

# 重庆主城区浅层地温能资源量评价研究

张甫仁<sup>1</sup> 彭清元<sup>2</sup> 朱方圆<sup>1</sup> 张华民<sup>1</sup> 杨新杰<sup>2</sup> 陶嘉祥<sup>2</sup>

(1.重庆交通大学 机电与汽车工程学院,重庆 400074;2.重庆市地勘局 南江水文地质工程地质队,重庆 401147)

**摘要:**基于重庆地区浅层地温能的调查和主城区浅层地温能适宜性分区评价结果,结合校正后的岩土热物性数值,进行了重庆主城区浅层地温能资源量评价,包括适宜区浅层地温能热容量和可利用资源量统计,并得到了重庆市主城区九区浅层地温能的资源量分布情况,从而有效评价了重庆主城区地下浅部空间热能的调蓄能力,为开发与保护浅层地温能资源提供了可靠依据。

**关键词:**浅层地温能;热容量;埋管换热功率;资源量;

**中图分类号:**TK521 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)03-0974-07

当今社会,面对能源消耗强度越来越大的现实,开发新能源问题迫在眉睫。而浅层地温能资源作为一种可再生的洁净能源<sup>[1]</sup>,其开发利用不仅能节约大量高品位能,并且环境效益显著、应用面广。若在建筑物中大力利用则能够在很大程度上缓解能源的供应压力。目前,北京约有 2000 万 m<sup>2</sup>、辽宁已有超过 4300 万 m<sup>2</sup> 的建筑利用浅层地温能供暖制冷<sup>[2]</sup>。尽管采用土壤热泵系统基本上都能达到一定的节能效果,但是受当地地质、水文地质条件中多种因素的影响,蕴藏于地下岩土体内的浅层地温能资源的可开发性和分布存在极大差异,并不是所有的城市采用该项技术都能达到较高的收益。为了避免开发的盲目性,造成人力物力的浪费,因此针对具体地区开展浅层地温能资源量评价研究必将成为人们进一步的工作重点,并且为资源的可持续发展提供良好的指导作用。

## 1 研究对象

重庆地区地质以导热率为 2.5W/(m·k)以上的基岩为主(基岩包括砂岩、泥岩、灰岩等沉积岩)。

由于基岩的导热率相对较高(埋管换热器的

换热效率比北京、上海高 15%~20%),因此重庆市浅层地源热泵在重庆的发展潜力巨大。由于相关资料及地温能的开发与利用提供了很好的地质基础。以砂岩、泥岩为典型地质条件的重庆地域广阔,但因工作量的限制,本文仅针对重庆市主城区九区城市建设的主要区域(总面积约 1670 km<sup>2</sup>,其中重点调查区 580 km<sup>2</sup>,一般调查区 1090 km<sup>2</sup>)进行浅层地温能资源量评价研究。

## 2 重庆市具体情况

### 2.1 气象条件

重庆气候属典型的亚热带湿润性季风气候,具年平均气温高,空气湿度大,降雨量充沛,少冰雪严寒,夏秋多雨,春冬多雾的特点。奉节以东峡谷地段,以及大巴山、云贵高原北延部分,气候要素随时空变化明显,显示出一定的垂直分带性。

全境多年平均气温 17.5~18.5℃,冬季极端最低气温-3.7℃,夏季极端气温达 42.2℃。区内多年平均降水量为 1160 mm,最大年降水量 1 544.8 mm,最小年降水量 740.11 mm。年降水的 70%主要集中在 5~9 月,为丰水期,12 月至次年的 3 月降水量小于

收稿日期:2012-07-20;改回日期:2013-04-01

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212011120055)及重庆市地质矿产勘查项目(D4-5)共同资助。

作者简介:张甫仁,男,1975 年生,博士,教授,主要从事燃气、暖通与热能领域方面的研究;E-mail:zh\_feixue@163.com。

10%,为枯水期,其余月份为平水期。年降水量分配不均,3~5年或10余年内,常出现春旱或伏旱现象,本区的地下水补给及动态变化特征与此种气候因素有相当密切的关系。区内年蒸发量956~1050 mm,每年6—9月的蒸发量占全年蒸发量的50%。

## 2.2 水文地质、工程地质条件

重庆主城九区(调查区)属扬子地层区四川盆地区。主要为沉积岩地区,岩相稳定、标志层明显,褶皱构造较简单,断裂不发育。区内发育二叠系、三叠系、侏罗系,并零星分布第四系堆积物。本次调查区地处低山丘陵区,基岩大面积出露。岩体主要有坚硬块状砂岩岩类、坚硬—软质块状砂岩夹泥岩岩类、软质—坚硬层状泥岩夹砂岩岩类、软质层状泥岩岩类、软质薄层状泥岩岩类、坚硬弱岩溶化岩类和坚硬的强岩溶化岩类共7种。

区内碎屑岩广布,碳酸盐岩次之,松散岩零星分布。碎屑岩可分半坚硬和坚硬岩石两类,前者侏罗系红层,岩性以泥岩为主,夹砂岩及极少量灰岩,其中泥岩性软,抗风化能力弱,遇水易软化,抗压及抗剪强度均较低,夹层砂岩岩性相对坚硬,厚度不够稳定,风化破坏后的抗压强度显著降低。碳酸盐岩主要是三叠系雷口坡组、嘉陵江组,岩性有石灰岩、白云岩、角砾状灰岩及少量的泥灰岩和页岩,其中灰岩、白云岩结构致密,质地坚硬,为高抗压强度的坚硬岩石,角砾状灰岩成分复杂多样,强度均一性差。并且重庆市主城区内的地貌发育受岩性和构造的控制明显。背斜成条状山,向斜成宽缓丘陵,局部呈桌状山,江河横切山脉成峡谷,其他地方一般均为丘陵地形,构造线与山脊线一致,呈北北东—南北向展布,其景观展布与构造线相吻合。受岩性的控制,在背斜山地,凡有石灰岩出露的地方,往往形成岩溶槽谷;由坚硬的须家河组长石石英砂构成山地两侧的外山,呈现锯齿状列峰山岭;在向斜地区,随地层产状变化和红层岩性的差异,往往形成“坪”、“岭”、“丘”地形。区内地貌主要为长江河谷丘陵地貌及平行岭谷地貌。长江为区内最低侵蚀基准面,标高154~178 m,东部及东南部地势高,一般海拔标高为650~800 m。

调查区内地下水水位约位于地下7.68 m深处,水化学类型多属碳酸型,水温多在18℃左右,矿化度低(矿化度小于1000 mg/L)。区域内属于浅层地温能范畴的浅层地下水可分为孔隙水和基岩裂隙水。

## 3 岩土体热物性测试及数据处理

### 3.1 现场热响应试验

目前,国内外一致认为,热响应试验是获取地下岩土热物性的有效技术措施<sup>[3]</sup>,热响应测试的目的在于准确获得岩土体的综合热物性参数(综合导热率及热阻),了解地下埋管换热器的换热能力(每延米换热量),为地源热泵系统的设计提供基础数据,以保障系统长期运行的高效与节能。

现场热响应的研究主要有线热源模型<sup>[4]</sup>和圆柱热源模型<sup>[5]</sup>。本研究采用线热源模型进行计算,因为其简单易懂,方便操作,而且精度能满足工程应用,它也是国内大多数热响应研究所使用的模型<sup>[6]</sup>。因此在已有工作——“重庆主城区浅层地温能适宜性分区”的基础上,对调查区内具有代表性的10处进行了热响应测试,这为资源量评价提供了最原始的数据。具体钻孔布点位置见图1,

本研究采用恒热流法进行热响应测试,用电加热法向土壤中输入恒定的热流以模拟夏季空调工况,持续48 h后认为土壤处于准稳态热平衡。原始地温的测定是在钻孔、埋管、回填料完成后7 d进行。测试则是在加热器投入使用之前,运行循环水泵1 d后进行的。

测试仪器采用重庆市南江地质队自主研发的现场热响应测试仪,该测试仪由4部分组成:循环系统、数据采集仪、数据输出、数据分析。数据采集装置与地下换热器相连接形成封闭的热循环系统,它内部有温度传感器、管道循环泵、电加热器、自动调温器、定压装置、流量计、压力计等部件组成,由一支铁皮箱封闭包装。数据输出是通过一些程序软件,将采集到的数据以特殊的格式存储在控制柜中的电脑里,也可转移到其他计算机中;可通过分析软件对采集到的数据进行分析,得到试验想要的的数据。

### 3.2 校正方法

研究表明,影响岩土体热物理参数的主要因素有含水率、孔隙率、岩土体密度、吸水率等。因测试是在恒定常温下进行的,故不考虑温度这一因素。由于影响因素的非相关性,本研究先以影响因素为自变量,热物性参数为因变量进行一元线性回归,统计出热物性参数随单影响因素的变化规律,再通过多元回归的方法确定出岩土体热物性随非相关多因素的变化情况,拟合出多元回归方程,对测试值进行修



图1 现场热响应试验分布图

Fig.1 Distribution of in-situ thermal response tests

正。由于钻孔较多,为周全考虑,统计数据的选取方法为加权算术平均值法。

### 3.3 热物性统计分析

为了尽量减少测量误差所引起的异常数据值,本研究以格罗布斯判据进行粗差剔除。

按照格罗布斯判据,对一系列测量值  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , 可保留的范围如式(1)所示。

$$(\bar{x} - G_n \cdot S) \leq x_i \leq (\bar{x} + G_n \cdot S) \quad (1)$$

式中,  $\bar{x}$  为这列测量值的平均值,  $S$  为测量列的标准偏差,  $G_n$  是一个和数据  $n$  相联系的系数, 可用下面的式(2)和式(3)拟合式求得:

$N < 30$  时取

$$G_n = \frac{\ln(n-2.65)}{2.31} + 1.305 \quad (2)$$

$N > 30$  时取

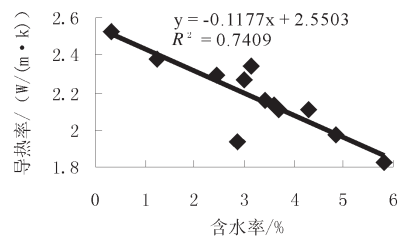


图2 砂岩导热率与天然含水率的拟合关系  
Fig.2 Fitting relationship between sandstone thermal conductivity and natural moisture content

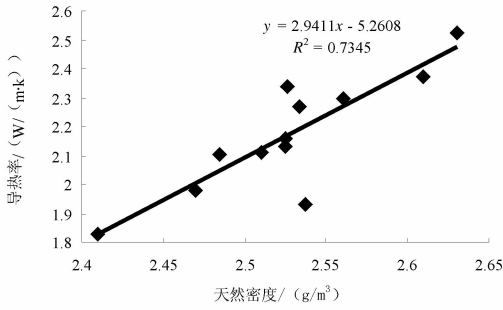


图 3 砂岩导热率与天然密度的拟合关系

Fig.3 Fitting relationship between sandstone thermal conductivity and natural density

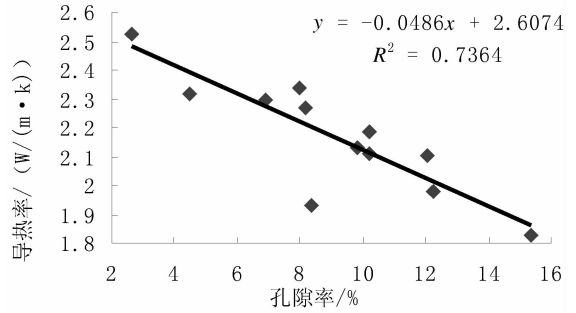


图 4 砂岩导热率与孔隙率的拟合关系

Fig.4 Fitting relationship between sandstone thermal conductivity and porosity

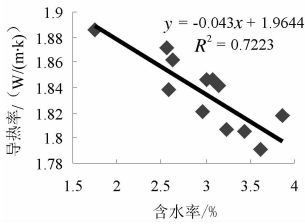


图 5 泥岩导热率与天然含水率的拟合关系

Fig.5 Fitting relationship between mudstone thermal conductivity and natural moisture content

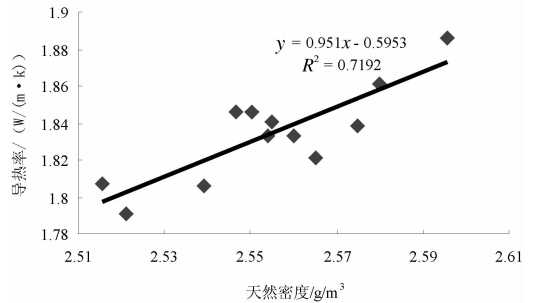


图 6 泥岩导热率与天然密度的拟合关系

Fig.6 Fitting relationship between mudstone thermal conductivity and natural density

$$G_n = \frac{\ln(n-3)}{2.30} + 1.36 - \frac{n}{550} \quad (3)$$

用 Excel 制作原始数据处理表,条件筛选。将数据中超出(1)式范围的超差数据列为异常值,予以剔除;然后拟合经验公式:分别绘制出砂岩和泥岩两种不同岩性的导热率、比热容随单影响因素即含水率、孔隙率、岩土体密度、吸水率等变化的一元线性关系。砂岩的导热率随单影响因素变化的一元线性关系具体如图 2~4 所示。

泥岩的导热率随单影响因素变化的一元线性关系具体如图 5~7 所示。

同理亦可绘制出砂岩和泥岩的比热容随单影响因素变化的一元线性关系,然后再根据多元回归方法: $R \geq 0.7$  为强相关关系、 $0.3 < R < 0.7$  为一般相关关系的判别标准<sup>[7]</sup>,得到砂岩、泥岩热物性回归方程如表 1、2 所示。

将热响应测试所测基础数据代入回归方程对数据进行筛选校正后,调查区砂岩和泥岩的导热率、比热容数值结果对比如表 3~4 所示。

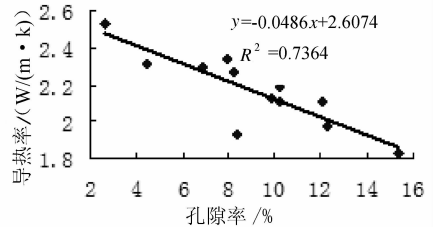


图 7 泥岩导热率与孔隙率的拟合关系

Fig.7 Fitting relationship between mudstone thermal conductivity and porosity

## 4 重庆市主城区浅层地温能资源量评价

重庆市主城区浅层地温能资源评价包括适宜区浅层地温能热容量和可利用资源量的统计。

### 4.1 适宜区浅层地温能热容量计算

#### 1) 热容量计算网格剖分



表 1 砂岩热物性回归方程统计

Table 1 Statistics of regression equation of sandstone thermal properties

热物性	砂岩	R <sup>2</sup>	适用范围
导热率	y=5.0742-0.00052W-0.92145ρ+0.0638e	0.74	主城区
比热容	y=1.99033-0.0027W-0.37181ρ+0.0011e	0.75	主城区

注:W、ρ、e 分别表示岩土体的天然含水率、天然密度、孔隙率。

表 2 泥岩热物性回归方程统计

Table 2 Statistics of regression equation of mudstone thermal properties

热物性	泥岩	R <sup>2</sup>	适用范围
导热率	y=1.7666-0.00015W+0.0606ρ-0.0100e	0.77	主城区
比热容	y=0.9529+0.003631W-0.053ρ-0.0004e	0.91	主城区

注:W、ρ、e 分别表示岩土体的天然含水率、天然密度、孔隙率。

表 3 调查区砂岩导热率、比热容校正前后数据一览表

Table 3 Sandstone thermal conductivities, heat capacities before and after correction

区名称	参数		导热率 W/(m·k)		比热容 kJ/(kg·k)	
	校正前	校正后	校正前	校正后	校正前	校正后
木耳镇 ZK1	2.11	2.02	1.05	1.04		
王家镇 ZK2	1.98	2.01	1.06	1.04		
双凤桥街道 ZK3	2.11	2.11	1.04	1.03		
蔡家镇 ZK4	1.83	1.87	1.10	1.06		
悦来镇 ZK5	2.27	2.21	1.05	1.03		
双龙湖街道 ZK6	2.53	2.48	1.01	1.01		
石坪镇 ZK7	2.18	2.09	1.06	1.03		
龙兴镇 ZK8	1.93	2.20	1.07	1.03		
虎溪镇 ZK14	2.29	2.28	1.05	1.03		
鸡冠石镇 ZK15	2.31	2.38	1.01	1.01		
华岩镇 ZK17	2.13	2.12	1.07	1.03		
鱼洞镇 ZK18	2.34	2.24	1.06	1.03		

表 4 调查区泥岩导热率、比热容校正前后数据一览表

Table 4 Mudstone thermal conductivities, heat capacities before and after correction

区名称	参数		导热率 W/(m·k)		比热容 kJ/(kg·k)	
	校正前	校正后	校正前	校正后	校正前	校正后
木耳镇 ZK1	1.84	1.84	0.83	0.82		
王家镇 ZK2	1.82	1.82	0.84	0.83		
双凤桥街道 ZK3	1.87	1.86	0.82	0.82		
蔡家镇 ZK4	1.84	1.82	0.84	0.83		
悦来镇 ZK5	1.82	1.83	0.83	0.83		
双龙湖街道 ZK6	1.83	1.83	0.83	0.83		
石坪镇 ZK7	1.84	1.82	0.84	0.83		
龙兴镇 ZK8	1.84	1.85	0.83	0.82		
虎溪镇 ZK14	1.82	1.83	0.83	0.82		
鸡冠石镇 ZK15	1.82	1.82	0.84	0.83		
华岩镇 ZK17	1.82	1.83	0.83	0.83		
鱼洞镇 ZK18	1.86	1.86	0.83	0.82		

根据重庆市的地质构造特征和储集层的空间分布形态及其各地质参数(如岩土体密度、比热容、孔隙率等)的不均匀性,将储集层在浅层地温能适宜性分区平面图上进行 1 km×1 km 网格剖分(图 8)。

2) 热容量计算方法

对于热容量的计算采用体积法<sup>[9]</sup>,该方法从能量平衡的角度出发,计算结果安全可靠。

在地表浅层包气带中热容量计算公式为式(4)~(7):

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A \quad (4)$$

$$Q_S = \rho_s c_s (1 - \Phi) m d \Delta t \quad (5)$$

$$Q_W = \rho_w c_w \Phi m d \Delta t \quad (6)$$

$$Q_A = \rho_{AcA} (\Phi - \omega) m d \Delta t \quad (7)$$

在地表浅层含水层和相对隔水层中热容量计算公式为式(8):

$$Q_R = Q_S + Q_W \quad (8)$$

由于调查区内地下水位为 7~8 m,而地表以浅恒温带在地表 10 m 处,故忽略包气带所含热容量。那么,调查区内浅层地热容量计算公式为式(9):

$$QR = \sum Q_{si} + \sum Q_{wi} \quad (9)$$

其中计算厚度 di 为第 i 个网格单元热储厚度为第 i 网格的 4 个顶点(从恒温层算起)所对应的厚度

的算术平均值。岩土体密度 ρ、比热容 c、孔隙率 φ 及含水率 ω 根据岩性的不同而有所差别,涉及到的岩层主要有:砂岩、泥岩、页岩、灰岩、白云岩等,取水的密度、比热容分别为 ρ<sub>w</sub>=1000 kg/m<sup>3</sup>,c<sub>w</sub>=4180J/(kg·°C);评价区面积 m 由适宜性分区确定,见图 7。

当取地表以下 200 m 深度以上浅层地温能为研究对象时,本次调查区内适宜区浅层地热容量约为 660.7×10<sup>12</sup> kJ/°C,其中,重点调查区热容量约为 230.9×10<sup>12</sup> kJ/°C。如果按 1kg 标准煤热当量为 29.27 MJ 计算,那么,本次调查区及重点调查区内升高或降低 1°C 所蕴含的总能量分别相当于 2257 万 t 和 789 万 t 标准煤。

当取地表以下 150 m 深度以上浅层地温能为研究对象时,本次调查区内适宜区浅层地热容量约为 486.8×10<sup>12</sup> kJ/°C,其中,重点调查区热容量约为 170.2×10<sup>12</sup> kJ/°C。则本次调查区及重点调查区内升高或降低 1°C 所蕴含的总能量分别相当于 1663 万 t 和 581 万 t 标准煤。

4.2 可利用资源量计算

本文以“每秒钟可提供的能量”计量调查区浅层地表的可利用资源量,可利用资源量计算方法有热流量法<sup>[9]</sup>和热导率算法两种。由于缺少准确的

大地热流值数据,本计算考虑采用热导率计算法。热导率计算法为式(10):

$$Q_i = D \times n \times 10^{-3} \quad (10)$$

式中,  $Q_i$  为浅层地温能可利用资源量, kW;  $D$  为单孔换热功率, W;  $n$  为区域内可钻孔数, 以 5 m × 5 m 计单孔所占面积。取重庆市地理管土地利用系数为 7%, 参考文献[10]。

可利用资源量计算的关键就是确定区域地理管换热功率, 但由于各子区域内岩土体热物性的差异, 地下换热量是变化的。故本文采用换热系数  $k_s$  来计算区域的单孔换热功率。

利用校正后的岩土体热导率和地理管换热器传热系数等基础数据, 使数据更加接近实际数值来计算单孔动态和静态换热功率。再根据单孔换热功率及浅层地温能计算面积, 求得区域地理管换热功率。得区域地理管换热功率计算公式为式(11)。

$$D = \frac{2\pi L |t_1 - t_4|}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}} \quad (11)$$

用传热系数  $k_s$  表示则是式(12):

$$D = k_s \times L \times |t_1 - t_2| \quad (12)$$

式中,  $k_s$  为地理管换热器传热系数, W/(m·°C),  $L$  为换热器埋深。

通过热响应测试计算结果我们可以发现, 当热泵机组按标准工况(33/38°C)运行时, 相当于现场热响应试验的高功率散热试验, 此时地理管换热器的换热系数为 2.5~3.1W/(m·°C), 所以估算调查区的可利用资源量时, 取  $k_s = 2.8W/(m·°C)$ 。地理管换热器与岩土体间的可利用温差取  $\Delta t = 15^\circ C$ 。

因此我们得到了重庆主城九区可利用资源量统计结果如下:

当取地表以下 200 m 深度以上浅层地温能为研究对象时, 统计结果显示, 夏季重庆市主城九区调查区域内地理管地源热泵系统每秒钟可提供总的可利用资源量约为  $2.8 \times 10^7$  kJ, 其中重点调查区约为  $1.0 \times 10^7$  kJ, 折算为标准煤时, 该热泵系统每秒钟提供的可利用资源量分别相当于 0.97 t 和 0.35 t 标准煤。

当取地表以下 150 m 深度以上浅层地温能为研究对象时, 统计结果显示, 夏季重庆市主城九区调查区域内地理管地源热泵系统每秒钟可提供总的可利用资源量约为  $2.08 \times 10^7$  kJ, 其中重点调查区约为  $0.73 \times 10^7$  kJ, 折算为标准煤时, 该热泵系统每秒钟提供

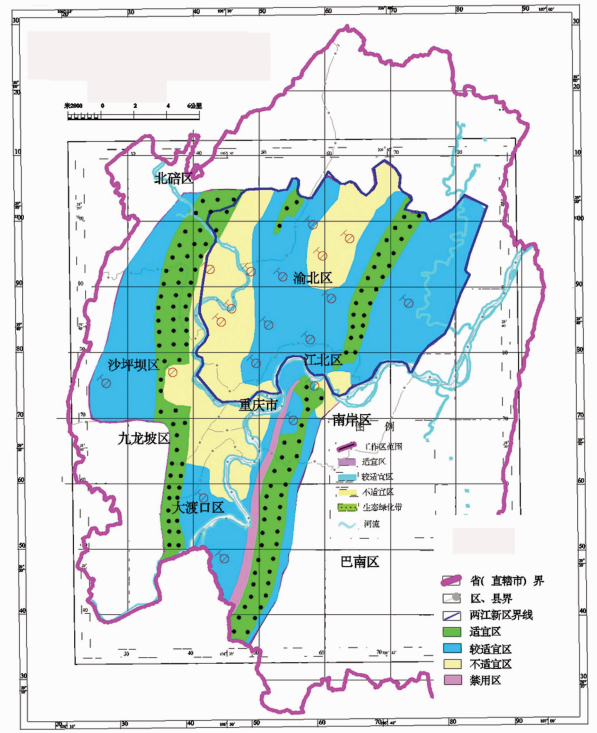


图 8 调查区热容量计算网格剖分图

Fig.8 Heat capacity calculation mesh map of the survey area

的可利用资源量分别相当于 0.71 t 和 0.25 t 标准煤。

若采用冷指标估算法, 取重庆市夏季建筑物中央空调冷指标为 200 W/m<sup>2</sup>, 则重庆市主城区地表以下 200 m 深度以上可利用浅层地温能可提供的空调建筑面积调查区约为  $1.4 \times 10^8$  m<sup>2</sup>, 重点调查区约为  $5 \times 10^7$  m<sup>2</sup>。重庆市主城区地表以下 150 m 深度以上可利用浅层地温能可提供的空调建筑面积调查区约为  $1.04 \times 10^8$  m<sup>2</sup>, 重点调查区约为  $3.65 \times 10^7$  m<sup>2</sup>。这足以说明合理开发利用浅层地温能资源将给我们带来巨大的社会效益和环境效益。

## 5 结语

采用剔除和校正后的岩土体热物性参数, 计算出调查区内浅层岩土体的热容量和调查区内浅层地温能的可利用资源量, 有效评价了重庆主城区浅层地温能的资源潜力。研究表明: 1) 本次调查区内地表以下 200 m 深度以上浅层地温能的热容量总量为  $660.7 \times 10^{12}$  kJ/°C, 其中, 重点调查区热容量总量为  $230.9 \times 10^{12}$  kJ/°C; 调查区内地理管换热器每秒钟提供的可利用资源量为  $2.8 \times 10^7$  kJ, 其中重点调查区

内埋管换热器每秒钟提供的可利用资源量为  $1.0 \times 10^7$  kJ。2) 本次调查区内地表以下 150 m 深度以上浅层地温能的热容量总量为  $486.8 \times 10^{12}$  kJ/°C, 其中, 重点调查区热容量总量为  $170.2 \times 10^{12}$  kJ/°C; 调查区内埋管换热器每秒钟提供的可利用资源量为  $2.08 \times 10^7$  kJ, 其中重点调查区内埋管换热器每秒钟提供的可利用资源量为  $0.73 \times 10^7$  kJ。该研究成果为重庆浅层地温能地源热泵的开发提供了重要数据支持和指导作用。

### 参考文献 (References):

- [1] 陆亚俊主编. 暖通空调[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.  
Lu Yajun. HVAC [M]. Beijing: China Architecture & Building Industry Press, 2007(in Chinese with English abstract).
- [2] 天津市浅层地温能资源调查报告[R], 2010.  
Survey of Shallow Geothermal Energy Resources in Tianjin City [R], 2010.
- [3] GB50366-2005 地源热泵系统工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
GB50366-2005 Technical Code for Ground-source Heat Pump System [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李敏. 地源热泵系统的热响应测试的研究进展 [J]. 制冷与空调, 2010, 2:31-34.  
Li Min. Research process of thermal response test for GSHP system [J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2010, 2:31-34 (in Chinese with English abstract).
- [5] Hikmet Esen, Mustafa Inalli In-situ thermal response test for ground source heat pump system in Elazg, Turkey[J]. Energy and Buildings, 2009, 41:395-401.
- [6] 乔卫来, 陈九法, 薛琴, 等. 埋管换热器热响应测试与模拟研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2010, 2:1-4.  
Qiao Weilai, Chen Jiufa, Xue Qin, et al. Study on thermal response test and numeric simulation for ground heat exchanger [J]. Building Energy & Environment, 2010, 2:1-4 (in Chinese with English abstract).
- [7] 于明志, 彭晓峰, 等. 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, 25(3):279-283.  
Yu Mingzhi, Peng Xiaofeng, et al. Line source method for measuring thermal properties of deep ground [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2006, 25(3):279-283(in Chinese with English abstract).
- [8] DZ/T0225-2009 浅层地热能勘查评价规范 [S]. 北京: 地质出版社, 2011.  
DZ/T0225-2009 Specification for shallow geothermal energy investigation and evaluation [S]. Beijing: Geological Publishing House, 2011(in Chinese).
- [9] 韩再生, 冉伟严, 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.  
Han Zaisheng, Ran Weiyang. A method on shallow geothermal energy assessment in the Urban Area [J]. City Geology, 2007, 2(4): 9-15(in Chinese with English abstract).
- [10] 重庆市土地利用总体规划(1996年—2010年).  
The General Land Use Planning in Chongqing City. (1996—2010).

## The evaluation of shallow geothermal energy resources in Chongqing

ZHANG Fu-ren<sup>1</sup>, PENG Qing-yuan<sup>2</sup>, ZHU Fang-yuan<sup>1</sup>,  
ZHANG Hua-min<sup>1</sup>, YANG Xin-jie<sup>2</sup>, TAO Jia-xiang<sup>2</sup>

(1. School of Electromechanical and Automobile Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Nanjiang Hydrogeological and Engineering Geological Party, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** Based on investigation and study of the shallow geothermal energy adaptive partition in the main urban area of Chongqing, combined with the corrected rock and soil thermal physical property numerals, the authors conducted the shallow geothermal energy resource evaluation in the main urban area of Chongqing. The evaluation included the shallow geothermal energy heat capacity and statistics of available resources in appropriate areas. In this way the distribution of shallow geothermal energy resources in nine districts of Chongqing was detected so as to effectively evaluate heat storage capacity of underground shallow space in the main urban area of Chongqing. The results obtained provide a reliable basis for the development and protection of the shallow geothermal energy resources.

**Key words:** shallow geothermal energy; heat capacity; buried pipe heat power; total resource

**About the first author:** ZHANG Fu-ren, male, born in 1975, doctor, professor, engages in the study of gas transportation, HVAC and thermal energy; E-mail: zh\_feixue@163.com.