

浙江省中深层水热型地热资源分类分级

汪燕林¹, 张立勇², 柳永胜¹, 潘永坚², 陈俊兵^{1*}, 郑敏¹, 毛官辉², 吕清¹

1. 浙江省水文地质工程地质大队, 宁波 315012

2. 浙江省工程勘察设计院集团有限公司, 宁波 315012

摘要 根据浙江地热资源类型划分和天然温泉品质分级, 结合地热资源赋存的构造单元、热储性质以及控矿构造类型等因素, 将浙江地区的地热资源归类为3大类9个亚类。结合温度、资源规模、地热流体的质量、资源/储量的查明程度和降深等5个指标, 对天然温泉资源进行了分级评定, 将浙江省的温泉资源分为5个等级, 构建了一套符合浙江实际情况的地热资源分类分级体系。

关键词 中深层水热型; 地热资源; 天然温泉

根据赋存条件和开发利用技术形式, 地热资源可分为浅层地热能、中深层水热型/岩热型、深层地热资源(包括干热岩)。本文所述地热资源在无特殊说明时均指中深层水热型地热资源, 其具有“热、矿、水”三重属性, 既是绿色低碳的清洁能源, 也是重要的旅游康养资源, 并被作为五大“非碳基能源”之一, 纳入国家碳中和框架路线图。在“十二五”和“十三五”期间, 浙江新增地热允许开采量近360万 m^3/a , 合法采矿权人数19家, 以温泉康养为主要利用方式^[1]。地热资源查明储量规模(390.435万 m^3/a)、开发规模(仅占查明储量的49.56%)和利用形式(全为洗浴理疗)均与浙江经济发展对资源开发

的需求和要求不相匹配, 供需矛盾突出。

根据上述现状, 浙江地热的勘查开发亟待2方面的探索: 一是加快推进勘查“拓源”, 提升勘探成功率, 但浙江地热基础研究薄弱, 勘查风险很大, 需要一套符合浙江实际的成矿理论及系统的资源分类做支撑; 二是需完善开发管理机制, 结合浙江省资源禀赋的实际情况, 适当降低准入门槛, 引导市场充分利用资源, 同时加强过程监管, 鼓励高等级温泉的开发, 维护消费者和矿业权人的合法权益, 推动产业的高质量发展。本文在梳理浙江省地热地质条件的基础上, 提出了符合浙江实际的地热资源类型划分方案和地热(温泉)资源分级评定方案。

收稿日期: 2022-10-22 ; 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 中国科学院学部咨询评议项目(2020-DX03-B-007); 浙江省地质专项(2018010)

作者简介: 汪燕林, 高级工程师, 研究方向为自然资源管理, 电子信箱: 826176669@qq.com; 陈俊兵(通信作者), 高级工程师, 研究方向为地热地质、海洋地质, 电子信箱: chen3791@qq.com

引用格式: 汪燕林, 张立勇, 柳永胜, 等. 浙江省中深层水热型地热资源分类分级[J]. 科技导报, 2023, 41(12): 86-93; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.12.009

1 地热资源分类

1.1 浙江地热地质背景

浙江地处中国东部中生代重要的构造—岩浆活动带。以江山—绍兴拼合带为界,浙西北属扬子准地台,浙东南则属华南褶皱系。由于2大构造单元具有不同的地质演化史,因而它们在沉积建造、火山活动、变质作用、构造变动及成矿作用等方面具有明显的差异:浙东南发育元古宙中深变质岩、中生代火成岩及其构造—沉积盆地,具有“一老一新”地质构造特点,由于整体刚性较强,浙东以断块构造为特色;浙西北则以发育中新元古代浅变质岩、古生代沉积及醒目的印支期褶皱带为特征^[1-3]。

基于上述地质背景,浙江地热资源的赋存主要依靠构造活动在脆性地层和可溶性地层中形成的破碎空间。热储岩性浙西以古生界碳酸盐岩、砂岩和硅质岩类为主,浙东南则为大面积出露的火山岩类、花岗岩类。浙西的碳酸盐岩热储主要有2套,石炭—三叠系下统碳酸盐岩较震旦—寒武系的碳酸盐岩的岩溶发育程度强,但深部岩溶热储的发育

条件严苛,主要受断裂构造控制,沉积间断、盆地中的“洼中隆”和断阶是碳酸盐岩热储赋矿的有利控制条件^[1-2]。火山岩类、花岗岩类热储以断裂作用形成的裂隙破碎为主要控水条件。浙东的永康群、衢江群、天台群中的中基性火山熔岩夹层自身节理裂隙发育,可构成特殊的层状热储,但普遍埋藏较浅。砂岩、砂砾岩及硅质岩等其他岩类遍及新生代、中生代、古生代、元古代,除宁波长河凹陷沉积的古近系长河群热储依靠孔隙率、渗透率高的砂岩、砂砾岩层赋水,其他均依靠构造活动形成的孔隙裂隙含水层赋水^[4]。

以上浙江地区热储岩性的发育特征决定了浙江中深层水热型地热资源的主要控矿因素为区域断裂构造。全省各个方向断裂在一定条件下均可控矿^[1],但不同方向断裂带控矿的重要性是有差异的。北东向、北北东向延伸长度大、切割深度大,利于导热;受太平洋板块俯冲影响,浙江省新生代主要受北西向挤压应力场影响,北西向断裂整体呈张性,而近东西向断裂在晚近时期仍有活动,均有利于导水导热空间的形成,控矿优势明显。

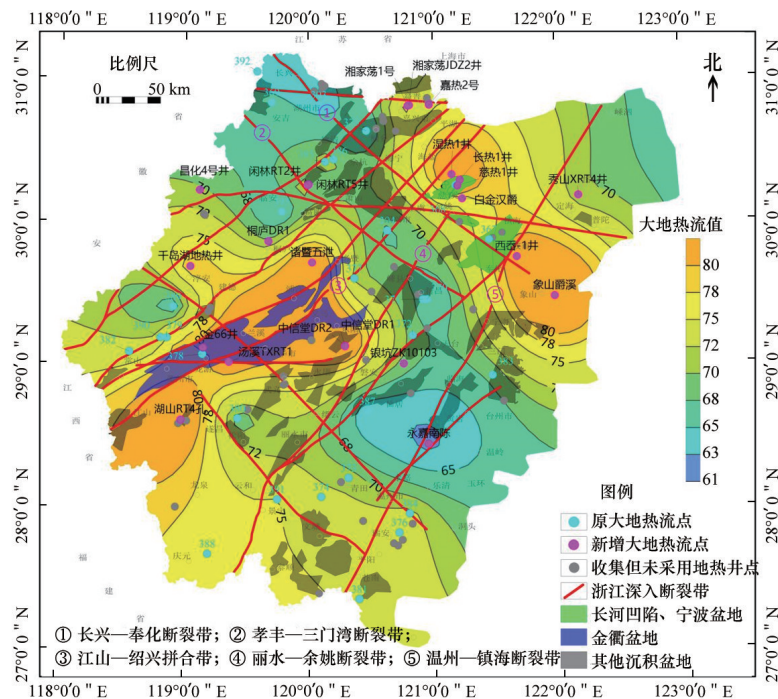


图1 浙江省地热地质简图

另外,在晚白垩纪时期的总体拉伸背景下形成了一系列不同方向的陆相断陷盆地。盆地的产生、演化则主要受较大规模区域性断裂的控制,因此,盆地对地热成矿的控制表现的较为明显,主要包括盆边断裂对地热的控制、盆内断裂系统形成的断块隆起对地热的控制。盆地断裂系统控制的地热矿中,与萤石伴生是一大特点,两者具有较为相似的成矿模式,萤石成矿时的断裂系统叠加后期构造活动影响,成为现代地热水赋存的空间^[4]。且从遂昌金矿及天台银坑铅锌矿区的地热异常现象分析,这种伴生关系可以推广到其他热液成矿矿床^[5]。

浙江无附加热源,地下水深循环是形成地下热水的主因,循环深度与温度成正相关^[1,6]。

1.2 地热资源类型划分

依据《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》中的分类相关术语释义,结合浙江省地热资源主要控矿因素,将浙江省地热资源分类原则梳理如下。

1) 根据《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》的地热勘查类型,划分为层状、带状及带状兼层状3种主要类型。

2) 综合考虑地热资源赋存的地质构造单元特征、热储岩性、控矿的主要构造类型,确定亚型。根据地热水资源赋存的地质构造单元特征,划分为构造隆起区、沉积盆地区2大类型;根据省内目前实际成功的地热井揭露的热储层岩性进行划分,主要分为碳酸盐岩类、花岗岩类、火山岩类和其他岩类4种类型,其中火山岩类和花岗岩类在成因、分布及赋水性上有很多相似性,合并为一类;根据与地热有关的主要构造活动,划分为构造裂隙型和火山构造裂隙型,构造裂隙型主要是指地热成矿与受区域断裂控制的裂隙系统、盆边断裂系统关系密切,火山构造裂隙型主要是指地热成矿与火山活动形成的环状裂隙、放射状裂隙系统关系密切。

3) 综合考虑地热资源赋存的地质构造单元特征、热储岩性、控矿的主要构造活动,确定亚型。

根据以上原则,将浙江地热资源分为3大类9亚类(表1)。同一地热井可能揭露2种或2种以上热储类型,称为复合型热储。不同热储类型的地热资源在赋存特征、主控因素、水化学特征以及有效的勘查技术方法上均有明显不同^[7-9]。

表1 浙江省主要地热资源类型

类型	亚型
层状	新生代沉积盆地碎屑岩类孔隙亚型(P_c)
	白垩纪沉积盆地盖层碎屑岩类夹玄武岩孔隙裂隙亚型(P_k)
带状	白垩纪沉积盆地火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型($P_{v+γ}$)
	白垩纪沉积盆地其他岩类构造裂隙亚型(P_s)
	构造隆起区火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型($L_{v+γ}$)
	构造隆起区其他岩类构造裂隙亚型(L_s)
带状兼层状	火山岩(花岗岩)类火山构造裂隙亚型($V_{v+γ}$)
	白垩纪沉积盆地基底碳酸盐岩岩溶裂隙亚型(P_c)
	构造隆起区碳酸盐岩岩溶裂隙亚型(L_c)

1.3 不同热储类型特征

1) 沉积盆地新生代碎屑岩类孔隙亚型。该类型是指新生代沉积盆地中,沉积年代比较晚,其成岩作用较弱,砂岩、砂砾岩的粒状碎屑格架间往往尚存原生的孔隙,为地下水的储存提供了空间,形成层状地热资源。长河凹陷是叠加在晚白垩纪断陷盆地之上的古近纪沉积凹陷(图2),是浙江唯一

的层状热田区。古近系长河群主要为一套砂泥岩互层结构,在长二段(Ech^2)和长一段(Ech^1)各存在一套渗透性较好的砂岩层,构成了长河凹陷地热田的主要热储层(图2)。长热1井井深1800 m,有7个含水层段,分别是945~995(I)、1224~1275(II)、1325~1466(III)、1514~1586(IV)、1612~1636(V)、1682~1700(VI)、1766~1800(VII),总厚度390 m。

其中I号、II号、III号含水层段为长河群二段至底部的砂岩、砾岩层,总厚度约242 m;IV号、V号、VI号和VII号含水层段则为上白垩统上段之砂岩层,总

厚度约148 m。该井控制的可采资源量为528 m³/d,井口水温53.1~53.9℃,为SO₄·Cl-Na型低温含溴、锂、氟、偏硼酸、偏硅酸的碘水。

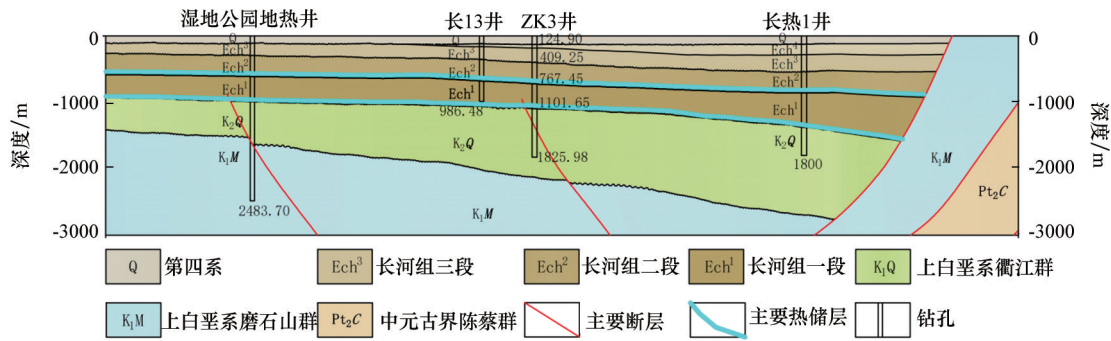


图2 慈溪长河凹陷地质构造略图及地质剖面示意

2) 白垩纪沉积盆地火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型。该类型是指位于白垩纪沉积盆地内,以盆地构造为主要控矿构造,揭露热储层岩性主要为火山岩类或花岗岩类的地热资源。该类型主要分布在江山—绍兴深大断裂与丽水—余姚大断裂之间的龙泉—宁波隆起带,与萤石矿关系密切,地热(温泉)点和地热异常点众多。以嵊州盆地为例,嵊州DR8井位于嵊州—新昌盆地北部边缘,受NE、NNE向控盆断裂控制。上覆新近纪(或古近纪末)玄武岩,200.6~213.8 m、338~354.8 m为白垩系高坞组凝灰岩(K_{1g})破碎带,为主要热储,探明的资源可开采量480 m³/d,水温29℃。其成矿模式见图3。

3) 构造隆起区火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型。该类型指仅有第四系覆盖,缺失白垩系盖层,主要揭露热储为火山岩或花岗岩类的地热资源,区域断裂构造为主要控矿构造。目前,浙江省内该种地热点或地热异常点主要分布在丽水—余姚断裂带及以东的温州—海隆起带,典型地热点包括泰顺、永嘉南陈、宁海深叻、瑞安HL2井、青田鹤溪、龙泉八都等。以瑞安湖岭HL2井为例,孔位周边分布大面积的燕山期花岗岩岩体,NE、NW走向断层在此交汇,并形成负地形。瑞安HL2井的主要控矿断裂为走向约300°的北西向断层,延伸大于2500 m。该井井深2300 m,全孔为燕山期钾长花岗岩。根据测井解译,自570 m至2300 m,有16段共计162.8 m的构造裂隙段,其中965~995 m、1065~1090 m、1365~1390 m、1915~1940 m、2140~2165 m这5段为主要出水层段。该井控制的可采资源量为1104 m³/d,降深213.74 m,井口水温48~52℃,为氟、偏硅酸水。其地热模式见图4。

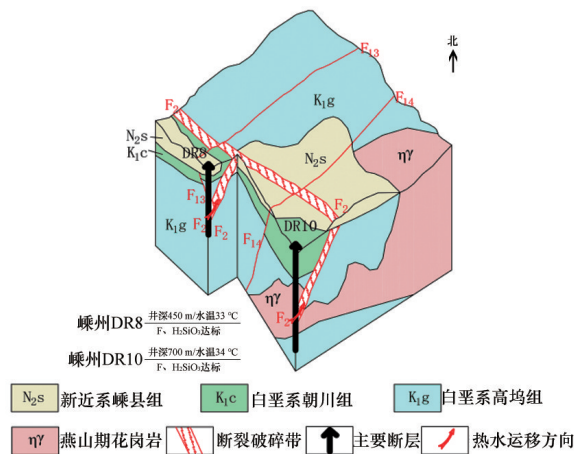


图3 嵊州崇仁氟水水库热储模式

4) 构造隆起区其他岩类构造裂隙亚型。该类型指缺失白垩系盖层,以砂岩、石英砂岩、硅质岩等脆性岩石类型为热储层的地热资源,区域断裂为主要控矿构造(图5)。目前主要揭露热储有志留—泥盆系砂岩、长坞组砂岩和震旦系硅质岩。较为典型的为嘉兴嘉善地区的地热井。嘉热4号井位于乌镇—嘉兴隆起的次一级构造单元—胥山凸起,井深

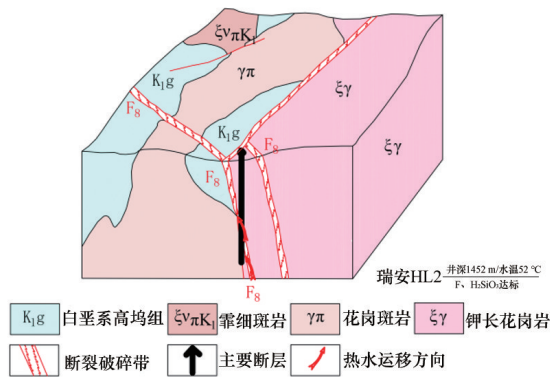


图4 瑞安HL2井地热模式

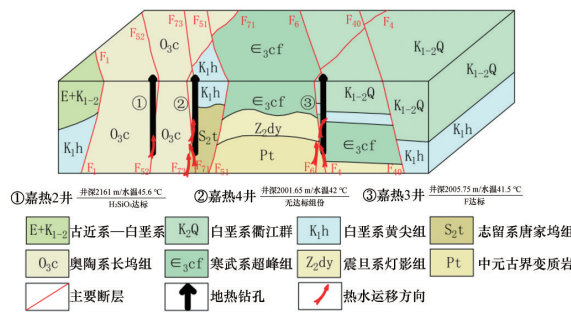


图5 嘉热2号、4号井地热模式

2001.65 m。井深 880~1020 m、1070~1280 m、1340~1415 m、1470~1790 m、1850~2000 m 5 个井段为主要出水段,岩性为志留系唐家坞(S₂t)的泥质砂岩以及石英砂岩地层,控制的可采资源量为 504 m³/d,井口水温 42℃。同区的嘉热2号井与其成矿模式类似。

5) 白垩纪沉积盆地基底碳酸盐岩岩溶裂隙亚型。该类型是指以石炭—二叠系和寒武—奥陶纪及震旦纪碳酸盐岩为热储层的地热资源(图6)。

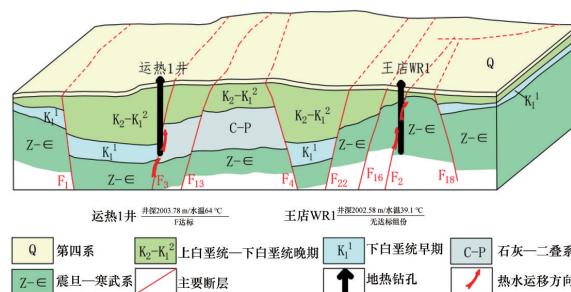


图6 运热1号及王店WR1井井地热地质模式

主要分布在白垩纪沉积盆地基底褶皱带内,湖州太湖南岸、嘉兴桐乡凹陷、王店凸起揭露的热储均属于该种类型。运热1号井位于桐乡凹陷的北部斜坡带内,桐乡凹陷白垩系之下直接发育石炭系碳酸盐岩,沿断裂带岩溶发育,是主要的热储层。运热1号井井深2003.78 m,其中1640~1910 m段发育较为密集的破碎带,为主要的灰岩含水层。该井探明的可采资源量2000 m³/d,水温64℃。

以上5类地热资源是目前省内最具潜力、勘探成功率最高、资源品质较好的地热类型,是浙江地热资源勘查的主要方向。构造隆起区碳酸盐岩岩溶裂隙亚型虽有一定的分布但属于裸露型岩溶热储,温度普遍偏低。其他3类地热资源以零星分布或与其他类型复合出现为主。

2 地热资源分级

2.1 分级指标选取

本次分级的统计样本选取了浙江成功出水的50眼地热井。收集了50处地热点水温、水量、降深、单位涌水量及水化学特征等方面的数据,进行统计,总结浙江省地热资源一般特征,作为资源分级的依据。选取的地热资源均为低温地热资源,降深大、单位涌水量小、资源规模大中小型各约占总量的1/3。地热流体大部分能达到理疗热矿水资源标准,但符合饮用天然矿泉水、生活饮用水、农业灌溉及渔业用水标准的资源极少。目前,省内地热资源均用于温泉洗浴理疗开发利用^[1-10]。

根据以上基本特点,选择了温度、资源规模(日开采量)、资源/储量查明程度和地热流体质量4个指标作为分级的主要指标。水温、水量、质量是地热资源的主要属性,按地热水温度进行分级,决定了地热水的可开发利用方向,同时是地热资源能源属性的体现;水量属性上,按资源日可开采量进行分级;地热流体质量,由于浙江省地热资源大部分能达到理疗热矿水资源标准,而达到其他用水标准的极少,且开发利用也全部是洗浴理疗,因此,地热流体质量分级主要是针对理疗热矿水分级;另外,考虑到浙江省地热资源普遍降深大、单位涌水量

小,从实际情况看,这些井也能达到动态平衡,具备开发利用价值,但为确保可持续开发利用,增加可开采量计算的统一降深要求,以加强资源保护。

2.2 地热资源分级

1) 温度分级。

浙江省目前温泉或地热井的温度在 25~64℃,其中大于 60℃的仅 3 处,占比 6%,主要与深部补给热水温度(循环深度)与浅部冷水混入比例有关。根据《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》、《GB/T 13727—2016 天然矿泉水资源地质勘查规范》和《GB/T 35555—2017 温泉服务基本规范》,选取 25℃、36℃、45℃、60℃、90℃ 5 个界限值。25℃、60℃和 90℃是《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》规定的温度界限值,温度越高,资源的梯级利用价值越高;36℃已列入《GB/T 13727—2016 天然矿泉水资源地质勘探规范》规定的理疗矿泉水的一项命名指标;45℃是依据《GB/T 35555—2017 温泉服务基本规范》中规定温泉池水温宜保持在 34~42℃,考虑到温泉水从井口到水池的自然降温,36~45℃区间的地热资源无需加热或降温,具有较好的经济环境效益。

2) 可开采量分级。

可开采量的分级原则是保证资源应用尽用,同时鼓励高等级温泉开发。根据《关于调整部分矿种矿山生产建设规模标准的通知》(国土资发[2004]208 号),10 万 m³/a(按 250 d 计,折合 200 m³/d)为中型矿山生产建设规模和小型的界限。

浙江为地热资源小省,供需矛盾一直存在,因此,地热资源单井最小规模年开采量可以适当降低。本研究共收集可开采量数据 50 个,单井可开采量为 80~2300 m³/d,单井年开采量≥5 万 m³(按 250 d 计,折合 200 m³/d)的地热资源占总资源量的 90%(图 7)。为保证产业发展需求,实现良好的经济效益,同时实现资源的充分利用,确定低级别温泉不限定可开采量,做到应采尽采,较高级别单井最小可开采量为 200 m³/d,较高级别多井最小可开采量为 300 m³/d。级别越高,可开采量标准越高。

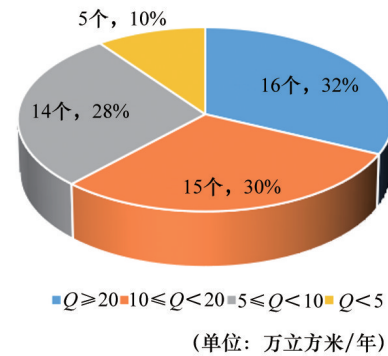


图7 浙江省地热资源可开采量统计

为了加强对温泉资源的保护,要求可采资源量必须为探明的可开采量,即必须完成一个水文年的动态监测。同时,参照《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》增加降深指标,所有可开采量的统一按 50 m 降深换算,以此实现资源开发、利用、保护的三效统一。

3) 地热流体质量分级。

地热流体质量分级以《GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范》中理疗热矿水水质标准的达标成份为主要质量指标;根据《GB/T 13727—2016 天然矿泉水资源地质勘探规范》规定,温度≥36℃也可作为理疗热矿水的一项指标,可命名为温矿水,本研究也将其纳入一项质量指标。本研究以地热水达到“命名矿水浓度”的质量指标的个数作为主要的分级依据,确定浙江省天然温泉资源水质分级的标准。另外,根据浙江地热资源水质特征,将地热水 3 项及以上组分含量达到“有医疗价值浓度”作为一项达标。据此,将浙江地热资源的流体质量分为四级(表 2),达到最低级别(I 级)可参与评价的地热井占 94%(图 8)。

表2 地热流体质量分级

分级	质量
I 级	仅达有医疗价值浓度
II 级	仅 1 项达命名矿水浓度
III 级	仅 2 项达命名矿水浓度
IV 级	3 项及以上达命名矿水浓度

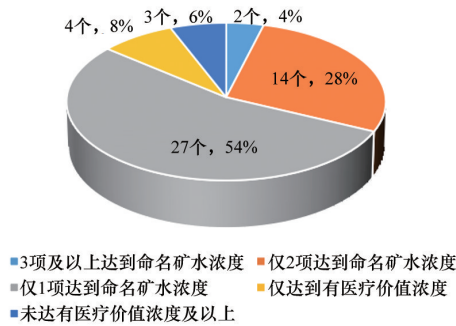


图8 浙江省地热流体质量分级统计

4) 地热资源综合分级。

基于统一的开采量折算标准即 50 m 降深的出水量的前提下,选取温度、质量、可开采量进行地热资源综合分级。

选取 25℃、36℃、45℃、60℃、90℃ 5 个界限值,温度越高,资源的梯级利用价值越高。选取理疗热矿水命名指标标准作为界限,地热流体中至少一项指标达到理疗热矿水命名矿水浓度标准或前述的等同标准,项数越多,资源品质越好。可开采量的选择既要保证资源形成一定规模,实现良好的经济效益,同时又要符合浙江实际情况,保证资源的充分开发利用,本研究选取 200 m³/d 为 AAA 级以上单井准入门槛。资源储量的可靠程度达到探明的地热资源/储量(不少于 1 年的动态监测)才可参与分级评定。

综合以上分级条件,将浙江天然温泉资源综合分为 5 个等级,由高到低依次为 AAAAA、AAAA、AAA、AA、A 级(表 3)。

表3 天然温泉资源综合分级

分级	温度(<i>t</i>)界限/°C	质量	可开采量/(万 m ³ /a)	
			单井(泉)	多井
A	≥36	—	—	—
	25≤ <i>t</i> <36	至少1项达标	—	—
AA	36≤ <i>t</i> <45	1项达标	—	—
AAA	36≤ <i>t</i> <45	至少2项达标	—	—
	45≤ <i>t</i> <60	1项达标	≥200	≥300
AAAA	45≤ <i>t</i> <60	2项达标	—	—
	60≤ <i>t</i> <90	1项达标	—	—
AAAAA	45≤ <i>t</i> <60	至少3项达标	≥300	≥500
	60≤ <i>t</i> <90	至少2项达标	—	—

注:①温度界限:地热流体在井(泉)口的温度;②温度、质量、可开采量须同时满足才能命名;多井(泉群)开采时,以最低资源级别命名。

3 结论

1) 根据浙江地质背景和已知的地热点地热地质条件,将地热资源类型分为 3 大类型和 9 个亚型。其中,新生代沉积盆地碎屑岩类孔隙亚型、白垩纪沉积盆地火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型、构造隆起区火山岩(花岗岩)类构造裂隙亚型、构造隆起区其他岩类构造裂隙亚型、白垩纪沉积盆地基底碳酸盐岩岩溶裂隙亚型为浙江省最主要的 5 类地热资源。以该分类为依据,利于不同热储类型成矿规律总结、勘查方法的完善,并降低地热勘查风险。

2) 地热资源分级包括温度分级、可开采量分

级和地热流体质量分级。以 25℃、36℃、45℃、60℃、90℃ 5 个界限值,浙江省地热资源温度分为五级;以 200 m³/d 和 300 m³/d 2 个界限,将单井可开采量分为 3 个级别;以《GB/T11615—2010 地热资源地质勘查规范》中理疗热矿水命名矿水浓度为基准,增加“温度≥36℃”和“3 项及以上组分含量达到有医疗价值浓度”作为衡量流体质量是否达标的标准。

3) 地热资源综合分级选取温度、质量、可开采量 3 项指标,最终确定地热资源分为 A、AA、AAA、AAAA、AAAAA 5 个等级。达到 A 级以上标准,且依法取得采矿许可证的,方可命名为温泉。该标准

是“对矿产资源实行精细化管理”理念的体现,对进一步规范全省温泉资源开发利用,维护消费者和矿业权人的合法权益,提高公众对温泉的认知度起到了巨大的推动作用,对全国的温泉资源开发管理起到示范作用。

参考文献(References)

- [1] 叶兴永, 陈俊兵. 浙江地热[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2021.
- [2] 韦毅, 毛官辉, 吕清, 等. 浙江省水热型地热资源特征及赋存规律[J]. 上海国土资源, 2022(2): 93-98.
- [3] 张萌, 杨豪, 彭振宇, 等. 浙江省区域地质背景及地热资源赋存特征[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(19): 30-36.
- [4] 吕清, 毛官辉, 王小龙. 浙江省湍口盆地地热资源水文地球化学特征[J]. 绍兴文理学院学报, 2017, 37(7): 12-20.
- [5] 朱梅湘. 地热系统的成岩成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1993(4): 49-52.
- [6] 汪集暘, 熊亮萍, 庞忠和. 中低温对流型地热系统[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 庞忠和, 罗雯, 程远志, 等. 中国深层地热能开采的地质条件评价[J]. 地学前缘, 2020, 27(1): 134-151.
- [8] Pang Z H, Luo W, Cheng Y Z, et al. Evaluation of geological conditions of deep geothermal energy mining in China [J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(1): 134-151.
- [9] 黄尚瑶, 王钧, 汪集暘. 关于地热带分类及地热田模型[J]. 水文地质工程地质, 1983(5): 5-11.
- [10] 张英, 冯建赟, 何治亮, 等. 地热系统类型划分与主控因素分析[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 196-204.
- [11] 林清龙, 林楠, 马宏杰, 等. 不同赋存环境下浙江省热水水文地球化学特征[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(25): 1-6.
- [12] 赵慈平. 我国火山地热流体地球化学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2011(4): 32-39.
- [13] 王东升, 王经兰. 中国地下热水的基本类型和成因特征[J]. 第四纪研究, 1996(2): 139-146.

Classification of medium-deep hydrothermal geothermal resources in Zhejiang Province

WANG Yanlin¹, ZHANG Liyong², LIU Yongsheng¹, PAN Yongjian², CHEN Junbing^{1*}, ZHENG Min¹, MAO Guanhui², LV Qing¹

1. Zhejiang Hydrogeological Engineering Geological Brigade, Ningbo 315012, China

2. Zhejiang Engineering Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Ningbo 315012, China

Abstract In Zhejiang Province, the development and utilization of deep hot-water type geothermal resources is mainly based on hot springs and has strong social needs. However, due to the late start of the project, there is a lack of systematic study in exploration and thus the exploration success rate is relatively low. In addition, due to the low market awareness, there are also “second-time filling” phenomena in the development of hot springs. This paper begins with the type division of geothermal resources in Zhejiang Province and the quality classification of natural hot springs, considering the structural units of geothermal resources, thermal storage properties and resources-controlling structure types, and divides the geothermal resources of Zhejiang Province into three categories and nine subcategories. In addition, combining five indicators such as temperature, resource scale, quality of geothermal fluid, degree of reserve confirmation and deepening, the natural hot spring resources are classified and graded, and the hot spring resources of the province are divided into five grades. Finally, a classification and rating system that meets the actual situation of Zhejiang Province is constructed, and typical cases are analyzed, which provides scientific reference for the exploration and development and utilization of geothermal resources.

Keywords medium deep hot-water type; geothermal resources; natural hot springs ●



(责任编辑 祝叶华)