

史 长 春

水利电力出版社

水文地质勘察

下 册



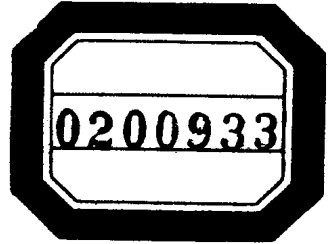
006494 水利部信息所

P641.72

水文地质勘察

下 册

史 长 春



水利电力出版社

内 容 提 要

全书共分上、下两册，主要是系统地论述水文地质勘察工作的基本原理、方法，并结合实例介绍各项工作程序和应用过程以及成果整理的内容和方法。上册已于1983年2月出版。下册主要内容是介绍各种不同工作目的的水质评价和污染地下水的计算和评价；利用抽水试验和地下水位动态观测资料两种不同计算水文地质参数的方法；介绍地下水资源评价和地下水资源管理的数学模型，以及水文地质勘察成果的整理、图件编制和水文地质勘察报告书的编写等。

本书可供从事水文地质、农田水利、城市供水工作的科技人员阅读，也可供水文地质、农田水利专业大专院校师生参考。

LW69 358

水 文 地 质 勘 察

下 册

史 长 春

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 22.25印张 594千字

1991年4月第一版 1991年4月北京第一次印刷

印数0001—1800册

ISBN 7-120-01252-5/TV·427

定价17.30元

目 录

第七章 地下水水质及其污染	1
第一节 地下水水质分析成果的整理.....	1
第二节 地下水物理性质化学成分及其分类.....	14
第三节 地下水水质评价.....	38
第四节 地下水污染及其分类.....	65
第五节 地下水污染程度评价.....	75
第六节 污染地下水水文地质计算.....	86
第八章 水文地质参数计算	106
第一节 利用稳定井流抽水试验计算水文地质参数	106
第二节 利用非稳定井流理论计算水文地质参数	134
第三节 利用地下水动态长期观测资料计算水文地质参数	195
第四节 与渗透系数有关的水文地质参数计算	363
第九章 地下水资源评价	379
第一节 地下水资源评价的基本问题	379
第二节 利用解析法评价地下水资源	395
第三节 应用数值法评价地下水资源	450
第四节 应用数理统计法评价地下水资源	522
第五节 地下水资源评价的电网模拟方法	566
第六节 地下水资源管理模型	577
第十章 水文地质编图与勘察报告书的编写	585
第一节 水文地质图的基本概念及其分类	585
第二节 基础图件的编制	588
第三节 综合水文地质图的编制	617
第四节 专门水文地质图的编制	656

第五节 水文地质勘察报告书的编写	688
参考文献	705
后记	707

第七章 地下水水质及其污染

地下水水质的研究和评价是水文地质勘察的重要内容之一，是地下水资源评价工作的组成部分，同时也是环境水文地质研究的重要课题。水质评价的主要依据是水的物理性质、化学成分和微生物存在状况。通过野外调查，采取水样，经过实验分析手段，取得地下水的化学组分资料，再根据生活饮用水、灌溉用水及工业用水等水质标准进行水质分析对比综合评价。

由于现代工业、农业的发展，水的环境受到人类生产活动的污染愈加强烈，在进行水资源评价时，必须重视水质的研究，特别是研究水的污染和水中某些有毒元素和微量元素的迁移、富集规律，这对人类生活，农作物的生长，地方病防治和找矿等，都有着非常密切的关系。因此，地下水水质分析成果是地下水水质评价不可缺少的基础资料，也是研究环境地质与水文地质条件、地下水的形成、补给来源、地热开发、利用和水化学找矿等十分重要的参考资料。

第一节 地下水水质分析成果的整理

一、水质分析成果的计量单位和换算

在水文地质专业书籍中，水质分析成果计量单位是经常遇到的，但以往的书中多采用传统的计量单位，如毫克当量。为了统一和推广1987年国家公布的国际计量单位，现将常用水质分析成果计量单位及其换算介绍如下：

- (1) 水中含有某物质的数量计量单位(表7-1)
- (2) 重量的比率(百分比)表示方法(表7-2)

表 7-1

水中含有某物质数量表示单位

单位体积的重量	kg/m ³	g/L	mg/L	μg/L
单位重量的重量	kg/t	g/kg	mg/kg	μg/kg
单位体积的体积	L/m ³	mL/L		
单位重量的体积	L/t	mL/kg		

表 7-2

重量比率表

计算单位		计算公式	当溶液很稀, 其比重接近于1时, 重量比相当于
比率	符号		
百分率	%	溶质的克数/100毫克溶液×1/比重	g/100mL
千分率	‰	溶质的克数/溶液的升数×1/比重	g/L
百万分率	ppm	溶液毫克数/溶液的升数×1/比重	mg/L
十亿分率	ppb	溶液的微克数/溶液的升数×1/比重	μg/L ^①
万亿分率	ppt	溶液的毫微克数/溶液的升数×1/比重	pg/L
毫克当量每升	epm	溶液的毫克当量数/溶液的升数×1/比重	mg当量/L ^②

① ppb是十亿分单位, 在英语中 ppb 表示 10^{-9} g, ppt表示 10^{-12} , 常用ppm= 10^{-6} g。

② epm将不再使用, 为了对比将其列出。

(3) 单质或化合物的当量计算

$$\text{当量} = \frac{\text{原子量}}{\text{化合价}} = \frac{\text{酸的分子量}}{\text{酸中被置换的氢原子数}}$$

$$= \frac{\text{碱的原子量}}{\text{碱中氢氧根数目}} = \frac{\text{盐的分子量}}{\text{盐中金属的(原子数} \times \text{价数)}}$$

$$1 \text{ 升水中某离子的毫克当量数} = \frac{1 \text{ 升水中该离子毫克数}}{\text{该离子的当量}}$$

主要离子的毫克当量数与毫克数换算 (表7-3)

例如: 将1.41毫克当量 (me) 的 Ca^{2+} 换算成 ppm 来表示,

即

$$\text{Ca}^{2+} \text{ 的当量 } E_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{40.08 \text{ (原子量)}}{2 \text{ (化合价)}} = 20.04$$

则

$$1.41 \text{ me}(\text{Ca}^{2+}) \times 20.04 = 28.3 \text{ ppm}(\text{Ca}^{2+})$$

表 7-3 主要离子的毫克当量数与毫克数换算表

毫克 毫克当量	离子								
	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻	HSiO ₃ ⁻	CaO
1	30.005	61.018	35.457	48.03	62.008	46.000	31.660	77.070	28

毫克 毫克当量	离子								
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺
1	20.040	12.160	27.465	27.925	18.167	8.990	22.997	39.096	1.008

表 7-4 计算单位换算系数表^①

	mg/L	度(德国度)	mg当量/L
mg/L	1	2.8/E	1/E
度	E/2.8	1	1/2.8
mg当量/L	E	2.8	1

① 本书中的毫克当量/升，可按此表换算，E表示欲换算的物质的当量数。目前在法定单位中尚未定出“毫克当量”的表示法之前，暂用mg当量示之。

为便于计算，将其换算列于表7-4。

(4) 水中硬度的标定及其换算(表7-5)

例如：已知1德国度等于10mgCaO，折换成CaCO₃，即

$$\text{CaCO}_3 = \frac{W \times 50}{E} \text{ppm}$$

$$\text{则：1度} = \frac{10 \times 50}{28} = 17.9 \text{ppmCaCO}_3$$

(5) 浓度、密度表示法

质量浓度：kg/L, mg/L; 质量密度：kg/m³, g/cm³; 物质量浓度：mol/m³, mol/L。

表 7-5

水中硬度的标定及其换算

	mg当量/L	1 德国标度	1 法国标度
硬度标定		CaO=10mg/L	CaCO ₃ =10mg/L
1mg当量/L	1	2.804	5.005
1mg/L (以CaO计)	0.0357	0.1	0.18

	1 英国标度	1 美洲标度	以CaO计 (mg/L)
硬度标定	CaCO ₃ =10mg/0.7L	CaCO ₃ =1mg/L	
1mg当量/L	3.511	50.045	28
1mg/L (以CaO计)	0.125	1.8	1

二、水质分析成果表示法

(一) 分子式表示法

单个水样的化学特性可按以下形式的分子式(库尔洛夫式)表示:

微量元素含量(g/L)、气体含量(g/L)、总矿化度(g/L)

$$\frac{\text{各阴离子含量 (mg当量百分数)}}{\text{各阳离子含量 (mg当量百分数)}} \text{水温 (T}^\circ\text{C)}.$$

式中阴阳离子均依含量等递减次序排列,各种成分含量一律标在该成分符号的右下角,各元素的原子数均移至上角。

例如: $\text{Br}_{0.008}\text{H}^+\text{S}_{0.012}\text{M}_{2.5} \frac{\text{HCO}_{19}^{\ominus}, \text{SO}_{19}^{\ominus}, \text{Cl}_{12}}{\text{Ca}_{59}, \text{Mg}_{25}, \text{Na}_{16}} \text{T}20^\circ\text{C}$

每个离子是标记大于1%mg当量百分数,但离子浓度大于25%的主要离子方参与水化学类型的命名。

(二) 图形表示法

采用不同的图形表示水中主要离子成分及其相对含量以及总

矿化度, pH值等。目前应用最广的是小柱状图和圆形指示灯图(图7-1)或采用水化学玫瑰图图示(图7-2)。

(三) 三线图表示法

三线图是由一个菱形与一对三角形排列成的一个大三角形组成。由于三角形图解中阴、阳离子是分不开的, 不便于进行水化学分类。而这缺点又在上方的菱形图解中获得弥补, 因而通过三线图可归

纳出某地水文地球化学的主要规律。三线图是较完整的图解方法, 目前正被国内外广泛采用。

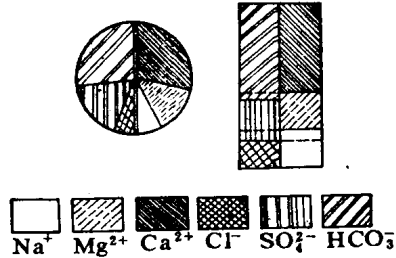


图 7-1 图形指示灯图和柱状图

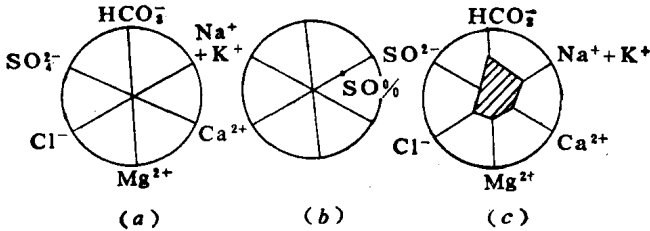


图 7-2 水化学玫瑰图示意图

(a)在圆周上点绘六个主要离子; (b)以圆半径表示各离子含量百分数;
(c)将各离子含量百分数连线构成玫瑰图

三线图的作法是各以三组主要的阳离子(Ca、Mg、Na+K)和阴离子(Cl、SO₄、HCO₃+CO₃)的毫克当量每升百分数来表示。图7-3中各域的边长均按100等分读数, 在左下方的等腰三角形域, 三个主要阳离子反应值的百分数按三线坐标用一个单点表示。在右下方的等腰三角形域, 阴离子也用同样方法表示。这样, 图上所求的二单点表示了地下水中某些溶解物质的相对浓度, 然后通过这两个单点平行三角形外边作射线, 于菱形域内相

交于一点。这一点通常可以说明地下水总的化学性质并用阴、阳离子对表示地下水的相对成分(图7-3a)。因此,三线图表示地下水性质,目的是化学成分的相对浓度而不是绝对浓度。

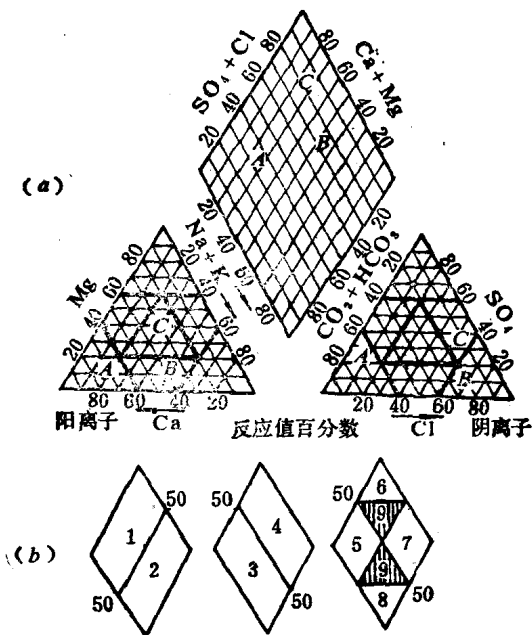


图 7-3 三线图

(a)三线图; (b)三线图菱形域分区

在三线图上把数据点到菱形域的一定位置以后就可进行解释。即把菱形域划分九个区,见图7-3b, 1区碱土金属超过碱金属; 2区碱金属超过碱土金属; 3区弱酸超过强酸; 4区强酸超过弱酸; 5区碳酸硬度(次生碱度)超过50%,地下水化学性质以碱土金属和弱酸为主; 6区非碳酸硬度(次生盐度)超过50%; 7区非碳酸碱金属(原生盐度)超过50%,地下水化学性质以碱金属和强酸为主,海水和许多卤水均位于该区右侧顶点附近; 8区碳酸碱金属(原生碱度)超过50%,这里就地下水相同矿化度的水而言是些异常软的水; 9区没有一个阴、阳离子超过

50%。

(四) 用概率格纸图表示法

从统计学观点出发,把某研究区地下水中A离子和B离子含量(毫克当量每升)总体的概率分布曲线绘制在同一张概率坐标纸上,并假设其中B离子含量的样本标准差大于A离子含量的样本标准差,两曲线交点所对应的累积概率值为 P ,则地下水总体中A离子含量大于B离子含量的概率即为 P ,A离子含量小于B离子含量的概率即为 $1-P$,或两种情况在研究区出现的面积之比可近似认为 P , $1-P$ 。根据这一简单原理,若将研究区地下水总体中 $K^+ + Na^+$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ 、 SO_4^{2-} 各离子含量(毫克当量每升)总体的概率分布曲线都绘制在同一张概率格纸上,并分别读出各阴离子含量概率分布曲线间和各阳离子含量概率分布曲线间的交点所对应的累积概率值,即可得到研究区地下水总体中不同水化学类型的概率分布。

例如:根据某地地下水的化学分析资料,对其水化学类型的形成方向及概率分布的确定作一具体计算。水化学分析资料是从本区井水化学分析资料中随机抽取的,取样水井的空间分布基本均匀。为了避免对各阴、阳离子含量总体逐一作分布函数类型的繁琐检验,这里首先用 χ^2 检验确定了浅部中新统地下水离子总量总体是服从平方根正态分布(表7-6)。然后再用 F 检验确定了水中离子总量平方根值和各阴、阳离子含量平方根值均成线性正相关(表7-7)。从而可以认为本区浅部地下水中各阴、阳离子含量总体是服从平方根正态分布。最后根据样本统计参数(各阴阳离子平方根值)的样本平均值 $\sqrt{\bar{x}}$ 及样本标准差 $\sigma_{\sqrt{x}}$ 和分布函数在概率纸上作出所有阴阳离子含量的概率分布曲线。根据曲线交点所划分的概率区段以及离子含量值的高低,即能得到不同水化学类型在本区浅部地下水中的概率分布和水化学的形成方向(图7-4)。

上述方法不仅将区域地下水总体中的不同水化学类型用概率分布的形式定量描绘在一张概率格纸上,而且建立了区域地下水

表 7-6 地下水离子总量总体服从平方根正态分布的 χ^2 检验

假设离子总量总体服从平方根正态分布		离子总量平方根值的样本平均值 $\sqrt{\bar{S}}$		离子总量平方根值的样本标准差 $\sigma_{\sqrt{F}}$		4.96		样本容积		103	
		23.28								≥ 28	
离子总量平方根值的不相交分组区间 $\sqrt{\text{mg/L}}$		< 18		(18.2)		(20.22)		(24.26)		(26.28)	
在随机样本中出现的个数或频数 μ_i		10		14		13		19		10	
根据平方根正态分布函数式: $\phi(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\sqrt{S}-\sqrt{S}}{\sigma\sqrt{S}}} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$ 计算的理论频率 r_i		0.14		0.11		0.14		0.15		0.17	
$(\mu_i - nr_i)^2 / nr_i$		1.35		0.63		0.14		0.82		4.14	
统计量: $u = \sum_{i=1}^n [(\mu_i - nr_i)^2 / nr_i] = 15.58$											
置信度 $\alpha = 0.01$ 的临界值: $u_{\alpha, n-1}(k-1) = u_{0.01}(102) = 16.812$											
因为 $u = 15.58 < u_{\alpha, n-1}(k-1) = u_{0.01}(102) = 16.812$, 所以假设 1 成立											

表 7-7 线性正相关的 F 检验统计表

统计项目	$\sqrt{\tau(K^+ + Na^+)}$	$\sqrt{\tau Ca^{++}}$	$\sqrt{\tau Mg^{++}}$	$\sqrt{\tau Cl^-}$	$\sqrt{\tau SO_4^{--}}$	$\sqrt{\tau CHCO_3 + CO_2}$
$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	2509					
$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	49	15	20	64	12	13
$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	291	99	115	345	91	88
线性相关系数 $r_{xy} = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}$	0.83	0.51	0.51	0.86	0.52	0.49
统计量 $F = \frac{S_{xy}^2 / S_{xx}}{(S_{yy} - S_{xy}^2 / S_{xx}) / (n-2)}$	224	36	36	286	36	31

注 因为所有的统计量 F 均大于临界值 $F_{0.01}(1, n-2) = F_{0.01}(1, 101) \approx 6.92$, 所以地下水离子总量平方根值和各阴阳离子含量平方根成线性正相关。

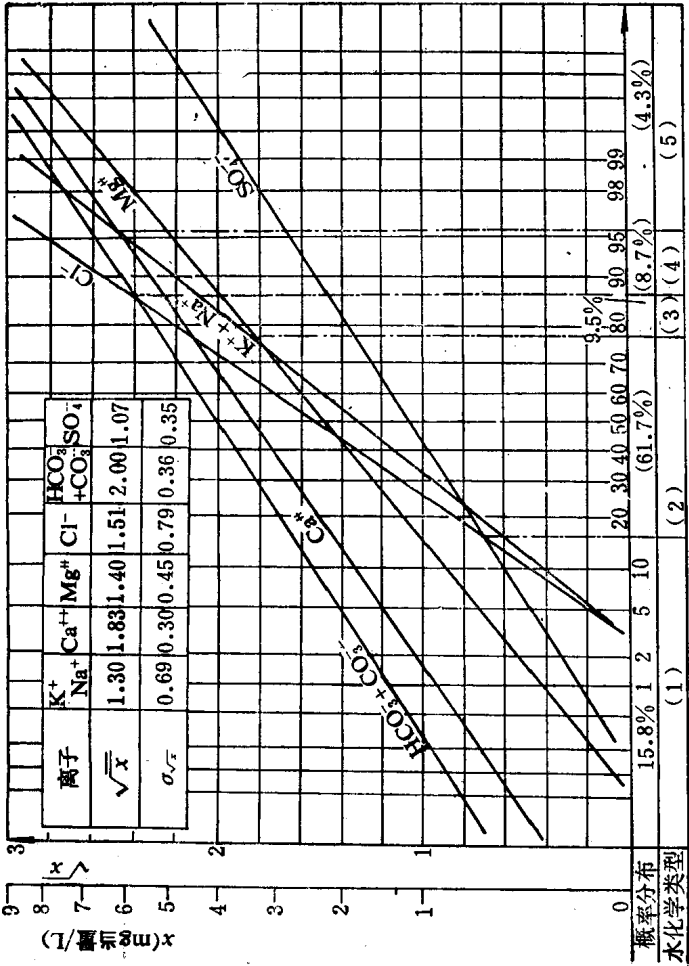


图 7-4 水化学成分概率分布图

(1) $rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl^- - rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$; (2) $rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$; (3) $rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} - rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++}$; (4) $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++}$; (5) $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} - rNa^+ > rCa^{++} > rMg^{++}$

总体中水化学类型的形成方向和各阴阳离子含量总体概率分布函数特征之间的内在联系。

在确定的区域水化学类型时，兼顾考虑含量（毫克当量每升）居第一，第二和第三位的各阴阳离子。

如果能定期制作这种水化学类型概率分布图，通过对比，不仅可以定量地了解区域地下水化学类型的动态演变，同时可以从提供中一些区域地下水是否受到人为污染的信息。如阴离子以 SO_4^{2-} 为主的水化学类型概率值随时间有增大的趋势，则表征着区域地下水正在受到工业排放物的污染。

（五）三维圆形图解法

三维圆形水化学成分图解表系由阴阳离子、矿化度组成，其表示方法如下：

1. 阴离子表示方法

将圆形图解表等分为15个区间，分别表示地下水的主要阴离子组分。各主要阴离子的编排顺序，是按水化学演变规律作为排列的依据，它们分别以重碳酸型水作为变化的起点，按顺、逆时针两个方向逐渐变至氯化物型水。

2. 阳离子表示方法

在每一种阴离子水型的区间中，均分三个小区间，表示水中所含（即离子含量大于10%）的离子（钙、镁、钠）占居含量首位的领域及占居第二、第三位含量的阳离子，分别用正方形、长方形和三角形三种符号表示。

3. 矿化度表示方法

在图解表中用不同半径的同心圆的线条表示矿化度值，如 <1 ， $1\sim3$ 、 $3\sim10$ 、 $10\sim35$ 、 $>35\text{g/L}$ 。矿化度值的确定，主要根据矿化阶段的差异，并结合水质评价标准进行划分，共分为五级（表7-8，图7-5）。

三维圆形水化学成分图解表的特点是：将水化学组分的三大要素（阴阳离子及矿化度），按地下水地球化学作用的主次位置进行设计，既突出了图解表的重点，又丰富了其内容。在反映地

