

安宁温泉地热区地热地质特征分析与研究

杨金和¹, 高俊彩²

(1. 西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司, 云南 昆明 650051)

2. 云南省有色地质地球物理化学勘查院, 云南 昆明 650051)

摘要: 结合最新的研究资料, 系统阐述了安宁温泉地热区的形成条件和地热地质特征, 指出温泉地热区属对流传导型地热区, 分布范围局限, 中深部不具备形成类似昆明“层状”地热田的条件, 对温泉地热区的开发利用、开发研究具有一定的指导意义。

关键词: 安宁; 温泉; 地热特征; 热储层; 断裂带; 地热资源

中图分类号: TD12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2008)05-0001-06

Geothermal Geological Feature Analysis and Research of Anning Hot Spring

YANG Jin-he¹, GAO Jun-cai²

(1. Southwest Nonferrous Metals Kunming Geological Surveying and Designing (Institute) Inc. Kunming 650051, China)

2. Yunnan Nonferrous Geological Institute of Geophysical and Chemical Prospecting Kunming 650051, China)

Abstract Based on the latest information, the conditions for the formation and geothermal geological features of Anning hot spring are elaborated. It is then pointed out that Anning hot spring has features of convection-conduction and the scope of limitations. Its mid-deep part does not have a “layered” geothermal field conditions as that in Kunming. This research is significant to the development and utilization of Anning hot spring.

Key words Anning hot spring; geothermal features; geothermal reservoir; fault; geothermal resources

安宁温泉是云南省著名的旅游、疗养、风景名胜, 属典型断裂传导、对流型“热田”类型, 地热地质特征复杂。据调查统计, 2006 年的日开采利用量近 7 000 m³, 尚不能满足当前的旅游、疗养、洗浴文化的用水需求。近年来, 立足现有地热区内开展的深部找寻、探采工作, 均已失败告终。区内热水的无序开采, 冷、热水混采, 已造成“天下第一汤”水位持续降低, 部分热水井水温大幅降低, 热水分布范围萎缩, 实施水资源的整合管理已迫在眉睫。查清、研究温泉地热区的地热地质特征, 可为建立温泉地热水开采的管理模型, 提供科学理论基础, 为后续地热水的保护、利用、规划, 以及探寻深部热水指明方向。

1 安宁温泉区域地质背景

温泉地区长期处于川滇经向构造带与南岭纬向构造带的交汇地区, 历经多期构造运动, 多次海进、海退, 海岸线频繁变迁。温泉地区位于昆阳群大面积隆起形成的康滇古陆与昆明海槽接触地带, 受昆明海槽边缘形状多变的影响, 造成该区地层的岩性及出露、分布复杂多变, 区内地层出露齐全。元古界昆阳群美党组 (Pt_m) 及震旦系澄江组 (Zac)、陡山沱组 (Zbd) 和灯影组 (Zbdn), 组成了区内地层的基底。

温泉地区在区域上位于扬子准地台西部, 昆阳群组成断凹区基底, 安宁温泉位于南北与东西向构造交汇区。区内发育东西向的笔架山断裂及石甸断裂, 南北向螳螂川断裂对温泉地热区的形成起到了关键性的

收稿日期: 2008-05-18

第一作者简介: 杨金和 (1970-), 男, 研究生, 高级工程师, 主要研究方向: 水文地质与工程地质。

E-mail: 656726819@qq.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

控制作用(图 1). 螳螂川断裂走向近南北, 延伸约 7.0 km, 倾角较陡, 近直立, 总体倾向西, 局部东倾, 为西升东降的左旋逆断层, 断距大, 断面近水平擦痕极多, 断层带宽数米至数十米. 断裂切断了区内的笔架山断裂和石甸口断裂, 控制了断裂东西两侧的地层和较低序次的断裂, 受后期多次构造运动影响, 反复继承和复活, 具有多期活动及先压后张的特征, 深切基底, 成为地壳深部热源向上传递的通道, 是一条具继承性活动的晚近期导热断裂.

2 温泉地热区的形成条件^[1]

1) 据区域物探重力、

地震测深资料, 该区地球结构为双层结构壳型, 安宁以南一带地壳厚 48 km, 富民、禄劝一带以北地壳厚约 50 km, 由南向北逐渐增厚, 分为上地壳、下地壳两层, 厚度分别为 16~25 km, 21~25 km, 康德拉面附近可能存在低速带. 温泉热源主要来自于上地壳花岗岩壳层放射性元素的蜕变释热和上地壳下部低速层对热源的持续补充和传导.

2) 受螳螂川深大活动断裂的深切、传递, 沟通了深部的热源, 为温泉地热区的形成提供了运输通道, 为热源向上传递, 提供了首要的保障条件.

3) 高热导率结晶基底及碳酸盐深部水循环活动, 为深部热源的传导提供了载体.

4) 似热储层和似热储盖层的存在, 为温泉地热的形成、地热水的赋存提供了贮存和运移空间.

5) 热水的补给、深部径流、沿断裂排泄为温泉地热区的补充和对流提供了补充和更新的条件(图 2).

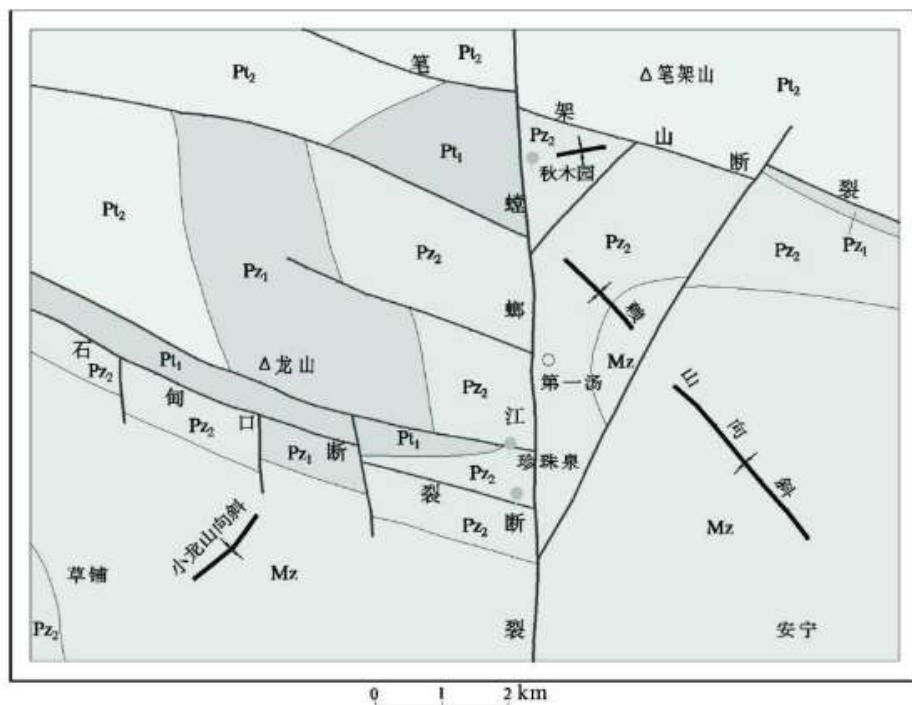


图 Mz 中生界 Pz2 上古生界 Pz1 震旦系及下古生界 Pt2 昆阳群 Pt1 昆阳群美党组
例 断裂 向斜轴 地层界线 温泉 冷水泉

图1 安宁温泉构造纲要图
Fig.1 Construction outline of Anning hot spring

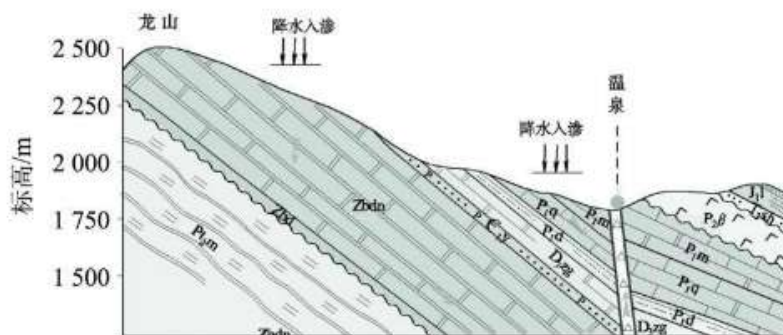


图2 水循环地质结构模式形成示意图
Fig.2 Water circulation patterns formed geological structure diagram

2 1 温泉地热区几何特征

2 1 1 平面特征

温泉地热区平面形状似“纺锤状”, 热田展布轮廓与螳螂川谷地轮廓基本一致, 东西宽约 200 m, 南北长约 700 m, 螳螂川断裂沿热田西部通过, 上盘是热水富集区, 水温相对较高、水量也较大, 西部由于有大面积的冷流体的存在, 虽距螳螂川断裂较近, 但热水的分布边界很窄, 热、冷流体分界线明显。

2 1 2 垂向特征

温泉地热区分布在南北走向的螳螂川两岸的谷地内, 垂向结构可分为 6 层: a 新生界松散堆积及中生界沉积碎屑岩和玄武岩构造层, 区内最上部的隔热隔水保温盖层。b 上古生界碳酸盐岩岩溶水强循环构造层, 地层岩溶发育, 联通性好, 地下水循环交替强烈, 为断裂带上升热水与浅部岩溶水进行混合、热交换的主要区段。c 上古生界以沉积碎屑岩为主的隔热隔水构造层。

d 上古生界碳酸盐岩岩溶水中等-弱循环构造层。e 下古生界以沉积碎屑岩为主的相对隔热隔水保温构造层, 含层状裂隙水, 富水性弱, 为相对隔水层和隔热层。f 震旦系碳酸盐岩岩溶水弱循环构造层, 由岩溶化的构造裂隙发育构成储水空间, 含中等岩溶化构造裂隙水, 是温泉地热区深循环水的主要对流区 (图 3)。

2 2 物理场特征

2 2 1 物性特征

据有关物探资料, 温泉地区的唯一高磁性体为玄武岩, 其强度一般为 450~550 nT, 局部高达 1 000 nT, 其他沉积岩类磁性较弱, 松散盖层虽有一定的强度, 但与玄武岩相比也只属中弱磁性层。经冷热水电阻率测试, 冷水电阻率一般大于 35 $\Omega\cdot\text{m}$, 热水电阻率随温度升高, 溶液粘滞性减少, 离子活动性增加, 迁移率增大, 致使电阻率减低, 一般小于 10 $\Omega\cdot\text{m}$ 。当地下热水受断裂控制时, 由于断裂本身结构性能差, 断裂带表现出的电阻率和密度与围岩相比有明显差异, 而且由于构造应力作用, 往往导致岩体退磁甚至出现反磁现象。

2 2 2 基岩底板特征

电测深资料反映, 该区基岩埋深浅, 一般在几米至十几米内变化, 基底在螳螂川东部变化稍缓, 呈微斜坡带, 西部变化稍复杂, 局部出现微凹区, 顺螳螂川出现南北走向狭窄小凹陷带, 中部沿螳螂川一带基底相对下凹, 往两侧缓慢抬起, 具“V”字型特点。区内螳螂川断裂陡倾, 为地下热水垂直向上排泄创造了有利条件, 高倾角裂隙的发育以及断裂带本身结构的不均匀的复杂性, 也表现在不同层位地下热水的侧向流动, 使在近地表或某一深度层位上水温有明显变化的特点, 尤其是盖层性质不同时此种特点愈显突出, 在区内不少井点水平距离仅相差几米, 而水温可相差几十度。另外, 在地下热水沿断裂带裂隙上升时, 遇第四系盖层, 因第四系孔隙水的水位相对较低, 多接受上升热水的缓慢补给, 造成近地表段温度迅速下降, 而在深部, 有随深度增加水温增高的现象。

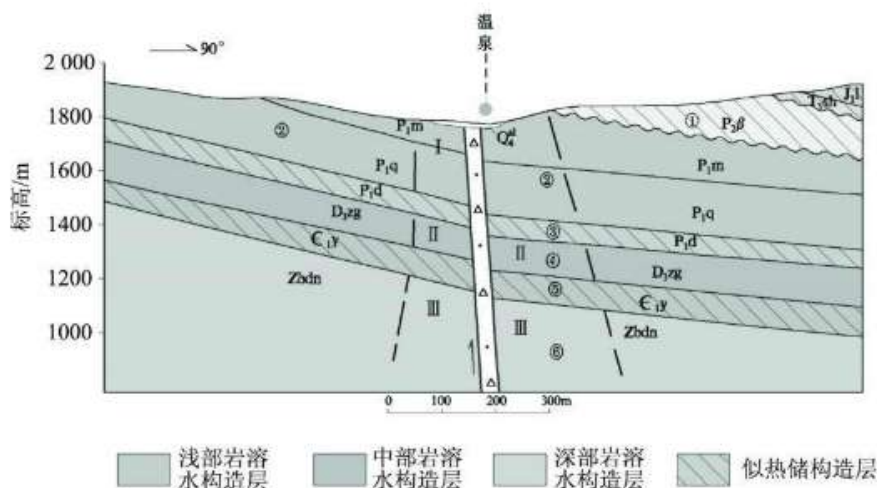


图3 安宁温泉地热区垂向多元结构模型示意图

Fig.3 Multiple vertical structure model diagram of Anning hot spring

2.3 水化学场特征

温泉地热区的地下热流体的水质类型为含溴、锂、锶的偏硅酸盐碳酸盐矿泉水类型, 平均总矿化度、总硬度、总碱度分别为 399.81 mg/L , 4.49 mol/L , 4.00 mmol/L 。水温与偏硅酸的含量为正相关关系; 从水化学成分的亲合性与相斥性分析, Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 及偏硅酸主要来自地壳深部, 而 Ca^{2+} 则主要来源于浅中部岩层通过岩溶化作用形成; 热水的形成与降雨补给关系密切, 从形成的地热地质环境分析, 常温水对地热区热水的驱动作用反映速度快, 交替活跃。

2.4 地温场及分区特征

2.4.1 平面展布特征

温泉地热区地热场等温线大体呈闭合状, 以“天下第一汤”为中心, 东西宽约 100 m , 南北长约 200 m , 为热田温度最高和变化较少的温度稳定区, 向四周则温度渐降, 北部 $100 \sim 50 \text{ m}$ 以外为冷流体分布区, 该区温度下降速度较快, 等温线密集, 向南等温线稀疏, 显示相对稳定, 温度变化正常, 在 500 m 范围内温度仅下降 $5 \sim 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 西侧由于冷流体的存在, 温度产生骤降。

2.4.2 垂向变化特征

温泉地热区地温场在垂向上的地温梯度为: 以天下第一汤为中心, 东西宽约 100 m , 南北长约 200 m 范围内, 地温梯度一般大于 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, 北部 $100 \sim 150 \text{ m}$ 以外, 地温梯度小于 $2.5 \sim 4.0 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$; 南部 $200 \sim 500 \text{ m}$ 范围内, 地温梯度为 $2.5 \sim 4.0 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, 西部地温梯度均小于 $2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ 。

2.4.3 温泉地温场分区特征

温泉地热区呈条带状分布, 展布严格受螳螂川断裂的控制, 可大致划分为 3 个区: I 区 ($37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上热流体分布区), 沿螳螂川南北向展布, 纵长约 550 m , 东西宽约 $50 \sim 85 \text{ m}$, 面积 0.05 km^2 , 受断裂西侧冷流体大量向东运移和补给, 迫使热流体向东迁移的影响, 该热流体分布区近似呈纺锤状, 中部略向西凸出; II 区 ($25 \sim 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上热流体分布区), 南北长 1125 m , 东西宽 $140 \sim 160 \text{ m}$, 面积 0.16 km^2 , 由于受侧向冷流体的补给影响, 热流分子运动相对复杂, 边界会随季节而变化; III 区 (推测 $25 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上热流体分布区), 位于 II 区东侧玄武岩分布区, 属 I 区、II 区的东移部分, 水力联系紧密, 加之上覆有峨眉山玄武岩盖层, 推测有热流体分布, 面积估计为 0.082 km^2 , 水温 $25 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.5 运动场及热流体运移特征

2.5.1 天然状态下温泉地热区流体运动场特征

在天然状态下, 温泉浅部热储流体运动场明显受到螳螂川断裂的影响, 流体仅在断裂东部运移和排泄, 而断裂西部只产生热水温度的对流和热传递活动, 断裂东边地带, 出露的温泉有“天下第一汤”、附一号泉、附二号泉和路边小井热泉, 沿断裂带在温泉大桥下螳螂川两岸均有热水溢出带, 它们以“天下第一汤”为中心向四周运动, 其中, 东部山地受高程限制, 也只能进行热水的温度传递, 其余地区均处于封闭状态, 运移活动不十分强烈或尚处于相对稳定状态, 按热水出露高度计算, 水力坡度值大于 0.03 (图 5)。

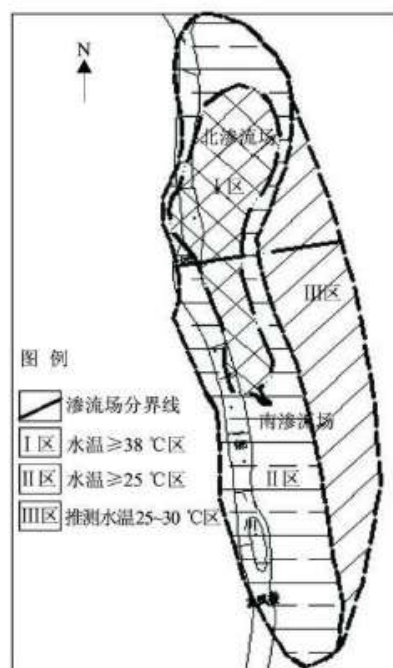


图4 安宁温泉地温场分区图

Fig.4 Geothermal field division of Anning hot spring

2.5.2 当前开采条件下温泉地热区流体运动场及热流体运移特征

当前开采条件下,温泉出露标高与各热水井孔的水位、水头高程,螳螂川断裂东侧的上盘地带,比断裂西侧的下盘地带要高,雨季略比枯季高(枯季 1820.12~1823.35 m,雨季 1820.31~1823.37 m),但变化小,充分反应了温泉地热区深水循环、水位动态稳定的特点。热源流体运动,首先是沿螳螂川断裂带进行垂直的上升运动,依次加热深部、中部、浅部构造层中的岩溶水,热流体到达浅部后,转而进行水平运移。

在北部和西部,热流体在运移过程中,由于受到冷流体的阻挡,热流体不能扩散,在距离较近范围内便变成冷流体,而在南部,由于断裂带热释放量减少,热流体向南也逐渐降低;热流体主要分布在螳螂川断裂以东,总体上以“天下第一汤”为中心,向四周运移,北部流体比南部流体活跃,北部以“天下第一汤”为中心向西运动,水头压差大,在南部以昆明市干部疗养院热水孔向西运动时,水头压差小;受浅部岩溶水含水层,岩溶发育的不均一影响,导致岩溶水的联通性差,短距离内的水井温度变化幅度大,无序的混乱开采,常造成局部地热环境的破坏,而且,不可逆性特征明显,地热

环境一旦遭受破坏,往往无法恢复;热流体运动严格受季节性变化的控制,整个渗流场流量动态显著,雨、枯季流量相差 2~3 倍;热流体水头高程远远高于螳螂川河水的高程,无法接受地表水体的补给,也无河水污染温泉地热水的可能。受螳螂川地表水有效阻止,河水位高时,热流体向河水的排泄量少,四周热流体水头也同时升高,反之,螳螂川水位降低时,四周热流体水头也同步降低,二者有正相关关系(图 6)。

3 温泉地热区中深部热储开发前景分析

综观温泉地热区的热储特征和形成条件,可认为温泉地热区属典型断裂带对流型地热区,其分布范围局限,地热系统地质环境脆弱。浅部热流体是深部岩溶水在螳螂川断裂沟通深部热源的前提下,深部热源进行热传导、热交换,在较高水头驱动下,沿导水裂隙并越过弱热传导的砂页岩顶板向上运移,与浅部岩溶常温水混合,构成的紧临断裂带、分布范围局限的带状热水区,其地质结构模型如图 7。

从地质结构模型分析,中部、深部岩溶含水层虽然上覆有一定厚度的渔户村组(E_{1y})及倒石头组(P_1d)的砂页岩、磷块岩等相对隔水隔热层,但厚度不大,而且该区段岩溶含水层广泛出露地表,常温岩溶水补给量大,径流途径短,水交替循环速度快,温泉地热区不具有类似昆明深埋藏层控地热田的普遍特征。

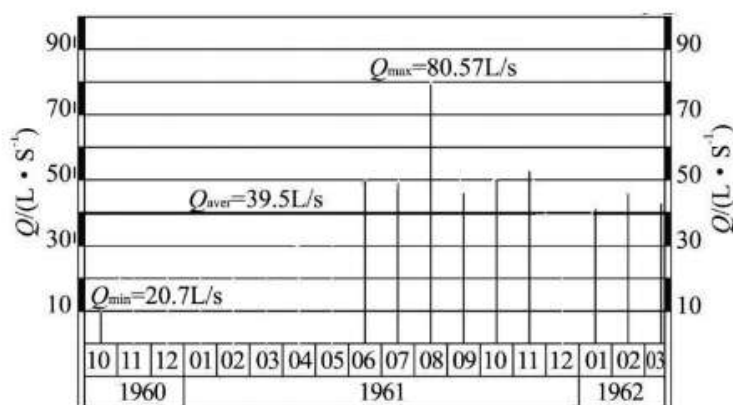


图5 天然状态下天下第一汤流量长观曲线图
Fig.5 Natural state of the first hot spring flow of long curves

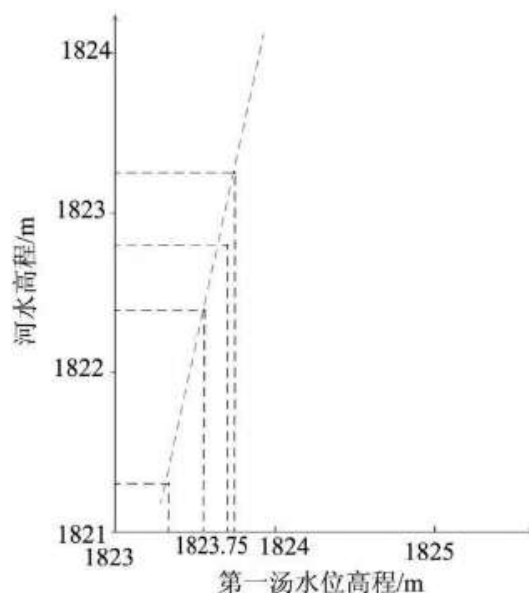


图6 螳螂川水位与天下第一汤水位高程关系
Fig.6 The relation curve of the first hot spring and Tang-Lang river

离开螳螂川断裂带后,一般不具备在深部或中部形成层状热储(地热田)的条件,即现有温泉地热区内,在深部震旦系(Zhdn)及中部泥盆系(D_3zg)中存在热储的可能性不大,基本不具备开发远景。

4 结 论

温泉地热区属典型断裂带对流型地热区,其分布范围局限,地热系统地质环境复杂而且脆弱,地热环境的破坏具有不可逆性,中深部热储存在的可能性小,当前开发利用已接近其允许开采量,基于多种历史原因,区内现有地热水的管理混乱,开采井群密集,开采时段集中,常造成大降深、低水位的掠夺性开采,局部地段已严重超采,造成热水分布范围萎缩,天下第一汤水位持续降低,制定切实可行的温泉地热水管理方案、工程实施方案,实施地热资源的整合、统一管理,科学、有序地开采地热水,提高地热水的综合利用效率,逐渐治理和修复地热水环境已成必然。另外,基于温泉地热区已不能增加开采井,从缓解地热水供需矛盾的角度出发,应在保护、利用好现有地热区前提下,积极开展深部热水的探寻工作,靶区可优选温泉南东部“红层”分布区,以利获取类似昆明地热田模式的“层状”热田。

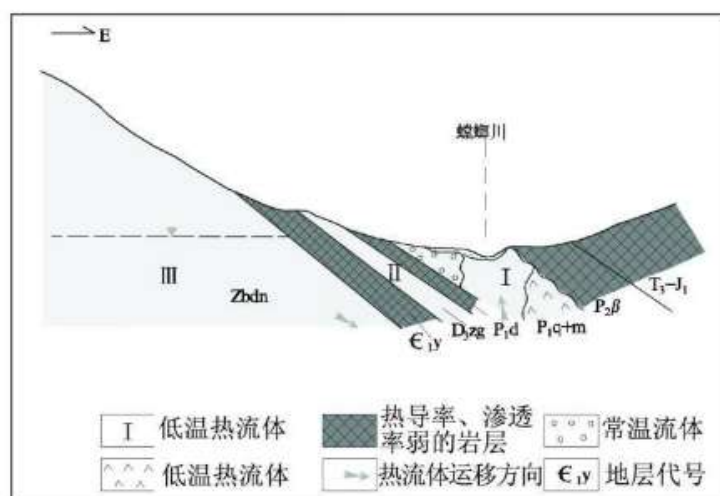


图7 安宁温泉地热区地质结构模型图

Fig.7 Geothermal geological structure model of Anning hot spring

参考文献:

- [1] 王宇. 断陷盆地岩溶水赋存规律[J]. 昆明: 云南科技出版社, 2003.
- [2] 王宇. 岩溶找水与开发技术研究[J]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [3] 刘朝荣, 杨金和, 杨艳. 安宁温泉旅游小镇水资源保护与开发利用规划报告[R]. 2007.
- [4] 吴庆尧. 安宁温泉地热田热水资源评价及对策研究报告[R]. 1992(内部).
- [5] 袁道先, 刘再华, 林玉石. 中国岩溶动力系统[M]. 北京: 地质出版社, 2002 1-2.
- [6] 丁继红, 周德亮, 马生忠. 国外地下水模拟软件的发展现状与趋势[J]. 勘察科学与技术, 2002(1): 37-42.
- [7] 王宇, 耿弘, 汪才芳. 云南岩溶地区水资源开发利用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [8] 国家技术监督局. 水文地质术语(GB/T14157-93)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [9] 邓德仁. 21世纪初期的云南水资源可持续利用行动框架[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003.