

德州市浅层地温能资源潜力评价

李志恒,卢建荣,杜凤林,刘欢,李东亮,万鑫

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253015)

摘要:随着我国社会经济的快速发展,对能源的需求大幅增加,供需矛盾越来越突出,煤炭、石油、天然气等常规能源的大量消耗对环境造成的压力也越来越大。浅层地温能是一种可再生的新型环保能源,逐步受到各级政府及社会各界的重视。通过对德州城区浅层地温能赋存条件的分析,利用试验测试数据对浅层地温能热容量进行了计算,并在适宜性分区基础上,进行了浅层地温能资源潜力评价。结果表明,德州城区120 m深度内浅层地热容量为 8.525×10^{13} kJ/°C,相当于291万t标准煤。整个德州城区为地下水换热系统不适宜区,而适宜埋管换热系统。在埋管换热系统适宜区内,120 m深度范围内考虑土地利用系数,计算得出夏季换热功率为339.18万kW,冬季换热功率为343.22万kW。夏季可制冷面积 4.845×10^7 m²,冬季可供暖面积 6.240×10^7 m²。

关键词:浅层地温能;换热功率;埋管换热系统;德州市

中图分类号:TU984

文献标识码:B

引文格式:李志恒,卢建荣,杜凤林,等.德州市浅层地温能资源潜力评价[J].山东国土资源,2017,33(5):42-46. LI Zhiheng, LU Jianrong, DU Fenglin, etc. Assessment on Potential of Shallow Geothermal Resources in Dezhou City [J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(5): 42-46.

0 引言

浅层地温能是一种可再生的新型环保能源,是一种新型的战略资源,也是一种非传统矿产资源,其开发利用有利于我国能源结构的调整,且前景广阔。开发利用浅层地温能对构建资源节约型和环境友好型社会、保障国家能源安全、改善我国现有能源结构、促进国家节能减排战略目标的实现具有非常重要的意义。

德州市位于山东省西北部,地源热泵系统工程应用尚处于起步阶段,对于浅层地温能资源的调查评价工作也刚刚开始。开展针对德州城区的浅层地温能调查评价工作,进一步查明城区及周边浅层地温能资源的储存条件,更准确地计算资源量,并进行适宜性分区评价,为更好的开发利用浅层地温能、推广地源热泵系统的工程应用提供更翔实可靠的技术支撑。对促进开发绿色能源、实现节能减排目标意义重大^[1-8]。

1 浅层地温能赋存条件

1.1 浅层地质结构特征

根据地貌、地质构造及岩土体组合特征,德州市位于鲁西北黄河冲积平原区,由于区域地壳运动以下降为主,区内沉积了巨厚的松散堆积物;松散堆积物的成因类型主要有冲积、湖积及海积。不同成因类型及不同地貌单元土体的工程地质性质变化较大,土体结构一般以上层粘性土多层结构为主,其次为上层粘性土双层结构和单层结构,以及上层砂性土多层结构。

区内200 m以上沉积物为第四纪全新统、更新统冲积、湖积、海相沉积。土层岩性多为粉土、粉质粘土及粉砂、细砂、粉细砂。分布特征受沉积环境影响,其天然含水量、孔隙比、压缩性均较大。土体工程地质类型主要可分为粘性土单层结构、砂性土单层结构、上层粘性土下层砂性土双层结构、上层粘性土多层结构及上层砂性土多层结构^[9-14]。

收稿日期:2016-04-16;修订日期:2016-12-23;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省国土资源厅,德州市浅层地温能调查评价,编号:鲁国土科字(2015)003号

作者简介:李志恒(1974—),男,青海共和人,工程师,主要从事水工环、地理信息系统、数据库建设等工作;E-mail:lizh009@163.com

1.2 水文地质条件

德州市在平面上属于黄河下游冲积平原孔隙水文地质区;在垂向上,200 m以浅地下水赋存于第四系不同粒径的含水层中,在空间分布上,结构复杂,重叠交错,地下水具有明显的分带性。按含水层(组)在垂向上的埋藏条件和水化学成分的差异,并结合地下水的开发利用现状,200 m以浅划分为2个含水层组:

1.2.1 浅层潜水-微承压水含水层(组)

埋藏于0~60 m,按水力性质划分,除上部为潜水外,因局部隔水层的存在,下部具有微承压性,在全区均有分布。受中层咸水顶界面的影响,区内浅层地下水上部多为淡水(矿化度小于2 g/L),下部

多为微咸水和咸水,浅层淡水底界面埋深起伏变化较大,一般10~27 m,个别地段为全咸区。地下水位的埋深和变幅2 m左右,多年动态表现基本稳定,水位主要受降水量的控制,2005年以后由于补给量较大,水位总体呈现平衡或略微上升趋势。

1.2.2 中深层承压水含水层(组)

中深层承压水埋藏于60~200 m,矿化度大于2 g/L,局部高达10 g/L以上,其水化学类型大部分为氯化物硫酸-钠型水;含水层由河湖相粉细砂、粉砂组成,累计厚度20~30 m,分布不稳定,水位埋深一般为30 m左右。由于水质较差,目前基本上处于未开发状态,水位动态变化较小,水位埋深一般在8.5 m左右(图1)。

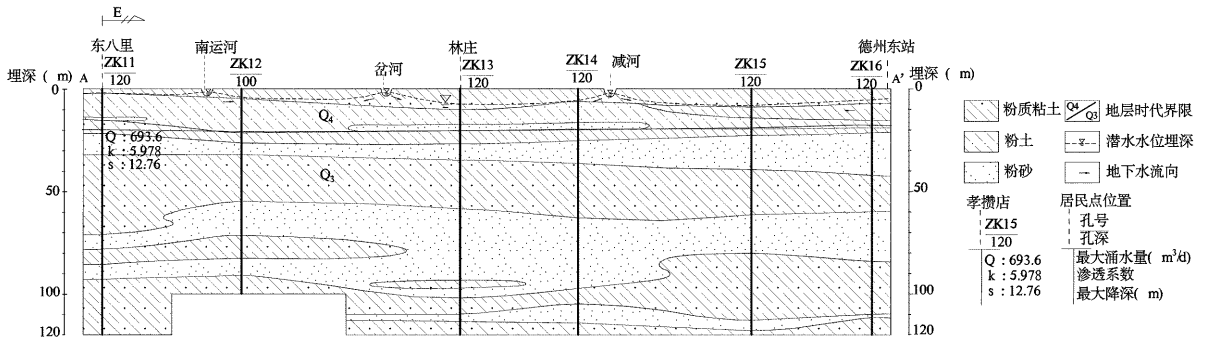


图1 地下水含水层分层剖面图

1.3 浅层地温场特征

根据钻孔内测温数据统计可知,区内恒温带温度在13.9~16.6℃之间,岔河两侧的中心城区及高铁新区一带温度较高,在14.6~16.6℃之间,其余地段在13.9~14.5℃之间。区内恒温带上限总体在10~30 m之间,岔河两侧及开发区东部埋深较大,在18~24 m之间;运河以西及减河以东区域埋深较浅,在10~16 m之间。根据测温资料综合分析计算,区内浅层地温梯度的变化范围为2.0~3.1℃/100 m,平均地温梯度2.32℃/100 m,其地温场特征如图2。

2 适宜性分区

2.1 分区原则及依据

以地质、水文地质条件为基础,经济条件与技术手段相结合,以地下水和地埋管2种换热方式为主,从平面划分与垂向控制综合考虑,坚持资源开发利用与地质环境保护并重的原则。依据《浅层地热能

勘查评价规范》中的技术要求,结合相关法律法规和政策进行分区。

2.2 换热系统适宜性分区

2.2.1 地下水换热系统

根据规范当中关于指标法的规定,结合作业区的地质特征,选取单位涌水量、回灌率/水位埋深、地下水位年下降量、重要水源地保护区及地面沉降等指标进行地下水换热系统适宜性分区。

由于德州城区浅层地下水大部分地段水位埋深较浅、含水层厚度较小,造成回灌性能较差,灌采比基本上小于50%,根据指标法进行综合评判得出,德州城区为地下水换热系统不适宜区(图3)。

2.2.2 地埋管换热系统

按规范中指标法规定的适宜性评价体系,分别选择松散土体厚度、含水层总厚度和导热系数对地埋管换热系统进行适宜性分区。

可以看出,对于地埋管换热系统,德州城区大部

分属于适宜性较好区,面积 220.24 km²;适宜性中等区在城区南部岔河与减河中间区域分布,面积 16.76 km²,该地段砂层厚度 17~30 m。

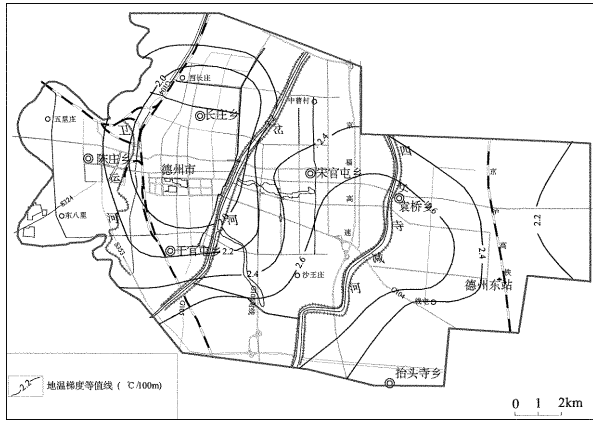


图 2 德州城区地温梯度等值线图(200 m)

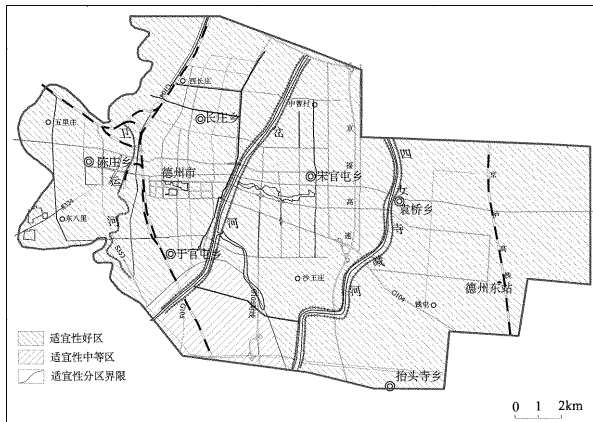


图 3 地理管换热系统适宜性分区图

3 浅层地热能资源潜力评价

浅层地热能资源评价应计算浅层地热能热容量、地理管换热功率和地下水换热功率。

3.1 浅层地热能热容量计算

3.1.1 计算方法

采用体积法计算浅层地热能热容量,应分别计算包气带和饱水带中的单位温差储藏的热量,然后合并计算评价范围内地质体的储热性能。

根据现场热响应试验取得的热导率或地理管换热器传热系数等基础数据,计算单孔换热功率,在浅层地热能条件相同或相近区域,根据单孔换热功率和浅层地热能计算面积,计算地理管换热功率。

(1)在包气带中,浅层地热能按式(1)计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A$$

$$Q_S = \rho_S C_S (1 - \varphi) M d_1$$

$$Q_W = \rho_W C_W \omega M d_1$$

$$Q_A = \rho_A C_A (\varphi - \omega) M d_1$$

式中: Q_R —浅层地热能(kJ/°C); Q_S —岩土体中的热容量(kJ/°C); Q_W —岩土体所含水中的热容量(kJ/°C); Q_A —岩土体中所含空气中的热容量(kJ/°C)。

(2)在饱水带中,浅层地热能按式(2)计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W$$

3.1.2 参数确定

面积 S :依据“计算分区平面图”,利用 MapGIS 地理信息系统自带的区属性参数进行换算、统计。

厚度(d_1, d_2):包气带厚度(d_1)根据各计算分区中所有水位埋深点的平均值。饱水带厚度(d_2)=200- d_1 。

岩土体的密度、含水量和孔隙度:利用土工试验的数据,对每个孔按照其地层岩性结合不同岩性参数值进行加权平均,来确定每个孔的岩土体的平均密度、含水量、孔隙度。

岩土体的比热容:根据土样热物性分析数据,按照厚度加权平均后所得。

空气、水的密度和比热容:采用《浅层地热能勘查评价规范》中的数值。

3.1.3 计算结果

根据上述的方法和参数进行了分区计算,得出德州城区 120 m 深度内浅层地热能热容量为 8.525×10¹³ kJ/°C,相当于 291 万 t 标准煤(表 1)。

表 1 120 m 深度浅层地热能热容量计算结果

分区	包气带热容量 $Q_{R气}(kJ/°C)$			饱水带热容量 $Q_{RW}(kJ/°C)$		浅层地热能热容量 $Q_R(10^{13}kJ/°C)$
	$Q_S(10^{11})$	$Q_W(10^{11})$	$Q_A(10^7)$	$Q_S(10^{13})$	$Q_W(10^{13})$	
I	0.038	0.035	0.104	0.027	0.048	0.076
II ₁	2.320	1.820	3.658	0.855	1.106	2.003
II ₂	0.662	0.402	0.664	0.203	0.190	0.404
II ₃	0.045	0.033	0.079	0.026	0.033	0.060
III ₁	3.706	3.047	5.695	0.878	1.158	2.103
III ₂	2.803	1.650	4.043	0.668	0.705	1.418
IV	4.576	3.003	7.445	0.711	0.840	1.626
V	1.629	1.121	2.504	0.205	0.243	0.476
VI	0.949	0.657	1.400	0.092	0.107	0.215
VII	0.775	0.560	1.195	0.059	0.073	0.145
合计						8.525

3.2 浅层地热能换热功率计算

由上述适宜性分区可知,德州城区均为地下水换热系统不适宜区,因此,不做地下水换热功率的计算,只对埋管换热功率进行计算评价。

3.2.1 计算分区及参数确定

(1) 计算分区

根据埋管换热系统适宜性分区结果,利用现场热响应试验测得的综合热导率对适宜区内可利用的浅层地热能进行分区计算。

(2) 参数的确定

埋管式地源热泵适宜区换热功率的计算方法采用热传导法式(3):

$$Q_h = D \cdot n \cdot t \cdot 10^{-3}$$

式中: Q_h —评价区浅层地热能可开采量(kWh); D —单孔换热功率(W); n —计算面积内换热孔数; t —时间(h)。其中:

$$D = \frac{2\pi L |t_1 - t_4|}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{\lambda_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}}$$

面积 S :根据综合热导率分区图,应用MapGIS地理信息系统自带的区属性数据进行换算、统计;热导率 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$:PE管热导率为 $\lambda_1 = 0.42 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;其他参照《浅层地热能勘查评价规范》中的数值。

埋管换热器长度 L :埋管换热管长度 L 按117 m取值。

计算半径 r_1, r_2, r_3, r_4 :埋管束的等效半径 $r_1 = 0.026 \text{ m}$,埋管束的等效外径 $r_2 = 0.029 \text{ m}$,换热孔径 $r_3 = 0.065 \text{ m}$,影响半径 $r_4 = 2.5 \text{ m}$ 。

管内流体平均温度 t_1 及影响半径外岩土温度 t_4 : $\Delta T = |t_1 - t_4|$ 为埋管换热系统运行时所利用的温差,根据试验设定取 5°C 。

可钻孔数 n 和土地利用系数 τ :可钻孔数 n 为计算区面积与单孔所占面积的比值。

根据城建规划及建成区面积,土地利用系数取3%。

3.2.2 计算结果

通过计算,在埋管换热系统适宜区内,在120 m深度范围内考虑土地利用系数,计算得出夏季换热功率为339.18万kW,冬季换热功率为343.22万kW。计算结果见表2。

表2 埋管换热系统120 m深度换热功率计算结果

分区编号	利用面积 $S(\text{km}^2)$	可钻孔数(个)	换热功率	
			夏季(kW)	冬季(kW)
I	0.67	26991	150022.1	148664.4
II ₁	2.42	96998	615783.0	534236.2
II ₂	1.21	48452	249839.6	314479.8
III ₁	3.83	153380	840350.4	940739.1
III ₂	1.83	73355	423920.4	472834.3
III ₃	0.83	33294	204697.0	204325.1
III ₄	0.04	1684	10134.07	11262.24
IV ₁	1.53	61117	407576.3	366080.1
IV ₂	1.48	59284	394860.7	354659.1
IV ₃	0.33	13258	88061.53	79095.82
IV ₄	0.02	987	6526.887	5862.372
合计	14.2	568800	3391772.0	3432239

3.3 浅层地热能资源潜力评价

浅层地热能资源潜力评价以单位面积可利用资源量(Q_h)可供暖/制冷面积来衡量。夏季制冷负荷 $70 \text{ W}/\text{m}^2$,供暖负荷 $55 \text{ W}/\text{m}^2$ (表3)。则:资源潜力(可供暖/制冷面积) $= Q_h/\text{制冷或供暖负荷}$

根据上述公式计算,120 m埋深范围内,夏季可制冷面积 $4.845 \times 10^7 \text{ m}^2$,单位面积可利用资源量可制冷面积 $2.30 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2$,冬季可供暖面积 $6.240 \times 10^7 \text{ m}^2$,单位面积可利用资源量可供暖面积 $2.91 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2$,计算结果见表3。

表3 埋管换热系统120 m深度资源潜力计算结果

分区编号	计算面积 $S(\text{km}^2)$	单位面积可利用资源量可供暖/制冷面积			
		夏季制冷面积(10^4 m^2)	夏季单位制冷面积($10^4 \text{ m}^2/\text{km}^2$)	冬季供暖面积(10^4 m^2)	冬季单位供暖面积($10^4 \text{ m}^2/\text{km}^2$)
I	11.25	214.32	19.06	270.30	24.03
II ₁	40.42	879.69	21.77	971.34	24.03
II ₂	20.19	356.91	17.68	571.78	28.32
III ₁	63.91	1200.50	18.78	1710.43	26.76
III ₂	30.56	605.60	19.81	859.70	28.13
III ₃	13.87	292.42	21.08	371.50	26.78
III ₄	0.70	14.48	20.64	20.48	29.19
IV ₁	25.47	582.25	22.86	665.60	26.14
IV ₂	24.70	564.09	22.84	644.83	26.10
IV ₃	5.52	125.80	22.77	143.81	26.03
IV ₄	0.41	9.32	22.67	10.66	25.91
合计	237	4845.39	229.96	6240.43	291.44

4 结论

(1)区内200 m以上沉积物为第四纪全新统、更新统冲积、湖积、海相沉积。土层岩性多为粉土、粉质粘土及粉砂、细砂、粉细砂。

(2) 区内恒温带温度在 13.9~16.6℃ 之间, 岔河两侧的中心城区及高铁新区一带温度较高, 在 14.6~16.6℃ 之间, 其余地段在 13.9~14.5℃ 之间。

(3) 整个德州城区为地下水换热系统不适宜区。对于埋管换热系统, 德州城区大部分属于适宜性较好区, 面积 220.24 km²; 适宜性中等区在城区南部岔河与减河中间区域分布, 面积 16.76 km²。

(4) 在埋管换热系统适宜区内, 在 120 m 深度范围内考虑土地利用系数, 计算出夏季换热功率为 339.18 万 kW, 冬季换热功率为 343.22 万 kW。

(5) 120 m 埋深范围内, 夏季可制冷面积 4.845×10⁷ m², 单位面积可利用资源量可制冷面积 2.30×10⁶ m²/km², 冬季可供暖面积 6.240×10⁷ m², 单位面积可利用资源量可供暖面积 2.91×10⁶ m²/km²。

综上所述, 德州城区浅层地热能资源丰富, 地层结构相对简单, 适合推广以垂直埋管作为换热系统的地源热泵工程, 对于发展绿色经济、提升空气质量、实现节能减排目标将有积极而深远的影响。

参考文献:

[1] 北京市地质矿产勘查开发局. 北京浅层地热能资源[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.

- [2] 卫万顺, 李宁波, 冉伟彦, 等. 中国浅层地热能资源[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.
- [3] 卫万顺, 郑桂森, 冉伟彦, 等. 浅层地热能资源评价[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010.
- [4] 龙西亭, 袁瑞强, 皮建高, 等. 长沙浅层地热能资源调查与评价[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1): 163-176.
- [5] 田光辉, 王曦, 林黎, 等. 天津市浅层地热能开发利用试点工作成果浅析[J]. 地下水, 2012, 34(1): 64-65.
- [6] 马峰, 王潇媛, 王贵玲, 等. 浅层地热能干热岩资源潜力与开发前景分析[J]. 科技导报, 2015, 33(19): 49-53.
- [7] 王贵玲, 蔺文静, 张微. 我国主要城市浅层地热能利用潜力评价[J]. 建筑科学, 2012, 28(10).
- [8] 赵云章, 闫震鹏, 田良河, 等. 河南省城市浅层地热能[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [9] 刘立才, 王金生, 张霓, 等. 北京城市规划区水源热泵系统应用适宜性分区[J]. 水文地质工程地质, 2006, (6): 15-17.
- [10] 苏永强, 刘忠凯. 河北省衡水市区浅层地热能特征及应用前景分析[J]. 地质调查与研究, 2011, 34(1): 40-45.
- [11] 于志明, 彭晓峰, 方肇洪, 李晓东. 基于线热源模型的地下岩土热物性测试方法[J]. 太阳能学报, 2006, 27(3): 279-283.
- [12] 张长兴, 胡松涛, 李绪泉. 基于线热源模型的地源热泵系统运行模拟[J]. 建筑科学, 2008, 24(12): 71-76.
- [13] 杨卫波, 施明恒, 陈振乾. 基于解析法的地下岩土热物性现场测试方法的探讨[J]. 建筑科学, 2009, 25(8): 60-64.
- [14] 周爽. 浅谈浅层地热能[J]. 吉林农业 c 版, 2011, (12): 248-248.

Assessment on Potential of Shallow Geothermal Resources in Dezhou City

LI Zhiheng, LU Jianrong, DU Fenglin, LIU Huan, LI Dongliang, WAN Xin
(Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

Abstract: Accompanying with rapid development of social economy in China, the demand of energy increased greatly. The contraction between supply and demand of energy has become more and more prominent. The pressure caused by the consumption of coal, petroleum, natural gas and other conventional energy to the environment is becoming more and more great. As a renewable environment-friendly energy, shallow geothermal resource has been paid more attention gradually by governments at all levels. Through analysis on the storage conditions of shallow geothermal resources in Dezhou city, by using testing data, shallow geothermal capacity has been calculated. Based on the suitability partition, shallow geothermal energy resource potential evaluation has been carried out. As showed by the results, shallow geothermal capacity in the depth of 120m in Dezhou city is 8.525×10¹³kJ/℃, which is equivalent to 2.91 millions of tons of standard coals. The whole Dezhou city belongs to unsuitable area for groundwater heat exchanger system, but it is suitable for pipe heat exchanger system. Within the suitable area for pipe heat exchanger system, in consideration of land utilization factor in the depth of 120m, it is calculated that the heat exchanger power for summer is 3391800kw, heat exchanger power for winter is 3432200kw, the refrigerated area for summer is 4.845×10⁷m², and refrigerated area for winter is 6.240×10⁷m².

Key words: Shallow geothermal resources; heat exchanger power; pipe heat exchanger system; Dezhou city