

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.05.11

引用格式: 景佳俊,王宏沛,管祯,等.徐州市主城区浅层地温能开发适宜性分区研究[J].中国地质调查,2018,5(5):85-90.

徐州市主城区浅层地温能开发适宜性分区研究

景佳俊,王宏沛,管祯,单雨阳

(江苏省地质矿产局第五地质大队,徐州 221004)

摘要: 浅层地温能以其分布广、储量大、高效无污染的特点,越来越多地被用于城市建筑供暖与制冷,但制约浅层地温能开发应用的因素很多,主要有地质、水文地质、岩土体热物理性质以及施工条件。目前徐州市浅层地温能处于无序开发状态,造成了极大的资源浪费和环境地质问题。该文重点进行了埋管地源热泵开发利用适宜性分区研究,通过对徐州市主城区岩土样采集及现场热响应试验,认为在仅考虑热物性条件的前提下,可开展埋管地源热泵的开发利用,并就其开发利用的钻探成本进行区域适宜性分区,划分为适宜区、较适宜区和不适宜区。

关键词: 浅层地温能; 适宜性; 地源热泵系统; 钻探成本; 徐州主城区

中图分类号: P314; TK521

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2018)05-0085-06

0 引言

浅层地温能资源是指储集在地表 200 m 以内的岩土体、地下水和地表水中具有开发利用价值的热能^[1-3]。该资源的储集、运移、传导、开发利用都受到区域地质、水文地质及岩土体热物理性质的制约,不同区域的资源规模和利用方式存在较大差异。徐州市作为苏北工业重镇,能耗需求巨大,但浅层地热资源尚未得到正规的开发和利用,且未进行过区域性浅层地温能调查工作。目前多为小型开发公司无序开发,可能引发一系列地质环境问题。为推动徐州市浅层地温能的开发利用并为其勘查、规划提供可靠依据,对徐州主城区浅层地温能进行了调查与评价。徐州市在 2014 年开展了城市地质调查工作,贾汪区政府办公楼和植物园等典型浅层地温能开发利用工程为本次工作提供了基础研究资料。

浅层地温能开发适宜性分区,是在系统方式选择和资源评价方法的基础上,全面分析浅层地温能

赋存规律、开发利用工艺过程及开发利用系统可行性条件和经济效能后,对工作区进行的适宜程度划分。目前国内的浅层地温能开发利用研究,主要采用层次分析法、模糊判别法、灰色综合评价法等进行适宜性分区^[4-12]。综合评价指标主要为地质、水文地质条件,岩土热物理性质,温度场特征,以及施工条件等。主要制约浅层地温能开发的因素为岩土体热物性及钻探成本。热物性试验表明,徐州地区不存在岩土体热物性的不适宜区。本次主要选取钻探成本进行适宜性分区,旨在为徐州市规划区浅层地温能开发利用方式、规划及政府管理提供可靠依据。

1 研究区自然概况

徐州市位于江苏省北部,主城区面积 644 km²,年平均气温 14 ℃,一月平均气温 -0.7 ℃,七月平均气温 27 ℃,供热与供暖天数均为 90 d,为浅层地温能开发提供了较好的条件。徐州市地处黄泛平原,位于鲁南山区南缘,属华北平原的一部分。总

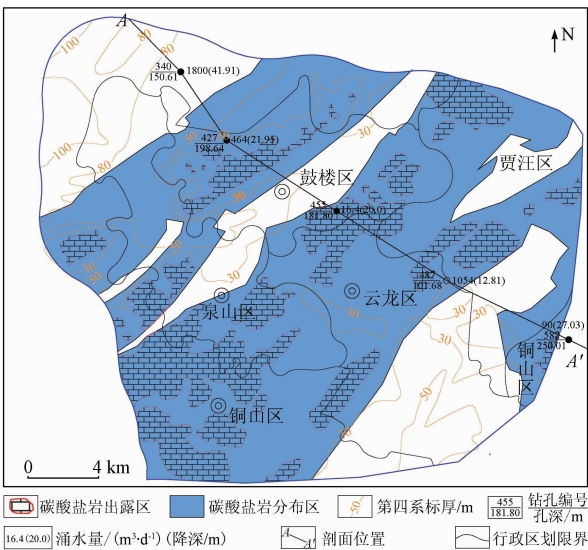
收稿日期: 2018-01-12; 修订日期: 2018-03-05。

基金项目: 江苏省地质矿产勘查局“徐州市规划区浅层地温能调查与评价(编号 2015-KY-6 号)”项目资助。

第一作者简介: 景佳俊(1983—),男,工程师,主要从事水工环和地热地质研究工作。Email: 393599289@qq.com。

体地形特征西北和东南为平原区,中东和西南为低山丘陵及山前、山间平原区。平原区废黄河故道地势稍高,高程 35.70 ~ 42.30 m,呈垅状高地横贯全区中部。黄泛冲积平原分布于废黄河故道两侧,地势低平,地面标高 26.40 ~ 37.00 m,地势总体微向东南倾斜。

徐州市主城区地层属于华北地层区鲁西分区徐州—宿县地层小区的一部分,工作区大面积分布沉积岩,约占总面积的 96%。其基岩出露面积为 115.4 km²,约占主城区总面积的 18%。徐州市主城区第四系分布较广泛,但受基岩起伏面和古地理环境变化的影响,厚度变化较大:卧牛山以西 40 ~ 100 m;潘塘—棠张一带 40 ~ 65 m;其他地区 10 ~ 40 m^[13](图 1,图 2)。



系统,应确保在钻进技术条件和经济成本允许的前提下,地下岩土层具备可持续循环换热效力,且对地下温度场不会产生明显影响。

浅层地温能适宜性分区应遵循如下原则:以地质条件为基础,水文地质条件为依托,热泵应用技术做媒介,经济与效益相结合,浅层地温能资源开发利用与地质环境保护相结合,平面划分与垂向控制相结合。

本次地埋管地源热泵开发利用适宜性分区研究,总结了工作区不同区域的开发利用地质条件,为浅层地温能勘查评价提供了前提条件,为具体工程勘察、设计提供了依据,为政府浅层地温能开发利用规划、项目管理及审批提供了参考。

表1 主要岩土体物性与热物性特征值

Tab.1 Characteristic values of physical property and thermophysical property of the main rocks and soils							
岩性	样品数	取值	含水量/%	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	导热系数/ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	比热容/ ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	导温系数/ ($10^{-3}\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)
黏土	105	范围值	22.0~26.2	1 830~1 950	1.71~1.87	1.58~1.64	2.06~2.21
		平均值	24.100	1 890	1.790	1.600	2.135
粉土	50	范围值	20.7~22.0	1 760~1 850	1.72~1.78	1.50~1.57	2.19~2.37
		平均值	21.350	1 805	1.750	1.535	2.280
灰岩	121	范围值	0.1~2.7	2 490~2 870	2.33~2.81	0.89~1.50	2.35~3.85
		平均值	1.400	2 680	2.570	1.195	3.100
砂页岩	45	范围值	3.7~7.0	2 200~2 560	1.34~1.53	1.13~1.61	1.46~1.89
		平均值	5.350	2 380	1.435	1.370	1.675

工作区第四系松散沉积物比热容室内测试结果为1.50~1.64 kJ/(kg·K),导热系数为1.71~1.87 W/(m·K);基岩比热容室内测试结果为0.89~1.61 kJ/(kg·K),导热系数为1.34~2.81 W/(m·K)。

工作区范围内完成了5组现场热响应试验,通过恒热流法和恒温法^[14-15],模拟夏季运行工况。研究区所有热响应试验孔均完成了至少50 h的大、小功率测试,且试验后期均出现较为明显的趋于水平的稳定段。本次计算发现各热响应试验孔地埋管导热系数一般在3.05~4.29 W/(m·K)左右,排热工况(入口温度/出口温度)35℃/30℃下,单位孔深排热量为42~54 W/m,符合《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366—2009)中应用地源热泵的相关要求。因此就换热效率而言,研究区不存在不适宜地埋管地源热泵系统难以进行换热的区域。

3.2 工作区钻探成本分析

根据《浅层地热能勘查评价规范》(DZ/T 0225—2009),地埋管适宜性分区主要采用第四

3 分区方法与结果

在无活动断层条件下,现场观测20 m和100 m两层区域地温场特征,发现本区域地温场平缓,无明显异常点。本次评价主城区浅层地温能适宜性第四系厚度一般均小于100 m,限制浅层地温能开发利用的主要因素为岩土热物理性质和钻探成本。

3.1 工作区岩土体热物理性质

本项目在实施过程中采集了岩土样品进行了物理性质与热物理性质的分析测试,共取得热物性测试成果321件,其中第四系黏土105件、粉土50件、砂页岩45件、灰岩121件(表1),基本涵盖了工作区100 m深度以浅的主要岩性类型。

系厚度、卵石层总厚度和含水层总厚度3项指标(表2)。

表2 (竖直)地埋管换热适宜性分区指标及判断标准

Tab.2 Indicators and standards of suitability zoning of buried tube heat exchange				
分区	分区指标 (地表以下200 m范围内)			综合评判标准
	第四系厚度/m	卵石层总厚度/m	含水层总厚度/m	
适宜区	>100	<5	>30	3项指标均应满足
较适宜区	<30或50~100	50~100	10~30	不符合适宜区和不适宜区分区条件
不适宜区	30~50	>10	<10	至少2项指标符合

就徐州地区而言,卵石层总厚度均小于5 m,第四系厚度小于100 m,在徐州地区第四系厚度30~50 m区域均属于黄泛冲积平原区,岩性以黏土、粉土和细砂为主,含水层厚度一般均大于10 m,在此条件下,工作区内基本均为较适宜区,不具备实际指导意义,故本次不局限于此规范分区。

对工程而言,浅层地温能是否适宜开发主要体现在钻井成本的差异和钻孔回填能力两方面。其

中钻井成本取决于第四系覆盖层厚度、基岩厚度等地层岩性的优劣程度。

根据《工程勘察设计收费标准》(2002 年修订本),全部是松散地层的开挖成本要远小于全部是岩石地层的开挖成本。另结合实际工程经验,当 100 m 地层范围内松散地层和岩石各占一定比例时,钻井成本要高于全岩石地层的钻井成本。按照实际工程经验成本估算如表 3(以 $\phi 130$ mm 钻孔为例)。

据此,在收集研究区钻井资料的基础上,可以得到各个钻孔及附近进行钻井活动的投资成本(设定钻进深度为 100 m),统计如表 4。

表 3 实际工程钻孔费用估算方法
Tab.3 Estimating method of the drilling cost in practical engineering

情况类型		成本估算方法	钻机类型
全土		泥浆护壁,20 元/m	小钻机
土厚≥50 m	无岩溶	土层 20 元/m,岩石 100 元/m	小钻机
	有岩溶	土层 20 元/m,岩石 160 元/m	小钻机
土厚<50 m	无岩溶	普通钻孔至基岩后用潜孔锤,40 ~ 50 元/m	潜孔锤加小钻机
	有岩溶	土层 20 元/m,岩石 110 ~ 140 元/m	小钻机
无土层	无岩溶	30 ~ 45 元/m	潜孔锤
	有岩溶	110 ~ 140 元/m	小钻机

表 4 各钻井总收费情况一览表
Tab.4 Total charges for each drilling

钻孔编号	岩土体特性			钻探费用/元
	土层厚度/m	基岩岩性	岩溶发育情况	
DGC03	85.0	砂岩	无岩溶	2 800
DGC07	85.0	砂岩	无岩溶	2 800
DGC08	65.0	灰岩	局部溶隙发育	5 000
DGC09	65.0	灰岩	无岩溶	5 000
DGC12	100.0			2 000
YGC02	85.0	灰岩	无岩溶	3 000
SSW05	93.0	灰岩	无岩溶	3 000
DGC3	46.0	灰岩	46 ~ 63 m 溶孔发育	10 000
DGC14	31.0	灰岩	溶孔、溶隙发育	12 000
JZK008	36.4	灰岩	37 ~ 53 m 断续岩溶发育	12 000
DGC26	52.0	灰岩	偶见溶孔	7 000
JZK005	48.0	砂岩夹灰岩	无岩溶	7 000
YGC06	32.0	页岩	无岩溶	4 000
DGC15	30.0	页岩	无岩溶	4 000
JZK011	18.0	页岩	无岩溶	4 500
DGC29	12.0	灰岩	岩溶发育	12 000
SSW07	3.2	灰岩	岩溶发育	12 000
YGC28	6.3	灰岩	岩溶发育	12 000
YSW02	12.0	灰岩	岩溶发育	12 000
YGC34	32.0	灰岩	岩溶发育	12 000
YGC18	26.0	灰岩	岩溶发育	12 000
YGC41	18.0	灰岩	岩溶发育	12 000
DGC16	8.2	灰岩	岩溶发育	12 000
DGC30	32.0	粉砂岩	无岩溶	4 000
JZK009	8.3	灰岩	无岩溶	4 000
JZK012	33.0	砂岩	无岩溶	4 000
DGC32	62.0	粉砂岩	无岩溶	3 500
YGC52	50.0	粉砂岩	无岩溶	3 500
YGC49	42.0	粉砂岩	无岩溶	4 000
YGC61	33.0	灰岩	无岩溶	4 000
DGC27	38.0	粉砂岩	无岩溶	4 000
SSW06	16.0	灰岩	岩溶发育	12 000
YGC55	1.2	灰岩	无岩溶	6 500
DGC21	11.0	砂岩夹灰岩	无岩溶	6 500
YGC56	8.2	灰岩	岩溶发育	12 000
DGC18	16.0	砂岩夹灰岩	无岩溶	6 500

注:本统计表为实际钻探施工费用,与估算值存在一定差异。

3.3 分区方法

根据前文所述,徐州主城区岩土体热物理性质均适宜浅层地温能的开发应用,其余第四系厚度、卵石层厚度、含水层厚度、岩溶发育程度等均为制约钻探成本的基本因素,根据表3、表4统计钻探成本,将上述各单项评价因子综入评价。

以普通办公住宅为例,徐州地区空调总成本在500元/m²,供热负荷是100W/m²。工程中一般认为钻孔成本高于总成本的30%时,属于高成本。结合之前的热响应测试结果,徐州城市规划区地埋管冬季工况换热功率的平均值为47W/m。那么满足每平方米的冬季负荷要求,需要2m深钻孔的换热量提供。当钻孔的成本为75元/m时,即100m钻孔总成本为7500元时为高成本。我们定义钻孔成本占总成本的15%~30%为较适宜区;钻孔成本小于总成本的15%时为适宜区;钻孔成本高于30%为不适宜区,具体见表5。

表5 地埋管地源热泵系统适宜性分区标准及类型

Tab.5 Standards and types of suitability zoning of buried tube ground-source heat pump system

钻孔成本/元	适宜类型
>7 500	不适宜区
3 750 ~ 7 500	较适宜区
<3 750	适宜区

根据实施钻孔情况,结合区域地质发育情况,筛选出在徐州地区可能出现的地层。浅层地温能适宜性分区主要分为以下几种情况。

适宜区: 松散层在80 m以上且不存在岩溶地层; 无岩溶地层。

较适宜区: 松散层厚度大于50 m,存在岩溶; 松散层厚度小于50 m,存在碳酸盐岩,但岩溶不发育。

不适宜区: 第四系厚度小于50 m且岩溶发育。

3.4 分区结果

研究得出了徐州城市规划区地埋管地源热泵系统适宜性分区图(图3)。

徐州主城区地埋管换热适宜区域面积为131.73 km²,主要分布在规划区西北部及云龙区南部大面积区域。

较适宜区面积为277.47 km²,主要分布于鼓楼、泉山、铜山区一线以西,及贾汪区西南部。

不适宜区面积为234.94 km²,主要分布在鼓楼区北部,鼓楼、泉山、铜山区一线以东至云龙区,呈长条状分布,及铜山区东部和贾汪区南部。

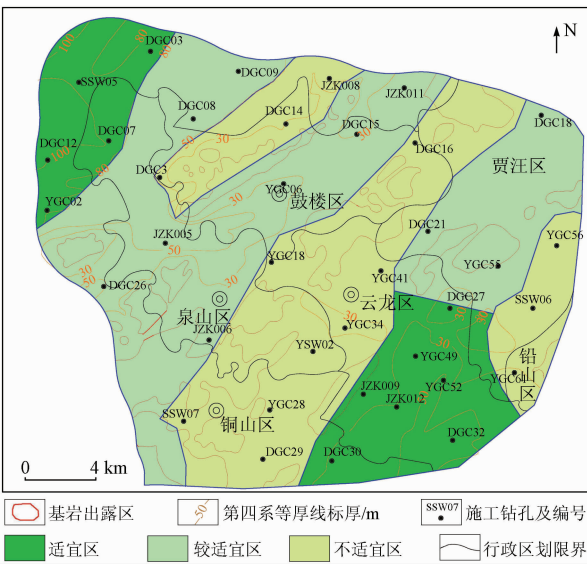


图3 地埋管地源热泵系统适宜性分区图
Fig.3 Suitability zoning of ground-source heat pump system

本次评价适宜区范围内,目前尚无大型居民区,仅徐州潘塘收费站有一处开发利用工程。浅层地温能开发利用主要集中在较适宜区,如贾汪区目前已建成浅层地温能装机总容量10万m²;坐落在鼓楼区的徐州市植物园总面积40万m²,目前浅层地温能利用效果良好。整体而言,本次分区基本符合徐州主城区开发利用实际,具备较强的指导作用。

4 结论

(1)徐州市主城区位于徐州复式背斜及其两翼,地势起伏,第四系厚度变化加大,地下水以碳酸盐岩岩溶裂隙水为主,浅层地温能资源赋存条件较差,但潜力巨大。

(2)开发利用浅层地温能应因地制宜选用合适的地源热泵系统,结合徐州市主城区实际情况,不具备开发利用水源热泵条件,仅能开发地埋管地源热泵系统。

(3)通过取样试验和现场热响应试验,单位孔深排热量均满足浅层地温能开发利用条件,本次仅以钻探成本高低进行了适宜性分区,使浅层地温能开发应用更具操作性。

参考文献:

[1] 韩再生,冉伟彦. 城市地区浅层地温能评价方法探讨[J]. 城市地质,2007,2(4):9-15.

- [2] 王贵玲,刘峰,王婉丽.我国陆区浅层地温场空间分布及规律研究(一)[J]. 供热制冷,2015(2):52-54.
- [3] 郝小充,余跃进,毛炳文,等.岩土热响应试验在土壤源热泵系统设计中的应用[J]. 制冷学报,2011,32(6):44-48.
- [4] 杨志昆.埋管地源热泵换热器的热响应测试与数值模拟[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [5] 邓鼎兴.埋管地源热泵水热耦合模拟与浅层地温能适宜性评价[D].武汉:中国地质大学(武汉),2015.
- [6] 王茂盛.地热换热器循环液温度设定对地源热泵系统影响的分析与研究[D].济南:山东建筑大学,2010.
- [7] 闫福贵.呼和浩特市浅层地温能开发利用适宜性评价研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
- [8] 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.
- [9] 冯超臣,黄文峰.山东省菏泽市聊城—兰考断裂带西部地区地热资源评价[J]. 中国地质调查,2015,2(8):55-59.
- [10] 谭志容,康凤新.山东省临清坳陷区岩溶热储地热能潜力分析[J]. 中国地质调查,2018,5(1):10-15.
- [11] 周阳,邓念东,王凤,等.浅层地热能适宜性分区结构的分形原理[J]. 中国地质调查,2017,4(1):18-23.
- [12] 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.
- [13] 景佳俊,陶文杰,管祯.徐州市第四系孔隙水特征研究[J]. 中国地质调查,2017,4(2):73-77.
- [14] 刘俊,张旭,高军,等.地源热泵桩基埋管传热性能测试与数值模拟研究[J]. 太阳能学报,2009,30(6):727-731.
- [15] 杨卫波,施明恒.基于线热源理论的垂直U型埋管换热器热模型的研究[J]. 太阳能学报,2007,28(5):482-488.

Study on suitability zoning of shallow geothermal energy development
in the main urban zone of Xuzhou City

JING Jiajun, WANG Hongpei, GUAN Zhen, SHAN Yuyang

(The fifth Geological Brigade of Jiangsu Geology and Mineral Exploration Bureau, Xuzhou 221004, China)

Abstract: Shallow geothermal energy is increasingly used in heating and cooling for urban buildings due to its characteristics of wide distribution, large reserves, high efficiency and no pollution. But there are many factors restricting the development and utilization of shallow geothermal energy, which mainly include geology, hydrogeology, thermophysical property of rocks and soils as well as construction conditions. Now, the development of shallow geothermal energy in Xuzhou is disordered, which causes extreme waste of resources and serious geological environment problems. The buried tube ground-source heat pump is the research emphasis of this paper. Through the collection of rock and soil samples and on-site thermal response test, the authors found out that under the premise of only considering the thermophysical conditions, all areas are suitable to develop and utilize buried tube ground-source heat pump. So, the major restricting factor of shallow geothermal energy development is the drilling cost. According to the drilling cost, the authors made the regional suitability zoning for buried tube ground-source heat pump, and the study area is divided into the favorable zone, suitable zone and unsuitable zone.

Key words: shallow geothermal energy; suitability; ground-source heat pump system; drilling cost; main urban zone of Xuzhou City

(责任编辑: 刘丹)