

水文地球化学和地下水同位素特征 在确立地下水系统中的应用

——以浙江金华盆地红层地下水系为例

朱 远 峰

(地质矿产部岩溶地质研究所)

金华盆地位于浙江省中部,是浙江境内最大的内陆盆地——金衢盆地的一部分。但其本身仍是一封闭的向斜盆地。盆地南、北部边界主要为上侏罗统的火山碎屑岩构成的中低山,东西外延邻接鞋塘,白龙桥向斜。金华江横贯盆地中部,除沿金华江及主要支流乌义江等陆续有厚度小于10米的第四系松散层分布外,盆地内主要分布呈梳状丘岗的裸露红色碎屑岩。

红色碎屑岩层属上白垩统,谓之“衢江群”,详分为四段。(如附图1所示)第一段(K_1^1)以山麓坡洪积相的砂砾岩为主,其有效孔隙度为12—17%;第二段(K_1^2)主要为不同粒径的河流相砂岩,其有效孔隙度为8—14%,特征渗透率1.0毫达西左右;第三段(K_1^3)主要为湖相沉积物,多见泥、钙质粉砂岩、粉砂质泥岩,其有效孔隙度为6—8%,特征渗透率小于0.05毫达西;第四段(K_1^4)主要为河流相砂岩、粉砂岩等,偶含石膏颗粒,其有效孔隙度为13~18%,特征渗透率为1.0毫达西左右。自盆地边缘至中心,上

述碎屑岩颗粒由粗变细,各类岩石中均含有一定量的碳酸盐成分。经岩石物性参数实验测定,岩石薄片鉴定、电子显微镜扫描研究,红色碎屑岩中微孔隙发育,有效孔隙度大。微孔

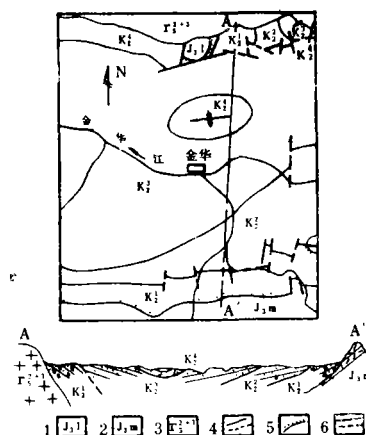


图1 浙江金华盆地地质略图(据浙江石油队资料)

Fig. 1 Schematic geologic map of Jinhua basin

1. 侏罗系上统劳村组
 2. 侏罗系上统磨石山组
 3. 燕山中晚期花岗岩
 4. (推测)地层界线
 5. 不整合界线
 6. (推测)断层
1. Upper Jurassic Laocun formation
 2. Upper Jurassic Moshishan formation
 3. late and middle Yenshan epoch granite
 4. (inferred) geologic boundary
 5. unconformity boundary
 6. (inferred) fault

隙成因类型主要为溶蚀孔隙。如图版1—6所示。有效孔隙度的大小主要决定于原始岩石的可溶盐成份和含量；此外还与水动力条件、埋深及岩石本身的结构、构造有关。岩溶作用形成的微孔隙为地下水的储集提供了巨大的空间。综合盆地内红层地下水露头的分布、井孔出水段特征，水位、水量及地下水运动特点，可将金华盆地红层地下水系详分为三个不同的地下水亚系统：浅部的局部地下水亚系，主要分布于地下水滞留带的区域地下水亚系，介于二者之间的过渡带地下水亚系。

地下水化学特征

当选用盆地内不同类型的地下水、地表水及雨水水样详分析资料168个，以19个水分析指数为变量作Q型聚类分析，盆地内红层地下水可归为三类（程序、谱系图从略）。

1. 与雨水、地表水和第四系松散层孔隙水联系极其密切的低矿化淡水。地下水水质类型及主要离子、固形物含量和雨水极其相似，系降水入渗的溶滤水。固形物含量低于200毫克/升，水质类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型。一般都含少量的 NO_2 、 NO_3 、 NH_4 离子，普遍受到不同程度的污染。pH值介于6.5—7.6之间，呈中性。归入此类的大多为局部地下水亚系的地下水。

2. 矿化度较高的微咸水。水样一般取自深度较大的次生石膏充填带，固形物含量800—2000毫克/升，水质类型为 $\text{SO}_4 - \text{Na}$ 型。这类水样均为区域地下水亚系的地下水。

3. 矿化度稍高的淡水。固形物含量一般为200—700毫克/升，水质类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型。水样一般取于次生石膏充填带上部的出水段，属过渡带地下水亚系地下水。

盆地内红层地下水主要化学成份三线图（图2）亦反映出三系统地下水的化学特征与Q型聚类分析结果相一致。地下水的主要补给源雨水及部分地表水，在水质类型菱形图上，点

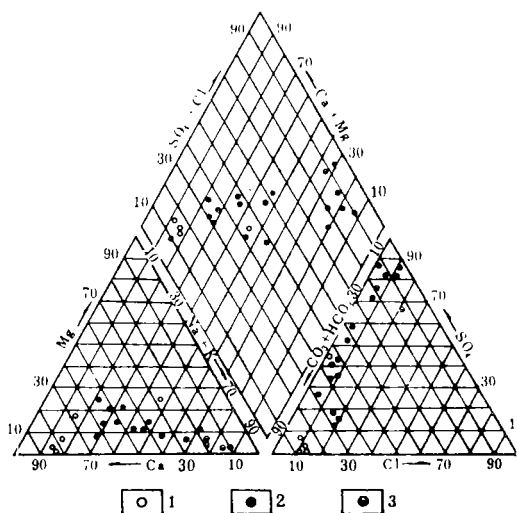


图2 金华盆地水化学组份三线图

Fig. 2 Trilinear diagram of hydrochemical composition in Jinhua basin

1. 雨水、局部地下水亚系低矿化淡水 2. 过渡带亚系淡水

3. 区域地下水亚系微咸水（毫克当量百分数）

1. precipitation or lower mineralized fresh water of the local groundwater subsystem

2. fresh water of the transitional zone subsystem

3. brackish water of the regional groundwater subsystem

的位置正处中央部位,为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na} + \text{K}$ 型。当雨水渗入至局部地下水亚系和区域地下水亚系补给区的围岩中,在常温常压下与地下水围岩产生一系列的物理化学作用,致使其向 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水演化,水样点则处于菱形图短对角线的左角区。当补给区域地下水亚系的渗入水,继续向深部迳流,与含有硫酸盐成份和钠元素的围岩充分作用,地下水便演化为 $\text{SO}_4 - \text{Na} + \text{K}$ 型。在菱形图上水样点偏移到短对角线的右角上方区。处于三线图上述二群点中间部位的大量水样点,则反映这二类地下水的混合。

用地下水主要离子成份含量的每升毫克当量数作单位构成的地下水化学组份正方图(图3),也清楚地再现三亚系统地下水组份含量的差异及过渡带地下水的混合形成。图3还表明盆地内红层地下水的 $\text{Na} + \text{K}$ 、 SO_4 含量每升毫克当量数大体呈斜率为1的正比关系。局部地下水亚系地下水沿对角线方向偏离雨水和地表水,即其主要演化方向为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水。区域地下水亚系地下水由于循环深度大,封闭条件好, HCO_3 离子的含量不随矿化度的增加而增大,基本固定在2.5毫克当量/升左右。

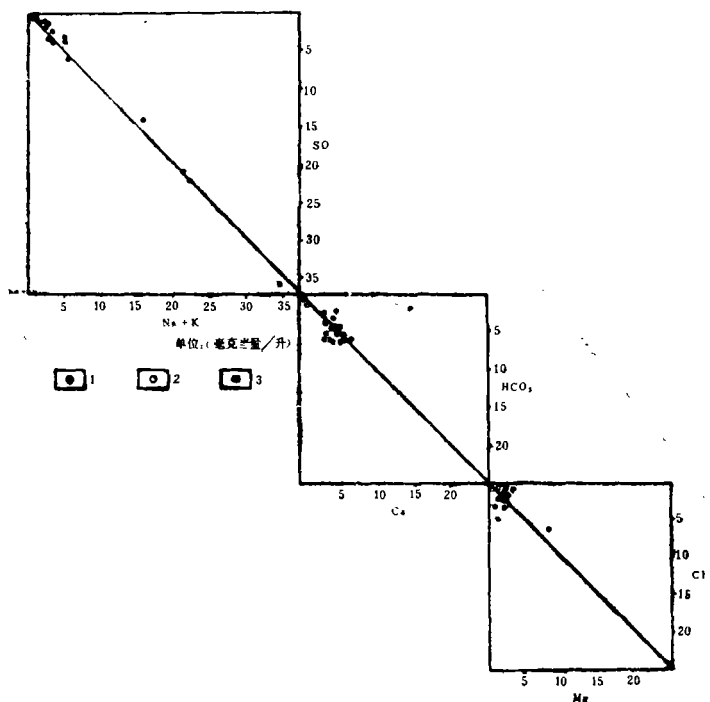


图3 金华盆地水化学组份正方图

Fig. 3 Square diagram of hydrochemical composition in Jinhua basin

1. 雨水、局部地下水亚系低矿化淡水 2. 过渡带亚系淡水 3. 区域地下水亚系微咸水
1. precipitation or lower mineralized fresh water of the local groundwater subsystem
2. fresh water of the transitional zone subsystem
3. brackish water of the regional groundwater subsystem

利用前述水样分析数据进行R型聚类分析,盆地内红层地下水可以 SO_4 、 Na 、固形物和 Ca 离子含量作特征指标。地下水的矿化程度(固形物含量)主要决定于地下水中 Na 、

SO₄离子的含量。这正反映大陆沉积碎屑岩地区地下水化学成份演化的特征^[1]。源于地下水围岩中原生石膏和芒硝溶解而来的SO₄离子含量决定了地下水中固形物的含量—即矿化程度。Na离子含量的增高,说明离子吸附交换作用的显著,即地下水具变质现象。

区域地下水亚系的Na、SO₄离子含量等值线图 and 过渡带亚系水质类型、Na离子含量等值线图和水化学剖面图(图从略)则表明自盆地边缘至中心有SO₄、Na离子和固形物含量逐渐增高的规律。水化学类型由边缘补给区的HCO₃—Ca或HCO₃—Ca·Na型水,向盆地中心递变为HCO₃—Ca·Na·Mg, HCO₃·SO₄—Na·Ca或SO₄—Na型水,则暗示着地下水系统的补给、迳流关系和地下水向盆地中心运动的方向。在纵剖面上因浅部是局部地下水亚系、过渡带亚系,深部为区域地下水亚系,因此也具有Na、SO₄离子、固形物含量随深度增加的规律。

地下水的同位素特征

研究区内同位素水样集中于1981年11月下旬采取。取样点分布图如图4示。取样期间平均日气温10℃左右,天气阴雨。

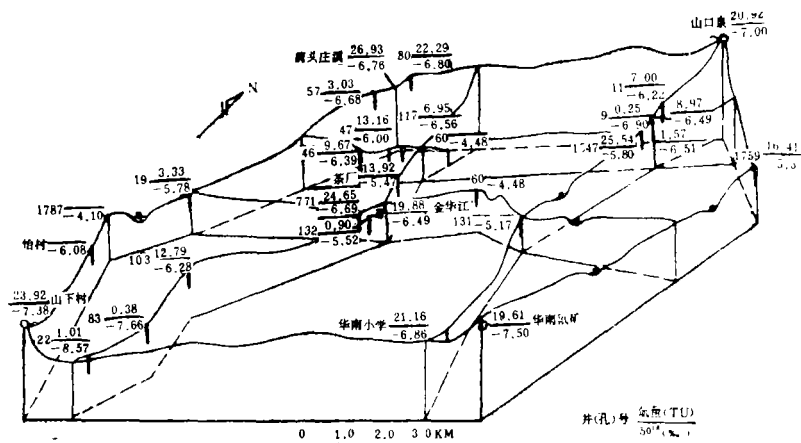


图4 金华盆地同位素水样点空间位置分布图

Fig. 4 Map showing distribution of isotopic water samples in Jinhua basin

前人认为,大气降水年平均 δO^{18} 值与年平均气温(T)之间存在如下关系:

$$\delta O^{18} = 0.7 \times T - 13.6^{[2]}$$

大气降水中的氡量随季节而变化,以春末夏初为高。地下水中氡量小于3 TU时,说明是1952年前补给的水体;含量3—20 TU,可能是1954年—1961年间渗入补给的水体;大于20 TU是比较近期补给的水体^[3]。

金华华南小学民井水样,根据地质条件、水动态分析,代表典型的局部地下水亚系地下水,其补给源只能是近期在含水介质中滞留时间较短的大气降水。水同位素值为低 δO^{18} 、高氡量反映是当年春末夏初降水补给的水体。盆地北部边缘山口泉水样也可作这样的推断解释。

处于北部边界断裂带上的金华水泥厂(80)孔,将其氡量、 δO^{18} 值与前头庄溪水及山泉水值对比,结合野外地质条件及其固形物含量高,说明其补给源应以山区基岩裂隙水补给为主。

22、83、11、9号孔出水段均位于区域地下水亚系。它们的固形物含量偏高,说明地下水在含水介质中滞留的时间较长;氡量之低,证明其滞留时间都在30年左右或更长。从 δO^{18} 值判断地下水的补给来源应来自山区的地表水、部分为降水的入渗或山区基岩裂隙水。

过渡带亚系(103、132、19、1759、茶厂、47号孔等)的水同位素特征,表现于 δO^{18} 值有自盆地边缘向中心逐渐升高的规律。反映其在迳流过程中,通过局部地下水亚系能不断地间接获得大气降水的补给。在河谷排泄区,因其上覆第四系,主要是过渡带亚系本身的地下水水平补给和迳流,因此氡量低。在能直接接受局部地下水亚系地下水补给的地区,一般都有较高的氡量,但低于河水,第四系孔隙水和局部地下水亚系的地下水含氡量。

图5为水样的氡(T)—氧18(δO^{18})值分布图。上部是氡量高, δO^{18} 值低于 -6.0% 的地表水、取样期间的雨水及局部地下水亚系的地下水,山区基岩裂隙水等。最下边分布的区域地下水亚系地下水,氡量低、 δO^{18} 也低于 -6.0% ,介于二者中间部分的则是过渡带的地下水。说明三个不同亚系统的地下水,在同位素特征上有较明显的区别。局部地下水亚系地下水与大气降水的联系最密切;区域地下水亚系的联系程度最差,过渡带地下水是二者的混合。

水样的 δO^{18} —固形物含量分布图6表明,水样的 δO^{18} 值均介于盆地内补给期大气降水 δO^{18} 值 -3.73% 与受山区基岩地下水补给的22孔地下水 δO^{18} 值 -8.57% 之间。盆地边缘地带的地下水 δO^{18} 值都低,一般位于左外侧;而固形物含量则以它们和大气降水、地表水的联系紧密程度分为两个群落。关系密切的局部地下水亚系水样位于最下方,联系不密切的区域地下水亚系水样则位于最上部,过渡带地下水偏移二者,向中右方散落。说明过渡带亚系地下水通过局部地下水系间接获得盆地内大气降水的补给,但又以具有较高的固形物含量区别于局部地下水亚系。因它还有区域地下水亚系的顶托补给和二系统地下水离子成份的均衡运移。

水样的氡—固形物含量分布图7也反映了三个不同地下水亚系统的差异。氡量高、固形物

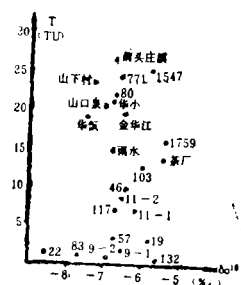


图5

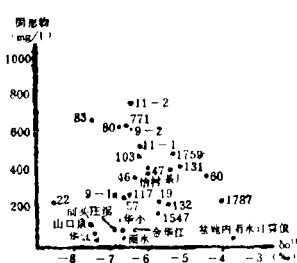


图6

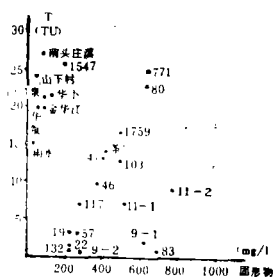


图7

图5 同位素水样氡量 δO^{18} 值分布图Fig. 5 Diagram showing tritium content and δO^{18} values of isotopic Water samples图6 水样 δO^{18} 值与固形物含量分布图Fig. 6 Diagram showing δO^{18} values and the total dissolved solids of groundwater samples

图7 水样氡量与固形物含量分布图

Fig. 7 Diagram showing tritium content and the total dissolved solids of groundwater samples

含量低的大气降水、地表水、局部地下水亚系的地下水水样点密集左上方,右下方则为氡量低、年龄老、固形物含量高的区域地下水亚系地下水。混合成因的过渡带地下水自然处于二者中间。19、132孔水样、低的氡量和固形物含量,系上覆第四系和局部地下水亚系联系较差的过渡带亚系地下水。

总之,水同位素的研究可得出这样的结论:局部地下水亚系地下水年龄最小,受近期降水补给, δO^{18} 值与系统所在的地理位置和补给期气温有关,变化较大。过渡带亚系地下水年龄难以判断,综合氡量、 δO^{18} 、固形物含量图解分析,它们应是局部、区域地下水亚系地下水的混合成因。区域地下水亚系地下水年龄都在30年以上,地下水补给源以近盆地边缘区大气降水入渗、山区地表水入渗为主,局部地段尚有山区基岩裂隙水的补给。

地下水化学成份的演化

盆地内红层地下水系水化学成份的演化图解模式如图8。

由于盆地内红层地下水的成因为溶滤水,因此,地下水化学成份的演化主要取决于补给源大气降水、围岩成份及地下水流经围岩的次序。

盆地内大气降水固形物含量22.2毫克/升,pH6.6,估算二氧化碳分压约为 $2 \times 10^{-2.98}$ 巴。地下水围岩为一复杂的内陆沉积岩系统。如前所述,自盆地边缘至中心,岩性由砾岩、砂砾岩变为砂岩、粉砂质泥岩等。各类岩石中都含有一定量的碳酸盐成份, K_2 浅湖、河流相沉积物和 K_2 岩石的胶结物中分散有石膏颗粒和少量芒硝。因此盆地内区域地下水亚系地下水与围岩接触次序类似R·A·Freeze J·A·Cherry建立的第一类理想层序:灰岩—石膏层—粘土岩^[1]。

当大气降水渗入到开放体系的局部地下水亚系和区域地下水亚系补给区时,因二氧化碳

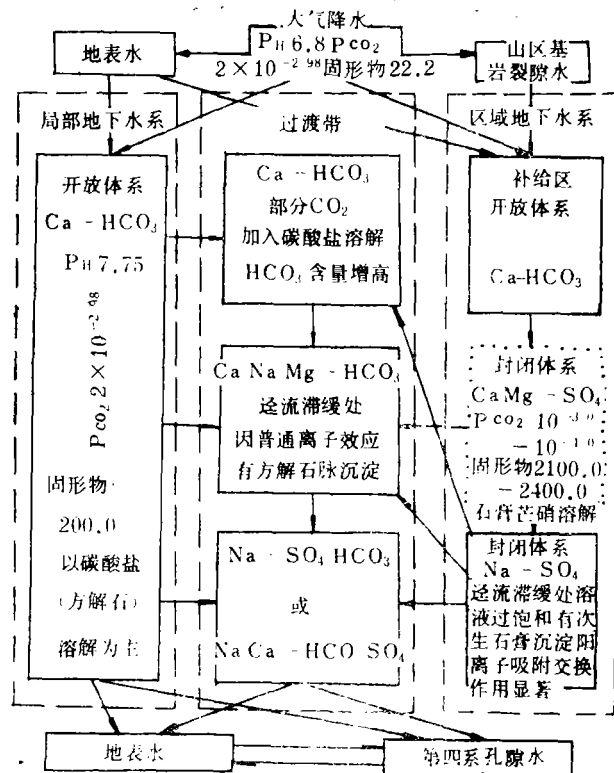


图8 金华盆地红层地下水系水化学演化模式示意图

Fig. 8 Schematic diagram showing evolutionary pattern of hydrochemical composition of the groundwater system in the red bed's of Jinhua basin

的补给源源不断, 如有足够多的碳酸盐(方解石等)与渗入水充分作用, 根据大气降水的初始值可估算理想条件下水中的Ca离子含量为38毫克/升, HCO_3^- 含量可达110毫克/升, pH值能增高至7.75, 固形物含量要小于200毫克/升(计算过程从略)。因局部地下水亚系地下水一般滞留时间较短, 岩层中碳酸盐含量日渐被溶解减少, 因此地下水的固形物, Ca、 HCO_3^- 离子含量都较上述理论计算值小, 但水化学类型仍为 HCO_3^- -Ca型。

区域地下水亚系的迳流区, 属封闭体系。当 HCO_3^- -Ca型淡水与含硫酸盐成份的围岩相遇时, 由于石膏(CaSO_4)、芒硝(Na_2SO_4)等硫酸盐可溶性好, 因此石膏大量溶解, Ca、 SO_4^{2-} 离子含量增加, 地下水的固形物含量亦随着迅速增加, 但pH值, 二氧化碳分压、 HCO_3^- 离子含量变化极小。若水动力条件变差, 由于 CaSO_4 的过饱和, 可有次生石膏的析出。因普通离子效应, 有时也有方解石脉的析出。地下水化学类型为 SO_4 -Ca型、在二氧化碳分压 P_{CO_2} 介于 10^{-3} — 10^{-1} 巴时, 固形物含量在2100—2400毫克/升左右^[1]。在过渡带中, 微咸的 SO_4 -Ca水与局部地下水亚系的 HCO_3^- -Ca淡水混合, 地下水化学类型则是 HCO_3^- -Ca·Na·Mg型或 HCO_3^- · SO_4 -Na·Ca型。在水动力条件变差处, 也可见有方解石脉的沉淀析出。

当 SO_4 -Ca型水继续迳流与粘土颗粒含量高的泥岩或泥质粉砂岩相遇, 地下水的变质作用便日趋显著。粘土颗粒吸附的钠离子被水中富集的钙离子所交换取代, 因此地下水中Na离子含量增高, 水化学类型成为 SO_4 -Na型。地下水的固形物含量增加不大, pH值和 HCO_3^- 离子含量基本保持不变。在过渡带亚系中, SO_4 -Na型水与局部地下水亚系补给的地下水混合则形成 SO_4 · HCO_3^- -Na型或 HCO_3^- · SO_4 -Na·Ca型淡水。

盆地内红层地下水围岩系统中未见有成层分布的石膏。硫酸盐矿物—石膏和少量芒硝只是以分散相分布于湖相、浅湖相沉积物中, 所以区域地下水亚系中, SO_4 -Ca型水分区规律不明显。硫酸盐的溶解和阳离子交换作用极可能就地依次进行, 导致区域地下水亚系地下水除补给区为 HCO_3^- -Ca型淡水外, 均为 SO_4 -Na型微咸水。

过渡带亚系地下水由于从盆地边缘至中心水动力条件变化, 区域地下水亚系埋藏深度变浅, 因此地下水类型由 HCO_3^- -Ca型变为 HCO_3^- (HCO_3^- · SO_4)-Ca·Na·Mg, SO_4 · HCO_3^- (HCO_3^- · SO_4)-Na·Ca型淡水。

结 语

应用水文地球化学方法和环境同位素方法研究金华盆地红层地下水系统的尝试, 不仅对红层地下水的水化学特征, 水化学成份的演化和成因有了清楚的认识和解释, 而且对盆地内红层地下水系的三个亚系统的确立提供了有力证据。盆地内红层地下水系的三个亚系统, 无论是地下水露头的分布, 井孔出水段特征、水量和流场特征, 还是地下水化学类型及水化学类型的变化规律、地下水年龄, 环境同位素特征都有极其明显的差异。盆地内红层地下水的主要补给源是大气降水, 红层地下水的化学作用过程主要包括有溶滤、变质和混合作用。

应用水文地球化学方法和环境同位素方法研究地下水系统的尝试, 是否也给人们一种启示。如果能将地下水系当作一个集合的话, 那么它应包含地质环境、地下水动力、地下水化学、地下水温度、地下水同位素等子集。在确立地下水系统时, 若只依据某一、二个子集的研究成

果建立地下水系,或许有失误的可能。原因在于地下水系统属于开放体系,它与大气系统、地表水系统、相邻的地下水系统之间,都可以有能量和物质的交换,因此子集的研究成果有外延和多解性问题。倘若依据各子集的研究成果综合、迭加,即以子集之交确定地下水系统的成立,应该说具有更高的置信度。换句话说,在科学技术迅猛发展的今天,地下水研究体的信息日渐增加,只有采取综合的研究方法和途经,才有可能正确地描述地下水研究体。

地质力学所研究员胡海涛先生、哈承佑副研究员、王瑞久、袁志梅、王怀颖等工程师在成文中给予了精心指导,浙江水文队提供了全部水化学资料,谨致衷心感谢!

主要参考文献

1. R. A. Freeze, J. A. Cherry, Ground Water P81—141 P238—297
2. E. I. W. ALLICK, J. I. TH Methods of Regional Groundwater flow Analysis
With Suggestions for the Use of Environmental Isotopes
3. 王瑞久 环境同位素用于水文地质的原理《国外裂隙—岩溶水研究》中国地质科学院情报研究所

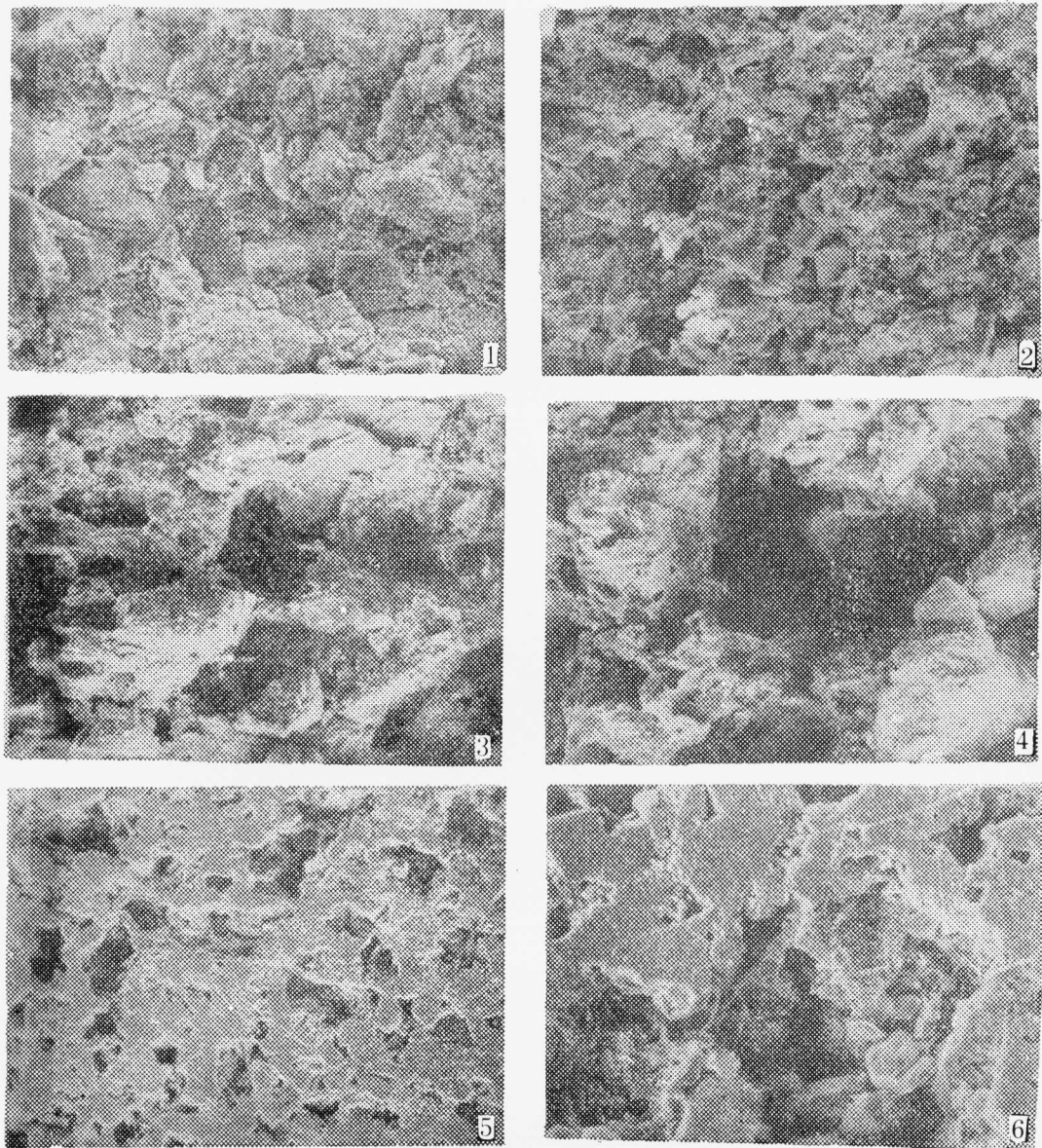
APPLICATION OF HYDROGEOCHEMICAL METHOD AND ENVIRONMENTAL ISOTOPE STUDY IN ESTABLISHING GROUNDWATER SYSTEM—CASE OF THE GROUND-WATER SYSTEM IN JINHUA RED BED BASIN, ZHEJIANG PROVINCE

Zhu Yuanfeng

(Institute of Karst Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

In this paper, data on ground water chemistry obtained from JINHUA red bed basin are analysed systematically by means of "Q" cluster analysis, trilinear hydrochemical diagram, and square diagram. Ground water in the red bed basin may fall into three categories; brackish water of $\text{SO}_4\text{-Na}$ type, low-mineralized fresh water of $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ types, and fresh water with complex hydrochemical constituents. The results of the study confirm the previous conclusion that three different subsystems of ground water in redbeds can be distinguished on the basis of their distribution and hydrodynamics. The isotopic characteristics of the groundwater have further elucidated that the three subsystems are quite different in hydrodynamics, hydrochemistry, and geologic age. The main recharge source of groundwater in the red bed is precipitation. The "R" cluster analysis indicates that the mineralization of the ground water in the red bed basin depends mainly on the contents of Na and SO_4 , which are its characteristic compositions. Finally, the origin and variation of the hydrochemical constituents in the groundwater are interpreted effectively by the diagram of hydrochemical evolution pattern.



1. 金华七一农场 K_2^2 细砂岩溶蚀孔隙粒间孔隙。扫描电镜 $\times 60$
2. 金华养猪场 K_2^3 粉砂岩溶蚀孔隙少量粒间孔隙。扫描电镜 $\times 80$
3. 金华养猪场 K_2^3 粉砂岩溶蚀孔隙发育。扫描电镜 $\times 160$
4. 金华养猪场 K_2^3 粉砂岩孔隙间联通性较好。扫描电镜 $\times 160$
5. 金华罗店麻车 K_2^4 含砾砂岩溶蚀孔隙发育。扫描电镜 $\times 80$
6. 金华罗店麻车 K_2^4 含砾砂岩孔隙间联通性较好。扫描电镜 $\times 160$