

基于 AHP 的 Yaahp 软件对沈阳市区浅层地热能适宜性开发评价研究

戴鹏飞 王宏伟

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院 110168)

摘要: 近些年, 随着沈阳经济的快速发展, 能源的需求日益提高, 清洁能源的使用成为未来的趋势。层次分析法是开发一种综合定性与定量相结合的分析方法, 主要解决多因素复杂系统, 特别是难以定量描述的社会系统的分析方法。本文介绍了浅层地热能的地质背景, 简要分析了沈阳地区的地质因素, 自然特征, 影响因素。构建沈阳浅层地热能评价体系, 主要采用层次分析法并运用软件 yaahp 对评价体系赋予权重, 最后提出了合理开发利用浅层地热能资源的意见及建议。

关键词: 浅层地热能, 资源评价, 层次分析法, yaahp 软件

1. 概述

随着社会的发展, 人类与现有能源之间的供求矛盾日益尖锐, 开发利用新能源已成为社会可持续发展的重大需求, 而浅层地热能无疑是其中最具有生命力和竞争力的新能源之一。^[1-2] 浅层地温能, 是指地表以下一定深度范围内(一般为恒温带至 200 m 埋深), 温度低于 25℃, 在当前技术经济条件下具备开发利用价值的地球内部的热能资源。在开发利用地热能的时候, 需要采用适宜的方法对开发地区的浅层地热能资源进行研究。层次分析法是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统, 将目标分解为多个目标或准则, 进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次, 通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序, 以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。该方法适用于经济社会人文领域, 在资源的开发利用领域运用较少。本文运用 AHP 法对沈阳城区浅层地热能适宜性评价指标进行权重计算, 构建了完整的评价体系, 为日后沈阳市的地热能开发提供参考。

2. 评价方法与软件介绍

2.1 评价方法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是美国匹兹堡大学教授 A. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种系统分析方法^[3]。他模仿人的决策思维过程, 开发一种综合定性与定量相结合的分析方法, 主要解决多因素复杂系统, 特别是难以定量描述的社会系统的分析方法。层次分析法的主要步骤主要分以下几步:

(1) .建立层次结构模型

一般分为三层, 最上面为目标层, 最下面为方案层, 中间是准则层或指标层。

(2) .构造成对比较矩阵

判断矩阵表示针对上一层次某因素而言, 本层次与之有关的各因素之间的相当重要性。假定 A 层中因素 A_k 与下一层次中因素 B_1, B_2, \dots, B_n 有联系, 用某种标度法对同一层元素进行两两比较后建立一个比较矩阵。

(3) .层次单排序计算权重和一致性检验

层次单排序就是指根据判断矩阵计算对于上一层某因素而言本层次与之有联系的因素的重要性次序的权值。可以归结为, 求解矩阵的最大特征根和对应的特征向量, 即对判断矩阵 A, 计算满足:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1)$$

在(1)式中, λ_{\max} 为 A 的最大特征根; W 为对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量; W 的分量 W_i 即是相应因素单排序的权值。

一致性指标计算:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

计算一致性比率:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

当 $CR < 0.10$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则应对判断矩阵作适当修正.(0.1 的选取是有一定主观信度的)

(4) .层次总排序及其一致性检验计算组合权向量

$$CI = \sum_{j=1}^m a_j CI_j \quad (4)$$

$$RI = \sum_{j=1}^m a_j RI_j \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

在(4)式中, CI 为层次总排序的一致性指标, CI_j 为与 a_j 对应的 B 层次中判断矩阵的一致性指标; 在(5)式中, RI 为层次总排序的随机一致性指标, RI_j 为与 a_j 对应的 B 层次中判断矩阵的随机一致性指标; 在(6)式中, CR 为层次总排序的随机一致性比例。同样当 $CR \leq 0.10$ 时, 我们认为层次总排序的计算结果具有满意的一致性。

2.2 yaahp 软件介绍

yaahp 软件是一款层次分析法可视化建模与计算辅助软件, 为使用层次分析法的评估决策过程提供模型构造、计算和分析等方面的帮助^[4]。使用 yaahp 绘制层次模型非常直观方便, 用户能够把注意力集中在决策问题上。通过便捷的模型编辑功能, 用户可以方便地更改层次模型, 为思路的整理提供帮助。如果需要撰写文档或报告讲解, 还可以直接将层次模型导出, 不再需要使用其他软件重新绘制层次结构图。

3. 实例研究

3.1 研究区域概况

沈阳位于中国东北地区南部, 辽宁省中部, 东部为辽东丘陵山地, 北部为辽北丘陵, 地势向西、南逐渐开阔平展, 由山前冲洪积过渡为大片冲积平原。地形由北东向南西, 两侧向中部倾斜。沈阳属于温带半湿润大陆性气候, 年平均气温 $6.2 \sim 9.7^\circ\text{C}$, 地貌单元为浑河冲洪积扇地, 第四系掩埋之下的断层多为逆断层, 较大的断层有马三家子断层、沈旦堡断层, 褶皱构造为东部凹陷带一部分。本文依次选取和平, 铁西, 沈河, 皇姑, 大东, 这五个市内区域的 5 个试验点作为方案层进行评价。

3.2 浅层地热能适宜性评价指标的建立

浅层地热能一般作为水源热泵的供热或供冷源。浅层地热能的储集, 利用, 开发, 受水文地质, 环境, 地下水动力场等多条件条件制约影响。因此不同地区的浅层地热能开发和利用存在较大差异。通过参考《浅层地热能勘查评价规范》《地源热泵系统工程技术规范》,^[5-6] 综合分析, 浅层地热能适宜性评价指标的主要影响因素有: 水文地质条件: 单井用水量, 含水层厚度, 含水层回灌能力。水动力场: 水位埋深, 地面年沉降量, 地下水位年降幅。环境、地质: 水源保护区, 地形地貌。水化学特质及水温: 地下水水质分区, 地下水硬度分区, 地下水温度。

以此依据建立评价体系。层次结构如图 1 所示。其中 A 层为目标层, B 层为指标层, C

层为方案层。
综合分析，构建的系统评价模型如图 1 所示。

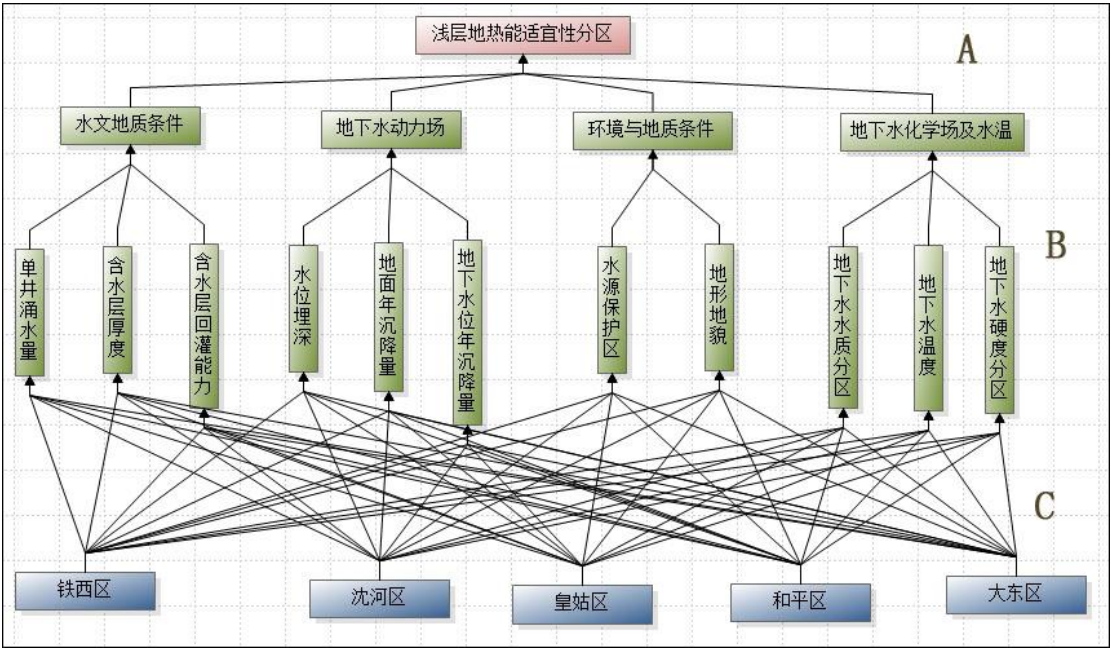


图 1 浅层地热能适宜性开发评价层次结构模型

3.3 判断矩阵的录入：

采用成对比较法和 1~9 尺度，构造各层对上一层每一因素的成对比较阵。对子指标则根据所选的沈阳市内五区的水文地质条件和各方面参数的实际勘测值进行分析比较。由于录入矩阵的数量较多，下面只列两张代表性的软件截图：



图 2 指标层判断矩阵



图 3 单井涌水量判断矩阵

4. 结果与讨论

4.1 计算结果

浅层地热能具有分布广泛, 储量巨大, 稳定持续, 清洁环保的特点。通常借助热泵开发利用。同时, 浅层地热能的有效利用是一项系统工程, 涉及能量的采集、提升、释放等三部分。浅层地热能的采集受所在地水文地质条件的影响较大。尽管浅层地热能理论上均匀分布于地球表层以下, 存在于地下水、地下土壤和江河湖海等地表水中。但实际应用中, 在不同的水文地质条件下利用浅层地热能的成本差异是相当大的。对于利用地下水的情况, 必须考虑到使用地的水文地质条件, 确保可以通过打井获得充足的地下水资源, 同时还要保证地下水在被提取温度之后可以顺利回灌至地下。因而各区域的水文地质条件和地下水动力场的情况对浅层地热能的开发影响巨大。综上所述, 得到两级指标层的权重。

表 1 浅层地热能适宜性评价判断矩阵

适宜性评价	水文地质条件	地下水动力场	地下化学场及水温	环境与地质条件	权重
水文地质条件	1.0000	1.5000	2.0000	3.0000	0.3916
地下水动力场	0.6667	1.0000	2.0000	2.0000	0.2929
地下化学场及水温	0.5000	0.5000	1.0000	2.0000	0.1929
环境与地质条件	0.3333	0.5000	0.5000	1.0000	0.1226

注: 一致性比例 (CR): 0.0172; 最大特征值 (λ_{\max}) = 4.0458

表 2 yaahp 软件中的二级权重

序号	二级指标	权重	序号	二级指标	权重
1	单井涌水量	0.1958	7	水源保护区	0.0817
2	含水层厚度	0.1305	8	地形地貌	0.0409
3	回灌能力	0.0653	9	地下水水质分区	0.0321
4	水位埋深	0.1598	10	地下水温度	0.0964
5	地面年沉降量	0.0533	11	地下水硬度分区	0.0643
6	地下水位年沉降量	0.0799			

根据表 3 的显示结果, 各区的试验点权重的差距不大, 说明对浅层地热能的开发并无明显优劣。具体来看和平区和皇姑区的示范点权重较大, 沈河区适中, 铁西区和大东区的结果较小。最终结果是和平区的示范点为最佳, 铁西区的示范点最不适宜开发。究其原因, 主要是因为单井涌水量所占权重最大, 根据实际的测量值, 和平区示范点的涌水量较其他示范点更为优秀, 水文地质条件也更为优异。

表 3 沈阳市区浅层地热能适宜性开发评价

方案层	权重
铁西	0.1740
和平	0.2265
沈河	0.1916
皇姑	0.2229
大东	0.1849

4.2 分析与建议

根据沈阳市 5 个示范点浅层地热能适宜性评价结果, 适宜开发浅层地热能的区域如和平区示范点, 多位于水质较好, 单井涌水量大, 地下水埋深较浅, 渗透性好, 回灌能力强的地点, 综合起来适宜于浅层地热能开发利用。而大东区与铁西区的示范点一带主要是由于潜水含水岩组渗透性差, 富水程度较弱, 水质较差, 因此导致综合评分较低; 故评价为浅层地热能开发较不适宜, 评价结果合理可靠。

在浅层地热能适宜性评价过程中, 各个评价指标的权重由层次分析法计算确定, 通过分析评价目标与评价指标之间的复杂关系构建层次结构, 从而将问题简单化, 使得评价指标本身的相对重要性定量化, 经过数学计算得到可靠的权重值。相比经验估计法、调查统计法和公式计数法等传统定权方法, 层次分析法定权结果更为科学准确。事实上, 评价结果与客观情况相一致, 进一步验证了 AHP 法可适用于浅层地热能适宜性评价, 评价结果合理可信, 为浅层地热能的合理开发利用提供科学依据和支持。

参考文献:

- [1]陶庆法, 胡 杰. 浅层地热能开发利用的现状、发展趋势及对策 [C] // . 2007 年全国地热(浅层地热能) 开发利用现状经验交流会, 2007.
- [2]郑克棣. 浅层地热能开发利用的世界现状及在我国的发展前景[C] // . 中国能源学会地质专业委员会. 浅层地热能—全国地热(浅层地热能) 开发利用现场经验交流会议论文集. 北京: 地质出版社, 2007.
- [3]朱 茵, 孟志达, 阚权愚. 用层次分析法计算权重 [J] . 北方交通大学学报, 1999, 23(5): 119-122.
- [4]刘心喜, 阮慧锋. 天然气分布式能源系统综合评价方法—基于 AHP 的 YAAHP 软件实现. 绿色科技, 2017, 10 期, 149-151
- [5]浅层地热能勘查评价规范[S]. DZ/T 0225-2009
- [6]地源热泵系统工程技术规范[S]. GB 50366-2009