

天津及邻近地区中强地震 震源区水文地球化学环境与特征的研究^{*}

李 一 兵 庞 群 英

(天津市地震局, 天津 300201)

摘 要 天津及邻近地区自 1966 年 3 月 6 日至今卅余年的时间内先后发生了邢台、渤海、唐山三次 7 级以上大地震和十余次 6 级中强地震, 为研究该区的水文地球化学环境提供了有利条件, 作者依据该区域内 392 口井, 5000 多个水样, 20 余个项目的分析资料, 探讨了中强地震震源区水文地球化学环境与特征, 为探索利用水文地球化学方法判定潜在震源区开辟了新的途径。

主题词: 地震预报; 震源范围; 水文地球化学测量

0 引 言

在我国长期地震预报的探索中形成了“场的动态监测和源的过程追踪”的技术思路, 很显然, 如果确定了“源”, 那么实现地震三要素的成功预报就为期不远了。目前在地震学界通常用地震地质方法和地震活动性方法以及其他地球物理方法确定潜在震源区。随着地球科学的发展和地震监测预报实践的深入, 国内外地震学家更加重视地下流体在地震孕育过程中的作用。作者正是基于地下流体在地震孕育、发生过程中起着重要的作用, 在地震发生前、后水文地球化学环境必然发生显著变化这一观点出发, 利用天津及邻近地区近 400 口井的水样分析资料研究震源区的水文地球化学环境与特征, 并本着由“已知到未知”的认识论原则, 用已知中强地震震源区地球化学特征判定未知的潜在震源的可能地区。

本文在简要叙述天津及邻近地区中强地震的分布和地震地质条件之后, 着重讨论该区的水文地球化学环境及其特征:

1 天津及邻近地区中强地震的分布特征及地震地质条件

1.1 中强地震的分布特征

天津及邻近地区自 1966 年 3 月邢台 7.2 级地震开始至今, 在 32 年的时间内先后发

^{*} 本项研究的基础资料由华北地区地球化学背景场课题组提供。

生了邢台震群 河间 6.3(1967)、渤海 7.4(1969)、唐山 7.8(1976)、滦县 7.1 宁河 6.9(1976)等 $M_s \geq 6.0$ 级地震 11次(表 1) 图 1给出了上述地震的震中分布情况

表 1 天津及邻近地区 1966年以来发生的 $M_s \geq 6.0$ 级地震目录

序号	发震时间	东经	北纬	地点	震级	震源深度 (km)
1	1966.3.8	114°55′	37°14′	隆尧	6.8	10
2	3.22	115°1′	37°5′	宁晋	7.2	9
3	3.22	115°5′	37°30′	宁晋	6.7	
4	3.26	115°6′	37°41′	束鹿	6.2	15
5	3.29	115°2′	37°21′	巨鹿	6.0	25
6	1967.3.27	116°5′	38°5′	河间	6.3	
7	1976.7.28	118°0′	39°4′	唐山	7.8	22
8	7.28	117°8′	39°2′	宁河	6.2	19
9	7.28	118°5′	39°7′	滦县	7.1	22
10	11.15	117°7′	39°4′	宁河	6.9	17
11	1977.5.12	117°7′	39°2′	宁河	6.2	19

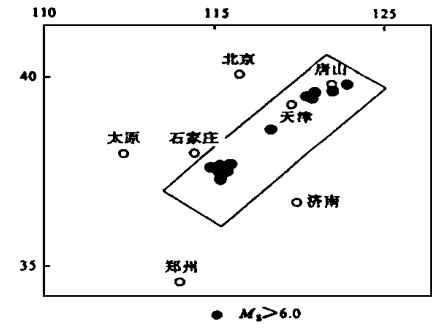


图 1 天津及邻近地区 1966年以来中强地震分布图

由表 1和图 1可以看出,该区中强地震在发震时间上具有成串连发的特点,在 1966年至 1977年 11年时间内发生 $M_s \geq 6.0$ 级地震 11次;在平面展布上成北东向带状分布,与区域构造走向一致;在纵向上,震源深度都在 10~ 30km,南深北浅,基本位于上地壳下部和下地壳上部;震源主压应力轴和主张应力轴方向变化不大^[1]。说明上述地震有着共同的构造条件并受统一的应力场的控制,这也为寻找震源区水文地球化学特征提供了有利条件。

1.2 地震地质条件

在天津及邻近地区自 1966~ 1977年 11年内相继发生的邢台、河间、唐山、滦县、宁河等 11次 6级以上地震,呈带状分布,总体走向 N40°E,长 500余 km,宽约 40~ 60km,通称唐山—河间—邢台地震带。

该地震带产生在前新生代构造基础上发育起来的大型断陷盆地内。这类盆地经历了早第三纪断陷和晚第三纪以来拗陷二个主要演化阶段,徐杰等(1992)在研究了该区断陷和拗陷的演化特征后指出,渐新世晚期以来华北盆地的中部存在一条规模较大的裂陷活动中心带并与强震分布相符。刘国栋(1985)、马杏垣(1988)等根据地壳厚度和软流圈顶面埋深资料研究后指出,唐山—河间—邢台地震带之下存在地幔和软流圈的强烈隆起带,亦即地壳和岩石圈的强烈减薄带,这表明唐山—河间—邢台地震带是在一条晚第三纪以来强烈活动的统一的断裂带的控制下形成的。断裂带的强烈活动为地壳深部物质的上涌提供了条件,使该区地球化学环境发生变化。研究这种变化,寻找其特有的地球化学标志正是本文的目的所在。

2 中强地震震源区的水文地球化学环境

唐山—河间—邢台地震带在地质构造上属于冀中拗陷、黄骅拗陷及所夹持的沧县隆起北东向构造带。该带内第四系覆盖全区,厚约 400~ 600m,其下为第三系及下古生界、中上元古界。中生界和上古生界在区内分布局限,地震地下流体监测资料较少,故这里只论述第四系、第三系及下古生界基岩(含中上元古界)三大层系的水文地球化学环境。

2.1 第四系水文地球化学环境

唐山—河间—邢台地震带为第四系覆盖区,厚度一般在 400m 以上(图 2)。根据地下水的水动力条件和水化学特征可将第四系分为二个区、三个层,即在平面展布上分为全淡水区和咸、淡水叠置区;在纵向上分为浅层淡水、咸水和深层淡水三层。各区、层的水文地球化学特征如表 2,由表 2 可见,第四系地下水主要来源于大气降水和河流入渗水,咸水则是第四系海侵时的残留水;地下水的运动是由山前流向滨海,故矿化度自西向东由小到大,水型由简单到复杂;各层之间的水化学特征有明显的差异,表明各层之间无明显的水力联系。

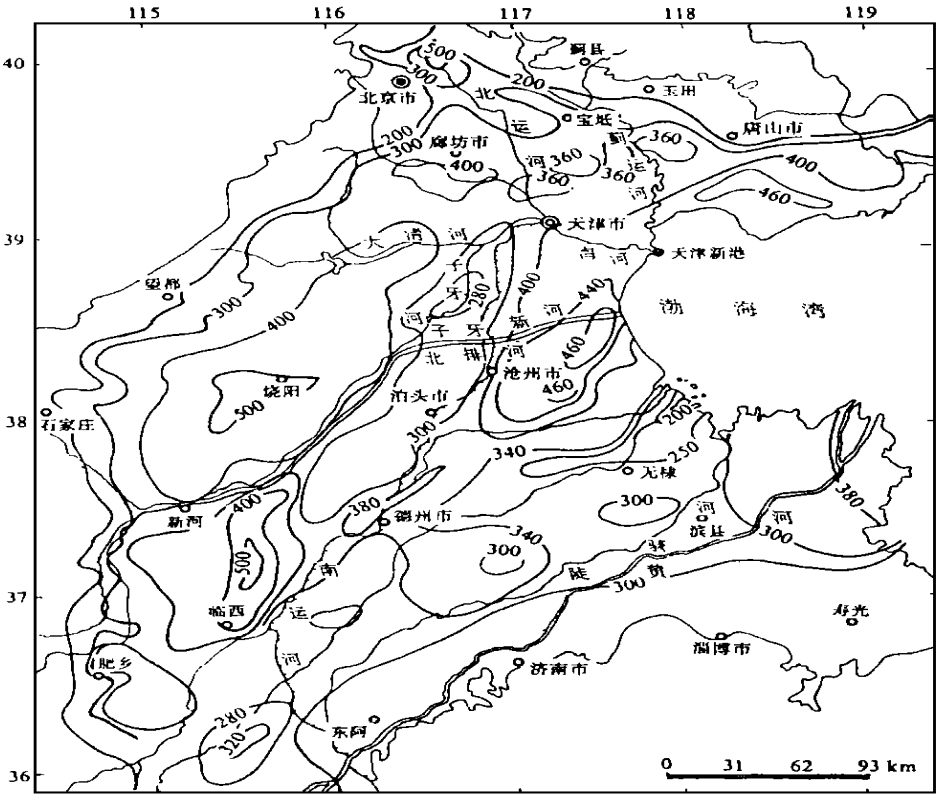


图 2 唐山—河间—邢台地震带第四系等厚图

表 2天津及邻近地区第四系水文地球化学特征表

分 区 类 型	分布地区	沉积类型	富水性	矿化度 (g/L)	水 型	$\frac{rNa}{rCl}$
全淡水区	燕山、太行山山前	冲积扇	强	< 0. 5	Na HCO ₃	> 2. 0
咸淡水 叠置区	浅层淡水	平原区	较 好	< 1. 0	Na HCO ₃	> 2. 0
	咸 水	平原东部区	较 差	> 2. 0	Na ₂ SO ₄ Mg Cl ₂	0. 73~ 0. 98
	深层淡水	平原东部区	较 好	1. 0± 0. 2	Na HCO ₃	> 2. 0

2. 2 第三系水文地球化学环境

2. 2. 1 上第三系明化镇组和馆陶组

明化镇组分布广泛,是水面宽广,水位埋深较浅的弱还原—弱氧化环境下的砂、泥岩间互沉积。地下水的矿化度西低(0. 5~ 1. 0g/L)东高(1~ 2. 5g/L),水型为 NaHCO₃型。

馆陶组为冲洪积相、河流相红色、灰色砂泥岩沉积,砂岩粗且含砾石,主要为氧化环境下的沉积,矿化度也呈现出西低(1. 5g/L)东高(2. 0~ 2. 5g/L)的特点,水型为 NaHCO₃型。

2. 2. 2 下第三系水文地球化学环境

下第三系沉积时,由于构造活动强烈,古地形高差悬殊,沉积环境各异,反映在沉积厚度上,沉积物性上差别较大,总的特征是矿化度高,一般在 10g/L左右,个别可达 121g/L(港 23),氯离子含量高, $\frac{rNa}{rCl} < 1$ 。水型复杂,既有 NaHCO₃型,也有 CaCl₂型。上述特点反映了该层水是受控于沉积时的古地理环境封闭性较强的古封存水之特征。

2. 3 基岩地下水的水文地球化学环境

这里所说的基岩是指下古生界和中上元古界地层,这套地层是以海相碳酸盐岩为主,夹泥、页岩。在其沉积过程中由于经历了多次强烈的构造运动和多次的岩溶化时期,形成了缝、洞发育,连通性好,富水性强的统一的水力系统,基本特征可归纳为以下几点:

(1)矿化度低于下第三系,一般在 2~ 3g/L,变化趋势是从盆地边缘向盆地内部逐渐增高。

(2)水化学成份以 Na-Cl为主,Na(mgN%)一般> 80%,Cl为 50~ 80%, $\frac{rNa}{rCl}$ 在 0. 83~ 2. 14之间(海水的变质系数 $\frac{rNa}{rCl}$ 为 0. 87)。表明原来为海相沉积水已经改造成为渗入成因的深循环地下水,水型由 NaHCO₃过渡为 CaCl₂型。

(3)水温较高,水量丰富。井口水温一般为 50~ 90℃。个别井为过热水,如任 23井在 4000m深处实测温度为 145. 4℃(据王永才资料)。水量丰富,一般产水量在 1000m³/d,个别可达 1. 0万 m³/d,反映了地下水补给丰富,连通性好,循环深度大。

(4)地下水主要来自大气降水,少量有可能来自地壳深部。这是根据氢、氧同位素分析结果得出的。图 3是根据天津地区第四系、第三系和古生界及中上元古界 30余个地下水样氢、氧同位素分析结果给出的。由图 3可见,绝大多数水样落在大气降水线附近,只有第

四系咸水和基岩水偏离大气降水线,这充分说明天津及邻近地区的地下水主要来自大气降水,少量为海相残留水(咸水)和来自地壳深部的水(基岩水)。

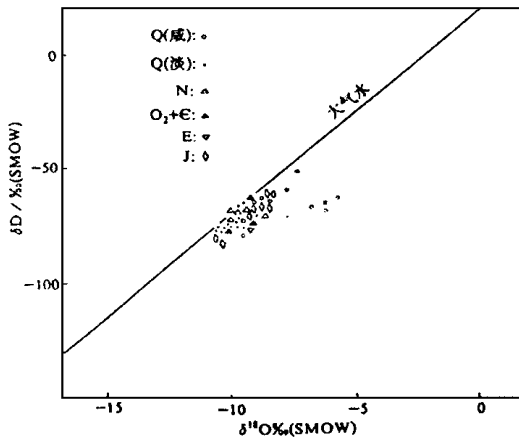


图 3 天津及邻近地区地下水
氢、氧同位素特征图

3 中强地震震源区水文地球化学标志研究

如前所述,天津及邻近地区在 1966~1977 年十余年的时间内先后发生 $M_s \geq 6.0$ 级地震 11 次,并形成了唐山—河间—邢台地震带,而且该地震带受相同的区域构造控制,为震源区水文地球化学标志的研究提供了前提条件。

研究表明^[2],一次 6 级地震孕育的时间要经历几年乃至几十年的时间,地震发生后地震波很快消失。而在此过程中引起的水文地球化学环境的变化在地震后仍可持续很长时间,因此有可能利用震源区震前、震后地下

流体的化验资料探索震源区水文地球化学标志。为进行该项研究,在天津及邻近地区的较大范围内,选择不同深度、不同层位的 392 个井(泉),取水样 5480 个,进行了常量、微量元素,铀、钍、镭、氡、氢、氦、二氧化碳、氢、氧稳定同位素等 29 个测项的分析测定,取得了极为丰富的实际资料并据此编绘了唐山—河间—邢台地震带震源区水文地球化学特征图(图 4),该图揭示了这一地震带中强地震震源区水文地球化学有如下特征:

(1) 二氧化碳含量高

由图 4 可以清楚地看出,从邯郸—邢台—饶阳—天津—唐山为 CO_2 高含量富集区, CO_2 含量占气体总量的 30~70%,最高达 75.3% (王 2 井),为一般地区正常含量的 3~4 倍。该区走向 NE,与地震带走向一致。

研究表明^[3]地球各圈层中 CO_2 的分布,主要集中在地壳与地幔。因此,地壳放气释放的 CO_2 主要来自地壳与地幔。地下水中 CO_2 的富集固然与含水层的岩性有关,但无疑也与地壳构造运动、地震活动有密切的关系,我国已在多次强震前观测到 CO_2 含量明显升高的震例。例如,1976 年唐山 7.8 级地震前天津地区的津 2 井、棉 4 井、张道口井热水中的溶解 CO_2 气体在 1976 年 1~7 月间出现大幅度同步上升异常,异常幅度是正常背景值的 2~4 倍。林元武等(1988)根据河北怀来县后郝窑断裂带上土壤中 CO_2 动态监测结果指出,近年来华北北部发生的 $M_s \geq 5.0$ 级的 4 次地震前都出现了 CO_2 非常显著的异常。

上述事例表明,自邯郸—唐山出现的 CO_2 高异常带有可能是震源区水文地球化学标志之一。

(2) 地下水中的汞和土壤气中的汞含量出现高异常

根据地下水中汞含量及土壤中汞含量近 100 个井点的实测结果表明,有二个高异常区(图 4),一个在唐山、丰南之间,另一个在河间,恰好与 1976 年唐山 7.8 级和 1967 年河间 6.3, 1973 年河间 5.3 级地震的震源区相吻合。

富集固然与岩性、地热异常区的分布有关,但毫无疑问,也与构造强烈活动造成 He 、 H_2 气体上涌而富集于地下水中有关系。

根据研究区内 127 个水氢观测井的观测资料^[4],按 A. H 托卡列夫对氢水的分类方法,将本区水氢浓度分为 4 个区:高氢水区、中氢水区、低氢水区和微氢水区,高氢水区位于滦县—山海关一带。结合国内外多次强震前观测到水氢高值异常的震例资料,可以相信,高氢水区的存在除与含水层岩性有关外,还与强震的发震构造活动有关。因此,高氢水区的存在有可能是震源区的又一个水文地球化学标志。

国内外地震水文地球化学工作者通过地震的监测预报研究发现,深大断裂,特别是活动构造带上 He 、 H_2 、 H_2 、 Rn 等的含量大大高于远离断裂带的含量,天津及邻近地区上述指标高值区如此好的与中强地震震源区相吻合,显示了震源区水文地球化学标志体系的整体特征。

如前所述,研究已经发生的中强地震震源区水文地球化学标志不是我们的最终目的,而是认识潜在震源区的一种有效途径。本项研究虽然依据大量的实际资料给出了震源区水文地球化学标志的定性分析,但是尚未给出某种元素与震源区的定量关系,特别是每个震源区都有自己特定的地质构造条件。寻找出具有普遍意义的潜在震源区的标志仍是需要深入研究的重大课题。由此可见,本项研究只是一个开端,不当之处敬请指正。

(1999 年 2 月 14 日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 梅世蓉,等. 1976 年唐山地震. 北京:地震出版社,1982.
- 2 张炜,等. 水文地球化学预报地震的原理与方法. 北京:科学教育出版社,1988.
- 3 鱼金子,等. 地壳中 CO_2 及其释放与地震短临预测. 国际地震动态,1998.
- 4 蒋凤亮,等. 华北地震水文地球化学研究. 上海科技文献出版社,1989.

RESEARCH ON THE FEATURES AND THE HYDROGEO- CHEMISTRY CIRCUMSTANCES OF FOCAL REGIONS OF THE MODERATELY STRONG EARTHQUAKES IN TIANJIN AND ITS VICINITY

Li Yibing Pang Qunying

(Seismological Bureau of Tianjin City, Tianjin 300201)

Abstract

Three earthquakes of magnitudes over 7 and more than 10 earthquakes of magnitudes over 6 occurred in Tianjin and its vicinity since the 1966 Xingtai earthquake, it provides favorable conditions for studying the circumstance of hydrogeo- chemistry. The authors have approached the features and the hydrogeo- chemistry circumstances of the moderately strong earthquakes on the basis of the data of 392 wells and over 5000 water samples, our research explores a new way to determine the potential seismic region by using the method of hydrogeo- chemistry.

Subject words moderately strong earthquake; hydrogeo- chemistry measurement; earthquake prediction