

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.03.019

# 沈阳市地下水源热泵应用中存在的问题与对策

杨武成<sup>1,2</sup> 李国正<sup>1,2</sup> 陈 赫<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳农业大学水利学院 辽宁 沈阳 110866 ; 2. 沈阳农业大学水资源研究所 辽宁 沈阳 110866)

**摘要** :介绍地下水源热泵技术原理及其特点 ,分析沈阳地区气候、地下水条件 ,以及沈阳地区地下水源热泵技术应用的现状和存在的问题 ,提出解决问题的对策 :完善相应的标准和法律法规 ,建立统一的管理体系及有效的激励机制 ;确定取水井与回灌井的合理比例(一般为 1:2 ~ 1:3) ;确定取水井与回灌井的合适间距(以 40 ~ 80 m 为宜) ;加强相关信息的动态监测工作。

**关键词** 地下水源热泵 ;取水井 ;回灌井 ;比例 ;间距

中图分类号 :P641.2 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2012)03-0088-04

## Problems and countermeasures in application of groundwater heat pump in Shenyang City

YANG Wu-cheng<sup>1,2</sup> , LI Guo-zheng<sup>1,2</sup> , CHEN He<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Conservancy , Shenyang Agricultural University , Shenyang 110866 , China ;  
2. Institute of Water Resources , Shenyang Agricultural University , Shenyang 110866 , China )

**Abstract** : This paper introduces the principles and characteristics of groundwater heat pump technology , and illustrates the climate and groundwater conditions and the current status and problems in the application of this technology in Shenyang City. Some countermeasures against these problems are proposed. They include strengthening the construction of relevant laws and regulations , establishing a management system and effective incentive mechanism , identifying a proper proportion ( generally between 1:3 and 1:2 ) and a suitable distance of 40 m to 80 m between the water intake well and disposal well , and enhancing dynamic monitoring of relevant information.

**Key words** : groundwater heat pump ; water intake well ; disposal well ; proportion ; distance

地下水源热泵是地源热泵的一个分支 ,地下水源热泵技术始于 1912 年。1948 年 ,第一台地下水源热泵系统在美国俄勒冈州波特兰市联邦大厦投入运行。近几十年来 ,地下水源热泵得到了广泛的应用与发展。我国在 1997 年开始引进地下水源热泵产品 ,由于其高效、节能、环保等特点 ,目前我国正尝试大规模推广使用。

## 1 地下水源热泵的技术原理与特点

### 1.1 技术原理

地下水源热泵系统是利用地下水温度基本恒定

这一特点 ,利用地下水作为载体 ,将地下水抽取到地面以上进行热交换 ,将水能充分利用之后的地下水再回灌到含水层中 ,通常地下水源热泵消耗 1 kW 的能量 ,用户可以得到 4 kW 以上的热量或冷量。

### 1.2 特点

#### 1.2.1 高效节能

风冷热泵的能效比是 2.0 ~ 3.0 ,水源热泵供热时的能效比为 3.5 ~ 4.0 ,供冷时的能效比为 5.0 ~ 5.2。从这一点可以看出水源热泵可以称为高效节能的供热供冷设备。据美国国家环境保护署估计 ,设计安装良好的水源热泵平均可以节约用户 30%

~40%的供热制冷空调的运行费用。

### 1.2.2 运行稳定

地下水温度一年四季相对稳定,其波动的范围远远小于空气,这一特点使得热泵机组运行更可靠、稳定,同时也解决了空气源热泵的冬季除霜等难题。

### 1.2.3 环保效益显著

地下水源热泵是利用地下水作为冷热源,避免了供热时使用燃煤等带来的污染和供冷时冷却塔带来的噪音污染等。

## 2 沈阳地区的气候及地下水条件

### 2.1 气候条件

沈阳地区位于北温带亚洲季风气候区北缘,受季风影响,属于温湿和半温湿大陆性气候,主要特点是季风气候特征明显,四季分明,降水集中,日照充足。沈阳地区气象参数:全年平均温度为 $8^{\circ}\text{C}$ ,七月平均气温为 $24.6^{\circ}\text{C}$ ,一月平均气温为 $-11.8^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量为 $598.9\text{mm}$ ,最大年降水量为 $845.8\text{mm}$ ,最小年降水量为 $432.2\text{mm}$ ,年平均日照数为 $2541\text{h}$ ,日平均气温小于或等于 $5^{\circ}\text{C}$ 的天数为 $152\text{d}$ 。

### 2.2 地下水条件

沈阳市位于辽东山地与下辽河平原的交接地带,其地形总趋势是由东北向西南倾斜,高程一般在 $40\sim 60\text{m}$ 之间。浑河自东部山区流向西部平原的出口处,将大量的碎屑物沉积下来,形成了东窄西宽、东高西低的浑河冲洪积扇。浑河冲洪积扇内第四纪地层较发育,主要由下更新统冰水沉积层、上更新统冲洪积层和全新统冲积及冲洪积层等构成,厚度由东向西逐渐变厚。沈阳地区含水层主要由全新统冲积—冲洪积砂及砂砾石孔隙潜水含水层、上更新统冲洪积砂砾卵石孔隙潜水含水层和下更新统冰水沉积含黏性土砂砾卵石孔隙承压水含水层组成。各含水层水文地质特征如下:

a. 全新统冲积—冲洪积砂及砂砾石孔隙潜水含水层主要分布在浑河的河漫滩附近,由冲积或冲洪积成因的砂或砂砾石组成,厚度 $10\sim 15\text{m}$ ,涌水量一般为 $10\sim 15\text{L/s}\cdot\text{m}$ 。

b. 上更新统冲洪积砂砾卵石孔隙潜水含水层在沈阳市绝大多数地段均有分布,主要由砂砾卵石组成,厚度多为 $20\sim 30\text{m}$ ,涌水量一般为 $15\sim 30\text{L/s}\cdot\text{m}$ 。该含水层与上部的全新统孔隙潜水含水层之间无隔水层,因此,在开发利用时一般作为统一的含水层组进行开采。

c. 下更新统冰水沉积含黏性土砂砾卵石孔隙承压水含水层在上更新统孔隙潜水含水层的下部普遍存在,由半胶结的含黏性土砂砾卵石组成,局部为砂砾

石,厚度一般为 $20\sim 40\text{m}$ ,涌水量为 $1.0\sim 2.0\text{L/s}\cdot\text{m}$ 。在该层的上部一般覆盖有 $3\sim 5\text{m}$ 厚的黏性土层,因而具有一定承压性。

下更新统孔隙承压水含水层的水质较好,已成为沈阳市的主要市政供水水源,因此水源热泵项目一般不允许使用该层地下水,而使用以上部的孔隙潜水含水层组为主的地下水。

沈阳地区的孔隙潜水含水层组厚度一般为 $25\sim 35\text{m}$ ,水位埋深 $8\sim 12.0\text{m}$ ,渗透系数 $40\sim 100\text{m/d}$ ,单井涌水量多为 $50\sim 150\text{m}^3/\text{h}$ ( $5\text{m}$ 降深),水温一般为 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ ,水质多为低矿化的 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水,比较适合水源热泵使用<sup>[1-6]</sup>。

## 3 应用现状及存在问题

### 3.1 应用现状

沈阳地区应用水源热泵技术始于1997年,2006年9月,沈阳市被建设部列为全国实施热泵系统建设和应用的试点城市之一。2007年8月,沈阳市政府发布了《沈阳市地源热泵系统建设应用管理办法》,确定了沈阳市地源热泵技术应用发展规划,要求全面推进热泵系统建设和应用。按照规划,到2010年底沈阳市可累计形成有效供热面积 $6928\text{万}\text{m}^2$ 。

沈阳市的热泵系统以地下水源热泵系统、混合式水源热泵系统和再生水源热泵系统为主,其中地下水源热泵系统应用最多。截至2008年,沈阳市地下水源热泵系统应用面积累计达到 $2246\text{万}\text{m}^2$ ,占总面积的 $64.9\%$ ;再生水源热泵系统应用面积为 $626\text{万}\text{m}^2$ ,占总面积的 $18.1\%$ ;混合水源热泵系统应用面积为 $573\text{万}\text{m}^2$ ,占总面积的 $16.6\%$ ;土壤源热泵系统应用面积为 $14\text{万}\text{m}^2$ ,占总面积的 $0.4\%$ <sup>[4]</sup>。

### 3.2 存在问题

#### 3.2.1 现有法规和标准不能满足实际要求

目前在国家层面上还缺乏针对地下水源热泵项目的技术和管理标准,现有标准也缺乏地下水回灌温度、动态监测、环境影响评价等方面的内容。尽管沈阳市也出台了水源热泵系统管理的相关规定,但这些规定在科学性、系统性和全面性方面有所欠缺,使沈阳市水源热泵项目管理中存在一些盲区,如没有考虑水源热泵项目对相邻其他用水户的影响、取水井与回灌井的合理间距、水源热泵系统的动态监测内容等,在一定程度上造成了水源热泵项目开发不合理。

#### 3.2.2 监测薄弱

目前,沈阳市的地下水源热泵项目基本上只对取水和回灌的水量进行监测,而对水位、水温、水质等的监测基本还处于空白。从地下水资源的保护和

管理角度来看,有必要在地下水源热泵项目区设立长期地下水动态观测点,以便及时了解和掌握水源热泵系统在使用过程中对周边水资源环境和地质环境造成的不良影响。

### 3.2.3 地下水达不到等量回灌

地下水源热泵系统在回灌过程中,由于空气进入含水层中形成气泡而阻碍了水的运动,而且由于氧化和生物的作用,长时间回灌可能引起回灌井回灌能力的衰减。此外,受水力学上的非堵塞衰减、回灌井的成井质量等因素的影响,还会造成地下水回灌量的逐渐衰减,达不到等量回灌。目前,沈阳市已有部分水源热泵系统因达不到等量回灌而无法使用。

### 3.2.4 取水井与回灌井的间距不合理

地下水源热泵系统中,取水井与回灌井之间的间距对系统运行起着至关重要的作用。如果取水井与回灌井的间距设计不合理,很容易导致系统运行出现流贯通及热突破,进而影响系统的正常运行,缩短热泵系统的寿命。沈阳市于洪区人民法院水源热泵项目中,开凿井3口,取水井与回灌井的比例为1:2,其间距不足20m,造成了水源热泵系统运行效率低下,达不到供暖设计标准。

### 3.2.5 相邻取水工程的影响问题

随着地下水源热泵的广泛应用,必然形成很多相邻较近的地下水源热泵建设项目,它们相互之间的取、回水影响问题不可避免。同时,沈阳城区又分布有众多的地下水源地,如何保证地下水源热泵项目不对地下水源地造成水量和水质的影响,也是沈阳市在水源热泵系统应用中亟待解决的重要问题。

## 4 对策

### 4.1 完善相应的标准和法律法规

地下水源热泵系统跨地质、水利、暖通等多学科领域,而各领域标准各不相同,因此有必要建立一套完善的标准体系,同时继续完善相应的法律法规,为水源热泵项目在沈阳市的发展提供相应的法律保障。

### 4.2 建立统一的管理体系及有效的激励机制

目前沈阳市地源热泵系统的建设和运行管理分别由两个部门负责,即建设主要由沈阳市建设委员会负责,运行管理由沈阳市房产行政主管部门负责。这种管理体系不利于地下水源热泵的统一管理,因此,建立统一的管理体系是地下水源热泵发展的体制保障<sup>[7]</sup>。

由于地下水源热泵的初期投资费用比传统供热(冷)系统的投资费用要高,一定程度上影响了业主采用地下水源热泵的积极性,因此,政府应制定专项财政预算,对地下水源热泵项目进行合理的财政补

贴,以激励地下水源热泵技术的推广。

### 4.3 确定取水井与回灌井的合理比例

从理论上讲,地下水的抽灌比可以达到100%,但是,在实际应用过程中,特别是在含水层中存在细颗粒的情况下,回灌井极易被堵塞,回灌的速度大大低于取水的速度。根据实际经验,砾石含水层单井的回灌量一般为取水量的80%左右,粗砂含水层单井的回灌量一般为取水量的50%~70%,细砂含水层单井的回灌量是取水量的30%~50%。在进行水源热泵系统设计时,取水井与回灌井的比例应通过试验来确定。一般情况下,沈阳地区的取水井与回灌井比例为1:2~1:3。

### 4.4 确定取水井与回灌井的合适间距

地下水源热泵取水井与回灌井间距的确定受多方面因素的影响,既要避免产生流贯通现象,也要避免热突破事件。基于地下水对流和弥散在热突破事件中的作用和热弥散计算的复杂性,地下水源热泵系统取水井与回灌井的间距计算,采用稳定态纯对流双井条件下的地下水运移锋面运移公式,即

$$L = \sqrt{\frac{3Qt_m}{4\pi hn}}$$

式中: $L$ 为取水井与回灌井的间距; $Q$ 为取水量; $t_m$ 为地下水地源热泵运行时间; $h$ 为含水层的厚度; $n$ 为含水层孔隙度。

结合沈阳地区含水层的实际情况,参考相关资料,确定沈阳地区含水层的孔隙度:砾石含水层为27%,粗砂含水层为40%,中砂含水层为42%,细砂含水层为45%。

沈阳市全年采暖期为152d,地下水源热泵系统一般运行10h/d,全年共计运行1520h。表1为不同取水量且不发生热突破时,4种含水层情况下(砾石含水层、粗砂含水层、中砂含水层、细砂含水层)的取水井与回灌井最小间距的计算结果。

沈阳市含水层厚度一般为25~35m,单井取水量多为1500~3000m<sup>3</sup>/d。由表1可以查出,沈阳地区取水井与回灌井的间距以40~80m为宜。

回灌水温对取水井水温的影响,除了对流作用外,还存在宏观水动力弥散以及水和固体颗粒的直接导热作用,因此,取水井与回灌井的间距设计,除考虑上述参考值外,还应根据取水井的允许水温变化程度来综合确定。

### 4.5 加强相关信息的动态监测工作

建立全面的信息监测网络,对抽水井、回灌井的温度、流量、水位、水质等进行实时监测,并对这些数据进行实时分析,以便及时发现潜在的问题,同时也为解决这些问题提供相应的基础资料。

表 1 沈阳地区不同取水量时 4 种含水层情况下的取水井与回灌井的间距

m

h/m	Q = 500 m <sup>3</sup> /d				Q = 800 m <sup>3</sup> /d				Q = 1000 m <sup>3</sup> /d			
	砾石	粗砂	中砂	细砂	砾石	粗砂	中砂	细砂	砾石	粗砂	中砂	细砂
10	53	43	42	41	67	55	54	52	75	61	60	58
20	37	31	30	29	47	39	38	37	53	43	42	41
30	31	25	24	24	39	32	31	30	43	35	35	33
40	26	22	21	20	33	27	27	26	37	31	30	29

  

h/m	Q = 1500 m <sup>3</sup> /d				Q = 2000 m <sup>3</sup> /d				Q = 3000 m <sup>3</sup> /d				Q = 4000 m <sup>3</sup> /d			
	砾石	粗砂	中砂	细砂	砾石	粗砂	中砂	细砂	砾石	粗砂	中砂	细砂	砾石	粗砂	中砂	细砂
10	92	75	73	71	106	87	85	82	130	106	104	100	150	123	120	116
20	65	53	52	50	75	61	60	58	92	75	73	71	106	87	85	82
30	53	43	42	41	61	50	49	47	75	61	60	58	86	71	69	67
40	46	38	37	35	53	43	42	41	65	53	52	50	75	61	60	58

## 5 结 语

地下水源热泵系统具有高效、节能、环保等优点，值得大力推广，但地下水源热泵系统作为一项新兴能源技术，在应用过程中还有许多问题亟待解决。建议沈阳市开展对地下水源热泵系统采能区温度场变化规律的研究工作，建立地下水源热泵系统水热耦合模型，为沈阳市地下水源热泵系统的应用和管理提供技术支持，以实现地下水源热泵项目的可持续利用。

### 参考文献：

[1] 沈阳市水利局. 沈阳市水资源 [M]. 沈阳: 东北大学出版社 2007.  
 [2] 沈阳市水利局. 沈阳市 2008 年水资源公报 [R]. 沈阳: 沈

阳市水利局 2008.  
 [3] 杨武成, 韩春兰. 沈阳市地下水可持续利用研究 [J]. 农业与技术 2005(1): 33-35.  
 [4] 魏欣. 浅析沈阳市地源热泵系统应用形式及发展目标 [J]. 工程建设与设计 2009(6): 59-63.  
 [5] 辽宁省水文水资源勘测局. 沈阳城区地下水源热泵取水监管技术标准研究报告 [R]. 沈阳: 辽宁省水文水资源勘测局 2008.  
 [6] 闫冬. 基于 Visual MODFLOW 的沈阳中心城区地下水数值模拟研究 [D]. 大连: 辽宁师范大学 2009.  
 [7] 何俊仕, 吴迪, 梁洪杰, 等. 沈阳市水资源分区及开发利用与保护对策研究 [J]. 水文, 2008(2): 87-90.  
 [8] 吴法伟. 沈阳城区地下水地源热泵取水关键指标研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学 2009.

(收稿日期 2011-03-09 编辑 彭桃英)

# 《水利经济》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊  
 全国水利系统优秀期刊 全国农业系统优秀期刊

(邮发代号 28-252, CN32-1165/F, 双月刊)

《水利经济》是由河海大学与中国水利经济研究会共同主办的以技术性为主、兼顾学术性和管理性的科技期刊。《水利经济》1983 年创刊，是全国唯一的水利经济研究方面的专业性期刊。

主要刊登内容：水经济学理论，水权、水市场与水价研究，水利工程建设中的经济效益、社会效益和环境效益评价与分析，水利工程经济评价和财务评价，水利工程资本运作与费用分摊研究，水利工程管理研究，以及水利事业和水利建设的管理体制体制改革研究，水库移民经济研究，农业经济与管理研究，生态与环境经济研究，生态建设领域中的水资源可持续发展研究等。

主要读者对象：从事水经济、水利水电技术、经济管理、生态、环境、农业经济及管理工作的有关工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校师生。

订阅办法：读者可通过邮局订阅，也可直接向编辑部订阅。2012 年每期定价 10 元，全年 6 期共计 60 元。

编辑部地址：南京市西康路 1 号 河海大学《水利经济》编辑部

邮政编码 210098 电话/传真 025-83786350 E-mail: jj@hhu.edu.cn

网址: [http://kbb.hhu.edu.cn/web/indexjj.asp?d\\_id=43](http://kbb.hhu.edu.cn/web/indexjj.asp?d_id=43)