .....	352
§ 142. 液流經堰口的流動, 厚壁水堰, 實用截面形的水堰, 薄壁水堰, 特殊形狀的水流 .....	356
§ 143. 薄壁水堰的計算基本公式 .....	360
§ 144. 厚壁無側向收縮水堰的計算基本公式 .....	361
§ 145. 水堰流量係數的計算公式 .....	363
<b>第十九章 液流所產生的壓力及功 .....</b>	<b>368</b>
§ 146. 求合壓力及合力矩的兩歐拉定理 .....	368
§ 147. 射流作用在固定平面上的壓力 .....	372
§ 148. 射流作用在固定曲面上的壓力 .....	374
§ 149. 射流作用在運動壁面上的壓力 .....	375
§ 150. 射流作用在運動壁面上的功 .....	377

題 55. 法蘭色斯渦輪 .....	380
題 56. 浦爾登渦輪 .....	381
<b>第二十章 流體給運動物體的阻力 .....</b>	<b>383</b>
§ 151. 阻力的一般公式. 壓差阻力. 摩擦阻力. 波阻 .....	383
<b>第二十一章 氣體水力學 .....</b>	<b>393</b>
§ 152. 氣體的平衡方程. 標準大氣 .....	393
§ 153. 氣體流動的微分方程 .....	395
§ 154. 定型流動下沿流線理想氣體微團(微元流束)的柏努利方程 .....	395
§ 155. 定型流動下沿流線理想氣體微團的柏努利方程之能量意義 .....	398
§ 156. 定型流下沿流線理想氣體微團的柏努利方程之圖線 .....	399
§ 157. 氣流的連續方程 .....	399
§ 158. 低於音速的氣流 .....	400
§ 159. 柏努利方程應用舉例——化油器中的空氣流動. 外射氣流的速度及流量 .....	402
§ 160. 氣體流速及流量的解析公式. 由孔口外射氣流的最大流量及最大流速 的求法. 拉伐爾噴管 .....	408
§ 161. 氣體在管中流動能量損失的求法 .....	407
§ 162. 氣流的重量流量及管路直徑的求法 .....	408
題 57—59. ....	411
<b>中俄人名對照表 .....</b>	<b>413</b>
<b>中俄名詞對照表 .....</b>	<b>415</b>

# 水 力 學

## 第十二章 貯水塔中水位不變下輸水管 系的水力學計算解析法及圖解法 (水面不變之下的水力學計算)

由水塔供水，塔中水位保持不變的輸水管系的水力學計算，在計算與容量很大的貯水塔相連接的輸水系時，要用到。這時貯水塔中的水位變化幾乎總是微不足道的，對流量簡直沒有什麼影響的。簡單的輸水管系(自流式或虹吸式)或具有複雜支路的管系，都是與此類似的輸水管系。

計算具有支路的輸水管系，用解析法幾乎總是太繁。因此，關於這方面的計算，我們主張用圖解法。

### §109. 等截面的自流管路(簡單輸水管路)

簡單的自流管路是一種沒有支路的管路，而且整條管子都位於供水塔的水面之下。關於這種簡單輸水管路的計算，主要的有下列兩種問題：一種是給了  $L$ ， $D$  和  $\lambda$ ，為了保證指定的流量  $Q$ ，問管路必須降低的高度  $H_0 + h$  (圖197) 是多少；另一種是給了  $H_0 + h$ ， $L$  和  $\lambda$ ，為了保證所需要的流量  $Q$ ，問管子

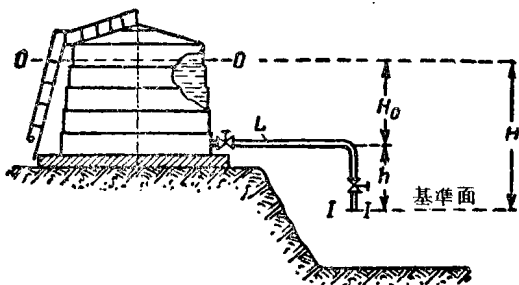


圖 197. 定值管徑自流管路示意圖。

的直徑該是多大。

第二類問題最好先設管直徑。這時的計算就變成去求流量了，管路在各項已給的條件下，其流量應該恰是所要的數值。

應該指出，設計強大的水泵設備或用高的水塔以供給水源，這時長輸水管路的直徑計算，是一個很複雜的經濟問題。到 §135 裏我們將證明，在一定的具體條件下，必有一個最經濟的管直徑，這個直徑決定與之相對應的管中經濟流速，及經濟流量。離開經濟直徑，無論向哪一邊偏離，都會使建築費和輸水管系經營費二者的總和增加。

自流管路能利用自然地勢，以取得所需要的壓頭時，其流速及流量簡直沒有什麼限制，祇要它的流速及流量能保證管路及整套設備作正常的工作。這時祇需要計算一下有無空穴形成（其時液流中的壓強低於其汽化壓強），有無水錘現象（水錘原理將在 § 115 講到）。這兩種現象都不應發生。

爲了推演計算用公式，我們引用柏努利方程於圖上的 0—0 和 1—1 兩截面，並取管子的末端水平面作爲基準面。

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_{0cp}^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_{1cp}^2}{2g} + \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{1mp} \frac{v_{1mp, cp}^2}{2g}。$$

這個式子裏的  $z_0 - z_1 = H_0 + h = H$ ， $v_{0cp} = 0$ ，後者是貯水櫃中液面上的速度。所以

$$H_0 + h + \frac{p_0 - p_1}{\gamma} = \frac{v_{1mp, cp}^2}{2g} \left( \alpha_1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)，$$

由此

$$H_0 + h = \frac{Q^2}{2g\omega_{1mp, cp}^2} \left( \alpha_1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) - \left( \frac{p_0 - p_1}{\gamma} \right)。 \quad (314)$$

如果其他各值都給了的話，這個公式就可用來求所要的水管下降高度  $H_0 + h$ 。

據此方程解  $v_{1cp}$ ，得



$$v_{1mp, cp} = \frac{\sqrt{2g\left(H_0 + h + \frac{p_0 - p_1}{\gamma}\right)}}{\sqrt{\alpha_1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}} \quad (315)$$

輸水管的工作能力(流量  $Q$ )按下列求

$$Q = v_{1cp} \omega_1 = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2g\left(H_0 + h + \frac{p_0 - p_1}{\gamma}\right)}, \quad (316)$$

式中的

$$\mu_1 = 1 : \sqrt{\alpha_1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}, \quad (317)$$

稱為輸水管路的流量係數。

如果貯水塔中水面上的壓強和輸水管出口端的壓強一樣,  $p_0 = p_1$ , 則

$$Q = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2g(H_0 + h)} = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2gH}, \quad (318)$$

而

$$H_0 + h = \frac{Q^2}{2g\mu_1^2\omega_{1mp}^2}. \quad (319)$$

### §110. 管截面有變化的簡單自流管路

管截面有變化的簡單自流管路的計算法,基本上和等截面管路相類似的。這時祇要把輸水管路的流量係數另算一下。這是因為每一段管路中的單位損失能量必須分別求,各段管中液流的速度不相等的緣故。因此柏努利方程中便有了兩段管路中的流速,即

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_{0cp}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_{2cp}^2}{2g} + \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta\right)_{1mp} \frac{v_{1mp, cp}^2}{2g} + \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta\right)_{2mp} \frac{v_{2mp, cp}^2}{2g}.$$

請參照圖 198 上的略圖。仍取  $z_0 - z_2 = H_0 - h$ ,  $v_{0cp} = 0$ , 並且  $p_0 = p_2$ ; 利用連續方程  $v_{1mp, cp} \cdot \omega_{1mp} = v_{2mp, cp} \cdot \omega_{2mp}$ ,

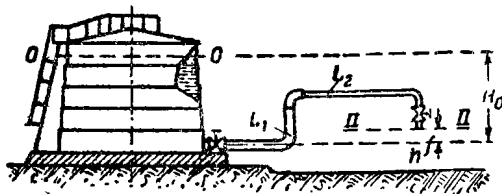


圖 198. 管直徑有變化的自流管路略圖。

由此

$$v_{2mp.cp} = v_{1mp.cp} \left( \frac{\omega_{1mp}}{\omega_{2mp}} \right),$$

於是得

$$v_{1mp.cp} = \frac{\sqrt{2g(H_0 - h)}}{\sqrt{\left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{1mp} + \left( \alpha_2 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{2mp} \left( \frac{\omega_{1mp}}{\omega_{2mp}} \right)^2}}, \quad (320)$$

$$Q = v_{1mp} \omega_{1mp} = \omega_{1mp} \frac{\sqrt{2g(H_0 - h)}}{\sqrt{\left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{1mp} + \left( \alpha_2 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{2mp} \left( \frac{\omega_{1mp}}{\omega_{2mp}} \right)^2}} = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2g(H_0 - h)}. \quad (321)$$

最後這個公式裏的  $\mu_1$  是對第一段管路而言的流量係數。

應該注意到，流量  $Q$  也可以用速度  $v_{2mp}$  按下式計算：

$$Q = v_{2mp} \cdot \omega_{2mp}.$$

但這時對第二段管路而言的流量係數必是另一個式子。

當然，流量的數值應該和用哪一個公式計算沒有關係。

題 41 已知 (圖 198)  $H_0 = 8$  米,  $h = 1$  米,  $L_1 = 50$  米,  $D_1 = 106$  毫米,  $d_1 = 0.6$  毫米,  $L_2 = 50$  米,  $D_2 = 80.5$  毫米,  $d_2 = 0.6$  毫米, 求充滿容積  $V = 3200$  呎所需要的時間。

管路上安了兩個魯德勞式開關, 一個 4", 一個 3"。管路有三彎曲處。

解 充水時間按公式

$$t = \frac{V}{Q}$$

計算, 式中的  $Q$  是管路的流量, 其值按

$$Q = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2g(H_0 - h)}$$

計算。對第一段管路而言的流量係數

$$\mu_1 = 1: \sqrt{\left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{1mp} + \left( \alpha_2 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{2mp} \left( \frac{\omega_{1mp}}{\omega_{2mp}} \right)^2}$$

假定流態是紊流，兩段管子中都是  $Re > \frac{191.2(D)}{\sqrt{\lambda}}$ ，我們可以取  $\alpha_2 = 1, \lambda_2 = 0.034$ ， $\zeta_{закр} = 0.134, \zeta_{Людло} = 1.2, \zeta_{ex} = 0.5, \zeta_{непер} = 0.26 \left( \frac{D_2}{D_1} = 0.76 \right), \lambda_1 = 0.031$  (這相當於平方區的尼古拉茨公式)。

於是

$$\mu_1 = 1: \left[ \left( 0.5 + 0.031 \times \frac{50}{0.106} + 2 \times 0.134 + 1.2 \right) + \left( 1 + 0.034 \times \frac{50}{0.0805} + 0.26 + 0.134 + 1.2 \right) \times 3.01 \right]^{\frac{1}{3}} = 0.107。$$

$$Q = 0.107 \times 0.785 \times (1.06)^2 \times \sqrt{196.2 \times 70} = 11 \text{ 呎/秒。}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{3200}{11} = 291 \text{ 秒,}$$

$$Re_1 = \frac{Q}{0.785 D_1 \nu} = \frac{11}{0.785 \times 1.06 \times 0.00008} = 165,000,$$

$$Re_2 = \frac{Q}{0.785 D_2 \nu} = \frac{11}{0.785 \times 0.805 \times 0.00008} = 219,000。$$

四吋管子的

$$Re_1 < \frac{191.2 \left( \frac{D_1}{D} \right)}{\sqrt{\lambda}} = 190,500,$$

但

$$Re_1 > \frac{56.0 \left( \frac{D_1}{D} \right)}{\sqrt{\lambda}} = 56,000,$$

$$Re_2 > \frac{191.2 \left( \frac{D_2}{D} \right)}{\sqrt{\lambda}} = 138,000。$$

因為  $Re_1$  很接近 190,500，我們就不再重算  $\lambda$  了。

### §111. 虹吸式輸液管路及其工作特點,工作量的求法

虹吸式輸水管路是這樣的一種管路,它有一段管子的位置比供水的貯水櫃中的水位還高。例如從鐵路油槽車往外吸石油之類的場合,就是用的這種輸液管路。

虹吸式輸液管路有很多用處。虹吸式輸液管路的優點在於,管路是由貯液櫃的頂部連出去的,因此就不必削弱貯液櫃的底部或腰部。這一點在地下軌道

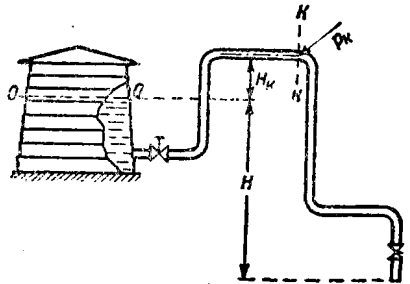


圖 199. 虹吸式輸液管路示意圖。

上用的貯液櫃和油槽車是非常重要的。

還必須指出，虹吸式輸液管路往往是經濟的自流式管路，因為讓輸水管路高於液體基準水面之後，土工就可以省很多。

虹吸式輸液管路有上述的優點，同時也有一個大缺點，那就是這種管路一定要等到灌滿液體之後，它才會放液體出來。虹吸式管路可以用下述的辦法給它灌滿液體。

在管路的最高點接上一個真空泵。輸水管路不很粗大的可用手搖活塞式泵。靠這個泵使虹吸管中造成部份真空，於是貯液櫃中的液體便昇入導管，高出正常的液面，把導管中充滿液體。

虹吸式輸液管路中既充滿液體之後，它就成為自流管路開始工作了(不再要真空泵幫忙)。關於虹吸式輸液管路的計算，除要算它的工作量之外，還得作一種校驗的計算，所以必須作校驗計算的理由如下：因為虹吸式輸液管路有一段管子位置高於貯液櫃中的液面，貯液櫃液面上的壓強通常等於大氣壓，而管路中最高點或最遠點的壓強必低於大氣壓，可能低到汽化壓力(形成空穴)，那就要破壞虹吸的工作。

因此在作虹吸式輸液管路計算時，必須算一下，管路在液面之上的高度限制，並求一下臨界點的壓強；所謂臨界點就是壓強最低的一點。

虹吸式輸液管路的工作量計算法，和自流式管路相類似。例如由兩種截面的管子所組成的管路，其流量按下式求

$$Q = \mu_1 \omega_{1mp} \sqrt{2gH},$$

式中的

$$\mu_1 = 1: \sqrt{\left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{1mp} + \left( \alpha + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{2mp} \left( \frac{\omega_{1mp}}{\omega_{2mp}} \right)^3},$$

計算過程如題 41。

如果液面的高度  $H$  是變化的話，那末上列公式的流量  $Q$  是對應於液面的瞬時高度的。

### §112. 虹吸式管路臨界點上壓強的算法. 極限高度的求法

在附圖上, 臨界點是最高最遠的一點。爲求該點的壓強, 我們引用柏努利方程於 0—0 和  $k-k$  兩截面上, 得

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_{0cp}^2}{2g} = z_k + \frac{p_k}{\gamma} + \frac{\alpha_k v_{kcp}^2}{2g} + \sum \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{0-k} \frac{v_{cp}^2}{2g}$$

注意,  $z_k - z_0 = H_k$ ,  $v_{0cp} = 0$ , 於是得

$$\frac{p_k}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - \left[ H_k + \frac{\alpha_k v_{kcp}^2}{2g} + \sum \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{0-k} \frac{v_{cp}^2}{2g} \right].$$

所求得的這個  $p_k$  值應該大於  $p_t$ , ( $p_t$  是汽化壓強), 就是說,

$$\frac{p_0}{\gamma} - \left[ H_k + \frac{\alpha_k v_{kcp}^2}{2g} + \sum \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{0-k} \frac{v_{cp}^2}{2g} \right] > \frac{p_t}{\gamma}. \quad (322)$$

汽化壓強決定於液體的種類和液體的溫度。水和格羅茲年汽油的  $p_t$  列在表 7 和 8 上。

必須指出, 所推得的  $p_k$  式子應該可以用於虹吸式管路中的任何一點。祇需將式子裏的  $H_k$ ,  $L$ ,  $\lambda$  和  $\zeta$  代以應有的數值。

看  $p_k$  的解析式子, 我們看到管路中某點上的壓強  $p_k$  是隨  $H_k$ ,  $L$  二值愈大而愈小的, 即該點的位置愈高愈遠, 其壓強愈低。管路中的流速愈大, 即  $H$  (外流壓頭) 愈大, 壓強  $p_k$  愈小。

小直徑對  $p_k$  有不利的影響, 局部阻礙也不利。應該指出來, 從這個觀點上看來, 局部阻礙的合理位置應該在臨界點之後。這時必須注意到, 局部阻礙在管路上的位置對管路的工作量是沒有影響的。

求虹吸式輸液管路的高度限制從公式(322)出發。

增加  $H_k$ , 按公式, 壓強  $p_k$  下降。極限高度  $H_{k, npe\delta}$  在  $p_k$  降至  $p_t$  時達到。

$$\text{那時} \quad \frac{p_t}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - \left[ H_{k, npe\delta} + \frac{\alpha_k v_{kcp}^2}{2g} + \sum \left[ \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right]_{0-k} \frac{v_{cp}^2}{2g} \right],$$

由此

$$H_{k,npe\partial} = \frac{p_0}{\gamma} - \left[ \frac{p_t}{\gamma} + \frac{\alpha_k v_{kcp}^2}{2g} + \sum \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)_{0-k} \frac{v_{cp}^2}{2g} \right]. \quad (323)$$

按公式(319),以流量來表速度,則得

$$H_{k,npe\partial} = \frac{p_0 - p_t}{\gamma} - \left[ \frac{\alpha_k}{\omega_k^2} + \sum \left( \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) \frac{1}{\omega_{0-k}^2} \right] \omega_{imp}^2 \mu_1^2 H. \quad (324)$$

在簡單管路中也能生空穴現象(即壓強低到了汽化極限壓力)。因此,無論在哪個水力計算中,這個問題都應該研究一下。

### §113. 虹吸式輸液管路或自流輸水管路的工作量圖解法

我們已經指出過了,用圖解法作有支路的管路水力計算,可以簡化計算步驟。爲了很好地了解這種方法,我們先把它用於簡單的場合上,即用於簡單的自流管路或虹吸式管路。爲了使數學式子簡單些,我們拿等截面的簡單管路來說。

根據公式(319)

$$H = \left( \alpha + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) \frac{Q^2}{2g\omega^2},$$

即

$$H = \alpha Q^2, \quad (325)$$

式中的

$$\alpha = \frac{1}{2g\omega^2} \left( \alpha + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right). \quad (326)$$

如將  $H$  及  $Q$  作變數看,則二者之間的關係可表爲圖 200 那樣的圖線。原點放在管路出水口的水平面上。

橫坐標軸作爲  $Q$  軸,縱坐標軸作爲  $H$  軸。

取  $Q_1, Q_2, \dots$  等一系列的數值,按給定的管直徑計算各對應流態 ( $Re$ ) 下的  $\lambda$  和  $\zeta$ , 求出對應的  $H_1, H_2, \dots$  等值然後作曲線,這種曲線以後叫作簡單管路的特性曲線。 $H = \alpha Q^2$  式中的係數  $\alpha$  稱爲特性係數。

管路的特性曲線決定於流態,流態又對應於流量。流量很小時,在給定的液體黏性及管路尺寸下,對應的  $Re$  很小,整條管路中可能全是層流,局部阻礙也包括在內,這種流態下的管路特性線是條直線。

到了紊流之後，損失的規律就變了。在第一個階段上，損失與流量的 1.47 次方成比例，後來，如果是粗糙管子的話，損失便與流量的平方成比例。

所以，一條管路的特性線在它的全長上是可以有變化的，由直線變為二次拋物線。液體的黏性很小時，照例，層流區是不存在的。此外，黏性很小的液體其特性線工作段通常很近於平方區。因此，最常見的管路特性線是二次拋物線。按上述，可見每個問題都該個別地弄弄清楚。當然，沒有必要的話，是不應把計算弄複雜化的。

如果計算的是平方區，則管路特性係數  $a$  是常數，而特性線作起來就非常簡單了。不論那種管子，圖 200 上虛線的端頭都相當於平方區開始點。

指定了某個液面高度  $H_0 + h = H$  之後，管路的工

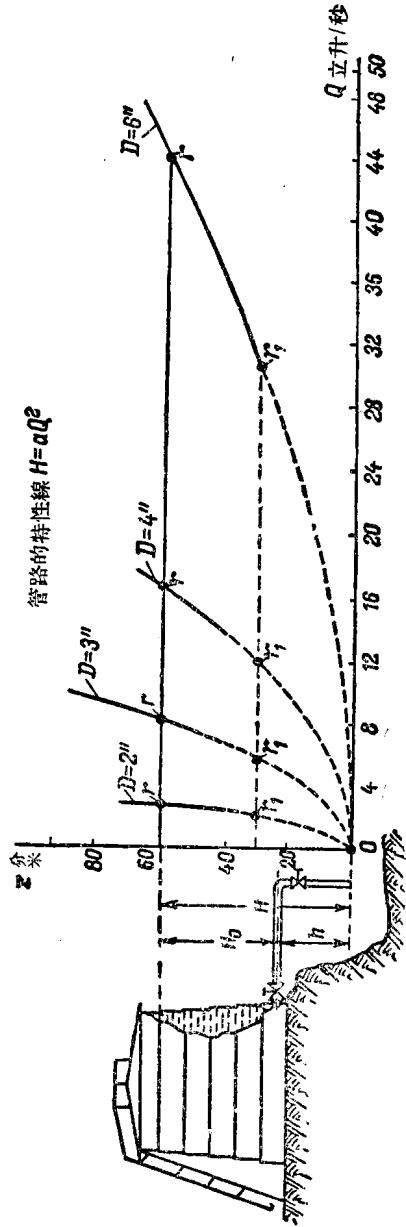


圖 200. 簡單自流管路的圖解法。  
 $r$  和  $r_1$  兩點在一定的條件下代表管路的工作量。

作量用一條水平直線與管路特性線相交 ( $r$  點) 便得到了, 這條水平線由貯液櫃的液面作起。

液面變化時, 管路的工作量也變化。但任何一個液面高度之下管路的工作量總是由相應的水平線和特性線相交去決定的。

管直徑有變化時, 特性係數  $\alpha$  必變化, 管路的特性線也必變化。管直徑變小時, 特性線變陡些, 管直徑變大時, 特性線變坦些。管路的工作量因此也有了變化, 但無論那條管路的工作量都是用已知液面的水平線與管路的特性線相交去決定的。

**題 42 管路工作量的研究** 試用圖解法求圖 200 上所表示的自流管路的工作量, 並分析管直徑和貯油櫃中的油面高度對工作量的影響。

管路長設為 100 米。

管直徑  $D_1=156$  毫米 ( $6''$ ),  $D_2=106$  毫米 ( $4''$ ),  $D_3=80.6$  毫米 ( $3''$ ),  $D_4=53$  毫米 ( $2''$ ), 粗糙度  $\Delta=0.6$  毫米。

作分析, 需做管路特性曲線。

在構作管路的特性線時, 我們考慮 §113 中所述的理由取  $\lambda$  和  $\zeta$  對應於平方區的數值。

2 吋管路的特性線可表為下列方程

$$H_{2''} = \left( \alpha + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_{ex} + 2\zeta_{септ} + \zeta_{закр} \right) \frac{Q^2}{2g\omega^2},$$

$$H_{2''} = \left( 1 + 0.04 \times \frac{100}{0.053} + 0.5 + 2 \times 0.8 + 0.134 \right) \times \frac{Q^2}{196.2 \times 0.0487} = 8.24 Q^2 \text{ 分米,}$$

同樣地, 3 吋, 4 吋, 6 吋三種管路的特性線式子各是

$$H_{3''} = \left( 1 + 0.034 \times \frac{100}{0.0805} + 0.5 + 2 \times 1.2 + 0.134 \right) \times \frac{Q^2}{196.2 \times 0.239} = 0.91 Q^2 \text{ 分米,}$$

$$H_{4''} = \left( 1 + 0.031 \times \frac{100}{0.106} + 0.5 + 2 \times 1.2 + 0.134 \right) \times \frac{Q^2}{196.2 \times 0.779} = 0.217 Q^2 \text{ 分米,}$$

$$H_{6''} = \left( 1 + 0.028 \times \frac{100}{0.156} + 0.5 + 2 \times 1.2 + 0.134 \right) \times \frac{Q^2}{196.2 \times 3.65} = 0.0306 Q^2 \text{ 分米.}$$

把構作特性線的數據列表如下:

Q 呎/秒	2	4	6	8	10	12	16	18	20	30	50
$H_{2''}$	32.96	132	297	—	—	—	—	—	—	—	—
$H_{3''}$	3.64	14.6	32.8	58	91	—	—	—	—	—	—
$H_{4''}$	0.87	3.47	7.61	13.88	21.7	31.25	55.6	70.0	—	—	—
$H_{6''}$	0.12	0.49	1.10	1.96	3.06	4.4	7.84	9.9	12.24	27.54	76



從貯液櫃中自由液面作的一條水平線與各管路特性線的交點  $r$ ，決定各種管路的工  
量。

把液面水位由 6 米降為 3 米，管路的工作量變化如下：

$D=2''$  管路由  $Q=2.72$  呎/秒降到 1.91 呎/秒，

$D=3''$  管路由  $Q=8.1$  呎/秒降到 5.74 呎/秒，

$D=4''$  管路由  $Q=16.6$  呎/秒降到 11.80 呎/秒，

$D=5''$  管路由  $Q=44.3$  呎/秒降到 31.3 呎/秒。

這裏應該注意工作量隨管徑增加的情形。例如，4 吋管路的工作量等於 2 吋管路的 6.1 倍。這是  $L=100$  米時的比數。是另一個長度的話，將得別的比數。同時必須注意到，工作量的增加，不僅是由於管路截面積的增大（在我們作比較的兩種管路上，面積祇增大為 4 倍），而且還由於管路中水力阻力減少的緣故。後一種關係在我們作比較的例子裏，使工作量增為 1.53 倍。在紊流的流態下，可以近似地認為管路的工作量與管直徑的 2.5 次方成比例，在層流的流態下，工作量和管直徑的四次方成比例。

### §114. 具有支路的自流管路(串連並連管路系)的圖解法

我們來看一看圖 201 裏的串連並連管路系。管路 1 與管路 2 是平行工作的。管路 3 和這兩路管子串連。1, 2 兩管路的出口端在同一水平上。

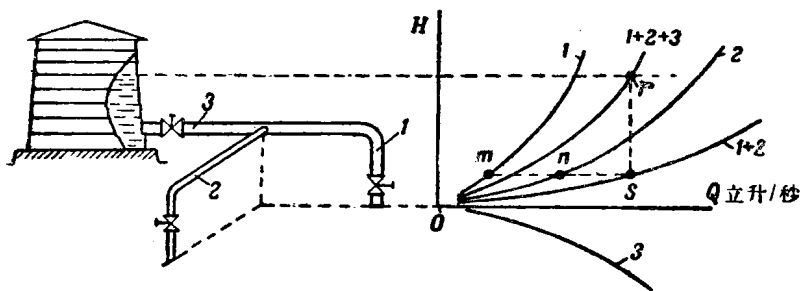


圖 201. 具有支路的自流管路圖解法 ( $r$  點決定 3 管的工作量，  
 $n$  和  $m$  兩點則決定 2 和 1 兩管的工作量)。

要求這樣的管路系的工作量需用下列的圖解法。管路系可分作三段：第一段是管路 1，第二段是管路 2，第三段是管路 3。根據前面的式子，三條管路的特性線可表為下列三方程：