

某滑坡区地下水起源及形成机制*

晏鄂川 张倬元 刘汉超

(成都理工学院工程地质研究所 成都 610059)

摘 要 根据某滑坡区地下水氢氧同位素组成测试成果,系统地研究了该区地下水的起源及形成机制。研究表明,该区地下水具有大气降水补给的特点,其同位素组成具有明显的温度效应和海拔效应,温泉与冷泉水的出露与区域高热流值和构造以及大气降水的补给量有着密切的关系。

关键词 氢、氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 漂移 海拔效应 热流 减压带

滑坡所在地属高原季风气候,寒冷干燥,日照充分,昼夜温差大。多年平均年总降水量为 820.5mm,多集中在 5~9 月,占全年总降水量的 75%左右。多年平均气温 6.77℃,极端最高气温 31℃,最低气温 -18℃。本区的地表水属大渡河水系。在地质构造上该滑坡区地处鲜水河断裂带,沿该构造带出露一系列泉水点,为了判别这些地下水的来源而进行了氢氧同位素研究。

1 滑坡区地下水特征

该区地下水主要赋存于松散岩类孔隙中,即为孔隙潜水。在滑坡中下部出露成民用水井,流量约 0.3~0.5 L/s。在滑坡前缘沿河岸分布有多处泉(水)点,流量 0.3~0.5 L/s,泉水无色、无味、透明,水温 12~25℃不等、水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ 型, pH 值为 6.7~8.1。另在滑坡区北侧有水温约 30℃的泉水,流量约 8 L/s,具较浓的 H_2S 气味,水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ 型, pH 值为 6.3。

为了研究该区地下水起源,采集了滑坡区内的天然水样(图 1),其中包括钻孔地下水、温泉水、井水和当地现代雨水等。样品制备采用的是 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 平衡法,平衡温度为 $25.40^\circ\text{C} \pm 0.03$,平衡常数为 1.0407,之后在 MAT251EM 型质谱仪上进行同位素比值分析,最后数据用与标准 SMOW 的千分差来表示,精度为 $\pm 0.2\%$ 。测定结果见表 1。

表 1 地下水和现代雨水的氢、氧同位素组成

Table 1 The O-H isotopes composition of underground water and meteoric water

序号	样品名称	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	序号	样品名称	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$
01	泉水	-14.0	-84	05	钻孔地下水	-12.9	-84
02	泉水	-13.3	-83	06	泉水	-11.72	-83
03	温泉水	-15.9	-91	07	溪水	-11.37	-81
04	雨水	-9.8	-58	08	湖水	-14.90	-95

1)01~05 为本项研究测试;06~07 引自文献[1];08 引自文献[2]。

* 国家计委 95 重点项目(编号:计国土(1996)4 号)。

收稿日期:1997-09-19。

2 结果分析

大量研究表明,地下水的起源及同位素组成特征与其有成因关系的天然水之间存在较强的相似性,现分述如下.

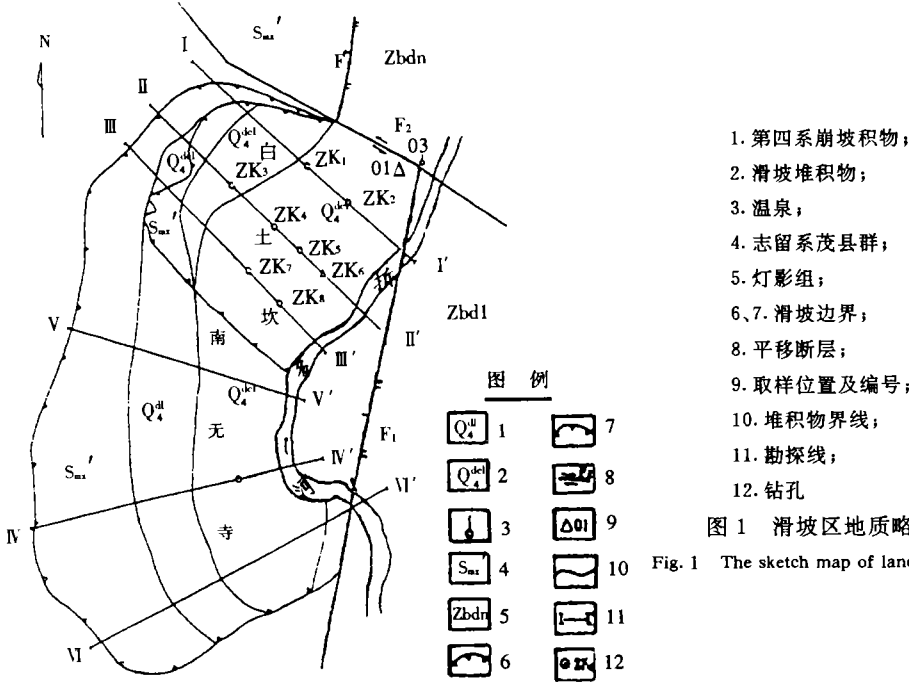


图 1 滑坡区地质略图

Fig. 1 The sketch map of landslide area

2.1 地下水起源

据测试结果知,滑坡区的温泉、地下水的氢、氧同位素组成与当地现代雨水的氢、氧同位素组成基本一致,说明温泉水及地下水起源于当地雨水. 将表 1 中的测试数据投影在 S. M. F. Sheppard^[3]的各种类型水的氢、氧同位素组成图解(图 2)上,可以清楚地看出所有样品均落在原始岩浆水区和变质水区之外,说明地下水(包括温泉水、泉水等)主要为雨水成因型地下水.

2.2 温度效应

为检验测试精度,采用 W. Dansgaard^[4]提出的经验公式 $\delta^{18}\text{O}=0.695t_a-13.6$ 或 $\delta\text{D}=5.60t_a-100$ 对当地雨水进行温度验算. 将雨水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (-9.8‰) 和 δD 值 (-58.0‰) 代入,求出当地年平均温度 t_a 为 5.46°C 或 7.4°C , 平均为 6.43°C . 这与当地气象部门多年实测平均温度 6.77°C 非常接近. 进一步说明了上述分析的正确性.

2.3 海拔效应

关于大气降水或雨水氧同位素组成与海拔高度之间的关系已经在许多文献中有过报导^[5],虽然各地区不尽相同,但总体趋势是海拔高度每增加 100m, $\delta^{18}\text{O}$ 便减小 0.3‰ 左右. 为研究该滑坡区天然水的“海拔效应”,笔者收集了于津生等^[6]测试的川藏地区大气降水的同位素组成海拔效应资料(图 3),其经验公式为

$$-\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.0026H(\text{m}) + 7.75.$$

将滑坡区水样的 $\delta^{18}\text{O}$ 值代入计算,结果是取样区海拔高度 H 为 2 100m(考虑雨水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值)或 2 410m(不考虑雨水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值). 与实际取样位置海拔高度 2 500m 相当接近.

同样,可借助于该区大气降水的同位素组成海拔效应,推测地下水补给区的位置和高度. 据文献[1],计算补给区的高度公式

$$H = \frac{\delta_g - \delta_p}{K} + h$$

式中 H 为同位素入渗高度(m); h 为取样点高程(m), δ_g 、 δ_p 分别为取样点地下水和大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ (或 δD)值; K 为大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ (或 δD)值的高度梯度($-\delta/\text{hm}$).

该滑坡区 $K = -0.30\text{‰}/\text{hm}$, $\delta_g = -14.2\text{‰}$, $\delta_p = -9.8\text{‰}$, $h = 2\,500\text{m}$, 由此可得出大气降水云气的高度 H 约为 4 000m.

2.4 温泉水的形成机制

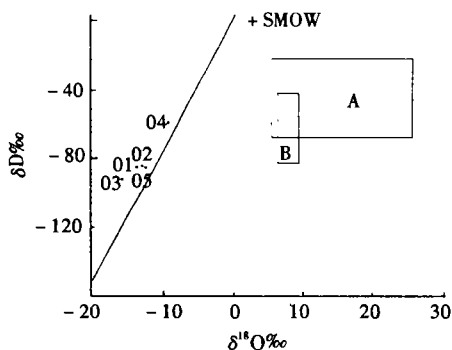
据测试结果,该区温泉水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与当地降雨的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值基本相当,其差异表示有部分水与岩石发生氧同位素交换,表现出一定的“ $\delta^{18}\text{O}$ 漂移”. 从而可推断本区温泉水的补给主要来自当地及邻区的大气降水,并且经历了深部循环过程.

鉴于滑坡区的温泉是大气降水补给的地下水形成的,因而地下水的加热所需的热源是必不可少的. 这是大气降水经循环转化为温泉水的关键条件之一(当然,另一个条件是必须具备适宜的导水系统).

根据区域内现代地热异常显示,实测的岩石热导率,地温梯度及地壳热流值偏高和温泉群点的出现等,均表明该区是一个地热异常带. 川西地区实测的地温梯度值为 $35\sim 43^\circ\text{C}/\text{km}$ (在钻孔中 200~600m 段测定),此值显然大大高于全球平均值($15\sim 20^\circ\text{C}/\text{km}$). 对灰岩、白云岩、花岗岩等实测获得的岩石热导率为 $1.67\sim 4.6\text{ W/m}\cdot\text{K}$. 热流与地温梯度、岩石热导率间的关系为

$$q = -KG$$

式中 q 为热流(单位为 $\text{W}/\text{m}^2 = 10^3\text{mW}/\text{m}^2$); K 为岩石热导率($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$); G 为地温梯度(单位为 $^\circ\text{C}/\text{km}$);负号表示热流由地球内部流向地表. 据此计算出该区的热流值为



1) 图内样品号与表 1 相同;

A—变质水区; B—原始岩浆水区

图 2 某滑坡区地下水的氢、氧同位素组成

Fig. 2 The O-H isotopes composition of underground water

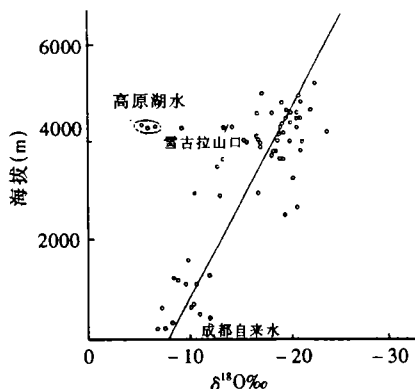


图 3 大气降水氧同位素组成与海拔关系图^[6]

Fig. 3 The correlation between the oxygen composition of meteoric water and the altitude

122.2mW/m²,与四川松潘地区的热流值 108.84~142.32mW/m² 基本相当,但比全球大陆地壳的平均热流值(61.12±19.26mW/m²)高出 1 倍。这显然足以引起该区地热异常。

因此,当大气降水沿着该区业已存在的断裂破碎带和裂隙带以及岩石中的孔隙和裂隙由上而下进行渗透时,在热流的影响下,下渗的地下水随深度的加大而逐渐升温,从而使其自身密度不断下降。当变热的地下水下渗到一定的深度(本区>400~600m)时,由于密度变小而开始向减压带(如陡倾断裂及两侧的裂隙网络系统以及因地壳大幅度隆升而引起的地形深切割使导水裂隙暴露的地带)迁移,随着向上回返。与此同时,较冷的大气降水又持续地向下渗透,并驱动已变热的地下水,构成促进热水向上迁移运动的另一动力。这样,在特定范围内自然形成了一个对流的冷水—热水循环系统(图 4)。在这过程中,热水流体不断地与岩石进行溶滤交换,从而改变其微量元素含量,这就表现出各地温泉水质的极大差异。以上即是该区温泉水的形成机制。

3 结 论

该滑坡区地下水氢、氧同位素测试成果表明,各类形式出露的地下水均具有明显的大气降水补给特点。地下水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值具有明显的海拔效应,基本上符合经验公式: $-\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = 0.0026H(\text{m}) + 7.75$ 。滑坡区的温泉水是大气降水经深部循环加热而出露的一种地下水,高热流区和极其发育的导水裂隙系统为其加热提供了背景条件。

致谢:本文中的测试水样是由水勘院周平根博士提供,并得到了四川地勘局 101 队工程四处全体同志的支持,在此表示衷心感谢。

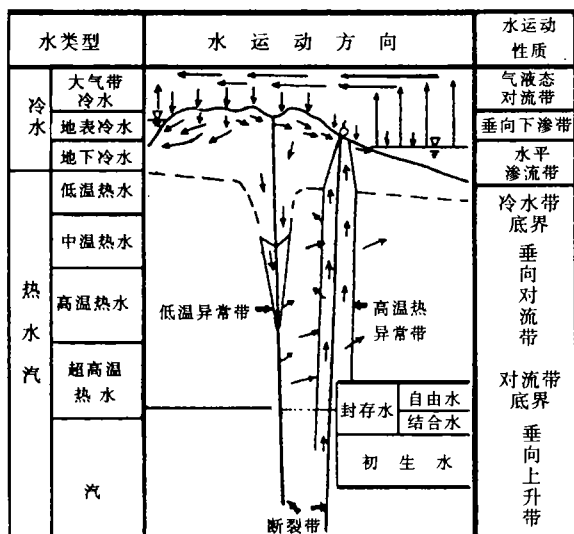


图 4 冷热水互相转化模式

Fig. 4 The conversion model between cold and hot water

参 考 文 献

- [1] 王恒纯. 同位素水文地质概论. 北京:地质出版社,1991,138~167.
- [2] 尹观. 西藏年楚河径流形成机制及水源组成. 成都理工学院学报,1997,24(3),81~88.
- [3] Sheppard, S. M. F. and Taylor, H. P. : Hydrogen and oxygen isotope evidence for the origin of water in the Boulder batholith and the Butte ore deposits. Montana, Econ. Geol., 1974, 69, 929.
- [4] Dansgaard, W. : Stable isotopes in precipitation. Tellus, 1964, 16: 436~468.
- [5] Kusakabe, M. et al. Oxygen and hydrogen isotope ratios of monthly collected waters from nasudake volcanic area, Japan, J. Geophy. Res, 1970, 75(30).
- [6] 于津生, 张鸿斌, 虞福基等. 西藏东部大气降水氧同位素组成特征. 地球化学, 1980, (2): 113~121.

[7] 四川省地质矿产局编. 四川省区域地质志. 北京:地质出版社,1991,627~634.

[8] 丁梯平. 氢氧同位素地球化学. 北京:地质出版社,1980.

THE ORIGIN AND THE FORMATION MECHANISM OF UNDERGROUND WATER IN A CERTAIN LANDSLIDE AREA

Yan Echuan Zhang Zhuoyuan Liu Hanchao
(Chengdu Institute of Technology Chengdu 610059)

Abstract

Research on O-H isotopes indicates that the underground water was derived from heated and circulating meteoric water. There is a negative correlation between $\delta^{18}\text{O}$ and altitude, which is reflected by $-\delta^{18}\text{O}=0.0026H(\text{m})+7.75$. The $\delta^{18}\text{O}$ value of geothermal water can be compared with that of local meteoric water, but shows certain $\delta^{18}\text{O}$ -shift, suggesting that the main water-supply source seems to be meteoric water in the same area.

Key Words Oxygen and Hydrogen isotope, $\delta^{18}\text{O}$ -shift, the altitude effect, thermal current, depressurization belt

第一届海峡两岸山地灾害与环境保育 学术研讨会即将召开

第一届海峡两岸山地灾害与环境保育学术研讨会将于今年9月21日~22日在成都市、23日~27日在九寨沟召开,欢迎海内外学者踊跃报名(有无论文均可参加)。本次会议得到中国科协的批准,主办单位中国水土保持学会已将之列为今年一项重要学术活动。

会议内容主要是:山洪、泥(土)石流、滑坡、崩塌、土壤侵蚀等山地灾害的形成条件、成灾机理、预测预报和警报、综合防治、危险区划、灾情评估、灾害制图、防灾规划、减灾决策、临灾预案、减灾工程、山区开发与减灾、环境退化与保育、新技术在减灾防灾中的应用等。组委会主席由关君蔚院士担任,台湾资源与环境基金会的陈章鹏等四位教授任副主席;施雅风院士任学术委员会主席,王思敬、李吉均两位院士及台湾中兴大学的何智武教授任副主席。

会议论文集将于会前正式出版,拟提交论文者,请于3月31日前将论文软盘(用中文WORD或华光软件处理)及打印稿寄中科院成都山地所(610041)本次研讨会组委会秘书处。联系电话:(028)5229892;传真:(028)5222258;联系人:崔鹏、秦保芳

(秦保芳)