

152251

152251

164891

中等專業學校教學用書

水 力 學 基 礎

A. M. 托迪惠柯夫著

高 等 教 育 出 版 社

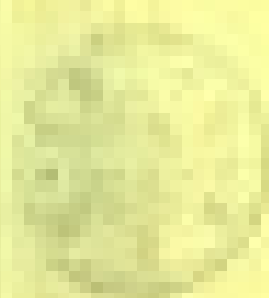
33

2006年10月

《中国国家标准》

渗透保数测定法

GB 50115-2006



中国国家标准

511
5/4044

渗透系数测定法

H. K. 吉林斯基 著

地质出版社

1958•北京

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ
МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ СССР

Н. К. ГИРИНСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
КОЭФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ
ПО ДАННЫМ ОТКАЧЕК
ПРИ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ДЕБИТЕ И ПОНИЖЕНИЯХ

Госгеолиздат 1950

在不稳定的流量和降深情况下根据抽水試驗資料，渗透系数的測定。

本書敘述了按單个完整井及具有完整中心井的井羣抽水資料來計算(無压地下水不均質)含水層的平均渗透系数的方法，按具有不完整的中心井的井羣抽水資料來計算(無压地下水厚層均質)含水層渗透系数的方法，以及計算井羣中井与井之間的距離和抽水延續時間的方法。此外，还列舉了許多生产計算上应用的圖和表，計算的例子，进行抽水試驗时所应注意的事項等。

本書乃是水工建筑技術人員、水文地質人員以及水利地質院校師生的參考書。

本書由再造譯，北京地質勘探學院水文地質工程地質教研室許淪銘校。

渗透系数測定法

著者	Н. К. 吉 林 斯 基
譯者	再 造
出版者	地 質 出 版 社
	北京宣武門外永光寺西街3号
	北京市書刊出版業營業證出字第050号
發行者	新 華 書 店
印刷者	北 京 市 印 刷 一 厂
	西便門南大道乙1号

印数(京)1—2700册	1958年11月北京第1版
开本31"×43" $\frac{1}{32}$	1958年11月第1次印刷
字数110,000	印張5 $\frac{1}{2}$
定价(10)0.72元	

目 录

前言.....	5
---------	---

第 一 篇

根据自單个完整井以及具有完整中心井的井羣进行抽水
所得之資料計算無压地下水含水層的渗透系数

第一章	計算渗透系数有关的一些基本問題	7
§ 1.	地下水运动的理論基础	7
§ 2.	按地下水不稳定流动理論計算渗透系数的优点	9
§ 3.	具有自由表面的地下水的不稳定流动的特点	12
§ 4.	影响半徑	13
第二章	具有自由表面的地下水向完整井的稳定流动	14
§ 5.	上面具有降水补給时流向鑽井的稳定水流	14
§ 6.	完整井附近水流稳定流动的特点	19
§ 7.	平均渗透系数	23
第三章	具有自由表面的地下水向完整井的不稳定流动	24
§ 8.	均質土中地下水不稳定流动的基本方程式	24
§ 9.	当 $kh = \text{const}$ 时地下水不稳定流动的基本方程式	27
§ 10.	計算的技术	28
§ 11.	以 dr 及 dt 分別代替 Δr 及 Δt 时計算誤差的研究	34
§ 12.	整理抽水試驗資料时地下水流天然补給量的計算	39
第四章	利用單个完整井抽水資料計算無压地下水含水層之渗透系数所用的圖表	40
§ 13.	作为圖表根据的資料	40
§ 14.	圖表的应用范围。圖表描述。計算例題	43
第五章	按中心完整井的井羣抽水資料計算無压水含水層的渗透系数	50
§ 15.	計算的方法	50
§ 16.	渗透系数的計算公式。計算例題	50
§ 17.	稳定流动公式的应用准則	58
第六章	补充資料	59

§ 18. 采用于推导计算公式时所遵守的条件	59
§ 19. 井羣中抽水試驗鑽井的位置。抽水的延續時間。 計算例題	60
§ 20. 試驗鑽井的設計湧水量。計算例題	68
§ 21. 給水系数	70
§ 22. 关于測定細粒砂及粉砂的 k 值的几点意見	71
§ 23. 有关渗透系数測定的精确度問題	72
§ 24. 自具有中心完整井的井羣进行抽水試驗所应注意的 事項	74
§ 25. 自單个完整井进行抽水試驗时所应注意的事項	78
結論	79

第 二 篇

根据不完整井的井羣抽水試驗資料計算無压 地下水厚層均質含水層的渗透系数

第七章 承压水流的基本关系	82
§ 26. 在無限厚度的均質含水層中，流向半橢圓形过滤器、鑽 井的承压水流	82
§ 27. 在無限厚度的均質含水層中，流向圆柱形过滤器鑽井 的承压水流	87
§ 28. 根据不完整井井羣抽水試驗資料，在承压地下水稳定 流动时，計算厚層均質含水層的渗透系数	92
第八章 具有自由表面的水流	95
§ 29. 根据不完整井井羣抽水資料，計算無压地下水厚層均 質含水層的渗透系数	95
§ 30. 抽水的延續時間。鑽孔之間的距離。計算例題	105
§ 31. 不完整井的井羣进行抽水試驗所应注意的事項	109
結論	111

补充部分

对称地流入鑽井(水井，平面上的圓形基坑)的水流的圖解水力 計算原理	113
参考文献	131

前 言

大家都知道，現有的按具有完整中心井的井羣抽水試驗資料來計算滲透系數的方法，乃是以地下水穩定運動的理論為基礎的。抽水試驗的要求是要在其結束時確定出中心井的穩定湧水量以及中心井和觀測井中水位的穩定降深。因為抽水試驗這項工作是一項長時期的工作，在某些情況下，需要一個月甚至要化上幾個月的時間，因此，地質部責成全蘇水文地質工程地質科學研究所必須擬定出按抽水試驗資料計算滲透系數的新的方法，以便尽可能地縮短抽水試驗的時間。

按抽水試驗資料計算滲透系數的這種新方法，乃是以地下水流往鑽井的非穩定運動理論為基礎的。在此理論基礎上按井羣抽水試驗資料計算滲透系數，曾得到了良好的效果。因此，全蘇水文地質工程地質科學研究所在此基礎上擬出了按單個完整井抽水試驗資料計算滲透系數的方法。經過多次研究，得出了許多種計算無壓水含水層的滲透系數的方法，而這些計算都是根據湧水量及水位降低不固定的條件下自具有完整中心井的井羣抽水所得之資料以及自單個完整井進行抽水所得之資料來進行的，所有這些計算方法均在本書第一篇中加以敘述。

本書第二篇中敘述的是以後研究出來的、以其他理論為基礎的、按具有不完整井的井羣抽水資料計算地質的厚層含水層滲透系數的方法。在以後這種情況下，滲透系數的計算公式是根據穩定運動的理論導出的，但是，由於抽水的延續時間是在研究了非穩定運動以後確定的，因此，滲透系數也可以按湧水量及水位降低不穩定的抽水試驗資料來進行計算；所要注意的，只是在工作過程中一定要保持所規定的抽水時間。以這種方法為基礎得出的一些中間類型的公式，可以使我們根據湧水量及水位降低不穩定的情況下，自具有不完整井的井羣進行抽水所獲得的資料來計算厚層承压水含水層的滲透系數。

根据所拟定的、按具有完整中心井的井羣抽水資料以及單个完整井的抽水資料計算滲透系数所導出的公式及关系式，在其精確度方面均已經過詳細的及全面的研究，这些資料也將在本書中加以敘述。經過詳細研究后証明，所拟定的計算滲透系数的方法的精確度是能滿足实际需要的，因此，在本書中有必要把这些方法介紹出来，以供在实际工作中应用。

根据自不完整井进行井羣抽水的資料計算無压地下水厚層均質含水層 k 值所得出的公式，其精確度由于問題的复杂而不能仔細地加以研究及充分地加以闡明，不过經過初步的研究后証明，在实际工作中采用这些計算公式是可以获得良好的結果的，因此，在实际工作中这些計算公式也加以采用，但其精確度要比用于完整鑽井的計算公式的精確度較差。

第一篇 根据自單个完整井以及具有完整中心井的井羣进行抽水所得之資料計算無压地下水含水層的滲透系数

第一章 計算滲透系数有关的一些基本問題

§ 1. 地下水运动的理論基础

地下水的运动系遵循达西定律、哲才定律或其中間类型的定律。下面我们只准备叙述一下符合于达西定律的运动。此定律的表示式如下：

$$Q = kFI = kF \frac{h_1 - h_2}{l}, \quad (1)$$

式中

Q ——水的流量；

F ——垂直于潜水流向的断面面积（这是不仅包括被孔隙所佔据的断面部分，而且还包括土顆粒所佔据的断面部分）；

$I = \frac{h_1 - h_2}{l}$ ——测压管坡度；

l ——渗透途径的長度；

h_1, h_2 ——测压管（鑽井）中水位的标高（絕对的或相对的），其下端建立在渗透途径的起点（1）及終点（2）处，亦即点（1）及点（2）的水头（*）；

k ——渗透系数（对于每种土來說，在一定的状态和一定的温度下，以同一种液体渗过該土时渗透系数始終是一个常数）；渗透系数的因次与速度的因次相同。

达西定律也可以用符合于地下水运动理論的下列公式来表示：

* 譯者按：此时点（1）及点（2）必須处于同一水平面上。

$$v = kI, \quad (2)$$

式中 v ——滲透速度，它等于

$$v = \frac{Q}{F}. \quad (2a)$$

很明显，滲透速度并不等于地下水的实际流速，而是要比后者小得很多。

滲透系数的大小随温度而变化，其原因在于当温度发生变化时，液体（水）的粘滯性也随之发生变化。順便指出，由于上述的关系，故在进行抽水試驗时，必須測定水的温度。土的状态所以会发生变化，从而使其滲透系数值也发生变化，其原因是很多的。

从大多数松散土中进行抽水試驗时，都遵循着达西定律。这一点特别是在离鑽井較远的地帶上，当其滲透速度不大，从而滲透系数与天然相近。下面我们列举一些表示松散土的滲透速度的数值（許多不同的研究者的資料），在这些数值的情况下，就違背达西定律：从滲透系数 $k = 743$ 公尺/晝夜的土中进行抽水試驗，当 $v_{kp} = 215$ 公尺/晝夜时，就違背达西定律；从 $k = 323$ 公尺/晝夜的土中进行抽水試驗，当 $v_{kp} = 527$ 公尺/晝夜时也違背該定律，而在 $k = 133$ 公尺/晝夜的土中， $v_{kp} = 890$ 公尺/晝夜时也是如此。如果在透水較弱的土中进行抽水，則临界速度 v_{kp} 值还要較大些。

在多裂隙的岩石中，当其裂隙寬度比較不大时也可以遵循达尔西定律。

最近几年来，由于人們对石油和天然气的滲透性質以及咸地下水的滲透性質进行了广泛的研究，因而在研究过程中越来越广泛地采用滲透率 k_{np} ，其与滲透系数之間的关系式如下：

$$k_{np} = \frac{v}{g} k, \quad (3)$$

式中 g ——重力加速度；

v ——粘滯运动系数。

滲透率 k_{np} 的因次与面积的因次相同。其数值大小与液体的滲透性質及其温度無关，而只决定于土的性質，因此，可以根据無論用水

进行試驗或者用气体进行試驗的結果来求得（当然，这些試驗都要遵循达西定律的条件下进行的）。

所謂自由表面乃是地下水流与其上面的空气（此空气与大气圈相通）之間的边界。如果我們不管水在土中的毛細管上升現象（这一現象以后將加叙述），則自由表面一帶的地下水的压力將等于大气压力。具有自由表面的地下水流称为無压水流，沒有自由表面的地下水流称为承压水流。

如果地下水流的水深、速度及坡度等等不随時間而变化，則此种地下水的运动称为稳定流动，反之，則称为不稳定流动。在計算具有自由表面的地下水的不稳定流动时，不同于稳定运动的計算；必須考虑到地下水的流量由于在疏干时（排水时），有水从土的孔隙中流入而增加，以及在地下水位上升时，由于水充滿了土而使得其流量会减少。如果我們只考虑上述流量变化，而不計算（这一点許多学者以及我們均如此認為）慣性力的大小，則具有自由表面的水流的不稳定流动即可按照該水流的稳定流动来計算。

如果水流的流束稍有傾斜的話，則水流滲透速度的垂直分速，显然可以忽略不計；这样，就可以大大地简化問題的計算，同时，这种简化形式在地下水运动理論中也常常采用。

本書第一篇的基本任务是研究具有自由表面的及具有稍傾斜流束的水流的不稳定流动，但是，大部分闡述的仍是这些水流的稳定流动，因为上面已經談到，地下水流的不稳定运动亦可按照稳定运动来計算。

正因为我們不考虑地下水流的滲透速度的垂直分速，因此，在水流中所取的任一垂直綫上的水头，我們都可以把它看作是一个常数（亦即在水流某一垂直綫上任意点上的水头都是大小相同的）。

§ 2. 按地下水不穩定流动理論計算滲透系数的优点

水文地質調查証明，埋藏深度不大的地下水，其水位在一年四季中均不断地發生变化。水位發生变化是由于大气降水量和其他气候因素在各个时期的变化、地表水流及水池水位的变化以及植物生長阶段

的季节性等所决定的。

在地下水水位发生变化的同时，其坡度当然也随之发生变化（因为地下水的坡度数值是由水位的位置所决定的），流速也发生变化（因为流速与坡度之间有着一定的关系），从而流量也发生变化。因此，在一年四季中，发生变化的不仅是地下水的水位，而且地下水的坡度、流速及流量也同时会发生变化。

可以认为，上述变化数值随着地下水埋藏深度的增加而逐渐减小，这是由于上述因素只对地面或地面附近部分有所影响。地质性质的因素（例如任何一种地面变化）对于埋藏在地壳深处的地下水的动力是有很大的影响的。在一年四季中，这种变化并不很大，但是，原则上必须承认它终究还是存在的。

上面我们所谈到的乃是指具有自然历史性质的因素。不难理解，人类的活动通常对地下水在各个时期的变化也有很大的影响。例如，如果有一给水用的地下水集水建筑物，则该集水建筑物所收集的水量常常随着需水量的扩大而增加；有时甚至在一昼夜时间内都发生很大的变化。又如在筑坝后发生迴水时，由坝的上游流向下游的水量由于某种国民经济需要（例如由于水能需要）不断发生变化，这样一来，地表水流的水位随之发生变化，从而使地下水水位也会发生变化。

因此，可以认为，地下水运动随时间的变化，是由自然历史条件及人类的活动所决定的。此种运动上面已经谈到，称为不稳定流动。至于地下水的稳定流动，严格地说，实际上是不存在的。

由此可以得出初步的结论，计算地下水的运动时，总是必须根据其不稳定运动理论来进行。但是，实际上问题并不是如此简单。计算不随时间变化的流动，亦即稳定流动，要比计算不稳定流动容易得多，因为在第一种情况下可以忽略其中一个因素——时间。因此，对于地下水运动的某些情况下已导出了稳定流动的计算公式，而对于不稳定流动来说，则尚无计算用的公式。按不稳定流动理论进行同一的计算就需要在公式中包含许多的常数，这样就会使水文地质调查工作复杂化。此外，计算不稳定流动要比计算稳定流动困难得多。

由上述可知，虽然上面已经提到实际的运动乃是不稳定流动，但

采用稳定流动的公式仍是必要的。在很多情况下，这种脱离实际的情况多多少少地可以根据集水建筑物的工作特点加以可靠的论证，而在周密地进行设计时，它并不会带来什么不良的后果。

但是显然，实际的地下水运动与上述计算方法之间在原则上是不相适应的：即在很多情况下按稳定流动公式进行计算尚不可靠，于是随着工程建设与建筑物兴建的实际需要而不可避免地产生了这样一个问题：即必须根据不稳定流动的理论来进行计算渗透系数。

根据不稳定流动理论计算渗透系数到底有那些优点呢？大家都知道，在根据稳定流动理论计算渗透系数时，必须具备这样一个条件，即抽水试验必须进行到出现稳定的降落漏斗时为止。根据许多研究家的观测，降落漏斗达到稳定，需要在两个星期到一年的时间（一次水位降低）。但是，在绝大多数情况下是不能做到这么长的时间的，所以往往在出现了不稳定的降落漏斗时就停止了抽水。这样一来，就产生了理论与抽水试验实践不相一致。

这种理论与实践不相一致的情况有时会给人们带来这种印象：抽水时所获得的资料的价值是值得怀疑的，从而也没有必要再仔细地进行水位及流量的测量。更遗憾的是在抽水时所获得的测量资料是否正确很难加以检查（即使能检查，往往也由于资料具有很大的错误而不得不加以废弃）；因此，对于上述资料的精确度不得不提出更高的要求。特别要指出的是，这种理论与实践不相一致的现象往往会影响测量精确度的热忱，因为即使很精确的测量，但到抽水停止进行时，降落漏斗的形成并没有结束，可见在抽水时降落漏斗也未达到稳定。

此外，如果根据稳定流动的理论出发，则在所有的抽水资料中所能利用的仅仅是那些在抽水末期（亦即在降落漏斗或多或少地稳定时）所获得的资料。

按地下水的 k 值的不稳定流动理论计算渗透系数时，必须：（1）消除理论与抽水试验实践的不相一致；（2）保证测量工作具有高度精确性，因为这种精确性在整理材料时将要显示的；（3）由于在计算时需要利用大部分抽水试验资料，因而必须在 k 值足够精确的情况下减少抽水试验的延续时间。

同样必須指出，如果降落漏斗达到了稳定，在这种情况下按稳定流动理論計算滲透系数得出的誤差是允許的，那末可以認為，此时的降落漏斗，已經是符合按不稳定流动理論所能达到的完整的、充分稳定的程度了。

§ 3. 具有自由表面的地下水的不穩定流动的特点

現在我們研究一下由鑽井內进行抽水时具有自由表面的地下水的不穩定流动的特点。

当对具有自由表面的地下水进行抽水时，大家都知道，在鑽井附近一帶的土發生了疏干現象（降落漏斗逐漸形成），这使得鑽井中的水位便逐漸下降，單位湧水量也随之發生变化，上面已經指出，这些現象就是不穩定运动的特点。鑽井周圍的土發生疏干，乃是决定抽水时具有自由表面的地下水流不穩定流动的动力的基本現象。在抽水停止以后，疏干的土重新又被水充滿，水位随之上升，而滲透速度也随之減小。此种土的孔隙被水逐漸充滿的渐进过程，乃是抽水停止后最初阶段的地下水不穩定运动动力所决定的基本現象。

在抽水时，影响不穩定流动过程的其他現象尚包括下列几种：

(1) 引起地下水水位發生自然变化的現象；

(2) 土的压实，这是由于疏干土的骨架（顆粒）的容重大于飽水土的骨架的容重所致（在后一种情况下，即土顆粒在水中重量）；当土被压实时，其孔隙便減小，而顆粒的体积會發生变化；

(3) 由于地下水中的压力減小而引起水發生的膨脹；

(4) 由于地下水中的压力減小而引起封存在土粒之間孔隙中空气的膨脹；

(5) 潛蝕。

在上述这些現象中，除了具有相当幅度地下水水位的自然变化以外，其他的現象和土的疏干比較起来，对具有自由表面的地下水的不穩定流动的影响是很小的，因此，在計算滲透系数时，这些現象均可不加以考虑。

§ 4. 影响半径

上面已经指出，对具有自由表面的地下水进行抽水时，鑽井周围的土便发生疏干现象。此时，由于疏干而引起鑽井周围地下水水位下降它距鑽井的一段距离，称为影响半径（在此影响半径范围内，尚有其它引起地下水不稳定流动的现象发生）。

这里会有这样的问题产生，即如果长时间的进行抽水，是否影响半径会达到极大的值？因为在任何地段已有的动力平衡都将遭到破坏，而这种破坏直到地下水露出地面前都不会停止（因为只有地下水露出地面时才能产生新的平衡条件）。

由此可以断言：第一、影响半径的数值乃是时间的函数，第二、由于水位降深是利用具有某种测量精确度的仪器确定的，所以影响半径的长度系由水位降深测量的精确度来决定。同样必须指出，地下水水位的自然变化，会影响影响半径发展的过程，它能够有力地模糊影响半径发展的情况。

一般在抽水最初阶段，由于自鑽井抽水而引起不稳定流动的地带，其外形在平面图上往往近似于圆形，而其中心与鑽井轴相一致；以后，由于一系列的情况（土在水平方向上的不均匀性，上述地带的界边接近地表水流等等），这种不稳定流动地带的形状会开始发生变化。可见，在抽水的最初阶段，鑽井周围任何方向上的影响半径都等于同一数值，亦即此影响半径是一个圆的半径，后来，此种平衡状态遭到破坏，结果某一方向上的影响半径值便大于或小于另一方向上的影响半径值。

如果鑽井是分佈在河岸附近的，对于地下水向該鑽井不稳定流动的情况来说，有时往往采用渗透区引用半径这一名词，所谓引用半径即假设在岩层的平面上为圆形的半径，这种圆形岩层（在平面上）必须具备下列条件：（1）沿着岩层边界的水头等于河中的水头，（2）鑽井系处在此岩层的中心，（3）此岩层的厚度及透水性等于实际的岩层的厚度及透水性，（4）在同一种井的结构、同一水位降低值的情况下，流入打在該假设的圆形岩层中的鑽井的水量要等于流入打在实

的岩層中的鑽井的水量。在地下水穩定流動的一些其他情況下，也可以採用這種滲透區（岩層）的引用半徑這一名詞。

滲透區引用半徑與影響半徑不同的地方是：（1）它始終是一個圓的半徑，（2）其數值的大小與時間無關，（3）其數值不能直接加以測定。

第二章 具有自由表面的地下水 向完整井的穩定流動

§ 5. 上面具有降水補給時流向鑽井的穩定水流

我們假設下列條件：

- （1）鑽井是完整井（整個含水層中均安裝有過濾器）；
- （2）土是均質的；
- （3）具有水平隔水層；
- （4）地下水為穩定流動；
- （5）流束略有傾斜。

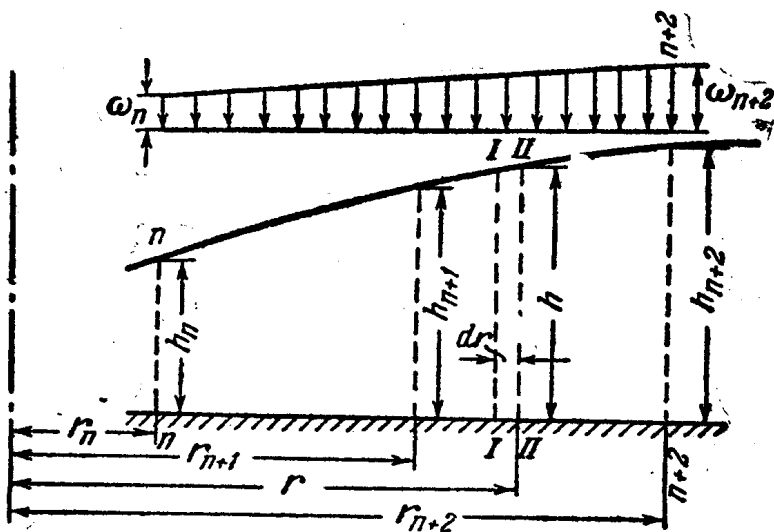


圖 1

(6) 水流是对称于井轴;

(7) 流向井的地下水出水地段高于井中水位的现象 (参阅 § 6) 不加以考虑。

前面已经指出, 在流束略有倾斜的水流中, 任何垂直线上每个点的水头都是相同的。由于这种情况, 同时也由于其中水流与钻井井轴相对称的缘故, 在水流中所取圆柱面 (其轴心与井轴相一致) 上任意点的水头也都是相同的 (即此面是一个等水头面)。

假设在流向钻井的水流中选取两个等水头面, 它们彼此之间的间距无限小 dr (图 1 断面 $I-I$ 及 $II-II$)。很明显, 这两个等水头面间的渗透速度根据达西定律应该是:

$$v = k \frac{dh}{ds}, \quad (4)$$

式中 dh ——两个等水头面之间的水头差;

ds ——两个等水头面之间的流束长度;

k ——渗透系数。

由于流束略有倾斜, 因此可以认为, $ds \approx dr$; 此时, 公式 (4) 为下列形式:

$$v = k \frac{dh}{dr}. \quad (5)$$

由公式 (5) 可知, 整个 $II-II$ 面上的渗透速度都等于同一数值。

单位时间内流过半径为 r 的 $II-II$ 断面的水量 ($II-II$ 断面水的流量) 显然为

$$Q = Fv = 2\pi r h k \frac{dh}{dr}, \quad (6)$$

式中 F ——等水头面的面积。

假设水流尚有一个半径为 r_n 的等水头面 (参阅图 1); 而经过此面的流量为 Q_n 。在这种情况下, 经过半径 $r > r_n$ 的等水头面的流量显然为

$$Q = Q_n - 2\pi \int_{r_n}^r \omega r dr, \quad (7)$$