第 22 卷 第 4 期
2 0 0 1 年 7 月

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTIA SINICA

Vol. 22 No. 4
July 2001

宁夏南部月亮山西麓地下水化学特征研究

叶 浩 王贵玲 叶思源 殷 夏 王玉海 南云驹

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北正定)

摘 要 通过对宁夏南部月亮山西麓水文地质条件的研究,分析了研究区内含水层中地下水化学组分的特征以及各组分含量之间的相互依存关系。认为含水介质的矿物成分对该区内地下水组分影响显著。地下水同位素等分析显示,该区地下水的补给主要为现代大气降水,认为地下水化学组分的成因主要是溶滤作用和蒸发作用。

关键词 化学组分 水化学类型 矿化度 稳定同位素

研究区位于宁夏南部山区西吉县城北约 20 km 的月亮山西麓,面积约 200 多平方公里,年平均气温 7 ℃,植被稀疏,年均降雨量为 427.9 mm,主要集中在 7、8、9 三个月,蒸发量多年平均为 1291.42 mm/a,蒸发多集中在 4～9 月之内。月亮山是主要的山体,主峰 2 633 m,月亮山西麓为黄土丘陵区。葫芦河是最大的地表水体,源于月亮山北端西麓,其东岸地势较平缓,呈带状分布,是地表水和地下水的排泄区。

该区为一较完整的水文地质单元。区内地下水的赋存、分布主要受地质构造、地貌、岩性、气候和古地理条件的控制,月亮山前的压扭性隐伏逆断层为导水、局部透水断层。在所研究的深度(小于 300 m)范围内,划分 2 个含水岩组:第四系含水岩组和第三系干河沟组含水岩组。

第四系含水岩组:主要由孔隙水、孔隙裂隙水组成,岩性主要为黄土或黄土类土、冲积物、洪积物等,单井涌水量小于 10 t/d,葫芦河二级阶地中部及近河地带,单井涌水量一般为 2000～5000 t/d❶。

第三系干河沟组含水岩组:层中的地下水有 2 种形式:一种为裂隙水;一种为孔隙水。但主要以砂砾岩沉积中的孔隙水为主,岩性主要为紫红色泥质砂岩和砂质泥岩互层,夹多层砾石层。局部单井涌水量 2 302.3 t/d。

1 地下水化学特征

1.1 地下水化学组分特征

研究中共汇总了 65 组水样的测试数据,其中 6 个水样为钻孔分析数据,资料来源于宁夏地质勘查局水利勘查院,48 个井(泉)水样化学分析数据以及 11 个水样的同位素分析。

1.1.1 第四系潜水水化学组分特征 根据含水层的富水性及其地质特征,可将区内第四系潜水含水层分为两类地区,即 Ⅰ级和 Ⅱ级冲沟地区。Ⅰ级冲沟区是指其形成年代相对较早、含水层颗粒较粗、冲沟源头一直延伸到月亮山基岩的地区。Ⅱ级冲沟区是指形成年代相对较晚、含水层颗粒较细、冲沟源头没有延伸到基岩山区的冲沟。

第四系潜水的化学成分特点是,矿化度变化范围很大,最低值为 405 mg/L,最大值为 3 905 mg/L,其中第四系 Ⅱ级冲沟($Q_{Ⅱ}$)的值最高,其均值为 2 304.01 mg/L;第四系 Ⅰ级冲沟($Q_{Ⅰ}$)的浓度最低,均值为 819.68 mg/L;Na^+ ($K^+ + Na^+$) 浓度百分数的平均值为 40.45 %,Ca^{2+} 百分数的平均值为 32.44 %,SO_4^{2-} 浓度百分数的平均值为 30.01 %。

Ⅱ级冲沟区里地下水明显较 Ⅰ级冲沟区水质差,这是由于 Ⅱ级冲沟区内含水层厚度较小、颗粒细、地下水径流条件差。基底为第三系泥岩(为相对隔水层)故存在于此类冲沟中的地下潜水很难下渗。且补给不充沛,水位埋深较浅,蒸发量大,该类地下水一般不适于人畜饮用及农田灌溉,而且 Ⅱ级冲沟区内的地下水对本区的地下水水质影响较大。

地下水化学类型主要为:HCO_3-Ca、$HCO_3 \cdot SO_4$-Na·Ca(Mg)、$SO_4 \cdot HCO_3$-Na·Mg、$SO_4 \cdot Cl$-Na 型水,具有明显的分带性,基本上反映了补给区、径流区、排泄区地下水类型变化趋势(李学礼,1982)。

本文由地质矿产部定向研究项目(编号:地科定 96 - 23)资助。
责任编辑:宫月萱。
第一作者:叶 浩,男,1966 年生,副研究员,从事地质生态环境研究,邮编:050803。
❶宁夏地质矿产局第二水文地质工程地质队. 1984. 宁夏回族自治区西吉县人畜饮用、农田灌溉供水水文地质勘察报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.1.2　第三系干河沟组地下水化学组分特征　此层地下水水化学的基本特征是:矿化度的变化范围在 264～1 888.76 mg/L 之间,Na^+(K^+ + Na^+)浓度百分数的平均值是 45.40 %;其次是 Mg^{2+},其浓度百分数的平均值为 30.02 %;SO_4^{2-} 浓度百分数的平均值为 29.48 %。

地下水的化学类型主要为:HCO_3-Ca(Mg)、HCO_3·SO_4-Na、SO_4·HCO_3-Na、HCO_3·SO_4·Cl-Na·Mg 和 Cl·SO_4-Na 型水,分带性明显。表 1 为两含水层地下水化学组分含量统计表。

表 1　地下水化学组分含量统计

Table 1　Statistics of chemical composition contents for groundwater　　%

时代	项目/参数		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	矿化度	pH	E_h	NH_4^+	Fe	Sr	NO_3^-	F^-	H_2SiO_3	CO_2
第四系(Q)	Ⅰ级冲沟	最小	1.27	16.90	18.6	9.62	5.82	30.4	259.8	0	405.5	7.13	116.1	0.04	0.03	0.433	14.98	0.1	13.06	0
		最大	5.60	350	120.9	93.81	263.1	526.4	498.5	0	1924	7.56	378	0.06	0.916	1.915	72.56	0.66	37.71	21.09
		平均	3.00	106.93	78.97	34.43	68.48	173.5	331.96	0	819.68	7.38	291.86	0.044	0.361	1.04	32.81	0.427	18.28	7.99
	Ⅱ级冲沟	最小	1.9	261	26.36	10.82	150.98	1330.1	296.01	0	1214	7.23	102.8	0	0	1.033	1.86	0.92	9.39	0
		最大	82	754	158.56	2513	900.9	1424.1	915.2	5.94	3905	8.45	340.6	0.12	5	2.66	80.12	1.72	11.67	18.44
		平均	3.58	4.72	81.45	1273	392.41	733.74	443.35	2.94	2304	7.66	290.52	0.07	1.115	1.68	37.28	1.35	10.7	1.294
第三系(N_2g)		最小	1.34	26.49	6.94	14.42	17.13	4.75	134.2	0	461	7.2	10	0	0	0.054	6.5	0.24	0.24	0
		最大	4.8	680	140.28	116.33	327.89	758.91	363.07	11.51	1888	8.62	303.56	0.15	2.206	3.97	64.69	2.4	2.4	10.55
		平均	2.94	155.34	67.90	52.55	135.30	265.86	281.43	1.14	991.39	7.5	194.32	0.063	0.55	1.63	24.94	0.74	0.74	4.14

两含水岩组 Na^+、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、CO_3^{2-} 组分浓度由小到大构成的序列依次是 $Q_I < N_2g < Q_{II}$,这个组分浓度序列与地下水溶解固体总量组成的序列相吻合;而 K^+、Ca^{2+}、HCO_3^- 组分浓度构成的序列为:$N_2g < Q_I < Q_{II}$。总之,Ⅱ级冲沟中第四系含水层是研究区各宏量组分浓度聚集地带,其水化学属性明显地不同于其它 2 个含水系统。

1.2　地下水矿化度与化学成分含量及化学成分含量之间的关系

地下水的矿化度,是表征水文地球化学作用过程的重要参数,也是反映地下水径流条件的重要指标。矿化度是地下水各组分浓度的总指标,地下水化学组分浓度的变化特别是常量组分浓度的变化,随之引起矿化度的变化,因此它能很好地反映地下水中物质组分在总体上的分布特征和变化趋势(沈照理,1986;斯塔姆等,1987;卫中鼎等,1981)。研究它们之间的成因联系,对矿化度与各组分、各组分之间分别进行了相关分析。

1.2.1　第四系地下水　矿化度与组分含量,二者呈线性相关关系的是 Na^+、Cl^-、K^+、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、F^-(图 1;表 2 中序号 1～5 所示,自变量 X 为矿化度,因变量 Y 为各组分含量)。

二者间构成的散点图呈扇型,该类有 HCO_3^-、Ca^{2+}。这类组分与矿化度相关程度较低,但仍显示出随着矿化度的增高而增高的趋势。

第四系宏量组分 Na^+、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^- 与矿化度相关性密切,它们随矿化度增高呈线性或对数关系增高。

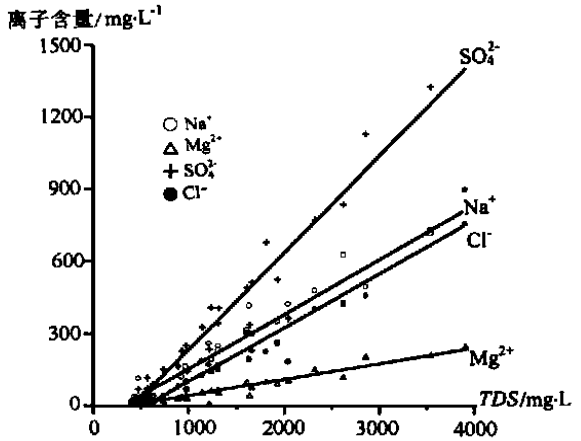


图 1　SO_4^{2-}、Na^+、Cl^-、Mg^{2+} 含量与矿化度拟事曲线

Fig. 1　The fit curves among the contents of SO_4^{2-}、Na^+、Cl^-、Mg^{2+} and *TDS*

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 矿化度与化学成分含量之间的相关关系

Table 2 The relationship among TDS & chemical composition contents

序号	离子	相关系数/ R	拟 合 方 程
1	K^+	0.695	$Y_K = 0.00192X$
2	Mg^+	0.930	$Y_{Mg} = 0.0672X - 23.085$
3	Na^+	0.958	$Y_{Na} = 0.225X - 67.307$
4	SO_4^{2-}	0.960	$Y_{SO_4} = 0.400719X - 166.878$
5	Cl^-	0.974	$Y_{Cl} = 0.226X - 120.834$
6	K^+	0.859	$Y_K = 0.00221X$
7	Na_+	0.840	$Y_{Na} = 0.257X - 99.16$
8	SO_4^{2-}	0.963	$Y_{SO_4} = 0.479X - 208.783$
9	Cl^-	0.727	$Y_{Cl} = 0.193X - 56.18$
10	Mg^{2+}	0.615	$\log(Y_{Mg^{2+}}) = 0.941\log X - 2.577$

组分含量之间呈线性相关的有:Na^+ 与 Cl^-、Cl^- 与 Mg^{2+}、SO_4^{2-} 与 Na^+ (图 2),拟合方程如表 3 中 1～3 所示。

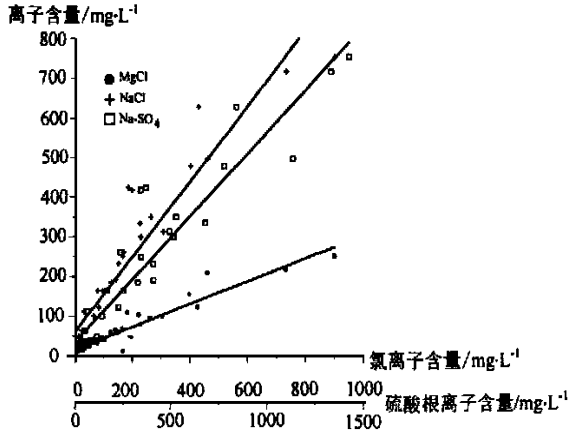


图 2 离子含量之间拟合曲线

Fig. 2 The fit curves between the ion contents

表 3 化学成分含量之间的相关关系

Table 3 The correlativities among the chemical composition contents

序号	离子	相关系数/ R	拟 合 方 程
1	Na^+、Cl^-	0.89	$Y_{Na^+} = 0.954X_{Cl^-} + 59.02$
2	Cl^-、Mg^+	0.920	$Y_{Mg} = 0.0672X_{Cl^-} + 15.23$
3	SO_4^{2-}、Na^+	0.88	$Y_{Na} = 0.532X_{SO_4^{2-}} + 32.96$
4	Cl^-、Mg^+	0.66	$Y_{Mg} = 0.249X_{Cl^-} + 22.745$
5	Na^+、SO_4^{2-}	0.71	$Y_{SO_4} = 1.926X_{Na} - 24.14$

1.2.2 第三系地下水 化学组分含量与矿化度呈线性相关的有:K^+、Na^+、Cl^-、SO_4^{2-} (表 2 中 5～10),图 3 表示的是 Na^+、SO_4^{2-} 与矿化度的拟合曲线。呈对数关系曲线型的有:Mg^{2+}。

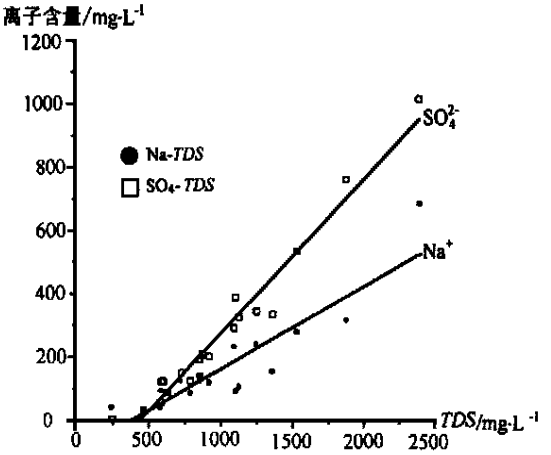


图 3 离子含量与矿化度之间的拟合曲线

Fig. 3 The fit curves between ion contents and *TDS*

组分含量之间呈线性相关的有:Cl^- 与 Mg^{2+}、SO_4^{2-} 与 Na^+、,拟合方程如表 3 中 4～5 所示,拟合曲线如图 4,呈散点式分布的有 SO_4^{2-} 与 Ca^{2+}、Na^+ 与 Cl^-。

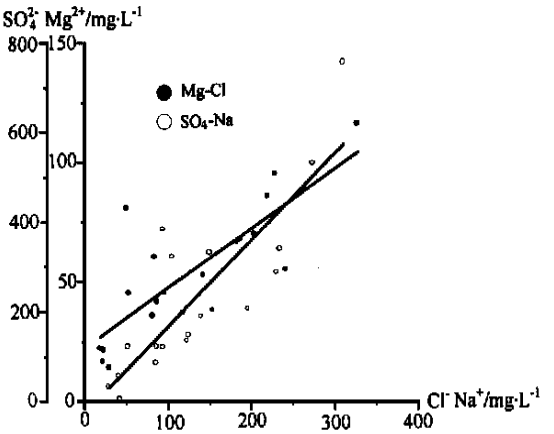


图 4 离子含量之间的拟合曲线

Fig. 4 The fit curves between ion contents

1.3 地下水成分的 H、O 同位素特征

地下水中同位素成分及其含量上的变化,客观上充当了记录和指示地下水历史发展和演变过程的良好标记。

1.3.1 地下水的 H、O 稳定同位素组成特征 研究区降雨同位素组成较轻,而第四系、第三系地下水的

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

H、O 同位素较重,均落在雨水右上方,其组成基本相同,但也有差异。从图 5 可知,研究区大气降水、不同含水层的地下水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值都分布于 H·克雷格雨水线附近,表明区内的地下水来源主要为大气水降水。由于研究区地处干旱区,蒸发效应的影响,致使地下水向富重同位素方向展布,而位于当地雨水的右上方,且第四系地下水更富重同位素,即第四系地下水较其下伏的第三系地下水遭受更强烈的蒸发作用。从地下水流向上,同位素氚值在补给区的值为 48.23～39.55 TU,排泄区的值为 15.17 TU 左右,具有减少的趋势,同样 δD 和 $\delta^{18}O$ 值从补给区至排泄区有变大的趋势,说明在补给区地下水的化学组分主要以溶滤作用为主,而在排泄区主要以蒸发作用为主。

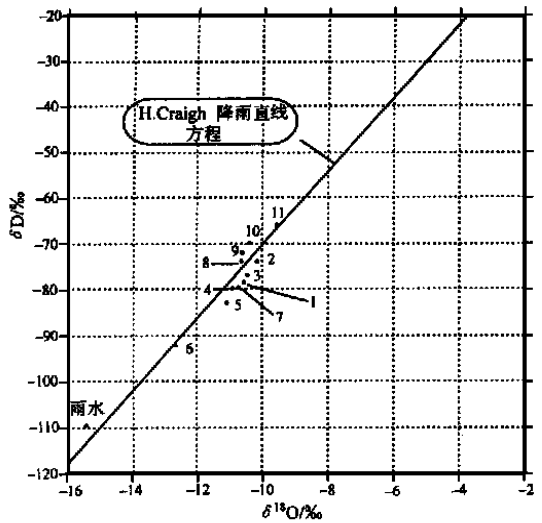


图 5　δD 和 $\delta^{18}O$ 值分布与 H·克雷格雨水曲线

Fig. 5　The world meteoric line and the values of δD and $\delta^{18}O$

1.3.2　地下水氚年龄　在研究区内共采集了 12 个氚样,其中一个为雨水,5 个为第四系地下水样,其它 6 个为第三系地下水样。地下水的氚含量较高,均大于 10 TU,甚至大多数大于 20 TU。

根据国际原子能委员会于 1972 年提出的建议:在北半球大陆地区,如果没有明显的混合过程,地下水中的氚浓度小于 3 TU,说明从补给区到采样点需要 20 a 的时间;地下水氚含量为 3～20 TU,存在少量的热核试验生成的氚,而地下水可能是 1954～1961 年期间补给的;如果地下水氚含量大于 20 TU,则应是 1961 年以后补给的。根据这一建议,研究区地下水大多属于 1961 年以后补给的现代循环水(李学礼,1982)。

2　地下水中主要离子来源及形成作用

2.1　地下水中主要离子来源

钻孔资料的岩石矿物分析,存在于地层里的岩石矿物种类主要有:云母、蒙脱石、黄铁矿、斜长石、钙长石、姜结石、盐岩、石英、石膏、长石等矿物,且其中含有大量的可溶岩矿物,如石膏、芒硝、盐岩、菱镁矿等,都对地下水化学成分产生作用(比契叶娃,1982; Pieter,1999)。

第四系潜水的主要离子来源:第四系潜水地下水主要活动于黄土孔隙之中,水中 SO_4^{2-} 来源于黄土堆积物中的可溶盐($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 等)的溶解,HCO_3^- 来源于黄土堆积物内姜结石($CaCO_3$)的溶解,Na^+ 来源于长石的风化。

第三系 $N_2 g$ 地层地下水主要离子来源:本层在较大的冲沟底有出露,主要为内陆湖盆相沉积,含有大量石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)、芒硝($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)、盐岩(NaCl)、菱镁矿($MgCO_3$)等,地下水溶解可溶盐,从而使 Cl^-、SO_4^{2-}、Na^+、Mg^{2+} 等离子含量增加,相应地其矿化度也增大。

2.2　化学成分的形成作用

研究区水化学成分的形成,主要受含水介质的化学成分、水化学作用、沉积环境和后期水流等影响。

2.2.1　溶滤作用和沉析作用　从钻孔可溶盐资料分析和水化学组分相关分析的结果可以看出,可溶性大的钠盐是其主要溶出量,其次是 Ca、Mg 和 K。其它的组分亦不同程度地向水中转移,这些溶出组分的特点反映了淡水环境沉积的铝硅酸盐矿物不全等溶解结果的产物。在平面上,水的化学类型亦由 HCO_3-Ca 型过渡到 $HCO_3 \cdot SO_4$-Na·Mg 型,最终演化为 $SO_4 \cdot Cl$-Na(Mg)型水;在垂向上,由于大气水的渗入从上而下形成了地下水浓度正向剖面。

2.2.2　蒸发浓缩作用　随着水分的蒸发溶液逐渐浓缩,溶解固体总量增高;与此同时,溶解度较小的盐类在水中达到饱和而相继析出。因此,经过蒸发浓缩后,无论是地下水的总含盐量,还是含盐类型,都将发生变化。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

处于溶滤线周围井点的地下水主要是由于溶滤作用而形成,如 JXJ39、JXJ13 等,JXJ50 中地下水化学成分的形成主要是蒸发浓缩作用(图 6),JXJ23 地下水成分的形成可能是混合作用。大陆盐化的一般特点是弱碱性的,溶解固体总量较高(卫中鼎,1981)。研究区水化学组分的分布规律与上述特征相吻合。在研究区水动力条件滞缓的 II级冲沟及一些局部黄土层地下水中,便出现了 SO_4·Cl-Ca·Mg 型水,而且在地表明显地有盐分析出。

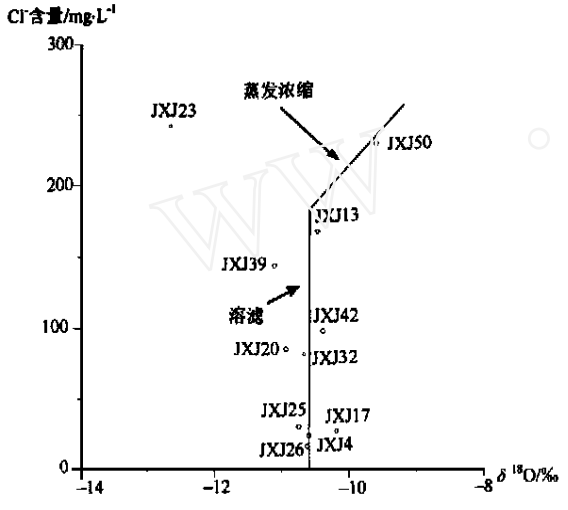


图 6 地下水水中氧同位素值与氯离子含量的关系

Fig. 6 The relationship between the content of Cl^- and the value of $\delta^{18}O$

3 结论

(1)研究区内地下水的补给来源是当地大气降水,其汇水范围受地形、地貌及古地形控制,2 个含水岩组的水力联系较密切,第三系承压水的运移和汇聚是受其地层的地质构造控制,葫芦河是地下水的最终排泄区。

(2)地下水的水化学类型与典型干旱-半干旱地区的地下水类型的演化趋势相一致,且具有明显的分带性,即地下水由补给区的重碳酸盐型水向排泄区的硫酸盐型或氯化物型水演化。

(3)地下水化学成分的形成作用主要有:溶滤作用和蒸发浓缩作用

参 考 文 献

李学礼编. 1982. 水文地球化学. 北京:原子能出版社,9～99.

沈照理主编. 1986. 水文地球化学基础. 北京:地质出版社.

斯塔姆[瑞士] W 摩尔根 J J [美]合著. 汤鸿霄等译,1987. 水化学. 北京:科学出版社.

卫中鼎,李昌静. 1981. 试论潜水水化学水平分带性. 水文地质工程地质,(5):15～20.

K E 比契叶娃[苏]著,彭立红译. 1981. 水文地球化学 ——地下水化学成分的形成. 北京:地质出版社.

Pieter J Stuyfzand. 1999. Patterns in groundwater chemistry resulting from groundwater flow. Hydrogeology Journal,7(1):19～21.

Chemical Characteristics of Groundwater in the West Piedmont of Yueliang Mountain, Ningxia

Ye Hao Wang Guiling Ye Siyuan Yin Xi Wang Yuhai Nan Yunju

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei)

Abstract On the basis of a discussion on hydrogeological setting of the west piedmont of Yueliang Mountain, Ningxia, the present paper demonstrates chemical characteristics of groundwater both in unconfined and confined aquifers as well as the relationships of water chemical compositions. The isotopic composition of groundwater shows that the recharge is dominated by modern meteoric water. The major factors affecting chemical compositions of groundwater are the dissolution or precipitation and evaporation.

Key words chemical composition hydrochemical type degree of mineralization stable isotopes

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net