

The Evaluation of Shallow Geothermal Energy Resources in Urumqi

Guangzhou Qu^{1,2}, Zhengping Shao^{1,2}, Quan Xian^{1,2}, Shou Chen^{1,2}

¹No.1 Hydrogeology & Engineering Geology Exploration Team of Xinjiang Geology & Mineral Bureau, Urumqi

²Xinjiang Geologic Reconnaissance Academe, Urumqi

Email: Guangzhou1394@qq.com

Received: Jan. 17th, 2014; revised: Feb. 20th, 2014; accepted: Mar. 4th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on investigation of the shallow geothermal energy in Urumqi, combining with the corrected rock and soil thermal physical properties numerals, the authors conducted the shallow geothermal energy evaluation in Urumqi. In this way, the distribution of shallow geothermal energy resources in Urumqi was detected so as to effectively evaluate heat storage capacity of underground shallow space in Urumqi. The results obtained provide a scientific basis for the development and utilization of shallow geothermal energy resources.

Keywords

Urumqi; The Shallow Geothermal Energy; Heat Capacity; Resources

乌鲁木齐市浅层地温能资源量 评价分析

曲广周^{1,2}, 邵争平^{1,2}, 鲜全^{1,2}, 陈首^{1,2}

¹新疆地矿局第一水文工程地质大队, 乌鲁木齐

²新疆地质工程勘察院, 乌鲁木齐

Email: Guangzhou1394@qq.com

收稿日期: 2014年1月17日; 修回日期: 2014年2月20日; 录用日期: 2014年3月4日

摘 要

基于乌鲁木齐市浅层地温能的调查成果,结合校正后的岩土热物性数值,进行了乌鲁木齐市浅层地温能资源量评价,并得到乌鲁木齐市浅层地温能的热容量及分布情况,从而有效评价了乌鲁木齐市地下浅部空间热能的调蓄能力,为开发和利用浅层地温能资源提供了科学依据。

关键词

乌鲁木齐; 浅层地温能; 热容量; 资源量

1. 引言

乌鲁木齐作为我国西北严寒地区的现代国际化商贸城市,每年供暖期长达 182 天,冬季采暖以煤为主,排放出大量的污染物,空气质量极度恶化。通常在 1~2 月出现五级重度污染天气,严重影响着居民的生产和生活[1]。煤炭紧张和环境污染,一直是困扰乌鲁木齐市节能减排的两大难题。而利用浅层地温能供热,正是改变乌鲁木齐市以煤为主要能源消费结构的有效途径。

浅层地温能是一种可再生的新型环保能源,也是一种特殊矿产资源,利用前景广阔。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[2]-[7]。浅层地温能资源蕴藏在地下岩土体内,其储藏、运移以及开采利用都受到区域气象条件、地形地貌、水文地质条件等多种因素的影响,在不同区域蕴藏于地下岩土体内的浅层地温资源规模和利用方式存在较大差异。地层岩性、厚度、含水层结构、富水性、水位埋深、补给径流条件等是制约浅层地温能赋存分布及可利用性的主要因素。

2. 研究对象

2.1. 地理位置

在现有乌鲁木齐市城市发展空间规划基础上,结合水文地质条件划定调查区范围,总面积为 1100 平方千米,地理坐标为东经 87°15'28.96"~87°47'54.22",北纬 43°41'00.00"~44°02'13.12"。其中重点调查区主要位于乌鲁木齐市北侧城市规划区,调查面积为 588 平方千米,涉及的行政区主要为头屯河区、新市区、米东区、沙依巴克区、水磨沟区。一般调查区主要位于乌鲁木齐市南侧老城区,调查面积为 512 平方千米。

2.2. 气象条件

乌鲁木齐市地处欧亚大陆腹地,属温带大陆性干旱气候。具有温差大,寒暑变化剧烈;降水量少,且分布不均;蒸发强烈,干燥多风等特点。多年平均气温 7.88 摄氏度,夏季极端最高气温 39.2 摄氏度,冬季极端最低气温-30.0 摄氏度。

乌鲁木齐市年平均降水量为 311.06 毫米,最大年降水量 419.2 mm,最小年降水量为 131.3 mm;降水量最多的地区是南山小渠子一带,多年平均降水量为 547.0 毫米,最少的地区是柴窝堡盆地,多年平均降水量为 44.4 毫米。降水量集中在春夏季,4~7 月降水量占全年降水量的 48.3%,降水最多的月份在 5 月,最小的月份在 2 月。区内蒸发强烈,干燥多风,多年平均蒸发量为 1351.33 毫米,北部平原区大于 2000 毫米,南部山区小于 2000 毫米,最大蒸发出现在 6~7 月,最小蒸发出现在 12 月和翌年 1 月,并随

海拔高程的升高而降低。

2.3. 地形地貌

乌鲁木齐市地形起伏较大, 总体地势南部、东部高, 中部、北部低, 地形坡度由南部的 30% 到北部的 9%。调查区最高点位于红雁池水库东侧, 海拔高程为 1296.4 米, 最低点位于安宁渠以北天山大队, 海拔高程为 517.1 米, 相对高差为 216.4 米。调查区平原面积约占总面积的 70%, 山地面积约占总面积的 30%。在构造单元的基础上, 综合区内塑造地貌的内、外力地质作用, 根据成因类型、形态特征、海拔高度、切割状况、微地貌特征等因素划分调查区内地貌单元, 共分为七个地貌区。七个地貌区中前六个分布于调查区隆起地段, 属于剥蚀侵蚀地貌类型, 最后一个位于北部沉降盆地及河谷地内, 为堆积地貌区。

2.4. 地层条件

乌鲁木齐地区出露的地层有华力西期花岗岩及元古界长城系特克斯群, 古生界志留、泥盆、石炭、二迭系, 中生界三迭、侏罗、白垩系和新生界第三、第四系, 地层出露较齐全。

乌鲁木齐市山前冲洪积倾斜平原区第四系厚度 200~1100 米, 以冲洪积砂砾石、卵砾石、砂、粉土为主, 沉积层多为粗颗粒。南部山间缓倾斜砾质平原和沟谷地段主要为砂砾石、卵砾石层, 厚度小于 100 米。在沙依巴克区西北侧、头屯河区南侧、米东区南侧、水磨沟区、天山区和新市区南侧部分地段位于乌鲁木齐市西部及东部的丘陵、黄土台地、倾斜平原区, 岗状台地、梁状台地地貌发育, 基岩出露或浅埋, 表层覆盖薄层黄土状粉土和砂砾石, 属于第四系透水不含水地段。该地段主要为黄土状粉土、砂砾石和下伏砂岩、泥岩、页岩等。乌鲁木齐市恒温带埋深约为 20~30 米, 恒温带以上, 岩土体温度主要随季节和地表环境温度变化, 与埋深关系不明显; 而在恒温带以下, 岩土体温度随埋深增加而增加, 乌鲁木齐市浅层地温能储集层岩土体温度在 9℃~14℃。

2.5. 水文地质条件

调查区位于乌鲁木齐河流域中游地段, 北部为下游细土平原第四系孔隙水的一部分和乌鲁木齐山前倾斜平原第四系孔隙水, 南部为基岩山区裂隙水的一部分及乌鲁木齐河谷第四系孔隙水。根据含水层时代、岩性组合、赋存条件、水理水力特征, 将调查区内地下水分为: 松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水、基岩裂隙水。调查区水文地质特征见表 1。

地下水补给、径流和排泄: 低山丘陵区地下水分布于乌鲁木齐河谷两侧的西山和东山山前地带。主要接受大气降水、上游沟谷地表水的入渗补给, 补给源缺乏, 径流缓慢, 水交替迟缓, 以泉的形式排泄, 或以地下径流形式侧向注入乌鲁木齐河谷地带或北部平原地下水。乌鲁木齐河河谷地带地下水主要接受调查区上游柴窝堡盆地地下水的侧向径流补给和渠系入渗、坝渗、大气降水、融雪水入渗补给及少量沿岸基岩裂隙水的侧向渗流补给。河谷地下水随地形的坡降由南向北径流, 水力坡度为 0.8%~4.0%, 地下水径流畅通, 径流过程中, 除少量消耗于人工开采外, 大部分以地下径流的方式进入乌鲁木齐北部倾斜平原。乌鲁木齐市北部平原地下水的补给来源主要为乌鲁木齐河水系、头屯河水系、东山水系、西山水系的地表水的入渗及灌溉水入渗, 其次为降水入渗和上游河谷潜流及侧向径流补给。地下水沿河谷侧向径流出山口后径流至北部平原区, 大致由南向北径流, 部分地段由于大量开采地下水, 人为改变了地下流场, 在其由南向北总径流方向未变的前提下, 迫使头屯河冲洪积扇地下水流向转为北东, 东山水系地下水流向转为北西, 径流条件好。其排泄以农业灌溉开采和侧向径流为主, 通过地下径流进入北部的细土平原。

Table 1. Hydrogeological characteristics of the survey area
表 1. 调查区水文地质特征

地下水类型及含水层结构	松散岩类孔隙水			碎屑岩类裂隙孔隙水	基岩裂隙水
	乌鲁木齐河谷平原 松散岩类孔隙水	乌鲁木齐山前倾斜平原松散岩类孔隙水			
	单一结构的孔隙潜水	单一结构的孔隙潜水	双层或多层结构的孔隙潜水与承压水		
底板埋深	一般在 10~60 m， 八道湾达 130 m	大于 200 m	大于 200 m		
分布	山间砾质平原及河谷低地	山前砾质平原	山前土质平原	台地、丘陵、斜地洼地	台地、丘陵、东南部山区
时代成因	Q_{3-4}^{apl}	Q_{3-4}^{apl}	Q_{3-4}^{apl}	T、J、K、N	P
含水层岩性	砂砾石、卵砾石	砂砾石	砂砾石、砂	碎屑岩	碎屑岩夹碳酸岩
富水性	极弱 - 极强	中等 - 极强	中等 - 极强	极弱 - 弱	极弱 - 中等
岩相变化	远离河流变粗	自南向北颗粒变细	自南向北颗粒变细		
有效含水层厚度(m)	一般为 0~40 m， 八道湾达 160 m	0~150	20~150		
单井涌水量或单泉流量	>30、1~30、<1 m ³ /h·m	>30、1~30	>30、1~30	5~10、<5 m ³ /h	5~30、<5 m ³ /h
渗透系数	<5、5~100 m/d	<5、5~50 m/d	5~50 m/d		
水位埋深	<5、5~100 m	30~200 m	15~100 m		

3. 浅层地温能资源量评价

3.1. 浅层地温能热容量计算模型

在充分利用本次调查钻孔资料及收集钻孔资料的基础上, 为了提高评价精度, 在钻孔较少地段, 根据调查区第四系厚度地质图, 添加虚拟钻孔。通过本次评价概化后的地层对各钻孔的地层进行概化, 形成各钻孔地层岩性分布。利用 RockWorks 软件, 对各钻孔的地层采用插值法, 结合调查区地质构造特征进行修正, 建立乌鲁木齐市地质及水文地质结构特征三维可视化模型。地质及水文地质结构特征三维可视化模型再现调查区地层整体的空间组合形式及含水层分布范围, 地质及水文地质结构特征三维可视化模型如图 1 所示。对于调查区的第四系地质结构、地层间的接触关系, 有了更完整的认识, 并且可以按不同需要了解任意地区的地层分布形态与埋藏特征。

3.2. 浅层地温能热容量计算方法

在地源热泵不适宜区及现有水库、湖泊、水库不适宜开展浅层地温能开发利用地源热泵工程, 因此, 本次评价计算浅层地温能热容量只针对地下水和地埋管地源热泵的适宜区和较适宜区, 浅层地温能热容量采用热储法计算评价。

在包气带中, 其浅层地温能资源量按下式计算:

$$Q_R = Q_S + Q_W + Q_A \quad (1)$$

其中:

$$Q_S = C_S (1 - \varphi) M d_1 \quad (2)$$

$$Q_W = C_W \omega M d_1 \quad (3)$$

$$Q_A = C_A (\varphi - \omega_v) M d_1 \quad (4)$$

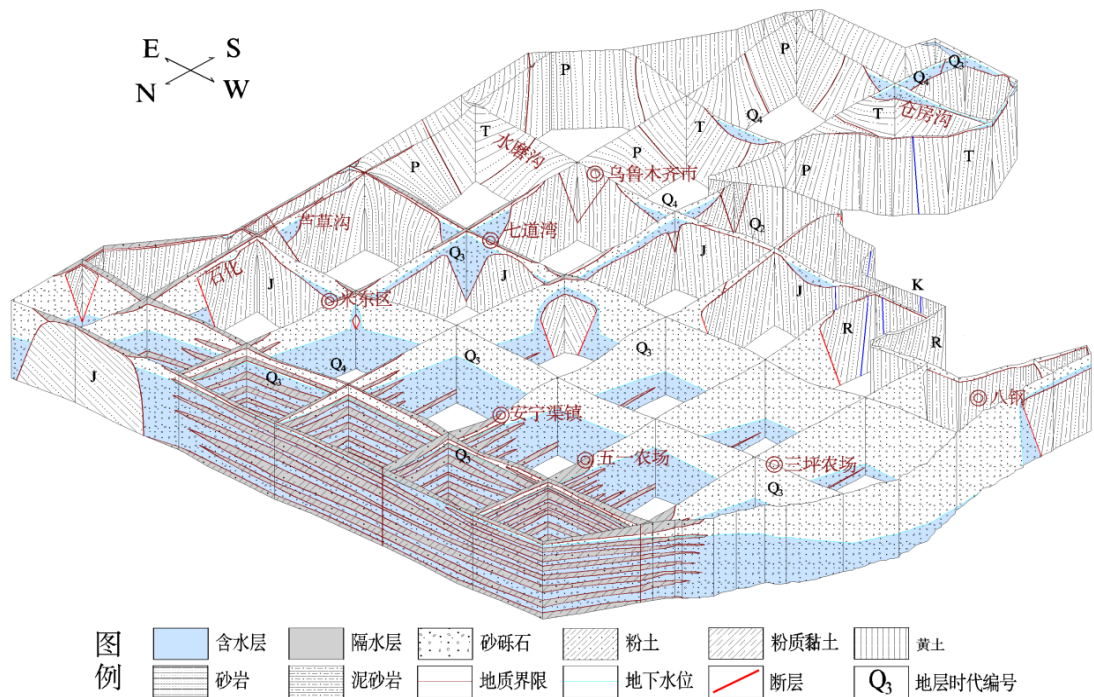


Figure 1. Geological and hydrogeological characteristics of the three-dimensional visualization of the model structure

图 1. 地质与水文地质结构特征三维可视化模型

式中： Q_R 为包气带浅层地温能热容量， $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ ； Q_S 为包气带岩土体中的热容量， $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ ； Q_W 为包气带所含水中的热容量， $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ ； Q_A 为包气带所含空气中的热容量， $\text{kJ}/^\circ\text{C}$ ； C_S 为岩土体比热容， $\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ； C_W 为水比热容， $\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ； C_A 为空气比热容， $\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ； φ 为岩土体的孔隙率(或裂隙率)； M 为计算面积， m^2 ； d_1 为包气带计算厚度， m ； ω_v 为岩土体中的所含水体积比。

在浅层含水层和相对隔水层中，浅层地温能储存量按下式计算：

$$Q_R = Q_S + Q_W \quad (5)$$

其中：

$$Q_S = C_S (1 - \varphi) M d_2 \quad (6)$$

$$Q_W = C_W \varphi M d_2 \quad (7)$$

式中： Q_R 为含水层浅层地温能热容量， kJ ； Q_S 为含水层中岩土体中的热容量， kJ ； Q_W 为含水层中水的热容量， kJ ； C_W 为水比热容， $\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ； φ 为岩土体的孔隙率(或裂隙率)； M 为计算面积， m^2 ； d_2 为含水层计算厚度， m 。

3.3. 浅层地温能热容量计算分区

根据乌鲁木齐市的行政区划、地下水地源热泵适宜性分区、地埋管地源热泵适宜性分区及各钻孔深度加权平均体积比热容分布情况，对调查区进行分区计算浅层地温能热容量。由于调查区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(如地下水埋深、地层岩性及岩土体比热容等)的不均匀性，将各分区在平面上进行 250 米 $\times$ 250 米正方形剖分，共形成 19,299 个栅格，分区计算栅格图层如图 2 所示。采用 MapGIS 软件的空间分析功能及属性库管理子系统对各分区浅层地温能热容量进行计算。

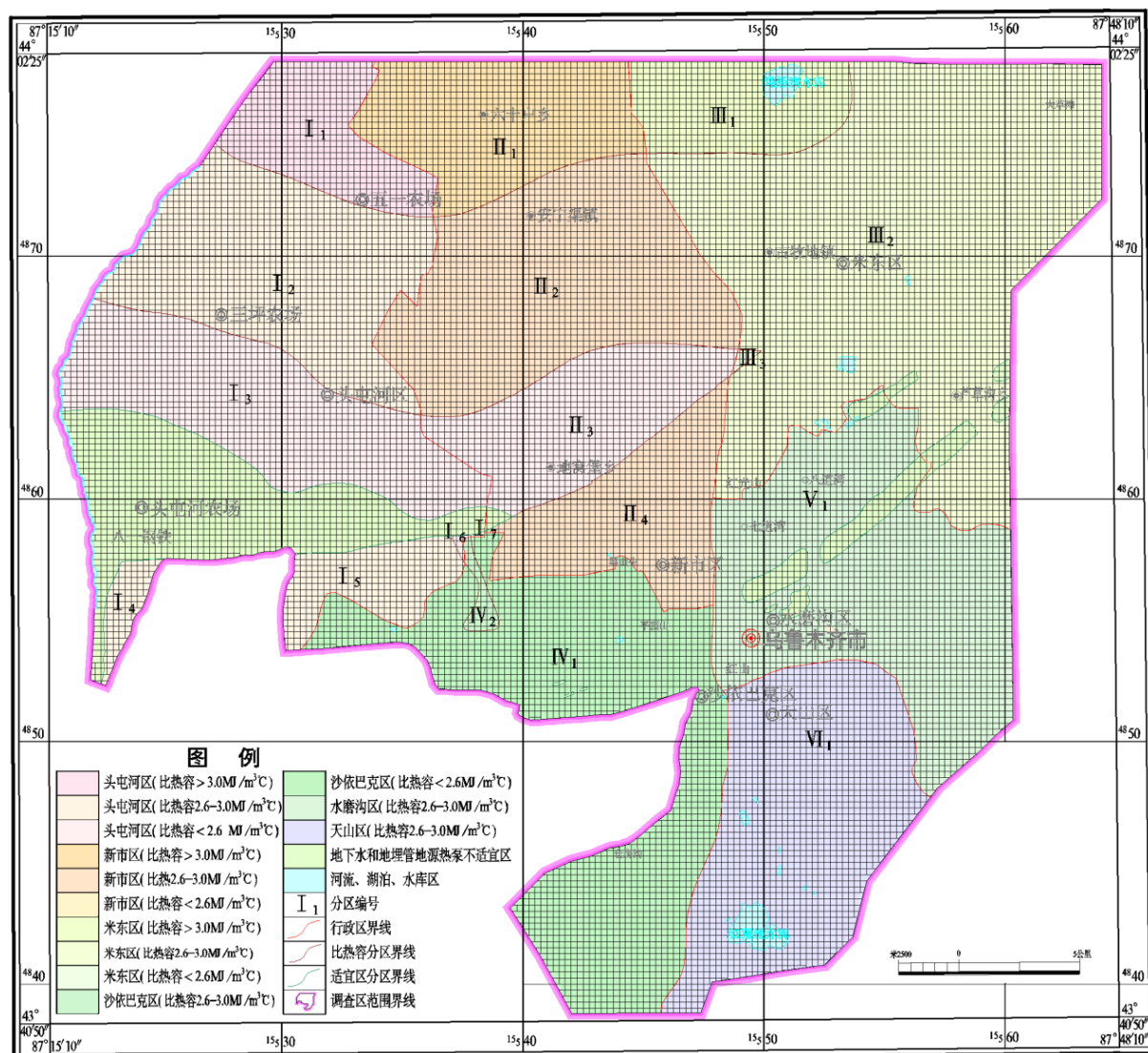


Figure 2. Survey area of shallow geothermal energy heat capacity calculation mesh partition

图 2. 调查区浅层地温能热容量计算分区网格剖分图

3.4. 浅层地温能热容量主要参数选取

3.4.1. 计算面积及厚度选取

第 i 个栅格单元面积通过 MapGIS 软件属性库管理直接提取。各分区面积为分区内各栅格面积之和。第 i 个栅格单元热储厚度为对第 i 个栅格单元的四个顶点所对应的某个储集层的厚度内插进行算术平均值。由于乌鲁木齐市冬季寒冷, 冻土层厚度为 1.5 米左右, 考虑到乌鲁木齐市浅层地温能开发利用地源热泵系统主要为冬季供暖及地源热泵工程施工利用特点, 在地表以下 2 米深度内的地温能不具备浅层地温能开发价值, 本次 200 米以浅的浅层地温能热容量计算深度为 -2 米至 -200 米。总厚度为 198 米。考虑到地埋管开发利用深度 150 米, 石化 - 八钢隐伏断裂以北区域地下水底板大于 200 米, 故该片区地下水地源热泵适宜区和较适宜区, 评价深度为 198 米, 在地下水地源热泵不适宜区且地埋管地源热泵适宜区和较适宜区评价深度为 148 米; 以及石化 - 八钢隐伏断裂以南地下水含水层底板小于 130 米, 故该区域评价深度为 148 米。评价深度分布如图 3 所示。

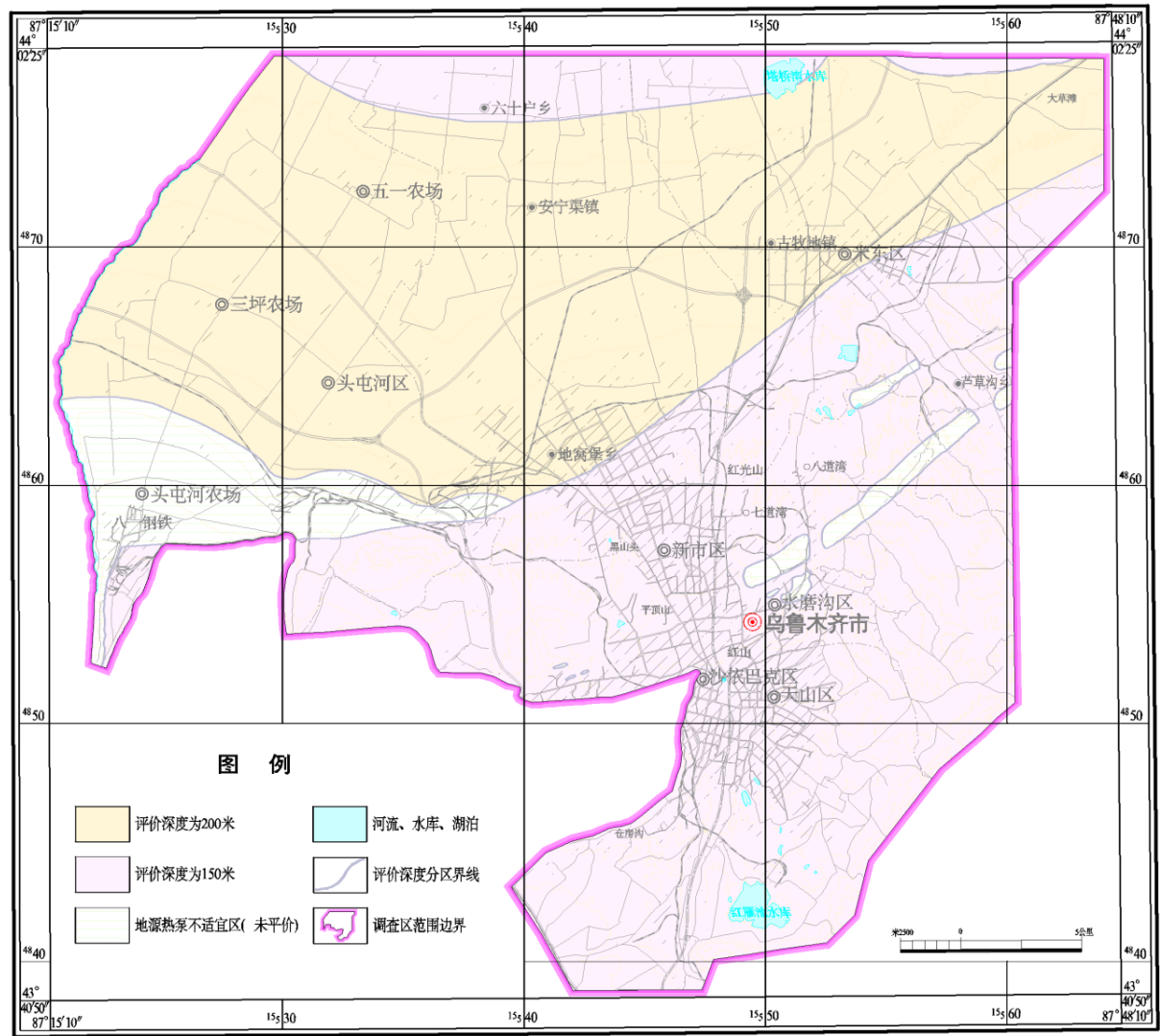


Figure 3. Survey area shallow geothermal energy heat capacity depth evaluation of the partition
图 3. 调查区浅层地温能热容量评价深度分区图

3.4.2. 孔斜率及岩土体中的所含水体积比选取

地层的热物理性质是浅层地温能资源评价和开发利用涉及的重要参数，室内测试所得的热导率与热响应试验测试地埋管换热器平均综合传热系数有一定差距，根据岩土体的室内测试成果的岩土体深度加权热导率与热响应试验成果的埋管换热器综合传热系数进行对比，本次测试数据存在室内测试各孔岩土体深度加权热导率是现场热响应测试地埋管换热器平均综合传热系数的 0.7 倍左右的规律性，对比结果如表 2。

通过本次工作室物理性测试及以往工程地层岩性的物理性质测试成果数据，进行统计分析，对调查区地层的物理性质进行取值。各岩土体内埋管换热器综合传热系数取值：据表 1 的对比，室内测试各孔岩土体深度加权热导率是现场热响应测试地埋管换热器平均综合传热系数的 0.7 倍左右。在计算未进行热响应试验的地段，埋管换热器综合传热系数取值通过室内测试结果采用对比法，对各岩土体内埋管换热器综合传热系数进行计算取值(换算系数取 0.7)，岩土体比热容取值：各地层比热容采用本次室内测试结果的平均值，砂砾石等地层无法取得原状样品进行室内测试，比热容取值为理论值，根据各

地层的物理性及热物理性质,对概化后地层的各项指标进行取值,概化后地层各项取值结果如表3所示。

3.4.3. 体积比热容选取

水和空气的体积比热容采用理论值,水的体积比热容取 $4.18 \text{ MJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, 空气的体积比热容取 $0.997 \text{ kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ 。岩土体骨架比热容是根据对本次不同岩土样的室内实测结果,剔除误差比较大的数据消除误差后的平均值及理论值,通过下式计算岩土体的骨架比热容。

$$C_s = \frac{C}{(1-0.01 \times \varphi) + C_w \times \omega + C_A \times 0.01(\varphi - \omega)} \quad (8)$$

式中: C_s 为岩土体骨架比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C 为室内测试岩土体的体积比热容的平均值及理论值, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C_w 为岩土体中水比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C_A 为岩土体中空气比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; φ 为岩土体的孔隙率(或裂隙率), %; ω 为岩土体中的所含水体积比, %。

根据调查区不同地层的物理参数及岩土体各项物质体积比热容,计算各岩土体的体积比热容,然后按照岩土体的岩性、利用数理统计方法进行全孔段加权平均得到各钻孔岩土体的深度加权平均体积比热容。

$$C = C_s (1 - 0.01 \times \varphi) + C_{wi} \times \omega + C_A \times 0.01(\varphi - \omega) \quad (9)$$

式中: C 为岩土体的体积比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C_s 为岩土体骨架比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C_w 为岩土体中水比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; C_A 为岩土体中空气比热容, $\text{kJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; φ 为岩土体的孔隙率(或裂隙率), %; ω 为第 i 个栅格岩土体中的所含水体积比, %。

3.5. 浅层地温能热容量计算结果

采用 MapGIS 软件的空间分析功能及属性库管理子系统对各分区浅层地温能热容量进行计算,得出乌鲁木齐市地源热泵适宜区和较适宜区评价深度内浅层地温能热容量为 $4.77 \times 10^{14} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$, 其中头屯河区浅层地温能热容量为 $1.09 \times 10^{14} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$, 新市区浅层地温能热容量为 $1.23 \times 10^{14} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$, 米东区浅层地温能

Table 2. Standard indoor rock and soil testing and thermal properties of the thermal response test parameters contrast list
表 2. 标准岩土体室内测试与热响应试验热物性参对比一览表

孔号	现场热响应测试的埋地管换热器平均综合传热系数 $k_s(\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C})$	平均扩散率 $\alpha(\text{m}^2/\text{s})$	室内测试各孔岩土体深度加权热导率 $K(\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C})$	室内测试加权热导率与现场热响应测试埋地管换热器平均综合传热系数比值
RK1	2.397	0.835×10^{-6}	1.695	0.7071
RK2	1.977	0.716×10^{-6}	1.398	0.7071
RK3	2.433	0.933×10^{-6}	1.751	0.7197
RK4	1.902	0.711×10^{-6}	1.330	0.6993
RK5	2.683	1.041×10^{-6}	1.861	0.6936

Table 3. The main thermal properties of rock and soil indicators glance
表 3. 岩土体主要热物性指标一览表

岩土名称	孔隙率 φ	含水率 $W(\%)$	密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$	干密度 $\rho_d(\text{kg/m}^3)$	综合传热系数 $k_s(\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C})$	比热容 $C(\text{MJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	热扩散系数 $\alpha(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$
包气带粉土	44.2	12.9	1682.05	1489.86	1.201	2.289	0.525
饱和粉土	44.2	29.7	1932.35	1489.86	2.117	3.333	0.635
包气带砂砾石	24.4	3.1	2081.09	2018.52	1.100	2.274	0.484
饱和砂砾石	24.4	12.1	2262.76	2018.52	2.676	3.032	0.882
砂岩	10.9	3.2	2455.10	2378.97	2.417	2.690	0.899

热容量为 $1.17 \times 10^{14} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ ，沙依巴克区浅层地温能热容量为 $4.76 \times 10^{13} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ ，水磨沟区浅层地温能热容量为 $4.44 \times 10^{13} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ 。天山区浅层地温能热容量为 $3.65 \times 10^{13} \text{ kJ/}^\circ\text{C}$ 。浅层地温能热容量计算成果见表 4。

Table 4. Heat capacity of shallow geothermal energy deep within the calculation results of the evaluation glance
表 4. 标准评价深度内的浅层地温能热容量计算成果一览表

序号	分区编号	计算面积(km ²)	地层岩性	分层厚度(m)	岩土体含水量(%)	孔隙率裂隙率(%)	岩土体中骨架的热容量(kJ/°C)	岩土体所含水 中的热容量(kJ/°C)	岩土体所含空 气中的热容量(kJ/°C)	浅层地温能热容量(kJ/°C)	各区总资源量(kJ/°C)
1	I ₁	32.258	粉土	81.35	26.3	44.2	3.90×10^{12}	4.30×10^{12}	1.70×10^8	8.20×10^{12}	1.09×10^{14}
2	I ₁	32.258	砂砾石	110.15	11.8	24.4	7.15×10^{12}	3.54×10^{12}	2.67×10^7	1.07×10^{13}	
3	I ₂	81.165	粉土	53.21	24.3	44.2	6.42×10^{12}	6.54×10^{12}	4.47×10^8	1.30×10^{13}	
4	I ₂	81.165	砂砾石	144.79	8.2	24.4	2.37×10^{13}	8.13×10^{12}	1.19×10^9	3.18×10^{13}	
5	I ₃	71.899	粉土	19.86	12.8	44.2	2.12×10^{12}	1.14×10^{12}	4.64×10^8	3.26×10^{12}	
6	I ₃	71.899	砂砾石	178.14	5.5	24.4	2.58×10^{13}	5.94×10^{12}	2.20×10^9	3.17×10^{13}	
7	I ₄	5.648	砂砾石	14.49	3.1	24.4	1.65×10^{11}	2.14×10^{10}	1.92×10^7	1.86×10^{11}	
8	I ₄	5.648	砂岩	133.51	3.2	10.9	1.79×10^{12}	2.40×10^{11}	3.21×10^7	2.03×10^{12}	
9	I ₅	19.638	砂砾石	1.55	3.1	24.4	6.13×10^{10}	7.96×10^9	7.15×10^6	6.92×10^{10}	
10	I ₅	19.638	砂岩	146.45	3.2	10.9	6.82×10^{12}	9.15×10^{11}	1.22×10^8	7.74×10^{12}	
11	I ₆	0.339	砂砾石	60.92	3.5	24.4	4.16×10^{10}	6.11×10^9	4.64×10^6	4.77×10^{10}	
12	I ₆	0.339	砂岩	87.08	3.2	10.9	7.01×10^{10}	9.41×10^9	1.26×10^6	7.95×10^{10}	
13	I ₇	0.086	砂砾石	22.13	3.1	24.4	3.82×10^9	4.96×10^8	4.46×10^5	4.32×10^9	1.23×10^{14}
14	I ₇	0.086	砂岩	125.87	3.2	10.9	2.56×10^{10}	3.44×10^9	4.59×10^5	2.90×10^{10}	
15	II ₁	53.219	粉土	52.32	26.9	44.2	4.14×10^{12}	4.66×10^{12}	1.49×10^8	8.80×10^{12}	
16	II ₁	53.219	砂砾石	119.68	11.7	24.4	1.28×10^{13}	6.29×10^{12}	6.46×10^7	1.91×10^{13}	
17	II ₂	97.503	粉土	54.13	24.5	44.2	7.84×10^{12}	8.05×10^{12}	5.26×10^8	1.59×10^{13}	
18	II ₂	97.503	砂砾石	143.87	8.2	24.4	2.82×10^{13}	9.71×10^{12}	1.42×10^9	3.79×10^{13}	
19	II ₃	46.890	粉土	21.23	11.8	44.2	1.48×10^{12}	7.32×10^{11}	3.43×10^8	2.21×10^{12}	
20	II ₃	46.890	砂砾石	176.77	6.4	24.4	1.67×10^{13}	4.48×10^{12}	1.23×10^9	2.12×10^{13}	
21	II ₄	44.986	粉土	4.78	12.9	44.2	3.19×10^{11}	1.73×10^{11}	6.95×10^7	4.92×10^{11}	
22	II ₄	44.986	砂砾石	52.00	6.8	24.4	4.71×10^{12}	1.34×10^{12}	3.23×10^8	6.05×10^{12}	
23	II ₄	44.986	砂岩	91.22	3.2	10.9	9.73×10^{12}	1.31×10^{12}	1.75×10^8	1.10×10^{13}	
24	III ₁	30.475	粉土	50.46	26.8	44.2	2.28×10^{12}	2.57×10^{12}	8.50×10^7	4.85×10^{12}	1.17×10^{14}
25	III ₁	30.475	砂砾石	127.94	11.8	24.4	7.85×10^{12}	3.88×10^{12}	2.93×10^7	1.17×10^{13}	
26	III ₂	209.222	粉土	40.50	22.3	44.2	1.26×10^{13}	1.18×10^{13}	1.20×10^9	2.44×10^{13}	
27	III ₂	209.222	砂砾石	109.60	8.2	24.4	4.61×10^{13}	1.59×10^{13}	2.33×10^9	6.20×10^{13}	
28	III ₂	209.222	砂岩	24.50	3.2	10.9	1.22×10^{13}	1.63×10^{12}	2.18×10^8	1.38×10^{13}	
29	III ₃	0.520	粉土	5.33	13.6	44.2	4.12×10^9	2.35×10^9	8.59×10^5	6.47×10^9	
30	III ₃	0.520	砂砾石	192.67	6.8	24.4	2.02×10^{11}	5.75×10^{10}	1.38×10^7	2.59×10^{11}	
31	IV ₁	118.894	粉土	5.62	13.4	44.2	9.93×10^{11}	5.58×10^{11}	2.10×10^8	1.55×10^{12}	
32	IV ₁	118.894	砂砾石	48.00	7.2	24.4	1.15×10^{13}	3.47×10^{12}	7.29×10^8	1.50×10^{13}	
33	IV ₁	118.894	砂岩	94.38	3.2	10.9	2.66×10^{13}	3.57×10^{12}	4.77×10^8	3.02×10^{13}	
34	IV ₂	2.425	砂砾石	59.97	3.8	24.4	2.93×10^{11}	4.66×10^{10}	3.15×10^7	3.39×10^{11}	
35	IV ₂	2.425	砂岩	88.03	3.2	10.9	5.06×10^{11}	6.79×10^{10}	9.08×10^6	5.74×10^{11}	
36	V ₁	112.078	粉土	9.41	13.5	44.2	1.57×10^{12}	8.87×10^{11}	3.29×10^8	2.45×10^{12}	4.44×10^{13}
37	V ₁	112.078	砂砾石	20.00	8.8	24.4	4.51×10^{12}	1.66×10^{12}	1.92×10^8	6.18×10^{12}	
38	V ₁	112.078	砂岩	118.59	3.2	10.9	3.15×10^{13}	4.23×10^{12}	5.65×10^8	3.58×10^{13}	
39	VI ₁	91.720	粉土	3.13	13.6	44.2	4.26×10^{11}	2.43×10^{11}	8.89×10^7	6.70×10^{11}	
40	VI ₁	91.720	砂砾石	4.20	9.8	24.4	7.75×10^{11}	3.19×10^{11}	2.30×10^7	1.09×10^{12}	
41	VI ₁	91.720	砂岩	140.67	3.2	10.9	3.06×10^{13}	4.11×10^{12}	5.49×10^8	3.47×10^{13}	
合计		1018.966	-	-	-	-	3.54×10^{14}	1.22×10^{14}	1.61×10^{10}	4.77×10^{14}	4.77×10^{14}

4. 结束语

本次研究在调查乌鲁木齐市浅层地温能分布特点和赋存条件的基础上进行了浅层地温能资源量评价,为乌鲁木齐市浅层地温能合理开发利用和保护提供了科学依据。浅层地温能资源一方面可以替代大量标准煤或天然气,另一方面大大缓解运煤产生的交通压力,开发利用浅层地温能不仅替代了常规能源,还在很大程度上改善了环境质量减少了常规能源使用带来的环境污染,如:燃煤锅炉排放的烟雾、粉尘、二氧化碳、二氧化硫等污染物,以及煤炭运输过程中汽车产生的尾气;燃气锅炉排放二氧化碳和大量水蒸汽,在冬季极易形成雾霾天气。这些污染直接影响了大气环境,对生态环境也产生了直接的影响,人的生命健康也同样受到损害。随着人民物质和文化生活的提高,人们对环境的要求也越来越高,环境意识逐渐增强。科学合理的开发利用浅层地温能资源可以大大提高人民生活质量,改善人民生活的环境,其经济、社会和环境效益非常显著,而且科学开发利用浅层地温能资源对和谐社会的发展能起到十分重要的作用。

基金项目

中国地质科学院地质调查工作项目(1212011220836)资助。

参考文献 (References)

- [1] 魏疆, 陈学刚, 任泉, 等 (2013) 乌鲁木齐市能源结构调整对冬季 SO_2 浓度空间分布变化的影响. *环境污染与防治*, **8**, 88-91.
- [2] 张娟, 马文祥 (2012) 乌鲁木齐市浅层地温能调查评价初步认识. *赤子*, **2**, 177.
- [3] 韩再生, 冉伟彦 (2008) 城市地区浅层地温能评价方法探讨. *地热能*, **5**, 10-16.
- [4] 卫万顺, 李宁波, 冉伟彦, 等 (2009) 浅层地温能开发利用中的关键问题研究. *城市地质*, **3**, 1-5.
- [5] 张甫仁, 彭清元, 朱方圆, 等 (2013) 重庆主城区浅层地温能资源量. *中国地质*, **3**, 974-980.
- [6] 新疆地矿局第一水文工程地质大队 (2013) 乌鲁木齐市浅层地温能调查评价成果报告.
- [7] 朱家玲, 等 (2006) 地热能开发与应用技术. 化学工业出版社, 北京.