

# 基于层次分析法的北京市平原区水源热泵 适宜性分区研究

许苗娟<sup>1</sup>, 姜媛<sup>2</sup>, 谢振华<sup>1</sup>, 王新娟<sup>1</sup>

(1.北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195; 2.中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:**本文考虑到影响水源热泵功效的主要因素,对北京市平原区进行了水源热泵适宜性分区。首先,确定影响水源热泵的10个主要因素,采用层次分析法确定了10个因素的影响程度,运用综合指数法计算了北京市平原区1km×1km网格上的水源热泵适宜性指数,最后采用该指数进行适宜性分区。结果表明,适宜和比较适宜建立水源热泵工程地区的面积为1381km<sup>2</sup>,一般适宜地区的面积为1760km<sup>2</sup>,绝对禁建和不适宜建立的面积为2997km<sup>2</sup>,该结果为北京市浅层地温能开发利用和水源热泵工程建设,提供了科学依据。

**关键词:**水源热泵;浅层地温能;层次分析法;空间分析;适宜性分区

中图分类号:X382

文献标识码:A

文章编号:1007-1903(2009)01-0018-04

## 0 引言

水源热泵是以水作为冷、热“媒体”,在冬季利用热泵吸收其热量向建筑物供暖,在夏季热泵将吸收到的热量向其排放,实现对建筑物供冷<sup>[1]</sup>。从20世纪90年代末,北京地区开始利用水源热泵,且发展极为迅速。该技术主要应用于居民小区、商厦和写字楼,2004年底,北京市应用水源热泵系统实现采暖、制冷的建筑物面积约500×10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,2005年底北京浅层地温能利用面积达800×10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>,以每年15%~20%的速度增长<sup>[5]</sup>。目前,由于一些水源热泵工程承包方(主要为热泵机组厂家、系统集成商和暖通空调安装公司)不了解各地区地质、水文地质条件和回灌工艺,盲目承包水源热泵系统工程,导致出现了许多不该出现的问题,如抽取的地下水回灌不下去或回灌到不同含水层中造成地下水质的交叉污染,这样不仅浪费了宝贵的地下水资源,还造成不良的生态、环境和经济后果<sup>[2]</sup>。

受水源热泵应用条件的制约,在建设水源热泵系统时,需要避免系统长期运行后可能引起地面沉降的问题发生,避免不同含水层之间的水质污染、热污染问题的发生<sup>[4]</sup>。所以,选择水源热泵系统时应避开地下水水源地保护区,避开已发生地面沉降等环境地质问题的区域。因此,水源热泵需要在有条件的地区采用,但究竟哪些地区适用,需要进行系统的区域调查和环境评估,明确指出是否适合<sup>[3]</sup>。但是由于缺乏适宜区划分的相关标准、规范等一系列问题,至今还没有系统地进行过北

京平原区浅层地温能适宜区划分工作。

本文依据地质、水文地质,工程地质等资料,考虑到所有影响水源热泵功效的因素,采用层次分析法和综合指数法,对北京市平原区大约6400km<sup>2</sup>面积进行了水源热泵适宜性分区。以便充分利用北京地区的浅层地温能资源,使该项能源的利用达到可持续化,并为合理利用水源热泵系统提供参考依据。

## 1 层次分析法简介

层次分析法(Alytic Hierarchy Process,简称AHP)是对一些较为复杂、较为模糊的问题做出决策的简易方法,它特别适用于那些难于完全定量分析的问题<sup>[7]</sup>。它是美国运筹学家T. L. Saaty教授于20世纪70年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,是一种定性和定量相结合、系统化、层次化的分析方法。该方法的主要特点是合理的将定性与定量的决策结合起来,按照思维、心理的规律把决策过程层次化,数量化。层次分析法将所要分析的问题层次化,根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解成不同的组成因素,按照因素间的相互关系及隶属关系,将因素按不同的层次聚集组合,形成一个多层次分析的结构模型,最终归结为最低层(方案,措施,指标等)。相对于最高层(总目标)相对重要程度的权值或相对优劣次序的问题<sup>[8]</sup>。

该方法自1982年被介绍到我国以来，以其定性与定量相结合的处理各种决策因素的特点，以及其系统灵活简洁的优点，迅速的在我国社会经济各个领域内，如能源系统分析，城市规划，经济管理，科研评价等，得到了广泛的重视和应用。

本文的水源热泵适宜性分区就是采用这种方法，对影响适宜性分区的地质环境等定性因素进行量化，以参与计算和评价。

## 2 评价步骤

### 2.1 评价体系的构建

通过实地调查、统计分析和综合分析认为，影响水源热泵建设和效益的主要因素有3大类：地质—水文地质条件、地下水动力场和水化学<sup>[6]</sup>。而地面沉降，地裂缝以及水源地保护区这三个因素则是起到了决定性作用，某个地区只要出现其中一项，不论前几个指标好坏与否，都不适宜应用水源热泵系统。

本次评价体系由3层构成，从顶层至底层分别由系统目标层（O，Object）、属性层（A，Attribute）和要素指标层（F，Factor）3级层次结构组成。O层是系统的总目标，即浅层地温水源热泵适宜区划分。A层是属性指标层，由地质—水文地质条件、水动力场、水化学场3部分构成。F层是要素指标层，由含水层出水能力、含水层结构、有效含水层厚度、含水层回灌能力、地下水位埋深、地层渗透系数、补给模数、同期水位对比、水质分区、硬度分区等10个指标构成（见图1）。

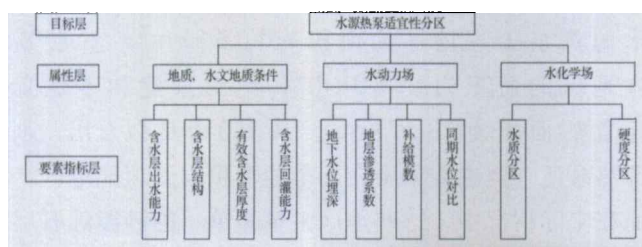


图1 评价体系结构图

### 2.2 评价步骤

本次浅层地温水源热泵适宜区划分采用层次分析法（AHP），GIS图层制作、空间分析、叠加技术以及综合指数

法来实现。

#### （1）成对比较矩阵的构建和权重计算

按照层次分析法（AHP）的要求，在评价体系层次隶属关系的基础上，比较同一层次中各因素关于上一层次同一个因素的相对重要性，构造成对比较矩阵。对成对比较矩阵进行一致性检验，不一致时将成对比较矩阵进行必要的修改，直至达到可以接受的一致性；在符合一致性检验后，计算成对比较矩阵最大特征值相对应的特征向量，确定每个因素对上一层次该因素的权重，最后求出每个因素的权重 $W_i$ [9]。如表1为属性层对应目标层构建的成对比较矩阵，其中地质、水文地质条件较水化学场略显重要，较水动力场更重要一些；如表2为要素指标对应目标层计算得到的权重值。

表1 属性层成对比较矩阵及权重

水源热泵适宜性分区	地质、水文地质条件	水动力场	水化学场	权重( $W_i$ )
地质、水文地质条件	1	4	2	0.5714
水动力场	0.25	1	0.5	0.1429
水化学场	0.5	2	1	0.2857

表2 要素指标对应目标层所占的权重( $W_i$ )

属性指标层	权重( $W_i$ )
有效含水层厚度	0.0807
含水层回灌能力	0.26
含水层结构	0.0807
单井出水量	0.1501
地下水位埋深	0.0143
补给模数	0.0571
同期水位对比	0.0143
地层渗透系数	0.0571
硬度分区	0.0952
水质分区	0.1905

#### （2）空间分析

网格点提取：本次适宜性区划是通过将北京市平原区网格化，计算网格点的适宜性指数，从而得到整个平原区的适宜性分区。为提高计算准确度，对北京市平原区大约6400km<sup>2</sup>的范围进行1km×1km的网格剖分，提取网格中心点坐标，并对网格中心点进行编号，生成网格中心点文件，本次参与计算评价的网格中心点的个数为6138个。

要素指标图件准备：根据评价体系结构，对参与评价的指标要素进行图件准备，包括水质分区图，硬度分区图，回灌能力分区图，水位对比图，补给模数图，含水层有效厚度图，含水层岩性分区图，水位埋深图，渗透系数分区图，含水层出水能力分区图，地面沉降分布图，水源防护区分布图，地裂缝分布

图。对可定量的指标图形根据取值范围进行赋值，如水位对比图、补给模数图、水位埋深图等，根据水位对比、模数及埋深值赋以不同的值；对不能定量获得的指标图形如含水层岩性图，根据含水层岩性对水源热泵的适宜程度赋值，如单一砂卵砾石区适合水源热泵，则赋以高值9，从而将定性的图形量化(见表3)。

表3 含水层岩性分区图赋值

含水层岩性	多层砂层	多层砂及少数砾石层	多层砂砾及少数砂层	2~3层砂卵砾石层	单一砂卵砾石层	山区基岩，十三陵水库
赋值	1	2	4	7	9	1

以上图件在赋值时，根据图件属性，越有利于应用水源热泵条件的属性层给分越高。同时，赋值时应遵循两个原则：（1）在已经发生比较严重的地面沉降地区建立水源热泵可能会产生更加不利的影响，赋值很低；（2）对于水源保护区和地裂缝发育区，禁止建设水源热泵工程，赋值为零。

空间分析：利用MapGis的空间分析系统，将指标要素图形与网格中心点文件进行叠加分析，从而获得网格中心点在其所在位置的各要素指标值。这样，就把图件中的赋值对应到了相应的网格上，将多图形综合分析的问题转化为单纯的网格点指标数学计算。

### （3）网格点适宜性指数计算

在通过评价体系成对比较矩阵的一致性检验，并得到各指标的权重值后，结合利用空间分析得到的网格点属性指标值，即可采用综合指数法进行计算，从而得到每个网格点的最终水源热泵适宜性指数值。计

算公式如下：

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^{10} \beta_k a_{ij}^k$$

式中：

$\beta_k$  ——第k个要素在目标层中所占的权重；

$a_{ij}^k$  ——第k个要素在第i行第j列网格上的赋值；

$R_{ij}$  ——第i行第j列网格上的水源热泵适宜性指数。

## 3 适宜性分区

### 3.1 适宜性分区标准制定

由于北京地区缺乏适宜区划分的相关标准、规范，本次评价工作根据计算得到的水源热泵适宜性指数分布情况及实际水源热泵工程的案例，结合水文地质专家的意见和建议，制定了水源热泵适宜性分区标准（见表4）。

表4 水源热泵适宜性分区标准

适宜性分区	禁建区	较不适宜区	一般适宜区	较适宜区	适宜区
适宜性指数	0	0~3	3~5	5~7	7~9

根据分区标准对各网格点计算得到的指数根据取值范围赋以不同颜色，分布情况如图2所示。

### 3.2 适宜性分区

根据网格点所在的指数计算值，利用MapGis软件的DTM分析模块进行等值线划分，并结合实际地质情况对等值线进行修改，最后生成水源热泵适宜性分区图，如图3所示。

## 4 结果讨论

最终的评价结果表明，适宜和比较适宜建立水源热泵工程地区的面积为1381km<sup>2</sup>，一般适宜地区的面积为1760km<sup>2</sup>，绝对禁建和不适宜建立的面积为2997km<sup>2</sup>。从图3中可以看出，水源热泵适宜区主要集中在几个冲洪积扇的顶部地区，而在实际情况中，这些地区主要是单一的砂卵砾石层分布区，富水性好，回灌能力强，水文地质条件优越，的确非常适宜做水源热泵工程。而较不适宜区大多是在地面沉降发生较严重地区和多层砂层区，在实际中，多层砂层区由于供水稳定性不好，富水性差，确实不适合建立水源热泵工程。而在地面沉降较严重地



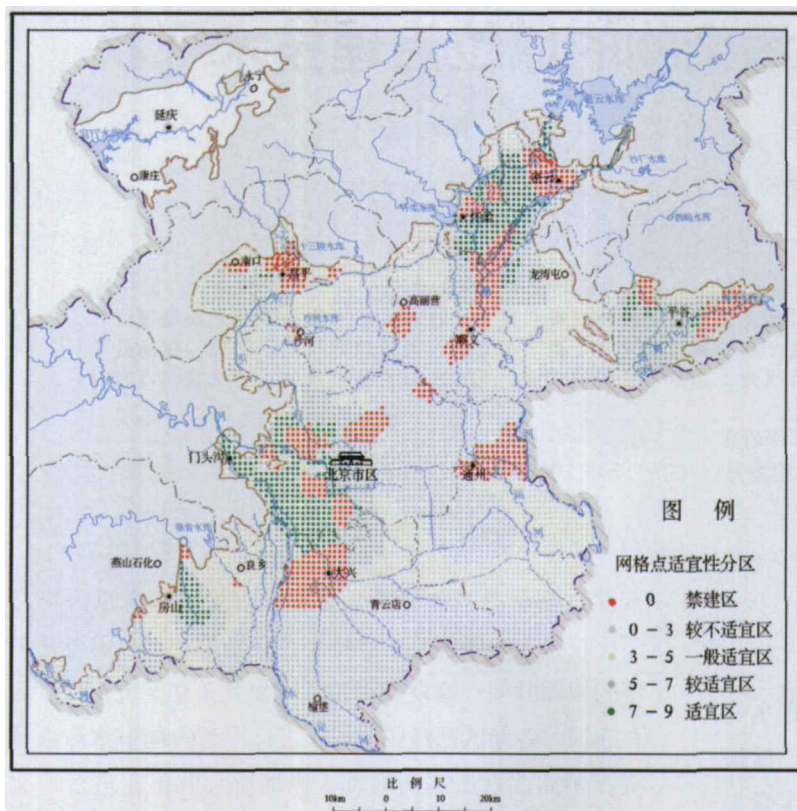


图2 北京市平原区水源热泵适宜性网格点分布情况图

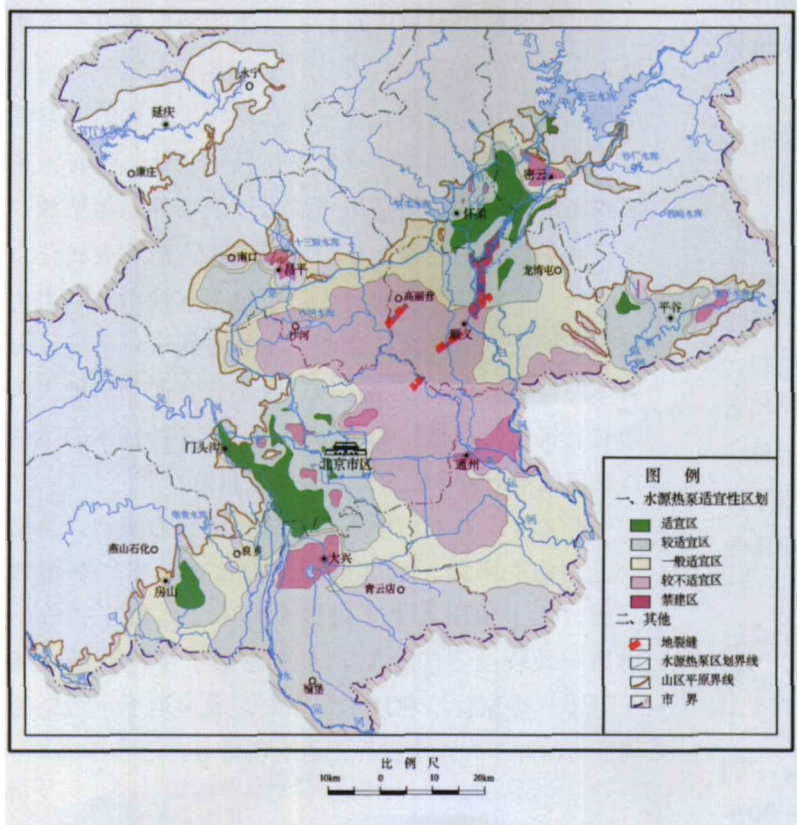


图3 北京市平原区水源热泵适宜性分区结果图

区建立水源热泵工程可能会导致整个系统失效等严重后果。这说明本次工作评价体系、评价方法基本正确,评价结果可信,可以用来作为北京市平原区建立水源热泵的依据。

但同时需要注意的问题是,由于北京地区已连续经历九个枯水年,导致地下水位持续下降,部分含水层已近疏干,如位于永定河冲洪积扇上游的丰台地区,该区第四系地层以砂卵砾石层为主,水文地质条件优越,富水性强,渗透性和地层回灌能力强,非常适宜做水源热泵工程,但该区第四系厚度不足40m,地下水埋深已达30m以上,部分地区含水层厚度仅余1~2m,出现了无水可取的局面。取水成本大大增加,已严重影响了水源热泵项目的经济性。

## 参考文献

- [1] 徐光辉.北京地区浅层地温能资源评价示范研究.博士学位论文.中国地质大学(北京),2007年.
- [2] 李宇,张远东,魏加华.利用水源热泵开采浅层地热能若干问题的讨论.城市地质.2007年第2卷第3期.
- [3] 李世君,刘文臣,辛宝东.北京地区地下水水源热泵利用现状及存在问题.城市地质.2006年第1卷第1期.
- [4] 薛玉伟,李新国.地下水水源热泵的水源问题研究.研究与探讨.1996年.
- [5] 陶庆法,胡杰.浅层地热能开发利用现状、发展趋势与对策.浅层地热能.北京:地质出版社,2007.8.
- [6] 施鑫源,阮森森,王世杰等.供水水文地质手册.北京:地质出版社.
- [7] 王国良,层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用.西部探矿工程,2006年,第9期(总第125期).
- [8] 龚士良.上海地面沉降层次分析法研究.系统工程.1996年,第3期(总第75期).
- [9] 张光辉.中国地质科学院水文地质环境地质研究所,地下水功能评价计算系统(GFS)用户操作手册.(下移至第10页)

## The Strategies of Protection and Characters of geological Vestige Resources Petrified Woods in Jiangnan of Yibin, Sichuan

WANG Zhangyong, ZHOU Shenli

(Land and Resources College, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002)

**Abstract:** The petrified woods at Yiluo town of Jiangnan, Yibin city, mainly occur in the Lower Member of Penglaizheng Group of Upper Jurassic Series, which lithology is gray-yellow calcareous sandstone. According to the initial biopsy results by the microscope observation, the petrified woods are a type of pine and cypress plants preserved within the xylem. The petrified woods have important values to research the paleo-climate, paleo-geography and paleo-ecological of the Yangtze River drainage area. However, the current conservation status is unsatisfied. This paper analyses the characters of geological vestige resources, refers to the specific situation and develops the specific strategies of protection.

**Keywords:** The petrified woods; geological vestiges; Strategies of protection

.....  
(上接第21页)

## Study on Division of the Appropriate Rank of Water Source Heat Pumps based on AHP in Beijing Plain

XU Miaojuan<sup>1</sup>, JIANG Yuan<sup>2</sup>, XIE Zhenhua<sup>1</sup>, WANG Xinjuan<sup>1</sup>

(1. Hydrogeological and Engineering Geological Team of Beijing, Beijing, 100195;

2. China University of Geosciences, Beijing, 100083)

**Abstract:** This paper makes the division of the appropriate rank of water source heat pumps, taking fully into account the many impact factors of efficacy of water source heat pumps. First, we made sure 10 impact factors of water source heat pumps and the degree of the 10 factors based on AHP, then calculated the appropriate coefficient of water source heat pumps based on comprehensive coefficient method on 1km×1km grid. Finally, this paper makes the division of the appropriate rank based on the appropriate coefficient. As a result, the area of appropriate and less appropriate zones is 1381 km<sup>2</sup>; the area of medium appropriate zone is 1760 km<sup>2</sup>; the area of forbidden and inappropriate zone is 2997 km<sup>2</sup>. This result offers a scientific guide to develop and utilize the shallow geothermal energy resources and water source heat pumps.

**Keywords:** Water source heat pumps; Shallow geothermal energy resources; AHP; Space analysis; Division of appropriate zones