

长春市伊通河谷地区浅层地热能适宜性分析

贾亚军 王楠 林雨 施乾杰 李立群
长春工程学院 吉林长春 130000

摘要: 浅层地热能是地热能的一种,是一种可持续的清洁型新能源,指的是地球内部包含的热能,浅层地热能的热储条件分析和利用方式有两种,一种是地埋管换热方式,另一种是地下水换热方式,在当前经济技术开发条件下,目前深度为200m之内具有开发利用价值。依据长春市的地质和水文地质条件,我们把长春市分为三个区域,即贾家洼子—八里堡—兴隆沟以西地区、贾家洼子—兴隆沟基岩裂隙含水带及其以东到伊通河西岸台地陡坎地带、伊通河谷地区。

关键词: 适宜性; ArcGIS; 水源热泵; 层次分析法

Suitability Analysis of Shallow Geothermal Energy in Yitong Valley of Changchun City

Jia Yajun, Wang Nan, Lin Yu, Shi Qianjie, Li Liqun
Changchun Institute of Engineering Changchun 130000, Jilin

Abstract: Shallow geothermal energy is a kind of geothermal energy, new energy is a sustainable clean type, refers to the interior of the earth contain thermal energy, heat storage condition of shallow geothermal energy analysis and utilization of the means has two kinds, one kind is buried tube heat exchange way, the other is a way of heat transfer of groundwater, under the condition of the current economic and technological development, the depth of 200 m within the development and utilization value. According to the geological and hydrogeological conditions of Changchun city, we divide Changchun city into three areas, namely, the area west of Jiawazi-Balibao Xinglonggou, the water-bearing zone of Jiawazi-Xinglonggou bedrock fissure, and the area east to the west of Yitong River platform steep ridge, and the area of Yitong River valley.

Keywords: ArcGIS; suitable assessment; Water Source Heat Pump; Analytic hierarchy process

1 研究区概况

1.1 自然地理环境

长春市的地理位置是北纬 $43^{\circ} 05' \sim 45^{\circ} 15'$; 东经 $124^{\circ} 18' \sim 127^{\circ} 05'$, 位于松辽平原的东侧, 地貌主要以低山丘陵、台地平原和河谷平原为主, 属于北半球中纬度北温带, 是温带大陆性半湿润季风气候。

长春市市内的主要河流有饮马河、伊通河(饮马河支流)、新凯河(伊通河支流)等。研究区的水系全部属于松花江流域的支流饮马河流域, 饮马河是松花江左岸的主要支流之一, 总长为34km, 全长386.8km, 流域面积为 18247km^2 (含伊通河), 研究区的主要供水水源是河上的石头门水库。伊通河位于长春市的中西部, 是饮马河的第一大支流, 发源于伊通县的哈达岭山脉, 流域面积 8440km^2 , 河长342.5km, 在研究区内, 伊通河总长

约71km。

1.2 地下水含水层赋水特征

根据地热能的储藏条件、物理性质及地下水的动力特征, 长春市的地下水类型可分为: 松散岩类孔隙水和基岩类裂隙水, 松散岩类孔隙水又可以分为河谷冲积砂砾石孔隙水和台地冰水沉积砂砾石孔隙水, 基岩类裂隙水又有构造裂隙水和孔隙类裂隙水之分。(见下图1)

孔隙水的主要特点是水量在空间上分布相对均匀, 多为层流, 层状分布, 且符合达西定律, 一般富水性较好。其中伊通河、饮马河两岸冲击阶地下部是呈带状分布的河谷冲积砂砾石孔隙水, 含水介质主要为冲洪积中粗砂和砂砾石, 上覆弱透水的亚黏土, 含水介质的变化规律为自南向北、自西向东厚度加大, 颗粒变粗。台地冰水沉积砂砾石孔隙水主要存在于伊通河以西至西蔡

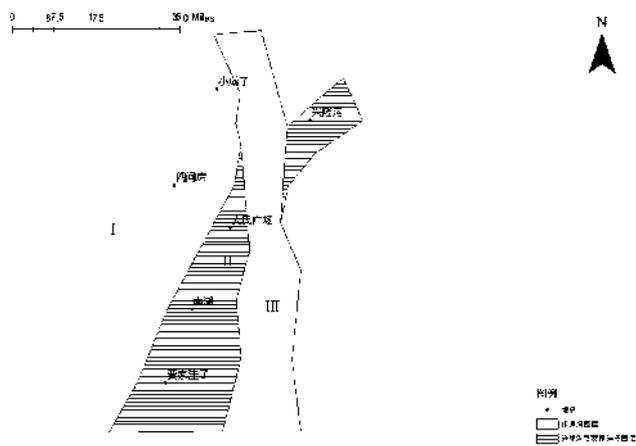


图1 工程地质分区

家—罗家窝堡—人民广场—肖家堡子间的黄土台地上，含水介质为粗砂和砂砾石，上覆黄土状亚粘土。

裂隙水的主要特点是分布不均匀，连续性较差，可呈层状，脉状分布。构造裂隙水主要分布在赋存于断裂构造破碎带和褶皱构造裂隙中，已发现的断裂富水带有：南湖—人民广场—兴隆沟破碎带和四间房破碎带，富水性一般为 $500\sim 1000\text{m}^3/\text{d}$ ，孔隙裂隙水主要分布在赋存于白系多层砂岩的裂隙中。在泉头组三、四段和青山口组地层中，由于粒度较粗，胶结较差，孔隙裂隙发育，富水程度较好，涌水量一般为 $200\sim 300\text{m}^3/\text{d}$ 。

长春市的常见岩土导热性最高的是砂岩、花岗岩和花岗闪长岩，其中花岗闪长岩导热性最好为 $2.69\sim 3.55$ ($\text{w}/\text{m}^\circ\text{C}$)。干砂、湿砂和干粘土、湿粘土相比，其中湿砂和湿粘土的导热性较好，但是湿粘土导热性明显不如湿砂。

另外长春市地下水循环的主要方式是补给和径流，补给主要有降水入渗补给，河水入渗补给，稻田入渗补给和地下径流补给。地下水补给区与排泄区的相对位置与高差决定着地下水径流的方向与径流速度，含水层补给条件与排泄条件越好、透水性越强，则径流条件越好，径流条件越好的含水层水质越好。

2 研究方法路线

2.1 研究内容

本研究根据研究区的水文地质、工程地质条件进行地热能储存条件分析，将地下水特征、地质构造特点及岩土的物理特性纳入研究区地下水源热泵适宜性评价指标体系，在分析长春城区岩土热储条件及浅层地温场分布规律研究的基础上，通过分析水源热泵和地源热泵适宜区划分的标准，并在此基础上通过模糊层次分析法得到伊通河谷地区水源热泵适宜区的划分区域。

2.2 研究技术路线

本文计划通过调查伊通河谷地区周围地下水含水量，赋水特征以及地下水类型，利用ArcGIS软件建立地质图，之后再建立模糊层次分析法得到热泵模式权重的最优解，并将评价分值赋予图中，采用栅格数据空间分析方法将各要素属性图层分别乘以其权重并叠加，即可生成伊通河谷地区适宜性区域的划分。

3 适宜区划分标准

3.1 水源热泵适宜区划分体系

建设区域地下水资源的丰富程度是建立地下水水源热泵的基础，主要原因在于该系统是采用地下水作为系统的冷热源，所以丰富的地下水资源是水源热泵项目建设成功的基础。然而通常地下水资源的循环是有一定的周期，因此为了保护建设区域内的原有的地下水生态环境以及地下水水质，就要求水源热泵系统的回灌井必需全部回灌所取的水，最好采灌井和回灌井水量比为1:1，所以这就要求建设区域的水文地质条件必须适合于水源热泵系统的回灌技术，且回灌成本适中，但是前提条件是回灌井的水质必须不会污染地下水含水层，如果地下水回灌困难或者无法做到全部回灌，那该区域就不适合水源热泵系统。此外，影响地下水源热泵系统运行效果的因素还包括地下水的水温、地下水的水质还有地下水供水是否稳定等各个方面，反映到属性层就是富水量的大小以及可开采资源量的大小，这些因素都会影响水源热泵系统的运行和使用。因此，水源热泵适宜区的划分应以这些标准为依据。

3.2 埋管地源热泵适宜区划分体系

地源热泵系统是一种主要利用水体和岩体的工程。从地质学的角度分析，浅层地温能资源的储存、运移与开发利用均受到工程地质、水文地质、地下水的流场、地下水的水化学特征、地下空间的温度场、环境地质条件、地质体的热传导性能等诸多因素的影响与制约。从理论上讲，浅层地热能地源热泵式的开发在任何地层结构区都适用，但是由于不同地区的岩性、构造结构与水文地质条件的不同，浅层地热能资源储量的开发利用方式也存在较大差异。

4 长春市伊通河谷地区适宜区划分

4.1 模糊层次评判方法

层次分析法是上世纪70年代，美国曲兹堡大学的教授A.L.Saaty提出的一种系统分析方法，是一种定性和定量相结合的，系统化、层次化的分析方法。具体来说层层次分析法的基本步骤为：

(1) 建立一个层次结构模型：一般分为3层，第一层为目标层 $A=\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ ，第二层为属性层

$B=\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$, 第三层为要素指标层 $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$;

(2) 构建比较矩阵: 从中间属性层开始用1-9的属性构建比较矩阵;

(3) 计算属性层对应得要素指标层得特征向量和权重, 并最后做一致性检验;

(4) 计算全部权重并做一致性检验。

在评价过程中, 根据长春市的水文地质资料、开发现状以及水源热泵系统运行的要求, 首先选取评价要素指标的因子, 建立数字模型, 对不同区域的因子做重要性的对比并进行要素指标层的赋值, 赋值完后汇总进行一致性检验, 最后做出可靠性的评价。

4.2 水源热泵模糊层次评判标准指标确定

4.2.1 指标层确定

评价体系的构建是适宜区划分体系中的的关键要素, 本研究通过收集研究区的水文地质资料并研究水源热泵系统的特点以及运行后可能出现问题的因素, 整理后得到指标层。

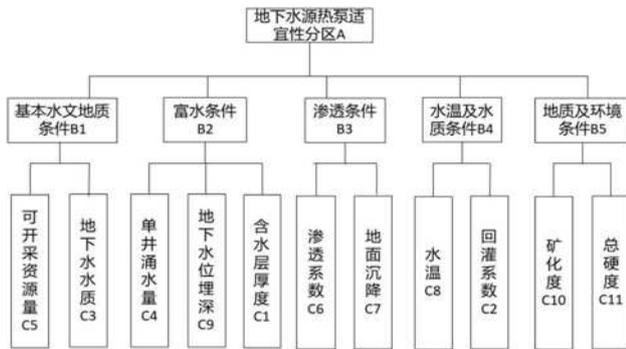


图3-1 层次模糊分析法

4.2.2 指标层权重组合

根据模糊层次分析法的指标确定, 我们进一步给指标赋值, 并且每一个属性层下的指标都是按照其权重比例来赋值, 我们把属性层的赋值乘以指标层的赋值, 最后得到的权重组合值为1。(见下表1)

4.2.3 指标层赋值

含水层的厚度越大其供水能力越可靠; 颗粒越细, 就容易影响水源热泵机组的运行, 还会影响回灌井的回灌。所以含水层厚度大, 颗粒粗赋值越大。

单井涌水量越大, 地下水含水层的富水性越好; 含水层的可开采资源量越大, 地下水的供水能力越稳定, 因此赋值越大。渗透系数大的地方, 说明该地区的渗透性越好; 地下水位埋深越小, 离地面的距离越小, 越适合开采地下水, 所以渗透系数大的地方和地下水位埋深小的地方应该赋值越大。影响回灌能力的主要因素是

表1 分析法赋值

要素指标层	属性层					组合权重
	基本水文地质条件	富水条件	渗透条件	水温及水质条件	地质及环境条件	
	0.1	0.5	0.2	0.1	0.1	
含水层厚度		0.2				0.1
回灌系数				0.25		0.025
地下水位埋深		0.2				0.1
单井涌水量		0.6				0.3
可开采资源量	0.8					0.08
渗透系数			0.25			0.05
地面沉降			0.75			0.15
总硬度 (Mg ²⁺ 、Ca ²⁺)					0.5	0.05
矿化度					0.5	0.05
水温				0.75		0.075
地下水水质	0.2					0.02

地下水水文地质, 所以水文地质越好的地区越容易回灌, 赋值就应该越大。影响水源热泵系统运行的因素有硬度和铁离子的含量, 硬度越大和铁离子含量越多, 越容易后期堵塞系统, 导致效率降低, 严重的会导致系统无法运行, 所以含量越大的地方赋值就应该越小。开采地下水会导致地面的沉降, 因此环境地质也是很重要的因素, 地面越容易沉降的地区越不适合开采地下水, 因此沉降量越大, 赋值越小。

5 伊通河谷地区参数分析

地下水硬度: 四间房断裂带附近总硬度最小为318mg/L, 最大为508mg/L, 平均硬度为439.2mg/L。城区北部, 四间房断裂带与贾家洼子-南湖断裂带之间, 总硬度区间为7-248mg/L; 城区中部及偏南地区, 总硬度最小为304mg/L, 最大为1061mg/L; 城区的东南角处, 总硬度区间为16-221mg/L。

单井涌水量: 单井涌水量越好, 说明富水性越强。在伊通河谷地区含水介质为粗砂砾石, 水量丰富, 单井涌水量约1000-1500m³/d; 构造裂隙水主要分布在兴隆沟-贾家洼子地区, 水量丰富, 单井涌水量100-500m³/d, 兴隆沟的单井涌水量为1000-2000m³/d。

矿化度: 矿化度除了朝阳区同志街为179mg/L, 小于300mg/L外, 研究区其余地区都大于300mg/L。矿化度越高, 后期越容易引起系统的堵塞。

可开采资源量: 一般通常条件下认为地下水可开采资源量为其资源的补给量, 不包括因为开采条件下地

下水的激化补给量。伊通河谷孔隙地下水资源可开采量 $68595.34\text{m}^3/\text{d}$ ，地下水资源剩余可开采量 $48853.0\text{m}^3/\text{d}$ 。基岩地下水资源可开采资源量南湖-伊通河段可开采资源量 $16576.0\text{m}^3/\text{d}$ ，因为过量开采所以剩余资源量 $-0.123\text{m}^3/\text{d}$ ，四间房-小城子地下水剩余资源量 $-0.0312\text{m}^3/\text{d}$ 。兴隆沟段可开采资源量 $30904\text{m}^3/\text{d}$ ，剩余资源量 $19254\text{m}^3/\text{d}$ 。

地下水位埋深：伊通河河谷东侧线埋深可达9-11m，最厚处可带达14.5-15m。西侧埋藏较浅，水位埋深不足5m。

回灌系数：伊通河谷地区回灌系数取0.8，贾家洼子-兴隆沟段回灌系数取0.6，其余地区回灌能力较差取0.2。

渗透系数：四间房小城子渗透系数为10-25m/d，贾家洼子-兴隆沟渗透系数为20-30m/d。

地面沉降：长春市存在降落漏斗下降地区，但沉降量不大，大部分地区是地面沉降不易发生区，沉降易发生区仅占研究区面积很小一部分。

水温：研究区地表初始温度为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，到地下11m的时候已经达到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并且到地下40m处一直持续这个温度。长春市的地温和深度关系是非常明确的，该地区地热梯度与松辽盆地地区平均值 $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、盆地边缘地带 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。总的来说根据研究显示研究区100m以上的地温梯度为 $2.88\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

含水层厚度：伊通河谷地区厚度5m左右；贾家洼子-兴隆沟基岩地下水区含水层厚度为20-40m。

地下水水质：伊通河谷孔隙地下水，水量丰富地段分布于伊通河谷地区，水量较丰富地段呈带状分布于伊通河谷地区的西侧，含水层特征与水量丰富地段相似，只是较丰富区砂砾石厚度变薄，粒度变细。基岩地下水资源分布于贾家洼子-兴隆沟一带，岩性硬脆，裂隙发育，在南湖至伊通河段地下水超采现象严重，剩余资源量已经很少。四间房-小城子地下水资源区呈北东向分布于这一带，含水层岩性为嫩江组富钙质粉砂岩，粉砂质泥岩，裂隙发育，剩余资源量也很匮乏，水源热泵系统对水量要求将不易满足，但是该地区的地下水水质较好。

6 适宜区划分

根据GIS的空间分析功能，将要素层的赋值和权重相乘得到每个点的初步分值，分为两个适宜区划分。分

别为4-6一般适宜区，7-9较适宜区。

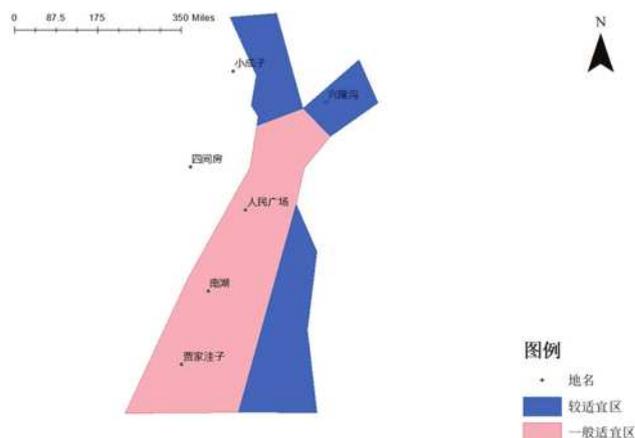


图2 适宜性划分图

7 结论

根据用ArcGIS的适宜性分区得到结果，一区不适合建立水源热泵系统，二区和三区相比，三区更适合建立水源热泵系统。

参考文献：

- [1]曹成立.长春市地下水动态研究[J].世界地质, 2010, 29 (03): 479-484.
- [2]曹文洁.长春市水资源规划[D].吉林大学, 2018.
- [3]王楠.长春市城区浅层地热能评价及地下水源热泵采灌模式研究[D].吉林大学, 2016.
- [4]赖光东.水源热泵适宜性评价及含水层温度场分析[D].长安大学, 2018.
- [5]王楠, 曹剑峰, 赵继昌, 李书光.长春市浅层地热能开发利用方式适宜性分区评价[J].吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42 (04): 1139-1144.
- [6]马金涛.长春市浅层地温(热)能资源适宜性分区研究[D].吉林大学, 2013.
- [7]崔安俊.冷热源系统方案优选研究[D].兰州交通大学, 2019.
- [8]王冀.严寒地区空气源结合水源耦合式热泵系统的应用研究[D].兰州交通大学, 2020.
- [9]曾锦雯.地下水源热泵系统土壤换热特性研究及运行优化[D].北京建筑大学, 2020.
- [10]段晓平.基于Feflow的范各庄煤矿矿井涌水量预测研究[D].华北科技学院, 2017.