

# 云南省水富县大峡谷温泉岩溶承压水补给量分析计算

任继周

( 云南省水文水资源局昭通分局 ,云南 昭通 657000 )

**摘要** 通过水文地质调查、同位素、水化学等分析方法对云南省水富县大峡谷温泉岩溶承压水的来源补给区进行定性分析 ,采用降水入渗补给系数法、地下水总补给模数法对补给区的岩溶地下水资源总量进行定量计算 ,利用水量平衡原理计算岩溶承压水的补给量。结果表明 温泉补给区主要是五角堡 ,补给源为大气降水 ,补给区多年平均地下水总量为 621 万 m<sup>3</sup> ,流量为 0.20 m<sup>3</sup>/s。岩溶承压水分析计算为该区域的水资源开发、利用和保护提供依据。

**关键词** 岩溶承压水 ;补给量 ;分析计算 ;云南水富县 ;大峡谷温泉

中图分类号 :P641.8 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X( 2010 )02-0066-04

## Analysis and calculation of karst confined water recharge :A case study of thermal spring in Daxiagu in Shuifu County , Yunnan Province

REN Ji-zhou

( Zhaotong Branch of Yunnan Hydrology and Water Resources Bureau , Zhaotong 657000 , China )

**Abstract** :Through hydrogeological surveys , isotopes , and water chemistry analysis , the supply sources of thermal spring karst confined water recharge zones in Shuifu County , Yunnan Province were analyzed qualitatively. Using the precipitation recharge coefficient method and the groundwater recharge module of the total supply method , the total underground water resources in karst areas were estimated quantitatively. The water balance principle was employed to calculate the water volume supplying karst confined water. The results showed that Wujiaobao was the main supply zone , and the water supply was recharged by precipitation. The long-term average groundwater resources were  $6.21 \times 10^6 \text{ m}^3$  , and the recharge discharge was 0.20m<sup>3</sup>/s. The results provided the basis for the development , utilization , and protection of water resources .

**Key words** : karst confined water ; recharge discharge ; analysis and calculation ; Shuifu County , Yunnan Province ; thermal spring in Daxiagu

随着人们越来越关注水资源和水安全问题 ,探索水资源的来源问题不仅具有科学意义 ,而且具有实际价值 ,特别是深层地下岩溶承压水的来源问题为探索水资源来源问题的难点<sup>[1-2]</sup> ,笔者根据工作经验和有关的科研技术资料 ,以云南省水富县“西部大峡谷温泉”为例 ,对其深层地下岩溶承压水的来源和补给量的计算方法进行探索 ,供各位同仁参考。

### 1 承压水来源和补给区范围分析

承压水来源和补给区范围通过水文地质勘测调

查、水体同位素分析、水化学成分和特征分析等方面分析确定。

#### 1.1 目标含水层所在地层及水文地质条件分析

目标含水层所在地层采用地质钻探资料确定 ,利用区域水文地质图和地质剖面图分析目标含水层的空间分布情况 ,结合野外调查岩层的出露情况初步确定水源来源的范围 ,承压水的形成与地质构造密切相关 ,在适当的地质构造条件下会形成承压水。

云南省水富县“西部大峡谷温泉”位于川滇交界的金沙江向家坝电站坝址上游 1 000 m 库区右岸 ,是

作者简介 任继周( 1966— ) ,男 ,云南昭通人 ,高级工程师 ,主要从事水资源分析评价、水文预报等工作。 E-mail :rjz2229409@163.com

水量大、压力高、水温高( 85℃ )、水质优的岩溶承压水<sup>[ 3-4 ]</sup>,温泉井地面高程为 296 m。

根据钻探资料,井区出露的岩层:表部为河流第四系堆积卵石层  $Q_4$ , 向下依次为三叠系上统须家河组砂岩  $T_{3xj}$ 、中三叠统雷口坡砂页岩  $T_{2l}$ 、嘉陵江灰岩  $T_{1j}$ 、飞仙关组粉砂岩  $T_{1f}+t$ 、二叠系乐平组砂页岩  $P_{2l}$ 、峨眉山玄武岩  $P_{2\beta}$ 、二叠系下统灰岩  $P_{1y}$ 、奥陶系下统牯牛潭组白云岩、砂岩  $O_1$ 。二叠系下统的灰岩  $P_{1y}$  为目标含水层。二叠系茅口组和栖霞组(  $P_{1y}$  )两大碳酸盐岩层为目标热水储层,是大峡谷温泉井的出水层,岩性主要为灰白色、深灰色灰岩,其顶板高程 - 1 295 m,钻探揭露底板高程 - 2 046 m,含水层厚度 751 m。在目标含水层以上有三叠系飞仙关组粉砂岩和二叠系峨眉山玄武岩两个相对隔水地层,为温泉含水层的保温盖层。

根据水文地质调查,目标含水层二叠系茅口组和栖霞组(  $P_{1y}$  )石灰岩主要出露于“西部大峡谷温泉”西部的芭蕉滩、五角堡等地。上述“天窗”多产生于背斜或穹隆构造的核部,它们是在内动力地质作用下伴随风化剥蚀和河流下切而形成的。温泉目标含水层二叠系灰岩直接出露地表,成为大气降水主要的入渗窗口,从而沟通了地表与地下水体,为深层岩溶的发育创造了有利的条件,初步分析上述“天窗”是“西部大峡谷温泉”的来源<sup>[ 5 ]</sup>。

但各个“天窗”在规模、形态、岩溶发育特征等方面差异较大,其出露高程和出露面积变化大。承压水的形成主要取决于地质构造,上述“天窗”中,五角堡与温泉的距离最近,为 35 km,五角堡和温泉属于相同构造区的同一构造带,又有地质构造条件,即在五角堡-楼东和塘房湾背斜的作用下,形成“西部大峡谷温泉”的承压水,因此,可进一步分析五角堡是否为大峡谷温泉的来源<sup>[ 6-7 ]</sup>。

1.2 同位素分析温泉承压水的补给高程和补给水源

对水体的同位素分析可以较为准确地确定温泉水的成因、补给水来源的高程。通过采集大峡谷温泉地区冷泉水样 9 个、热水水样 1 个、金沙江水样 1 个,见图 1,其中 5 号点为大峡谷温泉,1、2 号点为五角堡岩溶泉水。采用氢氧同位素分析,得出以下结论。

- a. 分析水样氢同位素  $\delta D$  及氧同位素  $\delta^{18}O$  的关系,大峡谷温泉的同位素落在降水线附近,表明大峡谷温泉来源于大气降水,属渗滤成因的深循环地下热水。
- b. 大气降水的同位素组成一般具有高程效应,所谓高程效应是指地形起伏比较大的地区,大气降水中氢同位素(  $\delta D$  )和氧同位素(  $\delta^{18}O$  )随着地面高度的增加而逐渐降低的现象,造成高程效应的主要原因是随高度的增加气温逐渐降低,加速了水汽冷凝成雨和同位素的分馏,减少了雨滴的蒸发,所以常伴

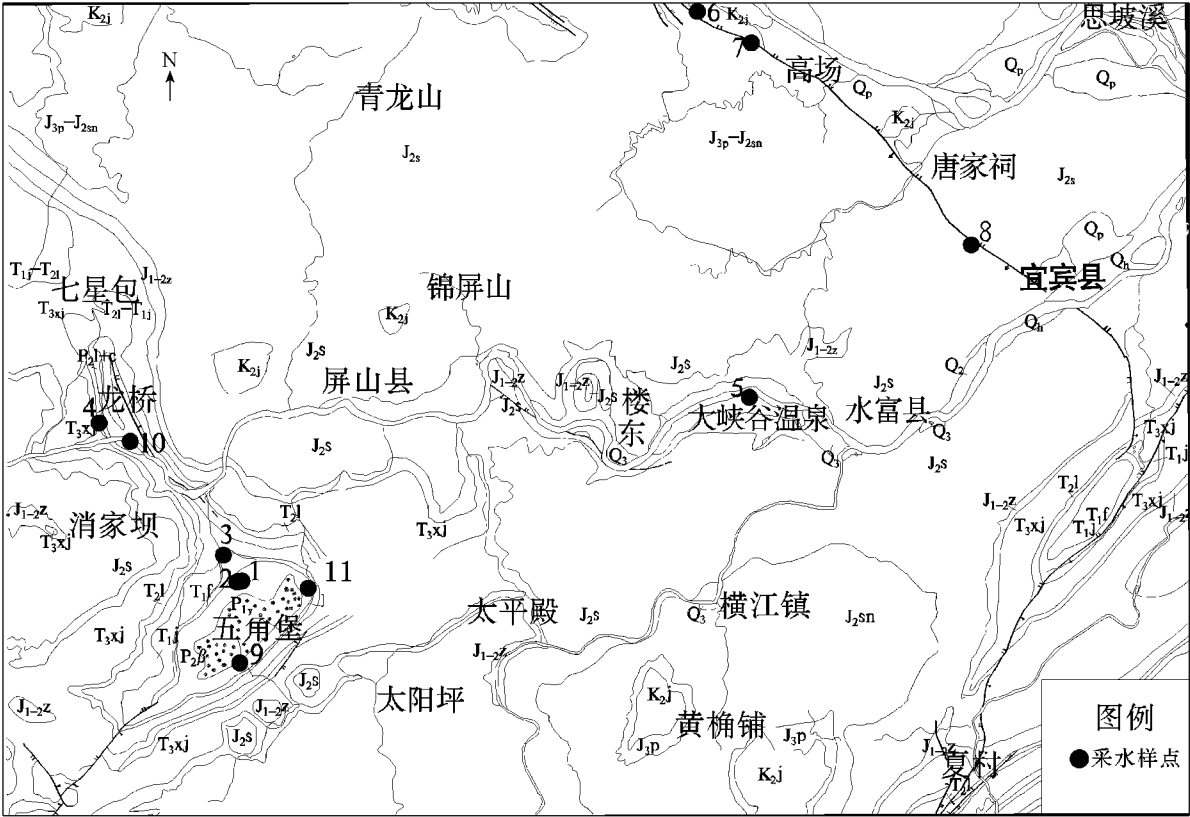


图 1 云南水富县大峡谷温泉水文地质简图

表 1 大峡谷温泉及附近水样  $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  分析结果

| 编号 | 水类型  | $\delta D/\text{‰}$ | $\delta^{18}O/\text{‰}$ | 计算高程/m | 编号 | 水类型 | $\delta D/\text{‰}$ | $\delta^{18}O/\text{‰}$ | 计算高程/m |
|----|------|---------------------|-------------------------|--------|----|-----|---------------------|-------------------------|--------|
| 1  | 岩溶泉水 | -57.7               | -8.84                   | 878    | 7  | 泉水  | -49.6               | -7.14                   | 231    |
| 2  | 岩溶泉水 | -58.1               | -8.85                   | 881    | 8  | 泉水  | -46.7               | -7.59                   | 402    |
| 3  | 裂隙泉水 | -53.7               | -8.45                   | 729    | 9  | 溪水  | -56.6               | -8.94                   | 916    |
| 4  | 岩溶泉水 | -63.1               | -9.52                   | 1136   | 10 | 江水  | -98.5               | -14.80                  | 3143   |
| 5  | 热泉水  | -65.0               | -11.20                  | 1775   | 11 | 溪水  | -55.4               | -8.71                   | 828    |
| 6  | 泉水   | -49.0               | -7.47                   | 357    |    |     |                     |                         |        |

表 2 大峡谷温泉水域区地下水水质分析结果

| 编号 | 水温/<br>℃ | pH 值 | 阳离子质量浓度/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) |                 |                  |                  | 阴离子质量浓度/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) |                    |                    |                   |
|----|----------|------|-------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|    |          |      | $\text{K}^{+}$                            | $\text{Na}^{+}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Cl}^{-}$                           | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{HCO}_3^{-}$ | $\text{NO}_3^{-}$ |
| 1  | 15.3     | 7.7  | 0.6                                       | 3               | 42.08            | 3.65             | 2.84                                      | 6.8                | 143.4              | 5.68              |
| 2  | 17.0     | 7.7  | 0.4                                       | 3               | 40.08            | 3.65             | 1.77                                      | 7.2                | 137.3              | 5.03              |
| 3  | 17.6     | 7.3  | 0.8                                       | 9               | 29.06            | 6.08             | 2.84                                      | 18.4               | 103.7              | 13.68             |
| 4  | 17.2     | 7.7  | 0.8                                       | 2               | 47.09            | 13.98            | 1.77                                      | 28.0               | 186.1              | 4.54              |
| 5  | 75.0     | 7.8  | 5.9                                       | 70              | 42.08            | 9.12             |                                           | 18.0               | 222.7              | 0.62              |
| 6  | 24.4     | 7.4  | 2.0                                       | 7               | 8.02             | 1.22             | 5.32                                      | 4.8                | 36.6               | 5.92              |
| 7  | 24.4     | 7.3  | 0.9                                       | 20              | 91.18            | 17.02            | 6.38                                      | 38.0               | 335.6              | 28.84             |
| 8  | 24.8     | 7.8  | 1.5                                       | 15              | 52.10            | 30.40            | 14.18                                     | 37.3               | 280.7              | 5.86              |
| 9  | 19.2     | 8.2  | 0.6                                       | 4               | 19.04            | 3.04             | 1.77                                      | 13.2               | 54.9               | 8.99              |
| 10 | 22.4     | 8.1  | 2.0                                       | 28              | 33.07            | 10.34            | 21.27                                     | 25.6               | 152.5              | <0.04             |
| 11 | 20.8     | 8.2  | 1.4                                       | 12              | 44.09            | 6.08             | 2.84                                      | 33.2               | 146.4              | 11.10             |

有山体迎风面的雨量增加,形成山体迎风面的超前降雨区,因而云团上升到高空后同位素含量越来越少。根据水的同位素具有高程效应这一特征,利用水样同位素值可计算大峡谷温泉和其他水体的补给高程,见表 1。

c. 计算大峡谷温泉水的补给高程为 1775 m,这一高程与五角堡的高程(1783 m)接近,证明温泉的补给区主要为五角堡。金沙江水补给高程为 3143 m,主要为高原冰雪融水和大气降水。

d. 通过氢同位素( $\delta D$ )和氧同位素( $\delta^{18}O$ )的分析,大峡谷温泉来源于降水,补给区为五角堡的二叠系灰岩区。

1.3 承压水水化学分析

地下水化学成分的形成是地下水在埋藏、运移过程中与岩石相互作用的结果。因此,地下水化学成分记录和反应地下水的形成条件及成因。研究和分析地下水化学成分特征及相互关系,对分析研究承压水的形成及利用具有重要意义。对大峡谷温泉地区 11 个水样点(图 1)水样进行化验分析,主要水质分析结果见表 2。

大峡谷温泉 5 号点与五角堡 1、2 号点的水化学类型和特征比较一致,大峡谷温泉水化学类型为低矿化度  $\text{HCO}_3^{-}-\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^{+}$  型水,补给区水化学类型为低矿化度  $\text{HCO}_3^{-}-\text{Ca}^{2+}$  型水,见表 2,由此,进一步得出结论五角堡为大峡谷温泉水的水源补给区。

1.4 补给区范围分析

通过地质野外调查和水文地质资料分析确定补

给区范围。五角堡补给区岩溶发育特征有:石牙、溶蚀、裂隙、溶洞、峰丛洼地-干沟-落水洞,岩溶泉水。五角堡补给区是典型的岩溶山区,由于地表水与地下水的分水线是不一致的,岩溶区内山脊为三条地表河流的分水线,但降水大部分都在岩溶区通过上述方式潜伏于地下,五角堡二叠系灰岩出露区,没有一条地表溪流,沟谷几乎全部为干沟,因此,确定五角堡二叠系灰岩出露区为补给区,补给区面积为 11.5  $\text{km}^2$ (图 1)。

1.5 承压水的补给-径流-排泄分析

补给:补给区岩溶发育,降水通过裂隙、溶洞、落水洞潜伏地下成为岩溶泉水。

径流:补给区五角堡二叠系灰岩出露高程 1160 ~ 1783 m,井区新滩坝二叠系灰岩埋深 -1295 ~ -2046 m,两者相差 2455 ~ 3829 m,二叠系灰岩上部有相对隔水的飞仙关组粉砂岩和玄武岩地层的限制,较大的高差和有利的地层组合,为地下水的径流提高了动力条件。

从补给区到温泉井,地下水径流的方向主要受五角堡-楼东背斜的控制,背斜轴部裂隙相对发育,为地下水的储存和运移提供了空间和通道<sup>[8]</sup>。

排泄:补给区潜伏后的岩溶泉水,一部分受到玄武岩地层隔水层的阻隔,在补给区铜厂沟二叠系灰岩石与玄武岩的接触面出露为幸福泉,出露高程为 870 m,出露后向当地溪流、河流排泄。另一部分继续受构造和特殊的地形、岩性组合控制,一方面向地下深循环,另一方面长距离的由西南向东北方向的

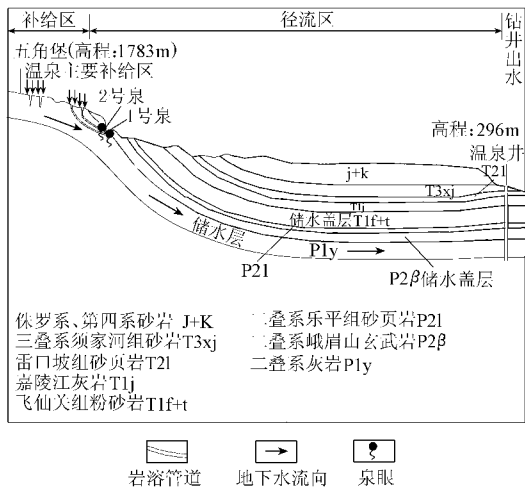


图2 大峡谷温泉形成原理示意图

2 承压水补给量计算

2.1 补给区岩溶水总量计算

补给区的降水除蒸发和少部分形成地表径流外,其余通过溶蚀、裂隙、溶洞、峰丛洼地、落水洞等方式潜伏在目标含水层二叠系灰岩内,成为补给区的岩溶水资源量<sup>[9]</sup>。补给区的岩溶水总量采用降水入渗补给系数法和地下水总补给模数图法2种方法计算。

a. 降水入渗补给系数法。降水入渗补给系数受降水、地形地貌、土壤植被、岩性、地质构造等多种因素影响,一般富水性强的碳酸岩地区入渗补给系数大,富水性差的砂页岩地区入渗补给系数小。根据地区分区的流域降水量-地下径流深-入渗补给系数图并结合实地调查分析,五角堡为石灰岩地区,降水大部分潜入地下,水源补给区的入渗补给系数确定为0.40,补给区40a平均年降水量为1350mm,则多年平均地下径流量为621万m<sup>3</sup>。

b. 地下水总补给模数图法。根据实测水文资料和枯泉水调查绘制的地区地下水总补给模数图代表地下水的正常值,通过实地调查分析,补给区岩溶区石牙、溶洞、落水洞发育,降水大部分潜入地下,则确定补给区多年平均地下水总补给模数为55万m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>,补给区面积为11.5km<sup>2</sup>,则多年平均地下水总量为633万m<sup>3</sup>。

地下水总补给模数图法和降水入渗补给系数法2种方法计算的补给区岩溶水总量基本接近,采用降水入渗补给系数法的计算成果,即补给区多年平均地下水总量W为621万m<sup>3</sup>,流量为0.20m<sup>3</sup>/s。

2.2 承压水补给量计算

补给区的岩溶水在从补给源向大峡谷排泄的过程中,一部分以泉水的形式出露于地表,如幸福泉排

泄量W<sub>泄</sub>为445万m<sup>3</sup>,另一部分潜入地下深层成为温泉,则大峡谷目标含水层获得的承压水多年平均补给量为:

$$W_{补} = W - W_{泄} = 621 - 445 = 176(万\ m^3)$$

由于无泉水实测资料系列,大峡谷温泉承压水多年平均补给量成果的检验,采用西部大峡谷温泉井的调查测量资料进行。大峡谷温泉为自喷井,温泉自喷井日出水量最大为1978年初期,平均喷出水量为4306m<sup>3</sup>/d,2003年平均喷出水量为3000m<sup>3</sup>。喷出水量是动态变化的,多年平均喷出水量3500m<sup>3</sup>/d,多年年平均喷出水量为128万m<sup>3</sup>。大峡谷目标含水层获得承压水多年平均补给量(176万m<sup>3</sup>)大于温泉井的多年年平均喷出水量(128万m<sup>3</sup>),分析计算承压水补给量与大峡谷温泉的多年年平均喷出水量是协调合理的。

3 结论

笔者依据大量的自然地理、水文地质、水文调查资料,对岩溶承压水的补给源和形成进行探索,采用水文地质调查、同位素、水化学等多种方法定性分析岩溶承压水的补给源和补给范围;采用降水入渗补给系数法、地下水总补给模数图法定量计算岩溶承压水补给量,利用水量平衡原理计算温泉承压水多年平均补给量,计算的方法合理,分析计算成果通过与大峡谷温泉的实测喷出水量检验,成果是可靠的。分析计算为大峡谷温泉水资源的开发利用和保护提供了技术依据。

参考文献:

[1] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004.  
[2] 芮孝芳, 刘方贵, 邢贞相. 水文学的发展及其所面临的若干前沿科学问题[J]. 水利水电科技进展, 2008, 27(1): 75-79.  
[3] 高柏, 孙占学, 刘金辉. 江西省地热温泉开发利用与保护[J]. 水资源保护, 2006, 22(2): 92-94.  
[4] 叶水庭. 地下水文学[M]. 南京:河海大学出版社, 1991.  
[5] 梁彬, 朱明秋, 裴建国, 等. 岩溶水资源开发利用与综合治理经验-以湘西岩溶区为例[J]. 水资源保护, 2007, 23(2): 64-69.  
[6] 李森, 陈家军, 孟占利. 地下水可采资源量及若干问题探讨[J]. 水资源保护, 2004(4): 1-4.  
[7] 乔光健, 鲍其钢, 赵永旗. 邢台百泉岩溶地下水系统特征分析与开发利用研究[J]. 水资源保护, 2003(4): 7-9.  
[8] 宁维亮, 高红波, 张江华. 娘子关泉域岩溶水资源开发利用与保护[J]. 水资源保护, 2004(4): 18-20.  
[9] 高波. 郭庄泉流量衰减原因分析及对策[J]. 水资源保护, 2003(1): 64-65.

(收稿日期 2009-01-04 编辑 徐娟)