

青藏高原东部地表水、地下水的氡同位素研究

王绍令 李作福 刘景寿 梁志祥

(中国科学院兰州冰川冻土研究所) (地矿部九〇六水文地质工程地质大队)

摘要 青藏高原东部多年冻土区内大气降水中氡含量为 185—14T. u, 地表水为 183—20T. u, 冻结层上水为 107—59T. u, 冻结层下水为 39—7T. u, 构造融区深层水和温泉水为 37—20T. u, 各类地下冰为 122—7T. u.

氡含量值具有东南部低、西部和北部高的地带性规律。利用不同类型水中氡值差异可确定各类地下水补给年代和循环周期及地下冰的水分来源。

研究表明本区自 80 年代以来,大气降水、地表水和地下水的氡浓度在逐渐下降。

氡同位素是自然界水体循环中较稳定的示踪指示剂。近年来,许多学者^[1-2]都在探讨利用氡同位素示踪法研究地下水循环过程及其本身特征。作者在青藏高原东部地区进行冻土和区域水文地质普查中积累了有关资料,本文重点讨论该地区各类水体中氡含量空间分布和随时间的变化规律,并利用氡同位素法确定各类地下水的补给年代和循环周期。

一、样品采集及试验结果

氡分析的水样及冰、雪样采集于青藏高原公路沿线及其以东的高原广大地区。1980—1988 年间,我们有针对性的在现场采集大气降水(雪)、地表水(河水、湖水)、地下水(冻结层上水、冻结层下水和融区水等)、地下冰(冻胀丘冰、浅层冰和深层冰)共 92 个样品,样品中氡含量分别由甘肃省卫生实验所*和中国科学院兰州冰川冻土研究所采用低本底液体闪烁计数器测定(本底分别为 $2.7 \pm 0.1\text{cpm}$ 和 $2.0 \pm 0.1\text{cpm}$)。现将几处典型地段样品的分析结果归纳于表 1 (零散样品未统计在表 1 中)。

二、样品结果讨论

青藏高原是许多大江、大河的发源地,高

山地带现代冰川发育,高原面上湖泊星罗棋布,高原上发育着大面积的岛状和片状多年冻土。多年冻土区地下水的补给、迳流、排泄无不受多年冻土所制约,通常被分成三大类:冻结层上水、冻结层下水和融区水。高原上各类水体中氡含量有其自身的规律,大气中的氡是通过雨、雪水转移到地面,然后通过地表水渗入地下,不同类型的地下水因水文地质条件的差异,氡含量亦不同。从而导致各类水体均具有空间分布和随时间变化的规律性。

1. 空间分布规律

从表 1 可见,近几年来,青藏高原东部地区大气降水中氡含量为 185—14T. u, 地表水为 183—20T. u, 冻结层上水为 107—59T. u, 冻结层下水为 39—7T. u, 构造融区深层水和温泉水为 37—20T. u, 开放型冻胀丘冰和深层地下冰为 11—7T. u, 封闭型冻胀丘和上限附近地下冰为 122—18T. u。值得注意的是区内大气降水、地表水和冻结层上水的氡含量具有明显的地带性规律,即随着纬度的降低,氡含量逐渐减少;随着经度的增加,氡含量亦逐渐减少。这主要与高原上大气环流趋势有关,降水气团的运行途径、降水特征将直接影响降水中氡浓度的地带性变

* 样品由该所高平印同志测定

表 1 青藏高原东部各类水中氡含量

采样地区	纬度 (N)	样品类型	采样深度 (m)	采样时间 (年·月·日)	氡含量 (T. u)	
					范围	平均
青藏公路昆仑山区	35°40'	大气降水		1980.7.25.—1985.8	101—84	93(2 次)
		河 水		1985.8.11.		62
		冻结层上水	0.5—1.0	1985.8		84
		冻结层下水	72—115	1985.8.11.		24
		开放型冻胀丘冰	丘下 0.25—1.00	1985.8.11	11—8	9(4次)
		深层地下冰	上限下 2.4—3.2	1984.6.18	9.4—8	8.7(2 次)
青藏公路风火山区	34°42'	大气降水		1984.6.—1984.8.	84.6—70	75.5(3 次)
		河 水		1984.6.26		81.2
		冻结层上水	1.5—2.0	1984.8.		66
		冻结层下水	60m 以下	1984.6.—1984.8	21—20	20.5(2 次)
		上限附近地下冰	上限下 0.05—2.0	1984.8.	66—18	40.9(7 次)
青藏公路唐古拉山北坡	33°02'	大气降水		1980.7.—1984.7.	59.2—44	51.6(4 次)
		冻结层上水	0.5—1.0	1984.7.22.		64
		融区水(温泉)		1984.7.21.		22
		封闭型冻胀丘冰	丘下 0.35—1.35	1984.7.4.	68—64	66.3(4 次)
黄河源区	35°06'	湖 水		1988.5.28.		183
		冻结层上水	0—0.8	1988.5.	116—80	92(3 次)
		冻结层下水	39—150	1988.5.	39—14	26.5(2 次)
		上限附近地下冰	2.5—3.0	1988.6.		22
		深埋藏冰	19.81—24.26	1988.5.		7
玛多县城	34°50'	大 气 降 水		1988.6.	80—66	73(2次)
		河 水		1988.6.		183
		冻结层上水	0.9—1.8	1988.6.—1987.9.	113—69	91(2次)
		冻结层下水	9.5—39.4	1987.9.—1988.6	31—7	19(2次)
青康公路巴颜喀拉山区	33°42'	大 气 降 水		1988.6.		68
		河 水		1987.7.		95
		冻结层上水	2.5—3.0	1987.7.		107
		融 区 水	5.0—5.5	1987.7.		37
祁连山东段冷龙岭*	37°40'	大气降水		1981.5.—1982.8.	185—77	
		河 水		1981.5.—1982.8.	269—189	
		冻结层上水(泉水)		1981.5.—1982.8.	217—185	
青海省玛沁县城南	34°20'	大气降水		1987.6		24
		河 水		1987.6		55
		冻结层上水	0.6—0.9	1987.6		59
		上限附近地下冰	0.9—12	1987.6	122—81	101.5(2 次)
四川省阿坝县城	32°53'	大气降水		1987.6.		14
		河 水		1987.6.24.		20
		潜 水	6.0—7.0	1987.6.24.		69

* 据武筱玲资料

化。本区降水主要集中于暖季(六月至九月),这时来自印度洋孟加拉湾的暖湿气流控

制本区,经本区上空在向北或西北方向移动过程中其海洋水汽的含量逐渐减少,与此同

时,水汽团中氡含量将逐渐增大,导致降水中的氡浓度由东南向西北、北部逐渐增加,从而造成本区西部、北部降水中氡含量高于东部和南部的地带性规律,如沿青藏公路从南向北,唐古拉山北坡大气降水中氡含量为 59.2—44T. u, 风火山区为 84.6—70.0T. u, 昆仑山区增至 101—84T. u; 本区东南部的四川省阿坝县城大气降水中氡含量为 14T. u, 向北至青海省玛沁县城南为 24T. u. 祁连山区大气降水中氡含量为全区最高, 山脉东、西端平均值为 196.0—133.1T. u^[3], 东段的冷龙岭其值为 188—77T. u, 比纬度更北的阿尔泰山冰川区(102.8T. u) 还大, 其原因主要是局部的地理环境(水汽来源、地区性污染等)的影响所造成的。

大气降水和地表水中氡含量必然会影响地下水, 其值随地下水埋深增大而明显减少, 表现为冻结层上水中氡含量最高、其值为 107—59T. u, 且不稳定, 说明这类水处于积极循环带中; 其次是融区水(构造融区水), 其值为 37—20T. u, 融区水以垂向运动为主, 越向深部渗流速度越慢, 氡含量亦随之变小; 冻结层下水和深层泉水中氡含量为 39—7T. u, 含水层埋藏越深, 地下水迳流循环越缓慢, 氡含量亦越低。

2. 随时间变化规律

据资料表明^[4], 同一地区地表水体的氡含量在大气氡值上升期(1953—1963年)相对要低一些, 因为蒸发作用缩小了内陆上空氡的梯度; 近年来大气中氡值正处在不断下降之中, 而这些水体仍维持了较高的氡含量, 反而通过蒸发把氡输向大气中, 所以地表水体对氡含量变化起缓冲作用; 地下水较大气降水和地表水更具有一定的滞后性, 而且氡含量变化较为定稳、幅度小。本区可从以下几点得到证实:

(1) 从昆仑山和唐古拉山 1980 年 7 月和 1984 年 5—7 月六次降雪中氡含量对比发现: 昆仑山 1980 年 7 月其值为 101.4T. u,

1984 年 7 月降至 84.6T. u; 唐古拉山区其值从 59.2T. u 降至 40T. u。

(2) 从同一时间采集的不同样品的分析结果可看出[表 1], 冻结层上水(或潜水)氡含量一般比大气降水中的大。冻结层上水主要接受大气降水的补给, 循环周期短, 滞后期也短, 因此它可代表前几年当地大气降水中的氡含量。

(3) 地下冰是固态的地下水体, 它保留了成冰时地下水中氡的“踪痕”。一些在多年冰土上限附近近代形成的地下冰, 其氡含量高于当地现代大气降水、地表水和冻结层上水, 如青海省玛沁县城南的上限附近地下冰中氡含量为 122—81T. u, 大气降水为 24T. u, 河水为 55T. u, 冻结层上水为 59T. u, 这说明形成地下冰时的大气降水、地表水和冻结层上水的氡含量均比现在高。

(4) 区内几个大湖的湖水中氡含量均高于当地现代大气降水的氡含量, 如以祁连山冰雪融水和大气降水补给为主的青海湖, 湖水中氡含量高达 210T. u, 其东北侧的冷龙岭的大气降水中氡含量为 188—77T. u; 鄂陵湖水中氡含量为 183T. u, 扎陵湖为 118—83T. u, 其值均高于邻近的玛多县城大气降水(80—60 T. u)。这些湖水是大气降水、地表水和地下水混合汇入多年蓄积而成的, 其氡值高也间接说明前几年这几种水氡含量比现在高。

3. 确定地下水的补给年代和循环周期

北半球中纬度地区, 大气降水中天然氡含量一般为 5—10T. u, 1953 年开始, 大量热核爆炸产生的人工氡进入大气层, 降水中氡含量剧增, 1963 年达到高峰, 如 1965 年包头地区大气降水中氡含量约为 800T. u; 天山托木尔峰冰川区陈雪中氡含量为 1276.3T. u^[3], 按此推测当时本区的北部和西部大气降水中氡含量也相当高, 从而导致各类地下水中氡含量剧增。氡半衰期为 12.43 年, 按氡的自然衰变模式($C = C_0 e^{-\lambda t}$)推算, 1953 年

前不含核爆氡的大气降水中氡含量已衰减到小于 $1.5T \cdot u^{[1]}$, 考虑到测定过程中的误差和地层内有极少量其它成因的天然氡形成, 目前一般采用 $3T \cdot u$ 为边界值用以判断水中渗入核爆氡年轻水的数量和年代, 因此通过测定不同类型水中氡含量可间接地提供有关判断地下水的补给年代和循环周期的证据。

(1) 冻结层上水: 它直接接受大气降水和地表水的补给, 含水层埋藏浅, 地下水运行途径和循环周期短。目前该类地下水中氡含量一般大于当地大气降水中氡含量, 这说明冻结层上水主要是近几年大气降水和地表水补给所致。据武筱玲在祁连山冷龙岭观测, 冻结层上水在含水层内持续时间: 基岩裂隙水为 3—4 年, 第四纪松散层中潜水为 1—2 年, 由此推测区内冻结层上水的循环周期为 1—4 年, 冻结层上水主体是最近 4 年内补给的。

(2) 冻结层下水: 冻结层下水的分布和埋藏条件比较复杂, 其补给状况和循环周期与含水层埋深及运行途径有密切关系。多年冻土层的存在使冻结层下水的补给受到一定的限制, 地表水和冻结层上水只有通过各类融区给与补偿, 其它方式渗入含水层的水是极少的, 这样就扩大了地下水垂直交替带的深度和水平交替带的范围, 延长地下水运行途径和循环时间。

青藏公路沿线大片多年冻土区内, 山区多年冻土厚度大于 60m, 冻结层下水的含水层埋藏较深、水量较稳定。昆仑山、风火山和唐古拉山三个山区的水文地质条件相似, 冻结层下水和深层温泉水中氡含量均为 $24—20T \cdot u$, 说明这类水中已有少量的核爆氡年轻水渗入, 其中大部分仍是 1953 年以前补给的, 由此判断该类水循环周期约 30 年或稍长一些时间。

这些山区冻结层下水和华北平原和鄂尔多斯盆地深层地下水相比^[1-2], 其补给年代和循环周期显得很短, 原因是上述几个山区, 海拔高、地形起伏相对高差大, 加之晚近构造强

烈, 形成很多活动性断裂带, 是地下水的良好通道, 山区寒冻风化作用强烈, 寒冷裂隙非常发育, 寒冻裂隙最发育带在地貌上处于水系的上裂点, 这些均有利于地下水的垂向运动, 致使地下水垂直交替带变深, 导致冻结层下水补给充沛, 径流循环强、循环周期变短。

本区东部的岛状多年冻土区内, 冻结层下水中氡含量为 $39—7T \cdot u$, 其值变化幅度较大, 原因是由于含水层本身性质和埋藏深度不同造成的。一种是含水层透水性较差、埋藏较深的冻结层下水、氡含量低, 如黄河上游的黑河盆地 CK₄ 孔, 含水层为淤泥质粉细砂, 埋深 85.0—150.0m, 含水层上伏淤泥质亚粘土, 因透水性差很难垂向渗入, 且距补给、排泄区远, 渗流速度缓慢, 氡含量为 $7T \cdot u$, 由此推断该层水主要是 1953 年前入渗补给的水体, 其循环周期大于 30 年。另一种是含水层透水性好、埋藏较浅的冻结层下水, 其氡含量较高, 如鄂陵湖北岸 CK₆ 孔, 含水层为砂砾石层, 透水性好, 埋深 39m, 氡含量为 $39T \cdot u$, 该孔距湖岸 123.9m, 孔位附近多年冻土层厚 8m, 冻结层下水和冻结层上水及湖水有良好的水力联系, 说明冻结层下水仍处于积极循环带中, 推断其主要水体入渗补给时间应在 1953 年以后。

从上述几个实例可见: 冻结层下水的补给时间和循环周期变化幅度相当大, 这主要取决于多年冻土层厚度、含水层埋深及透水性等水文地质条件。

(3) 融区水: 融区是冻结层下水补给和排泄的通道, 融区水种类较多, 水力联系也很复杂。构造融区深层水氡含量一般为 $37—20T \cdot u$, 其氡值取决于融区通道在地下水水力联系中的作用, 如唐古拉山构造融区水中氡含量和冻结层下水一致, 两者的径流循环周期也相似; 有些融区水被冻结层上水和冻结层下水混合, 氡含量较高, 如巴颜喀拉山区融区水氡含量为 $37T \cdot u$, 这种情况下地下水入渗补给时间就很难确定。(下转第 23 页)

姆左右。若地面与 10 米处采用同一电阻,并在较短时间内用较精密的电桥测量两点的温度,即可保证预测的精度。

② 冬季在高气压区内,若出现下沉逆温,整天都可能在离地数百米到数千米高度上维持一低层逆温层。当低层逆温层的高低于 500 米时,随着贴地逆温的生成、发展;到午夜前后,两层逆温可合并形成一个从地面开始有着数百米的深厚逆温层,故此时实际的贴地逆温层厚度应为预测的贴地逆温层与低层逆温层厚度之和。图 6 描绘了 1987 年 1 月 4 日渭南大气垂直温度分布演变过程。白天在 350 米高度以上维持着一厚度约为 300 米的逆温层;18 时贴地逆温初步形成;到 22 时,贴地逆温与低层逆温合并成一个层次;此时 z_i 预测值为 344.8 米,实际值为两层之和,达 650 米左右。在冬季晴朗静风且相对湿度较小的天气状况下,应注意这种情况的出现。

五、结论

本文提出的晴朗夜间贴地逆温分布预测

模式及 k_v 、 k_w 、 k_r 三项修正系数,较大幅度地提高了预测精度,可以满足大气环境评价和空气污染潜势预报的要求。这种方法在一般地面气象观测站即可进行,不需要铁塔等特殊设备,是一种适合我国国情的可替代夜间低空探空试验的方法。由于地形起伏不平的山区辐射面复杂,可能造成低层大气出现多个逆温中心,预测结果难于代表整个地区,故预测模式仅适用于地势平坦开阔的区域。

大气中二氧化碳对地面的长波辐射也有较强的吸收能力,二氧化碳浓度在多少以下可忽略其影响;以及各种地形条件对逆温分布的影响等问题,有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 萨顿·O. G., 微气象学, 120—158 页, 徐尔灏, 吴和震译, 高等教育出版社, (1959)
- [2] Anfossi. D. et al, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 102, 173—180, (1976)
- [3] Surridge. A. D., *Boundary-Layer Met.*, 36, 295—305, (1986)
- [4] Surridge. A. D., *Atmospheric Environment*, 20 (4), 803—806, (1986)

(收稿日期: 1988 年 11 月 1 日)

(上接第 27 页)

4. 确定地下冰的水分来源

由于各类水中氡含量不同,导致各类地下冰中氡含量也具有明显的差异,利用这种差异可判断出形成各类地下冰时的水分来源、形成机制及成因类型等,这方面已有专门论述^[1],本文不再详述。综合表 1 中资料可见:多年冻土上限附近的地下冰和封闭型冻胀丘冰与冻结层上水、地表水有密切关系;开放型冻胀丘冰与冻结层下水和深层泉水有关;深埋藏并保留在“封闭”状态下的地下冰与现代地下冰无关,其形成时代要早于 1953 年。

从地下水(冰)中氡含量变化可看出,本区 50 年代以前地下水中氡含量普遍小于 10 T. u, 从 1953 年以后多次核试验产生了大量人工氡,导致本区大气降水中氡含量剧增,地下水也受到污染,以冻结层上水反映最明

显,如冷龙岭其氡值高达 217T. u. 80 年代以来,随着大气降水中氡浓度的下降,地下水中氡浓度也随之消减,其消减幅度有待进一步研究。综上所述,定期测定各类水(冰)中氡含量是研究多年冻土区地下水动态变化、水力联系、水资源的环境监测和预报的理想方法。

致谢: 在野外工作中得到地矿部 906 水文地质工程地质大队二分队的支持和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 张之淦等,水文地质工程地质, (4), 1—7(1987).
- [2] 袁志梅,水文地质工程地质, (5), 30—33(1988).
- [3] 王平,冰川冻土, 8(1), 40—51(1986).
- [4] 王瑞久,工程勘察, (4)55—58(1985).
- [5] 王绍令等,冰川冻土, 11(1)42—46(1989).

(收稿日期: 1989 年 4 月 26 日)

Treatment of Phenol-containing Wastewater by Immobilized Microorganism.

Zhou Ding, Hou Wenhua (Harbin Institute of Technology, Harbin): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(1), 1990, pp.

Treatment of phenol-containing wastewater by immobilized microorganism has been studied systematically in this paper. For this purpose, a strain of *Candida tropicalis* showing quite high phenol-degrading activity was separated from activated sludge. The immobilizing support and immobilizing conditions were selected through the experiments. The simulated wastewater containing 300 ppm phenol was treated in a self-made three-phase fluidized bed reactor filled with immobilized microorganism, and the outlet concentration of phenol was below 0.5 ppm. The volumetric loading rate of phenol increased by more than one time, and the amount of surplus sludge decreased by 90% as compared with those in traditional activated sludge method. These results show good prospect of immobilized microorganism in wastewater treatment.

Microbial Degradation of Polyethylene Farming-mulch-film after Its Photodegradation.

Li Fengzhen et al. (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang): *Chin. J. Environ. Sci.* 11(1), 1990, pp.

This paper reports the conditions of degradable polyethylene farming-mulch-film by microorganism inoculation tests and soil-buried tests. The results obtained are as follows: 1. It is very difficult for polyethylene film of high molecular weight to be microbial degradation; 2. When the film molecular weight caused by photodegradation is below 4500—5000, the film fragments are susceptible to microbial attack by microorganisms commonly found in soil, and different microorganism has different degradability; 3. It is also demonstrated that photodegraded fragmented fragments of polyethylene film with not inhibit soils oxidation metabolism and soil enzymatic activities.

The Joint Probability Distribution of Wind (Directions, Speeds) and Stability Condition with the Diagnostic Depth of Planet Boundary Layer.

Xu Dahai (Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(1), 1990, pp.

In this paper, the joint probability distribution of wind (directions, speeds) and stability conditions are given on the basis of probability theory. A kind of semi-empirical formula is also obtained, and gives the diagnostic depth of planet boundary by using stability and the regular wind speeds measured on the weather station in China.

Study on Predicting Model of the Nocturnal Radiant Inversion Distribution.

Zong Zijiu (Beijing Central Engineering and Research Institute of Non-ferrous Metallurgical Industry): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(1), 1990, pp.

The height and strength of temperature inversions play an essential role in determining the dispersion of air pollutants. In this paper a new prediction model of temperature inversion during night-time has been developed by modifying D. Anfossi and A. D. Surridge's methods, and three modified coefficients about wind speed, aqueous vapour and temperature differences at ground have been given. The vertical temperature profiles obtained from the present model have been compared with observations and the agreement is found to be better than previous models. The new model can replace the method for measuring the temperature profile with balloon-borne thermosonde in the environment impact assessment.

Indoor Pollution of CO and Particulate Matter in Beijing and Its Elemental Analysis.

Wang Juning, Zhang Yue (Institute of Environmental Health and Engineering, Chinese Academy of Preventive Medicine, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(1), 1990, pp.

Three types of houses in Beijing were investigated that a smoking household and non-smoking one in each type were compared. Inhalable particulate (IP), respirable particulate (RP) and carbon monoxide (CO) were monitored in the living rooms and kitchens respectively for four seasons. At the same time carboxyhaemoglobin (COHb) was measured individually for each of the householders. The results showed that indoor air pollution was rather serious, especially in winter when particulate concentration was even as high as 47 ppm. Indoor air pollution is closely related to types of houses, particularly to the ways of heating. Air pollution will be greatly decreased when central heating facilities are established.

The analysis of 30 elements showed that the pollution was typically derived from coal burning and aggravated by dust wind, but indoor higher Pb level was probably due to use of liquified petroleum gas for cooking. In our study, the effect of cigarette smoking seemed to be covered up by the serious indoor air pollution.

Influence of Cu Adsorption Characteristics on Cu Toxicological Threshold of the Vegetables in Purple Soil.

Tu Cong, Qing Changle (Lab of Agro-environmental Protection, Southwest China Agricultural University, Chongqing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(1), 1990, pp.