

# 长三角典型地区地热资源勘查评价关键技术研究 with 高效利用示范

## (一) 项目基本情况

主要完成单位：江苏省地质调查研究院，河海大学

主要完成人：杜建国；郝社锋；骆祖江；邹鹏飞；王丽娟；杨林；范迪富；鄂建；闵望；曹曜；王彩会；李朗；时国凯；尚通晓；左丽琼

技术评价时间：2014.11.28、2015.6.27、2015.12.8、2018.6.11、2019.10.31、2020.12.19

成果登记时间及登记号：2015.12.29（20160075）、2018.11.12（20190013）

## (二) 推荐意见

地热资源属清洁、高效可再生能源，近年来，生态文明建设对可再生能源的开发利用提出了新要求。项目完成单位经过多年的勘查与实践探索，从地热资源成因模式、碳减排潜力、环境监测、高效开发利用示范等层面上展开攻关，取得了多项科技创新与突破：

创造性提出了不同地热资源的成因模式及找热理论，在长三角及其他多个省市应用效果显著，清洁可再生能源勘查取得重大突破；首次评价了长三角典型地区（江苏）地热资源量及其开发利用的碳减排潜力，将贝叶斯理论创新应用于热储模型的关键参数分析，提高了评价结果的可靠性；提出了中温地热资源的高效开发利用模式，在南通小洋口建成了我国南方地区首个中温地热资源高效开发利用示范工程；编制了全国第一部浅层地热能开发利用地质环境监测地方标准；等等。

经审查，项目成果实现了长三角典型地区（江苏）清洁可再生能源勘查与开发利用的重大突破，能有效助力该地区“双碳”目标实现。项目申报资料真实可靠，符合申报条件和要求，同意推荐申报一等奖。

## (三) 项目简介

地热能作为一种安全稳定清洁的可再生能源，对于改善能源结构、保障能源安全和推进生态文明建设具有重要意义。在长三角区域一体化发展及国家“双碳”战略背景下，对清洁能源有强烈的现实需求牵引，江苏作为长三角一体化发展中的重要一员，研究地热资源勘查技术、推动规模化开发利用有助于支撑长三角地区的低碳发展。本项目是在国家及江苏省有关部门的支持下，首个对长三角典型地区（江苏）中深层地热资源与浅层地热能进行勘查评价关键技术攻关与综合高效利用示范研究的项目，主要形成了以下四方面原创性成果：

(1) 首次系统研究了江苏省中深层地热资源的形成机理，发现了北西向断裂导水、北东向断裂阻水以及二者复合作用的地热资源成因规律，创造性提出了“X 型构造控热控水”的成因模式，并针对该成因模式提出了“热（波）阻异常”的地热资源找热理论，研究了相应的地热资源勘查关键技术。

应用该成果：①成功探明了如东小洋口、宝应黄荡—安宜镇等两处大型中温（90~150℃）地热田，属长三角地区之最；②确定了省内勘查地热井 106 口，出水成功率达 95% 以上。特别是在传统理论认为无地热资源分布的扬州白垩纪红层区（水温 80℃，水量 1915m<sup>3</sup>/d）、镇江侏罗纪火山岩区（水温 62℃，水量 1506m<sup>3</sup>/d）、苏州古生代碎屑岩区（水温 45℃，水量 3486m<sup>3</sup>/d）、常州白垩纪花岗岩区（水温 48℃，水量 508m<sup>3</sup>/d）、连云港变质岩区（水温 46℃，水量 1019m<sup>3</sup>/d）等深部地热勘查中均取得重大突破。

该成果已被其它省市地热勘查单位所采用，并在北京、浙江、贵州等地地热资源勘查中获得成功。

(2) 首次查明了江苏省各类地热资源的禀赋，评价了全省的地热资源量及其开发利用的碳减排潜力，并将贝叶斯理论的不确定分析方法应用于地热资源热储模型的参数分析，提高了评价结果的可靠性。江苏省地热能资源储量相当于 274 亿 t 标准煤，每年可减排 CO<sub>2</sub>

约 8824 万 t，碳减排潜力巨大。其中，浅层地热能可采资源量冬季可供暖面积 25.9 亿 m<sup>2</sup>，夏季可制冷面积 23.1 亿 m<sup>2</sup>，折合标准煤约 7430 万 t；中深层地热流体年可开采热量折合标准煤约 656.1 万 t，已探明的地热资源量折合标准煤约 28.1 万 t。

(3) 首次开展了中温地热资源集发电-供暖(制冷)-干燥-种植养殖-康养理疗-生活热水-回灌的综合高效利用模式研究。建立了地下水渗流与热量运移三维耦合数值模型，评价了回灌对热储层渗流场和温度场的影响，提出了地热尾水科学回灌方案，并在南通小洋口建成了我国南方地区首个中温地热资源高效开发利用示范工程。

(4) 首次构建了江苏浅层地热能开发利用适宜性分区评价模型，在典型地区开展了基于热平衡控制的浅层地热能开发利用潜力评价，为地源热泵系统克服热堆积、热贯通，实现对浅层地热能的可持续开发利用提供了关键技术参数。编制了全国第一部浅层地热能开发利用地质环境监测地方标准，为江苏省逾 4000 万 m<sup>2</sup> 建筑利用浅层地热能供暖制冷提供了关键技术支撑。

本项目研究过程中参与出版专著 2 部，主要研究报告 6 册，在国内外期刊发表论文 40 余篇，主要标准规范 1 部，专利 6 项。项目的成功实施对于推进长三角地区绿色高质量发展，助力“双碳”目标实现具有十分重要的战略意义。

#### (四) 客观评价

##### 1、中国科学院院士评价

**中国科学院院士、南京大学原校长、江苏省科协主席陈骏：**该项目主要成果进一步完善了我国地热资源成因理论，为优化地热资源勘查、规范地热资源管理、推进地热能可持续开发利用等提供技术支撑，对促进地热学科务实发展和全省双碳目标的实现具有重大现实意义。

**中国科学院院士、国家地热能中心技术委员会名誉主任、国家地热能中心指导委员会委员汪集旸：**项目成果对于丰富国内浅层及中深层地热资源勘查评价、标准的制定及地热资源的可持续、综合高效利用、促进地热地质学科发展，具重大现实意义，对推动江苏省绿色产业发展，助力“双碳”目标实现具有十分重要的战略意义。成果总体达到国际先进、国内领先水平。

##### 2、专家组验收评价

**(1) 中国地质科学院项目办、中国地质环境监测院组织的专家组验收意见** 专家组审阅了“江苏省地热资源现状调查评价与区划项目”、“江苏省主要城市浅层地热能调查评价项目”成果认为：(1) 对全省热储类型及分布进行了归纳，在精细刻画热储分布特征及温度场特征的前提下，对全省的地热资源量及地热流体可开采量进行了定量计算。(2) 对江苏省开发利用方案、地热资源温度、开发利用潜力、地热资源勘探价值等进行了区划。(3) 从地下水源热泵和地埋管地源热泵两个方面，对江苏省主要城市浅层地热能开发利用进行了适宜性分区，并进行了地源热泵综合性分区。(4) 对江苏省主要城市浅层地热能资源量及开发利用潜力进行了分析评价，并通过与常规能源开发利用的对比，评估了浅层地热能开发利用的经济环境效益，对成果推广应用具有重要意义。(5) 从全省主要城市开发利用方式选择、开发利用管理、地质环境监测及相关科学研究等方面，提出了浅层地热能进一步开发利用的相关建议，对地表水地源热泵的开发利用前景进行了分析与展望，具有重要的实际应用价值。

##### **(2) 江苏省自然资源厅组织的专家组验收意见**

专家组审阅了“江苏省南通市洋口地区中温地热资源调查评价与回灌试验项目”、“江淮生态经济区东南部地区中温地热资源( $\geq 90^{\circ}\text{C}$ )调查评价项目”、“淮河生态经济带(江苏段)地热能潜力评价及可持续开发利用研究项目”成果认为：(1) 首次对如东县洋口地区存在的多成因地热资源进行了分析，建立了洋口地区具有共生关系的地热资源成矿模式。(2) 首次在江苏开展了地热回灌试验及可持续开发利用研究，为洋口地区地热回灌井的设计提供了

依据。(3)首次提出了隐伏对流型地热资源的成矿标志,为同类型地热资源勘查提供了理论指导。(4)首次系统分析研究了中温地热资源的地热地质条件,划分了七个不同储层组合分区,并以碳酸盐岩为储层,结合地温场特征、盖层厚度和断裂构造发育程度,圈定了五个重点勘查区。(5)建立了国内首个流域尺度的地理管换热系统三维数值模型,预测了温度及热堆积变化趋势,提出了增加换热孔间距、春秋季节加热生活用水以及增设冷却塔的解决方案,规划评价了区内浅层地热能可采资源量及开发利用潜力。(6)首次构建了苏北盆地地热储层非均质性的三维空间分布,建立了苏北盆地地热储层系统水热耦合模型,采用贝叶斯理论的不确定分析方法针对热储模型的关键参数进行研究,计算了地热资源量,评价了开发利用潜力。

### **(3) 原南京国土资源局组织的专家组验收意见**

专家组审阅了“南京市浅层地温能调查评价项目”成果认为:(1)项目所提出的浅层地热能进一步开发利用的区划建议,具有实际应用价值;对地源热泵开发利用监测、场地勘察设计及浅层地热能开发利用产生的地质环境影响进行了综合研究,成果具有创新性。(2)项目从经济社会发展、建筑能耗、气候条件、地质条件、技术条件、市场需求与政策环境等多个方面对南京市浅层地热能开发利用的相关条件进行了较为细致的分析;对代表性的浅层地热能开发利用示范工程进行了详细研究,从热泵机组选型、建设周期、经济和环境效益等多个方面进行了较为细致的分析,为同类开发利用工程的建设提供了参考借鉴。(3)项目运用光纤温度传感和电阻温度传感两种技术方法实现温度数据的采集,运用物联网技术实现各项监测数据的实时无线传输,并通过监测中心对各项监测数据进行接收、存储、分析与管理,技术理念先进;基于南京市国土资源“一张图”基础数据服务平台,完成了浅层地热能调查评价数据库建设和信息管理系统研发,集成和展示了南京市浅层地热能调查评价取得的主要成果和南京市浅层地热能资源开发利用动态监测网的动态监测数据,实现了数据的查询、分析和可视化,实现了办公自动化,为浅层地热能资源开发利用管理提供了依据。(4)项目编制的南京市浅层地热能开发利用规划进行了地理管地源热泵系统开发利用分区,部署的示范工程、重点调查和监测系统建设等工程,符合南京城市发展规划和浅层地热能开发管理要求,操作性、指导性强;首次从浅层地热能关联产业、政策体系构建等方面深入研究了国内外及南京市浅层地热能管理政策,提出了浅层地热能资源勘查、方案设计、开发建设、工程运行和动态监测等方面的管理建议,针对南京市浅层地热能开发利用和管理过程中存在的问题,符合实际,提出准入条件、建设、运营、信息管理办法,合理可行。(5)项目制定的浅层地热能开发利用地质环境监测规范有助于规范地质环境监测工作,保持地质环境稳定,维持热泵系统性能稳定。以中国科学院院士薛禹群为组长的专家组一致认为:该项目成果系统性强,创新点多,成果总体达到国内领先水平。

### **3、项目成果查新意见**

科技查新结果表明,项目在以下几方面具有创新性:1、国内已见基于翅片套管开发热干岩地热能的热干岩发电系统,通过 S-CO<sub>2</sub> 气轮机和发电机将地热能转化为高品质的电能的报道,国外已见通过优化分析和灰色关联分析的方法,揭示了地热发电的可行性的报道,本委托项目所述建立了如东小洋口地热田发电、烘干等梯级高效利用模式,在所检文献中未见具体述及;2、国内已见通过地热地质调查、地热钻探、测温、综合研究等工作手段,查明地热田热异常空间分布、热储特征、地温场特征,分析了地热田的成因的报道,国外已见解析了沿温泉的蚀变带、深部侵入和深连通的区域断裂,证实连接玛哈那底断裂的局部和浅层断裂则为研究区温泉提供了补给的报道,本委托项目所述发现了如东小洋口、宝应黄荡-安宜镇大型中温地热田,并建立相应大型中温地热田的复成因成矿模式,在所检文献中未见具体述及;3、国内已见地热田复合梯级开发利用系统,实现了电热冷等多联供和全产业链高质量开发利用的报道,国外已见通过构建 SWOT 模型,分析了影响着地热资源的可持续

利用原因,并提出了促进当地地热资源开发利用的对策和建议的报道,本委托项目所述系统研究了江苏省地热储层分布及温度场特征,并从地热资源四个维度进行了区划,提出了各类地热资源的高效开发利用模式,并建成如东小洋口地热资源高效开发利用示范区,在所检文献中未见具体述及;4、国内已见研究了开采、回灌条件下热储的温压场响应,确定了采灌量等井网布局参数的限制条件,最后提出了地热资源开发优化策略的报道,国外已见分析了跨世纪的水文地质资料和热资源利用信息,评价了热资源利用的影响,以评价热资源的可持续利用的报道,本委托项目所述在江苏省内开展了地热井回灌试验及可持续开发利用研究,建立了地下水渗流与热量运移三维耦合数值模型,评价了回灌对热储层渗流场和温度场的影响,提出了地热废水(尾水)的回灌方案,在所检文献中未见具体述及;5、国内已见研究并实现了基于先验模型约束的地温场贝叶斯反演,对实测 DR3 号钻孔的温度测井数据做反演后获得了共和盆地地温场并计算地下热流值的报道,国外已见根据区域地质背景、地层分布等地质条件,总结从地面到地下 3000m 开发的地热资源可直接用于空间供热、温室供热、养殖池供热和工业等用途的报道,本委托项目所述采用贝叶斯理论的不确定分析方法针对苏北盆地地热资源热储模型的关键参数进行了研究,定量评估了区内主要开采井的地热资源开发利用潜力,在所检文献中未见具体述及。

#### 4、应用单位评价

##### (1) 省内应用单位评价

**扬州市、泰州市、徐州市及灌云县自然资源和规划局认为:** 依托本项目成果,成功指导扬州市宝应七里村地区勘查成功全省水温(93℃)最高的中温高产地热井,为地热发电创造了良好条件。“扬州市地热资源勘查与开发利用规划”已以政府文件下发,该规划系全省首个批准实施的地级市地热专项规划,为扬州市地热资源的勘查与开发管理,保障地热资源的可持续利用,提供了科学依据与技术支撑,为扬州市“中国温泉之城”的成功申报提供了大量、可靠的基础数据,依据规划成果指导高邮马棚创造全省最大地热井出水量 3630m<sup>3</sup>/d 的记录。大力推进了泰州市地热资源的科学管理和干热岩勘查开发。2017 年,泰州市政府在全省率先制订地热资源和浅层地热能管理规范性文件,出台了《泰州市地热资源和浅层地热能管理办法》,优化了上位法的处罚条款,理顺了地热资源管理机制。依据地热条件分区结果,优选宝应柳堡-兴化城东靶区作为干热岩勘查靶区,2021 年初,位于兴东镇的“苏热 1 井”顺利完井,成功探获碳酸盐岩热储层,井底温度为 155℃,首次证实苏北盆地蕴藏丰富的干热岩资源,实现了江苏省干热岩勘查的重大突破。成功指导徐州市沛县安国镇地区一口开采井和一口回灌井的对井地热资源勘查,其中开采井为徐州地区出水温度最高(65℃)、出水量(1940m<sup>3</sup>/d)最大的地热井,“一采一灌”的对井模式可为当地搬迁安置小区供暖提供稳定可持续的热源,为苏北农村住房条件改善建设清洁能源供暖示范点,并在整个苏北农村住房条件改善建设中予以示范和推广。2017 年,位于灌云县大伊山的地热井顺利完井,水温 46℃,水量 1019 m<sup>3</sup>/d,打破了变质岩地层不含水或含水量少的传统理念,实现了变质岩地区寻找优质地热资源的重大突破。该地热井的勘查成功,为灌云县变质岩地区寻找优质地热资源指明了方向,积累了经验。同时,依托该地热井建成伊水温泉康养中心,促进了灌云县旅游度假、养生休闲产业的快速发展。

**原南京市国土资源局、南京市住房和城乡建设委员会认为:** 项目查明了南京市浅层地温能资源家底和开发利用现状,建设了南京市浅层地温能开发利用监测网,开发了浅层地温能调查评价数据库和信息管理系统,编制了《南京市浅层地温能开发利用总体规划(2014-2020 年)》、《浅层地温能开发利用地质环境监测规范》,起草了相关管理政策。上述成果均在我局(委)进行了深入应用。为我局系统加强浅层地热能开发利用监管,推动绿色建筑行动和浅层地热能资源建筑应用,推进浅层地热能资源开发和土地开发利用的“矿地融合”提供了科学的决策依据。

南京汤山温泉资源管理有限公司、如东小洋口旅游度假区管委会（南通金蛤岛投资发展有限公司）、南京源鼎置业有限公司、连云港弘大旅游发展有限公司认为：受本项目成果促进，在南京汤山南部新城钻获两口优质地热井（出水温度分别达 72℃、73℃）提供了科学依据，为解决汤山温泉旅游度假区日益增长的温泉水资源需求紧缺问题提供资源保障。如东小洋口成功钻获省内第一口中温地热资源井（92℃），为中温地热资源高效利用示范提供能源保障，对小洋口旅游度假区品牌打造及温泉旅游产业发展有极大的推动作用。2020 年，度假区被中国矿业联合会授予“中国温泉之乡”的称号。小洋口温泉展示中心用能均通过地热转化，实现从发电到供暖、制冷、烘干、洗浴、养鱼养虾，全方位展示小洋口零碳小镇“地热+”开发模式。在南京六合奶山白垩纪红层中寻找优质地热资源得到了突破，奶山地热井出水水温 70℃，出水量 1107m<sup>3</sup>/d，是六合区第一口地热温泉，富含多种微量元素，尤其是偏硅酸和锶含量达到命名矿水浓度标准。依托项目成果，成功打造了温泉文旅康养小镇。连云港大伊山地热井水温 46℃，出水量 1019m<sup>3</sup>/d，为钠钙强盐泉，微量元素锶、锂、溴、偏硼酸均达到了有医疗价值浓度或以上标准。依托该项目成果，打造的伊水温泉康养中心，成为连云港弘大旅游发展有限公司主要经营项目之一。

## （2）省外应用单位评价

**浙江省地质调查院认为：**依据江苏省地质调查研究院提出的“热波(阻)异常”找矿模式，完成了浙江省嘉兴运河农场 1 号地热探采井、嘉兴市秀洲区王店地热探采井的勘查工作，并成功钻获高质量地热资源，其中，嘉兴运河农场 1 号井井口水温 64℃，最大出水量 2592.61m<sup>3</sup>/d；秀洲区王店地热井井口水温 42℃，最大出水量 508m<sup>3</sup>/d。对地方政府品牌打造及温泉旅游产业发展有极大的推动作用。

**北京市地热研究院认为：**依据江苏省地质调查研究院提出的“热波(阻)异常”找矿模式，完成了北京市通州区西集 1 号地热探采井、大兴区星明湖度假村地热探采井的勘查工作，并成功钻获高质量地热资源。其中，通州区西集 1 号地热探采井井口水温 92℃，最大出水量 3072.64m<sup>3</sup>/d，为该地区第一眼“中温”地热井，为北京城市副中心地热资源开发及温泉产业发展起到积极推动作用；大兴区星明湖度假村地热探采井井口水温 46℃，最大出水量 1549.67 m<sup>3</sup>/d，有力的推动了大兴南部地区以及大兴国际机场周边地区地热资源的开发利用。

**北京金海源地热工程勘察有限公司认为：**依据江苏省地质调查研究院提出的“热波(阻)异常”找矿模式，完成了河北省固安牛驼镇、浙江省杭州湾国家湿地公园地热井的勘查工作，并成功钻获高质量地热资源。其中，河北固安牛驼镇地热井井口水温 76℃，最大出水量 890 m<sup>3</sup>/d；浙江省杭州湾国家湿地公园地热井井口水温 43℃，最大出水量 652m<sup>3</sup>/d。该成果对上述两个地区生态旅游和温泉产业发展提供了清洁可再生能源保障。

**北京中地创源地热研究院认为：**依据江苏省地质调查研究院提出的“热波（阻）异常”找矿模式，完成了天津市小古林地热井的勘查工作，并成功钻获高质量地热资源，井深 1900m，井口水温 78℃，最大出水量 2100 m<sup>3</sup>/d。对天津小古林地区生态旅游和温泉产业发展提供了清洁可再生能源保障。

**邯郸市伟业地热开发有限公司认为：**依据江苏省地质调查研究院提出的“热波（阻）异常”找矿模式，完成了山东省东营、贵州省安顺地热井的勘查工作，并成功钻获高质量地热资源。其中山东东营地热井井口水温 63℃，最大出水量 2520 m<sup>3</sup>/d；贵州安顺地热井井口水温 43℃，最大出水量 542 m<sup>3</sup>/d。对山东东营、贵州安顺地区生态旅游和温泉产业发展起到了积极的推动作用。

## 5、来自新闻媒体方面的评价报道

**（1）2014 年 12 月 11 日中国矿业报：**江苏地调院先后完成了南京市浅层地热能资源调查、浅层地热能资源开发利用调查及示范工程研究、浅层地热能资源开发利用动态监测网建设、浅层地热能数据库建设及信息管理系统研发、浅层地热能资源开发利用规划编制和浅层

地热能资源开发利用政策研究六大专题工作任务，为南京市浅层地热能合理开发应用、保护地质环境、促进节能减排提供了全方面的科学依据。编制起草了一系列文件，系统提出了南京市浅层地热能开发利用规划与管理政策建议。

**(2) 2015年6月24日南京日报：**从市质监局获悉，南京市地方标准——《浅层地热能开发利用地质环境监测规范》近日通过评审组专家审查，将在修改完善后正式出台，并计划在下一步努力上升为江苏省地方标准。目前，我国尚无这方面的统一标准，南京的这一标准将填补该领域的空白。

**(3) 2015年8月17日中国国土资源报：**南京市召开专题办公会，审议并原则通过了《南京市浅层地温能开发利用总体规划（2014~2020年）》。规划明确了南京市浅层地温能开发利用规划分区、开发利用方向与规模，并提出了南京市浅层地温能重点调查区域和动态监测网络建设等工作任务。《南京市浅层地温能开发利用总体规划（2014~2020年）》是南京市浅层地温能调查评价项目六大专题成果之一，规划编制工作立足于资源调查评价、开发利用现状调查与示范工程研究、开发利用动态监测网建设和开发利用管理政策研究等专题成果，紧紧围绕资源合理开发利用这一核心问题，从浅层地温能开发利用、浅层地温能重点调查、监测与综合研究等方面进行了全面部署，并提出了具体的保障措施。下一步，南京市将制定出台相关管理办法，形成更加高效的开发利用管理体系。

**(4) 2019年4月17日央广网：**江苏地调院于2009-2010年在南通小洋口开展了地热勘查工作，钻探成功第一口地热深井（洋通1井，76℃），2013年钻探成功了第二口地热深井（洋通2井，92℃），于2016年-2017年开展了南通市洋口地区中温地热资源调查评价与回灌试验、地热回灌井选址论证。基于南通市小洋口的优质温泉地热资源，中科院汪集旸院士在这里成立了中国地热方面唯一的院士工作站。2018年，国务院发展研究中心资源与环境政策研究所主办的“2018年能源大转型高层论坛”发布地热能源白皮书，把小洋口地区和雄安新区并列列为地热开发示范区。

**(5) 2019年11月12日如东日报：**由中国矿业联合会、江苏省矿业协会组成的专家组对小洋口创建“中国温泉之乡”进行现场评议，与会专家通过听汇报、实地查看后认为，小洋口旅游度假区符合“中国温泉之乡”命名条件，建议命名其为“中国温泉之乡”，提请中国矿业联合会适时组织专家委员会予以审定。小洋口旅游度假区有丰富的中低温地热资源，目前已凿建五眼地热井，单井水温在42℃至92℃之间，具有热储层数多、分布广、温度高、水质好等优点。地下热水用于取暖、温泉洗浴、理疗保健，已建成了南通金蛤岛度假村、林克斯温泉度假酒店、林克斯温泉别墅酒店，取得较好的经济、社会效益。为科学开发、合理规划、统一管理好小洋口地区地热资源，打造地热资源品牌，提升知名度，县政府委托江苏省地质调查研究院编制了如东县小洋口旅游度假区“中国温泉之乡”申报报告、申报表等一系列材料。

**(6) 2021年10月27日中国自然资源报：**为深入贯彻国家对地热资源综合、高效开发利用的要求，促进产业健康快速发展，江苏省如东县小洋口实施了地热梯级开发、高效利用示范工程，探索地热资源综合高效利用新模式，打造全国温泉开发利用示范区。江苏如东小洋口地区拥有丰富的中低温地热资源，在经济快速发展的同时，地热资源开发应用领域和开采规模逐步扩大。目前，小洋口旅游度假区管委会正依托江苏省地热能开发利用院士工作站核心团队的技术力量，在小洋口地区打造集地热烘干、供暖、制冷、康养理疗、种植养殖、生活热水等于一体的地热梯级开发、高效利用示范工程。据介绍，按照可开采地热流体 $1.55 \times 10^4$ 立方米/天，小洋口地热可开采热量 $3.95 \times 10^9$ 千焦/天计算，可替代标煤4.92万吨/年，每年可发电1.62亿千瓦时；按照60摄氏度利用温度估算可供暖面积约90万平方米。与常规能源相比，仅节省的各项减排治理费用每年就可达2.16亿元，节能减排效益显著。

## (五) 主要知识产权目录

### 1、发明、实用新型专利及标准

知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准发布)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
发明	修井装置及修井方法	中国	ZL 2022 1 0018586.9	2022-07-01	第 5276361 号	江苏省地质调查研究院	杨林; 杨卓群
标准	浅层地温能开发利用地质环境监测规范	中国	DB 3201/T 255—2015	2015-08-25	南京市质量技术监督局	江苏省地质调查研究院等	鄂建等
实用新型	一种高精度地温快速测量装置	中国	ZL 2021 2 1541547.4	2021-12-10	第 15097739 号	江苏省地质调查研究院	杜建国; 范迪富; 季克其; 戴建; 时国凯
实用新型	一种可实现多角度冲刷的地热井冲孔器	中国	ZL 2020 2 1929182.8	2021-06-15	第 13424939 号	江苏省地质调查研究院	杨林
实用新型	一种隐伏对流型地热资源勘查装置	中国	ZL 2022 2 1111755.5	2022-08-05	第 17109167 号	江苏省地质调查研究院	邹鹏飞; 杜建国; 范迪富; 徐雪球; 左丽琼
实用新型	一种裂隙地热资源快速测定装置	中国	ZL 2021 2 1544488.6	2021-12-10	第 15080170 号	江苏省地质调查研究院	季克其; 杜建国; 范迪富; 戴建; 王宽彪
实用新型	一种下沉式泵房	中国	ZL 2020 2 2040906.X	2021-06-08	第 13379180 号	江苏省地质调查研究院	杨林

### 2、专著

王贵玲等著, 中国地热志, 科学出版社, 2018 (鄂建、闵望为编纂委员会委员)

王贵玲等著, 中国地热资源, 科学出版社, 2018 (鄂建、闵望为编纂委员会委员)

### 3、主要代表性论文

(1) Luo Z, Wang Y, Zhou S, et al. Simulation and prediction of conditions for effective development of shallow geothermal energy[J]. Applied thermal engineering, 2015, 91: 370-376.

(SCI)

(2) Du J, Luo Z, Ge W. Study on the simulation and optimization of the heat transfer scheme in a buried-pipe ground-source heat pump[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2020, 13: 1-9.

(SCI)

(3) Xu P, Ling S, Li C, Du J, et al. Mapping deeply-buried geothermal faults using microtremor array analysis[J]. Geophysical Journal International, 2012, 188(1): 115-122.(SCI)

(4) 骆祖江, 杜菁菁. 基于热平衡分析的地理管地源热泵换热方案模拟优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 246-254+320. (EI)

(5) 王琰, 骆祖江, 李伟, 等. 浅层地温能开发与地下水环境影响模拟预测[J]. 太阳能学报, 2015, 36(5): 1231-1238. (EI)

(6) 邹鹏飞, 邱杨, 王彩会. 南京汤山温泉区地热水成因模式分析[J]. 高校地质学报, 2015, 21(01): 155-162. DOI:10.16108/j.issn1006-7493.2014119. (中文核心)

(7) 杨林, 姜国庆. 中浅层构造裂隙型地热资源勘查中的综合地球物理方法——以苏南地区为例[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(06): 2265-2275. (中文核心)

(8) 范迪富, 徐宁玲. 苏北盆地中低温地热资源成矿模式研究[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(04): 164-170. DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2015.04.28. (中文核心)