

地下水源热泵系统的水文地质勘察

姚文清^{*1}, 王文喜², 杨 颖¹

(1. 辽宁地质工程勘察施工集团公司, 辽宁 沈阳 110032;

2. 沈阳铁道勘察设计院有限公司, 辽宁 沈阳 110013)

摘 要:分析了在进行地下水源热泵系统的设计之前, 进行水文地质勘察的必要性, 并分别阐述了水文地质勘察需要掌握的指标。

关键词:地下水源热泵系统; 水文地质勘察; 地下水灌抽比

中图分类号:P64 **文献标识码:**A **文章编号:**1004—5716(2010)10—0152—04

地下水源热泵系统就是通常所说的深井回灌式水源热泵系统。通过建造抽水井群将地下水抽出, 通过二次换热或直接送至水源热泵机组, 经提取热量或释放热量后, 由回灌井群灌回地下。无论是深井水, 还是地下水都是热泵的良好低位热源。地下水位于较深的地方, 由于地层的隔热作用, 其温度随季节气温的波动很小, 特别是深井水的水温常年基本不变, 对热泵的运行十分有利。深井水的水温一般约比当地气温高 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。通常系统包括带潜水泵的取水井和回灌井。

正确可靠的资料特别是水文地质资料是保证地下水源热泵系统设计质量的先决条件。在进行地下水源热泵系统的设计之前, 进行水文地质勘察是很有必要的, 尤其是必须准确掌握工程场地的这些指标: 水文地质条件、地下水水温及水质等, 根据抽水试验与回灌试验确定地下水灌抽比及井间距、回扬次数。

1 水文地质勘察

1.1 水文地质条件

水文地质条件是一种客观条件, 也是水源热泵系统项目的先决条件。基本的地质条件为所用的含水层深度、含水层厚度、含水层砂层粒度、地下水埋深、水力坡度、地下水流向。含水层太深, 会影响整个地下系统的造价, 一般来说, 希望含水层的深度在150m以内; 含水层的厚度太小, 会影响单井出水量, 从而影响系统的经济性; 含水层的砂层粒度大, 含水层的渗透系数大, 一方面单井的出水量大, 另一方面灌抽比大, 地下水容易回灌。所以国内的地下水源热泵基本上都选择地下水含水层为砾砂和中粗砂地域, 而避免在中细砂区域设立项目。只要设计适当, 地下水力坡度对地下水源热泵的影

响不大, 但对地下储能系统的储能效率影响很大。明确地下水流向可以合理布置井位及井间距。

1.2 地下水水温

地下水的温度是地下水源热泵系统设计中一个重要参数, 它关系到地下水流量的确定, 换热器的选型计算, 以及整个系统的优化设计, 所以水文地质勘察中必须要调查地下水的温度, 得出工程现场的地下水水温。

不同的地理环境、地质条件和地下深度有不同的地下水水温。地下水水温跟地温有关, 一般大地在6.1~45.7m深度间为恒温带, 在6.1m以上温度受大气、太阳辐射的影响, 基本会随着地面空气温度的变化而变化; 在45.7m以下, 主要由于地热的作用, 温度会随深度的增加而升高。不受太阳辐射影响的地下水恒温带因不同纬度地区其深度而不同, 水温温度范围一般为 $10^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ 。对于热泵选择的进水温度取决于深井水的水温平均水温, 深井水的水温一般约比当地气温高 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。我国东北北部地区深井水水温约为 4°C , 中部地区约为 12°C , 南部地区约为 $12^{\circ}\text{C}\sim 14^{\circ}\text{C}$; 华北地区深井水水温约为 $15^{\circ}\text{C}\sim 19^{\circ}\text{C}$; 华东地区深井水的水温约为 $19^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$; 西北地区浅井水水温约为 $16^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$; 深井水水温约为 $18^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$; 中南地区浅井水水温约为 $20^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ 。水源的水温应适度, 适合机组运行工况要求。例如, 清华同方GHP型水源中央空调系统在制热运行工况时, 水源水温应为 $12^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$; 在制冷运行工况时, 水源水温应为 $18^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

在进行地下水源热泵设计时, 要准确测出地下水在夏季和冬季的水温, 根据夏季和冬季不同的地下水温度来设计地下水源热泵的结构。

* 收稿日期: 2009-12-14

第一作者简介: 姚文清(1981-), 女(汉族), 山西太谷人, 工程师, 现从事岩土工程勘察技术工作。

1.3 地下水水质

任何时候地下水状况都与系统密切相关,系统设计者需要了解水质的状况,以便于选择合适的材料制造系统的各个部分以适应该地的水质。所以在采用地下水源热泵系统进行设计之前,必须先进行水文地质勘察,了解是否有适合地下水源热泵的利用的水源,并对其进行水质分析。

水质分析评价具有多目标性的特点,在评价过程中,始终牵涉到目标权重确定这一关键问题。目前有 6 种常用的方法确定权重,其中层次分析法(AHP)将定性和定量相结合,是一种公认的较为成熟的方法。利用此方法,对影响地下水源热泵运行效果和使用寿命的水质指标重要性程度排序如下:

(1)含砂量和浑浊度:有些水源含有泥砂、有机物与胶体悬浮物,使水变得浑浊。水源含砂量高对机组和阀门会造成磨损,严重时会造成管道堵塞。而且,含砂量和浑浊度高的水用于地下回灌会造成含水层堵塞。

(2)结垢趋势:可以分析水的硬度,即水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 总量。硬度大,易生垢。还可以根据雷兹纳稳定指数或郎格列饱和指数估计水中碳酸钙的结垢趋势。当然这些指数只能判断普通结垢情况,因此还得考虑其它结垢因素比如石膏和其他溶解盐。表 1 给出了用雷兹纳稳定指数得出水垢特征状况。

表 1 雷兹纳稳定指数

雷兹纳稳定指数	结垢趋势
<4.0	急剧
4.0~5.0	严重
5.0~6.0	中度
6.0~7.0	轻度
>7.0	无

(3)矿化度:水的矿化度通常以 1L 水中含有各种盐分的总克数来表示(g/L)。地下地下水矿化度的高低,直接影响土壤的含盐量。适用于地下水源热泵的地下水一般为淡水和弱咸水。

(4)酸碱度:水的 pH 值小于 7 时,呈酸性,反之呈碱性。地下水中 pH 值过高或者过低都会造成机组的腐蚀,严重影响到系统的使用寿命。地下水源热泵的水源 pH 值一般应为 6.5~8.5。

(5)水中氯离子、 CO_2 、硫酸根离子含量:氯离子在很大程度上促进碳的腐蚀,比如高强度低合金钢、不锈钢和其他金属,当地下水的温度低于 25℃,氯化物成分在 200ppm 以下使用 304 不锈钢;若氯化物成分超出 200ppm 则该使用 316 不锈钢。 CO_2 溶解在水中,加速

氧化及对高强度低合金钢的腐蚀。硫酸根离子主要对水泥起腐蚀作用。

(6)有害细菌、微生物:有害细菌、微生物生长会造成水流不畅和管道侵蚀。

1.4 抽水试验与回灌试验

抽水试验是在井中进行计时计量抽取地下水,并测量水位变化的过程,目的是了解含水层富水性,并获取水文地质参数。回灌试验是向井中连续注水,使井内保持一定水位,或计量注水、记录水位变化来测定含水层渗透性、注水量和水文地质参数的试验。

(1)勘察试验井的数量,应根据场地情况、水文地质条件、需水量、单井出水量、单井回灌量等因素确定。当地下水换热系统供给的建筑面积:居住建筑面积小于等于 50000 m^2 ,或公共建筑面积小于等于 20000 m^2 时,勘察试验井的数量不应少于一组(2 眼,1 抽 1 回);当地下水换热系统供给的建筑面积:居住建筑面积大于 50000 m^2 ,或公共建筑面积大于 20000 m^2 时,勘察试验井的数量相应增加。

(2)试验观测孔的数量根据实际情况确定,一般每组勘察试验井不宜少于 2 个。

(3)勘察试验井的距离视水文地质条件,需水量大小、场地大小等具体情况确定,一般不宜小于 60.0m。

抽水试验时,水位下降的落程应根据试验目的确定,一般进行 3 个落程。其中最大下降值应尽量接近井的设计动水位,较小的 2 次下降值约分别为最大下降值的 1/3 和 2/3。各个落程的水泵吸水管口的安装深度,应尽量相同。当水井出水量很小,试验时的出水量已达到水井的极限出水能力时,水位下降的落程可适当减少。

抽水试验的稳定标准,应符合在抽水稳定延续时间内,抽水井出水量和动水位与时间关系曲线只在一定的范围内波动,而且没有持续上升或下降的趋势。

- ①当有观测孔时,应以最远观测孔的动水位判定;
- ②在判定动水位有无上升或下降趋势时,应考虑自然水位的影响。

互阻抽水试验,应尽量符合下列要求:

- ①抽水试验井的结构相同;
- ②各抽水井的水位下降值一致;
- ③当一个抽水井抽水时,对另一个最近的抽水井产生的水位下降值,不宜小于 200mm。

回灌试验的试验方法除应与抽水试验相同外,尚应符合下列要求:

- ①抽水井及回灌井同时观测;
- ②回灌试验的稳定延续时间应在 36h 以上;

- ③回灌水位上升幅度不宜超过 5m;
- ④回灌水含砂量不应超过 1/50000。

1.5 地下水灌抽比

虽然从理论上讲,地下水灌抽比可以达到 100%,但是,目前大多数国家的地下水回灌技术尚不成熟,特别在含水层砂粒较细的情况下,井极容易被堵,回灌的速度大大低于抽水的速度。对于砂粒较粗的含水层,由于孔隙较大,相对而言,回灌比较容易。表 2 列出了国内针对不同地下含水层情况典型的灌抽比、井的布置和单井出水量情况。

表 2 不同地质条件下的地下水系统设计参数

含水层情况	灌抽比 (%)	井的布置	井的流量 (t/h)
砾砂	>80	一抽一灌	200
中粗砂	50~70	一抽二灌	100
细砂	30~50	一抽三灌	50

造成灌抽比降低的原因是回灌井的堵塞现象。国内普遍认为,在回灌过程中,井的堵塞是不可避免的。造成井堵塞的原因是多种多样的,表 3 列出了各种堵塞机理和相应的物理和化学处理方法。根据井的堵塞性质和原因,可采用连续回扬法、化学法和灭菌法等处理管井堵塞问题。

表 3 井堵塞机理及处理方法

堵塞种类	成因	处理方法
物理堵塞	砂层压密,砂层扰动压密、孔隙度减小、渗透性能降低	打新井
悬浮物堵塞	浑浊物被带入含水层,堵塞砂层	控制水源水质标准和回扬地下水地下输送过程中脱气
气相堵塞	空气被带入含水层	
化学堵塞	管道化学沉淀堵塞,水中的 Fe、Mn、Ca、Mg 离子与空气接触所产生的化合物沉淀,堵塞了滤网和砂层孔隙	回扬,酸化(HCl)处理,水质监测
管道电化学沉淀堵塞	管道和过滤器因受电化学腐蚀,水中铁质增加,堵塞了滤网或砂层的孔隙	回扬,酸化(HCl)处理,水质监测
生化堵塞	生物化学堵塞铁细菌、硫磺还原菌大量繁殖	回扬,加适量杀菌剂

1.6 回扬和洗井

在国内,通常采用回扬清洗的方法来维持地下水的

回灌。回扬次数和回扬的时间视含水层的透水性大小而定,其次要考虑井的特征、水质、回灌量和回灌技术方法。对于中、细砂的含水层,压力回灌每天需回扬 2~3 次,真空回灌每天需要回扬 1 次。回扬时间的确定,以每次抽完浑浊水后出清水为限,一般需要 15~30min。在停用期,20~30d 回扬 1 次。对于一般轻度堵塞的回灌井,可直接用连续回扬的方法处理,直至井的单位开采量和动水位恢复,方可继续进行回灌。在回扬过程中需按时测定井的回扬量、静动水位,取水样分析化学成分等。对于堵塞严重的回灌井,可用回扬与间歇停泵反冲的处理方法,或用回扬与压力灌水相结合的处理方法。为了清除滤水管的沉淀物和铁细菌,一般对水进行化学处理。用 HCl(浓度 10%,加酸洗抗蚀剂)处理滤水管的沉淀物,通过水中加药或提高 pH 值(加石灰)使之变为碱性水,以抑制铁细菌的生长。回扬和清洗处理都是非常专业化的工作,大大增加了用户的维护工作量。另外,这种操作对井的损害也很大,会造成系统寿命的降低。

1.7 井间距离

抽水井间及回灌井间有互阻效应,根据抽水试验与回灌试验的结果计算出合理的井间距。

通过对不同井对距离条件下含水层采能区地温场的演化进行模拟和分析,结果表明:

(1)在其它条件相同的情况下,抽、灌井对之间的距离越大,抽水井发生热突破所需要的时间就越长。且抽水井发生热突破后,相同时间内抽水井的温度变幅越小;

(2)抽、灌井对间距越大,抽、灌区附近地下水的渗流速度越小,对流传热作用越弱,抽水井温度的变化越迟缓;

(3)随着抽、灌井对间距的增加,回灌水向抽水井渗流所覆盖的区域相应扩大,有利于回灌水在供暖期(制冷期)充分汲取(释放)热量;反之亦然。

2 工程实例

本着节约能源降低污染的原则,沈阳市商业城股份有限公司拟采用地下水源热泵系统,为此由沈阳市商业城股份有限公司委托辽宁地质工程勘察施工集团勘察研究院,在其规划红线范围内进行水源热泵水文地质勘察工作。

本区地下水类型按埋藏条件划分,属第四系孔隙潜水。主要赋存在粗砂、砾砂和圆砾层中。本次勘察期间因受沈阳地铁一号线降水工程的影响,地下水位埋深为 17.185~17.685m,含水层厚度为 20.81~22.31m。而
(下转第 157 页)

表 2 已知点平面坐标与其转换计算成果比较

W1 网			W2 网			W3 网		
点名	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$	点名	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$	点名	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$
R016	1.8	0.1	R092	-0.9	-1.5	R155	-1.9	-0.2
R018	0	0.8	R120	-0.1	-2.7	R157	-1.9	-2.0
R040	0	0	R130	3.7	0.9	R158	-3.3	-3.0
R046	2.5	1.2	R132	2.2	-1.9	R183	0.6	1.2
R049	0.6	1.1	R153	2.9	-2.0	R185	-2.2	-1.2
R071	0.3	0.7	R154	3.8	-2.3	R209	0.4	1.1
R072	2.0	1.7	R155	-1.9	-0.2	R211	-0.8	-3.8
R088	0	1.2				R212	0	0
						R234	2.1	-2.4
						R235	-0.4	-2.9
						R237	2.8	-4.1
						R257	2.5	-1.7

(4)使用范围:北纬 $35^{\circ}00'$ ~ $29^{\circ}00'$,东经 $114^{\circ}30'$ ~ $120^{\circ}00'$ 。

(5)转换坐标系统根据需要进行选择,转换后正常高为 1985 国家高程基准。

参考文献:

[1] 张全德. 精化区域似大地水准面技术方法与设计[J]. 测绘工程,2007(4).
[2] 陈俊勇. GPS与大地水准面[J]. 全球定位系统,2005.
[3] 李征航,黄劲松. GPS测量与数据处理[R].

(上接第 154 页)

天然地下水位埋深 8.44~9.10m,含水层厚度为 29.56~30.9m。含水层下伏粘性含砾石层(“泥砾”层)在区内普遍分布,埋深一般为 38~40m;厚度未揭穿,该层渗透性较差,视为隔水层。

地下水的主要补给来源为大气降水垂直入渗补给。本区含水层连续稳定,渗透性较好,地下水径流条件较好。地下水主要在该含水层中赋存和运移。地下水排泄方式主要为人工开采和向下游径流排泄。

根据当地区域水文地质图,勘察区所在区域地下水流向总的方向是由东向西,勘察期间根据试验井及观测孔的地下水位标高值,以及场区四周降水井的地下水位标高值,勘察区局部地下水流宏观上由东北流向西南。

勘察期间地下水温度为 12°C ~ 13°C 。沈阳商业城股份有限公司地区地下水化学类型属重碳酸、硫酸—钙、镁型水或硫酸、重碳酸—钙、镁型水;水的总硬度 $315.32\sim 455.46\text{mg/L}$ (以 CaCO_3 计),属硬水—极硬水;总矿化度为 $435\sim 935\text{mg/L}$,属淡水;pH 值变化于 6.10~6.85 之间,属中性水;亚铁离子含量为 0mg/L 。

根据抽水试验与回灌试验分析,含水层渗透系数为 $60\sim 66\text{m/d}$,影响半径 128m;平均回灌含水层渗透系数为 $45\sim 50\text{m/d}$,回灌影响半径 37m;灌抽比为 40%。

建议取水井、回灌井间距离 30~40m,减少各井间的干扰。取水区与回灌区井间距 70m,防止热突破。

为预防和处理管井堵塞主要采用回扬的方法,所谓回扬即在回灌井中开泵抽排水中堵塞物。

3 结论

水文地质勘察是进行地下水源热泵系统设计的重要步骤,是获取正确的水文地质资料的有效途径。水文地质勘察工作必须引起地下水源热泵系统设计者的高度重视,并严格按照相关规范和规程实施。

参考文献:

[1] 供水水文地质手册[M]. 地质出版社,1976.
[2] 汪光焘. 城市节水技术与管理[M]. 1994.
[3] 张远东,魏加华. 井对间距与含水层采能区的温度场演化关系[J]. 太阳能学报,2006(11):1164-1167.