



中国地质科学院

水文地质工程地质研究所 所 刊

第6号

1990^c年

ZL257

地质出版社

中 国 地 质 科 学 院

水文地质工程地质研究所
所 刊

第 6 号

地 质 出 版 社

中国地质科学院
水文地质工程地质研究所刊
第 6 号

责任编辑：张新兴 殷正宙 陈东俊

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：13 字数：307000

1990年6月北京第一版·1990年6月北京第一次印刷

印数：1—1375册 国内定价：5.70元

ISBN 7-116-00639-7/p·544

目 录

天津地下热水的地球化学及成因分析.....	张锡根 (1)
天津地热田热储模型与热流特征.....	郑灼华 阴红兵 曾晓凯 (25)
中国东南沿海地区地热资源的地质评价.....	姚足金 陈宗宇 (43)
包气带土体物理化学性质对浅层地下水氟含量的影响	任福弘 杨素更 白新珩 张凤城 (77)
京津唐地区水资源政策评价与分配模型.....	赵静珍 朱锡冰 (93)
论四川盆地威远气田震旦系深层水成因.....	汪蕴璞 王焕夫 曲焕林 (99)
厦门花岗岩风化壳工程地质分带及其残积土浅层地基承载力的研究	任国林 尹子良 阎运来 林玉山 母广成 (127)
闽南经济开放区花岗岩风化残积土边坡稳定性	林蓬琪 侯 萍 张永波 马集遐 (155)
WM-1型负压计 (系统)	荆恩春 张孝和等 (181)
结合水对地下水 ¹⁴ C视年龄影响的探讨	崔玉龙 (195)

BULLETIN OF THE INSTITUTE OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY OF THE CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL SCIENCES

No. 6

CONTENTS

Geochemistry and Genesis of Geothermal Water in Tianjin City	Zhang Xigen (1)
Thermal Reservoir Models and Heat Flow Characteristics of Geothermal Field in Tianjin	Zheng Zhuohua Yin Hongbing Zeng Xiaokai (25)
Geological Assessment of Geothermal Potential for Regional Development in Southeast Coast of China.....	Yao Zujin Chen Zongyu (43)
The Influence of Physical and Chemical Properties of Soil Mass in Aeration Zone on the Fluorine Content in Shallow Groundwater	Ren Fuhong et al. (77)
Evaluation of Water Resources Policy and Distribution Model of Groundwater Resources of Beijing, Tianjin and Tangshan Areas	Zhao Jingzhen Zhu Xibing (93)
A Discussion on Genesis of Sinian Deep Ground-Water of Weiyuan Gas Field in Sichuan Basin	Wang yunpu et al. (99)
Researches on Engineering Geological Zonation and Bearing Capacity of Shallow Resdual Soil Foundation of Granite Weathered Crust in Xiamen City.....	Ren Guolin et al. (127)
Experiment on Slope Stability of Granite-weathered Resdual Soil in Special Economic Zone of Southern Fujian Province	Lin Pengqi et al. (155)
An Intraduction to the Model WM-1 Tensiometer System	Jing Enchun Zhang Xiaohe et al. (181)
Evaluation of Combined Water Influence on Apparnet C-14 Age of Groundwater.....	Cui Yulong (195)

Geological Publishing House
(Hepingli, Beijing)

Institute of Hydrogeology
and Engineering Geology
(Zhengding County, Hebei Province)

天津地下热水的 地球化学及成因分析

GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF GEOTHERMAL WATER IN TIANJIN CITY

张 锡 根

前 言

天津市是我国地热开发利用较早的城市之一,自本世纪30年代开凿第一眼地热井起,至今已有50多年的历史。新生界地热资源已有相当规模的开发,近年来已向深部基岩地热资源进行勘探和开发。通过以往的地质勘查,对天津地区的地热资源的类型、分布、赋存条件、控制因素等有了基本的了解,证明地热资源比较丰富,开发利用条件也较优越。但还有一些问题,例如地下热水的成因及形成机制、补给条件、运动特征等需待继续研究,以便进一步开发利用。

1984年,水文地质工程地质研究所与天津市地调队协作进行了这项研究。通过地球化学、同位素、古水文地质等分析,对地下热水的成因、年龄及补给等问题取得了定量证据,为天津地下热水资源的进一步勘探和开发提供了地球化学依据。

一、研究区的地质条件及地热储特征

(一) 地质构造特征

天津位于华北地台的东部,属中、新生代断陷盆地。盆地内受燕山运动的影响,北北东—北东向断裂明显。喜马拉雅运动加大了该断裂升降的幅度,盆地下沉较快。与此相伴的还有北北西—北西向断裂。两组断裂相互交织,将盆地切割成一系列隆起和拗陷。

本研究区的主体是沧县隆起的北部。沧县隆起为一轴向北北东—南南西的狭长隆起,它是一个长期遭受剥蚀的古隆起,喜马拉雅运动时,古隆起开始整体下沉接受沉积。沧县隆起平行轴向的断裂发育,并有一组北西西和北西向断裂,受两组断裂的控制和围割形成了地垒式和地堑式断块,构成了隆起内部的凸凹构造格局。

总之,天津地区主要发育着两组构造带,一组是由凸起和凹陷以及与其相平行的断裂组成的北北东向及北东向构造带,其中有双窑凸起、白塘口凹陷,白塘口西断裂,白塘口

地下热水和元古界及古生界基岩岩溶裂隙型地下热水两大类型。

新生界地下热水主要赋存于第四系下部的砂层及上第三系明化镇组和馆陶组砂岩中。元古界和古生界地下热水主要是奥陶纪灰岩、白云质灰岩和蓟县纪白云质灰岩岩溶裂隙地下热水,一般埋深大于1000m,水温50—98℃。

本区地下热水属沉降盆地非火山类型中、低温地热资源。目前已确定的几个地热异常主要受地质构造的控制。高温度、高地温梯度基本上都分布在隐伏构造的隆起(凸起)部位。如王兰庄地热异常区位于双窑凸起上。大的活动性断裂,对地热异常的形成也起着重要的控制作用,地热异常中心部位往往分布在凸起构造顶部靠近断裂的一边。

在垂向上,地温梯度的变化在很大程度上取决于地层岩性的变化。从天津和冀中拗陷的资料看,下第三系的地温梯度高于第四系和上第三系,更高于元古界和古生界。这种变化规律显然是受不同岩层的岩石导热率的影响。此外,水文地质因素也有一定的影响。

二、地下热水的地球化学特征

(一) 地下热水化学成分基本特征

从表1可知,各类地下热水有以下特点:

1. 矿化度都比较低。除双窑凸起轴部奥陶纪灰岩地下热水的矿化度达4g/L左右外,其余的矿化度一般都小于2g/L,其中新生界地下热水多数小于1g/L。

2. 从化学成分看,所有地下热水的阳离子成分以钠为主,元古界和古生界碳酸盐类岩层中的地下热水,其钙离子含量有增高,特别是双窑凸起上的奥陶纪灰岩热水中,钙离子有明显的增高。阴离子成分比较复杂,但多数以氯和重碳酸离子为主。水化学类型从总体看,北部为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水,向南逐渐过渡为 Cl-Na 型水。奥陶纪灰岩中硫酸盐离子含量居首位,形成 $\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$ 型水。

3. 离子比值,各类地下热水的 $r_{\text{Na}}/r_{\text{Cl}}$ 系统均高于海水(0.87), Cl/Br 系数均大于300, $\frac{\text{SO}_4 \cdot 10^2}{\text{Cl}}$ 系数大于海水, Ca/Mg 比值低于海水, $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl} + \text{SO}_4} \times 100$ 系数在30—60之间。

(二) 地下热水化学成分空间分布规律

1. 矿化度的空间分布规律

天津地下热水的矿化度较低,但在空间分布上仍有明显的规律性。从总体上看,无论是新生界或是元古界和古生界,其地下热水的矿化度均由北或北西向南或南东方向递增(图2、图3)。而且矿化度的增减都与Cl离子和Na离子含量的增减有关,它们呈正相关关系。

新生界地下热水的矿化度,在北部一般小于0.5g/L,往南随着钻孔取水段深度的加大和地下水温度的升高,水的矿化度也随之增高,南部的矿化度可达1.5—2g/L。

元古界和古生界地下热水的矿化度,在北部非热水地区,基岩地下热水(包括奥陶系灰岩)的矿化度均小于1g/L,在市区以南增至2g/L。而在双窑凸起轴部的奥陶系灰岩的

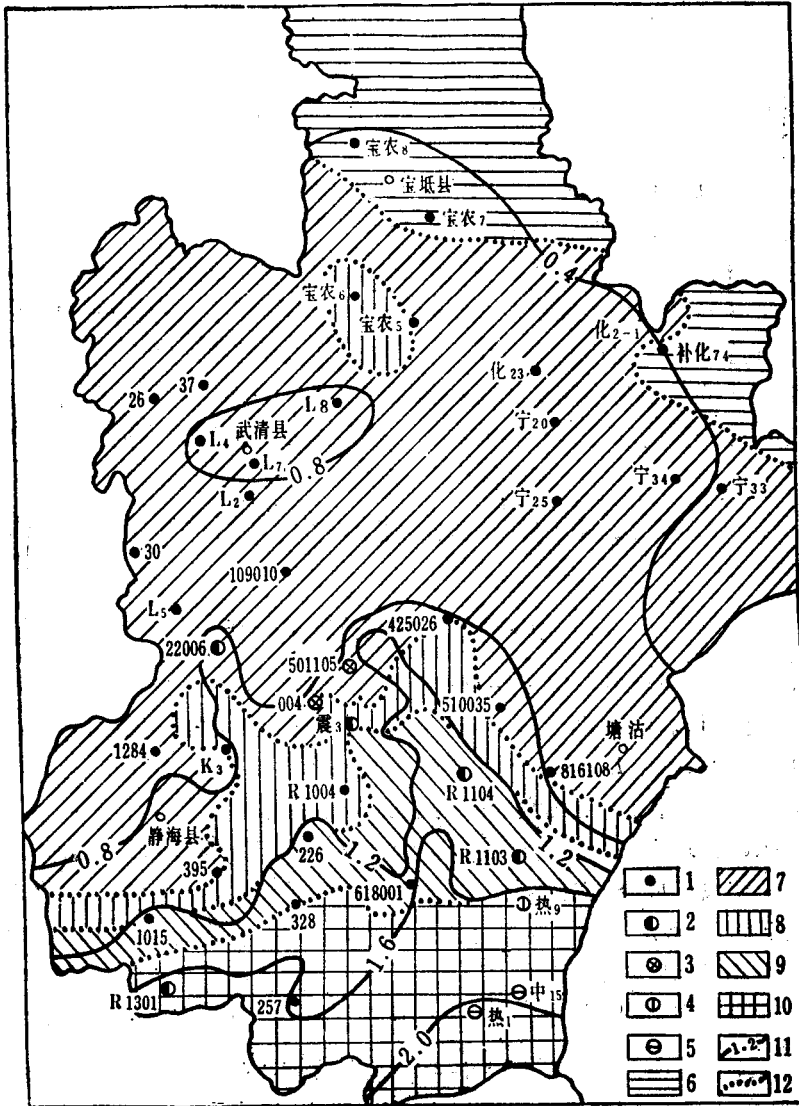


图 2 天津市新生界地下水水化学图

Fig. 2 Hydrochemical map of Cenozoic geothermal water of Tianjin City

钻孔深度: 1—<550m; 2—550—720m; 3—720—850m; 4—850—990m; 5—>990m;

水化学类型: 6— $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型水; 7— $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水; 8— $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\text{-Na}$ 型水; 9— $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水;

10— $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 型水; 11—矿化度等值线 (g/L); 12—水化学类型界线

矿化度可达到4—4.5g/L。

以上表明, 各类型地下热水的矿化度的分布反映了一个共同特征, 即自北向南具有明显的水平分带现象, 它表征了本地区地下热水的补给、径流和排泄的总趋势。

2. 地下热水水化学类型的分布规律

地下热水的水化学类型在区域空间分布上, 与矿化度一样具有明显的水平分带规律。

新生界地下热水的水化学类型分布特征是: 北部非热水分布地区, 主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型水; 中部为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水; 南部则为 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\text{-Na}$ 型水和 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 型水。

表 1 天津市地下热水

钻孔编号		增3	津2	王2	WR ₁	WR ₃	震4	WR ₂	WR ₅	WR ₄
取水段深 (m)		1 479— 2 397	1 261— 1 671	2 816— 2 850	1 146— 1 261	1 044— 1 149	1 035— 1 450	1 223— 1 450	970— 1 546	1 642— 1 851
地层时代		Pt	O	Pt	O	Pt	Pt	O	Pt	O
水温(℃)		96	62	84	58	77	77	49	69	58
阳离子 (mg/L)	K ⁺	60	15	52	56	70	69	35	19	45
	Na ⁺	582	555	188	797	555	525	700	640	742
	Ca ²⁺	37	25	34	452	38	28	511	115	531
	Mg ²⁺	6.7	4.6	8.5	119	15	20	94	21	88
阴离子 (mg/L)	Cl ⁻	556	412	103	873	522	515	866	486	885
	SO ₄ ²⁻	313	285	156	1 991	356	356	1 837	847	1 873
	HCO ₃ ⁻	424	548	333	209	355	365	241	287	192
	F ⁻	9.2	6.6	7.8	4.4	4.5	9.7	3.3	5.14	2.7
	Br ⁻	1.7	1.3	0.5	1.4	1.4	1.2	—	—	—
	I ⁻	0.13	—	—	0.33	0.13	0.13	9.3	0.2	0.32
	SiO ₂	88	34	91	45.5	63.7	78	31	25	27
pH值		6.8	7.4	6.6	7.2	7.6	7.1	7.7	7.5	7.7
矿化度(g/L)		1.91	1.62	0.84	4.34	1.69	1.77	4.32	2.44	4.38
水化学类型		Cl-Na	Cl·HCO ₃ -Na	HCO ₃ -Na	SO ₄ ·Cl- Na·Ca	Cl·SO ₄ - Na	Cl·SO ₄ -Na	SO ₄ ·Cl -Na·Ca	SO ₄ ·Cl -Na	SO ₄ ·Cl -Na·Ca
离子比值	r _{Na} /r _{Cl}	1.62	2.08	2.83	1.41	1.64	1.57	1.24	2.0	1.29
	Cl/Br	326	316	204	622	373	429	—	—	—
	SO ₄ ·10 ² Cl	41.5	46.5	114	168	50	51	156	128	162
	Ca/Mg	7.36	3.1	2.4	2.3	1.5	0.8	3.3	3.2	3.6

化。 r_{Na}/r_{Cl} 系数,在各类地下热水中都大于1。其中基岩地下热水的 r_{Na}/r_{Cl} 系数由北向南逐渐递降,上第三系地下热水的 r_{Na}/r_{Cl} 系数大多数都高于现代海水。 Cl/Br 系数,除个别点外都大于300,具溶滤水的特征。 $\frac{SO_4}{Cl+SO_4} \times 100$ 系数在30—60之间,有自北向南逐渐

递降的趋势。地下水的含硫酸盐度是表明水文地质封闭程度的重要水化学指标之一,这个系数愈小,说明硫酸盐的还原作用愈剧烈。

根据冀中拗陷资料,在沧县隆起南部的古潜山地带,脱硫系数为10—39,此带往西在牛驼镇凸起,任丘一带为低值带,该系数降至0—10。

上述变化趋势表明,整个沧县隆起处于半开启-弱氧化的水文地质环境中,天津地区

化学成分特征表

新王 ₃	王 ₄	WR ₂₁	震 ₃	中 ₁₅	热 ₁	501105	506019	506116	现代海水 (平均值)
882—1 077	2 072	1 129— 1 195	798	900		946	840	717	
O	€	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	
68	87	47	50	42	68	47	52	42	
47	49	14	2.3	2.3	4	1.4	1.4	1.1	337
205	199	950	363	586	856	285	220	233	10 707
38	41	178	6.5	10	6	2.1	2.1	3.2	420
9.9	4.9	29	1.3	3.6	0.6	0.8	1.1	0.6	1 317
101	110	538	200	434	591	92	28.8	60	19 324
182	163	1 729	157	288	7.2	0.6	3.0	25	2 688
384	360	115	447	518	1 351	560	502	504	150
7.8	7.9	2	3.6	2.4	6.7	7.6	4.3	3.6	
0.32	0.08	1.4	0.9	—	—	0.6	0.3	—	65
—	—	0.23	—	0.15	0.35	—	—	—	
64	70	31	33	24	38	34	46	29	
7.8	8.1	7.2	7.4	8.2	8.4	7.8	7.6	7.5	
0.83	0.99	3.33	1.07	1.87	2.87	0.72	0.59	0.67	35
HCO ₃ -Na	HCO ₃ · SO ₄ ·Cl -Na	SO ₄ ·Cl -Na	HCO ₃ ·Cl -Na	Cl·HCO ₃ -Na	HCO ₃ ·Cl -Na	HCO ₃ -Na	HCO ₃ -Na	HCO ₃ -Na	
3.0	2.81	2.71	2.79	2.1	2.2	4.76	12	5.9	0.87
312	1 375	383	222	—	—	151	96	—	29.3
99	109	236	58	48.9	0.89	0.4	7.5	29	10.2
2.4	5.3	3.7	3.0	1.7	6.0	1.6	2.1	4.0	4.29

处于沧县隆起的北端,脱硫系数比隆起南部更高,它表明水文地质开启程度更好,氧化程度更强。脱硫系数自北向南逐渐递减的特征,说明本区自北向南开启程度逐渐减弱,还原环境逐渐增强。

上述这些水化学参数在含水系统中的变化规律,反映了元古界和古生界含水系统中地下水的运动特征。说明大气降水自北部燕山供水区渗入地下后,在静水压力作用下向盆地内部缓慢运动,随着循环深度的加大,地下水温度的增高,以及水文地质条件及水文地球化学环境的改变,水与围岩发生了盐分的淋滤、溶解和阳离子交换作用,稳定组分在地下水中逐步积累,不稳定组分发生沉淀,从而形成了现代地下热水的水文地球化学景观。

由此可见,元古界和古生界地下热水的化学成分与现代海水有根本的区别,它具有典

型的渗入水起源的溶滤水特征。

(三) 地下热水的水盐动态

1. 地下热水的水动力状态

天津地下热水资源自30年代开发以来,已抽取了大量的地下热水。随着近几十年来的大量开发利用,上第三系地下热水的水头能量有很大的损耗,许多热水井的水位大幅度下降,每年以4—6m的速率下降,至今水位已降至地面以下40—60m。因此,如果开采不加控制,将会有枯竭的危险。

元古界和古生界地下热水,由于目前尚未大量开采,所以地下热水井均自流,而且水头较高,尚未发现明显的下降现象。

2. 地下热水的水质动态

从多年观测资料来看,各地热储层中地下热水的含盐量及常量组分随时间的变化很小,基本保持平衡状态。

从位于不同凸起上的同一层位的增3井和震4井的水质动态看,它们的主要化学组分的动态变化十分一致,这表明元古界的古岩溶相当发育,岩溶之间的沟通性十分良好,水力联系极为密切。

三、地下热水的气体成分及其成因分析

天津地下热水的气体成分,主要是 N_2 、 O_2 和 CO_2 ,其次尚有少量的 CH_4 和Ar、He等。

N_2 是天津地下热水中的主要气体成分,其含量新生界略高于基岩地下热水。 N_2/O_2 比值在2.78—11.5之间,接近于或略高于大气。这表明 N_2 是大气成因的。

O_2 含量也较高。根据天津地区的地质及水文地质条件分析,地下热水中的 O_2 也是大气成因的,它表明新生界、元古界和古生界地下热水均处于氧化环境之中。

CO_2 在第四系地下热水中的含量一般小于10%;而上第三系及元古界和古生界地下热水中的含量略高于第四系,通常在10—20%之间,个别可达25%以上。

根据 CO_2 含量及其与其它气体的共生组合关系,结合地质条件及地球化学环境,天津地区地下热水中的 CO_2 的生物成因的可能性较小,因为在生物起源的气体中通常不含氧,而且含有多量的 H_2S 和 CH_4 ,但在天津地下热水中, CH_4 很少,而且不存在 H_2S 。由此可见, CO_2 与石油、天然气藏无关,同时与变质作用和火山作用也无关,它主要来源于大气。

综上所述,天津市地下热水中的气体主要是大气成因,这一点,我们还可以从稀有气体及气体比值特征得到证实。本区地下热水中的 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 比值为297.5,低于幔源的比值,而与大气圈的比值(295.5)相近。此外, N_2/Ar 比值也与大气相近。所有这些都说明,氮、氩等气体均为大气成因。

四、地下热水的同位素特征

(一) 天津地区天然水的氢、氧稳定同位素组成特征

从大区域看,天津地区天然水的氕和氧-18主要服从于纬度效应的控制。此外,还受高度效应的影响。大气降水氢、氧同位素含量随着地形高程的增加而逐渐降低的趋势较为明显(图4)。

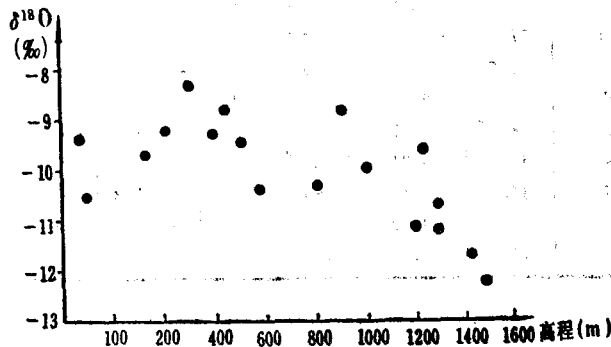


图4 天津及河北北部地区大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与高程的关系

本区天然水的氢、氧同位素组成,与H·克雷格大气雨水线基本一致,表征了大气降水的特点。个别地表水体,特别是水库水和水池水的氢、氧同位素浓度增高,偏离大气雨水线,与蒸发线一致,这说明水库水及某些地表水体强烈地受到蒸发效应的影响。部分地下冷水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值有漂移现象。

(二) 地下热水的氢、氧同位素组成特征

天津地区地下热水的同位素组成是比较均一的(表2), $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化幅度不超过 $\pm 1\%$ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图上,除个别水点外,几乎所有的地下热水点均落在H·克雷格大气雨水线附近(图5)。这表明本区地下热水主要是由大气降水形成的。

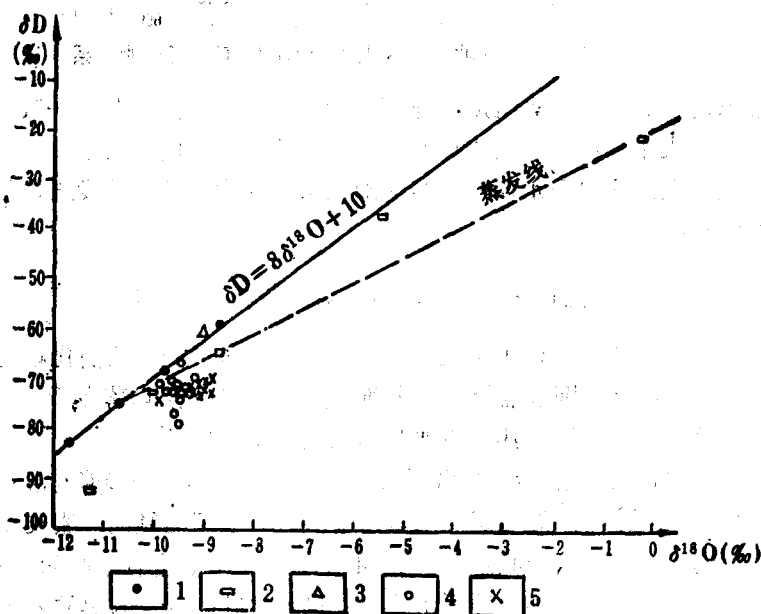
地下热水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值随着地下水温度的增高而增大(图6),而 δD 值与温度之间没有明显的关系。这充分说明,地下水温度越高,水与富氧岩石之间的氧同位素交换越充分。

在本区,我们还可以看到,随着钻孔深度的加大, $\delta^{18}\text{O}$ 值也有增高的趋势(图7)。这是在本区条件下,随着深度的增加,地下水的温度也随之升高,水与热储岩石中矿物的氧同位素交换也加强之故。从图7还可以看到,在1000m以下的元古界和古生界地下热水中,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值比其上覆第三系地下热水有明显的增高。因此,在本区范围内, $\delta^{18}\text{O}$ 值的急剧变化的位置,可以作为判断元古界和古生界地下热水和上第三系地下热水的一个标志。同时也表明,元古界和古生界地下热水与上第三系地下热水是分属于两个不同的水动力系统。从总体上看,它们之间没有水力联系,或联系很不明显。

此外, $\delta^{18}\text{O}$ 值有随着地下热水循环距离的增长而增加的趋势。例如,从北部的王2井到南部的增3井,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值逐渐增高。这不仅表明随着地下热水循环距离的增大,地下水

表 2 天津地下热水、氧同位素成分组成

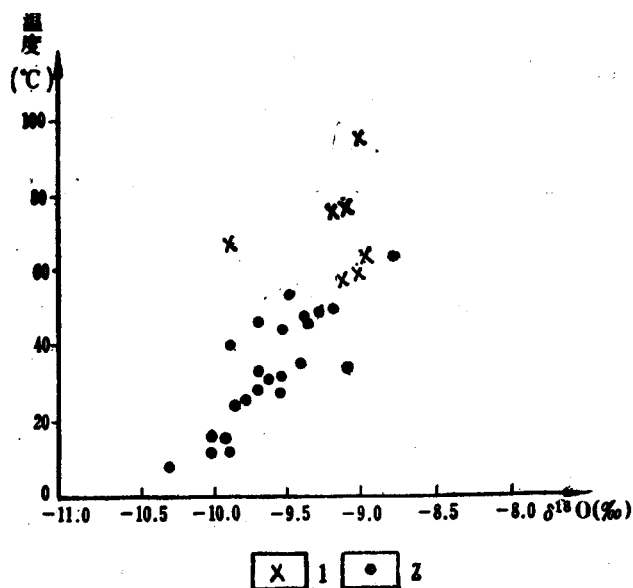
顺序号	样品号	地层时代	水温 (℃)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta\text{D}(\text{‰})$	顺序号	样品号	地层时代	水温 (℃)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta\text{D}(\text{‰})$
1	416082	Q	27.5	-9.56	-72.08	15	076033	N	40	-9.85	-70.31
2	0001	Q	32	+9.54	-76.51	16	006120	Q		-9.59	-70.97
3	WR4	O	58.5	-9.01	-76.51	17	WR3	Pt	77	-9.20	-70.55
4	增3	Pt	96	-9.00	-70.46	18	78-2			-9.20	-71.50
5	R0606	N	44	-9.54	-71.29						
6	506126	N	48	-9.38	-71.81	19	津5		65	-9.28	—
7	震4	Pt	77	-9.04	-71.94	20	津8	N	39	-8.91	—
8	R0615	N	63.5	-8.87	-71.66						
9	震3	N	49	-9.47	-74.11	21	津9		41	-9.90	—
10	WR1	O	58	-9.11	-70.35	22	126187	N	52.5	-9.49	-66.30
11	501105	N	47	-9.71	-70.66						
12	R1409	N	37.5	-9.15	-69.80	23	R 0618	N		-9.46	-78.84
13	王2	Pt	68	-9.88	-73.91	24	0002	Q	32	-9.71	-70.45
14	WR21	N	47	-9.32	-71.80						

图 5 天津地下热水及天然水 δD 与 $\delta^{18}\text{O}$ 关系图

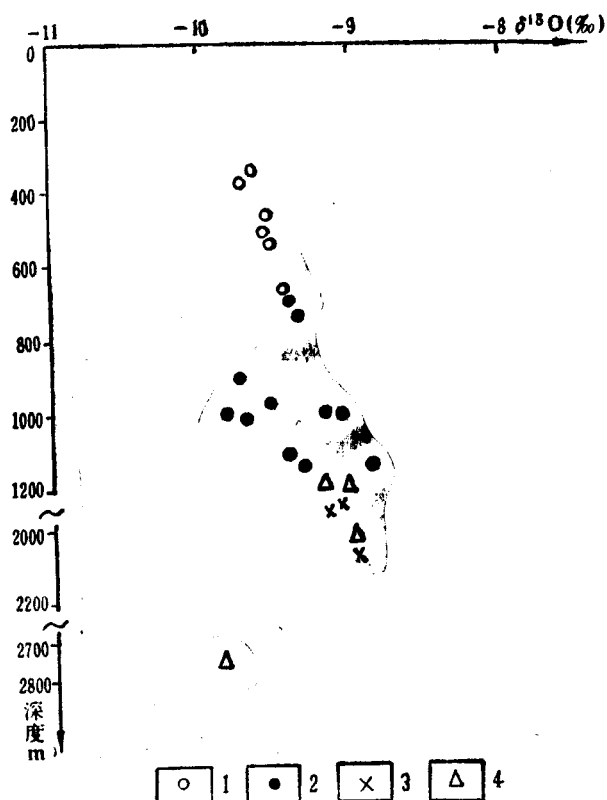
1—雨水；2—地表水；3—冷泉；4—第三系热水；5—元古界及古生界地下水

与含氧围岩的氧同位素交换越充分，同时也证明元古界和古生界地下水是由北向南运动的。

根据上述资料可以认为，天津地区地下热水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化主要取决于岩层埋藏的深度及其中所赋存的地下热水的温度和运移距离等因素。元古界和古生界地下水相对于上第三系地下水埋藏更深，温度更高，因此水与岩石之间的氧同位素交换也越充分，故而

图 6 天津地下热水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与地下水温度关系图

1—第三系热水；2—元古界及古生界热水

图 7 地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 值与深度的关系图

1—第四系热水；2—第三系热水；3—奥陶系热水；4—元古界热水

$\delta^{18}\text{O}$ 值也更大。

但地下热水的 δD 值却不因其埋藏深度的加大或是温度的增高而有明显的差异。根据世界一些地下热水同位素组成特征表明,地下热水从补给区到排泄区经历了很长的渗透路程,温度也有很大的增高,但氘含量没有明显变化。因此,H. Craig 指出,地下热水的 δD 值就是补给区的大气降水的 δD 值。这进一步证明本区的地下热水是属于大气降水起源的。

(三) 地下热水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与 δD 值的地理分布特征

本区地下热水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值及 δD 值的平面分布与地质构造有一定的关系。 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 等值线图(图8,图9)反映了以下特点:

1. $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的高值带分布在白塘口西断裂附近,与断裂走向一致,也与王兰庄地热异常区的分布方向基本一致。
2. δD 值在不同地段其梯度也不同。例如,在地震台,鸭厂至毛纺厂一带的梯度比其他地区要高,这说明在断裂带及其附近的地下热水的氢、氧同位素浓度较高。
3. 在 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 等值线的轴向上,局部地段有变形,表明这些地区可能存在有利于低 δ 值的水进入。

综上所述,本区深部地下热水的同位素交换作用是比较强烈的。由于地下热水在与围岩接触的时间较长,可发生氧同位素的充分交换,因而在含水体内具有较均一的同位素浓度。但在某些地段,由于介质环境因素,例如温度较高地段、在地热梯度较高部位、构造隆起部位、构造断裂带等有利于热流甚至地热流体的上升,因而这些部位的地下水温度增高,促进了系统中水—岩石之间的同位素交换,故地下热水中富集 ^{18}O 。上述 $\delta^{18}\text{O}$ 及 δD 值的分布特征并不是偶然的,它与双窑凸起和白塘口西断裂有密切的关系,特别是白塘口西断裂起着重要的作用。

(四) 地下热水的氡分布特征

本区地下热水的氡含量很低,一般均小于2TU,最低值只0.7TU(表3),基本上在分析精度之内,因此可以视为无氡水。而地表水体及雨水的背景氡含量要比地下热水高1—2个数量级。但总的看,地表水体的氡含量一般都小于流域内同时间降水的氡含量。因此,与对照区内这些同期大气降水氡值比较,可以看出,本区地下热水的年龄是较老的,它基本上没有受到热核试验释放出的人工氡的影响,其形成年龄至少在30年以上。但这只是定性的判断这些是古老的地下水,而不表明它的绝对年龄。

(五) 地下热水的 ^{14}C 年龄

^{14}C 年龄的测定在本区是有意义的,它可以作为确定这些地下热水年龄的重要方法。

从 ^{14}C 年龄测定结果来看,本区地下热水是古老的地下水, ^{14}C 年龄在 $1.8-2.7 \times 10^4\text{a}$ 之间(表4)。

从测定结果我们可以看到,上第三系地下热水和基岩地下热水的年龄是相近的,从绝对值看,上第三系地下热水的年龄比基岩的还要老些。这可以从以下几个方面来解释:首先