

滇东岩溶高原矿泉水类型及地质控制

张 贵, 张 华, 王 波, 张文鋈, 高 瑜, 何绕生, 周翠琼, 彭淑惠

云南省地质环境监测院, 云南昆明 650216

摘 要: 滇东岩溶高原区地层构造复杂, 出露岩类齐全, 北部属于上扬子地台、南部属于华南褶皱带, 地球化学过程和岩溶作用过程, 导致矿泉类型多样和水资源丰富, 已发现各类矿泉水点 363 个。通过调查、梳理总结, 区内矿泉水分为 6 类: 偏硅酸、盐类、微量元素、碳酸、复合型、温矿水; 据形成条件主控因素差异, 成因类型可分 3 类: 断裂带对流型、深循环层控型、潜流溶滤型。岩溶作用对滇东矿泉水的形成具有影响作用, 并可形成特色锶矿泉水。总结了开发利用存在的问题, 提出了矿泉水优化利用的对策建议。

关键词: 滇东; 岩溶高原; 矿泉水; 分类特征; 成因类型; 对策建议

中图分类号: P641.5 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.073101

Mineral Water Types and Geological Control in Karst Plateau of Eastern Yunnan

ZHANG Gui, ZHANG Hua, WANG Bo, ZHANG Wen-jun, GAO Yu, HE Rao-sheng,
ZHOU Cui-qiong, PENG Shu-hui

Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216

Abstract: The karst plateau area in eastern Yunnan has a complex stratigraphic structure and a complete range of outcropping rocks. The north belongs to the Upper Yangtze Platform and the south belongs to the South China Fold Belt. Geochemical processes and karstification processes have led to diverse types of mineral springs and abundant water resources. 363 water points consisting of various types of mineral springs have been discovered. Through investigation and summary, the mineral water in the area is classified into 6 types: metasilicic acid, salt, trace element, carbonic acid, compound type, and warm mineral water; according to the main controlling factors of formation conditions, the genetic types can be divided into 3 types: fault zone convection type, deep circulation stratification control type, and underflow leaching type. Karst has an impact on the formation of mineral water in eastern Yunnan, and can form characteristic strontium mineral water. The problems in development and utilization are summarized, and countermeasures and suggestions for optimal utilization of mineral water are put forward.

Key words: eastern Yunnan; karst plateau; mineral water; classification characteristics; genetic types; countermeasures and suggestions

本文所指矿泉水包括天然饮用矿泉水、医疗矿泉水。矿泉水具有丰富的矿物质, 作为保健饮料或用于理疗保健正日益受到人们的关注。矿泉水的形成与地貌、地层岩性、地质构造、水文地球化学、地下水的循环条件等关系密切。宋德人对我国饮用天然矿泉水的类型及形成条件作了初步研究, 认为

矿泉水类型受地质环境条件的控制(宋德人, 1990)。赵帅军等认为矿泉水受地层岩性、地质构造控制明显(赵帅军等, 2017), 医疗矿泉水多与断裂有关。牛俊强等认为矿泉水的形成主要受地质构造、地球化学及水动力条件的综合控制, 不同的主导作用形成的矿泉水类型不同(牛俊强等, 2019)。王宇将岩溶水

本文由国家重点研发计划专项(编号: 2016YFC0502502)和中国地质调查局地质调查项目“滇西北地区生态地质调查”(编号: DD2019)联合资助。

收稿日期: 2020-06-08; 改回日期: 2020-07-24; 网络首发日期: 2020-08-04。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 张贵, 男, 1964 年生。教授级高级工程师。长期从事水工环地质调查研究工作。通讯地址: 650216, 昆明市人民东路王大桥云南省地质环境监测院。E-mail: ynsghszg@163.com。

系统划分为浅循环、深循环 2 类系统,认为深循环岩溶水系统可形成优质矿泉水(王宇,2002)。苏春田等分析了锶矿水的成因,认为主要受岩性及径流条件的控制(苏春田等,2020)。总体上,对矿泉水的研究较多,主要集中在单一点上的成因分析(李秀英等,2000; 申建梅等,2000; 刘红战等,2014; 罗成等,2018; 迟帅等,2019; 单婷婷等,2019),区域分类研究则相对较少(施宁宁等,2012; 王贵玲等,2017; 孙智杰等,2018; 江峰等,2019; 周长松等,2020)。本文通过收集资料、结合典型点调研,探讨了滇东岩溶高原区内地质环境与矿泉水的相互关系,矿泉水的成因类型、特征,研究如何提高矿泉水资源利用率,将资源优势转化为经济优势,具有重要的理论和实际意义,可为云南省矿泉水的优化开发利用提供指导作用。

1 地质环境制约矿泉水类型和品质

滇东地区(云南省东经 102°以东地区)属高原季风气候区,立体气候特征明显,大部分地区年均气温 15~19℃;滇东北高原区年均气温 2~12℃。区内降水丰富,大部分地区年降水量 800~1300 mm。属金沙江、南盘江、元江流域,地貌类型多样,地质构造复杂,深大断裂发育,各种岩类出露齐全,为矿泉水的形成提供了良好的物质基础条件。

1.1 地质背景

区内地层发育齐全,自元古界至第四系均有出露。深大断裂发育,控制了地层的分布,大致以师宗—弥勒断裂、元江断裂为界可分为滇东、滇东南、思茅地层区(图 1)。深大断裂滇东地层区以近南北向、北东向断裂为主,滇东南地层区以北东向、北西向断裂为主,思茅地层区则以北西向断裂为主。各区地层岩性在时间和空间上的变化都十分复杂。上元古界,除滇东南缺失外,区内大部分地区均有出露,昆阳群(Pt₂)主要分布于元谋断裂与小江断裂之间,以板岩为主夹少量碳酸盐岩;元江断裂以南,主要出露瑶山群(Pt₃)变质岩、哀牢山群(An-C)变质岩;震旦系(Zz)以滇东出露广泛,下部为碎屑岩,上部为碳酸盐岩。古生界,滇东、思茅地层区下古生界(Є-O)以碎屑岩为主夹碳酸盐岩,滇东南区下古生界零星分布,部份层位缺失;上古生界大部分地区下-中泥盆统(D₁-D₂)以碎屑岩为主,上泥盆统-下二叠统(D₃-P₁)主要为碳酸盐岩;上二叠统玄武岩(P₂β)在区内均有出露,在昆明、昭通等地分布较广。中生界,区内出露较广,三叠系下统(T₁)、上统(T₃)以砂泥岩为主,中统(T₂)为灰岩、白云岩,侏罗纪(J)、白垩纪(K)为一套红色砂泥岩;滇东南区缺失侏罗-白垩系。新生界(Q-E)主要分布于盆谷地中,为砂砾

石、黏土、黏土岩等。区内岩浆活动频繁,受构造控制,多沿深大断裂带零星分布,类型较多,基性、中性、酸性岩均有,主要分布于金平、麻栗坡、富宁等地。

1.2 地质环境制约水岩相互作用和矿泉水类型

1.2.1 矿泉水类型及水质特征

依据《饮用天然矿泉水》(GB8537-2018)、《天然矿泉水资源地质勘查规范》(GB/T13727-2016)要求,结合滇东矿泉水水质特点,以特殊的化学成份及温度为标准,将滇东矿泉水划分为偏硅酸矿泉水、盐类矿泉水(溶解性总固体大于 1000 mg/L)、微量元素矿泉水(指锶、锂、锌、硒、氡、硫化氢,有其中之一达标)、碳酸矿泉水、复合型矿泉水、温矿泉水(水温≥36℃,有医疗作用)共 6 类(张春才等,1988)。据不完全统计,滇东已发现的各类矿泉水点有 363 个,以偏硅酸矿泉水为主,占总数的 49.7%(表 1);出露状态泉水占 49%,井孔占 51%,温度小于 25℃的冷水占 53.2%。总体上具有区域分布不均匀,局部较为集中的特点,以昆明、开远、玉溪等地分布较为密集。随着勘探程度的不断提高,矿泉水的数量还将会不断的增加。

各类矿泉水水质差异较大。(1)偏硅酸矿泉水,水

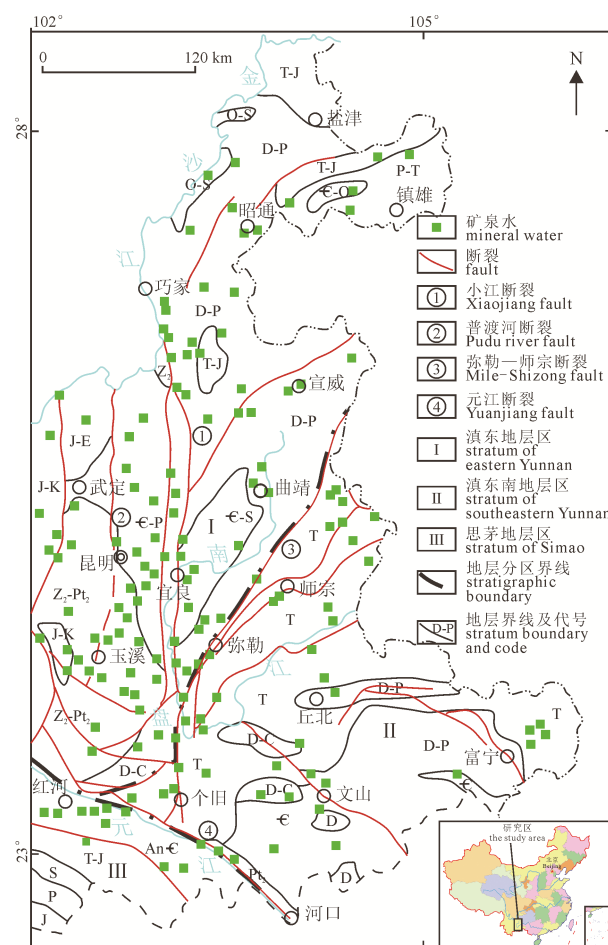


图 1 研究区地质略图

Fig 1. Statistics of mineral water types in east Yunnan

表 1 滇东矿泉水类型统计表
Table 1 Geological sketch map of the study area

类型	偏硅酸矿泉水	盐类矿泉水	微量元素矿泉水	碳酸矿泉水	复合型矿泉水	温矿泉水	合计
数量/个	180	57	45	7	5	69	363
占总数/%	49.7	15.7	12.4	1.9	1.3	19.0	100

温差异大, 在 15 ~ 103 ℃, 偏硅酸(H₂SiO₃)含量多在 25 ~ 60 mg/L, 个别点含量 419 ~ 457 mg/L, 偏硅酸含量与水温有一定的相关性, 随温度升高偏硅酸含量增高, 水化学类型主要为 HCO₃-Ca·Mg 型, pH=6.2 ~ 8.4, 矿化度一般较低, 在 0.06 ~ 2.31 g/L。(2)盐类矿泉水, 水温 14 ~ 63 ℃, 大部分低于 25 ℃, pH=6.1 ~ 6.8, 矿化度在 1.01 ~ 9.78 g/L, 硬度较大, HCO₃⁻=249 ~ 1566 mg/L, SO₄²⁻=298 ~ 1778 mg/L, Cl⁻=166 ~ 3764 mg/L, Ca²⁺=82.36 ~ 561.6 mg/L, Mg²⁺=34.65 ~ 150.1 mg/L, 水化学类型多样, 以 HCO₃·SO₄-Na·Ca 型、SO₄-Ca·Na 型为主, 典型的如峨山盆地出露的盐类泉, 矿化度 3.69 g/L, 水化学类型 HCO₃-Cl·Na 型, 为小苏打食盐水。(3)微量元素矿泉水, 常有 2 ~ 3 个元素相伴生, 并含有较高的偏硅酸, 水温 17 ~ 57 ℃, 矿化度在 0.29 ~ 1.46 g/L, pH=6.4 ~ 9.4, 水化学类型以 HCO₃-Ca·Mg 型为主。(4)碳酸矿泉水, 通常伴有少量 N₂、H₂S、CH₄ 等气体, CO₂=250 ~ 943 mg/L, 口味一般酸涩, 水温 10 ~ 23 ℃, 矿化度 0.12 ~ 4.6 g/L, pH=5.6 ~ 6.9, 水化学类型多为 HCO₃-Na、SO₄-Na·Mg 型。(5)复合型矿泉水, 水温 20 ~ 68 ℃, 矿化度 1.01 ~ 2.23 g/L, pH=6.9 ~ 7.8, 水化学类型多样, 以 SO₄-Ca、SO₄·HCO₃-Na·Ca 型为主。(6)温矿泉水, 从化学成分看, 无达标元素, 水温 36 ~ 103 ℃, 矿化度 0.29 ~ 0.8 g/L, pH=6.9 ~ 7.8, 水化学类型较简单, 主要为 HCO₃-Ca·Mg 型。

1.2.2 矿泉水类型与地层构造关系

区内矿泉水的形成、分布受深大断裂、地层岩

性、水岩相互作用等地质环境制约。区内深大断裂发育, 地质构造复杂, 不仅控制了地层的分布, 对矿泉水的形成与分布有着明显的控制作用。与深大断裂关系密切的矿泉水有 116 个, 占总数的 32%。控制性的深大断裂带主要有小江断裂带, 为宽 20 ~ 30 km 的挤压带, 沿断裂带分布有多个断陷盆地及高矿化度的高温矿泉水。普渡河断裂带, 为宽 30 ~ 40 km 的断层密集带, 沿断裂带断陷盆地发育, 断裂沿线温泉密布, 盆地覆盖层之下通常蕴藏着丰富的地下热矿泉水。红河断裂带, 挤压破碎带宽数百 ~ 千余米, 断裂南西盘普遍出露变质岩。师宗—弥勒断裂带, 北东向延伸, 北西盘以元古界地层为主, 南东盘普遍出露三迭系地层, 沿断裂带出露有较多温泉。

区内岩类齐全, 地层岩性多样, 各岩类均可成为矿泉水的含水层。矿泉水出露与地层关系较为密切, 第四系-元古界地层中均有出露, 主要赋存于 8 个不同时代的地层中(图 2), 震旦系灯影组(Zb_{dn})白云岩, 有 58 个, 占总数的 16%, 第四系(Q)砂砾层有 54 个, 占总数的 15%, 元古界昆阳群(Pt₂)变质岩有 40 个, 占总数的 11%, 其次为二叠系上统峨眉山组(P₂β)玄武岩、侏罗系-白垩系(J-K)红色碎屑岩含盐层, 以及印支期(γ₅)花岗岩体等地层; 其它 15 个不同时代的地层中, 矿泉水数量少, 仅占 33%, 一般单个地层中矿泉水数量小于 10 个。

偏硅酸矿泉水, 多集中于昆明—开远一带, 主要赋存在二叠系(P₂)玄武岩、昆阳群(Pt₂)变质岩、以及不同时期的花岗岩体等地层中。盐类矿泉水, 主

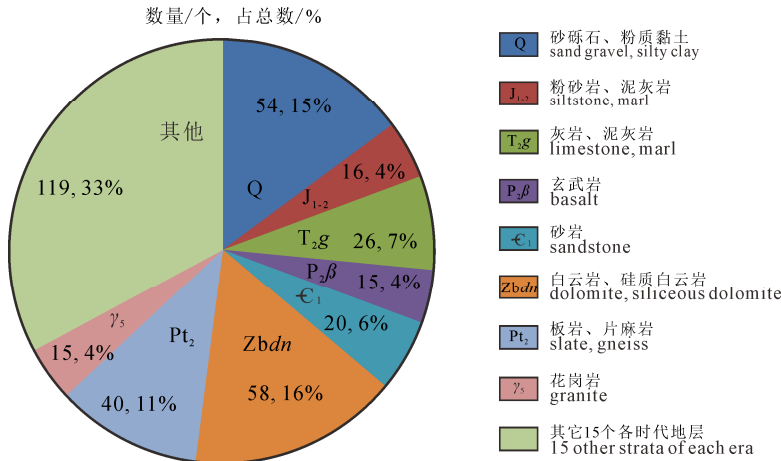


图 2 矿泉水分布与地层关系图
Fig. 2 Diagram of relationship between mineral water distribution and strata

要分布在昆明、安宁、晋宁等地,以安宁妥乐红色盆地中最密集,赋存于中生界侏罗系(J)、白垩系(K)碎屑岩含盐层地层,以及第四系(Q)砂砾层中,碳酸盐岩中无分布。微量元素矿泉水,以锶矿泉水为主,占 70%,主要分布在昆明、宜良、建水等地,赋存于震旦系灯影组(Zbdn)、三叠系(T₂)碳酸盐岩中,以及寒武系渔户村组(C_{1y})粉砂岩中,与这些地层中含丰富的微量元素有关。碳酸矿泉水,仅分布于玉溪、晋宁、昭通、镇雄,赋存于昆阳群黑山头组变质岩、以及石炭、二迭系煤系地层中。复合型矿泉水,达标项目是矿化度、偏硅酸、微量元素 3 种类型,其中微量元素组分包括锶、锂及 H₂S,只在宜良、弥勒地区有分布,矿泉水储集地层主要有震旦系灯影组(Zbdn)。温矿水,主要分布于昆明等地,出露地层以震旦系灯影组(Zbdn)为主。

1.2.3 岩溶作用对矿泉水品种的影响

滇东岩溶高原区,碳酸盐岩广布,不同区域岩溶作用强度差异较大。纯碳酸盐岩区,溶蚀作用强烈,岩溶洞-隙系统发育,利于地下水的循环交替,水岩相互作用时间相对较短,一般不会形成矿泉水;而在有泥灰岩、泥质灰岩、砂泥岩夹层分布的碳酸盐岩区,或以裂隙为主的白云岩区,岩溶作用相对较弱,地下水的径流通道以裂隙、孔隙为主,径流相对较缓慢,水岩作用时间较长,有利于岩石中锶元素溶滤进入地下水中,形成富锶矿泉水,多具有矿化度相对较高的特点。如泸西盆地发现的 5 个锶矿泉水,4 个均出露于盆地边缘三叠系个旧组(T₂g)薄-中层状泥质灰岩、泥灰岩夹砂泥岩地层中,1 个出露于盆地底部三叠系个旧组(T₂g)块状白云岩地层中,岩溶不发育,以裂隙、溶孔为主,水动力条件弱,流量 0.2 ~ 10 L/s, Sr=0.29 ~ 1.11 mg/L, TDS=342.63 ~ 497.9 mg/L。

1.2.4 现代水文过程对矿泉水的影响

滇东地区是云南高原的主体部分,总体地势西北部、北部高,东南低,呈阶梯状向南东递减。区内最高点巧家药山,海拔 4 040.3 m,最低点为河口,海拔 67.4 m,相对高差 3 972.9 m。地貌类型多样,表现为大面积起伏的高原面、斜坡、河谷地貌景观。

宏观地貌通常控制着地下水的补给径流条件,对矿泉水的形成有着明显影响。中部昆明、曲靖、蒙自等地高原面,山地海拔一般 1500 ~ 2500 m,地形起伏较平缓,切割深度小于 500 m,断陷盆地星罗棋布,规模较大的断陷盆地,其形成与区域深大断裂相关。断陷盆地盆底与边缘有较大的地势反差,高差一般在数百米,周边地下水接受降水补给后向盆地内径流,径流循环深度相对较大,水岩作用相对较充分,故在盆地底部及边缘地带容易形成矿泉

水,如昆明、建水、弥勒等盆地。但盆地底部地形平缓,地下水补给条件差,径流滞缓,容易出现盐类矿泉水,水质多数 SO₄²⁻含量偏高,矿泉水品质差,如安宁盆地等。高原面边缘、深切河谷斜坡区,沟谷纵横,河流切割深 500 ~ 2000 m,山高坡陡,地形起伏大,地下水的循环径流速度快,水岩相互作用时间短,一般不容易形成矿泉水,如以侵蚀溶蚀山地为主的滇东北盐津等地,以峰丛洼(谷)地为主的滇东南的砚山、广南等地。

2 矿泉水成因模式

地下水化学成分的形成是在长期地质历史进程中水与周围介质相互作用的结果,其成份主要取决于围岩性质与地下水的循环交替条件(沈照理, 1986)。区内地质构造复杂,含水层的埋藏分布、地下水的径流循环不同,矿泉水的形成条件差异大,成因类型复杂。据形成条件的主控因素差异,将区内矿泉水成因类型划分为断裂带对流型、深循环层控型、潜流溶滤型 3 类(图 3)。

2.1 断裂带对流型

此类矿泉水通常与深大断裂、深部热源关系密切,多沿断裂带分布,数量较多,如普渡河断裂带、小江断裂带等。断裂及其破碎带是地下水径流的主要通道和赋存空间。形成过程:断裂周边地下水接受降水补给后,在地形产生的水位压力差、地下水温度差异的影响下,地下水由浅部含水层向深部循环径流,沿途经过不同的围岩发生水岩作用,与断裂沟通后沿断裂带上升涌出地表。具有循环深度较大,具承压性,动态较稳定,水温较高等特点,水化学类型多样,受围岩性质、循环深度控制,多数温度在 30 ~ 105℃。矿泉水储集层多沿断裂呈带状分布,离开一定距离后即不存在,均匀性差,矿泉水储集层与地层关系不密切。矿泉水类型以偏硅酸水、温矿水为主,水质类型以 HCO₃-Ca·Mg、HCO₃·SO₄-Na·Ca 型为主。典型的如昆明安宁温泉镇断裂带对流型矿泉水,温泉镇位于螳螂江河谷底部,谷底第四系松散堆积物覆盖层厚 12 ~ 15 m,分布有近南北向延伸的螳螂江断裂,断裂两侧出露二叠系阳新组(P_{1y})灰岩,沿河谷出露有热矿泉 3 个,称“天下第一汤”,水温 26 ~ 45℃,流量 10.7 ~ 70.5 L/s, pH=7.8, 偏硅酸 29.32 mg/L,属偏硅酸水,水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg 型,可作为优质理疗矿泉水,已开发为大型休闲康养生态园区。据勘探资料,在温泉镇长约 600 m,宽 100 ~ 150 m 河谷带内,分布有热水井 24 个,水温 27 ~ 44℃,从施工的钻孔资料分析,超出断裂带分布范围的钻孔,即使相距仅数米亦无热矿泉水,说明矿泉水呈带状分布,

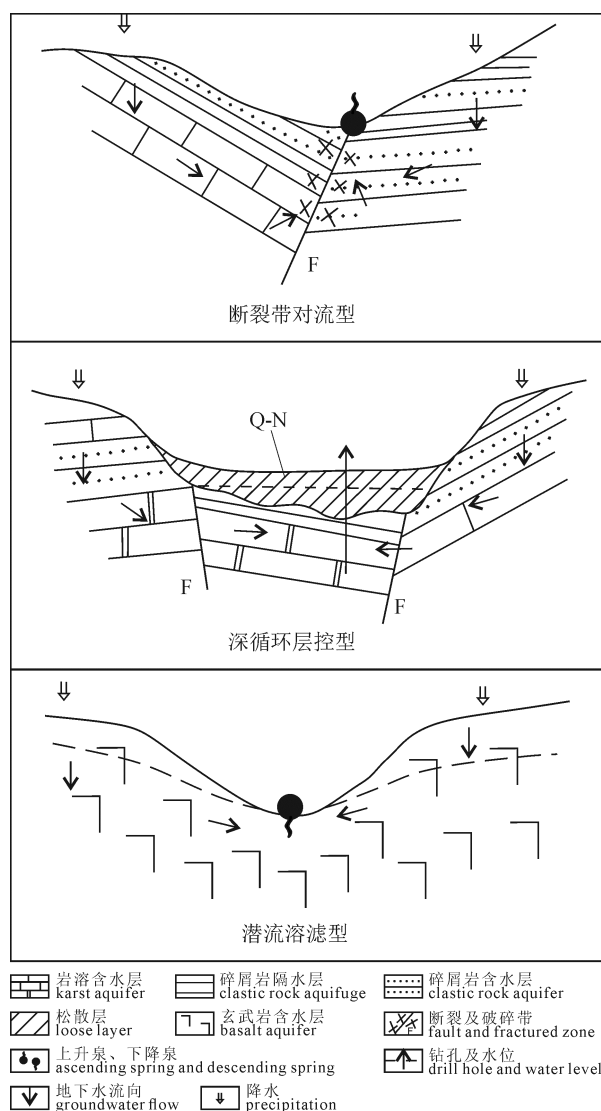


图3 矿泉水成因模式图
Fig. 3 Mineral water genetic model diagram

均匀性极差, 矿泉水的探查难度大。

2.2 深循环层控型

此类矿泉水通常埋深大, 储存条件一般是覆盖或埋藏型, 上覆厚度较大的松散盖层或透水性较弱的砂泥岩隔水层。主要分布在受深大断裂控制的规模较大的断陷盆地区, 一般需经钻孔才能揭露, 数量较多, 受勘探程度控制。形成过程: 盆地周边地下水接受降水补给后, 在地形产生的水位压力差、地下水温度差异的影响下, 地下水通过断裂或节理裂隙由浅部向深部含水层循环径流, 地下水受到深部热源的加温, 形成热矿泉水。具有径流途径长, 径流缓慢, 形成时间一般在数十年, 循环深度大, 埋藏深具承压性, 水位、水质受气候影响小, 动态稳定, 水温较高等特点, 矿泉水储集层与地层关系较密切, 多呈层状产出, 岩体节理裂隙发育, 富水性、均匀性较好。矿泉水类型以偏硅酸水、温矿水为主。水化学类型较简单, 一般 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 含量较高, 以 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型、 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型为主。

典型的如昆明盆地深循环层控型矿泉水, 城区盖层总厚度一般在 100 ~ 1000 m, 上部为第四系、新近系、古近系松散覆盖层, 下伏古生界砂泥岩层, 透水性弱, 成为良好的隔水、隔热盖层, 含水层为震旦系灯影组(Zb_{dn})白云岩、硅质白云岩, 厚 315.8 ~ 376.5 m, 埋深一般大于 500 m, 具有硬脆碎的特点, 裂隙发育较均匀, 富水性较好, 孔深一般 500 ~ 2000 m, 钻孔成井率高, 水位埋深 20 ~ 50 m, 涌水量一般 800 ~ 1500 m³/d, 水温一般 30 ~ 60℃, 以偏硅酸水、锶矿泉水为主。再如盆地边缘的呈贡万溪冲一带, 上覆盖层为 P-C 碳酸盐岩、砂泥岩, 总厚度 1080~1570 m, 钻孔孔深 1 841.86~2 001.6 m, 含水层为震旦系灯影组(Zb_{dn})白云岩、硅质白云岩, 厚 777 m, 隔水底板为陡山沱组(Z_{6d})砂岩, 钻孔水温 42 ~ 55℃, 涌水量 1230 ~ 1464 m³/d, 偏硅酸 0.59 ~ 38.96 mg/L, 为偏硅酸水、温矿水, 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型。

2.3 潜流溶滤型

此类矿泉水分布最广, 从第四系到元古界地层中, 碳酸盐岩、碎屑岩、岩浆岩、变质岩、松散岩各类型岩体中均有分布。一般出露于地形较低的沟谷或洼地中, 大部分为下降泉, 数量较多, 有 183 个, 占总数的 50%。节理裂隙、溶隙、溶孔、孔隙为矿泉水的径流赋存空间。形成过程: 地势较高处的含水层中地下水接受降水补给后, 在地形产生的水位压力差控制下, 地下水由高处向低处径流, 沿途经过不同的围岩发生水岩作用形成矿泉水。通常是浅层形成, 水位埋深、径流状态受地形控制较为明显, 地下水径流较快, 一般为埋藏较浅的潜水。具有循环深度较浅、周期较短, 水量、水质动态随季节变化较明显的特点, 水温以 20℃ 以下的泉水为主。水化学类型复杂多样, 影响因素较多, 受围岩性质、地貌类型、径流长度、循环深度控制, 水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型为主, 矿泉水类型以偏硅酸水为主, 市场上销售较好的饮用矿泉水基本上都为此类型成因的矿泉水。一般玄武岩、变质岩、花岗岩中形成的此类型矿泉水, 以偏硅酸水为主, 矿化度低, 口感好, 水质要优于碎屑岩、碳酸盐岩、松散岩中的矿泉水。碳酸盐岩中, 则以锶矿泉水为主。当径流滞缓或围岩为含盐地层时, 经长期的水岩作用, SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 等离子含量高, 容易形成高矿化度的盐类矿泉水, 水化学类型以 $\text{SO}_4\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型等为主。典型的如昆明呈贡七甸天外天矿泉水, 地貌类型为侵蚀低中山, 补给区海拔 2500 m 左右, 排泄区海拔 1930 m 左右, 补排区最大相对高差 570 m, 补给区植被茂盛, 覆盖率高, 为单斜构造, 含水层为二叠系上统峨嵋山组

(P₂β)玄武岩,玄武岩中的 SiO₂ 含量较高达 49%,是矿泉水形成的主要矿物质来源,节理裂隙发育,相互连通的节理裂隙构成了地下水渗流的良好通道。地下水接受降水补给,总体上自北东向南西径流,排泄区水位埋深 5.32~9.50 m,在中上游沟谷中出露 1 个泉水,水温 15~16℃,泉水动态稳定,月平均流量 1.119~1.153 L/s,水质稳定,溶解性总固体 112.2 mg/L,水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg 型,偏硅酸含量 31.56~35.82 mg/L,为偏硅酸矿泉水,1994 年即开发为云南省知名度高的天外天矿泉水。

3 矿泉水开发利用现状、存在问题及对策建议

3.1 矿泉水资源潜力

滇东矿泉水资源较丰富,依据调查成果资料,采用枯季泉流量、钻孔抽水试验涌水量推算方法,汇总评价资源量,经计算允许开采量 289 569 m³/d (表 2),以 C 级资源量为主,少部分为 B 级资源量。随着勘探程度的不断提高,更多的矿泉水还将会被发现,可开采量也会不断增加,区内矿泉水的开采潜力巨大。

3.2 开发利用现状及存在问题

3.2.1 开发利用现状

总体上区内现状矿泉水开发利用程度较低。据不完全统计,已开采量仅约占可开采量的 20%,多数矿泉水都尚未开发,估算可开采潜力约 23×10⁴ m³/d。区内矿泉水的开发利用社会效益显著,可分为两类:(1)医疗矿泉水,主要是各类宾馆、生态园区开采热水用于洗浴、医疗保健、休闲娱乐。山区一般均开采自流温泉水,大部分温泉都已不同程度地得到了开发利用;盆地区则一般以钻孔开采为主,钻孔深浅不一,数十~2 千余米,开采量较大,供企事业单位使用。如弥勒湖泉生态园,位于弥勒县城新城,占地三千余亩,有地热水开采井 7 口,孔深 100~350 m,水温 46~52℃,矿泉水水化学类型为 HCO₃-Ca 型, pH=7.4,溶解性总固体 399 mg/L,开采量 26.3×10⁴ m³/a,已开发成为弥勒县旅游景点之一,是国家 4A 级旅游景区,集休闲、生态养生、疗养、旅游于一体,经济效益十分显著。(2)天然饮用矿泉水,主要开采冷型矿泉水,大多数小企业开采量较低,日开采量一般在数十 m³,少数企业开采量相对较大,日开采量可达 200 余 m³。主

要水质类型为偏硅酸矿泉水,原因是此类型矿泉水口感甘甜,市场销量大,已成为矿泉水开发投资的优选类型。如天外天矿泉水,位于昆明市呈贡新区七甸村北,开采 1 个泉水及 3 口钻井,水质类型为偏硅酸矿泉水,开采量 8.1×10⁴ m³/a,省内销售网点 300 余个,解决了 2000 多名农村剩余劳动力安置和城镇下岗职工的就业问题,社会、经济、生态效益十分显著。经过多年的市场培育,区内已有 70 多个矿泉水厂及品牌,但形成具有一定品牌优势的较少,知名度较高的有云南山泉、石林天外天、珍茗金龙、玉尔贝等品牌矿泉水。

3.2.2 存在问题

区内矿泉水资源的开发利用主要存在以下问题。(1)总体上利用率较低。据估算,矿泉水已开采量约占允许开采量的 20%,且以温矿水的利用为主,饮用矿泉水开采量偏小,大部分闲置,未能充分利用现有矿泉水资源。(2)开发方式、产品形式单一,效益低下。热矿泉水开发利用虽点多面广,但多数开发方式粗放低端,主要用于一般温泉、酒店的洗浴用水;饮用矿泉水产品形式单一,市场表现以偏硅酸型为主,基本无其它类型。宣传力度较弱,知名度不够,多数矿泉水仅能在县域内销售且售价低廉。(3)局部地区热矿泉水超采。区内矿泉水资源总量虽较大,但分布不均匀,点密度平均仅 0.23 个/100 km²,各地区开发利用程度差异大,经济较发达的盆地区及周边地区,需求量较大,但资源量小,供需不平衡,地热矿泉水钻井开采普遍存在超采现象,如昆明盆地、汤池盆地、弥勒盆地等,地热水水位已下降数米~数十米。(4)研究程度低。总体上区内仅做过精度较低的区域普查,已发现的矿泉水数量有限,对部分矿泉水的成因、分布规律尚不十分清楚,有待进一步查明,为开发利用规划提供可靠资料。

3.3 开发利用对策建议

矿泉水开发是一种投资少见效快,社会经济效益显著的产业。为持续高效利用矿泉水资源,提出以下优化利用对策建议。(1)统一规划,合理布局。为合理开采利用和保护矿泉水资源,充分发挥资源优势,结合城市发展规划,城镇、新农村发展需要,开展矿泉水规划利用研究,合理布局,有序开采,因地制宜合理利用,充分利用泉水自流量,控制井采量,提高开发利用水平。(2)拓展开发利用领域,

表 2 滇东矿泉水资源量统计表

Table 2 Statistics of mineral water resources in east Yunnan

类型	偏硅酸矿泉水	盐类矿泉水	微量元素矿泉水	碳酸矿泉水	复合型矿泉水	温矿水	合计
资源量/(m ³ /d)	118 494	24 619	40 183	1007	5255	100 011	289 569

提高地热矿泉水资源综合利用水平。在经济较发达的盆地区、旅游区,如昆明、曲靖、丘北、蒙自等地,充分开发地热矿泉水,建设康养小镇,发展集休闲娱乐、医疗保健疗养为一体的大型康体休闲、优质度假休闲旅游产业,促进旅游业转型升级,带动第三产业发展,形成新的经济增长点。在经济较落后的山区,开发地热矿泉水,发展农副业生产综合利用的项目,如温水养殖业、农业温室等。(3)加强地热矿泉水资源的循环利用。对盆地内封闭型补给的并采地热矿泉水的利用,应遵循减少开采量和扩大可利用温差(加入冷水调温)的原则,采用回灌方式补给地下水,利用热泵加热低温地热水等适宜方式,控制合理开采总量,防止造成区域地下水位下降等环境地质问题。(4)加强宣传,培育开发新品种。进一步加强已有名牌矿泉水的宣传力度,以消费者的需求和市场为导向提供中高端消费用水,如天外天近期新开发的高端碱性矿泉水。面向特殊群体,开发特色饮品、保健饮品,如苏打水、含汽碳酸水等。开发微量元素矿泉水,如在岩溶区可重点寻找开发分布较广的锶矿泉水。(5)加强重点区段勘查研究,发掘新的矿泉水源地。加强重点区段勘查评价,尤其是盆地内地热矿泉水埋藏深,找寻难度大,开发风险大,要利用钻探、综合物探技术,不断提高研究精度,进一步查明其分布、类型,可开采资源量,圈定可靠的勘探打井靶区,积极寻找评价新的矿泉水源地,增加资源储备,降低开发风险和成本,为矿泉水开发利用提供保障。(6)认真贯彻执行《云南省地下水管理办法》、《云南省地热水资源管理条例》的相关规定要求,加强矿泉水尤其是并采地热矿泉水的管理,严格审批,严格执法检查,杜绝乱采。加强监测,对水量、水质、水位动态等进行长期监测,为进一步合理开发和管理提供科学依据。

4 结论

(1)矿泉水可分为偏硅酸、盐类、微量元素、碳酸、复合型、温矿水共 6 类,以偏硅酸、盐类、温矿水 3 类为主,占总数的 84.3%。

(2)径流条件较好的玄武岩、变质岩、花岗岩中形成的潜流溶滤型矿泉水,水质、口感好,是优质的天然饮用矿泉水。断裂带对流型、深循环层控型矿泉水,水温一般较高,是医疗矿泉水的主要类型。

(3)有泥灰岩、泥质灰岩、砂泥岩夹层分布的碳酸盐岩区,易形成矿化度较高的富锶矿泉水。

(4)矿泉水资源较丰富,现状开采利用率低,开

采潜力大,可进一步扩大开采量,提高开发效益。

Acknowledgements:

This study was supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFC0502502), and China Geological Survey (No. DD2019).

参考文献:

- 迟帅,徐世光,郭婷婷. 2019. 云南松茂区矿泉水成因研究[J]. 中国水运, 19(2): 210-211.
- 江峰,李强,吉勤克补子,周亚男. 2019. 贵州省岩溶地区饮用天然矿泉水化学特征及其宏量组分来源分析[J]. 贵州地质, 36(2): 173-179.
- 李秀英,蔡洪涛,任清岭. 2000. 沧州市区地热地质特征及地热资源开发探讨[J]. 地球学报, 21(2): 171-176.
- 刘红战,张小凌,姚明波. 2014. 云南石林盆地地热地质特征及成因分析[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 37(1): 69-74.
- 罗成,贺强. 2018. 云南蒙自坝区地热地质条件及热储特征[J]. 中国煤炭地质, 30(2): 64-67.
- 牛俊强,文美霞,郭昆,周宁,叶腾升,苏呈. 2019. 湖北省饮用天然矿泉水成因类型及成矿模式分析[J]. 资源环境与工程, 33(1): 61-65.
- 单婷婷,徐世光,范柱国,阮巍. 2019. 昆明西山偏硅酸矿泉水特征及形成机理[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 44(2): 39-47.
- 申建梅,张宏达,陈宗宇,马玉祥. 2000. 地热资源管理与可持续发展[J]. 地球学报, 21(2): 140-141.
- 沈照理. 1986. 水文地球化学基础[M]. 北京: 科学出版社.
- 施宁宁,卓文珊,刘祖发,王亚雄,黄淑娟,徐晖,李文斌. 2012. 广东省矿泉水的基本特征及开发利用建议[J]. 热带地理, 32(5): 501-507.
- 宋德人. 1990. 我国饮用天然矿泉水的初步研究[J]. 地理科学, 10(4): 356-364, 388.
- 苏春田,杨杨,巴俊杰,罗飞,李小盼,赵光帅. 2020. 新田县富锶地下水动态特点与成因分析[J]. 中国岩溶, 39(1): 24-33.
- 孙智杰,高宗军,王新峰,林海斌,宋绵. 2018. 赣南山区矿泉水出露模式探讨[J]. 地球学报, 39(5): 565-572.
- 王贵玲,张薇,梁继运,蔺文静,刘志明,王婉丽. 2017. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报, 38(4): 449-459.
- 王宇. 2002. 西南岩溶地区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点[J]. 中国岩溶, 21(2): 114-119.
- 张春才,郭加祥,唐红明. 1988. 云南省东部地区矿泉水调查报告[R]. 昆明: 云南省地质矿产局第一水文地质工程地质大队.
- 赵帅军,黄树春,夏友,李海兵,曾艳华. 2017. 从基础地质角度研究湖南省矿泉水资源特征及成因规律[J]. 矿产与地质, 31(1): 187-193.
- 周长松,邹胜章,朱丹尼,林永生,王佳,樊连杰,李军,蓝芙宁,李衍青,邓日欣,廖雄宜. 2020. 四川昭觉地区优质偏硅酸地下水的特征、成因及其开发利用建议[J]. 中国地质,

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200414.1644.003.html>.

References:

- CHI Shuai, XU Shi-guang, GUO Ting-ting. 2019. Research on the Origin of Mineral Water in Songmao District, Yunnan[J]. China Water Transport, 19(2): 210-211(in Chinese).
- JIANG Feng, LI Qiang, JI Qinkebuzi, ZHUO Ya-nan. 2019. The Chemical Characteristics of the Potable Natural Mineral Water and Its Major Components Source Analysis of the Karst Area in Guizhou Province[J]. Guizhou Geology, 36(2): 173-179(in Chinese with English abstract).
- LI Xiu-ying, CAI Hong-tao, REN Qing-ling. 2000. A Tentative Discussion on the Geothermo-Geological Characteristics and Development of Geothermal Resources in Cangzhou City[J]. Acta Geoscientica Sinica, 21(2): 171-176(in Chinese with English abstract).
- LIU Hong-zhan, ZHANG Xiao-ling, YAO Ming-bo. 2014. Geothermal Geology Characteristic and Origin Analysis of Shilin Basin in Yunnan Province[J]. Journal of East China Institute of Technology, 37(1): 69-74(in Chinese with English abstract).
- LUO Cheng, HE Qiang. 2018. Geothermal Geological Condition and Geothermal Reservoir Features in Mengzi Basin Area, Yunnan[J]. Coal Geology of China, 30(2): 64-67(in Chinese with English abstract).
- NIU Jun-qiang, WEN Mei-xia, GUO Kun, ZHOU Ning, YE Teng-sheng, SU Cheng. 2019. Analysis of Genetic Types and Metallogenic Model of Potable Natural Mineral Water in Hubei Province[J]. Resources Environment & Engineering, 33(1): 61-65(in Chinese with English abstract).
- SHAN Ting-ting, XU Shi-guang, FAN Zhu-guo, RUAN Wei. 2019. Characteristics and Formation Mechanism of Metasilicate Mineral Water in Xishan Mountain of Kunming[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology(Natural Science), 44(2): 39-47(in Chinese with English abstract).
- SHEN Jian-mei, ZHANG Hong-da, CHEN Zong-yu, MA Yu-xiang. 2000. Geothermal Resource Management and Sustainable Development[J]. Acta Geoscientica Sinica, 21(2): 140-141(in Chinese with English abstract).
- SHEN Zhao-li. 1986. Foundation of Hydrology and Geochemistry[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- SHI Ning-ning, ZHUO Wen-shan, LIU Zu-fa, WANG Ya-xiong, HUANG Shu-xian, XU Hui, LI Wen-bin. 2012. Characteristics of the mineral water resources in Guangdong and suggestions for their exploitation and utilization[J]. Tropical Geography, 32(5): 501-507(in Chinese with English abstract).
- SONG De-ren. 1990. A preliminary study on natural drinking mineral water of China[J]. Scientia Geographica Sinica, 10(4): 356-364, 388(in Chinese with English abstract).
- SU Chun-tian, YANG Yang, BA Jun-jie, LUO Fei, LI Xiao-pan, ZHAO Guang-shuai. 2020. Dynamic characteristics and genesis of strontium-rich groundwater in Xintian county, Hunan Province[J]. Carsologica Sinica, 39(1): 24-33(in Chinese with English abstract).
- SUN Zhi-jie, GAO Zong-jun, WANG Xin-feng, LIN Hai-bin, SONG Mian. 2018. Exploration of Mineral Water Outcropping Pattern in the Mountainous Area of South Jiangxi[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 565-572(in Chinese with English abstract).
- WANG Gui-ling, ZHANG Wei, LIANG Ji-yun, LIN Wen-jing, LIU Zhi-ming, WANG Wan-li. 2017. Evaluation of Geothermal Resources Potential in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(4): 449-459(in Chinese with English abstract).
- WANG Yu. 2002. Classification, features of karst water system and key point for the evaluation of karst water exploration in southwest China karst area[J]. Carsologica Sinica, 21(2): 114-119(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chun-cai, GUO Jia-xiang, TANG Hong-ming. 1988. Mineral Water Investigation Report in the Eastern Region of Yunnan Province[R]. Kunming: The First Hydrogeological Engineering Geology Brigade, Yunnan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- ZHAO Shuai-jun, HUANG Shu-chun, XIA You, LI Hai-bing, ZENG Yan-hua. 2017. Discussion of resource characteristics and genesis regularity of mineral water in respect to basic geology in Hunan Province[J]. Mineral Resources and Geology, 31(1): 187-193(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Chang-song, ZOU Sheng-zhang, ZHU Dan-ni, LIN Yong-sheng, WANG Jia, FAN Lian-jie, LI Jun, LAN Fu-ning, LI Yan-qing, DENG Ri-xin, MIU Xiong-yi. 2020. Characteristics, causes and development suggestions of high quality metasilicate groundwater in Zhaojue area, Sichuan Province[J]. Geology in China, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200414.1644.003.html>(in Chinese with English abstract).