

水文地质计算

〔苏联〕И·А·斯卡巴拉諾維奇 著

单 基 源 译

中国工业出版社



地下水动力学 水文地质计算

(修訂增补第二版)

[苏联] И. А. 斯卡巴拉諾維奇 著

单 基 源 譯

俄罗斯苏維埃社会主义共和国高等及中等教育部

批准为高等院系教学参考书

中国工业出版社

本书论述了水文地质计算基本方法，这些方法在工程建筑、给水、降水设计以及鑑定岩石的透水性时经常应用。

书中除列出公式并说明计算程序外，还包括大量的习题及在具体水文地质条件下的解题方法。

本书可做矿业学院、地质学院及各大学水文地质及工程地质专业学生的参考书，并可供涉及水文地质计算的生产工作者们参考。

全书由单基源翻译，崔福魁校。

И. А. Скабеланович
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ
ПО ДИНАМИКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Издание второе
дополненное и переработанное
госгортехиздат Москва-1960

地 下 水 动 力 学

水 文 地 质 计 算

(修订增补第二版)

单 基 源 译

地质部地质书刊编辑部编辑 (北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版 (北京左斜街路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张14 · 字数338,000

1964年12月北京第一版 · 1964年12月北京第一次印刷

印数0001—5,160 · 定价(科六)2.20元

统一书号：15165 · 3326(地质-294)

前 言

本书編写的目的在于向矿业和地质勘探专业的大学生及生产工作人員介紹，怎样利用地下水动力学的基本原理来评价岩石的透水性、研究钻孔的富水性、潜水动态以及进行工程建筑和供水工程設計有关的計算。

“水文地质計算”一书的第一版是1954年出版的。根据很多院校和生产单位的要求，作者編写了本书的第二版，书中大部分章节經過修改并补充了新材料。

达尔西于1852年发现了水在岩石中渗透的基本規律，为研究地下水运动奠定了基础。1857年鳩布依应用达尔西定律，导出了在地下水自然动态的条件下流向集水建筑物的地下水运动的某些方程式。

在俄国，渗透理論基础是由 Н. Е. 茹柯夫斯基（1889 年和 1920 年）奠定的。茹柯夫斯基提出許多地下水运动的方程式，并且根据莫斯科城附近的梅提施水源地的再造現象，研究了流向集水建筑物水流的某些理論和实践問題。К. Э. 列姆勃克（1886 年）、И. А. 耶烏涅維奇（1890 年）、А. А. 克拉斯諾波里斯基（1912 年）、佛尔赫格依麦尔（1886 年—1930 年）、布西涅斯克（1903 年）及其他許多学者的关于地下水动力学著作，都是属于十九世紀末和二十世紀初叶的著作。

Н. Н. 巴甫洛夫斯基院士关于水工建筑物下的潜水运动理論（1922 年和以后的年代）及关于潜水不均匀流动理論（1930 年）的許多著作，具有特別重要的意义。

苏联大規模的建設事业，促进了苏联科学家們对于地下水运动理論的发展。在 Н. Е. 茹柯夫斯基和 Н. Н. 巴甫洛夫斯基工作的基础上，苏联学者們把本国的水文地质学，尤其是地下水动力

学的科学推至世界的最前列。

在 А. Ф. 列別杰夫、Ф. П. 薩瓦連斯基、Г. Н. 卡明斯基、Е. А. 扎馬林、А. И. 西林—別克丘林、М. Е. 阿里托夫斯基、Л. С. 列依賓松、В. Н. 謝爾卡切夫、И. А. 察爾內、П. Я. 波盧巴林諾娃—柯欽娜、Н. Н. 賓捷曼、С. К. 阿布拉莫夫及其他學者的著作中，在研究潛水和自流水動態、評價水文地質條件及開采有益礦產時確定巷道內的水量方面，在研究水工建築、工業建築和民用建築地區的水文地質現象，在計算一個或成組的垂直和水平集水井流量方面，在評價水工建築物下面及其周圍的水滲透方面，都概括地綜合了地下水運動理論的研究成果。

蘇聯學者們對流向垂直和水平集水井的地下水運動所作的研究工作，對於擴大地下水動力學理論在供水和降水建築物的水文地質研究和設計中的應用範圍，有着重要意義。Н. К. 吉林斯基（1950年）和 В. Д. 巴布什金（1950和1953年）關於確定非完整井的涌水量的研究工作，有着十分重大的實踐意義，因為這使我們能夠更有根據地把這種非常普遍的鉆孔類型應用到水文地質的實際工作中。根據 Л. С. 列依賓松院士制定的天然水在多孔介質中的運動理論、В. Н. 謝爾卡切夫關於鉆孔相互影響的學說、М. Е. 阿里托夫斯基擬定的計算由單鉆孔和一組鉆孔組成的集水井涌水量的方法、И. П. 庫薩金提出的關於鉆孔組設備的計算方法以及 Н. Н. 維里金、И. А. 察爾內、С. К. 阿布拉莫夫和 А. В. 羅曼諾夫提出的在鉆孔不同排列的條件下流向鉆孔組的水運動方程式（1944—1957年），可以計算出在鉆孔排列不同的情況下相互作用鉆孔的涌水量。

А. Н. 科斯基科夫（1927年）、Р. Р. 丘加耶夫（1938年）、Н. Н. 維里金（1949年、1950年）、С. Ф. 阿維里雅諾夫（1948—1957年）及其他學者關於計算水平集水井的著作獲得了廣泛的應用。

近幾年來，地下水動力學的基本原理，在礦山巷道的水量計

算和矿床排水设计中，得到日益广泛的应用。在С. В. 特罗扬斯基（1939—1956年）、М. В. 塞罗瓦特科（1950年）的著作中，以及Г. Н. 卡明斯基、П. П. 克利門托夫、А. М. 奥弗琴尼科夫（1953年）和Н. И. 普洛特尼科夫、М. В. 塞罗瓦特科和Д. И. 謝戈列夫（1957年）的共同著作中，都引用了这些计算方法。

Г. Н. 卡明斯基关于潜水非稳定流理论、关于水库地区地下水的迴水计算、关于在地下水埋藏的各种地质条件下非均质透水岩层中的地下水运动理论等许多著作，对于地下水动力学的发展起了重大作用。这些著作是他本人所编著的作为水文地质学领域内第一本教科书的“地下水动力学原理”（1935—1943年）的基础。

А. И. 西林—别克丘林（1958年）关于地下水动力学教科书，В. М. 馬克西莫夫主编的集体创作“水文地质工作者指南”（1959年），以及其它教学参考书，都对地下水动力学的研究起了重要帮助作用。

作为国立大学教科书的П. Я. 波卢巴林諾娃—柯欽娜的“潜水运动理论”（1952年）巨著中，提出了这一理论的数学依据。

在水文地质实践中，通常研究的是潜水和浅层自流水的运动，因此本书没有阐述在巨型集水井地区排水时及在超深部进行人工降低水位时，所必须考虑的石油承压水深部自流层的弹性规律。关于这一问题，在В. Н. 謝尔卡切夫、И. А. 察尔内及其他人的著作中都有论述。

本书的材料安排，力求使水文地质、工程地质和相近专业的矿业和地质勘探院系的学生们尽快地掌握“地下水动力学”和“地下水普查及勘探”两门课程。本书也适于水文地质工程师、地质人员、采矿工程师、水工技术人员、建筑人员以及从事水文地质计算的其他专业人员参考。

在每一章的开头都列举了一些公式和引用了各种计算方法，并对计算程序作了一般的说明。接着就是习题，习题包括简短的

原始水文地质資料一直到解完的数字。习题的原始資料是根据具体的水文地质条件而选定的。

附录內列有必要的参考表格。

作者向 Н. Г. 薩文科和 А. А. 馬尔采夫对本书手稿所作的整理工作表示感謝。

对于本书內容的全部批評意見，作者将鳴謝予以接受。

目 录

前言	3
第一章 根据經驗公式确定岩石的渗透系数	1
第1节 經驗公式的应用条件	1
第2节 根据粒度成分和孔隙度确定渗透系数的 經驗公式	1
第3节 用諾謨图和图解确定渗透系数值	6
第4节 渗透系数与孔隙度的关系	8
第5节 渗透系数与温度的关系	10
第6节 习题	11
第二章 用試井渗入法确定岩石的渗透系数	18
第7节 H. K. 吉林斯基教授法	19
第8节 A. K. 博尔迪列夫教授法	22
第9节 H. C. 涅斯捷罗夫教授法	23
第10节 E. A. 扎馬林教授法(經作者补充)	24
第11节 习题	27
第三章 不考虑渗入因素的含水层中地下水的运动	34
第12节 地下水运动的基本規律	34
第13节 水平均质含水层中潜水的运动	38
第14节 傾斜均质含水层中潜水的运动 (按 H. H. 巴甫洛夫斯基)	39
第15节 均质傾斜含水层中潜水运动的近似方程式	41
第16节 均质含水层底部坡度交变时潜水运动的 近似方程式	43
第17节 厚度固定及变化的均质地层中承压地下水的 运动方程式	44

第18节	非均质地层的平均渗透系数	45
第19节	成层的水平地层及倾斜地层中的潜水运动	45
第20节	成层地层中的承压水运动	48
第21节	习题	50
第四章	考虑渗入时含水层中地下水的运动	71
第22节	考虑渗入时水平含水层河间地块中的 潜水运动	71
第23节	考虑渗入时倾斜含水层河间地块中的 潜水运动	73
第24节	习题	76
第五章	潜水非稳定运动	90
第25节	有限差值法的非稳定运动方程式	90
第26节	习题	95
第六章	潜水迴水	105
第27节	潜水补给面积很大时, 倾斜和水平地层中 潜水稳定迴水水位的确定	106
第28节	考虑渗入时河间地块中潜水稳定迴水水位 的确定	112
第29节	迴水曲线形成过程中潜水迴水水位的 计算及其稳定时间的确定	114
第30节	计算迴水时原始水位的选择	122
第31节	根据潜水动态规律观测资料确定渗透系数 及自由孔隙度	124
第32节	习题	126
第七章	流向垂直集水井的地下水运动	168
第33节	垂直集水井的类型	168
第34节	流向完整井的水运动方程式	169
第35节	非完整井涌水量的确定	174
第36节	非均质地层中流向井内的水运动方程式	184

第37节	估計鉆孔預期涌水量的涌水量曲綫方程式 的制定.....	188
第38节	影响半径的确定.....	196
第39节	井的直径及影响半径对其涌水量的影响.....	200
第40节	流入垂直巷道的水流量的确定.....	202
第41节	习题.....	209
第八章	根据抽水資料确定岩石的渗透系数.....	252
第42节	从完整自流井中抽水时确定渗透系数.....	252
第43节	从完整潛水井中抽水时确定渗透系数.....	253
第44节	从潛水自流井中抽水时确定渗透系数.....	255
第45节	从非完整井中抽水时确定渗透系数.....	257
第46节	在涌水量和降深不稳定的条件下, 按完整 潛水井抽水資料确定渗透系数.....	275
第47节	从非均质岩层的井中抽水时确定渗透系数...	277
第48节	根据井中水位恢复速度确定渗透系数.....	280
第49节	根据抽水資料确定传压系数和給水度.....	281
第50节	习题.....	284
第九章	相互作用鉆孔系的計算.....	323
第51节	按一定范围分布的相互作用鉆孔.....	323
第52节	呈一条及两条直綫行列分布的 相互作用鉆孔.....	329
第53节	相互作用鉆孔組的計算步驟.....	337
第54节	根据抽水資料計算相互作用的 自流鉆孔涌水量.....	339
第55节	习题.....	341
第十章	吸收井的地下水运动.....	364
第56节	吸收井的类型及其涌水量.....	364
第57节	根据注水試驗資料确定岩石的渗透系数.....	366
第58节	习题.....	372

第十一章 流向水平集水建筑物的潜水运动	382
第59节 水平集水建筑物的类型.....	382
第60节 不考虑渗入作用的流向单独集水建筑物的 水运动方程式.....	382
第61节 考虑渗入时流向系列排水设施的 水运动方程式.....	389
第62节 习题.....	390
第十二章 水工建筑物下的潜水运动及水库的渗漏	402
第63节 经过均质坝基渗漏的水量确定.....	402
第64节 经过非均质坝基的渗漏量的确定.....	404
第65节 绕坝渗漏水流量的确定.....	405
第66节 水库向邻接河谷渗漏损失的确定.....	408
第67节 习题.....	413
附录.....	425
参考文献.....	436

第一章

根据經驗公式确定岩石的滲透系数

第 1 节 經驗公式的应用条件

通过試驗工作，可根据岩石的机械成分（主要是細粒組的大小和数量）、孔隙度和水温确定滲透系数。

根据粒度成分确定岩石的滲透系数，是一种最便宜和簡易的方法，对于某些岩石的透水性可以給出足够滿意的鑑定。

經驗公式常在水文地质勘测的初步設計阶段。此时必須进行大面积的一般水文地质鑑定并对个别地段作出比較评价。

进行詳細調查时，这种方法就成为野外方法的补充。当对矿床、水源地、水工建筑地区进行詳細勘探时，尤其需要广泛地采用这种方法。因为那时必須确定广大地区的岩石透水性；而只利用抽水試驗对其进行詳細研究，实际上是不可能的。

下面的經驗公式，是以基土的粒度成分資料及孔隙度資料为基础的；此时沒有考虑基土的构造及水滲过基土时在土中所产生的物理化学作用。因此，經驗公式只适用于砂质土。这些公式不能推荐去确定泥质亚粘土以及卵砾质和砾质岩石的透水性。

根据作者的研究工作确定，对于各种不同成分的砂土來說，И. И. 扎烏耶尔布列依公式可以得出良好的結果。对于泥质砂土和亚砂土可以采用克留格尔公式。克留格尔、扎馬林及宗克尔公式所給出的滲透系数，常低于野外条件下确定的滲透系数，而对于泥质砂土來說，这一降低值較小。

第 2 节 根据粒度成分和孔隙度 确定滲透系数的經驗公式

1. 加晋公式 按下式确定滲透系数；

$$k = C d_n^2 (0.70 + 0.03 t), \text{ 米/昼夜。} \quad (\text{I}, 1)$$

式中 C ——經驗系数，取决于基土的均质程度及部分地决定于基土的孔隙度；对于純砂和均质砂， C 等于 1200，对于非均质的和致密的砂， C 等于 400，对于中等均质砂和致密的砂， C 約为 800；

d_n ——有效直径，毫米；

t ——渗透水的温度，度。

水利試驗研究所的研究員們建議根据顆粒为 0—0.05 毫米，0—0.01 毫米及 0.01—0.05 毫米的百分含量，按表 1 計算 C 值。

表 1

顆 粒 尺 寸 (毫米)			C
0.05—0.01	0.01—0	0.05—0	
粒 組 含 量 (%)			
0.2	0.2	0.5	1200
0.5	0.5	1.5	1100
1.0	1.0	3.0	1000
2.0	2.0	5.0	900
3.5	3.0	7.0	700
4.0	4.0	9.0	500

有效直径是用毫米表示的一种顆粒直径，在基土中小于該直径者占基土总量的 10%。換句話說， d_n 等于能使基土总量的 10% 通过的篩孔直径。

加晋公式只适用于 d 为 0.1 至 3 毫米及均质系数 l 小于 5 的砂土。均质系数是顆粒直径 d_{60} 与 d_n 之比值。 d_{60} 表示在基土中小于該直径者含有 60%。 d_{60} 和 d_n 值可根据圆滑曲綫描绘的基土粒度成分曲綫得出，其比例尺可以是普通的，也可以是对数的，或者根据下列方程式用內插法求出：

$$d_n = d_1 + \frac{d_2 - d_1}{\Phi_2 - \Phi_1} (10 - \Phi_1), \quad (\text{I}, 2)$$

式中 d_1 及 d_2 ——顆粒直径的下限和上限， d_n 处于两者之間；

Φ_1 及 Φ_2 —— d_1 和 d_2 的粒組百分总数；

$\Phi_2 - \Phi_1$ ——直径由 d_1 至 d_2 的粒組百分含量。

根据普通比例尺的粒度成分圓滑曲綫，为砂土所取的 $d_{\text{н}}$ 和 d_{60} 值是比较正确的（图1）。根据公式（I, 2）对所有基土所作的計算也給出了令人满意的結果。半对数图解（图2）不能真实反映 $d_{\text{н}}$ 和 d_{60} 的計算結果，因此很少用于上述目的。

加晋公式完全沒有考虑孔隙度的影响，对于均质程度的也顧及不足，因此該公式只适用于計算純淨的均质砂土的渗透系数。

2. 克留格尔公式 当渗透水的温度为 10° 时，公式的形式为：

$$k_{10} = 1.16 \times 10^6 \frac{n}{\theta^2}, \text{ 米/昼夜。} \quad (\text{I}, 3)$$

$$\text{或} \quad k_{10} = 322 \frac{n}{(1-n)^2} d_a^2, \text{ 米/昼夜。} \quad (\text{I}, 4)$$

这里 n ——基土的孔隙度，以小数表示；

θ ——每平方厘米基土体积中所含的全部顆粒的总表面积，可按下式求出：

$$\theta = 6(1-n) \frac{1}{100} \sum_1^N \frac{g_i}{\partial_i}, \quad (\text{I}, 5)$$

式中 N ——分析时得出的粒組数；

g_i ——在基土成分中参加 i 級次粒組的部分，%；

∂_i ——粒組的平均直径，等于 $\frac{d_i + d_{i+1}}{2}$ ，厘米；

d_q ——以毫米表示的有效直径，可按克留格尔公式求出：

$$d_q = \frac{100}{N} \frac{\sum_1 \frac{g_i}{\partial_i}}{\sum_1 \frac{g_i}{\partial_i}}, \text{ 厘米，} \quad (\text{I}, 6)$$

式中的符号和因次，与公式（I, 5）相同。

按克留格尔公式进行計算时，象按扎馬林和宗克尔公式进行計算一样，应将小于0.01毫米的顆粒取做一个粒組，因为它们一

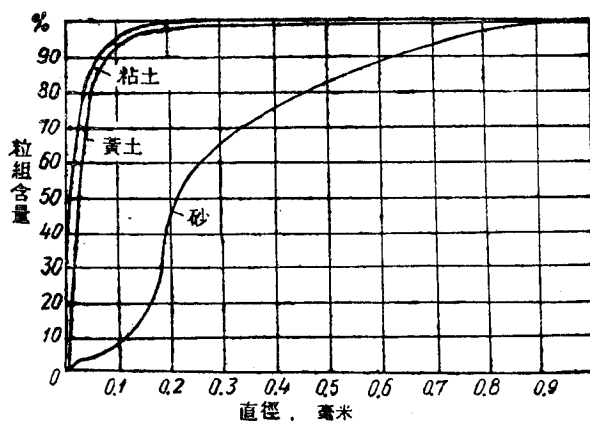


图 1 粒度成分图表 (普通的)

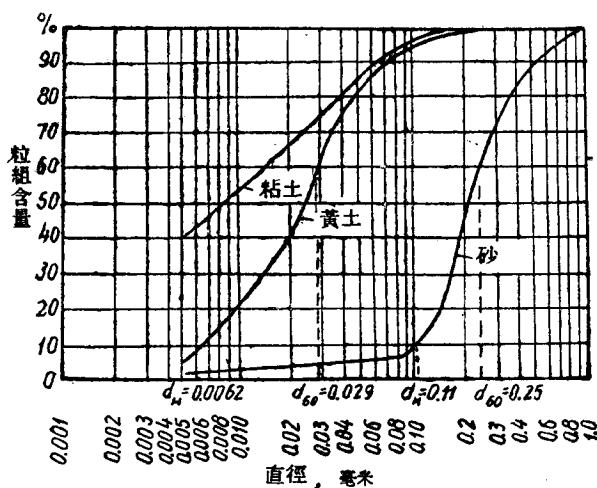


图 2 粒度成分图表 (半对数的)

般是分布在砂粒的表面并且参加到集合体的成分中。

3. 扎馬林公式 当水温为 10° 时, 对于砂土的扎馬林公式为:

$$k_{10} = 5572 \frac{n^3}{(1-n)^2} a^2 d_z^2, \text{ 米/昼夜}, \quad (\text{I}, 7)$$

式中 n ——砂土的孔隙度，以小数表示；

a ——取决于孔隙度并考虑了不参加渗透的“死水”作用的系数，它等于：

$$a = 1.275 - 1.5n, \quad (\text{I}, 8)$$

d_z ——按扎馬林的有效直径，毫米。

有效直径等于：

$$d_z = \frac{100}{\frac{3}{2} \frac{g_1}{d_1} + \sum_2^N \left(\frac{g_i}{d_i - d_{i-1}} \ln \frac{d_i}{d_{i-1}} \right)}, \quad (\text{I}, 9)$$

式中 g_1 ——大小从 d_1 至 0 的粒組部分；

g_i ——基土成分中参加 i 級次的粒組部分，%；

N ——为便于計算而將基土划分出的粒組数；

d_i 和 d_{i-1} ——在 i 級次粒組中的最大顆粒和最小顆粒直径，毫米；

d_1 ——最小粒組的直径，毫米。

扎馬林公式比其它公式优越之处在于，它更正确地考虑了砂粒分布的或然率及其个别組合的作用。

4. 宗克尔公式 当渗透水温为 t° 时，公式具有下列形式：

$$k = c \left(\frac{n}{1-n} \right)^2 \frac{1}{U^2} (1 + 0.034 t), \text{ 米/昼夜}, \quad (\text{I}, 10)$$

式中 c ——顆粒形状系数，其数值列于表 2；

n ——基土的孔隙度，以小数表示；

U ——比表面，即該基土顆粒的总表面与直径为 1 毫米的顆粒所組成的基土总表面之比，

$$U = \frac{3}{2} \frac{g_1}{d_1} + \sum_2^N g_i \left(\frac{1}{d_{i-1}} - \frac{1}{d_i} \right) \frac{1}{\ln d_i - \ln d_{i-1}}, \quad (\text{I}, 11)$$

式中 符号与公式 (I, 9) 相同;

t —— 渗透水的温度, 度。

表 2

砂 的 特 征	c
光滑浑圆粒的等粒砂	1160
带稜角微圆粒的等粒砂	680
圆粒的不等粒砂	580
带稜角而粗糙的等粒砂	340

宗克尔公式的优点在于, 它以特殊系数体现了颗粒形状和砂的均质程度。

5. 扎烏耶尔布列依公式 当渗透水温为 10° 时, 公式形式为:

$$k_{10} = \beta \frac{n^3}{(1-n)^2} d_{17}^2, \text{ 米/昼夜}, \quad (\text{I}, 12)$$

式中 β —— 取决于砂粒均质性及颗粒粗细的经验系数, 等于 1150—3010, 通常为 2880—3010;

n —— 砂的孔隙度, 以小数表示;

d_{17} —— 以毫米表示的颗粒直径, 在该基土中小于此直径的颗粒占重量的 17%; 确定它的方法与确定 d_n 相同。

扎烏耶尔布列依公式适用于确定细粒、中粒和粗粒的纯净和泥质砂的渗透系数。

第 3 节 用诺谟图和图解

确定渗透系数值

H. H. 宾捷曼根据克留格尔公式 (图 3)、扎馬林公式 (图 4) 及其它公式作出了诺谟图, 以便计算砂的渗透系数值。按此图解可求出水温为 0° 时的 k 值。