

确定坝坡上渗透 水流出逸段的方法

B. M. 謝斯塔科夫 著

地质出版社

确定坝坡上渗透 水流出路的方法

〔日〕 佐藤 隆雄 著

地质出版社

全 蘇給水、排水、水工建築物及工程水文地質科學研究所

工程水文地質試驗室

報導資料——№ 8

確定堤坡上滲透水流出逸段的方法

В. М. 謝斯塔科夫 著

СССР,
МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

“ВОДГЕО”

Лаборатория инженерной гидрогеологии
ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ—№ 8

В. М. ШЕСТАКОВ

МЕТОДИКА

ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЧАСТКА ВЫСАЧИВАНИЯ
ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА НА ОТКОС

Москва—1955

本書敘述了在各種情況下確定滲透水流出逸段的方法，并對許多學者的計算方法進行了討論。確定出逸段是滲流計算中的主要部分之一，在土壩、渠道和建築物基坑等的滲流計算中均要應用這些方法。

本書可供地質及水利技術人員參考。

全書由劉傑、徐家海同志譯，袁百匯同志校，卞富宗同志復校。

確定壩坡上滲透水流出逸段的方法

著 者 В. М. 謝斯塔科夫 著

譯 者 劉 傑 徐 家 海

出版者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版登記證出字第050號

發行者 新 華 書 店

印刷者 北 京 市 印 刷 一 廠

印數(京)1—3,100冊

1958年7月北京第1版

開本31"×43" 1/16

1958年7月第1次印刷

字數20,000字

印張1

定價(10)0.15元

目 录

I. 标准极限情况	5
1. 不透水地基上的干燥坡	5
2. 无限深度的透水地基上的干燥坡	5
3. 透水地基上的不透水坡	7
II. 基本计算方法	9
1. 不透水地基上的湿润坡	9
2. 透水地基上的均质坡	12
3. 地基和填坡的透水性不同时在透水地基上的填坡	16
4. 计算出逸段的简化方法	18
5. 有关出逸段计算方法的指示	21
6. 计算例题	26
参考文献	30

出逸段 (участок высачивания) 乃是滲透水流主要單元之一，因為無論是濾水坡的陷落區域的尺寸或是滲透破壞力的大小，在很大程度上都決定於出逸段的大小，關於確定各種條件下出逸段的問題，在許多研究者的文章中都曾作了闡明 (Н. Н. 巴甫洛夫斯基, П. Я. 波盧巴里諾娃-科琴娜, К. А. 米哈依洛夫, Ф. Б. 聶爾遜-斯柯爾尼亞科夫, А. А. 烏金鳩斯, С. Н. 魯邁羅夫, А. М. 莫希塔良, Г. К. 米哈依洛夫, П. А. 善金, 卡薩格蘭德以及許多其他學者)，這些學者為了研究這個問題，曾作了很多研究工作。

目前由於在滲流理論上的重大成就，在確定和簡化出逸段大小的計算方法方面已有了總結並繼續發展這些工作的可能性。下面將對透水和不透水地基上填坡出逸高度的計算方法●加以說明。在討論這個方法時將利用 Ф. Б. 聶爾遜-斯柯爾尼亞科夫為解決滲流問題所建議的“極限情況”。

現在所討論的方法可以應用到土填、渠道边坡以及建築基坑等的滲流計算中[7]。

在進行研究填坡的各種情況之前，我們先討論三種極限情況，這些極限情況具有精確的數學解答。

●在本文中，如以前所做的一樣，認為在所有的滲流區域內，達西定律是正確的，並且不考慮毛細管區域的影響。

I. 标准極限情况

1. 不透水地基上的干燥坡●(圖 1)

С. В. 法尔科維奇 (Фалькович)[1] 所給出的关于不透水地基上干燥坡的入流問題的精确解答, 其形式是很复杂的。这一解答經过 Г. К. 米哈依洛夫分析以后, 他指出: 当 $m \geq 1$ 时, 將其近似地写成下面的簡單关系式, 其解答仍具有頗高的精确度:

$$\bar{q} = \frac{h_0}{m + 0.5}, \quad (1)$$

式中 $\bar{q}$ ——引用流量 (視渗透系数为 1)。

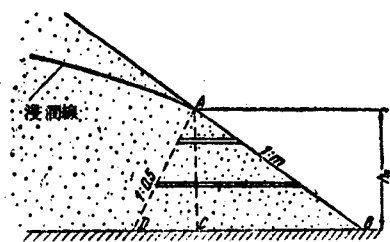


圖 1

不难看出, 公式(1)适合于这样的下游楔形体中的流动情况: 即流綫是水平向的, 而边界的等水头綫并不鉛直, 如像 H. H. 巴甫洛夫斯基[8]采用过的那样,

是斜綫 AD, 其斜率为 0.5。

2. 無限深度的透水地基上的干燥坡(圖 2)

这个問題的解答是С. Н. 魯近罗夫[1]給出的, 他指出,

- 在这里, 和以后的一样, 將未被水浸沒的坡理解为“干燥”坡, 而將被水浸沒的坡理解为“湿润”坡。这个术语虽然不能認為是确切的, 但确是相当显明和适当的。

在离坡頗大的距离处，
浸潤綫的方程是拋物綫：

$$y^2 = 2 q_r x, \quad (2)$$

式中 q_r 是与根据鳩布依公式求得的不透水地基上填坡的引用流量相应的一个参变数。

另一方面，C.H. 魯迈罗夫又给出了 q_r 和 h_0 值间的比例关系(圖 3)，当 $m \geq 0.5$ 时，用下面的近似公式表示 q_r 与 h_0 值的关系可具有頗高的精确度(达 2—3%)：

$$q_r = \frac{h_0^2}{1.2m + 0.5} \cdot (3)$$

在文献[1]中，关于在距填坡究竟多大的距离处才可以在不同的允許誤差下利用关系式(2—3)，并没有給出任何具体說明。对C.H.魯迈罗夫的解答所作的补充分析指出[13]，应用公式(2)时，相对誤差 ε 决定于 mI 的大小，这里的 I 是指平均水流坡降：

$$I = \frac{y}{x} \quad (4)$$

圖 3. I——無限深度的透水地基上的坡；II——不透水地基上的坡

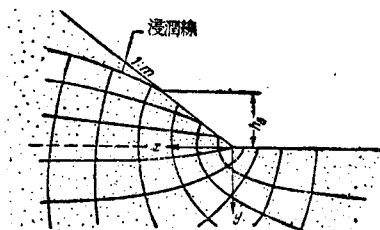
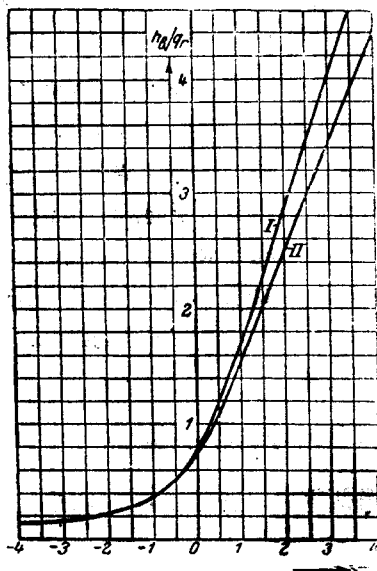


圖 2



并且可以用表 1 說明。

因为通常在实际中的 $mI < 0.7$ ，故計算时可以大胆地利用公式(2—3)。

由公式(1)和(3)的比較中可以看出，在这种情况下得到的 h_e 值大于不透水地基上的坡的 h_e 值。

表 1

mI	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8
$\delta \%$	2	4	6	10	20

分析这种情况的流速向量圖，使我們导出类似圖 2 的运动情况。正如所見，此时等水头綫局限在坝坡以下并形成附加壅水，加大了出逸段，并抬高了浸润綫。

因而，可以將这种情况作为产生出逸段最大可能值和浸润綫最高位置的極限情况来研究。

3. 透水地基上的不透水坡(圖 4)

这种情况，对坝坡的透水性小于地基的透水性來說，当然是一种極限情况。

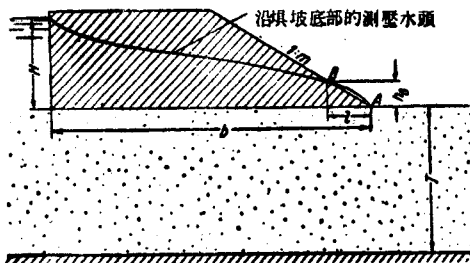


圖 4

坝坡上的渗透水流的出逸点，將决定于沿坡底的测压水头綫与坡面的交点 B_e 。

沿坝坡底部的测压水头曲线，可以用 H. H. 巴甫洛夫斯基的有限深度透水地基上浅置地板的著名解答求得，该解答已详细地研究过。

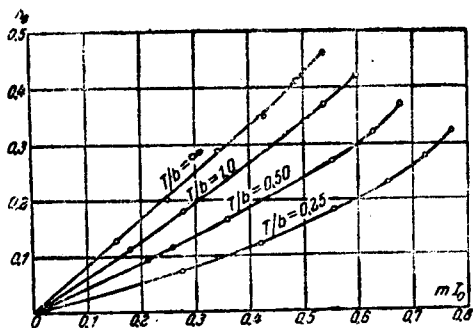


圖 5

現在我們來討論坝坡前無水时的干燥坡的标准情况。由簡單的几何关系得到：

$$h_0 = \frac{l}{m} \quad (5)$$

或者

$$\bar{h}_0 = \frac{l}{mH}, \quad (5a)$$

式中 $\bar{h}_0 = \frac{h_0}{H}$ 。

將平均水流坡降 I_0 表示为

$$I_0 = \frac{H}{b}, \quad (6)$$

以后，可以写成：

$$\bar{h}_0 = \frac{1}{mI_0} \frac{l}{b} \quad (6a)$$

或

$$mI_0 = \frac{1}{\bar{h}_0} \frac{l}{b}. \quad (6b)$$

根据图表[10]可以得到 h_0 与 $\frac{l}{b}$ 间的关系, 然后借助公式(6a)确定 mI_0 与 h_0 间的关系。圖 5 为在各种相对厚度的透水層时, h_0 与 mI_0 的关系曲线。当平均坡降已知时, 利用該曲线不难求得与所給边坡 m 相对应的出逸段 h_0 的大小。

根据以上所討論的極限情况, 我們已經能够比較有把握地作到对基本計算方法的系統研究。

II. 基本計算方法

1. 不透水地基上的湿润坡(圖 6)

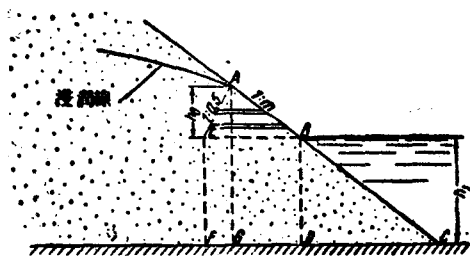


圖 6

通常我們將水流分为承压区 $EBCF$ 和滲出区 ABE 。我們認為, 水平綫 EB 为流綫或不透水的隔板。如果是这样, 則 EB 綫以上的部分的边界等势綫, 应当采取如同干燥坡上的出逸情况一样, 即斜率为 0.5 的斜綫(見極限情况 1)。这时在滲出区內的流量 q_0 和在承压区的流量 q_n 可用下式确定:

$$\text{和} \quad \frac{q_0}{k} = \frac{h_0}{m+0.5} \quad (7)$$

$$\frac{q_n}{k} = \frac{h_0}{(m+0.5)h_0 + \frac{1}{4}Lh_1}, \quad (8)$$

式中的 ΔL 值表示楔形体 BCD 所造成的附加阻力。

根据 Г. К. 米哈依洛夫[5]的分析, 这样的楔形体^①的 ΔL 值可按下列公式确定:

$$\Delta L = \frac{h_1}{2 + \frac{1}{m}}. \quad (9)$$

將流量 q_θ 及 q_H 相加, 并考虑到 (9) 式, 我們將得到总流量 q 为:

$$\begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{q_\theta}{k} + \frac{q_H}{k} = \frac{h_\theta}{m+0.5} + \\ &+ \frac{h_\theta}{(m+0.5)h_\theta} \frac{m}{2m+1} h_1. \end{aligned} \quad (10)$$

或者最后为

$$\frac{q}{k} = \frac{h_\theta}{m+0.5} \left[1 + \frac{h_1}{h_\theta + \alpha_m b_1} \right]; \quad \alpha_m = \frac{m}{2(m+0.5)^2}. \quad (11)$$

不难看出, 当 $h_1=0$ 时, 公式(11)变为公式(1)的形式。

当下游水深較小时, $\alpha_m h_1$ 值与 h_θ 比較可以忽略不計。

此时公式(11)具有最簡單的形式:

$$\frac{q}{k} = \frac{h_1 + h_\theta}{m+0.5}, \quad (12)$$

亦即坝坡上的流量是与浸润綫在出逸点的縱坐标成比例。实际上可以認為方程(12)至少当 $h_\theta \geq h_1$ 时是正确的。

应当指出, 关于滲出流量与浸润綫在出逸点的縱坐标成比例的原理早被 K. A. 米哈依洛夫作为假說而提出。

可惜, 目前对这类問題还没有任何精确的解答, 因此,

① Г. К. 米哈依洛夫提出的公式(19)符合于土坝的上游楔形体, 但是它仍然可以应用于现在的条件下。

使我們不可能直接研究已得解答的精度。但总还可以根据这个问题作出一些結論。为此，我們来討論一下 A. M. 莫希塔良所提出的关于通过坝的下游楔形体滲流問題的解答[6]，他采取垂綫 AG (根据 H. H. 巴甫洛夫斯基) 作为边界等勢綫而給上述問題以精确的解答。当然，在很相似条件下，在一定程度上可以將水力学方法的核算結果作为这个解答的精确的指标。

对于这类情况，公式(11)可以表示为以下形式：

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0}{m} \left(1 + \frac{h_1}{h_0 + \frac{h_1}{2m+1}} \right) \quad (13)$$

表 2 中列有当 $m=2.5$ 时用 H. H. 巴甫洛夫斯基方法[8]和按公式(13)計算的結果与 A. M. 莫希塔良的計算資料的比較。

表 2

$\frac{h_0}{h_1}$	0.15	0.30	1.0	2.2	4.0
按 H. H. 巴甫洛夫斯基方法計算的 $\frac{q}{k(h_1+h_0)}$	0.16	0.29	0.34	0.38	0.39
按公式(13)計算的 $\frac{q}{k(h_1+h_0)}$	0.21	0.29	0.37	0.39	0.40
按 A. M. 莫希塔良方法計算的 $\frac{q}{k(h_1+h_0)}$	0.24	0.32	0.39	0.40	0.40

分析这样結果可看出，按照所提出的方法来計算，在出逸段的大小方面，其誤差不大于 5—7%，显然，此誤差是在工程計算的精度范围以內。在較复杂的情况下，按照 H. H. 巴甫洛夫斯基的方法計算，其精度較小，誤差达到出逸段大

小的20% (当 h_0 很小时则还要大些)。

2. 透水地基上的均質坡

(a) 干燥坡 (圖 7)

对于这种情况, 我們可采用与上面已应用在不透水地基上坝坡的相类似的方法。將水流用水平綫 BC 划分成两个区

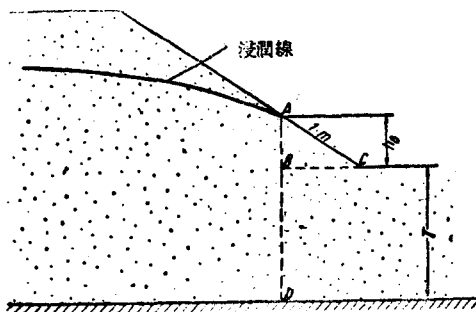


圖 7

域, 并認為 BC 是流綫。由水动力網 (流網) 的分析指出, 在該情况下边界的等水头綫可用鉛直綫 AD 表示。这时在上面区域 ABC 中的流动可用下列方程[8]表示:

$$\frac{q_a}{k} = \frac{h_a}{m}, \quad (14)$$

而下面的区域則可用 H. H. 巴甫洛夫斯基的关于平的淺置底板的环流問題的解答。根据对此解答的分析[1], 在我們的条件下, 对于下面区域可采用如下的流量表达式:

$$\frac{q_n}{k} = \frac{h_a}{mh_a + 0.45T} T; \quad (15)$$

此时流到坡內的总流量 q 为:

$$\frac{q}{k} = \frac{q_g}{k} + \frac{q_H}{k} = \frac{h_g}{m} \left(1 + \frac{T}{h_g + \frac{0.45}{m} T} \right). \quad (16)$$

像上节一样，將所得的解答与A.M.莫希塔良在同样条件下，即边界等水头綫是鉛直綫 AD ，对透水地基上的坝坡，在坡前無水时所求得的答案加以比較之后，我們来驗算所采用的計算方法。

表 3 是当 $m=2.5$ 时，按公式(16)計算的結果与 A.M.莫希塔良的解答以及按 П. А. 善金[11]方法計算結果的比較。

表 3

$\frac{h_g}{T}$	0.22	0.37	0.59	0.88	1.22
按莫希塔良的 $\frac{q}{kT}$	0.30	0.40	0.49	0.61	0.73
按公式(16)的 $\frac{q}{kT}$	0.28	0.37	0.47	0.59	0.71
按善金的 $\frac{q}{kT}$	0.22	0.31	0.41	0.53	0.65

可以看出，按所提出的方法来計算，可得到十分滿意的結果——具有 5—10% 的安全量，即在工程計算的精度范围以內。

(6) 湿润坡 (圖 8)

在該情况下，沿 AF 綫引边界等水头綫而將水流分成三个区域。在上面的区域(ABC)中我們采用方程(14):

$$\frac{q_g}{k} = \frac{h_g}{m}. \quad (17)$$

在中間区域($BCED$)中，与方程(8)相似的下面的方程將是正确的:

$$\frac{q_e}{k} = \frac{h_e}{mh_e + \Delta L} h_1. \quad (18)$$

在下面的区域中，得到与方程(15)类似的方程：

$$\frac{q_n}{k} = \frac{h_e}{m(h_e + h_1) + 0.45T} T. \quad (19)$$

將 q_a , q_c 及 q_n 值相加我們就得到通过坝坡的总流量的表达式：

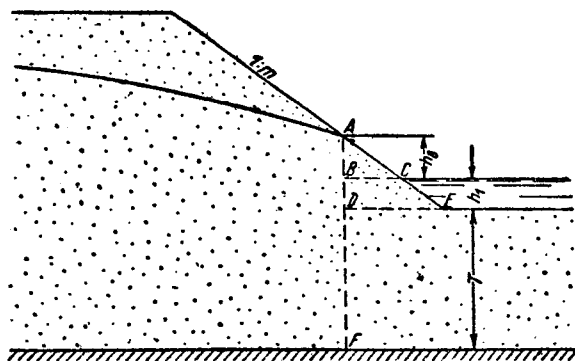


圖 8

$$\frac{q}{k} = \frac{h_e}{m} \left(1 + \frac{h_1}{h_e + \frac{h_1}{2m+1}} + \frac{T'}{h_e + \frac{0.45}{m} T} \right); \quad (20)$$

(B) 所提出的計算方法的应用范围

所提出的方法只有当透水地基的厚度不大时，才能給出良好的結果，这时边界的等水头綫接近于鉛直綫。当透水層厚度較大时，按所提出的方法进行計算，得出的出逸段的值將偏高，因为在这种情况下，等势綫將在坡底以下被扭曲（圖15及16），并且在鉛直綫 AD 上的平均水头，实际上將大于 h_e 值。

为了有某些限制，我們来看一看極限情况 2（在無限深度透水地基上的干燥坡），这种極限情况給出了最大可能的 h_e 值。

將流量換算成平均坡度 I ，我們写出公式(3)及(16)。

因为

$$q_r = 0.5HI$$

以及（当 $\bar{h}_e$ 較小时是近似地）

$$\bar{q} = \frac{q}{k} = 0.5HI + IT, \quad (21)$$

式中 H ——上游边界上的水头，

所以根据(3)：

$$0.5I = \frac{\bar{h}_e}{1.2m + 0.5}, \quad (22)$$

而根据(16)：

$$0.5I + I\bar{T} = \frac{\bar{h}_e}{m} \left(1 + \frac{\bar{T}}{\bar{h}_e + \frac{0.45}{m}\bar{T}} \right), \quad (23)$$

$$\text{式中} \quad \bar{h}_e = \frac{h_e}{H}; \quad \bar{T} = \frac{T}{H}. \quad (23a)$$

我們找到了这个临界值 $\bar{T} = \bar{T}_*$ ，此临界值在其他相同条件下，根据公式(22)及(23)就可以确定出同一个 h_e 值。

为此，我們使表达式(22)和(23)相等：

$$\frac{0.5 + \bar{T}_*}{0.6m + 0.25} = \frac{1}{m} + \frac{\bar{T}_*}{m\bar{h}_e + 0.45\bar{T}_*}. \quad (24)$$

略去方程(24)中的微小值并进行一些簡化，便导出下面的簡單关系式：

$$\bar{T}_* = m. \quad (25)$$

由公式(25)不难看出，所求得的 $\bar{T}_*$ 值相当大。因此，