

地下水中铀含量变化在地震 预报中的应用研究*

杨静修 杨崇义 陈兰庆

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

杨仁华 钟齐辉 李如陶

(云南省地震局, 昆明 650041)

摘要 本文在分析铀的水文地球化学特征的基础上, 以滇西及甘肃河西两地区部分泉水中铀的动态变化资料为依据, 研究了地下水中铀含量变化与上述地区中强地震发生的关系。结果表明, 在一定条件下, 地震前铀含量异常变化是明显的。

本文还对地下水中铀含量异常机理及干扰因素等进行了研究, 提出了由于来点所处地球化学球境的差异, 铀异常并非普遍存在, 只有活性铀在地下水或围岩中含量较高的水点, 才适合于进行铀含量的观测。另外, 本文还采用对比观测方法, 首次对地下水中铀含量异常与氡含量异常之间关系及水氡异常机理作了新的解释。对利用水中铀含量异常预报地震的可行性进行了论证。

关键词: 水铀异常 活性铀 非活性铀 云南 河西走廊

1 铀的水文地球化学特征

铀在地壳中分布呈分散状态, 在地球各层圈中分布是向外迁移, 集中在地壳最外层^[1], 花岗岩中铀含量是玄武岩的4倍, 约为地幔中铀含量的30倍, 是地球铁镍核心的133倍。

铀在自然界中的存在有多种形式, 根据铀从岩石中析出的难易程度, 可分为活性铀和非活性铀。活性铀(即在氧化环境中的六价铀), 被吸附的铀和发生放射性衰变破坏结晶格架的铀, 它极易与碳酸等弱酸化合, 其几率达96%以上, 是地下水中铀的主要物质来源。

铀具有极强的迁移能力^[3], 其迁移强度是氯离子的25倍, 是硅的10倍, 铀在周期表中的位置, 决定其具有亲氧和价态转化的特征^[2], 自然界中四价和六价铀是铀存在的两种价态, 六价铀总是以铀酰离子形式存在。铀的迁移强度取决于其化合价的二重性。在氧化环境中六价铀迁移力强, 在还原条件下, 四价铀迁移力弱。碳酸在铀迁移中起着极其重要作用。重碳酸根离子与铀形成稳定的络合物, 而碳酸浓度则受PH值控制。

铀在水中含量与其在围岩中的丰度、水文地质条件、地球化学环境和铀的基本地球化学

* 地震科学基金资助课题

性质有极密切的关系,上述任何条件变化,均会影响铀的溶解或淋滤速度。

2 中强地震前后水铀异常特征

地下水中铀含量的观测工作在滇西南涧、洱源、下关及甘肃河西西武当泉同时进行,每 3 日取样观测一次,各泉点条件见文献[4]。在观测期间内滇西和河西地区发生 5 级以上地震多次,详见表 1 和表 2。

表 1 观测期内滇西五级以上地震

发震时间	震中位置	震级	距洱源温泉距离(km)
1991—04—12	宁 蒶	5.0	128
1991—04—23	云南—缅甸边界	6.9	370
1992—06—15	云南—缅甸边界	6.9	360
1992—12—18	永 胜	5.4	350
1993—01—27	普 洱	6.3	310
1993—02—01	大 姚	5.3	140

表 2 观测期内甘肃河西五级以上地震

发震时间	震中位置	震级	距西武当泉距离(km)
1990—10—26	景 泰	6.3	300
1991—01—02	祁 连	5.0	65

2.1 滇西地区几次地震前后温泉中水铀含量异常特征

在观测期间内滇西地区发生的几次地震前后,南涧温泉铀含量无异常显示,下关温泉铀含量除在 1991 年 4 月 12 日宁蒶地震前后出现异常外,其余几次地震前后均无明显异常。只有洱源温泉的铀含量在几次地震活动中有较明显的异常,并有一定的规律性,见图 1。其主要特征是:

(1)异常具有时间长、幅度大的特征。若将地震活动平静期铀测值视为正常值,则异常时间和异常幅度指标见表 3。

表 3 洱源温泉水铀异常指标

地 震	宁蒶(5.0 级)	云南—缅甸 边界 6.9 级	永胜(5.4 级)、普洱(6.3 级) 大姚(5.3 级)
异常时间	6 个月	8 个月	6 个月
最大值/正常值	3 倍	4 倍	4 倍
距洱源距离	128km	370km	320km

(2)铀含量异常与重碳酸根异常形态相似,见图 2。

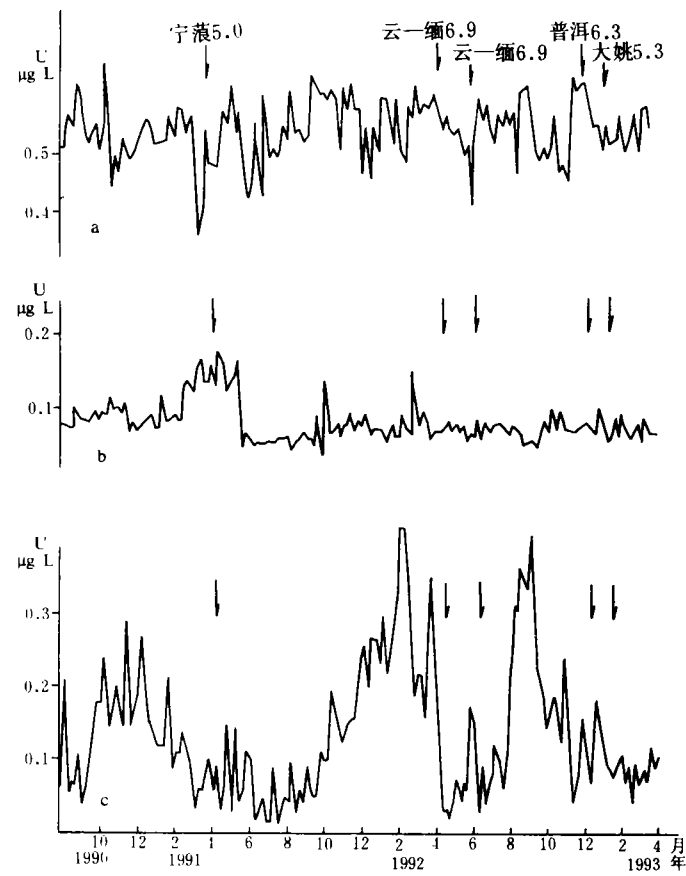


图 1 滇西温泉水铀动态变化与地震关系曲线
a. 南洞; b. 下关; c. 洱源
Fig. 1 Relation between the dynamic variation of Uranium in hot spring and earthquakes in Western Yunnan.

关系,也不处于放射性平衡状态。经计算水氡测值大于水铀放射性平衡时的值。作者认为铀-氡值差异的原因是地下水中溶解铀,只能是活性铀,而活性铀又只是围岩中的小部分。而元

表 3 泉水中铀和氡含量对比观测结果

泉点地名及名称	水铀含量 Mg/L	水氡含量 Bq/L
云南洱源温泉	0.17	53.7
云南下关温泉	0.54	52.2
云南南洞温泉	0.08	7.5
甘肃天水花牛泉	19.67	65.3
甘肃民乐山城泉	33.3	27.1
甘肃武威月牙泉	4.2	2950.0
甘肃张掖西武当泉	1.2	27.0
甘肃迭部然则泉	3.9	31.2

(3)铀含量异常与气象因素变化无明显的相关性,见图 3。

(4)铀含量异常与水氡异常形态基本相似,在时间上基本同步。与水氡异常比较,铀含量变化对地震的反映比较灵敏,见图 4。

2.2 甘肃西武当泉铀含量在中强地震前后的异常特征

该泉水氡在其附近发生的中强地震前后都有较明显的异常反映。景泰 6.2 级地震及祁连 5.0 级地震前泉水中铀含量出现了明显的趋势性异常,其形态与 Eh 值变化有同步性,见图 5。

3 水铀异常与水氡异常的比较

为了研究水铀与水氡异常的关系,现将部分泉点对比观测结果列于表 3。

由以上对比观测结果可以看出,铀虽然是氡的母体,但水中铀和氡含量并无相关

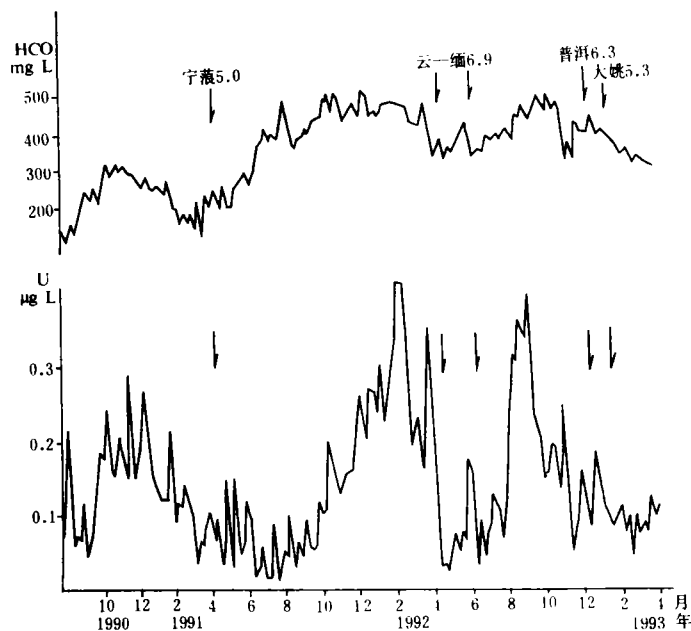


图2 洱源温泉水铀及重碳酸根变化曲线

a. 洱源温泉重碳酸根; b. 洱源温泉水铀

Fig. 2 Variation of ground water Uranium in Eryuan hot spring and heavy carbonic-acidradical.

者认为只有活性铀对应力场的作用才是灵敏的,只有活性铀在地下水和围岩中占较高比率的水点,才是利用水铀预报地震的灵敏点。

4 水铀地震异常机理及其在地震预报中应用的可行性论证

地震活动期构造运动的活化及区域应力场变化,使地下的水文地质参数和地球化学环境发生变化,加剧了铀的活性和影响铀自矿物中溶解和淋滤的速度,还破坏了地下水的物理化学平衡状态,使地下水中铀含量出现异常。滇西的洱源温泉中重碳酸根浓度在地震前增加,由于重碳酸根与铀酰离子可形成稳定的络合物,从而加剧了含铀矿物的溶解,铀则以络合物形式稳定地进入地下水中,因此,该温泉中铀含量也增加。

素的放射性并不受铀的活性或价态的影响,活性铀和非活性铀均是氡的母体,对提供氡起着同样作用,因此,水氡值大于水铀放射性平衡时的值是自然的。

在以往震例中,常出现震中距较近、条件又好的水点在地震前水氡无异常显示的现象,笔者认为这可能是因为该水点地处还原环境中,水氡来源于非活性铀,这类铀在区域应力场作用下,不可能改变它的溶解速度和放射性平衡。作

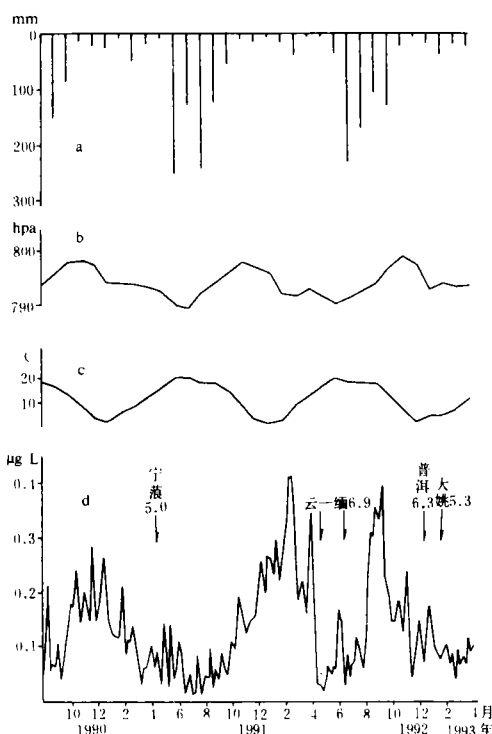


图3 洱源温泉水铀与气象因素变化曲线

a. 降水; b. 气压; c. 气温; d. 水铀;

Fig. 3 Curve of ground water Uranium in Eryuan hot spring versus the changes of meteorological factors.

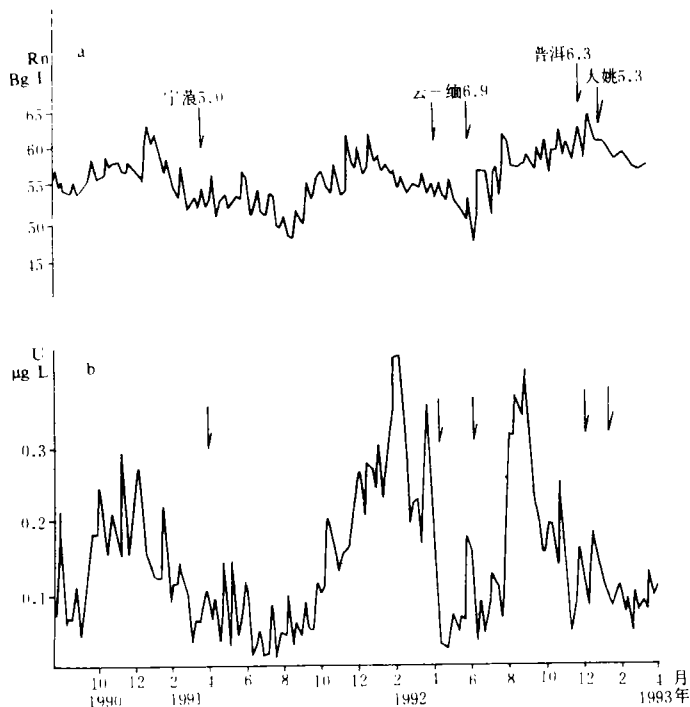


图4 洱源温泉水铀及水氡变化曲线

a. 水氡; b. 水铀

Fig. 4 Variation curve of groundwater Uranium and groundwater Radon in Eryuan hot spring.

常以碳酸和铀酰络离子存在于地下水中, 压力增加不仅引起二氧化碳溶解, 同时还增加水中碳酸和铀酰络离子的稳定性, 使水铀浓度增大。温度升高, 物理化学平衡受到破坏, 铀酰络离子的稳定常数加大, 使沉积的铀大量转入水中, 地下水中的铀主要是活性铀, 同时由于地下水的不稳定性, 铀在固相和液相间平衡难以达到, 地下水在经流过程中的水文地质条件不同, 围岩中微晶物质对铀的吸附或解吸附层次则不一样, 铀的含量会出现“贫化”或“富集”现象, 因此各地泉水中铀含量差异较大。

本文研究结果表明, 地下水中铀含量的异常, 与中强地震发生有较好的对应关系, 在震前除有趋势性、大幅度 and 长时间异常外, 还有一定的规律性, 对有些水点而言, 其中的铀和氡含量虽无相关性, 但其前

铀是一种变价元素, 地球化学环境对其性状影响极大。铀的基本的地球化学性质之一是在还原环境中, 当其从 U^{6+} 还原为 U^{4+} 时, 变成难溶于水的盐类, 即非活性铀。反之氧化环境中氧对铀的迁移起着重要作用。水中氧含量增加, 氧化还原电位(Eh)不断增高, U^{4+} 被氧化为 U^{6+} , 即非活性铀转化为活性铀, 地下水中铀含量也随之增高。在景泰 6.2 级地震发生前, 甘肃西武当泉 Eh 值出现不断上升的趋势, 铀含量也出现了形态相似的不同步异常。

地震孕育过程中压力、温度等条件的变化也可导致水铀异常, 因为铀

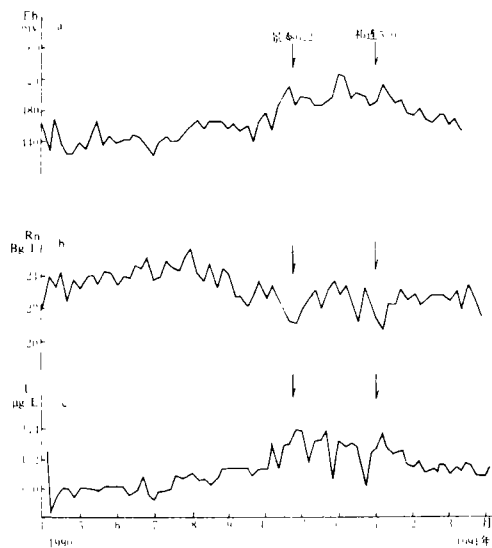


图5 甘肃西武当温泉铀含量、氡含量及 Eh 值变化曲线

a. Eh 值; b. 水氡; c. 铀

Fig. 5 Variation curve of Uranium content, Radon content and Eh value of Xiwandang hot spring, Gansu.

兆异常具有同步性。在观测中气象因素和水动力因素干扰可忽略不计。所采用的测试方法灵敏度高、选择性好、结果稳定。因此,用地下水中铀含量异常的观测来进行地震预报是可行的。

(本文 1994 年 1 月 24 日收到)

参考文献

- 1 刘英俊,等.元素地球化学.北京:科学出版社,1984.
- 2 张万春.铀矿地质简明教程.北京:原子能出版社,1985.
- 3 J. A 马弗良诺夫.中亚若干地震活动带的水文地球化学特征.孙崇绍,王长岭译.北京:地震出版社,1981.
- 4 杨崇义,杨静修.中强地震前后泉水中铀含量变化特征及在地震预报中应用的可行性研究.西北地震学报,1992,14(4):25-31.

VARIATION OF URANIUM CONTENT IN GROUNDWATER AND ITS APPLICATION TO EARTHQUAKE PREDICTION

Yang Jingxiu, Yang Chongyi and Chen Lanqing
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Yang Renhua, Zhong Qihui and Li Rutao
(Seismological Bureau of Yunnan Province, Kunming, China)

Abstract

Based on the analysis of hydrogeochemical features of Uranium, in terms of the data of dynamic variation of Uranium in some springs in the western Yunnan and Hexi corridor, Gansu, this paper studied the relation between the content variation of Uranium in groundwater and moderately strong earthquakes in these areas. The result shows that the anomalous variation of Uranium content is obvious under some circumstances.

By analysing the anomalous mechanism of Uranium content in groundwater and the interference factors, it is suggested that the Uranium anomaly does not commonly occur because of the differences of geochemical conditions around the springs, and only the springs with high content of activated Uranium in groundwater and wall rock are suitable to observation of Uranium content.

with the method of comparative observation, the interpretation is tried, for the first time, on the relationship between the content anomaly of groundwater Uranium and that of groundwater Radon, and on the mechanism of Radon anomaly in groundwater. The feasibility of earthquake prediction with groundwater Uranium anomaly is also dealt with.

Key Words: Uranium anomaly in groundwater; Activated Uranium; Non-activated Uranium; Yunnan; Hexi corridor, Gansu