

56.581
F 151

096854
56.581
A B L

19566

1962.11.查

中央人民政府水利部辦公廳編
蘇聯水利科學技術譯叢

基坑滲水及人工降低地下水位的 水文地質計算

C. K. АБРАМОВ 著
方 湖 彭 篤 生 合譯
中央水利部辦公廳編譯室校



中央人民政府水利部辦公廳出版

1954年4月

為協助偉大的共產主義建設中
水利工程建設的水文地質計算而作

基坑滲水和人工降低地下水位 的水文地質計算

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
ПРИТОКА ВОДЫ В КОТЛОВАНЫ И ИСКУССТВЕННОГО
ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

С. К. АБРАМОВ 著

方 湖、彭篤生 合譯

中央水利部辦公廳編譯室校

根據蘇聯煤炭技術出版社 (ГЛТЕХИЗДАТ)

1952年莫斯科俄文版翻譯

中央人民政府水利部辦公廳出版

原 編 者 的 話

本書所敘述的是在水利建築物的建築工地上基坑滲水和人工降低地下水位的計算方法及其計算例題。

本書可供從事於水利工程壺勘工作的地質工程師、水利工程師和土壤改良技師之用。

編 輯 委 員 會

Семенов М.П. (主席)

Овчинников А.М.

Биндеман Н.Н.

Каменский Г.Н.

Приклонский В.А.

Золотарев Г.С.

目 錄

全蘇採礦工程科學技術協會水文地質研究組的說明	(1)
序	(2)
I. 基坑滲水的計算	(4)
一、引 言	(4)
二、窄長形壕溝或基坑中滲入流量的計算	(6)
三、非窄長形基坑中滲入流量的計算	(12)
II. 地下水位的人工降低法	(19)
一、引 言	(19)
二、在無壓水中抽水時	(21)
1. 完整型鑽井	(21)
2. 不完整型鑽井	(26)
三、在有壓水中抽水時	(34)
1. 完整型鑽井	(34)
2. 不完整型鑽井	(36)
附錄：雙曲綫正弦函數表	(46)

全蘇採礦工程科學技術協會

水文地質研究組的說明

爲了給從事於偉大共產主義建設的地質工程師以科學技術的幫助，全蘇採礦工程科學技術協會水文地質研究組在莫斯科組織了關於水利工程中水文地質計算方法的講座，其中包括了下列的幾個專題：

1. 地下水上湧和水庫滲透的水文地質計算。
2. 大壩基礎滲透和週圍滲透的水文地質計算。
3. 在防止淹沒和頂托的地區中有關排水的水文地質計算。
4. 灌溉田地上的渠道滲透及地下水升高的水文地質計算。
5. 基坑滲水和人工降低地下水位的水文地質計算。
6. 透水性岩層的抽水、灌水和壓水測定法。
7. 預測地下水狀況的水力動力學理論。

爲了使查勘隊或查勘組的地質工程師們在實際工作中能直接地利用這些講演材料，乃根據討論的每一專題印出了七種單行本。

這本書敘述的內容，是在 1951 年 10 月由 С. К. Абрамов 氏講授的第五個專題『基坑滲水和人工降低地下水位的水文地質計算』。

採礦協會謹以至誠接受對於本書提出的所有的批評和意見，如有指導，請寄下列地址：

Москва. Проезд владиминова. д. 6. комн. 11.

全蘇採礦工程科學技術協會水文地質研究組

主席 М. П. 謝門諾夫

序

閘，壩和其他水利工程建築物的基坑，在大多數情形下，均深入到低於地下水位的含水岩層內，因此使得建築物的施工複雜化了。

施工的複雜化是這樣產生的：

- (1) 基坑內有大量的地下水滲入；
- (2) 坑壁和坑底的鬆軟的土壤，由於滲透而變形（坑壁因發生管湧現象而崩潰，坑底發生鬆軟或凸起的情形）。

因地下水滲入基坑和在地下水影響之下坑底和坑壁變形所造成的嚴重困難，即或在中小河流上建築水工建築物，也同樣會發生的。而在伏爾加河、頓河、第聶伯河等地方建築巨大的水工建築物，其困難就更為嚴重；在那裏，滲入基坑的流量，在個別情形下，可能達到幾十個秒公方。因此，必須特別慎重地測定基坑中地下水的滲入量，並根據滲入量採取相應的防止它滲入的辦法。

設計深入含水層的基坑時，應當針對着水文地質的條件以及建築物的尺寸和特徵，預先自下列二種排水方法中選用一種：

- (1) 不論是在開挖基坑時或是在修建水工建築物的地下部分時，全部採取直接自基坑內露天排水的方法；
- (2) 在水工建築物所佔的地段內（根據基坑的外形），人為地降低地下水位的方法。降低地下水位的作業，應在基坑開挖前即行開始，一直進行到水工建築物地下部分的建築全部完成時為止。

在這種情況下，即當坑壁和坑底是坐落在穩定的土層上，土層不至因滲透變形而有崩潰之虞的情形下，一般都是採用第一種方法——露天排水法，利用水泵將滲入基坑的地下水全部抽出。

而在另外一些情況下，即當基坑的開挖地點係在不穩固性的土層上，並且有發生因滲透而變形的危險的情況下，一般都不採用露天排水法，而用降低水位的鑽井或針點集水管等人為的方法，以降低地下水位。因為人工降低水位的效果很高，工作上的可靠性也很大，因此，這種方法在巨大水利工程的施工中，已經廣泛使用，並受到了格外的讚美。

在水工建築部門工作的水文地質工作者，在本身業務範圍內，爲了決定意料中的地下水滲入基坑的流量，或是爲了擬定人工降低地下水位的總的計劃方案，必須進行水文地質的計算。

本書對於型式最簡單、實際上常常遇到的基坑所適用的水文地質計算，提供了合乎實用的指示。對於附有板樁、圍牆或圍堰的基坑，這種計算，按照慣例，應由水利技術人員進行，因為這種計算與水工建築物本身的設計是分不開的。因此，對於具有上述複雜結構的基坑，其計算方法，本書則略而不談。

在本書中，對於其他的防止滲透的方法，例如土壤凍結法、化學固結法、洋灰瀝漿法、瀝清瀝漿法等也未加討論。

I 基坑滲水的計算

一、引 言

水利工程建築物的基坑，有著各種不同的形式和尺寸（在平面上或在縱斷面上看），因此，很難得出與這些種基坑嚴格適應的確定地下水流入量的計算公式。

現有的計算公式，僅僅適用於形式簡單的基坑。因之，爲了確定地下水流入基坑的流量而進行計算時，必須簡化實際的條件，把實際上經常遇到的複雜的條件削減到可以使用現有的計算公式那樣簡單的程度。

基坑可以分爲下列的兩種形式：

（甲）壕溝式或窄長的長方形基坑，寬度和長度的比值等於或小於1：10（例如：1：12；1：15；1：20等比值，均小於1：10——譯註）。

（乙）非窄長而是寬闊的基坑，如正方形、長方形以及其他各種開闢形狀的基坑，寬度和長度的比值大於1：10（例如：1：8；1：5；1：3等比值，均大於1：10——譯註）。

爲了使計算簡化起見，所有基坑的四壁均假定爲鉛直而。這樣一來，所求得的滲透流量一定會比實際的流量稍微大一些，但這樣假定是完全合理的，因爲這樣正可以給抽水設備的容量留出一些餘裕量。

爲了同一目的，可以把非窄長的基坑化成一個以 r 爲半徑的、假

想的上下直徑相等的圓。半徑 r_0 的數值，可按下述辦法確定：

(a) 基坑如為長方形，可依季林斯基 (Н. К. Гири́нский) 氏的公式求得：

$$r_0 = r \frac{L+B}{4} \text{ 公尺。} \quad (1)$$

(б) 基坑的平面投影如為不規則的形狀時，可按照下式求得：

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \text{ 公尺。} \quad (2)$$

L —基坑長度 (公尺)； B —基坑寬度 (公尺)；

F —基坑實際的面積 (平方公尺)；

$\pi=3.14$ 。

η 的數值，可以根據 $\frac{B}{L}$ 的比值自表 1 中查出：

表 1.

$\frac{B}{L}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
η	1.0	1.12	1.16	1.18	1.18	1.18

滲入基坑的流量，是根據河水在枯水時期和洪水時期的兩種水位，按照地下水的穩定運動公式而計算出來的。滲入基坑的流量，以前者為最小，後者為最大。

由於儲水層的水力狀態不同，基坑可能在無水壓的條件下（在實際中是最常見的情形）滲水，或是在有水壓的條件下滲水。

按照透水層部位分佈的深淺程度，基坑可分為「完整型的」和「不完整型的」兩種。前者基坑的坑底已達到不透水層，因此，僅能從坑壁滲水；後者基坑的坑底尚未達到不透水層，因此，地下水可以自坑壁和坑底同時滲入，或僅僅自坑底滲入。

實際開挖基坑時，通常都要穿過質地不一的、由滲透性不同的透水層所構成的地層。

但是，因為缺乏對各種不同土質的混合層的計算方法，所以當不同土層間滲透係數之比不超過 1:10 時，即可按照卡門斯基 (Г. Н. Каменский) 氏求各種土層滲透係數的加權平均值的方法，把不同土質的混合層作為同一土質的土層來進行計算。在滲透係數比值很大的情形下，滲透係數很小的土層可以略而不計；在這種場合，列入計算之內的只是滲透係數最大的土層，但須適當地將地層的厚度縮小，這樣一來，就可以按照同一土質的土層情況下適用的公式來進行滲水的計算了。

二、窄長形壕溝或基坑中滲入流量的計算

對於坑底（溝底）為不透水層的壕溝或平面投影為長方形的狹長的基坑（完整型的壕溝和基坑，見圖 1），在無水壓滲入的條件下，其滲入的流量，可按場培公式（формула Дюпюи）計算。

水工建築物的壕溝和基坑的位置，常靠近河流，因此，滲入壕溝或基坑中的水，是由兩部分構成的：

（甲）自分水嶺方面滲入的流量：

$$q_B = LK \frac{H_B^2}{2R} \dots\dots\dots (3)$$

（乙）自河流方面滲入的流量：

$$q_P = LK \frac{H_P^2}{2l} \dots\dots\dots (3a)$$

兩者相加，即為滲入壕溝或基坑的全部流量。

$$Q = q_B + q_P = 0.5 LK \left(\frac{H_B^2}{R} + \frac{H_P^2}{l} \right) \dots\dots\dots (4)$$

式中 Q — 滲入壕溝或基坑的全部流量（公方/日）；

L — 壕溝或基坑的長度（公尺）；

K — 儲水層的滲透係數（公尺/日）；

H_B — 無壓儲水層的厚度（公尺）；

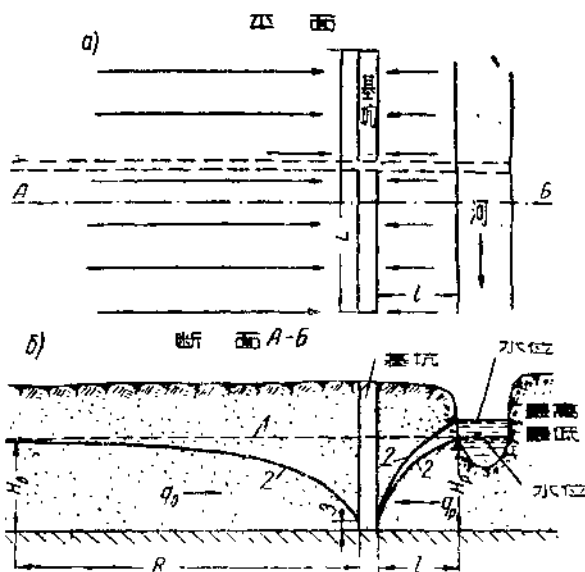


圖1.完整型窄長形無水壓基坑滲水情況示意圖。

- 1—基坑開挖前之地下水位綫；
2—基坑開挖後之地下水位出逸坡降曲綫；
3—坑壁滲水部分。

H_0 —自河水面到不透水層的深度（公尺）；

l —壕溝或基坑到河邊的距離（公尺）；

R —分水嶺側水位出逸坡降影響圈半徑（公尺）

當河谷中有局部低窪地帶的時候（例如河流故道），應取壕溝或基坑至該低窪地點的平均距離，作為 R 的値；如果沒有局部低窪的地方，則 R 的値，可以按照庫薩金（И.П.Кусакин）氏的公式，近似地求得：

$$R = 2H_0 \sqrt{H_0 K} \quad (\text{單位：公尺})$$

或根據現有的實驗資料，推斷出 R 的値。

當無水壓的壕溝或窄長形基坑的坑底並未達到下面的不透水層時

(不完整型的壕溝和基坑，如圖2)，滲透的流量，可以按照丘加葉夫 (Р.Р.Чугаев) 氏方法近似地決定。照按此法，流入不完整型的壕溝或窄長基坑的流量，可認為是由兩部分組成的：

(a) A帶流量，根據鳩培公式確定。

(6) B帶流量（自壕溝或基坑之底流入的壓力水流），可根據

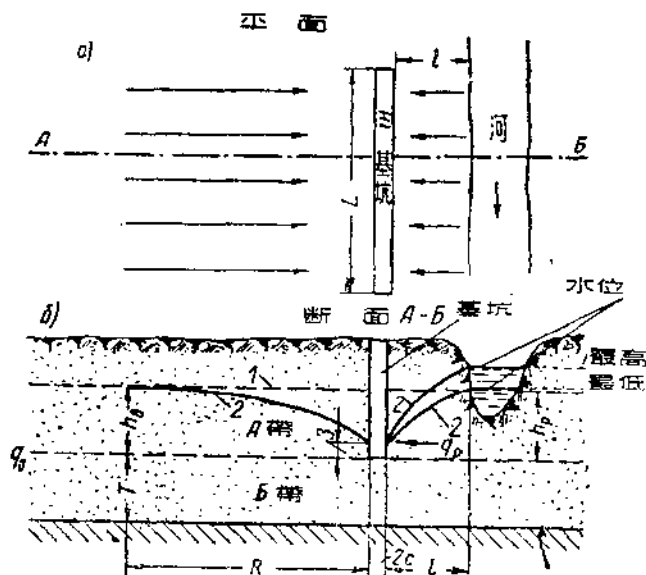


圖2. 不完整型窄長形無水壓基坑滲水情況示意圖。

- 1—基坑開挖前之地下水位線。 2—基坑開挖後之地下水位用逸坡降
3—坑壁滲水部分。

巴甫洛夫斯基 (Н.Н.Павловский) 氏的公式確定。

與前述情形相同，滲入壕溝或基坑內的流量，分兩部分計算：自臨分水嶺面滲入的地下水流量 q_a 及臨河面滲入的流量 q_b 。兩者的和，即為全部滲入基坑的流量 Q 。

為了計算長度為 l 的不完整型的壕溝或窄長基坑中滲入的全部流量，宜採用下列公式：

$$Q = I \cdot h \left\{ \left(\frac{h_B^2}{2l} + h \cdot q_{r_B} \right) + \left(\frac{h_P^2}{2l} + h \cdot q_{r_P} \right) \right\} \dots\dots\dots (5)$$

式中 h_B — 地下水面高於基坑底或壕溝底的高度 (公尺)；

h_P — 河水面高於基坑底或壕溝底的高度 (公尺)；

q_{r_B} — 自分水嶺側 (即 B 帶) 滲入的有水壓部分的流量；

q_{r_P} — 自臨河方面滲入的有水壓部分的流量 其他符號代表的意義同前。

q_{r_P} 與 q_{r_B} 的値，可自丘加葉夫氏圖形 (圖 3) 中求得 該圖

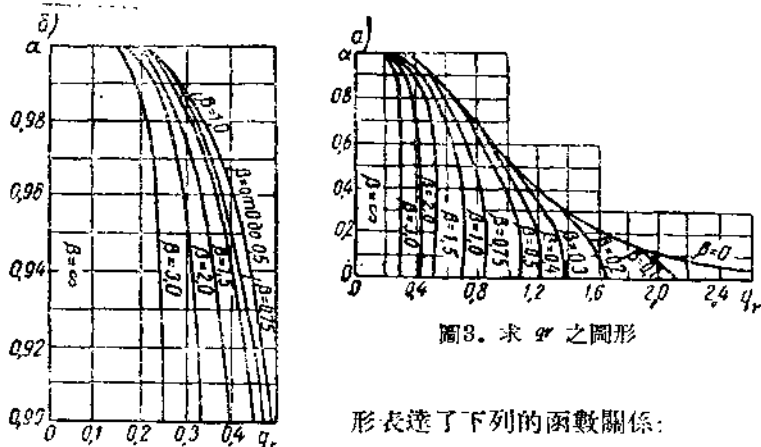


圖3. 求 q_r 之圖形

形表達了下列的函數關係：

$$q_{r_B} = f(\alpha_B, \beta_B) \text{ 及 } q_{r_P} = f(\alpha_P, \beta_P),$$

$$\text{式中 } \alpha_B = \frac{R}{R+C} ; \quad \beta_B = \frac{R}{T} ;$$

$$\alpha_P = \frac{l}{l+C} ; \quad \beta_P = \frac{l}{T}.$$

式中 T — 自基坑底或壕溝底到不透水層的距離 (公尺)；

C — 基坑或壕溝寬度的一半 (公尺)；

但在 $\beta > 3$ 的特殊情況時， q_{r_P} 値應按下列公式確定之：

$$q_{r_P} = \frac{q'_{r_B}}{(\beta_B - 3) q'_{r_B} + 1} \dots\dots\dots (6)$$

$$q_{rp} = \frac{q'_{rp}}{(\beta_p - 3) \frac{q'_{rp}}{q'_{rp}} + 1} \dots\dots\dots (6a)$$

數值 q'_{rp} (或 q'_{rp})，亦可根據丘加葉夫氏圖形 (圖4) 來確定，惟未做圖解法以前，應先算出 α_0 之值：

$$\alpha_0 = \frac{T}{T + \frac{1}{3}C}$$

假如壕溝或窄長基坑的坑底開挖完成後，露出了與河水串通的壓力儲水層 (如圖5)，而坑壁位於不透水層中，則公式 (5) 即可簡化為如下的形式：

$$Q = LK [h_B q_{rB} + h_P q_{rP}] \dots\dots\dots (5a)$$

式中 h_B —地下的測壓管水面 (水位降低以前的靜壓水頭) 到坑底或溝底的距離 (公尺)。

例1. 試求完整型窄長基坑內滲入的流量，已知：

$H_B = 10.0$ 公尺；

$H_P = 12.0$ 公尺 (枯水位) 或 15.0 公尺 (洪水位)；

$L = 400.0$ 公尺；

$K = 10$ 公尺/日；

$R = 600$ 公尺；

$l = 100$ 公尺。

解：根據不同的 H_P 值，由公式 (4) 可計算出長 400 公尺基坑中的最小和最大的全部滲入流量：

$$Q_{\min} = 0.5 \times 400 \times 10 \left(\frac{10^2}{600} + \frac{12^2}{100} \right) = 3312 \text{ 公方/日} \approx 37 \text{ 公升/秒}。$$

$$Q_{\max} = 0.5 \times 400 \times 10 \left(\frac{10^2}{600} + \frac{15^2}{100} \right) = 4833 \text{ 公方/日} \approx 56 \text{ 公升/秒}。$$

例2. 試求不完整型窄長基坑內的滲入流量，已知：

$h_B = 5$ 公尺；

$h_P = 8$ 公尺 (枯水位) 及 10 (洪水位)；

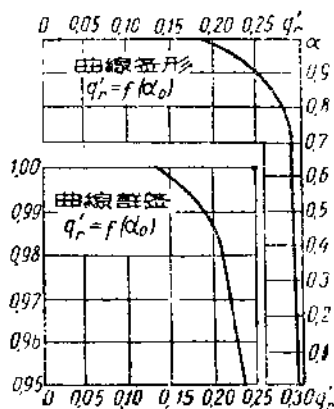


圖4. 求 q'_r 的圖形

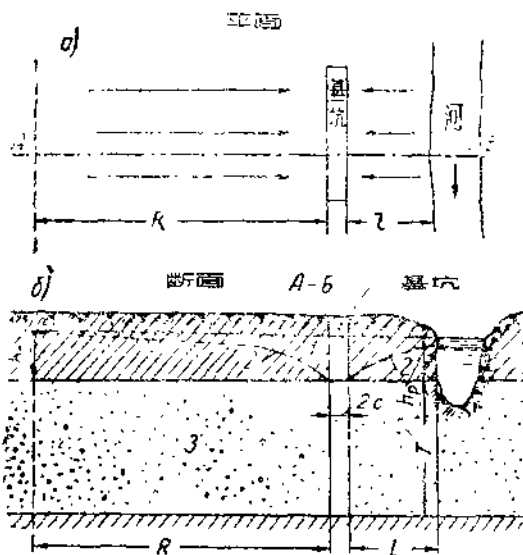


圖5. 坑底達到壓力儲水層上頂的窄長
基坑滲水情況示意圖。

- 1—基坑開挖前之地下水壓力線。 2—基坑開挖後地下水壓力線；
3—壓力儲水層。

$$L=600 \text{ 公尺；}$$

$$K=8 \text{ 公尺/日；}$$

$$R=400 \text{ 公尺；}$$

$$l=150 \text{ 公尺；}$$

$$C=20 \text{ 公尺；}$$

$$T=10 \text{ 公尺。}$$

解：首先算出 β_B 和 β_P 的值，

$$\beta_B = \frac{R}{T} = \frac{400}{10} = 40; \quad \beta_P = \frac{l}{T} = \frac{150}{10} = 15。$$

因 $\beta > 3$ ，所以計算時，應用公式 (6) 與 (6a) 及圖 (4) 的圖形。先求出：

$$\alpha_0 = \frac{T}{T + \frac{1}{3}C} = \frac{10}{10 + \frac{1}{3} \times 20} = 0.6。$$

再由圖形中(如圖4)求得:

$$q_{r_0} = q_{r_1} = 0.285$$

進一步即可求出:

$$r_{r_1} = \frac{q_{r_1}}{(\beta_0 - 3)q_{r_1} + 1} = \frac{0.285}{(40 - 3) \times 0.285 + 1} = 0.0247$$

$$r_{r_2} = \frac{q_{r_2}}{(\beta_p - 3)q_{r_1} + 1} = \frac{0.285}{(15 - 3) \times 0.285 + 1} = 0.0645$$

最後, 根據不同的 M_p 值, 由公式(5)計算出600公尺長基坑中最大及最小的全部滲入流量:

$$Q_{\text{min}} = 600 \times 8 \times \left[\left(\frac{5^2}{2 \times 400} + 5 \times 0.0247 \right) + \left(\frac{8^2}{2 \times 150} + 8 \times 0.0645 \right) \right] \\ = 4250 \text{ 公方/日} \approx 49 \text{ 公升/秒}$$

$$Q_{\text{max}} = 600 \times 8 \times \left[\left(\frac{5^2}{2 \times 400} + 5 \times 0.0247 \right) + \left(\frac{10^2}{2 \times 150} + 10 \times 0.0645 \right) \right] \\ = 5450 \text{ 公方/日} \approx 63 \text{ 公升/秒}$$

三、非窄長形基坑中滲入流量的計算:

為了簡化計算起見, 非窄長的基坑(在平面上看為正方形、長方形或近似這些形狀的基坑), 可化為一個上下直徑相等的圓來看, 圓的半徑可根據公式(1)及(2)來確定。

當坑底為不透水層的時候(完整型基坑), 坑中的滲入流量, 可以按照略經修訂的鳩培公式來進行計算:

(a) 儲水層在無壓情況下(圖6a):

$$Q = 1.37 \frac{KH^2}{l_0} \frac{R + r_0}{r_0} \dots\dots\dots (7)$$

(6) 在混合的情況下(即同時存在壓力的和無壓的兩種儲水層, (如圖66):

$$Q = 1.37 \frac{K(2S-m)m}{\lg \frac{R+r_0}{r_0}} \quad (7a)$$

式中:

Q —基坑中的滲入流量 (公方/日);

K 儲水層的滲透係數 (公尺/日);

H 無壓儲水層的厚度 (公尺);

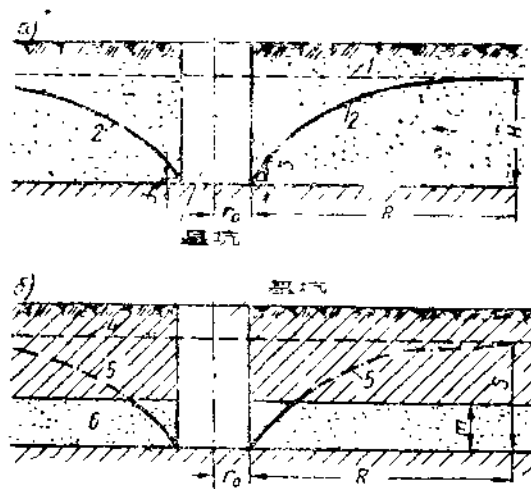


圖6.完整型非窄長形基坑滲水情況示意圖。

a. 在無水壓的情況下。

b. 在混合的情況下。

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1——基坑開挖前的地下水位; | 2——基坑開挖後, 地下水位出逸坡降曲線; |
| 3——坑壁滲水部分; | 4——基坑開挖前地下水的測壓管水面; |
| 5——基坑開挖後地下水測壓管水面的出逸坡降曲線; | 6——壓力儲水層。 |

R —基坑滲水時, 地下水位出逸坡降影響圈的半徑, 等於自基坑到河邊的平均距離 (公尺) (計算中應取其較低值);

r_0 —計算中基坑滲水假想圓的半徑 (公尺);