

水 力 学 的 諸 謨 图 解 計 算

Г. С. 郝万斯基著

科 学 出 版 社

水力學的諾謨圖解計算

Г. С. 郝萬斯基 著

顧 鐵 華 譯

科 學 出 版 社

1 9 5 8

Г. С. ХОВАНСКИЙ
НОМОГРАФИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
В ГИДРАВЛИКЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1956

內 容 簡 介

本書詳細闡述了如何應用諾模圖解法來解許多水力學問題。書中所涉及的問題都是平時學術上及實際工程計算中認為難解決的項目，如：梯形渠道水力經濟斷面屬性的研究，迴水曲線與降落曲線的計算，正常水深、流速與水力半徑的確定，謝濟係數 C 的一般公式的近似代換，圓形有壓與無壓水管的水力計算，輸水管段放空時間的計算以及上、下水道水泵的選擇與輸水管聯合工作的計算等。但是由於作者在本書中成功地運用了諾模圖解的工具，使前述課題的研究與計算導入到一個極為明晰簡捷的境地，所以大大地減輕了有關人員在這些領域內的負擔。

本書共分七章，除正文內附有一些單獨的諾模圖外，另外還附有107幅工作諾模圖。應用這些諾模圖，就可以毫不費事地，滿意地解決前述問題。書中還附有詳盡的例題說明如何應用諾模圖解各種不同類型的問題。

本書為水利工程設計人員、水電工程的水工設計人員、城市建築設計人員、有關部門的科學研究人員在工作中以及水利學院、土木系城市建築專業學生在課程設計中的有益工具。

水力學的諾模圖解計算

Г. С. 郝萬斯基著
顧 鐵 華 譯

科學出版社出版 (北京朝陽門大街117號)
北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

科學出版社上海印刷廠印刷 新華書店總經售
上海信大橡皮印刷廠

1958年12月第一版 書號：1613 字數：126,000
1958年12月第一次印刷 開本：787×1092 1/18
(滬)0001—2,004 印張：5 7/9 插圖：71幅

定價：(10) 3.20 元

原 序

本書闡述了如何應用諾謨圖解法來解許多水力學問題。其目的是在於想通過一些具體例子來顯示在水力學中廣泛應用諾謨圖解法的可能性及其遠景；同時給出一些用來解本書中所研究到的水力學問題的工作諾謨圖。本書共分成七章，並包含107幀工作諾謨圖。此外，在正文內還附有一些單獨的諾謨圖。書中的每一章都是彼此獨立的、互不關連的、完整的。把它們綜合起來，就成為諾謨圖解法。

在談到各章的內容之前，我們先來講一下諾謨圖解法的某些特性。

在水力學中應用諾謨圖解法不僅能使計算技術大為簡化並機械化（這一點是諾謨圖解法的主要目的），並且，在某些情況下還可以得到原則上新的水力學成果。在用諾謨圖解法來尋求這種成果時，通常有三種方法。

第一種方法是檢查在問題提出時、以及在推導計算公式時曾經作過的所有簡化辦法及假定。在水力學問題中採用某種假定常常是由於想要得出便於計算的關係式。但是，一個便於諾謨圖解的公式與一個便於計算的公式是不相同的兩個概念。所以，在着手對任一水力學問題進行諾謨圖解的時候，必須從諾謨圖解法的觀點來重新審查原先所作的假定，這樣就或許有可能要採用新的假定來使計算式變換到適合於諾謨圖解的形式。如果發現：在把已知關係式變換到適合於諾謨圖解的形式時所要作的簡化假定，比諸把它們變換成便於計算的形式時為少，那末，這時我們就能夠得出某種新的水力學成果。

在諾謨圖解某些水力學公式時也可能發現新的水力學成果；而這些公式由於它們原來的複雜性以及運用不便，所以一般都不可能獲得實際應用。但是，把這些公式諾謨圖化就能使它們成為實踐中的財富。

最後，用諾謨圖解法來獲得新水力學成果的第三種方法是應用諾謨圖來對水力學中的關係式作性質上的探討，以查明還不知道的性質，而這些性質在諾謨圖解時是能夠發現的。

諾謨圖有一個極其可貴的性質，就是：它可以幫助我們對已經諾謨圖化了的關係式進行分析。在許多水力計算中，重要的不僅是在於求出要求數值的答數，而且還要查明已知量的變動對它們將引起怎樣的影響。一張繪製得成功的諾謨圖能夠清楚地顯示出所有引入諾謨圖解公式中的數值之間的相互關係，也就是：能夠很容易地用它來分析一種數量在變動時對其他數量的影響。

當一張已知水力關係的諾謨圖中某一要素具有肯定的水力學意義時，那末，這種諾謨圖對我們就有很重大的意義。因為這時它既是一種計算儀器，同時又是一個清楚的、以諾謨圖解公式來表示的水力學定律的幾何模型，所以這時的諾謨圖具有特殊的價值。

現在我們來說明一下本書各章的性質。

在第一章裏列舉的一些工作諾謨圖，可以用來計算最常用的上、下水道水泵與輸水管的聯合作。在要確定已知水泵及已知參變數為 H_s 與 S 的輸水管在聯合作時的 q , H , N , η , $H_{允許}$ 值時，只要在這些諾謨圖上貼上一支規尺就行了；同時，從這些諾謨圖上還能夠看到上述那些數量隨 H_s 與 S 而變化的關係。在諾謨圖上還能夠得到關於輸水管特性、極限工作點以及水泵流量特性有益的幾何闡釋。我們為繪製這些諾謨圖，擬定了極為詳盡的方法，它們是根據稱為基本諾謨圖的諾謨圖 No. 63—71 來繪製的，基本諾謨圖起着一種專用函數紙的作用。根據基本諾謨圖來繪製計算離心式水泵與輸水管聯合作用的諾謨圖的方法，已經被我們簡化到了即使是一個不具一些諾謨圖解法方面專門知識的人也能够作得出來的地步了。

在第二章裏研究了計算輸水管段放空時間的新方法，這種方法首先是對水面面積變化的分區進行計算。在直徑較大的輸水管中，這種分區的影響通常是很顯著的。但是，所引用的計算公式通常都具有複雜的解析形式。所以在實際應用這種公式時，就常常會遇到很大的困難。在這裏，我們可以藉助於諾謨圖解法來應用這些公式。恰當地運用諾謨圖解的工具，就能把所引用的公式成功地表示成極為簡單而明瞭的諾謨圖（諾謨圖 No. 72—76），這樣一來，實際應用這些公式的可能性問題就得到了解決。在本章中，我們還有一個應用諾謨圖解法的例子可以作為研究函數關係用的資料。為了對推導計算公式時採用的假定所引起的誤差進行評價，我們繪製了專門的諾謨圖（圖 46,）。這種諾謨圖不僅可以給出一個完整的，關於所採用的假定對放空時間影響的概念，而且還可以確定計算參變數的變動範圍，在這個範圍裏，由於所採用的假定所生的誤差將不會引起重大的影響。

在第三章裏，研究了一般形式的謝濟係數 C 的公式（H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式，И. И. 阿格羅斯金教授的公式，等等）被指數為常數值 y_0 的指數式公式以某種允許的誤差來代替的可能性問題。該項研究工作是靠了特意為此而繪製的諾謨圖（圖 47, 48, 49 與 50）用諾謨圖解法完成的。對諾謨圖所進行的分析給早先所已知的性質作出了清楚的解釋，並且還尋出了一些新的性質。在諾謨圖上，清楚地證明了這樣一個事實，就是：在 n 與 R 的全部變動範圍內，不存在這樣一個指數值 y_0 ，能使係數 C 的指數式公式以允許的誤差代替一般形式的係數 C 的公式。然而，從諾謨圖的分析中還應該得出下述結論：即在通常所採用的 y_0 值下， n 與 R 的變動範圍就已經夠大了，而在這個範圍裏所引起的誤差一般不超過允許的數值（5%）。應用諾謨圖可以很容易地找出每種不同具體情況下這個範圍的界限。從諾謨圖（圖 47 與 48）的研究中可以得出結論，即在已定的 n 值較小時，用指數式公式代替 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式與 И. И. 阿格羅斯金教授公式時的誤差也就較小。分析諾謨圖（圖 47 與 49）還可以作出這樣的結論，就是在用 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的簡化公式時，選配與 n 有關的指數值，是不頂好的方式。

在第四章裏列舉了三張諾謨圖（No. 77, 78 與 79），它們是圓形無壓及有壓水管在根據 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式及 A. Д. 阿里舒立公式來作水力計算時用的。諾謨圖可以大大地簡化相應的水力計算，而且還能給計算公式的某些水力

特性以清楚的幾何闡釋。譬如：從計算圓形無壓水管的諾謨圖 No. 77 上，可以清楚地得到有關最優水力經濟斷面性質的、封閉斷面特性的幾何闡釋，以及平方阻力區域內係數 C 計算公式的圖形。諾謨圖 No. 79 可以作為一個特出的範例告訴我們：由於要應用諾謨圖解的緣故，有時候導入一個新的水力學概念常常是有益處的。引用運動黏滯係數臨界值的概念代替常用的雷諾數臨界值的概念，就可以在諾謨圖中引入運動黏滯係數的標尺。這樣一來，在確定流速的同時就可以順便求得水流的流態。有意思的是，在這張諾謨圖上，求解直綫可以把運動黏滯係數的標尺分作兩部分，其中一部分相當於層流狀態，而另一部分相當於紊流狀態。

在第五章裏製定的諾謨圖 No. 80—92 是在根據係數 C 的不同計算公式來確定梯形斷面渠道中正常水深與平均流速時用的。藉助於在計算中引入的換算糙率，我們就能把某一係數 C 的公式變換到另一個，而為了確定這種換算糙率值，我們繪有專門的諾謨圖（諾謨圖 No. 80）。

在第六章裏，研究了已知邊坡係數的梯形渠道在偏離最優水力經濟斷面時對渠道水力要素的影響，該項研究工作是借助特意為此而繪製的諾謨圖（圖 58）來進行的。分析這張諾謨圖，可以使我們發現梯形渠道的最優水力經濟斷面還有下列到目前尚不知道的性質：對於矩形斷面講來是最優水力經濟值的 β ，亦將是所有與邊坡係數值無關的梯形斷面的水力經濟值。

在第七章裏闡述了用諾謨圖解法來計算稜柱形河槽中迴水曲綫與降落曲綫的一般原則，並且列舉了為平底渠道這種特殊情况用的 15 張工作諾謨圖（諾謨圖 No. 93—107）。諾謨圖 No. 93—107 可以用來解出計算類型 c_0 與 b_0 的迴水曲綫與降落曲綫方面的問題，方法是在諾謨圖上疊放四次規尺。用諾謨圖來解釋迴水曲綫與降落曲綫，在理論上有很大的意義。我們可以發現：每一種迴水曲綫與降落曲綫在諾謨圖上正好相當於不同充水程度時曲綫標尺上的固定部分。因而，諾謨圖不僅能夠很快地給出答數來，而且還可以清楚地給我們提供自由水面曲綫。

應當指出，只有在係數 C 用指數式公式時才能夠用諾謨圖解法來計算自由水面曲綫。如果要轉換到另外的計算公式，則必須在積分限內導入一個換算糙率值。在用逐段累加法來計算自由水面曲綫時可以採用這種方法。必須着重強調的是，在根據巴赫米捷夫教授、H. H. 巴甫洛夫斯基院士、M. Д. 切爾陀烏索夫教授、以及其他方法來作迴水曲綫與降落曲綫的計算時，由於在這些方法裏採用了一些簡化假定（引用水力指數 α ，平均值 j ，平均值 a ），所以甚至對係數 C 的指數式公式也不可能用諾謨圖解法了，因為在有了這些簡化假定以後，計算關係式已經不再能化到諾謨圖解的形式。

本書中繁重的插圖編製及諾謨圖的描繪工作是由 T. B. 費爾索夫同志擔任的，為此，作者謹向他表示深切的謝意。

作者還要利用這個機會向莫斯科市蘇維埃執行委員會所屬城市建築工程師學院給水教研室及排水教研室同仁對本書所提出的許多寶貴意見表示深切的謝意。

目 錄

原序

第一章 選擇上、下水道水泵用的諾謨圖及其繪製方法..... 1

1. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖解法 1
 - § 1. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的圖解法及其缺點 1
 - § 2. 用諾謨圖的二元場作為函數網 3
 - § 3. 方程 $H = H_s + Sq^3$ 的諾謨圖解法 5
 - § 4. 方程 $H = H_s + Sq^3$ 的諾謨圖及其性質 6
 - § 5. 離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖 8
2. 使用工作諾謨圖的說明 10
 - § 6. 對諾謨圖 No. 1—62 的一般認識 10
 - § 7. 確定舊的鋼製與鑄鐵輸水管的 $S_{沿程}$ 值的諾謨圖 No. 1 11
 - § 8. 用 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式在糙率 $n = 0,013$ 時確定 $S_{沿程}$ 值的諾謨圖 No. 2 12
 - § 9. 確定 $S_{局部}$ 值的諾謨圖 No. 3 12
 - § 10. 選擇上水道水泵的諾謨圖 No. 4—9 13
 - § 11. 選擇下水道水泵的諾謨圖 No. 51 與 52 16
 - § 12. 計算上、下水道水泵與輸水管的聯合工作的綜合諾謨圖 No. 10—50 與 No. 53—62 17
 - § 13. 綜合諾謨圖的適用範圍及其精度 18
3. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖的繪製方法 19
 - § 14. 基本諾謨圖 No. 63—71 19
 - § 15. 基本諾謨圖的選擇與綜合諾謨圖的繪製 21
 - § 16. 繪製綜合諾謨圖的實例 22

第二章 輸水管段放空時間的計算方法..... 25

- § 1. 問題的提出與基本假定 25
- § 2. 確定複雜輸水管段放空時間的公式的推導 26
- § 3. 確定具有不變與變化水面面積分區放空時間的公式的推導 29
- § 4. $F_s \left(\frac{H}{D} \right)$ 與 $F_s \left(\frac{H}{D} \right)$ 值的計算 32
- § 5. 確定複雜輸水管段放空時間的公式的變換 33
- § 6. 把計算公式變換成能夠繪製諾謨圖的形式 34
- § 7. 確定 u_I 值的諾謨圖 No. 72 35
- § 8. 確定 u_{II} 值的諾謨圖 No. 73 35
- § 9. 確定 u_{III} 值的諾謨圖 No. 74 36
- § 10. 確定 Δl 值的諾謨圖 No. 75 36
- § 11. 確定 t 值的諾謨圖 No. 76 36

§ 12. 計算放空時間及在已知放空時間時選擇洩水口直徑值的例題	37
§ 13. 水面面積變化的分區對放空時間的影響	41
§ 14. 對所提供的計算方法精度的評價	42
第三章 研究謝濟係數 C 的一般公式以指數式公式來近似代換時的諾謨圖解法	51
第四章 作圓形水管水力計算用的諾謨圖	57
§ 1. 用 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式來作圓形無壓水管的水力計算的諾謨圖 No. 77	57
§ 2. 用 H. H. 巴甫洛夫斯基院士的完全公式來計算輸水管中水頭損失的諾謨圖 No. 78	62
§ 3. 用 A. Д. 阿里舒立公式來計算輸水管中水頭損失的諾謨圖 No. 79	64
第五章 確定梯形断面渠道中正常水深、流速與水力半徑用的諾謨圖	68
§ 1. 計算公式	68
§ 2. 確定換算糙率值的諾謨圖 No. 80	69
§ 3. 諾謨圖 No. 81—92	71
第六章 在邊坡給定時研究梯形渠道水力經濟断面屬性的諾謨圖解法	73
第七章 計算平底梯形渠道中的迴水曲綫與降落曲綫的諾謨圖	81
§ 1. 用諾謨圖解法計算簡單稜柱形河槽中水流自由水面曲綫時的一般原則	81
§ 2. 梯形渠道為零坡的情況	85
§ 3. 諾謨圖 No. 93—106	86
§ 4. 諾謨圖 No. 107	88
§ 5. 計算平底梯形渠道中自由水面曲綫的例題	88
§ 6. 根據諾謨圖 No. 93—107 來計算梯形渠道中自由水面曲綫 b_0 與 c_0 的長度時的精度	90
參考文獻	93
俄中人名對照	94
俄中名詞對照	94
諾謨圖 No. 1—107 (分繪於 65 張紙上)	} 附於紙夾內
附件 1—6 (分繪於 6 張紙上)	

第一章

選擇上、下水道水泵用的諾謨圖及其繪製方法

本章闡述了一種新穎而有效的方法，來計算離心式水泵與輸水管的聯合工作；給出了上、下水道水泵的工作諾謨圖及其繪製方法。關於這個方法的簡單介紹，我們曾用論文在雜誌上發表過[1]。上、下水道水泵的工作諾謨圖可以用來解決有關水泵與輸水管聯合工作時的計算問題，以及能夠用來極簡明地進行水泵的選擇；而所有的計算只需在圖上加上一根尺就行了。同時特別可貴的是：在諾謨圖上還明顯地顯示着許多參變數間的相互關係，而這些參變數表示着水泵與輸水管聯合工作時的特性。

本章由三部分組成。第一部分是敘述計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖解法，與相應諾謨圖的繪製原則。第二部分是說明工作諾謨圖的使用。第三部分則闡釋了根據基本諾謨圖來繪製計算離心式水泵與輸水管聯合工作用的諾謨圖的方法。

1. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖解法

§1. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的圖解法及其缺點

在設計抽水站時，正確地選擇水泵具有極重要的意義。水泵應該選擇得能夠使它們具有最佳的工作狀況。因而，對水泵與輸水管的聯合工作就有必要加以計算。計算工作是在於聯合解出下列決定輸水管道系統內總水頭損失的方程

$$H = H_z + Sq^2; \quad (I, 1)$$

以及所謂水泵特性曲綫的關係式

$$H = f_1(q); \quad (I, 2) \quad \eta = f_2(q); \quad (I, 3)$$

$$H_{\text{真空}}^{\text{允許}} = f_3(q); \quad (I, 4) \quad N = f_4(q). \quad (I, 5)$$

各種不同牌號水泵的特性曲綫都繪載於專門的產品目錄內。

在公式(I, 1)—(I, 5)中， H ——總水頭（公尺）； H_z ——幾何揚水高度（公尺）； q ——流量（公尺³/秒）； S ——表徵輸水管道系統內水力阻力的參變數（秒²/公尺⁵）； η ——水泵效率（%）； $H_{\text{真空}}^{\text{允許}}$ ——允許的真空計示吸水高度（公尺）； N ——水泵的軸上出力（瓩）。

方程(I, 1)—(I, 5)中的 H , q , η , $H_{\text{真空}}^{\text{允許}}$ 和 N 值是要求的，而 H_z 、 S 值以及水泵的類型是已知的。在輸水管直徑固定時，方程(I, 1)中的參變數 S 可按下式決定：

$$S = S_{\text{沿程}} + S_{\text{局部}}; \quad (I, 6)$$

式中 $S_{\text{沿程}}$ ——表徵輸水管沿程阻力的參變數（秒²/公尺⁵）； $S_{\text{局部}}$ ——表徵輸水管內局部阻力的參變數（秒²/公尺⁵）。

對於舊的鋼製與鑄鐵輸水管，參變數 $S_{\text{沿程}}$ 值可按 $\Phi. A. \text{歌凡烈夫}$ 公式[2]來決定：
在 $v \geq 1.2$ 公尺/秒時，

$$S_{\text{沿程}} = 0.001736 \frac{l}{d^{5.3}}; \quad (\text{I}, 7)$$

在 $v \leq 1.2$ 公尺/秒時，

$$S_{\text{沿程}} = 0.001479 \frac{l}{d^{5.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3}. \quad (\text{I}, 7')$$

公式(I, 7)與(I, 7')均為 10°C 時的計算公式。

對於排水管的參變數 $S_{\text{沿程}}$ ，當 $n = 0.013$ 時，可按 $H. H. \text{巴甫洛夫斯基}$ 院士的完全公式來決定：

$$S_{\text{沿程}} = \left[\frac{8n}{\pi (0.25 d)^{2.5 \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \sqrt{0.25 d} (\sqrt{n} - 0.10)}} \right] \frac{l}{d^5}. \quad (\text{I}, 8)$$

參變數 $S_{\text{局部}}$ 可按下列公式決定：

$$S_{\text{局部}} = \frac{8}{\pi^2 g d^4} \cdot \Sigma \zeta. \quad (\text{I}, 9)$$

在公式(I, 7)–(I, 9)中， d ——輸水管直徑(公尺)； l ——輸水管長度(公尺)； $\Sigma \zeta$ ——輸水管中局部阻力係數的總和； n ——糙率； v ——流速(公尺/秒)。

已知牌號的水泵，其特性曲綫與工作輪直徑值 D 及每分鐘轉數 n 有關。在圖1中繪製了以 $D = 218$ 公厘， $n = 2900$ 轉/分的4K-8水泵為例子的特性曲綫。

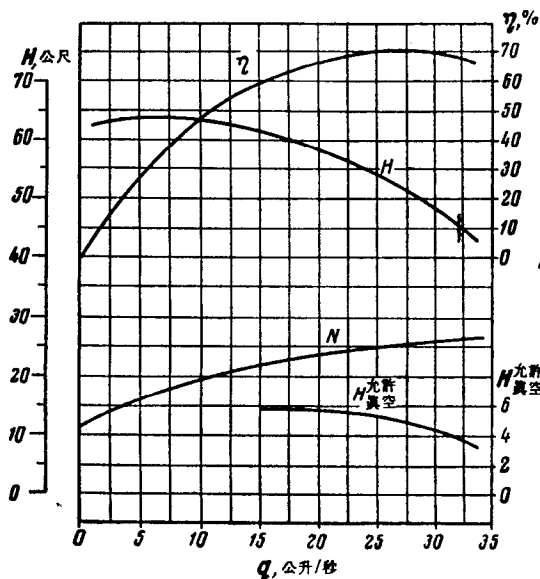


圖1. $D=218$ 公厘， $n=2900$ 轉/分的4K-8水泵的工作特性曲綫。

綫，我們首先根據公式(I, 1)： $H = 25 + 72000 q^2$ 來計算 H 的值(參看表I—1)。

*) 若 $S_{\text{沿程}}$ 值可按公式(I, 7)與(I, 7')來計算，則應預先假定流速，因為它要在流量確定後才能肯定。

在畫下了水泵特性
曲綫以後，我們再在它
上面添繪輸水管特性曲
綫。輸水管特性曲綫與

表 I—1

q (公升/秒)	0	5	10	15	20	25
H (公尺)	25	26.8	32.2	41.4	53.8	70

水泵特性曲綫——曲綫 $H = f_1(q)$ ——相交於一點，而刻度為 57 公尺的直綫 H 及刻
度為 21 公升/秒的直綫 q 正通過該點。其餘的數值： $\eta = 67\%$, $N = 18$ 瓩, $H_{\text{允許}} =$
 $= 5.2$ 公尺，則可以從其相應的標尺上讀得。

前面我們所看到的解題方法雖然很簡單而明瞭，但尚有一系列不便之處。首先，
在求解時每次必須進行厭煩的
圖表繪製工作：要重新畫下水
泵特性曲綫，並作出阻力拋物
綫。另一缺點是：在參變數 H_s
與 S 變化時要分析已知水泵與
輸水管的聯合工作就極為複
雜。這時為要進行分析，就必
須繪製很多拋物綫。

在利用方程 (I, 1) 的諾謨
圖的基礎上，我們可以提供更
方便的諾謨圖解法來解這個問
題。利用這種諾謨圖的可能性
是由於諾謨圖一般均具有二元
場*) 這樣一個通性；關於二元
場的問題，我們在下一節內研
究。

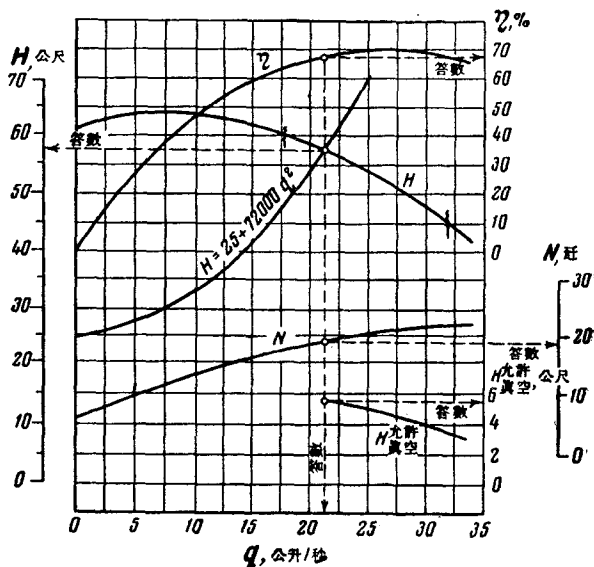


圖 2. $D=218$ 公厘, $n=2900$ 轉/分的 4K-8 水泵與參變
數 $H_s=25$ 公尺, $S=72000$ 秒²/公尺⁵ 的輸水管聯合工作時
的特性曲綫。

§ 2. 用諾謨圖的二元場作為函數網

在工程實踐中，當已知參變數 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 的值，要求未知數 u 與 v 時，有時須
要解出這樣一種形式的方程組：

$$v = F(u, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4), \quad (\text{I}, 10)$$

$$v = f(u); \quad (\text{I}, 11)$$

其中關係式 (I, 10) 是用公式表示的，而關係式 (I, 11) 是用圖表表示的。在一般情況
下，要解出這個方程組，必須在畫有方程 (I, 11) 的圖的坐標系中繪出已知 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3,$
 α_4 值時關係式 (I, 10) 的圖。兩條曲綫的交點就能定出要求的 u 與 v 值 (圖 3)。

在方程 (I, 10) 能够用二元場 (u, v) 中一些修勻的點來繪成諾謨圖時，解法就可大
為簡化。如果方程具有六個變數，且能寫成下列形式：

*) 二元場——位於兩坐標軸間的區域。(譯註)

$$\begin{vmatrix} \varphi_{12}(\alpha_1, \alpha_2) & \psi_{12}(\alpha_1, \alpha_2) & 1 \\ \varphi_{34}(\alpha_3, \alpha_4) & \psi_{34}(\alpha_3, \alpha_4) & 1 \\ \varphi_{56}(u, v) & \psi_{56}(u, v) & 1 \end{vmatrix} = 0, \quad (I, 12)$$

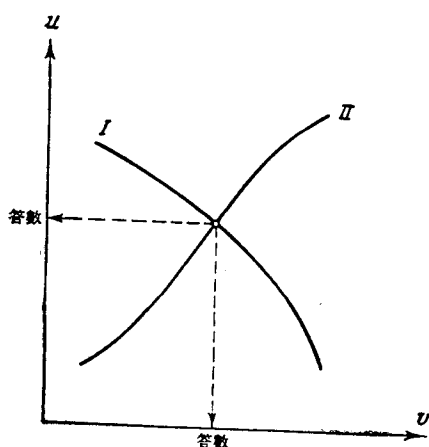


圖3. 聯合解方程(I,10)與(I,11)的圖解法。

I—— α_1 =常數, α_2 =常數, α_3 =常數, α_4 =常數時, 關係式(I,10)的圖;

II——關係式(I,11)的圖。

那末, 它就能繪成這樣的諾謨圖, 式中:
 $\varphi_{12}(\alpha_1, \alpha_2)$ 和 $\psi_{12}(\alpha_1, \alpha_2)$ 是變數 α_1 和 α_2 的函數,
 $\varphi_{34}(\alpha_3, \alpha_4)$ 和 $\psi_{34}(\alpha_3, \alpha_4)$ 是變數 α_3 和 α_4 的函數,
 $\varphi_{56}(u, v)$ 和 $\psi_{56}(u, v)$ 是變數 u 和 v 的函數。

方程(I, 12)的諾謨圖的示意圖如圖4所示。諾謨圖由三個二元場構成; 它們在坐標系(x, y)中的最簡方程可以寫成這樣:

(α_1, α_2)場,

$$x = \varphi_{12}(\alpha_1, \alpha_2), \quad y = \psi_{12}(\alpha_1, \alpha_2); \quad (I, 13)$$

(α_3, α_4)場,

$$x = \varphi_{34}(\alpha_3, \alpha_4), \quad y = \psi_{34}(\alpha_3, \alpha_4); \quad (I, 14)$$

(u, v)場,

$$x = \varphi_{56}(u, v), \quad y = \psi_{56}(u, v). \quad (I, 15)$$

當參變數 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 的值為已知時,

通常只要放一根尺在方程(I, 12)的諾謨圖上, 就能够定出滿足這個方程的總的 u, v 值。為此, 必須要在二元場(α_1, α_2)、(α_3, α_4)內找出已知坐標的點, 並且通過它們作出求解直線。那末, 在二元場(u, v)內, 經過求解直線上每一點的 u, v 綫, 其刻度均能滿足方程(I, 12)。因而, 經過(α_1, α_2)和(α_3, α_4)場內已知坐標點的求解直線, 是方程(I, 12)在 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 值已定情形下, 對於二元場(u, v)的直綫圖。現在, 如果在二元場(u, v)內繪出方程(I, 11)的圖, 那末, 我們就得到一張能够在參變數 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 為任意值時解出方程組(I, 10)和(I, 11)的諾謨圖(參看圖5)。

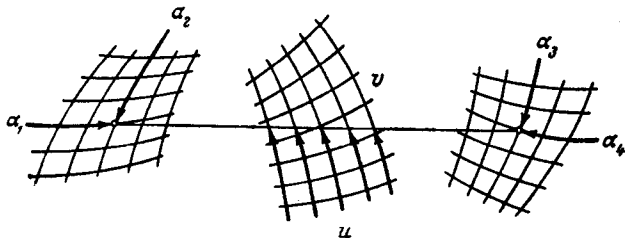


圖4. 方程(I,12)的諾謨圖的示意圖。

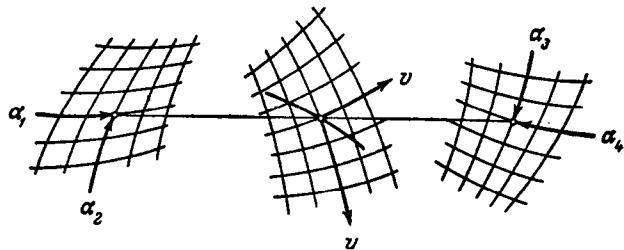


圖5. 聯合解方程(I,10)與(I,11)的諾謨圖解法。

因此, 如果方程(I, 10)能够諾謨圖解化, 那末, 就可以用諾謨圖解法來代替聯合解方程(I, 10)和(I, 11)的圖解法。這僅需在預先將方程(I, 10)的諾謨圖作好, 而後在該諾謨圖的(u, v)場

中繪出方程(I, 11)的圖。在有了方程(I, 10)的諾謨圖以後，繪製求解方程組(I, 10)和(I, 11)用的諾謨圖的手續通常是很簡單的。

必須指出：在這種情況下方程(I, 10)的諾謨圖不是用來作為決定 u 或 v 值的什麼計算儀器，而只是用來作為繪製 $v = f(u)$ 圖的專門坐標紙。

當一系列(I, 11)形式的方程在與方程(I, 10)一起求解時，採用諾謨圖解法就顯得特別有利。而在計算水泵與輸水管聯合工作的問題時，恰恰就會發生上述情況。方程(I, 1)總共只包含兩個參變數(H_z 和 S)，所以它的諾謨圖通常很簡單。而已知圖形的關係式是不同牌號水泵的 $H = f_1(q)$ 曲綫。

§ 3. 方程 $H = H_z + Sq^2$ 的諾謨圖解法

我們把方程(I, 1)可以寫成下列形式：

$$\begin{vmatrix} 0 & H_z & 1 \\ 1 & S & 1 \\ \frac{q^2}{1+q^2} & \frac{H}{1+q^2} & 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (\text{I, 16})$$

直接核對方程(I, 1)與(I, 16)以後，就不難相信它們是同樣的。方程(I, 16)是方程(I, 12)的特殊情形。因此，它可以用諾謨圖上修勻過的點表示出來。諾謨圖各要素的最簡方程可以寫成這樣：

H_z 尺，

$$x = 0, \quad y = H_z, \quad (\text{I, 17})$$

S 尺，

$$x = 1, \quad y = S, \quad (\text{I, 18})$$

(q, H) 場，

$$x = \frac{q^2}{1+q^2}, \quad y = \frac{H}{1+q^2}. \quad (\text{I, 19})$$

從 H_z 與 S 尺的方程可以得知，這兩支尺是均稱排列的平行直綫。在 (q, H) 場中， q 綫是平行的直綫族；因為在方程(I, 19)的第一式中， x 僅與 q 有關。假定該方程中的 $q = 0$ 與 $q = \infty$ ，就可得到 $x = 0$ 與 $x = 1$ 。這意味着：直綫 q 在 0 和 ∞ 時，它相應地與 H_z 和 S 尺相重合。因而，在平行的 H_z 尺與 S 尺間，分佈着刻度從 0 到 ∞ 的平行直綫族 q 。現在，我們再要來說明一下綫族 H 的形式。為此，就應該消去方程(I, 19)中的參變數 q 。結果就得到

$$y = -Hx + H. \quad (\text{I, 20})$$

方程(I, 20)是只含參變數 H 的直綫族的方程。假定這個方程中的 $x = 1$ ，則在 H 為任意值時， y 都等於 0。由此可知，該方程是一個直綫束的方程，而它代表的所有直綫都通過 S 尺上刻度為 0 的點。又，假定 $x = 0$ ，就可得 $y = H$ 。這意味着：直綫束 H 通過 H_z 尺，且與 H_z 尺上的點具有相同的刻度。方程(I, 1)的諾謨圖的示意圖如圖 6 所示。

在分析了諾謨圖以後，我們再來看看它的繪製方法。我們採用的變量可以在下列範圍內變動： $q = 0-50$ 公升/秒， $H = H_e = 0-120$ 公尺， $S = 0-120000$ 秒²/公尺⁵。在後面將證明，這些範圍是可以擴大和改變的。把參變數變換成 L, l, b, m, n ，

以後，諾謨圖各要素的方程就可以寫成這樣：

H_e 尺，

$$x = \frac{-0.5 lb}{mH_e + b}, \quad y = \frac{(L + b)mH_e}{mH_e + b}, \quad (\text{I, 21})$$

S 尺，

$$x = \frac{0.5 lb}{nS + b}, \quad y = \frac{(L + b)nS}{nS + b}, \quad (\text{I, 22})$$

(q, H) 場，

$$x = \frac{0.5 lb(mq^2 - n)}{mnH + (mq^2 + n)b}, \quad y = \frac{(L + b)mnH}{mnH + (mq^2 + n)b}. \quad (\text{I, 23})$$

如果給參變數 L, l, b, m 與 n 以不同的值，就可以改變諾謨圖的形式。諾謨圖中變量的變動範圍在取用表 I-2 中所列的數據時最為方便。作好的諾謨圖如圖 7 所示。

表 I-2

L (公厘)	l (公厘)	b (公厘)	m (公厘)	n (公厘)
100	210	250	2	0.002

§ 4. 方程 $H = H_e + Sq^2$ 的諾謨圖及其性質

方程 (I, 1) 的諾謨圖 (圖 7) 由直綫的 H_e, S 尺及二元場 (q, H) 構成。綫族 H 是以 S 尺上刻度為 0 的點為中心的直綫束。直綫束 H 與 H_e 尺相交，交點的刻度就是直綫束的刻度。綫族 q 也是通過 H_e 與 S 尺交點的直綫束。刻度為 0 的直綫 q 正與 H_e 尺相重合。

在要藉助這種諾謨圖按已知的 H_e, S 與 q 值來求解 H 時，就應當把尺的邊緣貼到 H_e 與 S 尺上刻度為已知的點上，而去讀出通過已知直綫 q 與尺邊交點的直綫 H 的刻度。

例題 1 已知： $H_e = 25$ 公尺， $q = 30$ 公升/秒 = 0.03 公尺³/秒， $S = 42000$ 秒²/公尺⁵。用諾謨圖及解析法求出 H 值。

把尺邊貼在 H_e 與 S 尺上刻度 $H_e = 25$ 公尺與 $S = 42000$ 秒²/公尺⁵ 的點上 (參

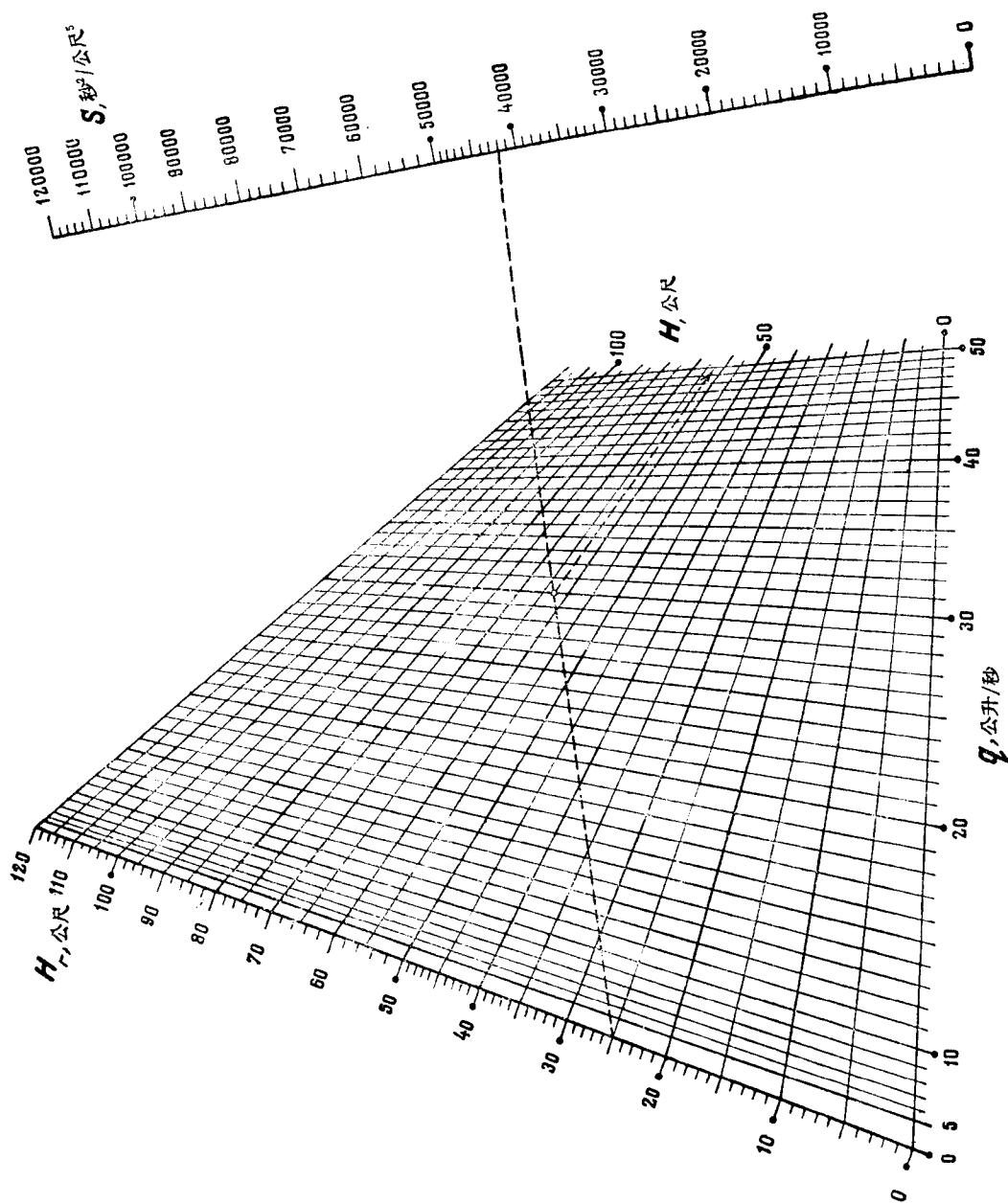


圖 7. 方程 $H = H_0 + S q^2$ 的諾謨圖.

看圖 7 中的虛線)。經過尺邊與刻度為 30 公升/秒的直綫 q 的交點作 H 直綫, 其刻度為 63 公尺。由解析法可給出:

$$H = 25 + 42000 \times 0.030^2 = 62.8 \text{ 公尺。}$$

現在我們要來確立諾謨圖上 H_z , S 尺與 q , H 直綫刻度的變化規則, 因為藉助這個規則, 我們就可以按照需要來改變變量的變動範圍。如果能在方程(I, 1)中按下列方法引入任意係數 k_1 和 k_2 :

$$k_1 H = k_1 H_z + (k_1 S) q^2, \quad (\text{I, 24})$$

$$H = H_z + \frac{S}{k_2^2} (k_2 q)^2, \quad (\text{I, 25})$$

那末, 方程就沒有改變。

從方程 (I, 24) 可以得知: 若在 H_z 與 S 尺上以及直綫 H 的刻度上乘以同一數 k_1 , 則方程 (I, 1) 的諾謨圖不會破壞。從方程 (I, 25) 可以得知: 若在直綫 q 的刻度上乘以任意數 k_2 , 而同時在 S 尺的刻度上除以 k_2^2 以後, 方程 (I, 1) 的諾謨圖仍不會破壞。如果 k_1 與 k_2 值選用得合適, 那末就可以廢棄舊刻度而換上新刻度來使諾謨圖 (q , H) 網內的 q , H 值的變動範圍適合於給定問題所要求的。

§ 5. 離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖

方程 (I, 1) 的諾謨圖的求解直綫, 如果經過 H_z 與 S 尺上刻度為已知的點, 就是方程 (I, 1) 在 $H_z = \text{常數}$ 與 $S = \text{常數}$ 時, 對於二元場 (q , H) 的圖, 或輸水管的水力特性曲綫。在方程 (I, 1) 的諾謨圖的二元場 (q , H) 中, 繪出水泵特性曲綫——曲綫 $H = f(q)$ 以後, 我們就可以得到供計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖 (圖 8)。在用這種諾謨圖來確定 q , H 值時, 需要引一根經過 H_z 與 S 尺上已知刻度為 H_z 與 S 點的求解直綫。通過求解直綫與水泵特性曲綫交點的 q , H 直綫, 其刻度就能給出 q 與 H 的答數。在求得 q 值以後, η , N , $H_{\text{允許}}$ 值就可以用它們的特性曲綫來確定。但是, 為了使用方便與清楚起見, 把這些數也引入諾謨圖是合理的。要做到這一點, 可以用下述方法。因為 η , $H_{\text{允許}}$ 和 N 是流量的函數。所以繪在二元場 (q , H) 內的曲綫

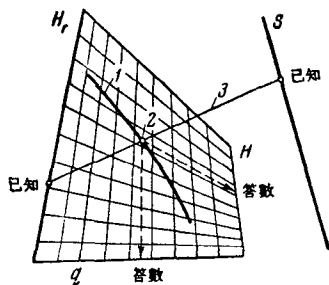


圖 8. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的諾謨圖的示意圖。

1——水泵的流量-水頭特性曲綫;
2——極限工作點; 3——輸水管特性曲綫。

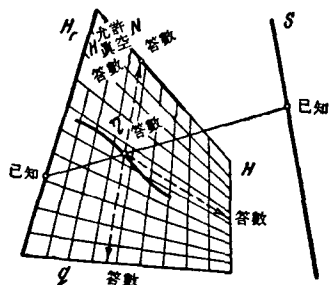


圖 9. 計算離心式水泵與輸水管聯合工作的綜合諾謨圖的示意圖。

$H = f_1(q)$ 通常能够, 例如, 用 η 來分割刻度; 而對 $H_{\text{允許}}^{\text{真空}}$ 與 N 值, 則可以繪成雙疊的標尺(圖 9)。這樣, 我們就可以得到用來計算水泵與輸水管聯合工作的綜合諾謨圖。在這種諾謨圖中, 代表 η 尺的曲線將相當於水泵特性曲線——曲線 $H = f_1(q)$; 求解直線將相當於輸水管特性曲線; 而求解直線與代表 η 尺的曲線的交點將相當於極限工作點。在極限工作點上, 將能讀得要求的五個數值($H, q, \eta, H_{\text{允許}}^{\text{真空}}, N$)的答數。 η 尺上極限工作點的刻度能給出答數 η 。經過極限工作點的 H, q 直線的刻度給出 H 與 q 的答數。 $H_{\text{允許}}^{\text{真空}}$ 與 N 的答數, 則要從它們雙疊的標尺與經過極限工作點的直線 q 的交點上去讀出。用於上、下水道水泵的諾謨圖 No. 10—50 與 No. 53—62 可以作為綜合諾謨圖的例子。

在二元場(q, H)中, 可以繪上不同牌號水泵的選用區。這樣, 我們就得到可以用來選擇水泵的諾謨圖(圖 10)。這種諾謨圖可以用上、下水道水泵的諾謨圖 No. 4—9, No. 51—52 來作為例子。

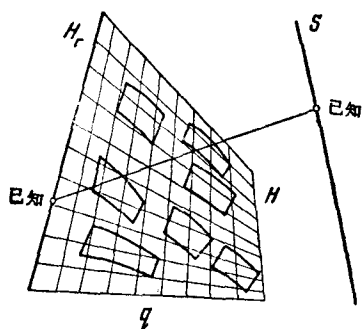


圖 10. 選擇水泵用的諾謨圖的示意圖。

對並聯工作於一根輸水管上的幾台同類型水泵, 例如兩台, 進行計算時, 應先繪出新的特性曲線 $H = f_1(q)$ 來; 新曲線的繪製方法是, 將一台水泵的特性曲線的橫坐標加倍, 而不改變它的縱坐標。對於諾謨圖的(q, H)網也應該同樣作法。但是, 如果應用下面的方法就要方便得多。假定我們有一張供一台水泵用的諾謨圖。我們把圖中直線 q 的刻度加倍, 而同時再把 S 尺的刻度除以 2^2 。從諾謨圖各要素的刻度變化規則得知, 這時

的諾謨圖一定沒有破壞。不難看出, 這時得到的諾謨圖就是兩台水泵並聯工作時的諾謨圖。但是上述將直線 q 的刻度加倍以及將 S 尺的刻度縮小 4 倍的方法, 還可以引用下面所提供的規則來代替。

對並聯工作於一根輸水管上的兩台同類型水泵進行計算時, 在屬該類型一台水泵的諾謨圖上, 應該取 S 尺上點的刻度等於所給輸水管 S 值的 4 倍。那末, 這時根據諾謨圖所讀得的答數 q , 即為一台水泵的給水能力。

相似地, 在對並聯工作於一根輸水管上的三台同類型水泵進行計算時, 在屬於該類型一台水泵的諾謨圖上, 應該取 S 尺上點的刻度等於所給輸水管 S 值的 9 倍。而這時根據諾謨圖所讀到的答數 q , 亦係一台水泵的給水能力。

在綜合諾謨圖上加上一根轉尺以後, 我們就有可能來進行對水泵與輸水管聯合工作的分析。如果圍繞 H_r 尺上已知刻度為 H_r 的點來轉動轉尺的邊緣, 並不斷注意極限工作點以及尺邊與 S 尺上交點的刻度(圖 11), 我們就可以得到已知牌號的水泵在 $H_r = \text{常數}$ 時, 隨 S 值而定的數值 q, H, η, N 和 $H_{\text{允許}}^{\text{真空}}$ 的變動情況。如果圍繞 S 尺上已知刻度為 S 的點來轉動轉尺的邊緣, 並不斷注意極限工作點以及尺邊與 H_r 尺上交點的刻度(圖 12), 我們就可以得到已知牌號的水泵在 $S = \text{常數}$ 時, 隨 H_r 值而定的數值 $q, H, \eta, H_{\text{允許}}^{\text{真空}}$ 和 N 的變動情況。最後, 對於某定水泵, 當 $q, H, \eta, H_{\text{允許}}^{\text{真空}}$