

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.02.09

引用格式: 陈学锋,魏永霞,李永军. 皖江经济带地热资源调查与开发利用[J]. 中国地质调查,2018,5(2):57-63.

皖江经济带地热资源调查与开发利用

陈学锋¹, 魏永霞¹, 李永军²

(1. 安徽省地质环境监测总站, 合肥 230001; 2. 安徽地矿投资集团有限公司, 合肥 230001)

摘要: 地热资源调查是皖江经济带地质调查的重要工作之一,是调整能源结构,构建环境友好型社会的要求。基于皖江经济带以往地热资源调查评价成果,阐述研究区地热资源的分布特点、形成机理、种类及资源总量,分析总结研究区目前地热资源开发利用现状及存在问题;皖江经济带地热资源虽然丰富,但仅有部分水热型地热资源开发利用程度高,且资源利用效率较低;水热型地热资源以温热水、温水为主,总体品位不高;浅层地热能资源总量丰富,分布广泛,开发利用技术成熟,适宜大力开发利用,但大部分未开展调查评价工作。建议采取梯级或循环利用措施提高利用效率,综合开发利用地热资源;突破现有模式,寻找高品位地热资源;开展县级浅层地热能调查评价工作;建设地热资源开发利用监管平台。

关键词: 地热资源; 调查; 开发利用; 皖江经济带

中图分类号: P314.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-8706(2018)02-0057-07

0 引言

地热能是一种绿色低碳、可循环利用的可再生能源,是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源。加快开发利用地热能对调整能源结构、节能减排和改善环境具有重要意义^[1]。我国利用地热已有2 000多年的历史,开发利用方式有发电、供暖、医疗、洗浴和养殖等^[2],随着国家大力提倡因地制宜地开发和推广使用地热能,各地掀起寻找地热的高潮。2017年1月,国家发布了《地热能开发利用“十三五”规划》,强调地热开发市场潜力巨大,发展前景广阔。加快推进皖江经济带地热资源调查是皖江经济带综合地质调查重要工作之一,是建设皖江经济带环境友好型、资源节约型社会的要求。本文基于以往皖江经济带地热资源调查评价结果,对研究区的地热分布特点、形成机理、种类和资源量等方面进行了研究,为下一步地热资源开发利用提供支撑和建议。

1 研究区概况

皖江经济带行政区划包括合肥、芜湖、马鞍山、

铜陵、安庆、池州、滁州及宣城8市和六安市金安区、舒城县,共59个县(市、区),区域面积7.58万km²(图1)。

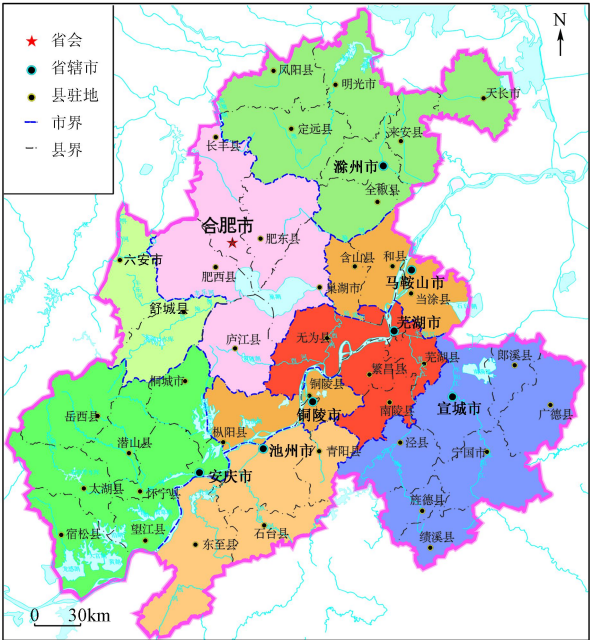


图1 皖江经济带行政区划

Fig.1 Administrative division of Wanjiang Economic Belt

区内地热资源包括水热型地热、浅层地热能 and 干热岩 3 种类型,前 2 种地热资源的调查、勘查评价已开展多年,取得了较为丰硕的成果,干热岩地热资源调查近年来也逐步开展,但相关成果尚未提交。

1.1 水热型地热

皖江经济带内各市均开展了不同精度的水热型地热调查评价工作。

已完成的区域调查有 3 次。1995 年安徽省地质环境监测总站开展的安徽省地热温泉开发利用现状调查工作,基本掌握了深层地热资源分布和开发利用程度;2006 年安徽省地质勘查局第二水文工程地质勘查院开展的全省地热资源调查与远景区划工作,基本查明了地热井、泉分布及开发利用状况,初步评价了深层地热资源及其开发适宜性,初步圈定了大地热流值异常区范围;2007 年安徽省地质调查院开展的安徽省地热资源调查与区划工作,进行地热资源勘查与开发利用区划,提出地热资源可持续开发利用和保护建议。

2014 年安徽省地勘局第一水文工程地质勘查院开展的安徽省大地热流基础数据测量项目正在进行。2015—2016 年开展的有皖江经济带地热资源调查评价、郟庐断裂带(安徽段)周边盆地能源资源调查评价、牯牛降南部地区地热资源调查评价、合肥三河地区地热资源调查评价,尚未形成最终成果。

区内开展专项性深层地热调查(勘查)工作有 60 余项,主要集中在肥东、巢湖半汤、舒城西汤池、庐江东汤池、含山县昭关、岳西汤池畈、太湖县汤水湾等地区,调查精度多已达到详查阶段。其中 2015 和 2016 年开展的有太湖县重点地区地热资源调查评价、岳西县溪沸地热资源预可行性勘查和巢湖市半汤温泉外围地热资源预可行性勘查。

1.2 浅层地热能

区域浅层地热能调查评价工作主要集中在地市级城市建成区及远景规划区,场地浅层地热能勘查工作虽然较多,但大部分仅进行了简单的现场测试工作,未进行对应的场地浅层地热能评价。

区域浅层地热能调查工作包括 2009 年安徽省

浅层地热能调查评价项目^[3-4]和 2011 年合肥市浅层地热能调查评价、2014 年的安徽省主要城市浅层地热能开发区 1:5 万水文地质调查等,基本查明浅层地热能的分布特点和赋存条件,评价浅层地热资源量及开发利用潜力,进行浅层地热能开发利用适宜性区划。

场地浅层地热能勘查项目有合肥市南屏家园浅层地热能勘查试点和阜阳市国土资源局综合楼场地浅层地热能勘查示范等。

1.3 干热岩

皖江经济带干热岩地热资源调查工作尚处于起步阶段。2015 年立项开展的安徽干热岩地热资源调查工作正在进行。由于干热岩地热资源调查工作刚开始部署,未形成相关成果,后续部分就不再叙述干热岩对应的内容。

2 主要成果

2.1 水热型地热

根据地热显示形式、赋存的地质环境及水热交替条件,可将水热型地热资源划分为沉积盆地和隆起山地 2 种类型^[5]。皖江经济带盆地中一般存在白垩系至第三系巨厚沉积盖层,对下部热源起到隔热保温作用,是寻找层状热储的目标区;盆地边缘的隆起地带,深部地热资源易沿拉张构造形成的通道上涌,形成埋藏较浅的热储层,该地带可寻找层状兼带状热储层;隆起山地的深大断裂沟通深部热源,在次级断裂的阻挡、引导作用下,将地热储存于浅部或直接出露于地表^[6],隆起山地是寻找带状热储的主要区域。

皖江经济带水热型地热资源丰富,以带状热储为主,主要分布在沿江以北的巢湖—含山—和县一带、大别山北部的金寨—霍山—舒城一带,现开发利用的地热资源 17 处,埋深一般在 50 ~ 200 m,温度在 30 ~ 66 °C,大多为温热水、温水,适用于烘干、采暖、医疗、洗浴、温室和养殖等,开采的社会经济价值较高。探明可开采量约为 $216 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,相当于地热能开采量 $423.5 \times 10^{13} \text{ J/a}$,折算标准煤约为 14.45 万 t/a(图 2,表 1)。

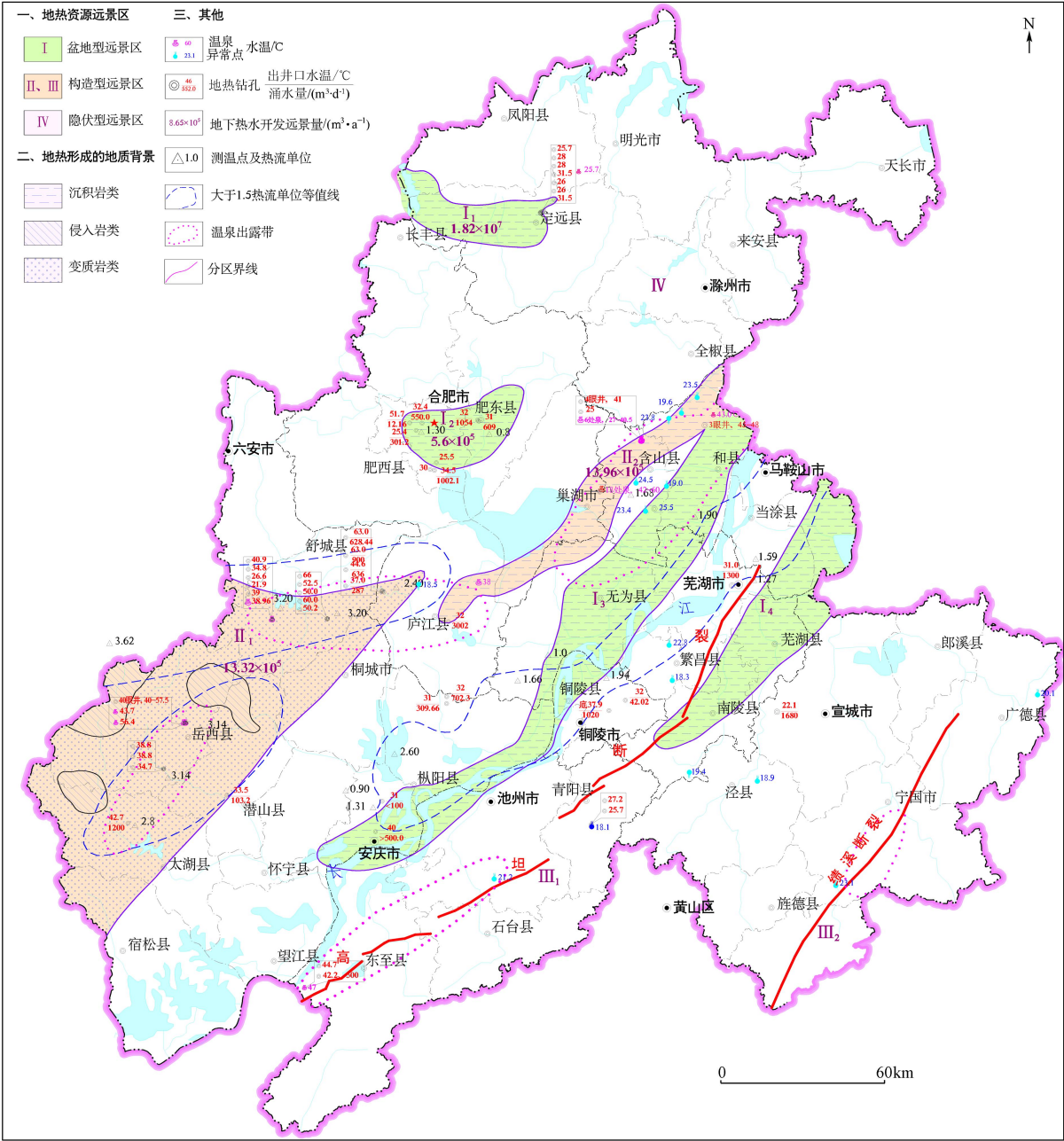


图 2 皖江经济带地热资源分布
Fig. 2 Distribution of geothermal resources in Wanjiang Economic Belt

表 1 皖江经济带构造单元划分

Tab. 1 Structural unit division of Wanjiang Ecomornic Belt

构造单元	分区名称及代号	区划说明
拗(断)陷盆地(I)	定远断陷盆地 I ₁	位于五一合断裂以西,呈近 EW 向展布,面积约为 900 km ² ; 验证钻孔单位涌水量 1.0L/(s·m), 流体出井口水温 31℃, 预测可达 70℃, 水化学类型 HCO ₃ -Ca·Mg; 估算的 70℃ 地下水热贮存量约 1.215×10 ¹⁰ m ³ , 可开采量约 1.82×10 ⁷ m ³ , 相当于地热能 3.95×10 ¹⁵ J/a, 现企业开发。未来可供远景开发的 70℃ 地下水热约为 1.82×10 ⁷ m ³ /a, 勘查类型为层状兼带状; 勘查开发深度 <1 200 m, 流体中“氦”含量高
	合肥—肥东断陷盆地 I ₂	自合肥市大蜀山往东至肥东县梁园, 呈近 EW 向展布, 面积约 804 km ² , 其中验证钻孔单位涌水量 0.08~0.45 L/(s·m), 流体最高出井口水温 36.0℃, 预测热储温度 50~70℃, 水化学类型 SO ₄ -HCO ₃ -Na; 推测在盆地内 2 000 m 深度以浅, 能获得 50℃ 地下水热贮存量约 1.12×10 ⁹ m ³ , 可开采量 5.6×10 ⁹ m ³ /a, 勘查类型为带状或带状兼层状, 勘查深度 2 000 m 左右

(续表)

构造单元	分区名称及代号	区划说明
拗(断)陷盆地(I)	沿江断陷盆地 I ₃	沿江呈窄条状分布,推测基底岩层为 P ₂ —J,安庆市北郊、含山县陶厂等盆地边缘的钻孔中,白垩系砂岩的盖层之下见到三叠系灰岩,并有地热显示,根据井内测温资料,盖层的平均地温梯度>3.0℃/100 m,预测这些钻孔在 1 000 m 尝试以浅,能获得 40℃ 以上的地热流体;另外,厂史也曾记载盆地中的枞阳县汤沟和无为县汤沟有地热显示(现无踪迹),推测沿江断陷盆地是勘查地热资源远景区,勘查类型可能为层状兼带状;望江一带,盖层厚度>2 000 m,暂不列为远景区
	南(陵)—黄(池)断陷盆地 I ₄	走向 NE,为一个封闭较好的小型盆地,盆地范围北侧以清水镇断裂为界,南东侧边缘止于南陵湾址;盖层为 E—K 的砂岩及粉砂岩,基底为下三叠统碳酸盐岩,埋深 2 000 m 左右;据 1986 年地质矿产部《下扬子地区构造航磁结果报告》中,1 000 m 深度地温等值线图标示,盆地在 60℃ 等值线范围内,地温梯度级为 2.0~3.0℃/100 m;推测引盆地未来可能成为地热资源勘查开发的远景区,勘查类型为层状兼带状
断块隆起带(II)	大别山断块隆起带 II ₁	南东侧以池—太断裂为界,北西侧止于金寨深断裂,往东至庐江东汤池,其中有 7 处地热显示,流体最高温度 66℃,水化学类型 SO ₄ —Na,探明和估算地热流体可开采量约为 13.32×10 ⁵ m ³ /a,相当于地热能 19.94×10 ¹³ J/a; 勘查类型为带状
	巢湖穹断褶皱带 II ₂	西端始于庐江县东馆山,往东经巢湖、含山至和县香泉,总体走向 NE,带内见有 4 处地热显示,流体最高温度 60℃,水化学类型主要为 SO ₄ —Ca·Mg,探明和估算的地热流体开采量约为 13.96×10 ⁵ m ³ /a,相当于地热能 15.52×10 ¹³ J/a; 勘查类型为带状
江南台隆深大断裂带(III)	高坦断裂 III ₁	江南台隆位于皖南山区,构造上受弱东向高坦断裂和近 EW 向周王断裂控制,现有 1 处地热显示,位于高坦断裂中,流体最高温度 47℃,水化学类型 HCO ₃ —Ca·Na,探明和估算的地热流体开采量 1.31×10 ⁵ m ³ /a,相当于地热能约 1.48×10 ¹³ J/a,已开发利用,勘查类型为带状;另外, NNE 向绩溪断裂见低温泉出露,可能存在勘查开发的远景
	绩溪断裂 III ₂	
地热隐伏区(IV)		该区热储主要为隐伏的碳酸盐岩裂隙含水岩组构成,上覆由新生代松散岩类、新生代—中生代红层、中生代二叠系—三叠系碎屑岩类构成单层或多层热储盖层,目前已在滁州市琅琊山等钻孔揭露隐伏热储,井口水温可达 45℃ 以上,具有一定的开发远景

2.1.1 沉积盆地型

定远盆地、肥东盆地和宣广盆地等中生代断(拗)陷盆地发育层状和带状热储,上部被巨厚不透水的盖层覆盖。热储层产状平缓,地下热水主要处

于古近系和白垩系砂岩、砂砾岩的孔隙、构造裂隙或隐伏寒武系灰岩的岩溶裂隙中,由于大部分补给条件差,几乎处于封闭状态,优质地热资源一般与断裂构造关系密切,热储形态兼具带状特征(图 3)。

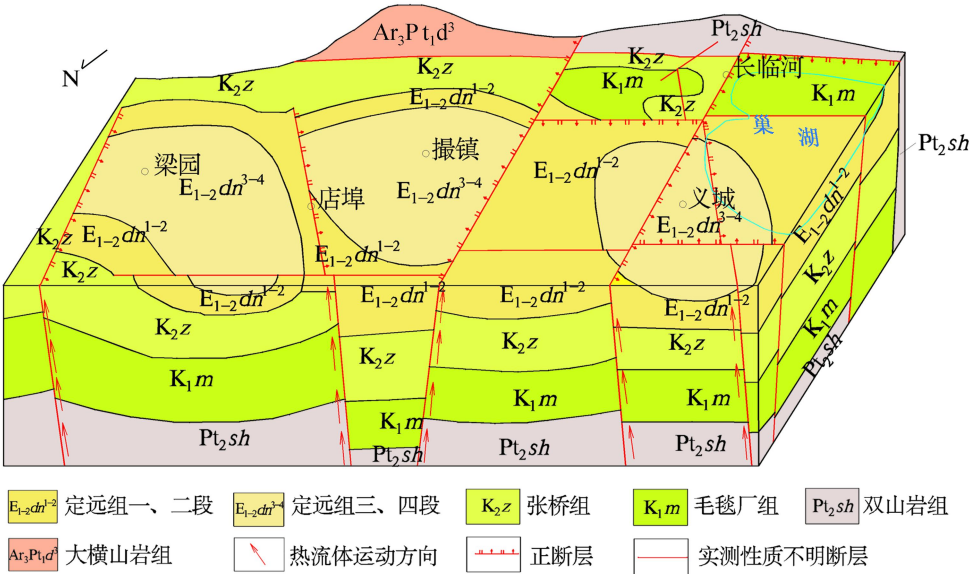


图 3 断(拗)陷盆地沉积型热储概念模型

Fig. 3 Conceptual model of sedimentary type geothermal reservoirs in faulted (depression) basin

沉积盆地型地热主要以钻孔形式揭露,地热井约 28 处。其中定远盆地 8 处、肥东盆地 7 处,热储

以层状兼带状形式分布;合肥断陷盆地西南部地热井 4 处,热储以带状形式分布;沿江断陷盆地地

热井 5 处,热储以层状兼带状形式分布;宣广断陷盆地地热井 4 处,热储以层状兼带状形式分布。地热流体温度相对较低,一般在 25 ~ 35 ℃ 之间,个别点达到 50 ℃,主要赋存在古近系—白垩系红层中,流量变化较大,几十至上千立方米不等。

2016 年完成的合肥市滨湖新区东部地热资源预可行性勘查项目,施工 1 504.1 m 地热井,地下水赋存于 350 ~ 450 m 古近系梁园组热储中,井口出水温度约 30 ℃,水量约 935 m³/d,提交地热矿产地 1 处。

2.1.2 隆起山地型

隆起山地型地热受断裂控制形成,主要以温泉的形式出露。均属于低温地热资源,以温热水、温水为主,热水 2 处。大气降水入渗后历经深部循环被加热,沿断裂带以上升泉溢出(图 4)。大别山区地下水出露于岩浆岩、变质岩区,皖南山区地下水出露于岩浆岩区或岩浆岩与碳酸盐岩的接触带,沿江地区地下水出露于碳酸盐岩和岩浆岩区。

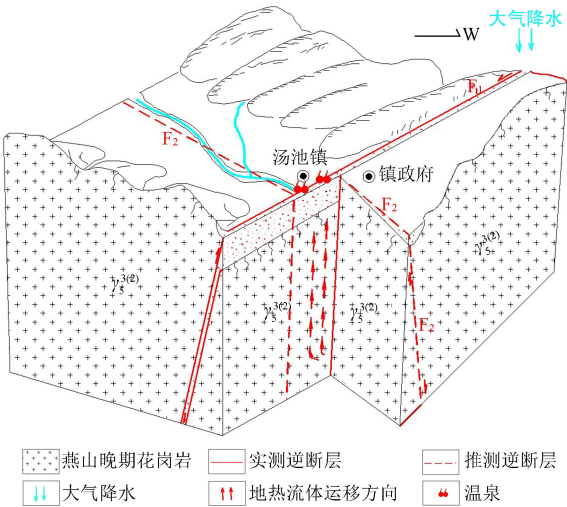


图 4 隆起山地型地热形成模式

Fig. 4 Formation model of rifted mountain type geothermal resources

大别山区和庐枞地区既有温泉出露又有钻孔揭露,共有温泉点 15 处,地热井 27 处,其中岳西台拱温泉 9 处、地热井 15 处;舒城隆起温泉 5 处、地热井 10 处;庐枞断陷温泉 1 处、地热井 2 处(原有 4 处温泉,因 2 处地热井的使用导致温泉消失)。发育带状热储,地热流体温度相对较高,一般为 30 ~ 65 ℃,庐江东汤池、岳西汤池和舒城西汤池热储温度多为 50 ~ 65 ℃。地热流量岳西台拱较大,多为 500 ~ 3 500 m³/d;舒城隆起和庐枞断陷盆地相对较小,一般为 10 ~ 700 m³/d。

巢湖—和县—带及皖南地区地热主要以温泉

形式出露,在温泉附近一般施工有地热井。共有温泉点 30 处,地热井 20 处(含 1 处矿坑),主要分布于巢湖穹断褶束(包含温泉点 29 处,地热井 15 处)内。均为带状热储,地热流体温度相对较高,多为 40 ~ 60 ℃。地热流量多为 0.86 ~ 600 m³/d,个别点达 2 000 m³/d 以上。

2016 年 12 月完成的含山县昭关地热资源可行性勘查,基本查明昭关由震旦系上统一奥陶系下统碳酸盐岩组成的岩溶—裂隙型热储层(图 5),主要埋藏于 1 000 m 以深,下界面一般在 1 400 m 以下;地热流体温度 38 ~ 42 ℃,属低温地热中的温热水资源^[7],可溶性总固体 2 000 mg/L 左右,水化学类型为 SO₄—Ca·Mg 型,为硫酸钙镁型氟、偏硅酸、氡医疗热矿水。提交验证的地热储量 2 360 m³/d,探明的地热储量 250 m³/d,控制的储量 650 m³/d。热储中蕴藏的总资源量为 3.639 × 10¹⁶ J^[8]。

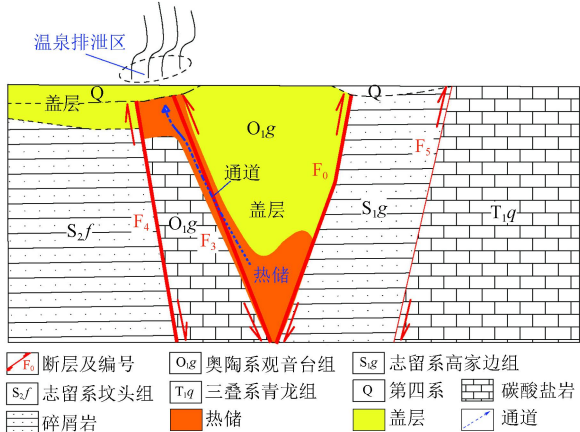


图 5 昭关地热热储概化模型

Fig. 5 Generalized model of geothermal reservoirs in Zhaoguan

2.2 浅层地热能

皖江经济带浅层地热能资源丰富,主要适宜于地源型开发利用方式,局部适宜地下水源型及地表水源型方式。地源型适宜区主要分布在松散层厚度 > 100 m 的地区、江淮波状平原及沿江丘陵较松软的半固结岩类地区,以单一地层结构为主,地下水富水性较好;较适宜区主要为单一基岩地层结构的地区,其次为松散层 50 ~ 100 m 厚的地区,主要为半固结及固结岩类地层;一般适宜区主要分布于松散层 30 ~ 50 m 厚的地区,为双层地层结构;差适宜区和不适宜区主要分布于中丘以上地区。适宜地表水源型利用的地表水体主要有长江及其主要干流,及部分湖泊、水库等;沿主要地表水体周边地带可适当采用地表水源型方式。在水文地质条件较好的地区,可采用地下水源型方式,傍河

取热(冷)可节省大量资源。

已经开展的浅层地热能调查评价工作,以地市级城市规划区为重点^[9],调查面积 9 202 km²,初步探明浅层地热容量 217.3 × 10¹³ kJ,可利用总量 196.74 × 10¹³ kJ/a,冬/夏季可利用换热功率 70.8 × 10⁶ kW/119.1 × 10⁶ kW,如开发利用,每年可节省标准煤 5 033.8 万 t,减排 CO₂ 等有害物约 1.2 亿 t,节省治理费用约 140 亿元(表 2、图 6)。

表 2 浅层地热资源计算成果^[3]

项目城市	调查区面积/km ²	地热容量/(10 ¹³ kJ·℃ ⁻¹)	可利用总量/(10 ¹³ kJ·a ⁻¹)	节省标准煤/(10 ⁴ t·a ⁻¹)
合肥 (巢湖)	2 329 (591)	63.064	50.74	1 298.47
滁州	1 404	36.740	54.90	1 404.94
六安	560	16.770	19.06	487.62
马鞍山	715	15.751	9.30	238.00
芜湖	782	19.857	26.36	674.59
宣城	566	16.791	7.59	194.12
铜陵	1 053	21.958	11.52	294.62
池州	359	7.090	6.42	163.93
安庆	843	19.317	10.85	277.51
合计	9 202	217.300	196.74	5 033.80

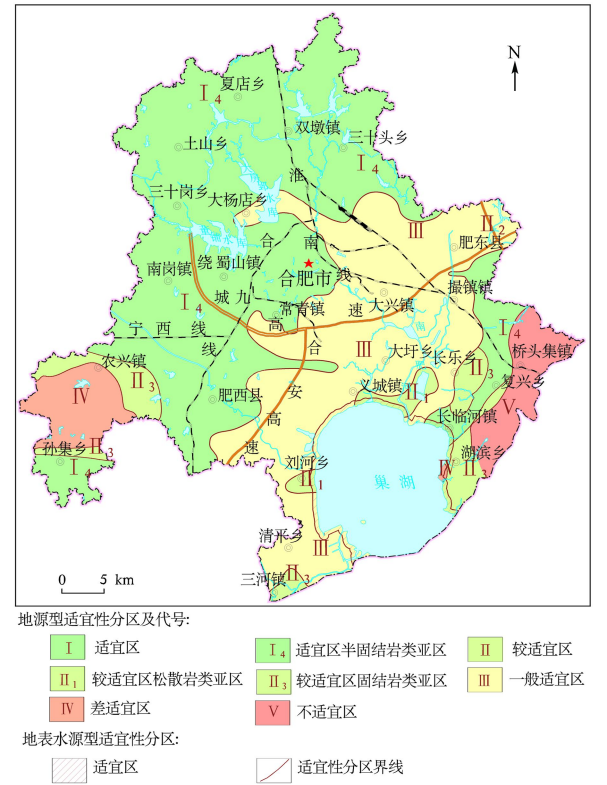


图 6 合肥市浅层地热开发利用适宜性分区

Fig. 6 Suitability zone of exploitation and utilization of shallow geothermal energy in Hefei City

3 成果应用情况

3.1 水热型地热

皖江经济带可供开发利用流体温度 >25 ℃ 的温泉 45 处,地热钻孔 75 眼。巢湖半汤、庐江东汤池、含山昭关、岳西汤池等地地热资源开发利用程度较高,开发利用方式以温泉医疗、洗浴、养殖为主,已产生较好的社会经济、环境效益。

2016 年完成的含山县昭关地热资源可行性勘查,查明了地热资源量,进一步扩大了开发利用范围,提出了开采及保护方案。昭关地热现在主要用于养殖热带鱼,通过此次勘查,地方将结合人文旅游、山水资源、休闲度假、房地产进行综合开发利用。

现有地热井、泉的开发利用方式较为单一,地热水的重复利用率较低,尤其是洗浴用水和矿区热水的直接排放,造成地热资源的浪费。采取供暖、温室种植等梯级或循环利用措施,可以有效提高资源利用效率。

3.2 浅层地热能

浅层地热资源总量丰富,分布广泛,开发利用技术成熟^[10-11]。安徽名人馆、合肥大剧院、南屏家园等浅层地热开发利用示范工程相继投入使用,示范带动作用显著。浅层地热能的优势得到共识,在建筑中的使用面积也逐年大幅增加,主要应用于办公楼、商场、展馆、医院、学校、宾馆及住宅等建筑的供暖、制冷和生活热水^[12]。现有约 67 处浅层地热开发利用工程,总服务面积 382 × 10⁴ m²,每年节约标准煤约 3 万 t,减排二氧化碳等有害物约 8 万 t,节约治理费约 920 万元,具有显著的社会经济效益和环境效益。合肥在浅层地热能的开发利用中处于全省领先地位。

4 结论和建议

(1) 皖江经济带地热资源丰富,仅有部分水热型地热资源开发利用程度较高,资源利用效率较低。应采取供暖、温室种植等梯级或循环利用措施,综合开发利用地热资源。

(2) 水热型地热资源以温热水、温水为主,总体品位不高。在今后的地热资源勘查评价工作中,要深入研究地热成因,突破现有模式,寻找高品位地

热资源。

(3)浅层地热能资源总量丰富,分布广泛,开发利用技术成熟,适宜于大力开发利用。已开展浅层地热能调查评价工作的地区较少,应结合县级国家可再生能源建筑应用示范开展相关评价工作,推动浅层地热能建筑中的广泛应用。

(4)地热资源是一种宝贵的绿色能源,但尚未建立统一的监管平台,为促进合理开发利用地热资源应建设地热资源开发利用监管平台,实现实时有效的监管。

参考文献：

[1] 国家发展和改革委员会,国家能源局,国土资源部. 地热能开发利用“十三五”规划[R]. 2017;1.
[2] 汪集暘,马伟斌,龚宇烈,等. 地热利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005;4-5.
[3] 安徽省地质环境监测总站. 安徽省浅层地热能调查与评价报告[R]. 2013;1.

[4] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等. 浅层地热能勘查评价[J]. 中国地质,2007,34(6):1115-1121.
[5] 吴海权,杨则东,疏浅,等. 安徽省地热资源分布特征及开发利用建议[J]. 地质学刊. 2016,40(1):171-177.
[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;96-98.
[7] 汪磊,张海. 贵州西部威水背斜地热赋存规律及靶区预测研究[J]. 中国地质调查,2016,3(6):26-31.
[8] 安徽省地质环境监测总站. 安徽省含山县昭关地热资源可行性勘查报告[R]. 2016;136.
[9] 周阳,李锋,闫文中,等. 关中盆地主要城市浅层地热能资源量赋存规律研究[J]. 中国地质调查,2016,3(4):12-18.
[10] 王秉忱. 我国利用水源、地源热泵技术开发浅层地热能呈现好形势[J]. 工程建设与设计,2008(1):8-11.
[11] 王秉忱. 科学运用地源热泵技术开发地热能[J]. 水文地质工程地质,2008,35(3):131.
[12] 陶庆法,胡杰. 浅层地热能开发利用现状、发展趋势与对策[C]//国土资源部地质环境司,浅层地热能——全国地热(浅层地热能)开发利用现场经验交流会论文集. 北京:中国能源研究会,中国矿业联合会,国土资源部,2006;12-18.

Survey and utilization of geothermal resources in Wanjiang Economic Belt

CHEN Xuefeng¹, WEI Yongxia¹, LI Yongjun²

(1. Anhui Institute for Geo-Environment Monitoring, Hefei 230001, China; 2. Anhui Geology and Mining Investment Group LTD., Hefei 230001, China)

Abstract: Based on previous survey and evaluation achievements of geothermal resources in Wanjiang Economic Belt, the authors expounded on the distribution characteristics, formation mechanism, categorie and resources quantity of geothermal resources in this area, analyzed the current situation of exploitation and utilization, and the following issues. Although the geothermal resources in Wanjiang Economic Belt are abundant, only part of the hydrothermal geothermal resources are highly developed, but with low utilization efficiency. The hydrothermal geothermal resources are mainly warm-hot and warm water with low grade. The shallow geothermal energy in the study area is abundant and widely distributed with mature technology of exploitation and utilization, so it is favorable for vigorous exploitation and utilization. However, most parts of the region lack survey and evaluation of shallow geothermal energy. Thus, the authors suggest that cascade or cyclic utilization measures should be adopted to improve efficiency, and the geothermal resources should be comprehensively utilized. The current prospecting model should be updated to search high-grade geothermal resources. The survey and evaluation of shallow geothermal energy should be made in the county level, and the monitoring platform of geothermal resources exploitation and utilization should be established.

Key words: geothermal resources; survey; exploitation and utilization; Wanjiang Economic Belt

(责任编辑: 常艳)