

B·M·馬克西莫夫 等編
K·Г·阿薩图尔

水文地质手册

下 册

常連貴 卜文亭 等 譯

王 秉 忱 校 訂

中国工业出版社

B·M·馬克西莫夫
K·Γ·阿薩图尔 等編

水文地质手冊

下 册

常連貴 卜文亭等譯

王秉忱校訂

中国工业出版社

全书系根据苏联国立石油燃料科技书籍出版社1959年出版的“水文地质手册”一书翻译的(其中第四篇内容“水文地质钻井的技术设备及其使用简要说明”在石油工业部编辑室编辑的“钻井技术手册”中已有较详细的介绍,故本手册省略未译)。本书分为上、下两册出版,本书为下册。内容介绍了地下水动力学原理、水文地质计算、水文地质实际工作所需理论与计算方法,叙述了地下水运动规律、速度和流量的确定等。

本书可供水文地质工程师、技术人员及为石油及天然气勘探、供水、建工建筑等进行水文地质勘察的专业人员使用,并可作为高等院校和中等专业学校有关专业的师生的参考书。

В. М. Максимов, К. Г. Асатур 等編
СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ГИДРОГЕОЛОГА
根据苏联国立石油燃料科技书籍出版社 (ГОСТОПТЕХИЗДАТ)
1959年列宁格勒版翻译

* * *

水文地质手册

下 册

常連貴 卜文亭等译

王秉忱校订

*

石油工业部编辑室编辑 (北京北郊六铺炕石油工业部)
中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)
(北京市书刊出版事业许可出字第110号)
北京市印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ · 印张 $11 \frac{3}{4}$ · 字数 300,000
1962年11月北京第一版·1962年11月北京第一次印刷
印数 0001—735 · 定价 (10-7) 1.95 元

*
统一书号: 15165 · 1921(石油-135)

目 录

第三篇 地下水动力学原理和水文地质计算

第十三章	地下水的运动定律	1
第十四章	地下水实际流速的确定	7
第1节	确定地下水流速的工作项目和内容	8
第2节	确定地下水实际流速的主要方法	10
第3节	资料的编录和整理	14
第十五章	根据抽水、注水、压水、实验室研究资料和按经验公式确定渗透系数	16
第1节	均质岩层中的钻孔抽水(运动服从于达西定律 $v = KI$)	16
第2节	非均质岩层中的钻孔抽水(运动服从于达西定律 $v = KI$)	43
第3节	在裂隙岩层中地下水流服从于 A. A. 克拉斯诺波里斯基定律 $v = K_m \sqrt{T}$ 的条件下从钻孔中抽水	55
第4节	在钻孔、井和试坑中注水和压水	58
第5节	从竖井和试坑中抽水	68
第6节	实验室条件下岩层渗透系数的确定	70
第7节	根据经验公式确定岩层渗透系数	85
第十六章	影响半径(降落半径)的确定	93
第1节	根据群孔抽水试验资料确定影响半径	93
第2节	从河流或其他水体岸边的井内抽水时的影响半径	95
第3节	从地下水流中抽水时的影响半径	95
第4节	含水层依靠降落漏斗面积上的均匀渗入补给时的影响半径	98
第5节	从潜水盆地抽水(含水层没有补给)时不稳定的影响半径	100
第6节	确定影响半径的经验公式和表格	101

第十七章	流向集水建筑物的水流流量的确定	103
第1节	流向垂直集水建筑物的水流流量的确定	103
第2节	流向水平集水建筑物的水流流量的确定	121
第3节	渗入式集水建筑物流入水量的确定	129
第十八章	干扰井孔的计算	133
第1节	場地上不按一定系統布置的井群	135
第2节	沿单周边布置的井群	141
第3节	井孔的多边界系統	145
第4节	沿几何規則网格图形布置的同型井孔系統	147
第5节	直线排列的井孔	149
第6节	M. E. 阿里托夫斯基的干扰井孔水力計算法	168
第7节	“水跃”值和井孔取水能力的确定	171
第十九章	流入矿坑和基坑的水流	175
第1节	流入矿坑水量的确定	175
第2节	基坑涌水量	208
第3节	保証矿坑不被水流冲潰的允許水头的确定	212
第二十章	針状过滤器設備計算簡述	218
第1节	針状过滤器的一般資料	218
第2节	針状过滤器設備的計算	224
第二十一章	非承压含水层內地下水流量的确定	237
第1节	均质岩层內地下水的运动	237
第2节	非均质岩层內地下水的运动	255
第二十二章	承压含水层內地下水流量的确定	264
第1节	均质岩层中地下水的运动	264
第2节	非均质岩层中地下水的运动	268
第3节	地下水的承压-非承压运动	274
第二十三章	水工建筑物范围内的渗透計算	278
第1节	概述	278
第2节	水工建筑物地基的渗透	281
第3节	土填內的渗透	292
第4节	繞过水工建筑物的渗透	304

第5节 水工建筑物坚硬地基内的渗透	309
第6节 渗透的图解计算法	310
第7节 水电比拟法	314
第二十四章 潜水迳水与水庫及渠道的渗透计算	318
第1节 潜水迳水	318
第2节 水庫渗透	327
第3节 渠道渗透	334
第二十五章 地下水儲量的确定和分級	338
第1节 地下水儲量的确定	338
第2节 地下水开采儲量的分級	345
附 录	347
1. 自然三角函数表	347
2. 1) 从0—1000的十进对数表	349
2) 反对数表	351
3. 指数函数和双曲线函数表	353
4. 第一类完全椭圆积分表	357
5. 第一类不完全椭圆积分表(F)	359
6. 当 $i > 0$ 时 $\varphi(\eta)$ 函数值表	361
7. 当 $i < 0$ 时 $\varphi(\eta)$ 函数值表	366

第三篇 地下水力学原理和 水文地质计算

第十三章 地下水的运动定律

液体和气体在岩石（土壤层）孔隙和裂隙中的运动称为渗透。在渗流理论中，把岩石看作是由大小和形状不同的颗粒所组成的介质，这些颗粒互相连接，形成彼此连通的空洞（孔隙），液体或气体就在其中运动。

岩石（土壤层）的理论相似模型，使我们能相当满意地阐明用试验方法所确定的一些规律，甚至在结构与这种模型不太近似的裂隙岩层渗透情况下也是如此[Г. М. 罗米捷, 1951]。

孔隙体积 $V_{\text{пор}}$ 与岩石总体积 V 之比，叫做岩石的孔隙率。

$$n = \frac{V_{\text{пор}}}{V}. \quad (13-1)$$

渗透的基本定律叫做达西定律（或直线渗流定律），它是在一百多年以前由法国学者达西 [H. Darcy, 1856] 根据试验确定的。

如果管内充满多孔介质（图 13-1），管子的横截面积为 F ，液体在其内运动，此时，渗透基本定律以下式表示：

$$Q = -FC \frac{\gamma}{\mu} \frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad (13-2)$$

式中 Q ——渗透流量（单位时间内经过管子任一横截面的液体容量），厘米³/秒；

γ ——液体比重，公斤/厘米³；

- μ ——液体粘度，厘泊；
 ΔL ——两个断面之间的管子长度，厘米；
 ΔH ——液体在管长为 ΔL 的土壤层内的水头增量，厘米；
 C ——表征岩石渗透能力的系数（一般叫做渗透率），达西（见下面）。

从水力学中得知，水头可以用下列公式表示(图13-1)：

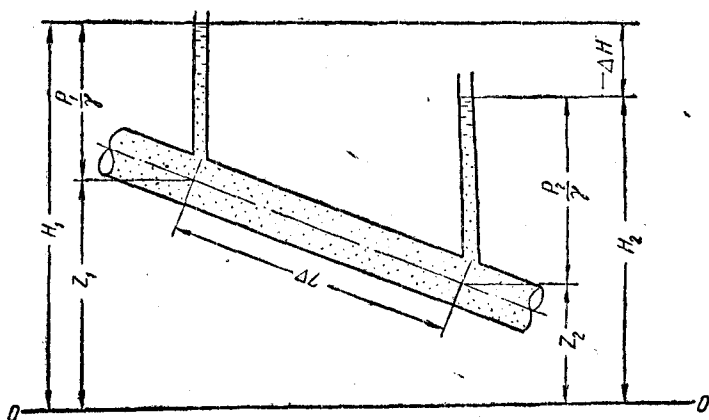


图 13-1 达西试验管示意图

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \approx Z + \frac{P}{\gamma}, \quad (13-3)$$

- 式中 Z ——确定水头断面任何一点的座标；
 g ——重力加速度；
 P ——同一点上面的压力；
 v ——同一点上面的流速。

上述公式(13-3)中的第三项 $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ ，由于液体在岩石内运动时其流速 (v) 平方后的值很小，因而在大多数情况下可以忽略不计。

公式(13-2)中的负号表明，水头在液体运动方向上减少。

γH 乘积有时用所谓的引用压力 P^* (公斤/厘米²)这个假定值

表示，在这种情况下，公式(13-2)为

$$Q = -F \frac{C}{\mu} \frac{\Delta P^*}{\Delta L}. \quad (13-2')$$

从公式(13-2')中看出，渗透流量与岩石的渗透率成正比，而与液体粘度成反比。

渗透率 C 具有面积因次，它取决于颗粒的大小、形状和排列性质。

渗透率的单位叫做达西。达西就是某种多孔介质的渗透性能，即粘度为 1 厘泊的液体当压力差值[公式(13-2')]—— $\Delta P^* = 1$ 大气压时，流经该多孔介质岩样断面积 $F = 1$ 厘米²，长度 $\Delta L = 1$ 厘米时的流量为 1 厘米³/秒。

由此得出，1 达西 = 1.02×10^{-8} 厘米²。

对相同液体来说，在温度变化较小的条件下，可把公式(13-2)中的 γ 与 μ 均取为常数，并用所谓的渗透系数代替渗透率，渗透系数用下列公式表示：

$$K = C \frac{\gamma}{\mu}. \quad (13-4)$$

虽然从渗透观点出发，上式中的系数 K 是反映多孔介质和液体的整体性能，但在液体不变的情况下，如象在只研究地下水的水文地质实际工作中那样，为了说明岩石的渗透性质，利用渗透系数还是较为方便的。

渗透系数具有速度因次。在公式(13-4)中， K 用厘米/秒表示， C 用达西表示， γ 用公斤/厘米³表示， μ 用厘泊表示。关系式

$$v = \frac{Q}{F}, \quad (13-5)$$

叫做渗流速度。

应该指出，渗流速度与液体在孔隙中的真正平均流速不同，因为液体不是流经整个断面积 F ，而只是流经孔隙这种小空洞的面积。由于颗粒很多，按统计学上的考据，可以认为管子整个断

面上的孔隙面积都是相同的，而且在长为 ΔL 的管段上平均孔隙面积 $f = nF$ 。

因此，按公式

$$v' = \frac{Q}{nF} = \frac{v}{n}, \quad (13-6)$$

确定的真正（实际）平均流速，永远大于渗流速度，因为 $n < 1$ 。

在水力学中，单位渗流在水平路径上的水头损失

$$I = -\frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad (13-7)$$

叫做水力坡度或水头梯度。考虑到公式(13-7)，(13-4)和(13-5)，则公式(13-2)可以写成下列形式：

$$v = KI. \quad (13-8)$$

公式(13-8)是说明达西定律的最简明的书写形式，它表明了渗流速度与水头损失之间的直线关系。从水力学中得知，对于液体层流运动动态来说——当雷诺数 (Re) 不大时，这种直线关系是具有代表性的。

同时，我们从水力学中知道，水头损失定律随着雷诺数不同而变化。

在实际渗流当中，也发现与达西直线渗流定律不符的情况。H. H. 巴甫洛夫斯基院士[1922]曾第一个提出关于取决于 Re 的达西定律应用范围问题，他提出了渗透时雷诺数的表示式。为了便于利用起见，该表示式经过 B. H. 谢尔加切夫 [B. H. 谢尔加切夫与 B. B. 拉普克，1949]做了某些修改和换算后成为：

$$Re = \frac{10}{n^{2.3}} \cdot \frac{v \sqrt{U}}{\mu} \rho, \quad (13-9)$$

式中 ρ ——液体密度。

此时， Re 的极限值（超过该值时达西定律便不能采用）如试验中所确定的那样，为

$$Re_{\text{крит}} = 1 - 12. \quad (13-10)$$

М. Д. 米里翁西科夫提出了另一个雷诺数表示式[И. А. 查尔尼, 1948]

$$Re = \frac{v\rho}{n\mu} \sqrt{\frac{C}{n}}, \quad (13-11)$$

它的极限值等于:

$$Re_{\text{крит}} = 0.022 - 0.290. \quad (13-12)$$

在公式(13-9)和(13-11)中: v ——厘米/秒, C ——厘米², μ ——泊, ρ ——克/厘米³。

(13-10)和(13-12)两式表明, 要给出渗透时准确的雷诺数极限值, 实际上是很难的。这是因为当雷诺数增大时, 渗透定律与直线渗流定律的二曲线从直线转为曲线的过程进行得很平稳(很难确定出曲线处直线部分的界限), 因而要指出(13-9)或(13-11)中哪一个公式较好也是困难的。

在达西定律应用范围以外, 最正确的公式要算是普罗尼公式[В. И. 阿拉文和 С. Н. 努美洛夫, 1955, М. А. 维里卡诺夫, 1945]

$$I = Av + Bv^2, \quad (13-13)$$

但是也可利用斯姆列克尔公式

$$I = C_c v^m. \quad (13-14)$$

m ——系数, 变化范围在1—2之间。

在达西定律应用范围之内, 公式(13-13)中

$$B = 0.$$

当 Re 值很大时, 公式(13-13)中 $A = 0$, 而公式(13-14)中 $m = 2$, 即得出下式:

$$v = K_K I^{\frac{1}{2}}. \quad (13-15)$$

在公式(13-13), (13-14)和(13-15)中, A, B, C_c 和 K_K 均为说明岩石和液体渗透性能的系数。

公式(13-15)叫做 A. A. 克拉斯诺波里斯基定律。他是在1912

年首先确定了渗透平方定律的。

应该指出，虽然达西定律有一定的应用范围，但它是渗透的基本定律。

这个定律适用于由不同成份和地质年代的沉积岩、变质岩和火成岩形成的大多数承压和非承压含水层的地下水的运动。

第十四章 地下水实际流速的确定

在第十三章中已經指出，地下水的实际（真正）流速 v' 与滲流速度 v 之間有一定的关系

$$v' = \frac{v}{n}, \quad (14-1)$$

式中 v' ——松散岩层孔隙內和裂隙发育的岩层內的地下水实际（真正）平均流速；

v ——滲流速度；

n ——孔隙率。

v' 的数值是根据构成地下水流的流束横断面，沿着运动方向不断改变的这一前提确定的；这就可以說明实际平均流速，正如 t 時間內液体质点流过两点間距离 L 的关系一样，即

$$v' = \frac{L}{t}. \quad (14-2)$$

由于岩石孔隙和裂隙的大小、物理特征、粗糙程度，以及水头压力的作用，产生了地下水的运动——这种运动，如上所述，可能是层流，也可能是紊流。

确定地下水实际平均流速，就是将某种指示剂放入試驗钻孔（投放孔）或試坑內，而在观测井孔內确定指示剂。根据指示剂通过两点間的时间 and 距离就能确定地下水的实际平均流速。

同时，由于采用的指示剂和在水內发现指示剂的方法不同，也就有各种不同的方法来确定流速，应用最广的方法是化学法、电解法和比色法。

物理学上的最新成就，使我們有可能采取利用許多常見元素的一些放射性同位素的方法来确定地下水的流速。但是这种方法尚未得到广泛运用。

精确度不同的化学法和电解法，使我们能在确定指示剂浓度逐渐增加值的同时，确定观测井孔内盐份的浓度。比色法只能近似地判断指示剂浓度，它主要是指出指示剂（染色物质）在观测井孔内的出现情况。

指示剂方法不仅可用以确定地下水的天然流速，而且还可以确定钻孔抽水时期所产生的人为流速。在后一种情况下确定实际流速具有一定的优点。因为在抽水时期地下水流速增大，从而缩短了观测延续时间；此外，还易于确定流向，因指示剂由于径向运动而始终是由投放点流向抽水孔。

第 1 节 确定地下水流速的工作项目和内容

为了正确地布置确定地下水流速的钻孔，首先必须要确定地下水的埋藏和运动要素。

如果研究地段内没有地下水等水位线图，则地下水流向要根据位于三角形顶点的三个钻孔内的水位确定，如图 14-1 所示。

三角形顶点之间的距离应该等于 50—100 米，这要看地区的地形和所进行试验地段的大小而定。

以图 14-1 为例，钻孔 1、2、3 的间距为 50 米，相应各孔内地下水位标高分别为 22.30；22.70；22.90。由于钻孔 1 和 3 内水位标高差最大，将二者间距划分成几等分（在本例中分成三等分），同时也把钻孔中水位标高差分为相同的部份，即 $(22.90 - 22.30) : 3 = 0.6 : 3 = 0.2$ 。

于是，现在可先确定地下水面的坡度： $i = 0.6 : 50 = 0.012$ ，其次再确定它们之间的地下水位标高 22.50 和 22.70 的位置。现将 E 点与钻孔 2 内水位标高 22.70 相连接，便得出标高为 22.70 的等水位线。平行于该线引出其他几条等水位线，如图 14-1 所示。地下水流向与地下水等水位线相垂直。

在由钻孔 1、2、3 组成的三角形内，布置 4 个钻孔 A、B、C、D，在这些钻孔内观测地下水流速。此时，钻孔 A 和 B，如图

14-2 所示,沿地下水的流向布置,辅助钻孔 C 和 D 按垂直地下水的流向布置,使 AC 线和 AD 线分别与 AB 线成 $15-20^\circ$ 角。钻孔 A 为投放孔, B 、 C 和 D 为观测孔。

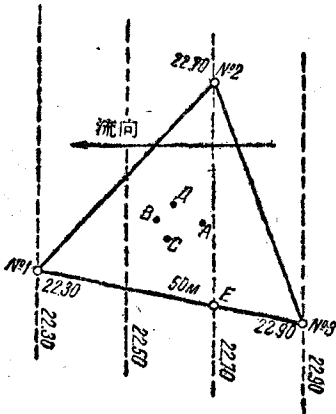


图 14-1 根据三个钻孔 1、2、3 确定地下水流向

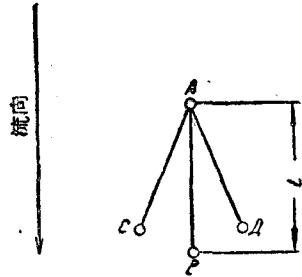


图 14-2 确定地下水流速时投放孔 A 与观测孔 B 、 C 、 D 的布置

投放孔与观测孔之间的距离 L 建议采用下列数值:

1. 在透水慢而弱的岩层: 亚砂土、亚粘土和其他粘性土内, 由于孔隙小, 实际上不可能确定实际流速;
2. 在透水性较好的细粒砂和中粒砂层内——1—2米;
3. 在容易透水的岩层——粗粒砂、砾石、卵石内——2—5米;
4. 在透水性好的裂隙岩层内——5—10米;
5. 在喀斯特化岩层内——不小于 10 米。

最后选定的钻孔间距离 L 与试验的延续时间有关

$$t = \frac{L}{v'}$$

式中 v' 是坡度为 $0.001-0.01$ 时实际平均流速的概算值, 该值列于表 14-1 内。

观测孔的开孔直径根据孔深确定; 在松散岩层中, 应该安置直径不小于 $60/50$ 毫米的过滤器。投放孔的终孔直径应该大于 100

表 14-1

岩 石 名 称	v' , 米/昼夜
中粒砂	0.5—1.0
粗粒砂和砾石	1.5—3.0
裂隙岩层	3.0—20.0
喀斯特化岩层	10.0—50.0

毫米，并且保证能将灌注液体用的特制圆筒放入其内。

在安放过滤器以前，应将用套管加固的钻孔内的岩屑清洗干净，过滤器安置好以后，应该进行试抽。

观测工作的顺序和内容如下：测量水位和水温，将指示剂放入投放孔内，从观测孔内取水样来确定其浓度和进行水样分析。在上述工作过程中应同时进行相应的编录工作。

在化学法和比色法中，必须取水样。在整个试验期间内（从钻孔装备好以后开始），每隔半小时观测一次水位。在试验前后用迟缓温度计测水温两次，其精确度达 0.1°C 。

第 2 节 确定地下水实际流速的主要方法

化 学 法

化学法就是通过化学分析，确定观测孔内是否有盐份存在的方法；当含水层埋藏不深时，可以采用这个方法。最常用的指示剂是氯化钠——食盐；此外，也可采用氯化钙和氯化铵。建议采用的这些物质投剂量列于表 14-2 内。

往投放孔内放入液体的方法有两种。

第一种方法是将底部用锥形活门封闭的圆筒放入钻孔内。如图 14-3 所示，牵引锥体的绳索穿过圆筒的上部，放圆筒的第二条绳索就固接在圆筒上。将第二条绳索（因而圆筒也就）固定在—

表 14-2

指示剂名称	数量, 公斤	投放孔与观测孔的间距, 米
氯化钠	10—15	>5
氯化钙	5—10	3—5
氯化钡	3—5	<3

定深度上, 松开第一条绳索, 因而圆锥体下沉, 液体便由筒内溢出而进入钻孔。

第二种方法是将带两个孔的圆筒用绳索放入, 一个是底孔, 液体从圆筒内经过该孔进入钻孔, 上面的孔与橡皮管相连, 橡皮管的上端露于地面上。橡皮管处连接一漏斗, 可以把液体注入漏斗内, 这样就把液体送进钻孔。利用绳索上下移动圆筒, 便能将液体注入钻孔内预定的标高处。钻孔内的液体应该仔细搅拌。

用不大于 50 厘米³ 的取样器, 从观测孔内提取水样。用滴定法确定含氯量。有指示剂——铬酸钾时, 用硝酸银液体滴定水样。氯沉淀后剩余的 AgNO_3 溶液与铬酸钾反应。此时, 水样变成棕红色; 如果在摇晃时颜色不褪, 则测定工作便可结束。

溶液是由 4 克的 AgNO_3 在 1 升的蒸馏水中溶解而制成的; 指示剂是 10% 浓度的 K_2CrO_4 溶液。为表明水样中氯离子的浓度, 不需知道氯含量的绝对值, 只知道用于分析的溶液消耗量 (厘米³) 就够了。

必须在把盐溶液放入投放孔以前完成第一次测定; 在盐份浓度达到最大值以后停止观测。



图 14-3 将溶液放入钻孔的圆筒