

154057

流入水量 影响半径的确定

苏联 E.E.克尔基斯著

煤炭工業部地質勘探总局專家工作室譯

程 慧 珠 校

14

煤炭工業出版社

內 容 提 要

本書概括地闡述了礦山巷道及降水裝置流入水量影響半徑的現有概念和引用影響半徑的概念，對於在各種不同水文地質條件下計算影響半徑的方法進行了分析，並介紹了一些新的關係式。此外，本書還提出測定影響半徑群孔抽水試驗的方法，並且列舉許多確定影響半徑和流入水量的實例。

本書可供水文地質工程師和技術人員以及其他需要進行水文地質計算的工程技術人員閱讀。

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ВЛИЯНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ВОДОПРИТОКОВ

Л. Е. КЕРН (著)

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛИ И ХИЗДЛТ)
1955年莫斯科第1版譯

665

流入水量影響半徑的確定

煤炭工業部地質勘探總局專家工作室譯

程慧珠校

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本78.7×109.2公分1/32*印張11₁₆*插頁8*字數78,000

1958年2月北京第1版

1958年2月北京第1次印刷

統一書號：15055·410 印數：0,001—1,500冊 定價：10.70元

原 序

水文地質計算，在設計礦山企業及各種利用地下水和防止地下水的裝置和設施時，具有重大的意義。在寬闊的面積上大規模地進行露天采礦、建立龐大的降水裝置、開發水文地質條件複雜的礦床以及與蘇聯國民經濟各部門所進行的偉大建設有關的措施，都對水文地質計算提出了愈來愈高的要求。

近來，水文地質的計算方法雖然大有改進，但是有些問題研究得還不夠透徹，例如，測定影響半徑的問題。影響半徑在計算流向礦山巷道及降水裝置的水流時，是一種重要原始數值。在參考文獻中，並未明確地系統地指出如何在各種不同的條件下計算影響半徑；這樣，常常給工作帶來極大的困難，或者使我們不顧實際情況而形式主義地採用各個關係式。因此，影響半徑的數值往往計算得不準確；相應地，流入水量計算的結果或其他水文地質計算的結果也就不能完全符合實際情況。當然，諸如此類的情況，決不能視為我國各科學部門飛速發展和技術普遍進步中的正常現象。

在完成各種生產任務和征詢水文地質方面的意見的過程中，作者肯定地認為：必須對現有的計算影響半徑的方法，重新加以審查、綜合和補充，以便針對這一問題提出更有根據的建議和意見。

作者認為，本書既包含對現有計算影響半徑方法的評

述，也包括有关这一問題的某些新建議；因而，它將有助于在实际工作中采用各种更完善的水文地質計算方法；同时也有助于進一步全面地研究此类問題。作者在編寫本書时利用了很多人的研究成果，主要是俄國和苏联学者与專家的研究成果，如：M. E. 阿尔托夫斯基、Г. В. 鮑戈莫洛夫、Н. К. 吉林斯基、С. А. 柯里、А. А. 克拉斯諾波利斯基、И. И. 庫薩金、А. Н. 門捷耶夫、Н. А. 普洛特尼科夫、П. Я. 波魯巴琳諾娃-柯慶娜、И. Е. 苏罗夫、С. В. 特罗揚斯基、В. Н. 謝耳卡切夫等人。作者对于 Н. А. 普洛特尼科夫教授和 К. Г. 阿薩圖尔副教授審閱本書原稿时所提出的許多寶貴意見均曾加以考慮，謹向他們致以謝意。

作者認為：对这个極其复雜的問題，本書僅作了初步解釋，因为在这方面还有更多的工作有待今后完成，特别是在各种条件下实际觀測影响半徑时所得的資料的綜合工作。作者欢迎和感謝對本書提出意見，或寄以觀測資料，以便把所介紹的計算結果与实际觀測的影响半徑進行比較。意見或觀測資料請按下列地址投遞：

列宁格勒，華西里耶夫斯基島，21道街2号，列宁格勒礦業学院水文地質教研室(Ленинград, В. О. 21 линия, 2, Ленинградский горный институт Кафедра Гидрогеологии)。

目 錄

原 序	
緒 論	5
第一章 影响半徑的現有概念及其測定方法	7
第二章 穩定影响半徑的測定方法	15
第1節 从地下水流中抽水时影响半徑的計算	15
第2節 从受浸潤区滲入水补給的未含承压水層中抽水时 浸潤半徑的計算	26
第3節 从受富水含水層通过非完整隔水層滲入水补給的 未承压含水層中抽水时影响半徑的計算	36
第4節 从受水量較小的含水層通过非完整隔水層滲入水 补給的承压含水層中抽水时影响半徑的計算	52
第5節 从靠近河流或其他水池的巷道中抽水时影响半徑 的計算	54
第6節 在抽水期間含水層补給条件复雜的情况下，影响 半徑的計算	56
第三章 不穩定影响半徑的計算	58
第1節 从沒有补給的潛水盆地中抽水时浸潤范围随時間 的扩大	59
第2節 从潛水流中抽水时不穩定影响半徑的計算	65
第3節 从受浸潤区滲入水补給的未承压含水層中抽水时 不穩定浸潤半徑的計算	70
第4節 当从有滲入作用并受側面补給的未承压含水層中 抽水时不穩定影响半徑的計算	72
第5節 从狹長的巷道中抽水时影响帶不穩定寬度的計算	72

第四章 計算影响半徑的經驗公式和方法	74
第1節 H. П. 庫茲金公式	75
第2節 B. 吉哈尔特公式	76
第3節 現有的有关各种疏松岩層影响半徑值的參考資料	77
第4節 类似H. П. 庫茲金公式的變形公式	79
第五章 为計算影响半徑而進行群孔抽水試驗及整理	
此項試驗資料的几項主要方法	80
第1節 由于計算影响半徑而对抽水試驗工作提出的几項 主要要求	80
第2節 为計算影响半徑和确定浸潤綫形狀而進行的群孔 抽水試驗資料的整理	84
第六章 計算影响半徑及流入水量的实例	87
第1節 当承压含水層由側面补給时穩定影响半徑的計算	87
第2節 在依靠浸潤地区的滲入水补給时穩定浸潤半徑及 流入水量的計算	91
第3節 从受非完整隔水層的滲漏水补給的承压含水層中 抽水时影响半徑和流入水量的計算	98
第4節 当含水層补給条件很复雜时影响半徑和流入水量 的計算	107
第5節 不穩定影响半徑的計算	109

結論

附錄 主要計算公式彙总表

参考文献

結 論

在計算流向礦山巷道及其他引水設備的地下水流時，在進行降水^①裝置的水文地質計算時，以及根據單孔抽水資料計算岩層的滲透系數時，影響半徑或浸潤半徑是最重要的原始數值之一。

在進行這些計算時，影響半徑往往是根據具有各種理論基礎的關係式或經驗公式來概略地測定的，也常常根據實際資料來測定。此外，影響半徑的數值有時也根據群孔抽水試驗來測定，或者根據在長期工作的引水地段上水文地質觀測的結果來測定。

遺憾的是，現在還經常應用那些與引水地分布地段的水文地質情況、引水地的面積、水位下降值以及流量數值不符合的公式及表格的參考資料來測定影響半徑。結果，甚至連影響半徑的數值級也不能正確地確定；因而在進行流入水量和其他水文地質計算時，就會造成重大的錯誤。實際工作證明，除了確定得不正確的岩層滲入系數以外，所採用的影響半徑值的誤差往往也是計算流入水量時發生錯誤的原因；此時，若計算流向大面積引水地的水流（也就是計算流向礦山巷道和巨型降水裝置的水流），則由於影響半徑而帶來的錯誤就會變得特別大。

由於現在有著很多確定影響半徑的公式和方法，而且由於有關參考文獻幾乎從未對這些公式和方法的適用條件

① 這裡所謂的降水，是降低水位的意思，以下同。——譯者

進行過分析，所以選擇有根據的、用以預測影響半徑的方法就很困難。大部分關於水文地質的指南和綜合性的著作，甚至連用來計算影響半徑的各種關係式和公式所依據的初步原理與假設都沒有提出過。同時，這些公式僅在嚴格限定的條件下，才能得到多少總算是合理的結果；而且在很多情況下，這些公式竟如此不完善，以致最好是不採用它們。為了上述目的而應用的抽水試驗的資料經常也是不精確的。

必須指出，影響半徑本身的概念也還沒有明確地形成和普遍地被接受。正如實際觀測結果證明，影響半徑的數值可以隨著水的流量和抽水時間的長短，以及隨著相當大的範圍內（由數10公尺至10~20公里以上）的水文地質條件的變動而變化。如果抽出的水量很大，例如，由礦山巷道內抽水，或巨型降水裝置長期進行工作時，所產生的影響半徑就最大。

無論在開采充水的礦床方面，或是在大規模建設時人工降低水位的工作方面，所有存在的問題與實際工作的要求都決定了：必須更周密地擬定出預測影響半徑的方法。首先必須擬定預測大面積引水地（也就是礦山巷道和巨型降水裝置）的影響半徑的方法。

本書對現有的測定影響半徑的方法作了評述，還對這些方法作了必要的修正和發展；同時，也得出了一些新的關係式和計算公式。

同時，由於考慮到在很多情況下可以概略地測定影響半徑（當地下水呈輻射狀流動時，為了確定影響半徑數值

級之用)，本書尽可能地介紹了一些虽然是近似的但却是簡便的計算公式。

当地下水的流动和补給方式很复雜时，在很多情況下，都把影响半徑当作“引用半徑”，嚴格地說，也就是当作地下水沿圈定的圓周范圍受到补給而在平面上呈輻射狀流动时的影响半徑。这就使我們能够利用簡單而通用的公式來計算流入量以及進行其他計算。

同样，影响帶的“引用”寬度对于狹長的巷道也适用。

各种方法的研究結果証明：在复雜的水文地質条件下，用群孔抽水試驗來測定影响半徑是最可靠的。因此，本書很重視抽水的方法，而且对抽水試驗时所觀測到的影响半徑轉換为設計引水地的影响半徑的方法也作了叙述。

第一章 影响半徑的現有概念及其測定方法

影响半徑就是由井的軸心到达抽水时浸潤漏斗外部边界的距离，在此外部边界处的水位等于地下水原有的（靜止的）水位，这就是应用最广的影响半徑的概念。Г. Н. 卡明斯基也給影响半徑下了一个相类似的定义〔13〕；并且大多数水文地質学教程都闡述了与此相似的定義；例如，Ф. И. 薩瓦連斯基的著作〔24〕以及 И. И. 庫薩金的著作〔20〕，都很重視影响半徑的問題。

除了“影响半徑”以外，在本書中还可遇到这样一些名詞，如浸潤漏斗半徑或浸潤半徑〔24〕和作用半徑〔20〕。

大多数学者均指出，影响半径是随时间而增大的；然而有些学者，如庫薩金則肯定地說：当从上面滲入到浸潤面上的水量足够补偿由井内抽出的水量时，影响半径即停止增长。关于适应浸潤区边界綫（在此范围以外，水位不发生变化）的影响半径的这一概念，近來有了更正确的观念，即抽水的影响范围是逐渐扩展到含水層之补給区的。例如 B. H. 謝尔卡切夫〔31和32〕在論述承压含水層时，就表示过这种看法。B. H. 謝尔卡切夫認為，只有当水流通通过透水性很弱的頂板或不通过頂板而全部补偿自鑽孔中所取出之水量时，有限影响半径的概念才能算是正确的。

H. K. 吉林斯基指出，影响半径是随时间而增长的，而且“由于抽水而使动力平衡遭到的破坏，顯然将要扩展到地面上地下水的出露地点”。按照 H. K. 吉林斯基的看法，影响半径乃是由鑽孔或鑽孔組的中心至尚能測定出地下水水位降深值处的最大距离。B. H. 阿拉文和 C. H. 盧麥罗夫〔2〕也用同样方法来測定影响半径，并且指出，在大于影响半径的地段上（由井軸算起）地下水位的降深值“实际上是观测不到的”。鮑戈莫洛夫〔4〕寫道，在与影响半径相等的距离上，水位降深值“趋近于零”。

当从布置在地下水流中的鑽孔里抽水时，一般認為：影响半径与該水流部分的宽度之間有着一定的比例关系。这种情况，早在 1912 年已为 A. A. 克拉斯諾波利斯基〔19〕所發現；他認為，影响半径等于补給鑽孔的水流的宽度之半。后来，M. E. 阿利托夫斯基〔1〕、Г. B. 鮑戈莫洛夫〔3〕、H. A. 普洛特尼科夫〔22〕和 C. B. 特罗雅斯基〔28〕，

根据抽水实验资料，得出影响半径大于“补给半径的结论”，也就是得出影响半径大于补给钻孔的水流的宽度之半的结论。根据上面所阐述的概念，得出了从布置在水流中的钻孔里抽水时计算影响半径的公式，实际上，这些公式只不过是 A. A. 克拉斯诺波利斯基〔12、16 和 28〕公式的变形而已。但是，对于在地下水流中（此处能形成对称的浸润漏斗）进行抽水的钻孔的影响半径，迄今并未提供出相当明确的概念来。

渗入水量补足取出水量时的浸润区范围问题，远在 1886 年就结合水平引水设备作过研究〔23〕。后来，还提出了用于计算流向钻孔（水井）的水流的基本关系式〔2 和 25〕。尽管这些关系式有着充分的根据，但是在实际运用上并不方便，因此没有得到推广。

当由地下水盆地中抽水时，也就是在含水层没有补给的情况下，浸润漏斗的发展条件已由许多学者大致作了研究。适于这种条件的最著名的公式是 И. И. 库萨金、苏耳采、维别尔和柯捷尼〔20〕等人的公式，因为它们反映出影响半径是随时间而增大的。这些公式实质上都是一样的，其区别处仅在于系数值的不同。柯捷尼的公式稍微与众不同，但正如 И. И. 库萨金指出的，变换后，它几乎和其他的公式完全一样。

还有很多测定影响半径的经验公式和表格，但它们没有把时间因素考虑进去；其中最著名的是 И. И. 库萨金的公式〔20〕。

同时还应当指出，许多现有测定流向引水设备水流的

关系式都沒有很明顯地把影响半徑包括進去。早在 1889 年, H. E. 茹科夫斯基〔10〕就已經提出了類似的用于引水巷道的公式。甚至在測定向河流附近引水設備流動的水流公式中, 也未考慮影响半徑; 並且在 H. R. 吉林斯基〔8〕和 A. H. 米亞契耶夫〔21〕所求出的新公式中, 也沒有包括影响半徑; 而在這些新的公式內, 已經考慮到承压含水層是依靠一部分水透過透水性很弱的頂底板岩層來補給的。但是在大多數的情況下, 這一類公式經簡單變換後, 就可得到計算流入水量的普通关系式。

以上的簡短闡述證明, 研究影响半徑的著作是相當多的; 這些著作主要是由蘇聯學者和工程師編寫的, 其中有很多寶貴的理論和經驗資料。但是, 參考文獻中所有關於上述問題的資料, 多半帶有片斷性; 同時也缺乏一致公認的定義和見解。所有這些情況綜合起來, 就使得在實際工作中很難應用現有的計算方法和經驗資料, 或者應用得不正確。

編寫本書的目的是要系統地整理並尽可能地改進現有的計算影响半徑的方法, 同時也要填補研究這一問題所存在的最主要的空白點和肯定這一數值本身的概念。

本書所採用的原理是:

1. 抽水(單孔的成群孔的)的影响範圍是逐漸擴展到含水層發育的全部地區并到達其邊界。取水在某種程度上會改變含水層天然的水均衡, 因而引起地下水流向和流速的改變, 也引起水頭的重新配置。

當抽水時, 在引水地的周圍會產生水位或水頭的下降

(浸潤)区；在浸潤区以外，原有的水位或水头的降深值是这样的小，它們簡直沒有任何实际意义，在許多情況下，甚至連用最精确的測量也无法覺察出來。

2. 在非穩定流时的抽水初期，浸潤区是逐漸擴大的；此时，如果取水量不增加，則在其与補給区來的水量相平衡的狀態下，浸潤的規模达到最大，浸潤区也穩定下來。在这种情况下，浸潤区立即停止擴大，但由于含水層補給强度及其他能影响地下水动态的因素的不同，浸潤区的規模在某种範圍內仍然有所变化。

我們不考慮这些动态上的变化，而基本上可以認為：浸潤区停止增大后，流向引水設備的水流是穩定流，而与此穩定流相应的影响半徑則称为“穩定的”影响半徑。在穩定流时期抽出的全部水量是由含水層的補給來补充的。在浸潤区停止增大之前，一部分的水流量則从不断增大的浸潤漏斗範圍內的儲量中取得。在此时期中影响半徑逐漸增大，因此可以把它叫做“不穩定的”影响半徑。

如果抽出的水量超过含水層所補給的最大可能的动力水量时（例如，当補給区有限大时），根本不会產生地下水的穩定流；此时，浸潤区即擴展到含水層的边界。然后，地下水位往往發生急剧的总下降，流向引水設備的水流量也在逐漸地减小，直减到補給量所能保証的数量，也就是發生所謂含水層的“涸竭”。在浸潤範圍擴展到地層边界的时期中，影响半徑也应当被認為是“不穩定的”。

3. 抽水时的浸潤区通常多少有些不对称，这是由于地下水自由面和测压水面原始的坡度、含水層補給区的位

置、不均質的岩層以及其他原因所造成的。由于浸潤區逐漸過渡到地下水位實際上不下降的區域，所以浸潤區的邊界面一般不夠明顯。

為了在這種情況下（實際中常見到這些情況），能正確地測定影響半徑值，同時也為了簡化水文地質計算起見，提議採用“引用”影響半徑。

“引用”影響半徑是圍繞井中心的假定圓周的半徑，水沿着此圓周綫均勻地補給含水層，此補給量在抽水條件不變時（也就是在動力水位相同的情況下）即能完全補償實際取出的水量。

“引用”影響半徑的這一概念，可使我們把含水層的複雜條件與流向“井”的水流情況變成簡單的情況，亦即水在平面上作嚴格的輻射流動并沿圓周均勻地補給含水層，也就是把它變為用普通的裘布依公式即能完全精確地進行計算的情況。

“井”這一名稱，無論現在或將來均應作廣義的理解，因為可以視作井的有：礮山巷道和其他引水地，其斷面在平面上為一圓形；還有成群的降水裝置，其輪廓可繪成圓周。如果斷面的面積很大，則這一類的引水地就稱為“大井”（特羅雅斯基所提出的專門術語）。

4. 當含水層在浸潤區內依靠滲入的大氣降水進行垂直補給，或者依靠其他含水層中的水通過透水性很弱的頂板或底板（非完整隔水層）滲入而進行垂直補給時，使用“引用”影響半徑亦很合適。在這樣的情況下，浸潤漏斗可能呈規則形狀，但是流向井中的地下水輻射水流的流量

越接近浸潤中心則越大。

此時，“引用”影響半徑，能使我們將較複雜的關係式（已經把浸潤區內的垂直補給因素考慮在內）簡化為普通公式，以便測定流向水井的水流。

5. 非穩定流可以被當作許多連續的穩定流，每一個穩定流都與隨時間而不斷增長着之“引用”影響半徑的一定數值相適應。

此時，含水層沿假定的圓周（其半徑與“不穩定的”影響半徑相等）受到補給。所補給之水則依靠靜止儲量及動力儲量來補贖。

如果不管這些明顯的概念，那末“引用”影響半徑可認為是測定流向引水設備的水流之最簡單公式中的一個主要參數（裘布依公式）。

不同於圓周斷面形狀之引水設備的“引用”半徑和引用影響半徑之間是有相同點的。

上述“引用”影響半徑的概念並不是新的概念。例如，B. H. 謝爾卡切夫和B. B. 拉普克(32)就提出過“引用補給半徑”的概念，這種半徑是與鑽孔同心的圓形半徑，在此半徑範圍內，能保證鑽孔的實際涌水量。所謂實際涌水量，即是當補給區的實在輪廓呈不規則的幾何形狀時所觀測到的涌水量。

在地下水向河流附近的鑽孔中穩定流動的條件下，H. K. 吉林斯基〔7〕也提出了關於“滲透區引用半徑”的概念。並且，按照H. K. 吉林斯基的見解，這一概念在地下水穩定流動的其他許多情況下，也適用。

作者認為，类似“引用”影响半徑的概念对于地下水在平面上作近似于幅射狀之非穩定流或穩定流之种种情况均适用。

“引用影响半徑”这一術語，我們認為是最恰当的，只是因为“影响半徑”这一名詞已叫慣了，因而往往把“引用”这两个字省略去。B. H. 謝尔卡切夫所定的“引用补給半徑”这一術語，尽管在原則上是如何正确，但是，水文地質工作人員並沒有广泛采用它，因为“补給半徑”这一定义常常有另外的意义（例如，在地下水流中抽水的时候）。

应当指出，在地下水流中進行抽水时，測定影响半徑的方法，以及反映影响半徑随時間而增大的关系式，实际上都是屬於“引用”影响半徑之列。因此，在很多情況下，“引用”这一術語被我們省略了。

当流入狹長巷道中的地下水呈平面运动时，也采用“影响半徑”这一術語。但是，在这种情况下，如把它叫做“地帶寬度”或“影响地帶”則更正确些。

如果含水層受到垂直补給，或呈非穩定流时，那末，最好采用“影响帶引用寬度”，并將上述“引用影响半徑”的概念推用于这一寬度上。

在对水井進行水文地質計算时，利用的“引用影响半徑”，以及对集水巷道采用“影响帶引用寬度”是否合理的問題，主要看是否能有根据地采用最簡的計算流入量的公式。

下面將要談到在实际工作中經常遇到的計算“引用影

响半徑”和“影响帶寬度”的方法，或者談談計算表示浸潤面積的一些其他数值的方法；并且特別注意到大面積的引水設備和成組的裝置。

第二章 穩定影响半徑的測定方法

第1節 从地下水流中抽水时影响半徑的計算

这里所研究的情况，适用于从地下水未承压流或承压流水井中抽水的条件，并且浸潤区内含水層的补給量小到簡直可以將其忽視的程度。对于未承压流來說，后一条件發生在干燥气候或干旱季節中，以及發生在地下水位之上有着隔水岩層的时候。在这种情况下，承压含水層在浸潤区的垂直方向上不应与其他含水層有联系。

大家都知道：在这种情况下，当抽水时一部分地下水流則补給水井。水井补給帶的寬度是逆水流擴展的，并且在离水井相当远的一段距离上，此寬度可認為是固定不变的(圖1)。补給帶最大寬度的一半，叫做水井的补給半徑〔3〕。

如上所述，当从水流中進行抽水时，对影响半徑的測定，早由A. A. 克拉斯諾波利斯基〔19〕研究过了。以后，C. B. 特罗揚斯基把A. A. 克拉斯諾波利斯基的方案稍加更改，同时認為，补給半徑为影响半徑的 $\frac{2}{3}$ ，而不是与影响半徑相等。

A. A. 克拉斯諾波利斯基和C. B. 特罗揚斯基提出的关系式將在下面叙述。但用这些关系式測定正在設計中的引