

文章编号: 0375-5444 (2000) 04-0487-08

四川九寨沟水循环系统的同位素示踪

尹 观¹, 范 晓², 郭建强², 杨俊义²

(1. 成都理工学院, 四川 成都 610059; 2. 四川区域地质调查队, 四川 成都 610213)

摘要: 运用天然水的同位素示踪技术追溯四川九寨沟水的来源及运移过程, 研究九寨沟水循环系统, 即大气降水、地表水和地下水的动态转换关系。揭示不同水体的补排关系和不同水文地质单元之间的水力联系, 可用于保护及合理开发这里的自然景观资源。

关 键 词: 九寨沟; 同位素示踪; 水循环系统

中图分类号: P342; P345 **文献标识码:** A

1 研究区概况

九寨沟地处青藏高原东缘岷山山脉的高山峡谷区, 位于 $32^{\circ}53' \sim 33^{\circ}20'N$, $103^{\circ}46' \sim 103^{\circ}55'E$ 。流域面积 650.58 km^2 。为了保护及合理开发利用九寨沟的宝贵天然风景资源, 自 20 世纪 80 年代, 就有人开始对其自然景观及资源进行了研究^[1,2]。区内主要地层为泥盆纪至三叠纪的灰岩、白云质灰岩和生物碎屑灰岩, 第四纪地层以钙华、崩积、冲积、洪积、冰碛、坡积、残积等形式覆盖于基岩之上, 且主要分布于河谷及河谷口。区内构造运动复杂, 断裂发育。对现代地貌具有重要影响的主要为晚新生代以来强烈活动的 NW 和 NE 向断裂。不均匀的抬升和水平推移运动使区内西、南面的地块大幅度抬升和部分构造线弯曲, 造成南高北低的阶梯地形^[1]。

九寨沟景区是一个独立的岩溶水文地质结构单元。汇水面积 650.58 km^2 , 大气降水为唯一的水源补给。以诺日朗为界, 可分为南、北 2 个水文地质单元。北水文地质单元为北东向分布, 长约 14 km , 汇水面积 191.01 km^2 , 该单元侵蚀基准面最低, 它主要接受南水文地质单元的地表径流和地下水的补给, 有连续的地表径流和大型溶洼。

南水文地质单元据支水流域分为 3 个次级单元: 则查洼、日则沟和丹祖沟。则查洼水文地质单元位于景区东侧, 长约 31 km , 宽 $6 \sim 8 \text{ km}$, 汇水面积 219.69 km^2 , 是区内最大的次级水文地质单元。长海位于则查洼沟的中上游, 为一古冰川堰塞湖, 接受上游区的径流和地下水补给。湖水最深达 80 多 m, 丰、枯水季节水位的年变化量为 $8 \sim 9 \text{ m}$ 。长海以下为干谷, 除五彩池外, 谷底长期无地表径流。

丹祖沟水文地质单元处于景区西、西北侧, 长约 11 km , 宽 $6 \sim 8 \text{ km}$, 汇水面积 73.88 km^2 。上游有常年流水, 中下游为干谷, 沟口崩积层中有泉水露头。界于则查洼和丹

收稿日期: 1999-05-16; 修订日期: 2000-05-10

基金项目: 四川省科委重点项目 (1998-137) [Foundation Item: The Key Project of the committee of Science and Technology, Sichuan Province No: 1998-137]

作者简介: 尹观 (1942-), 男, 江西永新人, 教授, 同位素地球化学专业。主要著作有《同位素水文地球化学》、《同位素水文地质概论》等, 发表论文 30 多篇。E-mail: Yg@cudit.edu.cn

祖沟之间是日则沟水文地质单元, 汇水面积为 166.00 km²。该沟在南水文地质单元中切割最深, 最接近该单元的岩溶侵蚀基准面, 又是该单元中唯一有连续常年地表径流的岩溶谷。沟谷沿 NE 向主干断裂带分布, 溶洼处于经常性的稳定水位之下。景区上游的主要海子集中在这一水文地质单元内, 如芳草海、天鹅海、箭竹海、熊猫海等, 都是在谷底溶斗群基础上进一步发展成溶洼, 并积水成湖。在湖水浅处, 清楚可见串珠状溶斗在湖底沿北西、北东 2 个方向呈折线状延伸, 构成锯齿状深水线。在五花海和熊猫海还可见典型园形岩溶漏斗, 漏斗中常见气泡上冒的泉眼。天鹅海以下除地表径流外, 还有大量的岩溶地下水补给。南水文地质单元的 3 个次级单元, 存在严重的水量不平衡, 特别是则查洼中上游长海以上和丹祖沟上游水的去向, 是九寨沟水循环系统研究中亟待解决的重要课题。

2 大气降水及主要水文地质单元水的同位素示踪

2.1 环境同位素示踪基本原理

水中的氢和氧分别含有 H (氢)、D (氘)、T (氚) 和 ¹⁶O、¹⁷O、¹⁸O 3 种同位素原子。同位素地球化学把同种元素的 2 种不同同位素原子数目比, 称为同位素比值。为了便于比较, 国际上规定统一采用待测样品中某元素的同位素比值与标准物质的同种元素的相应同位素比值的相对千分差作为量度, 记作为 δ 值, 如水:

$$\delta D (\%) = \frac{(D/H)_{\text{待测}} - (D/H)_{\text{标准}}}{(D/H)_{\text{标准}}} \times 1000 \quad (2-1)$$

$$\delta^{18}O (\%) = \frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{待测}} - (^{18}O/^{16}O)_{\text{标准}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{标准}}} \times 1000 \quad (2-2)$$

不同水体在形成的过程中, 由于处于不同的物理、化学背景条件下, 它们所含的各种同位素原子数目也会发生相应的变化, 同位素组成 (δ 值) 也随之改变。利用天然水体的不同环境的同位素组成特征去研究水源的形成、运移、混合等动态过程, 揭示不同水体的补排关系和不同水文地质单元的关系, 称为环境同位素示踪。

2.2 九寨沟及其毗邻区域大气降水的同位素分布特征

区内径流的丰水期集中在每年的 5~10 月雨季节。1986 年 9 月, 四川地矿局成都水文地质队在黄龙、九寨沟及其邻区采集了水的氢氧同位素样品, 得到了当地大气降水方程为 $\delta D = 7.86\delta^{18}O + 15.07$ ($n = 22$, $r = 0.9997$)。

1998 年, 我们在相同地点采集了同位素水样 (表 1)。为了尽量避开岩溶活跃地区水的氧同位素异常, 先用氘过量参数 ($d = \delta D - 8\delta^{18}O$) 对各种水体进行处理^[3,4]。结果也在表中列出。 $d = 10$ 为全球大气降水的平均值; $d > 10$ 意味着降水云气形成过程中气、液两相同位素分馏不平衡的程度偏大, $d < 10$ 除了有蒸发作用的影响外, 主要在岩溶地区广泛存在碳酸盐与水发生的氧同位素交换, 使岩溶水富含 ¹⁸O, 导致水的 d 值下降。氧同位素交换程度越高, d 值越低。2 次采样, 水的同位素组成变化不大, 但氧的同位素组成差异明显。

2.3 同位素分析方法及测定精度

样品制备: 氢: 金属铀法, 在 600~700 真空条件下, 收集金属铀与样品水反应生成

的氢气, 交同位素质谱计测定。氧: 二氧化碳平衡法, 在真空条件下, 通过二氧化碳与样品水的氧同位素交换反应(25), 达平衡后, 收集二氧化碳气体, 交同位素质谱计测定。使用仪器: MAT251 同位素质谱计, 对 SMOW 标准样品测定精度: 氢同位素: $\pm 0.1\%$; 氧同位素: $\pm 0.001\%$ 。

1998 年 5 月和 12 月采集的地表水明显比 1986 年 9 月的富 ^{18}O 。由于每年 9 月正处于雨季的中后期, 地表径流中雨水占绝对优势。相反, 每年的旱季, 地表水的雨水占有的相对比例迅速下降, 岩溶水量相对上升, 造成 d 值降低。为了反映区域大气降水的代表性, 我们兼顾了不同年份及不同季节同时又为了最大限度避开岩溶水带入的影响, 故选用 $d > 10$ 的水样参与线性回归处理, 得到这一区域的大气降水方程为: $\delta D = 7.43\delta^{18}\text{O} + 6.59$ ($r = 0.98$)。这一方程的斜率和截距比

1986 年四川地矿局成都水文地质队测定的大气降水方程都低些, 反映了近 12 年来, 当地的气候条件朝着降水量减少, 蒸发量增大的趋势在变化。表 1 中的水体同位素季节性效应也很明显, 冬季比夏季富轻同位素组成。1986 和 1998 年大气降水样品的氡 (T) 含量差异甚大, 据卫克勤公布的我国大气降水氡含量资料估计^[5], 九寨沟地区 1987 年的大气降水氡含量接近 200TU。1986 年的测定值为 85~ 101TU (四川地矿局成都水文地质队), 到 1998 年降至 25TU。十分明显, 自 20 世纪 60 年代最后一次大气层核试验以后, 人工氡含量对大气圈的污染已经降至较低的程度。大气降水氡含量的年季节变化也较明显, 1998 年夏季降雨

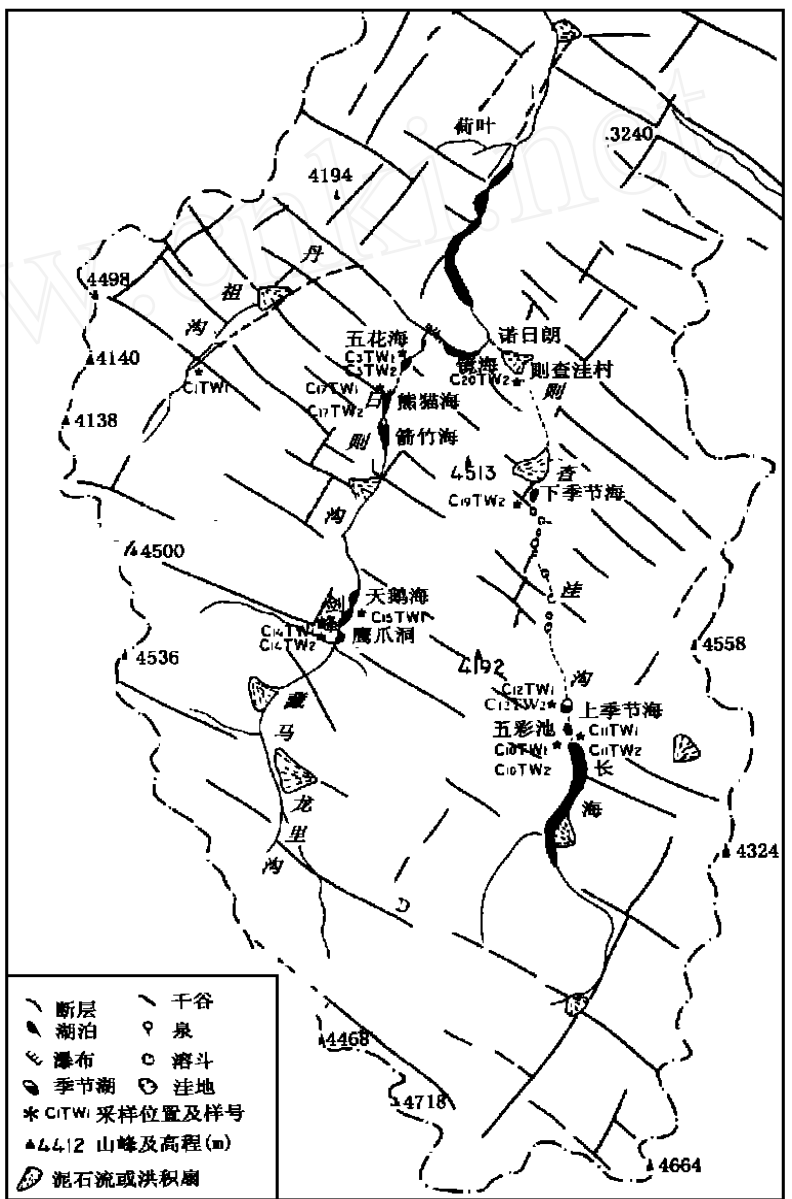


图 1 九寨沟地区水体采样位置及断裂网络示意图

Fig.1 Sampling location of water bodies and fault network in Jiuzhaigou A rea

1986 年四川地矿局成都水文地质队测定的大气降水方程都低些, 反映了近 12 年来, 当地的气候条件朝着降水量减少, 蒸发量增大的趋势在变化。表 1 中的水体同位素季节性效应也很明显, 冬季比夏季富轻同位素组成。1986 和 1998 年大气降水样品的氡 (T) 含量差异甚大, 据卫克勤公布的我国大气降水氡含量资料估计^[5], 九寨沟地区 1987 年的大气降水氡含量接近 200TU。1986 年的测定值为 85~ 101TU (四川地矿局成都水文地质队), 到 1998 年降至 25TU。十分明显, 自 20 世纪 60 年代最后一次大气层核试验以后, 人工氡含量对大气圈的污染已经降至较低的程度。大气降水氡含量的年季节变化也较明显, 1998 年夏季降雨

的氡值为 25TU，同年的冬季降雪为 15TU，反映出夏季降雨明显受氡渗漏效应的影响^[3, 4]。

表 1 四川九寨沟及邻近部分水体的同位素组成

Tab. 1 Isotope composition of the several water bodies in Jiuzhaigou and neighborhood, Sichuan								
样品 编号	样品 名称	采样地点	高程	δD_{SMOW} /‰	$\delta^{18}O_{SMOW}$ /‰	$d = \delta D - 8\delta^{18}O$	T (TU)	采样时间
C ₁ TW ₁	溪水	丹祖沟中游	2 630	- 79. 5	- 11. 12	9. 46	20	1998-05-22
C ₃ TW ₁	湖水	五花海（日则沟）	2 440	- 97. 4	- 13. 42	9. 96	16	1998-05-22
C ₃ TW ₂	湖水	五花海（日则沟）	2 440	- 90. 2	- 12. 53	10. 04	19	1998-12-18
C ₁₀ TW ₁	泉水	长海大泉（则查洼沟）	3 100	- 76. 8	- 10. 12	4. 16	15	1998-05-23
C ₁₀ TW ₂	泉水	长海大泉（则查洼沟）	3 100	- 79. 8	- 10. 43	3. 64	15	1998-12-18
C ₁₅ TW ₁	溪水	鹰爪洞桥（日则沟）	2820	- 90. 2	- 12. 52	9. 96	18	1998-05-24
C ₁₄ TW ₁	溪水	剑岩（日则沟）	2930	- 89. 7	- 12. 40	9. 50	20	1998-05-24
C ₁₄ TW ₂	溪水	剑岩（日则沟）	2930	- 102. 1	- 13. 40	5. 1	15	1998-12-18
C ₁₇ TW ₁	湖水	箭竹海（日则沟）	2620	- 87. 5	- 11. 98	8. 34	17	1998-05-24
C ₁₇ TW ₂	湖水	箭竹海（日则沟）	2620	- 93. 3	- 12. 22	4. 46	14	1998-12-18
C ₁₁ TW ₁	湖水	长海（则查洼沟）	3060	- 79. 2	- 11. 02	8. 96	19	1998-05-23
C ₁₁ TW ₂	湖水	长海（则查洼沟）	3060	- 71. 1	- 10. 12	9. 86	10	1998-12-18
C ₁₂ TW ₁	泉水	上季节海（则查洼沟）	2915	- 88. 3	- 12. 08	8. 34	20	1998-05-23
C ₁₂ TW ₂	泉水	上季节海（则查洼沟）	2915	- 89. 3	- 12. 89	13. 82	16	1998-12-18
C ₁₉ TW ₂	地表水	下季节海（则查洼沟）	2560	- 100. 1	- 13. 24	5. 82	11	1998-12-18
C ₂₀ TW ₂	雪	则查洼村	2500	- 104. 8	- 14. 73	13. 04	< 4	1998-12-18
CTW ₁	地表水	黄龙望乡台二道坪以南	3760	- 96. 5	- 13. 40	10. 7	16	1998-05-26
CTW ₂	雪	黄龙寺沟望乡台	3600	- 75. 2	- 10. 30	7. 2	6	1998-12-17
C ₂ TW ₁	泉水	黄龙寺沟二道坪	3880	- 91. 3	- 12. 68	10. 14	13	1998-05-26
C ₄ TW ₁	泉水	黄龙转花池	3566	- 95. 5	- 12. 91	7. 78	10	1998-05-26
C ₄ TW ₂	泉水	黄龙转花池	3566	- 100. 5	- 14. 14	12. 62	18	1998-12-17
2	地表水	黄龙六号泉旁	3565	- 87. 2	- 12. 69	14. 32	16	1998-12-17
3	地表水	黄龙迎宾池	3235	- 85. 4	- 12. 19	12. 12	9	1998-12-17
J-9	地表水	长海	3060	- 84. 4	- 12. 55	16. 00	86. 2	1986-09-27*
J-5	泉水	五彩池	3000	- 84. 1	- 12. 32	14. 46	87. 9	1986-09-26*
J-8	泉水	九寨沟	2365	- 87. 6	- 12. 64	13. 52	101. 0	1986-09-26*
J-6	泉水	九寨沟公路旁	2350	- 84. 1	- 12. 91	19. 18	85. 0	1986-09-16*
H-2	地表水	黄龙六号泉旁	3565	- 90. 3	- 13. 45	17. 30	46. 0	1986-09-16*
H9	雪水	黄龙后寺	3460	- 139. 7	- 19. 67	17. 66	33. 7	1986-09-17*
L3	地表水	龙岗海子	3340	- 94. 5	- 14. 01	17. 58	86. 0	1986-09-09*
R5	地表水	鸳鸯泉上游沟	3340	- 93. 6	- 13. 84	17. 12	86. 0	1986-09-12*

*：为四川省地矿局成都水文地质队资料

2.3 景区主要水文地质单元水的补排关系及同位素示踪分析

尽管九寨沟地区的水主要源于大气降水，但是大气降水补给到各种水体内的时间、补给源区的高度、补给方式以及地下水库容的大小、水的滞留时间和新老水更替周期，导致各种水体的 δD 、 $\delta^{18}O$ 、T 和 d 值存在较大的差异。加之本区地处高山峡谷地带，地形差异

大, 南北相对高差达 2 700 m 左右, 由北向南植被和气候分带鲜明。再者, 景区南部 3 个次级水文地质单元径流的同位素组成存在较大的差异。这为利用同位素示踪技术研究各水文地质单元的水力联系、地表水和地下水的补排交替的关系, 提供了重要背景条件。

2.3.1 则查洼和丹祖沟水文地质单元水同位素组成特点及补排关系。在则查洼沟长海地段, 我们分丰水、枯水期, 分别对长海西侧大泉, 上季节海西侧泉、下季节海和长海, 采集了水样。长海西侧大泉 ($C_{10}TW$), 地势高于长海, 为一下降泉, 水的氢氧同位素季节性差异不大, 氡含量也较稳定, d 值小, 富含 ^{18}O , 反映了水更替周期长, 补给源库容量大, 受季节性降水影响小的特点。上季节海西侧泉水 ($C_{12}TW$) 的氢氧同位素组成无明显的季节性变化, 但冬季泉水氡含量偏低, d 值高, 主要为雨水成分, 说明泉水的补给源稳定, 补给途径短, 库容调节量小。两泉的补给源均在则查洼沟西侧, 后者的氡含量高氢氧同位素组成低, 表明上季节海西侧泉的补给源高于长海西侧大泉。下季节海仅在冬季采了一个样品 ($C_{19}TW_2$), 其同位素组成 δD 为 -100.1‰ , $\delta^{18}O$ 为 -13.24‰ , T 为 $11TU$, d 为 5.82 , 系补给源较高的岩溶水。长海面积约为 $928\,440\text{ m}^2$, 长度为 $4\,349\text{ m}$, 水最深达 88.8 m 。丰、枯水期水位的年度变化量在 $8\sim 9\text{ m}$ 。长海水的同位素季节性变化较大, d 值冬季稍小些, 但夏季更接近降水值。夏季水 δD : -79.2‰ , $\delta^{18}O$: -11.02‰ , T : $19TU$, 相对于冬季以贫重同位素组成和富氡含量为特征, 这意味着夏季丰水期上游雨水的补给量大, 是否还因长海水深, 底部排泄不畅, 导致湖水分层分布, 则有待进一步研究。此外, 长海水的氢氧同位素组成均高于其它水体, 与其上游地形高居全区之首的地域环境十分不匹配, 唯一的解释是上游海拔 $4\,300\text{ m}$ 以上的区域相当一部分径流(以贫 δD 和 $\delta^{18}O$ 为特征)没有补给到长海水域内, 相反另辟途径排往它处。

丹祖沟汇水面积小, 周围地形远低于日则沟和则查洼沟上游区域, 仅在该溪流中段 (C_1TW_1) 丰水期内采集了一个水样, δD 为 -79.5‰ , $\delta^{18}O$ 为 -11.12‰ , T 为 $20TU$, d 为 9.46 , 以夏季降雨补给为特征。

2.3.2 日则沟水文地质单元及邻区水的同位素示踪分析。日则沟的汇水面积在景区内居中, 比东侧毗邻的则查洼沟少近 60 km^2 , 沟谷底深, 均低于邻近的丹祖沟和则查洼沟。沟内海子(小湖泊)云集, 枯水期仍有较大的径流量。从剑岩至镜海沟口, 按前已叙述到的水文地质疑点, 分季节分别采集了样品。本单元内, 夏季丰水期水的氢氧同位素组成和氡含量的最低值, 均出现在沟谷下游的五花海 (δD : -97.4‰ , $\delta^{18}O$: -13.42‰ , T : $16TU$)。冬季枯水期相应的最低值 (δD : -102.1‰ , $\delta^{18}O$: -13.40‰ , T : $15TU$) 出现在剑岩。水的同位素季节性变化明显。丰水期剑岩 ($C_{14}TW$)、鹰爪洞桥溪水 ($C_{15}TW$) 的同位素组成分别为 δD : -89.7‰ , $\delta^{18}O$: -12.40‰ , T : $20TU$ 、 d 为 9.5 和 δD : -90.2‰ , $\delta^{18}O$: -12.52‰ , T : $18TU$ 、 d 为 9.96 基本相近, 并且与邻沟上季节海西侧泉($C_{12}TW$) 同期水样较为一致。表明地理位置相近的这 3 个点, 在丰水期内受夏季雨水补给十分明显,

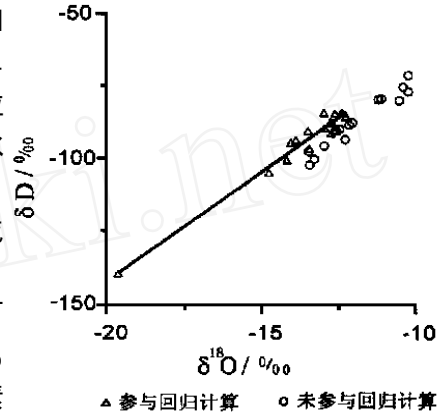


图 2 四川九寨沟及其毗邻区域大气降水的同位素组成分布特征

Fig. 2 Distribution features of isotope composition in precipitation in Jiuzhaigou and its neighboring area, Sichuan

其补给高度大致相当。冬季剑岩水的同位素组成和氡含量 ($C_{14}TW_2$) 均低于同年夏季。采样时正值隆冬降雪季节,基本上排除了雨水的影响,这时剑岩水的同位素组成基本上代表该地上游包气带岩溶地下水(以 d 值低为特点)的平均同位素组成。鹰爪洞桥溪水的同位素组成低于同期长海水, d 值(9.96)高,属雨水补给,与长海不存在直接的水力联系。沟内箭竹海和五花海的水的同位素组成及氡含量明显呈季节性变化,且在相同季节内两地水的同位素组成也有明显的消长关系。夏季丰水期地处箭竹海下游近 3 km 的五花海的同位素组成(δD : - 97.4‰, $\delta^{18}O$: - 13.42‰, T : 16TU)较之箭竹海(δD : - 87.5‰, $\delta^{18}O$: - 11.98‰, T : 17TU)相对贫重同位素,与一般高山溪流水的同位素分布规律相反,反映五花海至熊猫海段水补给的异常,暗示有其它水体的介入,并且该处水的同位素系全区同期采样水的最低值,这更意味着其部分水源的补给高度在藏马龙里沟中上游地带,预示着在五花海(上至熊猫海)与藏马龙里沟这段区域内,沿沟内NE向断裂存在独立的地下水岩溶通道和地下水储库。藏马龙里沟中上游富含轻同位素组成的水,通过这一岩溶通道直接在熊猫海-五花海段内补入到地表径流。五花海水氡含量较低(16TU),可能是地下水储库中滞留时间较长的水混入的结果。据四川地矿局成都水文地质队(1987)有关日则沟径流的矿化度和主要离子浓度资料,最高值出现箭竹海,往下游的熊猫海又猛跌至谷底,说明丰水期内由藏马龙里沟中上游通过独立地下岩溶水通道补入到五花海—熊猫海的水,绝大部分系当年的夏季降雨(d 值为 9.96 反映雨水特征)。如果设藏马龙里沟丰水期通过独立岩溶地下通道的水的 δD 为- 120‰,且作为五花海补给的水的一个单元,箭竹海径流水(δD 为- 87.5‰)为另一单元,根据同位素质量平衡原理计算^[3,6],估计藏马龙里沟中上游的来水占五花海总水量的 30%,而从箭竹海由地表径流补给的水为 70% 左右。到了冬季枯水期,五花海(C_3TW_2)水的同位素组成相对增重,且恢复了与上游箭竹海($C_{17}TW_2$)的同位素分布的正常规律关系,即下游水相对富重同位素。其直接原因就是藏马龙里沟中上游通过独立岩溶地下管道补给的贫重同位素水量显著减少所致。可以看出,通过岩溶地下管道补给到五花海的水,只是在夏季丰水季节较为明显,相反在冬季降水量明显减少时,这种补给对五花海影响降至最低。箭竹海地处日则沟中游地段,位于剑岩、鹰爪洞桥和五花海之间。夏季丰水期内水($C_{17}TW_1$)的同位素组成比上、下游水富重同位素,这种变化预示着与邻沟长海存在着水力联系。从环境背景而论,箭竹海上游区域内有几条NW向断裂带与长海直接相通,在断裂与日则沟交汇处,有钙华堆积物集中分布。如果以剑岩以上和长海作为箭竹海水的两个补给单元,用剑岩($C_{14}TW_1$: δD = - 89.7‰)、长海($C_{11}TW_1$: δD = - 79.2‰)、箭竹海($C_{17}TW_1$: δD = - 87.5‰)水的 δD 值,通过同位素质量平衡方程计算,则长海排入箭竹海的水则占其总水量的 21%,剑岩上流地表径流占 79%。同理,在枯水季节利用同样采样点的 δD 同位素值,可以算得长海在日则沟相同地段排泄水的量占同期箭竹海水量的 28%。因枯水期日则沟的水量总体比丰水期少,尽管枯水期长海补入箭竹海段水的相对量在增加,但绝对量与丰水期相当,反映长海的水渗漏较为恒定,这显然与长海的地势远高于邻近(箭竹海—天鹅海)排泄区有关。此外,箭竹海水夏季丰水期水的 d 值为 8.34,冬季枯水期为 4.46,两季均有岩溶水加入,但丰水期的雨水成分所占相对比例较大。西邻丹祖沟中采样点(C_1TW_1)丰水期水的同位素组成 δD 为- 79.5‰, $\delta^{18}O$ 为- 11.12‰, T 为 20TU, d 为 9.46,且明显高于五花海相应同位素值。溪水属夏季降雨,两地水的同位素组成的差异,证明丹祖沟与五花海不存在直接联系,丹祖沟采样点以下常

年断流, 上游的水通过地下岩溶通道向下排泄, 排泄口在五花海以下的区域。

则查洼沟源头是九寨沟地区最高地带, 海拔高度达 4 718 m, 根据该地同位素高度效应, 其 δD 值应在 - 120‰ 以下, 该沟中游长海以上的汇水面积估计在 60 km² 以上, 如果源头汇水区的贫重同位素的水全部补入长海, 则长海水的同位素组成应该受到明显的影响, 但是无论丰水或枯水期, 长海水的同位素组成均明显高于邻近的泉水和整个地区的径流。相反, 日则沟的源头在地形上远低于邻近则查洼沟源头, 但径流明显贫重同位素, 丰水季节全区最低同位素组成出现在五花海 ($\delta D = - 97.4\text{‰}$, $\delta^{18}O = - 13.42\text{‰}$)。日则沟汇水面积比则查洼沟少约 60 km², 但水量却大得多, 而且常年流水不断。鉴于上述情况, 唯一的可能是长海上游源头的贫重同位素的水, 没有完全补入到长海, 相反, 通过两源头之间 NW 向的断裂带进入藏马龙里沟源头, 流向日则沟。这也是九寨沟地区今后水循环需要进一步研究的重要问题。

3 结论

通过对水的天然同位素示踪分析研究, 可以得到下列认识:

(1) 长海与日则沟中游地段存在水力联系, 长海水通过该处沿 NW 断裂带发育的岩溶通道向日则沟箭竹海- 天鹅海区段渗漏, 丰水期渗水量占箭竹海径流总量的 21%, 枯水期为 28%, 绝对渗水量稳定, 不随季节变化。

(2) 日则沟内五花海至藏马龙里沟中上游地段存在独立的岩溶通道和地下水储库, 丰水季节藏马龙里沟中上游的当年雨水通过这一独立的岩溶通道向下排泄, 主要排泄口在五花海- 熊猫海之间, 排泄补入到五花海的水占总水量的 30% 左右。冬季少雨季节, 这种方式排泄到五花海内的水量降至最低, 对五花海的水量没有明显的影响。

(3) 从长海和日则沟的径流的同位素组成特点得出, 则查洼沟源头最高地带的径流没有完全向下游的长海补给, 相反可能通过该处沿 NW 向断裂带发育的岩溶通道向日则沟源头的藏马龙里沟排泄, 是日则沟径流水量丰沛、常年流水不断的重要原因之一。

(4) 丹祖沟与五花海之间不存在直接的水力联系, 其中断流干谷以上的水, 通过地下岩溶通道向下排泄, 排泄口在五花海的下游区域。

参加工作的还有彭东、曹俊、刘旗、吴昊、吴树通、廖文华等。本工作得到四川省科委、四川地勘局、九寨沟风景区管理局领导的指导和关心, 九寨沟风景区管理局为野外工作提供了方便, 特致谢意。

参考文献 (References):

- [1] Fan Xiao. General researches about the Scenic Geomorphic Formation in Jiuzhaigou [A]. In: Travel Geology and Travel resource Development (1) [C]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1987. 165-172. (In Chinese) [范晓 九寨沟风光地貌成因探讨 [A]. 见: 旅游地质研究与旅游资源开发 (1) [C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1987. 165-172.]
- [2] Tang Chuan. Geology environment feature in Jiuzhaigou [J]. *Geography*, 1989 (3). (In Chinese) [唐川 九寨沟地质环境特征 [J]. 地理, 1989 (3).]
- [3] Yin Guan. Isotope Hydrogeochamistry [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1988. 84-100, 118-120, 166-183. (In Chinese) [尹观 同位素水文地球化学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. 84-100, 118-120, 166-183.]
- [4] Wang Hengchun. Indroduction of Isotope Hydrogeology [M]. Beijing: Geology Press, 1991. 46-56, 73-83. (In Chinese) [王恒纯 同位素水文地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1991. 46-56, 73-83.]

- [5] Wei Keqin. Distribution feature about the tritium content of the nature water in our country[J]. *Science Bulletin*, 1980(10). (In Chinese) [卫克勤. 我国天然水汽含量分布特征[J]. 科学通报, 1980(10).]
- [6] Gat J R, Gonfiantini R. Stable Isotope Hydrology: Deuterium and oxygen-18 in the Water Cycle[M]. Vienna: IAEA, 1981. 177-199

Isotope Tracer on Water Cycly System in Jiuzhaigou, Sichuan

Y N Guan¹, FAN Xiao², GUO Jian-qiang², YANG Jun-yi²

(1. *Chengdu University of Science and Technology, Chengdu 610059, China;*

2. *Regional Geological Survey Team, Sichuan, Chengdu Shuangliu 610213, China*)

Abstract: Use of isotope tracer technique of natural water can effectively trace water origin and transportation process, and reveal recharge and discharge relationship of various water bodies and hydraulic connection of various hydrogeologic units. It has important application values and is of scientific significance for protecting and developing the precious natural resources, and provides reference for the similar researches.

The following results have been obtained in this research:

(1) There is hydraulic connection between Zhanghai and the middle course of Rizegou. The water in Zhanghai leaks at Jianzhuhai-Tianehai area in Rizegou along the karst passages with the fault zones. The leakage water in the rainy season accounted for 21% of the total runoff volume in Jianzhuhai, and about 28% in the dry season. The absolute leakage water volume was stable and almost no change occurred with changes in seasons.

(2) There are independent karst passages and groundwater reservoirs in areas from Wuhuahai to the middle-upper courses of Zangmangli in Rizegou. The rain water in the middle-upper courses of Zangmangli during the rainy season drained off through the independent karst passages. The outlets are located in areas between Wuhuahai and Xiongmaohai. The amount of water discharged into Wuhuahai accounted for about 30%. In the dry season the amount of water drained off into Wuhuahai in the same form dropped to the lowest point, but did not cause obvious influence on the amount of water in Wuhuahai.

(3) Based on the runoff isotope composition features of Zhanghai and Rizegou, only part of the runoff in the highest concation of Zezhawagou source recharged into the downstream of Zhanghai, and the other part fell down to discharge into Zangmangli valley of Rizegou source through the well developed karst passages along the NW fault zone. This is one of the important reasons accountable for the abundant runoff in Rizegou all the year round.

(4) There is no direct hydraulic connection between Danzugou and Wuhuahai, and the water over the dry valley fell down to discharge through the subterranean karst passages, and the discharged mouth is at the downstream area in Wuhuahai.

Key words: Jiuzhaigou; Isotope tracer; water cycle system