

三线图首先是由 piper 在 1944 年提出来的, 故又称 piper 三线图。该图各以三组主要的阳离子(Ca, Mg, Na+K)和阴离子(Cl, SO₄, HCO₃+CO₃)的每升毫克当量的百分数来表示。每图包括三个部分, 在左下方和右下方分别为二张等腰三角形域, 中间上方夹着一张菱形域(图 1), 每域的边长均按 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座标用一个单点表示。在右下方的等腰三角形域, 阴离子亦用同样方法表示。这样, 图上所作的二单点表示了地下水中某些溶解物质的相对浓度。然后通过这二个单点平行三角形外边作射线, 于菱形域内相交一点。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。因此, 三线图表示地下水性质, 用的是化学成分的相对浓度而不是绝对浓度。

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。piper (1953) 把菱形域分划九个区(图 2)即 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对超过 50%。

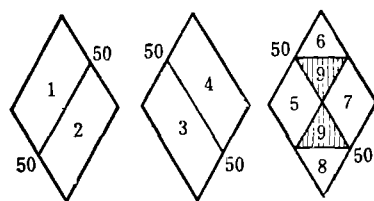


图 2 三线图菱形域分区 (据 piper)

在三线图解的基础上, 若按不同地质环境的条件, 配予其它一些图件的分析, 往往一些复杂的水文地质问题就能得到恰当的解释。反之, 如果只用三线图来分析问题, 显然是不够充分的。虽能把问题摆出来, 但仍不能深入理解。本文目的是介绍近些年来三

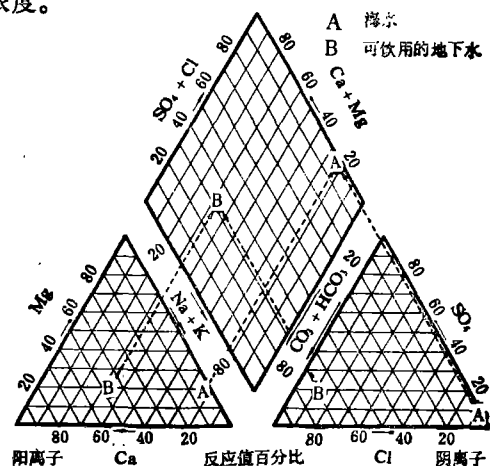


图 1 三线图型式 (据 piper)

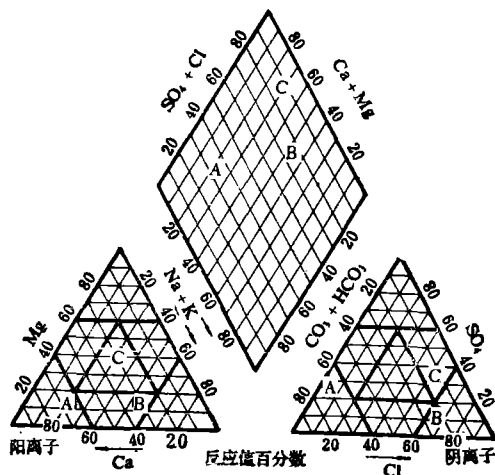


图 3 三线图上的水化学分类

线图的应用范畴以及笔者的一些经验。

一、地下水化学成分的分类与归类

地下水化学成分分类的传统方法是以水中存在的主要离子为基础，用阴、阳离子的毫克当量/升的百分数来划分。众所周知，尽管各家分类说法不一，甚至争论不休，实际上也只是录取主要离子的百分数取法不同而已。在各种分类中，按阴、阳离子的次序不同搭配（或者组合排列），随之就出现五花八门的类型。这种分类在三线图上的再现，就是按照不同百分数取法，把三线图划分为许多块条条，然后标上水样点，按所在位置读出水的化学类型。

例如取20%为界，超过此百分数的主要离子按大小顺序冠以名称。图3中A点表示重碳酸-钙型水，B点表示氯化物-钙、钠型水，C点表示氯化物、硫酸-钠、钙、镁型水。如果要取25%为界（舒卡列夫氏分类）的话，只要缩小一下中心的等腰三角形就可以了。因此三线图上的分类表示比流行的分子分母表示法求得要直观，样点容纳量大，而且还一目了然。

笔者认为分类犹如给人或物命名一般，表示某种区别，便于称呼，不致混淆，此外也就没有其它什么意义了。所以分类的百分数取法不必追求统一的标准。如想分得粗一些，那么百分数取得大一些；若要细分，则百分数取得小一些，完全可随所在地质环境而定。在六十年代，巴克等曾按三线图解提出水文化学相的概念。相的含义是以地质学

家所用相的定义来解释的，系指地质体或系统中不同性质但与成因有关的可比部分。水文化学相指的是在所定义的化学成分类别中描述阴阳离子浓度的分带，所以仍然不失为一种化学成分的分类（表1）。

在研究实际问题时，三线图用于水的化学成分归类是非常有意义的。因为地下水的化学成分是在一定温度和压力下，水与所在含水层的矿物之间化学反应的结果。所以由不同矿物构成的含水层中水的化学性质就存在差别，就是同一含水层中，因水的停留时间或迳流路径不同而表现出一定的变动范围或者分带性。

例如，山西省太原西山裂隙水大致可以归为四组（图4）。第一组中奥陶统碳酸盐岩裂隙岩溶水，分布在峙头、上兰、晋祠、平泉和西梁一带；第二组中奥陶统碳酸盐岩裂隙岩溶水，分布在交城覃村附近；第三组石炭统碎屑岩（煤系地层）裂隙水，全区性分布；第四组石炭统碎屑岩（煤系地层）裂隙水，分布在交城、晋祠断裂带附近。因为

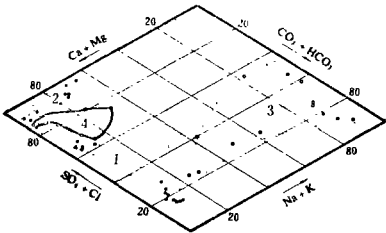


图4 太原西山东南部裂隙水分组
（见王怀颖 王瑞永，1982，太原西山裂隙地下水化学特征）

水文化学相的分类（据巴克） 表 1

阳 离 子	成分的百分数，毫克当量/升		阴 离 子	成分的百分数，毫克当量/升	
	Ca+Mg	Na+K		HCO ₃ +CO ₃	Cl+SO ₄
钙—镁	90~100	0<10	重碳酸	90~100	0<10
钙—钠	50~90	10<50	重碳酸-氯化物-硫酸	50~90	10<50
钠—钙	10~50	50<90	氯化物-硫酸-重碳酸	10~50	50<90
钠—钾	0~10	90~100	氯化物-硫酸	0~10	90~100

从区域地层来看,第四组水应该同第三组水一致,但是出现了异常。显然该组水受第一、二组水沿断裂带的顶托补给有关。福建马坑基岩裂隙水大致可以归为三组(图5)。第一组二迭统碳酸盐岩裂隙水,第二组二迭统碎屑岩裂隙水,第三组燕山期花岗岩裂隙水。因此,以不同含水层次为基础,通过三线图解可把区域地下水的化学成分进行归类,这是水文地球化学研究中的第一步。

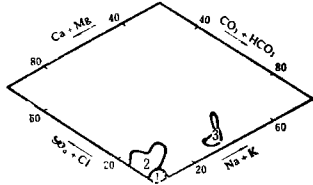


图5 福建马坑裂隙水分组
(见王瑞久 袁志梅, 1981, 福建马坑矿区水文地球化学)

二、地下水化学成分的演化

地下水的化学特征是矿物和水流机理之内在联系所造成的一种结果。所以一个含水层的矿物学特点和地下水地球化学特征是相互影响的,在统一系统中按照通常可以预测的模式作变化。换句话说,地下水的化学成分在三线图上的变动范围或者分带性是有规律可循的。汉肖和巴克(1979)根据近20年来在佛罗里达州和墨西哥尤卡坦地区对第三系碳酸盐岩的裂隙岩溶水研究,总结出一套碳酸盐岩环境中地下水的演化规律(图6)。

在图6上,地下水从补给区向下游流动过程中,由于白云石和高镁方解石被溶解,镁含量增加,而钙保持相对稳定。当石膏溶解时,硫酸根增加,重碳酸根保持相对稳定。地下水从补给区向受海侵含水层流动时的情况,在大量堆积蒸发矿物的地方,地下水由于蒸发矿物的不断溶解产生高浓度的卤水。由于深部海水入侵而引起地下水的混合。

根据上述规律,再看上节中提到的太原西山实例(图4)。第一组水自地下水上游流向下游,由于迳流过程中不断溶解微量石膏的原因,所以随迳流路径加长,停留时间

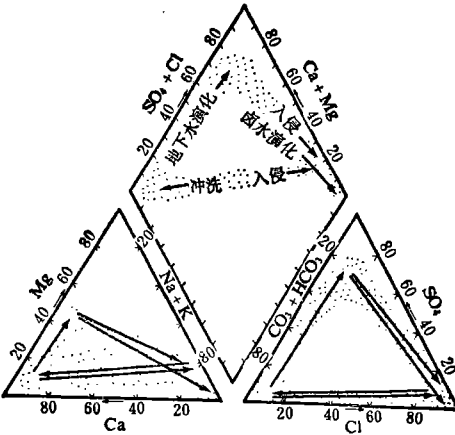


图6 碳酸盐含水层中地下水化学演化的反应路径(据汉肖、巴克)

增加,水的演化相当于稳定阶段。第二组水的分布,相当于溶解或混合的过程。关于这两条路径的区分,利用同位素氧-18测定数据很容易得出为溶解过程。因为地下水在交城一带进入碳酸盐岩的深埋区,径流不畅,水中石膏溶解已达饱和,故呈现溶解石盐的过程。

例如德克萨斯州爱德华特含水层为圣那托尼市及其附近地区的供水水源(图7)在硫化物边界的二侧,含水层物质和水质都是有区别的。在无硫化物带,钙是主要离子,并且大部分硫酸盐矿物在淡水循环带中已被溶解掉。在含硫化物带,主要矿物来源是蛋白石,同时还有胶结物和石膏。由于地层中硫酸盐矿物的溶解而引起塌陷,这二个带中都形成有角砾岩。按三线图解(图8)分析,爱德华特含水层的化学特征,在无硫化物带水样点都密集在一起,为灰岩含水层的补给带;而在含硫化物带,地下水化学成分出现二条几乎平行的演化路径,从低含量硫酸盐、无硫化物的水发展到高含量硫酸盐,含硫化物的水。其实,这种地下水是向着卤水在演化。

三、地下水化学成分的混合

地下水化学成分的演化应该包括混合作用,但混合又具备本身的一些特点,所以另

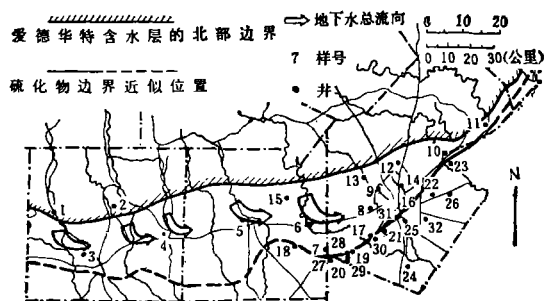


图 7 爱德华特含水层及取样点位置图
(据Rightmlre et al.)

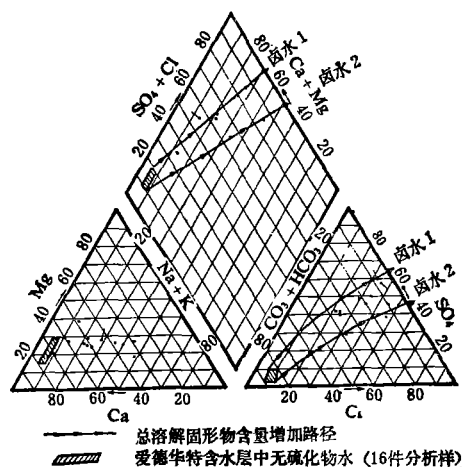


图 8 爱德华特含水层水的化学性质
(据Rightmlre et al.)

列一节加以叙述。混合在地下水流动中是一种常见现象，主要发生在断裂带以及断裂带附近的含水层，地下溶洞和暗河，天然露头诸如一些大泉，没有分层或止水不良的生产井孔周围等地方。

当二种不同水体进行保守混合（即不发生化学反应）时，以不同比例混合的水样点标到三线图上呈直线分布。直线之二端点代表不同水体，中间为混合样点。同时，通过混合样点与二端点的距离可以计算出不同水样的混合比例。但是从三线图上看，有时演化和保守混合的水样点都表现为直线分布。那么如何加以区别？对演化而言，该直线应指向某种溶解矿物。例如，图 6 上的地下水的演化过程就说明，主要以 Na 和 Cl 为主的

矿物。那么这就是石盐溶解过程。另外沿此线方向总矿化度不断增长，而保守混合就不受上述二条件所限。

例如福建龙岩盆地浮蔡地区低温热水的化学成分，在三线图上的分布如图 9 所示。热水产于二迭系碳酸盐岩。然而，该层中低温热水的化学成分可划为二组：第一组由 R 位置趋向 S 位置的分布，水温不断增高，矿化度不断降低；第二组由 R 位置趋向 G 位置的分布，水温不断增高，矿化度亦不断增长。经研究，第一组水样是砂岩中地下热水（S）和区域灰岩地下水（R）的保守混合；第二组水样是花岗岩中地下热水（G）和区域灰岩地下水（R）的保守混合。实际上，地下水中完全的保守混合是不存在的，只是为研究方便起见，才把以此作用为主（或占优势）的过程来称谓。所以在三线图上水样点也只能作近似直线的分布。

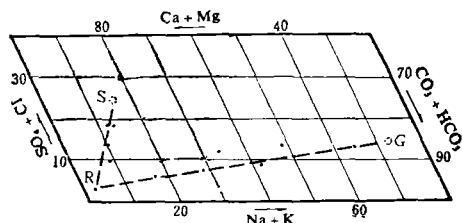


图 9 福建龙岩低温热水的化学性质
(王瑞久 袁志梅, 1981, 福建龙岩盆地地下水的深部循环)

若二种地下水混合在化学上发生反应，同时发生某些生成物的沉淀，则溶液中遗留生成物的水样点就不会落在反映二种混合水端点的相连直线上。例如加拿大萨喀彻温省爱斯坦文地区附近的密苏里河系的埋藏河谷中，存在一个巨厚的砂卵石含水层。河谷已下切到立文斯科拉格层，该层由弱固结的砂页岩夹煤系地层组成。根据 46 个生产井的水化学分析资料，水样可以分成四组：第一组水产于深度 50 英尺以内冰碛层中的井；第二组水产于深度 150~250 英尺之间冰碛层中的井；第三组水产于深度 300~450 英尺之间

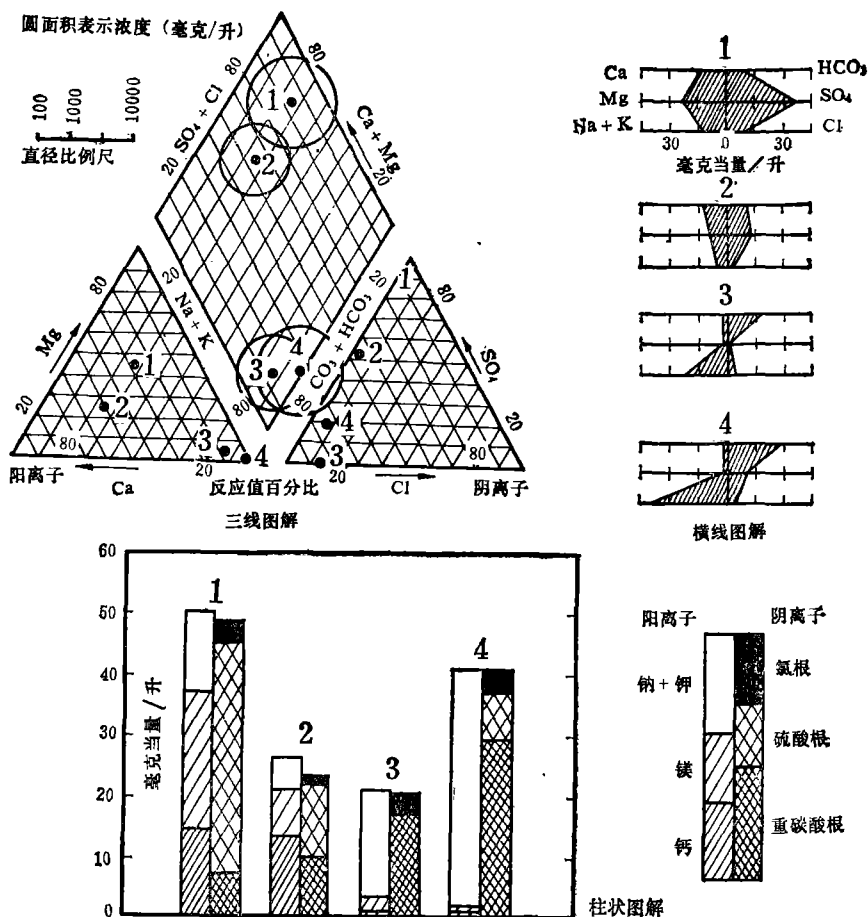


图 10 加拿大萨喀彻温省艾斯坦文地区的水分析图解 (据Walton)

(深埋藏的砂卵石层)冰碛层中的井;第四组水产于基岩(立文斯克拉格层)中的井。从化学成分上讲(图10),第一组和第二组水比较接近,但与第四组水不同,第三组水处在第一、二组和第四组之间。另第三组与第四组也有相似之处。所以在埋藏河谷中,深度在250~450英尺的砂卵石沉积物中的水,看上去象是立文斯克拉格层和上复冰碛层水的混合。但经过三线图解认为,深埋藏砂卵石层中的水并不是基岩和上复层水的简单保守混合,水的化学成分由于可能包括硫酸盐还原和离子交换在内的某些反应过程而呈现化学变化。当然,这种发生化学反应的混合,如再用氢、氧同位素进行分析,效果势必更好。

四、结语

由于地下水处于经久不息的流动状态,地下水的化学成分亦处在不断的演化之中,所以水文地球化学主要是研究具体地质环境中水与岩石矿物之间的化学反应过程,并用化学成分的时间及空间分布来识别地下水补给的时间与位置,排泄位置以及水在含水层中的滞留时间。通过三线图解,我们可以归纳出一些设想和需要研究的问题,从而把课题展开和深入。因此,三线图是水文地球化学研究中一项常用的基本工具。另外,笔者认为,水文地球化学研究均应以水的化学分析结果作为对比依据,而用水的化学类型作为对比依据是不确切的。

由于本文主要叙述三线图解,所以例子

航片判释在山间河谷松散层找水的应用

冶金部勘察科学技术研究所 刘光尧

根据我们从1974年以来对航片判释的接触和一些工程实践认为,航片判释方法是水文地质测绘或踏勘调查的有利和有力的辅助手段,能够使水文地质测绘或踏勘调查体现多快好省的原则。

1. 在山间河谷选择水源地

在某地为某矿寻找用水 3000吨/日。需水户在铁桥附近河流左岸的山包上。

根据航空象片组成的象对(参阅图1和图2),用立体镜可以看到,山间河谷A发育在砂页岩(查资料系侏罗系重庆群沙溪庙组 J_3^{1-2})地区。该河斜切着岩层的走向向北东流去,在铁桥下游约250米处与顺页岩层走向切出的B河汇合,然后折向北西流,在跌水坝下游与另一条支流C汇合。

根据沿河地貌来看,在铁桥以上,河床

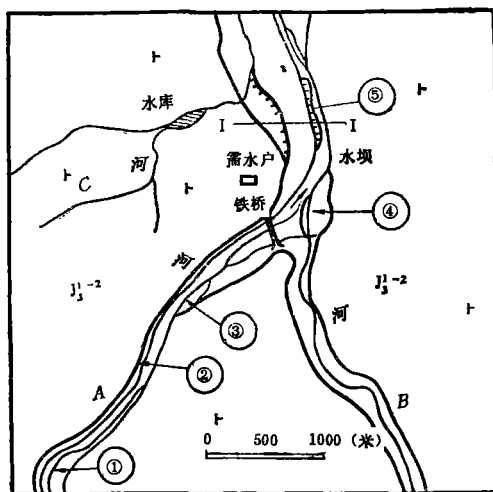


图2 某河谷航判地质图(据1:5万航片)

简单,只发育条状河漫滩阶地(白色色调),铁桥以下较为复杂。因为在铁桥下游有B、

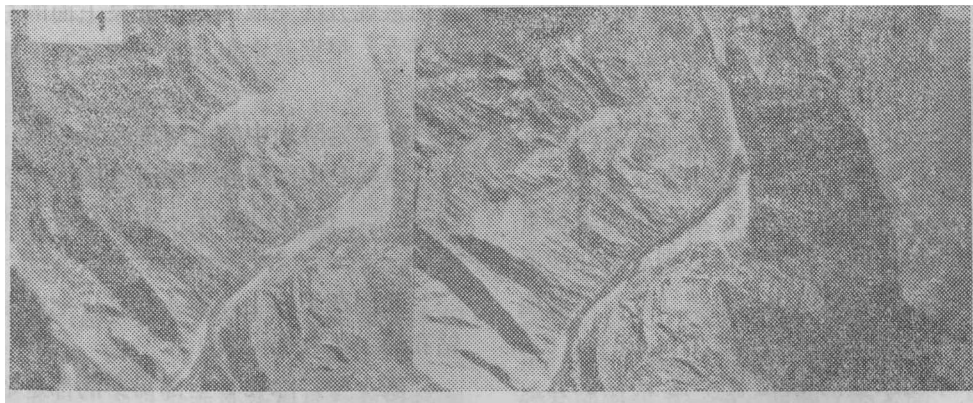


图1 某山间河谷立体象对(1:5万)

中其它图件或有关分析均已略去,详细请参阅所引文献。

参考文献

[1] Back, W., 1961, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 424-D

[2] Rightmire, C.T. et al., 1974, Isotope techniques in ground water hydrology, vol. 2, pp.191-206.

[3] Walton, W.C., 1970, Ground Water Resource Evaluation, pp.479-481.