

質的原狀岩心。

在剪力試驗方面，我們使用的是長春和北京水電設計院制造的單剪儀，共作如下五種試驗：

A. 泥化板岩的原狀試驗。

B. 砂岩的夾泥試驗（所夾之泥是通過 0.3 及 0.15 公厘篩的制备擾動土）。

C. 砂岩的夾泥試驗（所夾之泥通過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备擾動土）。

D. 泥化物質的本身抗剪試驗（過 0.3 及 0.15 公厘篩的制备擾動土樣）。

E. 泥化物質的本身抗剪試驗（過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备擾動土樣）。

從以上的試驗結果得出了如下結論：

1. 不能采用保持天然結構土樣的試驗成果。因為

原狀土樣中，除細顆粒及粘土顆粒之外，還有一部分半泥化半風化和嚴重風化的大顆粒。這些大顆粒的直徑大于剪力盒間的剪隙，因此，在進行原狀土樣剪力試驗時，并不只是產生小顆粒的純摩擦，而且還有大顆粒本身的抗剪斷作用，因而使得出的數據大大提高，且有忽大忽小的現象。

2. 通過 0.6, 1, 及 1.2 公厘篩的制备土樣本身的或夾于砂岩間的試驗，用剪力儀的縫過小，其得出的結果是不甚可靠的。

3. 在全部得出的泥化板岩剪力試驗數據中，比較正確的而且比較能代表這里工程地質條件的是通過 0.3 及 0.15 公厘篩的擾動土樣本身的，及夾在砂岩中間的剪力試驗。而在我們的全部試驗中，確偏重于保持天然結構的原狀土樣剪力試驗。

关于混合抽水試驗分層計算方法的探討

葛 亮 韜

一、前 言

在水文地質勘探工作中，一個抽水試驗鑽孔往往不只是揭穿和試驗一個含水層，而在許多情況下，都需要揭穿和試驗兩個或兩個以上的含水層。為了對這些含水層的含水性進行分別了解，通常是按照試驗含水層的順序，將含水層按次用套管隔離起來。這樣就需要付出很大的人力、物力和時間，尤其當鑽孔深度很大，穿過的含水層層數很多時，在施工技術上更顯得特別困難，有時簡直無法施工。

此外，在含水層呈層狀結構時（即一個含水層系由數個透水性不同的岩層所組成時），或數個含水層彼此之間有極活躍的水力聯系時，想用套管隔離的辦法來達到分層了解透水性的目的，也是很困難的。再如抽斷層帶的水時，要想預先知道斷層帶的準確深度，從而進行上部岩層的隔離，也不是經常可以辦到的。

由于以上原因，水文地質工作者們曾試圖用混合抽水的辦法來解決隔離含水層的困難。所謂混合抽水，就是首先將第一含水層（假設含水層由上而下編號）進行單獨抽水，然後將第一、第二含水層進行混合抽水，再將第一、第二和第三含水層進行總的混合抽水。或者反過來，先進行一、二、三含水層混合抽水，再進行一、二的混合抽水，最後進行第一含水層的單獨抽水。將混合抽水的結果，通過某種分析和計

算，以得出各含水層的透水性來。這樣，就省去了隔離含水層這一艱巨復雜而耗費繁重的工作過程。

可是，直到目前為止，對這一具有重大實際意義的課題，還很少有人進行過系統的研究，甚至連公開的討論也進行的不多。首先，除了當各含水層的靜止水頭相同時，可以利用舒爾采的層狀潛水層的流量公式，及卡明斯基的不均勻地層的平行于層地下水運動公式來分層計算各含水層的透水性外，在一般情況下（即各含水層的水頭彼此不同時），都還缺少適當的公式可以利用。其次，在分層混合抽水的施工方法上也缺乏研究，往往使抽水結果無法分析。因此，許多水文地質工作者，對於分層混合抽水的应用一般都不感興趣，他們即使在不得已時而採用了分層混合抽水，但對預期效果，總是不抱樂觀，有些人則認為，在各含水層水頭大致相同，但透水性亦近似的條件下，可以採用混合抽水，否則不宜採用。這些，都嚴重地阻礙了混合抽水的實際应用。

筆者，對於混合抽水這一問題，曾作過一些推敲，茲願將對這一問題的體會提供出來，作為同志們在研究這一問題時的參考。希望對本文存在的錯誤，予以批評和指正。

二、混合抽水時流量與水位降低關係曲線的研究

我們先不考慮鑽孔施工時和抽水試驗時其他因素的影響，而單純從地下水動力學的观点，來研究一下兩個含水層進行混合抽水時的流量（ Q ）和水位降低（ S ）的關係曲線（以下簡稱 Q, S 曲線）。

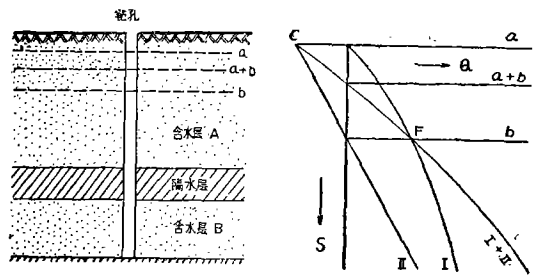


圖 1 (a)

圖 1 (b)

假設有 A, B 兩個含水層（如圖 1），其靜止水位分別為 a 及 b ，並假設已知其 Q, S 曲線分別為 I 及 II 。可作如下討論：

1. 若此 A, B 含水層為鑽孔所貫通，則其混合的靜止水位 $a + b$ ，必然介乎 a 及 b 之間，這時， A 必然湧水，而 B 則必然吸水，當 $a + b$ 靜止時，則：

A 的湧水量 = B 的吸水量；

鑽孔的湧水量 = 0

2. 假如我們從鑽孔中進行抽水，使水位逐漸降低，則 A 的湧水量將逐漸增加， B 的吸水量則逐漸減小，當水位尚未降到 b 時，則：

A 的湧水量 > B 的吸水量；

鑽孔的湧水量 = A 的湧水量 - B 的吸水量。

即此時混合抽水的湧水量應小於含水層 A 單獨抽水當水位降至相同標高時的湧水量，並等於 A 的湧水量抵償 B 的吸水量後的盈餘部分。

3. 當鑽孔中水位下降至等於水位 b 時，則 B 停止吸水，但也不湧水，這時：

B 的吸水量等於零；

鑽孔的湧水量 = A 的湧水量。

即此時，混合抽水的湧水量，等於含水層 A 單獨抽水，當水位降低至相同標高時的湧水量，故曲線 $I + II$ 與曲線 I 相交於一點（圖 1 (b) 中的 F 點）。此點的標高即等於水位 b 的標高。

4. 當鑽孔中水位繼續下降時，則 A 的湧水量繼續增加， B 則由吸水轉變為湧水，這時：

B 的湧水量 > 0；

鑽孔的湧水量 = A 的湧水量 + B 的湧水量。

即這時，混合抽水的湧水量應大於 A, B 任何一含水層單獨抽水當水位降低至相同標高時的湧水量，即等於二者湧水量的總和。

5. 又假如我們不在鑽孔進行抽水，而進行注水，將鑽孔水位從混合靜止水位 $a + b$ 逐漸升高，則這時， A 的湧水量將逐漸減少，而 B 的吸水量則逐漸增加。當水位尚未升到 a 時，則：

B 的吸水量 > A 的湧水量；

鑽孔的注水量 = B 的吸水量 - A 的湧水量。

此時，鑽孔的混合注水量應小於含水層 B 單獨注水當水位升至相同標高時的吸水量，並等於 A 的湧水量抵償 B 的吸水量後的不足部分。

6. 當鑽孔內水位繼續升高到等於水位 a 時，則 A 停止湧水，但也不吸水，這時

A 的湧水量等於零；

鑽孔的注水量 = B 的吸水量。

此時，鑽孔的混合注水量應等於含水層 B 單獨注水時的吸水量。故曲線 $I + II$ 與曲線 II 必在負向延伸時（即二者呈注水曲線時）相交於一點（圖 1b 中的 G 點），此點的標高即等於水位 a 的標高。

綜合以上討論，如果我們以 Q, Q_a 及 Q_b 分別代表鑽孔的（即混合的）、 A 的及 B 的湧水量，並以它們的負值（< 0）代表注水量（或吸水量），則我們可將混合抽水的流量變化規律及各含水層流量相互關係列如下表：

從以上的探討，可以得出如下兩條極為重要的結論：

1. 兩個含水層混合抽水（或注水）時的 Q, S 曲線與其中任一含水層單獨抽水（或注水）時的 Q, S 曲線的交點的標高，等於另一含水層的靜止水位的標高。

2. 混合抽水的流量等於各含水層單獨抽水當水位都降低到同一標高時的代數和。

這兩個結論，無論在上一含水層的靜止水位高於或低於下一含水層的靜止水位時，均為正確。在兩個含水層的靜止水位相同時，亦為正確，只不過是一

Q, S 曲線圖	編號	$Q = Q_a + Q_b$	Q_a	Q_b
	6	$Q = Q_a + Q_b$	$Q_a = 0$	$Q_b = 0$
	5	$Q < 0$	$ Q_a < Q_b $	$ Q_a < Q_b $
	1	$Q = 0$	$ Q_a = Q_b $	$ Q_a = Q_b $
	2	$Q < Q_a$	$ Q_a > Q_b $	$ Q_a > Q_b $
	3	$Q = Q_a$	$Q_a > 0$	$Q_b = 0$
	4	$Q > 0$	$Q > Q_a$	$Q > Q_b$
			$Q > Q_b$	$Q_b > 0$
				$Q_b > 0$

圖 2

个特例而已（在这种情况下，三条 Q 、 S 曲线相交于一点，混合抽水的流量等于各含水层流量的算術和）。

从这两个結論中，我們顯然可以看出：假如有上下两个含水層，只要我們对上一含水層進行过單独的抽水試驗，并將这两个含水層再進行一次混合抽水試驗，并假設可以不考虑鑽孔鑽進对于孔壁岩層透水性的影响时，我們完全可以根据上述原理用圖解法得出下一含水層的靜止水位及它在單独抽水时的 Q 、 S 曲线圖來。茲举例說明如下：

例一、設有含水層 A （上層）及 B （下層），在鑽孔未揭开 B 以前，曾对 A 進行了抽水試驗。 A 的靜止水位 a 和 Q 、 S 曲线 I 如圖 2 所示。然后繼續鑽進到 B 的底板，并將 A 及 B 進行一次混合抽水試驗，混合靜止水位 $a+b$ 及 Q 、 S 曲线 $I+II$ ，亦如圖示。求 B 的靜止水位 b 及 Q 、 S 曲线 II 。

求法：找出曲线 $I+II$ 的交点，此点的标高即 B 的靜止水位 b 的标高，通过此点作一直线平行于 Q 軸，与 S 軸相交于 b_0 ，通过 b_0 作一曲线，并使曲线上各点的 Q 值等于曲线 $I+II$ 和曲线 I 的各相应标高的 Q 值之差（如圖 2），此曲线即为 B 的 Q 、 S 曲线 II 。

例二、已知含水層 A （上層）的靜止水位 a 及 Q 、 S 曲线 I ，以及含水層 A 与含水層 B 的混合靜止水位 $a+b$ 及 Q 、 S 曲线 $I+II$ ，如圖 3 所示，求

B 的靜止水位 b 及 Q 、 S 曲线 II 。

求法：圖中混合靜止水位 $a+b$ 的标高高于 a 的标高，則 b 的标高必然还高于 $a+b$ 的标高。假如我們在鑽孔中進行混合的注水試驗，并假使注水时鑽孔內动水位的标高等于 b 的标高，則

混合注水的流量必等于对 A 單独注水时的流量。因此，根据曲线 I 及 $I+II$ 的形狀，繪出負方向的注水曲线，使其相交于一点，此点的标高，即等于 B 的靜止水位

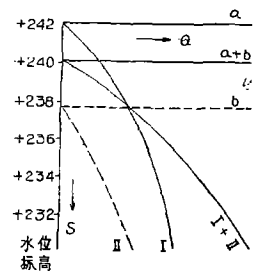


圖 2

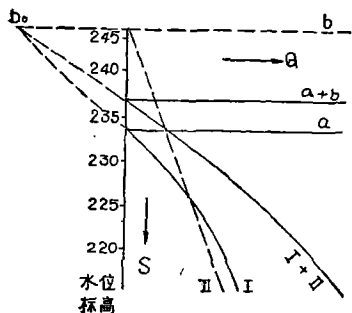


圖 3

位 b 的标高。通此交点作一直线平行于 Q 軸，交 S 軸于 b_0 ，通过 b_0 作一曲线，使曲线上各点的 Q 值等于曲线 I 和曲线 $I+II$ 的各相应标高点的 Q 值之差（如圖 3），此曲线即为 B 的 Q 、 S 曲线 II 。

〔附〕注水曲线的繪制：

对于潛水層，可用下式繪制注水曲线：

$$Q_{\text{注}} = Q_{\text{抽}} \frac{h^2_{\text{注}} - H^2}{H^2 - h^2_{\text{抽}}} \\ = Q_{\text{抽}} \frac{(H+S)^2 - H^2}{H^2 - (H-S)^2} \\ = Q_{\text{抽}} \frac{2H+S}{2H-S}$$

式中 H ——靜止水位至含水層底板的高度；

S ——抽水或注水时水位降落或升高值；

$Q_{\text{注}}$ ——水位升高值等于 S 时的注水量；

$Q_{\text{抽}}$ ——水位降低值等于 S 时的湧水量。

对于自流水，則可以直接按照抽水曲线的 Q 、 S 数值，繪出負方向的絕對值相等的曲线，即为注水曲线。

例三、 A 的靜止水位 a ，与 A 、 B 的混合靜止水位 $a+b$ 的标高相同，曲线 I 及曲线 $I+II$ 如圖 4 所示。求 B 的靜止水位 b 及曲线 II 。

求法：既然 a 与 $a+b$ 的标高相同，則 b 的标高亦必然与 a 及 $a+b$ 的标高相同。三条 Q 、 S 曲线必須交于一点 O ，过 O 点作一曲线，使曲线上各点的 Q 值等于曲线 I 及 $I+II$ 各相应点 Q 值之差，此曲线即为 B 的 Q 、 S 曲线 II 。

三、地下水动力学公式的推導

進行混合抽水的含水層，可能有两种情形：1. 潛水層与自流水層混合；

2. 自流水層与自流水層混合。首先讓我們研究一下潛水層与自流水層混合的情形：

（一）只進行一次水位降低，但混合靜止水位为已知时，和前述原理一样，我們把混合抽水的流量看作各層流量的总和，即：

$$Q = Q_a + Q_b; \quad (1)$$

应用鳩布衣集水井公式得：

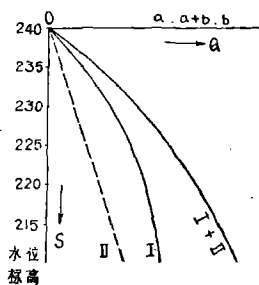


圖 4

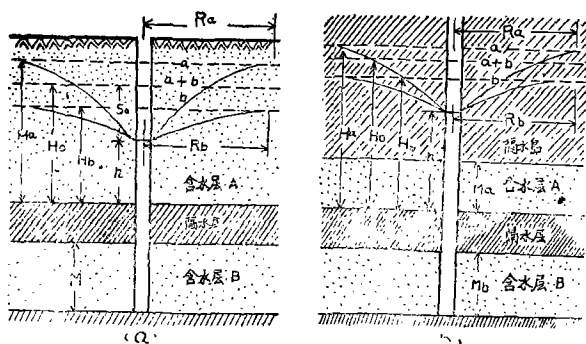


圖 5

$$Q = 1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} + 2.73 K_b \frac{(H_b - h)M}{\lg \frac{R_b}{r}} \quad (2)$$

$$= 1.366 K_a \frac{H_a^2 - H_0^2}{\lg \frac{R_a}{r}} + 1.366 K_a \frac{H_0^2 - h^2}{\lg \frac{R_b}{r}} + 2.73 K_b$$

$$\frac{(H_0 - h)M}{\lg \frac{R_b}{r}} - 2.73 K_b \frac{(H_0 - H_b)M}{\lg \frac{R_b}{r}}$$

式中 $1.366 K_a \frac{H_a^2 - H_0^2}{\lg \frac{R_a}{r}}$ 为当混合静止水位静

止时, A 的湧水量; 而 $2.73 K_b \frac{(H_0 - H_b)M}{\lg \frac{R_b}{r}}$ 为

当混合静止水位静止时, B 的吸水量。根据混合水位静止时, 各含水層的湧水量与吸水量应相等这一原理, 则:

$$1.366 K_a \frac{H_a^2 - H_0^2}{\lg \frac{R_a}{r}} = 2.73 K_b \frac{(H_0 - H_b)M}{\lg \frac{R_b}{r}}$$

因此, 公式 2 可变为:

$$Q = 1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} + 2.73 K_b$$

$$\frac{(H_0 - h)M}{\lg \frac{R_b}{r}} \quad (3)$$

如以 Q_{a0} 代表 $1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}}$, 以 Q_{b0} 代

表 $2.73 K_b \frac{(H_0 - h)M}{\lg \frac{R_b}{r}}$, 则 3 可寫成:

$$Q = Q_{a0} + Q_{b0} \quad (4)$$

Q_{a0} 及 Q_{b0} , 我們称之为 A 及 B 的“引用流量”或“換算流量”。

如以 S_0 代表 $H_0 - h$, 則可得:

$$\left. \begin{aligned} R_b &= 0.366 \frac{Q_{b0}}{S_0 M} \lg \frac{R_b}{r}; \\ \text{或 } K_b &= 0.366 \frac{Q - Q_{a0}}{S_0 M} \lg \frac{R_b}{r} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{又因 } Q_b &= 2.73 K_b \frac{S_b M}{\lg \frac{R_b}{r}} \\ &= 2.73 \left(0.366 \frac{Q_{b0}}{S_0 M} \lg \frac{R_b}{r} \right) \frac{S_b M}{\lg \frac{R_b}{r}} \end{aligned}$$

$$= Q_{b0} \frac{S_b}{S_0} = (Q - Q_{a0}) \frac{S_b}{S_0}$$

$$\text{故 } S_b = S_0 \frac{Q_b}{Q_{b0}} = S_0 \frac{Q - Q_{a0}}{Q - Q_{a0}} \quad (6)$$

$$\text{及 } \eta_b = \frac{Q_b}{S_b} = \frac{Q_{b0}}{S_0} = \frac{Q - Q_{a0}}{S_0} \quad (7)$$

在公式 5, 6, 7 中

$$\begin{aligned} Q_{a0} &= 1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} \\ &= 1.366 \left(2.73 \frac{Q_a}{H_a^2 - h^2} \lg \frac{R_a}{r} \right) \frac{H_0^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} \\ &= Q_a \frac{H_0^2 - h^2}{H_a^2 - h^2} \quad (8) \end{aligned}$$

(二) 进行了两次水位降低或混合静止水位为未知时: 从公式 1 可得

$$2.73 K_b \frac{S_b M}{\lg \frac{R_b}{r}} = Q - Q_a$$

$$K_b S_b = 0.366 \frac{Q - Q_a}{M} \lg \frac{R_b}{r} \quad (9)$$

如進行了兩次水位降低的抽水試驗, 則:

$$K_b S_{b1} = 0.366 \frac{Q_1 - Q_{a1}}{M} \lg \frac{R_b}{r}$$

$$K_b S_{b2} = 0.366 \frac{Q_2 - Q_{a2}}{M} \lg \frac{R_b}{r}$$

兩式相減得

$$K_b (S_{b2} - S_{b1}) = 0.366 \frac{Q_2 - Q_1 - (Q_{a2} - Q_{a1})}{M}$$

$$\lg \frac{R_b}{r}$$

$$K_b = 0.366 \frac{Q_2 - Q_1 - (Q_{a2} - Q_{a1})}{M (S_{b2} - S_{b1})} \lg \frac{R_b}{r}$$

式中 $S_{b2} - S_{b1}$ 為兩次水位降低之差, 以 ΔS 表之; $Q_2 - Q_1$ 為兩次水位降低時鑽孔湧水量之差, 以 ΔQ 表之; $Q_{a2} - Q_{a1}$ 為兩次降低時 A 的湧水量之差, 以 ΔQ_a 表之 O 則得

$$\left. \begin{aligned} K_b &= 0.366 \frac{\Delta Q - \Delta Q_a}{M \Delta S} \lg \frac{R_b}{r} \\ \text{如以 } \Delta Q_b &\text{ 表示 } \Delta Q - \Delta Q_a, \text{ 則上式可寫成} \\ K_b &= 0.366 \frac{\Delta Q_b}{M \Delta S} \lg \frac{R_b}{r} \end{aligned} \right\} (10)$$

$$\begin{aligned} \text{式中 } \Delta Q_a &= 1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} - \\ &- 1.366 K_a \frac{H_a^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}} \\ &= 1.366 K_a \frac{h_1^2 - h_2^2}{\lg \frac{R_a}{r}} \end{aligned} \quad (11)$$

以8代入7, 得

$$S_b = \frac{\Delta S (Q - Q_a)}{\Delta Q - \Delta Q_a} = \Delta S \frac{Q_b}{\Delta Q_b} \quad (12)$$

$$\text{而 } q_b = \frac{Q_b}{S_b} = \frac{\Delta Q_b}{\Delta S} \quad (13)$$

自流水層與自流水層混合的情形:

公式1至13及其推導原理和步驟, 亦同樣適用於自流水層與自流水層的混合抽水, 只不过其中的 Q_a , Q_{ao} 及 ΔQ_a , 具有不同的形式而已, 即

$$Q_a = 2.73 K_a \frac{(H_a - h) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$Q_{ao} = 2.73 K_a \frac{(H_o - h) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$= Q_a \frac{H_o - h}{H_a - h} \quad (14)$$

$$\Delta Q_a = 2.73 K_a \frac{(H_a - h_2) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$- 2.73 K_a \frac{(H_a - h_1) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$= 2.73 K_a \frac{(h_1 - h_2) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}} =$$

$$= 2.73 K_a \frac{M_a \Delta S}{\lg \frac{R_a}{r}} \quad (15)$$

公式2及3則分別變為

$$Q = 2.73 K_a \frac{(H_a - h) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$+ 2.73 K_b \frac{(H_b - h) M_b}{\lg \frac{R_b}{r}} \quad (16)$$

$$\text{及 } Q = 2.73 K_a \frac{(H_o - h) M_a}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$+ 2.73 K_b \frac{(H_o - h) M_b}{\lg \frac{R_b}{r}}$$

$$= 2.73 \frac{S_o}{\lg \frac{R}{r}} (K_a M_a + K_b M_b) \quad (17)$$

當 A 、 B 靜止水位相同時的情形:

如果 A 、 B 的靜止水位相同, 則

$$H_a = H_b = H_o = H \text{ 及 } S_a = S_b = S_o = S$$

公式2及3變為舒爾采公式:

$$Q = 1.366 K_a \frac{H^2 - h^2}{\lg \frac{R_a}{r}}$$

$$+ 2.73 K_b \frac{(H - h) M}{\lg \frac{R_b}{r}}$$

$$= 1.366 \frac{K_a [H^2 - h^2 + (H - h) 2M \frac{K_b}{K_a}]}{\lg R - \lg r} \quad (18)$$

公式16及17則變為

$$Q=2.73 \frac{S}{\lg \frac{R}{r}} (K_a M_a + K_b M_b)$$

如引入A及B的平均渗透系数 K_{cp} , 则有:

$$Q=2.73 K_{cp} \frac{S(M_a + M_b)}{\lg \frac{R}{r}}$$

代入前式得

$$K_{cp}(M_a + M_b) = K_a M_a + K_b M_b$$

$$K_{cp} = \frac{K_a M_a + K_b M_b}{M_a + M_b} \quad (19)$$

而公式16及17至此已转化为卡明斯基公式。

此外, 在公式1至17中,

$$Q_{b..} = Q_b, Q_{a..} = Q_a$$

公式6、8及14至此已无实际意义。

四、三个或三个以上的含水層 進行混合抽水的情形

以上的研究, 虽然都是两个含水層分層混合抽水的情形, 实际上, 亦可同样适用于三个以上的含水層的分層混合抽水。例如有四个含水層, 我們首先可以根据第一含水層(設由上而下編号)单独抽水的資料及第一, 第二含水層混合抽水的資料, 用前述圖解法或公式計算法得出第二含水層的透水性來; 再根据第一, 第二含水層的混合抽水資料及第一, 第二, 第三含水層的混合抽水資料, 同样得出第三含水層的透水性來, 这时, 系將第一, 第二两个含水層当作一个含

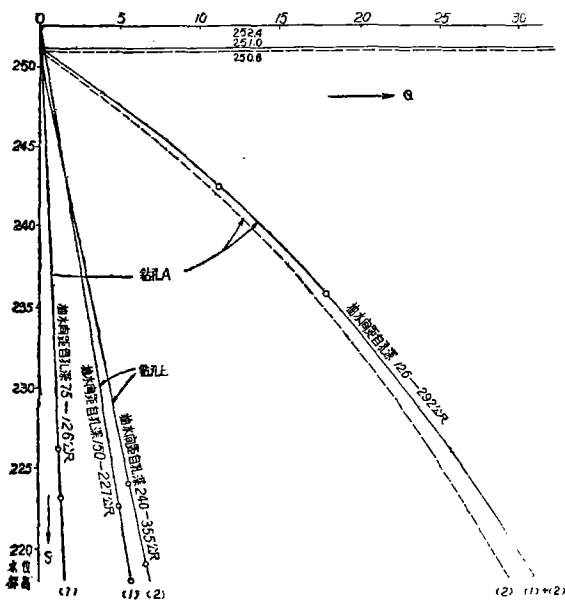


圖 6 (a)

水層看待; 最后根据第一, 二, 三含水層的混合資料及第一, 二, 三, 四含水層的混合資料, 得出第四含水層的透水性來, 这时, 則是將一, 二, 三三个含水層当作一个含水層看待。至于四个含水層以上的情况, 可照此类推。

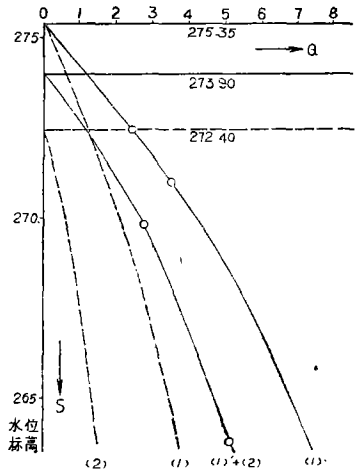


圖 6 (b)

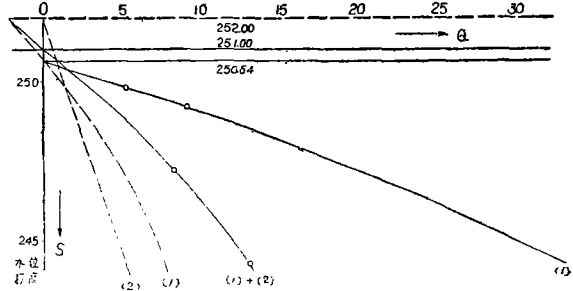


圖 6 (c)

五、冲洗鑽進时岩粉对于 井壁岩層透水性的影响

前面已經說过, 上述的研究, 都未曾考慮鑽探施工对于井壁岩層透水性影响。但在实际应用上, 我們是不能不考慮这种影响。否則就会產生很大的錯誤, 或得不出任何結果。

只要含水層的靜止水位低于孔口标高, 那么整个鑽進过程, 对于該含水層实际上是一个長時間的注水試驗。其注入含水層的水量, 即等于鑽進时冲洗液的消耗量。但是我們知道, 冲洗液中是含有大量的岩粉的。即使是用清水冲洗, 也仍然弄得極為渾濁。这些岩粉无孔不入地注入和充填于孔壁周圍的裂隙中, 在孔壁周圍形成一層厚薄不等的, 且向四週逐渐过渡的不透水圈或半透水圈而大大地減弱孔壁岩層的透水性。鑽進的时间愈長, 則孔壁岩層的透水性減弱愈多。

当我们研究上一含水層的水, 繼續向下一含水層鑽進时, 上一含水層的透水性就逐渐減弱。即使在混合抽水以前, 經過洗孔和試抽, 也不能恢复其原有的透水性。这一方面是由于注水(鑽進)的时间長, 而

抽水的时间短；另一方面，岩粉从裂隙中抽出来，并比灌进去困难的多。

岩粉对于井壁岩层裂隙的堵塞作用，从下面的事实中很容易获得了解。

1. 一个勘探钻孔中，根据初步计算，所取出的岩心体积，还不到钻孔体积的一半，而其余的一半以上的岩石则被磨成岩粉。但是从取粉管及沉淀池中所取出的岩粉，其数量是很小的。这说明尚有很大一部分岩粉被冲洗液带到井壁岩层的裂隙中去了。

2. 从简易水文观测资料来看：在全孔各层的水位相差不大的情况下，其冲洗液消耗量在理论上是应

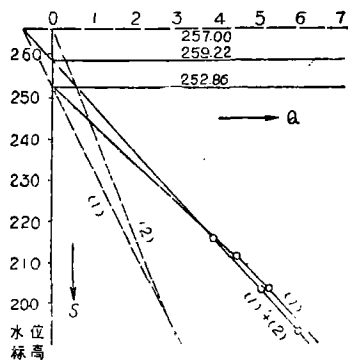


圖 6. (d)

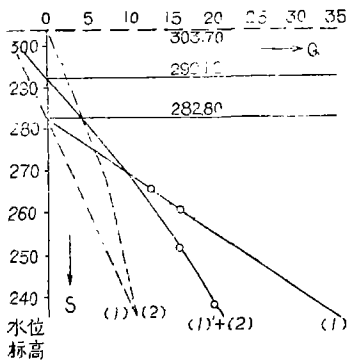


圖 6. (e)

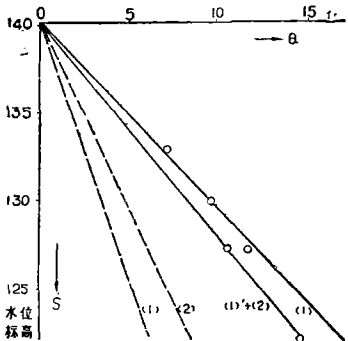


圖 6. (f)

該随着鑽孔的加深而增大的。然而事实上并不这样，在简易水文柱状图中，不但上述这条规律不显著，还常常可以看到鑽孔由大量漏水而很快地转变为一般漏水的情形，其間并未经过任何止水工作或其他措施。这说明新揭露的透水岩层经过冲洗液所带入的岩粉的堵塞后，就逐渐地变为透水性弱或不透水的岩层了。而保持经常漏水的主要是离鑽头不远的新揭露的一般岩层，以及上部岩层中那些不易完全堵塞的大型裂隙。

3. 根据几年来在鹤岗、鸡西、双鸭、桦甸等地所进行的分層混合抽水资料来看，也证明了冲洗鑽进对于井

壁岩层的透水性，有着显著的影响。这些分層混合抽水的 Q 、 S 曲线图，如下所示：

下列曲线图中，曲线(1)及(1')分别为上一含水层在被岩粉“堵塞前”及“堵塞后”的 Q 、 S 曲线，曲线2为下一含水层的 Q 、 S 曲线，其中实线是表示实际抽水得出的曲线，虚线则是表示用图解法推断出来的曲线。

这里须要声明的是：所谓“堵塞前”及“堵塞后”的概念并不是绝对的，而是相对而言的。“堵塞前”与“堵塞后”的涌水量之差对于“堵塞前”涌水量的比值，称为相对堵塞系数。

圖 6 a 系某区两个相距360公尺的鑽孔，对1,2两个含水层进行四次抽水试验的 Q 、 S 曲线，其中鑽孔 A 是采用由下而上的分層混合抽水方法，即是首先将1和2进行混合抽水，得出曲线(1')+(2)，然后将2堵去，对1进行一次单独抽水，得出曲线(1')，根据(1')及(1')+(2)用图解法得出(2)。鑽孔 B 则是经过隔离含水层而进行的分層抽水，而得出曲线(1)及(2)。

从圖 6 a 中我们可以看出：

1. 在孔 B 中，曲线(1)及(2)的 Q 值非常近似，而在孔 A 中，则(1')和(2)的 Q 值，相差悬殊(2)约大于(1')20倍)。

2. 鑽孔 A 所得的(2)比鑽孔 B 所得的(2)约大5倍，而 A 所得的(1')则比 B 所得的(1)约小3倍多。

3. 含水层1和含水层2的层位的埋藏深度，在鑽孔 A 中要比在鑽孔 B 中为浅，根据北满煤田的水文地质特点，同一含水层，浅部的透水性，要比深部的透水性为大。因此，鑽孔 A 所得的曲线(2)，比鑽孔 B 所得的曲线(2)为大，是合理的和正常的。而 A 所得的(1')比 B 所得的(1)为小，则是反常的。

根据以上三点，我们不难看出结论：鑽孔 A 中所得的曲线(1')，显然是由于经过冲洗鑽进的时间较长，被岩粉堵塞的程度较剧，致使透水性大大地减小了的；其相对堵塞系数约为 90%。

至于圖 6 b 至 6 f 中所列举的分層混合抽水资料，也都具有一个共同的特点，即混合抽水的流量都比较上一含水层单独抽水的流量为小，而且显然不是由于水位没有降入下一含水层的水头内的原因。对于这种现象，笔者认为应该作如下解释：

上一含水层单独抽水完毕后，继续鑽进至下一含水层的底板时，其透水性已因岩粉的堵塞作用而大大减小，混合抽水的涌水量，实际上只是下一含水层的

湧水量加上一層湧水量的一部分，并不能真正代表兩個含水層的湧水量的总和。根据北滿煤田的水文地质特点，埋藏在較淺的含水層，由于風化作用的影响，总是比埋藏較深的含水層的透水性为大，因而下一含水層的水量加上上一層的湧水量的一部分，仍然有可能比上一含水層單獨抽水时的湧水量为小。

从上列事实中，我們可以看出：冲洗鑽進时，岩粉对于井壁岩層透水性的堵塞作用，是相当嚴重的，在抽水試驗工作中應該对这一因素，予以充分注意，并設法排除这种影响或使这种影响減到最低限度。特别是在混合抽水时，这一影响表現得更为明顯和突出，如不設法予以排除，則混合抽水，就將达不到分層了解透水性的目的。而所得結果，往往无法計算（例如圖6中所列举的各項混合抽水資料）。

六、建議的混合抽水方法

根据以上探討，筆者建議的混合抽水方法如下：

上一含水層抽水完畢后，不進行含水層隔離，繼續鑽進至下一含水層底板，并進行混合抽水，但在混合抽水完畢后，須即將下一含水層封去，再回头將上一含水層抽一个点（即進行一次水位降低）將此点資料与上一含水層原來的抽水資料進行比較，求出其相对堵塞系数，然后根据此相对堵塞系数換算出上一含水層經過堵塞后的 Q, S 曲綫（1'）（如圖6b至6f中虛綫所示）及流量 Q_a 來。最后根据曲綫（1'）及混合抽水曲綫（1'）+（2），用前述圖解法解出下一含水層的 Q, S 曲綫（2）來（如圖6中所示）或以 Q'_a 代替公式1至17中的 Q_a ；并用这些公式計算出下一含水層的透水性資料來。

在圖6b至6f中，如果曾在混合抽水之后，將下一層封去，而回头將上一層進行一次水位降低，以求出其相对堵塞系数，則顯然可以看出，根据相对堵塞系数換算出的 Q, S 曲綫（1'）必能与混合曲綫（1'）+（2）合理相交，和得出下一含水層單獨抽水的 Q, S 曲綫2（如圖示）。可惜，我們当时并没有这样作。

应用上述方法，在施工中尚应注意如下几点：

1. 用粘土封閉下一含水層时，应注意不使粘土敷住上一含水層，以免再度影响上一含水層的透水性。
2. 回头对上一含水層再作一次抽水时，不必測定其抽水前的靜止水位，及抽水后的恢复水位，可直接采用上一含水層單獨抽水时作 Q, S 曲綫圖所采取的靜止水位。
3. Q, S 曲綫上的实抽流量点，应不少于三个，且其分布最好为：上一含水層的 Q, S 曲綫，第三点尽量降深，第一、第二則均匀分布于曲綫上；混合抽水的 Q, S 曲綫，除要求第三点尽量降深外（但不应

低于上一含水層的底板），第一点下降深度应等于或稍大于（如果下一層的透水性可能比上一層为大时，則应稍小于）混合靜止水位与上一層的靜止水位之差，而第二点則均匀分布于第一点和第二点之間。这样，曲綫形狀可以控制的較准确，減少圖解結果的誤差。

4. 混合抽水的水位降低順序，应与上一含水層單獨抽水时的降低順序一致。其相应各点的穩定時間应大致相等。恢复水位的次数（三抽三恢复或三抽一恢复）亦应相同，否則会增大誤差。

5. 如在三个含水層中進行混合抽水时，則在抽完第一、二含水層的混合水后，应先回头將上含水層抽一个点以求出其相对堵塞系数后，才能向第三含水層鑽進，而不应采用先鑽至第三含水層俟抽完一、二、三含水層的混合水后，再挨次封去下部的含水層，挨次抽回头水的办法。对于三个以上的含水層，亦应如此。

此外，在一切抽水試驗鑽孔中，無論是否進行混合抽水，对于抽水間距的划分，都不宜过大，否則將因岩粉堵塞作用的影响，而不能獲得真实的結果。特别是在含水層与隔水層發育不明顯的陸相地層中，尤应注意。一般抽水間距的划分，以50~100M为宜，但在深部地層中可以稍大一些。

七、結 語

1. 本文所提出的各項公式都是根据鳩布衣集水井公式推導出來的。因此，其理論上的正确程度与鳩布衣公式完全相同，即鳩布衣公式所存在的一些缺点，在本文所提出的各項公式中亦同样存在。

2. 本文所提出的各項公式。在理論的嚴密程度上，完全与卡明斯基公式及舒尔采公式相等。但在应用範圍上較卡明斯基公式及舒尔采公式为宜。

3. 本文所提出的圖解法。虽在作圖时可能帶來某些人为誤差。但他比公式計算法具有更多的优点，它不但擺脫了鳩布衣公式所存在的全部缺点，而且还考慮了許多公式所存在的全部缺点，而且还考慮了許多公式所无法考慮進去的各种自然因素。而且它的誤差是随着曲綫上控制点数的增加而減小的。至于抽水时的誤差，則是与公式計算法所共同的。

4. 对于三个以上的含水層進行混合抽水时，以采用圖解法为宜。而采用公式計算，只是一种近似方法。

5. 分層混合抽水方法应主要适用于鑽孔深度大而抽水段数多的情况下，至于抽水段数少而深度不大的鑽孔則以進行含水層隔離为宜。因为在这种情况下隔離含水層并不很困难，而能較分層混合抽水保持更小的誤差机会。