

南宁市地下水源热泵的水质适宜性研究

梁川¹, 苏春利¹, 谢先军¹, 朱明占²

(1. 中国地质大学(武汉) 环境学院, 武汉 430074; 2. 广西地质勘查总院, 南宁 530023)

摘要: 为了查明南宁市地下水水质是否适宜于开发利用水源热泵, 在对南宁市潜水含水层地下水水化学特征调查的基础上, 挑选出与水源热泵系统设计和运行相关的水质适宜性评价指标, 选用层次分析法(AHP)构建层次结构模型, 确定了各个评价指标的权重, 并基于GIS平台的空分析模块进行了地下水水源水质评价分区。结果显示, 水源热泵开发水源水质适宜区面积为280.7 km², 大多分布在中部市区和东南部良庆区, 这些地区地下水多为pH值为7左右的中性水, 水硬度较小, 对管线和设施没有危害, 适合开发地下水水源热泵。

关键词: 地下水源热泵; 水质适宜性; 层次分析法; 空间分析; 南宁

中图分类号: TU 443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0151-04

Water Suitability Evaluation of the Groundwater Source Heat Pump of Nanning City

LIANG Chuan¹, SU Chun li¹, XIE Xian jun¹, ZHU Ming zhan²

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Guangxi Institute of Geological Prospecting, Nanning 530023, China)

Abstract: In order to identify whether the groundwater quality in Nanning is suitable for the development and utilization of water source heat pump, the water quality suitability evaluation indexes were selected which were related to the design and operation of the water source heat pump system based on the hydrochemical analysis of groundwater samples collected from the unconfined aquifer of Nanning city. The hierarchical structure model was developed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine the weights for each evaluation index, and the spatial analysis module of the GIS platform was used to obtain the water quality evaluation zonation of groundwater source. The results showed that the suitable area to develop water source heat pump is 280.7 km² located mainly in the central part of Nanning City and Liangqing District. Due to that groundwater in these areas is almost neutral water with little hardness and has no harm to the pipelines and facilities, it is suitable for the development of groundwater source heat pump.

Key words: groundwater source heat pump; suitability of water quality; Analytic Hierarchy Process; spatial analysis; Nanning City

浅层地热能储存于地下岩石(土层)和岩石裂隙或土层孔隙的水体中, 是一种无形的自然资源, 其温度恒定, 略高于当地年平均气温 2℃~3℃。地下水源热泵通过水热交换的方式利用地下水中的部分低品位地热资源进行供暖或空调, 是一个从地下水中不断提取能量的过程, 因此地下水水质的优劣不仅影响热泵系统水处理方案、换热器形式的合理选择, 还直接关系到系统的运行效果和使用寿命^[1-4]。因此, 首先要对水源水质适宜性进行分析, 找到最适宜开发地下水水源热泵的区域, 为浅层地热能利用提供科学依据。

1 研究区概况

南宁市区位于南宁盆地的中西部, 四周低山丘陵环绕。研究区范围为东经 108°08′-108°35′, 北纬 22°39′-22°57′, 总面积 440 km²。根据地貌成因及形态特征, 研究区地貌划分为构造侵蚀低山丘陵区、侵蚀剥蚀丘陵区、邕江侵蚀堆积阶地区及溶蚀残丘坡地区四个区。南宁市地处亚热带季风气候区, 阳光充足, 年平均气温 21.6℃, 年平均降雨量 1304.2 mm, 蒸发量 1736.6 mm^[5]。研究区内地下水主要

收稿日期: 2012-12-19 修回日期: 2013-05-04 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.025.html>

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目“天然劣质地下水修复与示范”(2012AA062602); 南宁市浅层地热能调查评价项目(1212011120166)

作者简介: 梁川(1990-), 女, 河南南阳人, 硕士, 现从事水文地质、地下水污染与防治方面的研究工作。E-mail: lch1990@126.com

通讯作者: 苏春利(1976-), 女, 河南洛阳人, 副教授, 博士, 从事水岩作用与水文地球化学模拟方面的教学和科研工作。E-mail: chunli.su@gmail.com

来源于大气降雨的入渗补给,充沛的降雨为地下水提供了较好的补给来源,也为开发利用浅层地温能创造了有利条件。

根据地下水的赋存条件、含水介质结构及水力特征,工作区内地下水可划分为四种类型,即松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、基岩裂隙水和碳酸盐岩类裂隙岩溶水(图 1)。松散岩类含水岩组地层主要是在邕江河谷阶地分布的第四系冲积层,该层孔隙水总体上向邕江径流排泄;低山丘陵陵区基岩裂隙水受断裂构造及岩性控制,作深循环或补给碎屑岩类孔隙裂隙水;碎屑岩类孔隙裂隙水从南宁盆地两翼向盆地中部径流,而后集中转向西南方向径流,至盆地西部后向上越流排泄补给松散岩类孔隙水,或直接向邕江排泄;碳酸盐岩裂隙岩溶水主要以泉的形式排泄,总体上向邕江径流排泄(图 1)。研究区内具有利用水源热泵开发的地下水主要为中部市区内广泛分布的第四系砂砾石层孔隙水及东南部良庆区、邕宁区碳酸盐岩裂隙岩溶水。区内地下水目前的开发利用量十分有限,以天然排泄为主,恒温带深约 20 m,水温 23.8℃~24.8℃,恒温带以下为增温带,开发地下水源热泵的潜力较大^[5]。

未酸化。阴离子采用离子色谱 ICS1100 进行测定, K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等金属元素采用 ICP-OES(ICAP6300) 进行分析,水样浊度采用 TDT-2 型浊度仪检测,以上分析均在中国地质大学(武汉)环境学院实验中心完成。利用已知浓度的样品进行验证测试,误差范围均在 5% 以内。



图 2 研究区地下水采样点分布

Fig. 2 Groundwater sampling sites in the study area

3 地下水水化学特征

研究区地下水水样主要的化学成分分析结果见表 1, pH 值变化范围为 4.93~8.08, 以弱酸性为主, 中性水次之。水样的总溶解固体含量(TDS)、总硬度、总碱度变化幅度均较大, TDS 变化范围为 55~875 mg/L, 平均值 287.8 mg/L。总硬度变化范围为 8.9~245 mg/L(以 CaCO₃ 计), 平均值为 64.95 mg/L, 以软水为主。总碱度变化范围为 19.49~804.1 mg/L, 平均值 239.7 mg/L。水样浊度最小值为 0.041 NTU, 最大值达 271.1 NTU, 平均值为 20.22 NTU, 能够满足工业循环冷却水处理设计规范中对于冷却水浊度要求。各微量元素含量均较低, 符合工业循环冷却水要求。在东北、西南少数地区硝酸根含量较高, 超出地下水质量标准(30 mg/L), 存在氮污染, 不适合开发水源热泵, 在做适宜性分析时应除去这些地区。

地下水化学类型划分采用了 Piper 三线图法。该图各以三组主要的阳离子(Ca, Mg, Na+K)和阴离子(Cl, SO₄, HCO₃)的每升毫克当量的百分数来表示。从 Piper 三线图

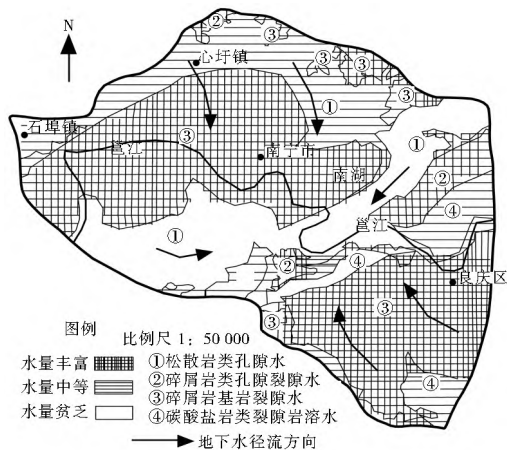


图 1 研究区水文地质简图

Fig. 1 Simplified hydrogeology map of the study area

2 样品采集与分析

2012 年 8 月对研究区潜水进行了系统采样, 共采集地下水样 50 件, 采样点位置见图 2。水温、pH 及电导率等水质参数在现场进行测定, 碱度采用滴定法在样品采集后 24 h 内测定。样品用 0.45 μm 滤膜过滤后用于阳离子分析的样品采用 HNO₃ 酸化至 pH 值小于 2, 用于阴离子分析的样品

表 1 研究区地下水水样水化学组成特征

Table 1 Chemical composition of the groundwater samples in the study area

化学成分	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺
极小值	4.93	11.9	7.14	4.1	4.23	0.66	0.93	n. d.
极大值	8.08	491	150.8	108.9	175.5	42.8	15.78	27.55
均值	6.7	137.3	29.5	26.64	43.71	5.5	4.95	0.6658
化学成分	Na ⁺	NO ₃ ⁻	Al	游离 CO ₂	浊度(NTU)	总硬度	TDS	
极小值	2.5	n. d.	n. d.	4.22	n. d.	8.9	55	
极大值	47.76	215.3	0.9452	40.13	271.1	245	875	
均值	15.68	24.41	0.0406	14.53	20.22	64.95	287.8	

注: n. d. 表示未检出, 浊度单位为 NTU, 其他参数指标为 mg/L。

(图3)可以看出,研究区地下水样多落在菱形区域的上部,阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,阴离子以 HCO_3^- 为主,其次是 SO_4^{2-} 和 Cl^- 。水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型为主, $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 和 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型次之。

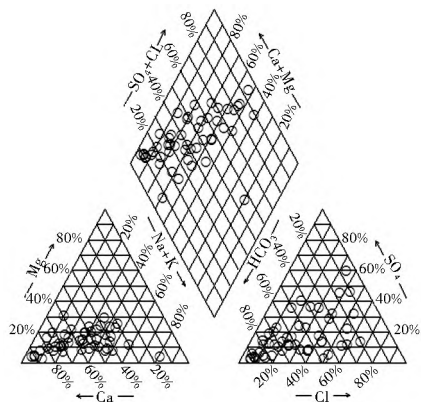


图3 南宁市地下水 Piper 三线图

Fig. 3 The Piper diagram of groundwater in Nanning

4 水源热泵水源水质适宜性分析

4.1 水质评价指标选择

地下水水质的化学组成直接影响地下水源热泵空调系统运行的安全性和稳定性。地下水源热泵系统对地下水质的基本要求是:澄清、水质稳定、不腐蚀、不滋生微生物或生物、不结垢等^[1,3]。本文参照地源热泵系统工程技术规范(GB 50366 2005)和工业循环冷却水处理设计规范(GB 50050-2007),选择 pH、TDS、总硬度、浊度、主要离子以及部分微量成份(表1)等因子作为水质评价指标,进而运用层次分析法探讨研究区地下水水质对水源热泵的影响。

4.1.1 物理指标

有些水源含有泥沙、胶体悬浮物,使水变得浑浊。水源含沙量和浊度过高对机组和管阀会造成磨损,严重时会造成管道堵塞。另外,泥砂、污垢还会降低水源热泵系统换热器的传热效果,导致系统局部腐蚀、穿孔,增加水流阻力,不仅严重影响供水系统的稳定性和使用寿命,而且妨碍系统的正常运行^[1]。本次研究采集的50个水样中6个超过50 NTU,浊度较高,不适宜开发地下水源热泵,但超标水样分布无规律,需结合其他指标进一步分析。

4.1.2 化学指标

(1) pH 值。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。研究区地下水以弱酸性为主,中性水次之, pH 值变化范围为 4.93~8.08,偏酸性的地下水主要分布于西乡塘区的东北面区域附近。

(2) TDS。适用于地下水源热泵的地下水一般为淡水和弱咸水。有些水源水 TDS 较高,对金属的腐蚀性较强,如果直接进入机组会因腐蚀作用减少机组使用寿命^[6]。研究区采样点中 TDS 最大值为 875.0 mg/L < 1 000 mg/L,属于软水, TDS 总体上适宜于开发地下水源热泵。

4.1.3 综合指标

(1) 腐蚀性。地下水对管线和设施的腐蚀影响,参照工

业上的腐蚀系数,评价方法如下。

对酸性水: 腐蚀性系数 $K_k = 1.008(r\text{H}^+ + r\text{Al}^{3+} + r\text{Fe}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} - r\text{HCO}_3^- - r\text{CO}_3^{2-})$;

对碱性水: 腐蚀性系数 $K_k = 1.008(r\text{Mg}^{2+} - r\text{HCO}_3^-)$ 。

式中: r 表示离子含量(mg/L)。

若腐蚀系数 $K_k > 0$, 称为腐蚀性水; 若腐蚀系数 $K_k < 0$, 并且 $K_k + 0.0503\text{Ca}^{2+} > 0$, 称为弱腐蚀性水; 若腐蚀系数 $K_k < 0$, 并且 $K_k + 0.0503\text{Ca}^{2+} < 0$, 称为无腐蚀性水。

(2) 结垢评价。钙盐是造成空调系统结垢的主要成分。水中的钙、镁离子以正盐和碱式盐形式存在,易在水源热泵空调系统的受热面上析出沉积,形成水垢。水垢沉积在换热器表面,降低了传热效率,增加了耗电,影响机组的正常运行^[1]。因此,对地下水进行结垢评价对于开发利用地下水源热泵具有重要意义。地下水的结垢程度可以总硬度来评价,总硬度较大的易结垢。

4.2 层次分析模型建立

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^[5,6]。利用层次分析法(AHP)确定各个评价指标的权重,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(见图4),可以将问题简单化,使得评价指标本身的相对重要性量化,经过数学计算得到可靠的权重值。本文采用层次分析软件 yaahpV6.0 构建层次结构,应用专家打分法分别比较属性层和要素层中各因素对目标层(水源热泵水源水质适宜性研究)的相对重要性进行两两比较,构建比较矩阵(1~9 标度法)。最后,采用极比法构建比较矩阵,通过计算检验比较矩阵的一致性(一致性指标 $CR < 0.1$),计算评价指标单层权重,进而确定各个评价指标的权重^[7,8],结果见表2。

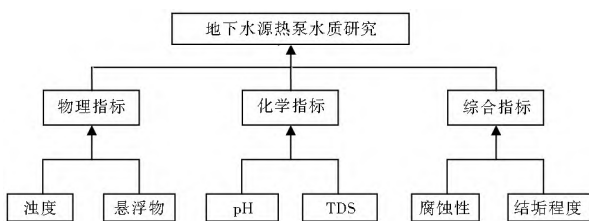


图4 地下水源热泵水质评价层次结构

Fig. 4 Water quality evaluation hierarchy diagram of groundwater source heat pump

表2 地下水源热泵水质评价指标权重计算结果

Table 2 The calculated weights of each evaluation index of groundwater source heat pump

指标层	属性层			组合权重
	物理指标	化学指标	综合指标	
	0.122	0.320	0.558	
浊度	0.750			0.092
悬浮物	0.250			0.031
pH		0.750		0.200
TDS		0.250		0.120
腐蚀性			0.330	0.326
结垢程度			0.670	0.233

4.3 空间分析

本次研究选用 MAPGIS 的空间分析平台对地下水水质适宜性进行评价。

(1) 网格剖分。为提高计算准确度,对研究区南宁市大约 440 km² 的范围进行 1 km × 1 km 的网格剖分,对网格中心点进行编号,并提取网格中心点坐标,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 440 个。

(2) 各指标图件准备。根据评价体系结构,对参与评价的指标要素进行图件准备,包括浊度分区图、悬浮物浓度分区图、pH 值分布图、TDS 含量分布图、腐蚀性分布图、结垢程度分布图。由于指标体系中各指标具有不同的量纲且代表不同含义,难以进行直接比较和评价,需要对各指标的原始数据进行处理。具体做法是对可定量的指标图形根据取值范围进行赋值,对不能定量获得的指标通过对水源热泵的适宜程度赋值,从而将定性的指标量化。赋值以腐蚀性评价为例,指标量化结果见表 3。

表 3 地下水腐蚀性评价分区赋值

Table 3 Corrosive zoning assignment standard of groundwater

类别	腐蚀性水	弱腐蚀性水	无腐蚀性水
赋值	0	5	8

(3) 水质综合评价。将生成的网格中心点文件与各指标的图件进行叠加,得到网格点的各指标得分^[9]。将每个网格点上的 6 项属性赋值与其相对应的权重值相乘,然后求和,即可得出每个网格点上的综合评分值,即为该点开发地下水水质对于开发利用水源热泵的适宜性指数^{[10][11]}。地下水水源热泵水源水质适宜性分区标准见表 4。

表 4 南宁市地下水水源热泵水源水质适宜性分区标准

Table 4 Water quality suitability partition standard of groundwater source heat pump in Nanning

综合评分	0~ 4	4.1~ 6	6.1~ 9
分区	一般适宜区	较适宜区	适宜区

水源热泵开发适宜区面积为 280.74 km²、较适宜区 63.43 km²、不适宜区 95.83 km²。根据评价结果,水源热泵适宜区大多分布在中部市区、东南部良庆区,中部市区地下水为第四系砂砾石层孔隙水,东南部良庆区的地下水为碳酸盐岩裂隙岩溶水。这些地区孔隙水及裂隙水渗透性强,径流较快,涌水量较大,回灌能力能够满足地下水水源热泵运行需要。地下水多为非腐蚀性水,水硬度较小,对管线和设施没有危害,适合开发地下水水源热泵。东北、西南少数地区水质恶劣,对金属的腐蚀性较强,如直接进入机组会因腐蚀作用减少机组使用寿命,需经过处理后才能应用,处理成本较高,不适宜开发地下水水源热泵。地下水水源热泵的水源水质评价分区见图 5。

5 结论

(1) 研究区地下水水化学类型以 HCO₃⁻·Ca·Mg 型为主,HCO₃⁻·SO₄⁻·Ca·Mg 型次之。地下水以弱酸性为主,在东北、西南少数地区存在氮污染。

(2) 从地下水水质对水源热泵系统机组、管道及附属设

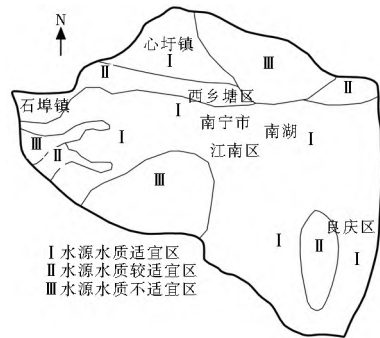


图 5 南宁市地下水水源热泵的水源水质评价分区

Fig. 5 water quality evaluation zoning map of groundwater source heat pump in Nanning

备的影响和适宜性出发,通过地下水水质分析和水源热泵换热器污垢成份分析,确定影响地下水水源热泵换热器结垢以及腐蚀管道的关键水质因素,包括悬浮物、浊度、pH、腐蚀性、结垢程度六个指标。运用层次分析法(AHP)和 MAPGIS 的空间分析技术对南宁市浅层潜水进行地下水水源水质分区评价,认为水源热泵适宜区大多分布在中部市区、东南部良庆区,这些地区地下水多为 pH 值为 7 左右的中性水,水硬度较小,属于软水,对管线和设施没有危害,适合开发地下水水源热泵。东北、西南少数地区,地下水水质腐蚀性系数较高,不适宜开发地下水水源热泵。

参考文献(References):

[1] 赵峰,邵林广,文远高. 水源热泵空调系统的水质处理技术[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(12): 15-17. (ZHAO Feng, SHAO Lin guang, WEN Yuan gao. Water Treatment Technology for Air conditioning System of Water Source Heat Pump [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2005, 31(12): 15-17. (in Chinese))

[2] 狄彦强,王清勤,袁东立. 水源热泵的应用与发展[J]. 制冷与空调, 2006, 6(5): 1-4. (DI Yan qiang, WANG Qing qin, YUAN Dong li, Discussion about the Application and Development of Water Source Hheat Pumps [J]. Refrigeration and Air conditioning, 2006, 6(5): 1-4. (in Chinese))

[3] 贾遵锋,丁勇,贾宇. 江水源热泵系统应用中的江水水质分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(6): 54-55. (JIA Zun feng, DING Yong, JIA Yu. Analysis of River Wwater Quality in the Application of River Source Heat Pump System [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(6): 54-55. (in Chinese))

[4] 谭显辉,丁力行. 地下水水源热泵中的地下水分析[J]. 制冷与空调, 2003, (4): 11-14. (TAN Xian hui, DING Li xing. Analysis of Ground Water in the Groundwater Source Heat Pumps [J]. Refrigeration And Air conditioning, 2003, (4): 11-14. (in Chinese))

[5] 广西地质勘查总院. 南宁市浅层地温能调查报告[R]. 2012. (Guangxi Institute of Geological Prospecting, Nanning Shallow Geothermal Energy Survey Report [R]. 2012. (in Chinese))

[6] Hikmet Esen, Mustafa Inalli. In situ Thermal Response Test for Ground Source Heat Pump System in Elaz, Turkey. Energy and Buildings, 2009, 41(4): 395-401.

(下转第 168 页)

- [2] 荣丰涛. 关于如何用动水法测渠道渗漏的具体意见[J]. 山西水利科技, 2008, (2): 1-3. (RONG Fengtao. On How to Measure Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (2): 1-3. (in Chinese))
- [3] 刘巧梅, 张伟, 郭维. 浅谈位山灌区渠道防渗衬砌与节水灌溉[J]. 科技信息, 2010, (23): 951. (LIU Qiaomei, ZHANG Wei, GUO Wei. Shallow Discussion Weishan Irrigation Canal Seepage Control Lining and Water saving Irrigation [J]. Science & Technol, 2010, (23): 951. (in Chinese))
- [4] 李小卜, 杨路华, 李国章, 等. 混凝土渠道衬砌形式防渗效果试验与分析[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(2): 104-106. (LI Xiaobo, YANG Luhu, LI Guozhang, et al. Test and Analysis of Impervious Effect for Lining Form of Concrete [J]. Irrigation Drainage Journal, 2012, 31(2): 104-106. (in Chinese))
- [5] 孟建法, 徐岩. 石津灌区王家井分灌区渠道混凝土衬砌冻害及其防治措施[J]. 水利建设与管理, 2003, (5): 60-61. (MENG Jianfa, XU Yan. Channel Frost Concrete Lining and Its Prevention and Control Measures about Wangjiajing Point Irrigation of ShiJin Irrigation [J]. Water Conservancy Construction and Management, 2003, (5): 60-61. (in Chinese))
- [6] 吴君乐. 石津灌区发展节水灌溉的重要性[J]. 河北水利, 2008. (WU Junle. The Importance of Shijin Irrigation to Develop the Water saving Irrigation [J]. Hebei Water Conservancy, 2008. (in Chinese))
- [7] 荣丰涛, 孟国霞, 荣榕. 关于渠道动水法测渗结果可信度的思考[J]. 中国农村水利水电, 2003, (3): 28-30. (RONG Fengtao, MENG Guoxia, RONG Rong. Pondering upon the Reliability of Seepage Result Measured by Canal Dynamic Water Table Method [J]. China's Rural Hydropower, 2003, (3): 28-30. (in Chinese))
- [8] 荣丰涛. 关于如何用动水法测渠道渗漏的具体意见[J]. 山西水利科技, 2008, (2): 1-3. (RONG Fengtao. On How to Measure Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (2): 1-3. (in Chinese))
- [9] 荣丰涛. 再议动水法测渗的可行性[J]. 山西水利科技, 2008, (1): 11-13. (RONG Fengtao. Reiterating the Feasibility of Measuring Canal Seepage Amount by Current meter Method [J]. Shanxi Water Conservancy Science and Technology, 2008, (1): 11-13. (in Chinese))
- [10] 赵文学, 许军. 鸳鸯灌区输水渠道渗漏损失测算与分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 47(6): 49-51. (ZHAO Wengxue, XU Jun. Water Channel Leakage Loss Calculation and Analysis of the Mandarin Duck Irrigation [J]. Irrigation Drainage Journal, 2011, 47(6): 49-51. (in Chinese))
- [11] 任可, 王红雨. 灌区输水渠道渗漏损失测算与分析[J]. 中国农村水利水电, 2006, (12): 18-20. (REN Ke, WANG Hongyu. Irrigation Water Channel Leakage Loss Calculation and Analysis [J]. China's Rural Hydropower, 2006, (12): 18-20. (in Chinese))
- [12] 王焕明. 灌区节水改造中渠道防渗新技术、新材料、新工艺的应用[J]. 水利建设与管理, 2008, (12): 42-44. (WANG Huanming. Water Saving Irrigation Canal Seepage Control Reform of the New Technology, New Material, New Craft Application [J]. Water Conservancy Construction and Management, 2008, (12): 42-44. (in Chinese))
- [13] 李守洪, 熊小立. 河道流速仪法测验垂线流速分布参数 $1/n$ 对 δ 型误差的影响[J]. 气象水文海洋仪器, 2008, (1): 57-59. (LI Shouhong, XIONG Xiaoli. The Influence that Channel Current Meter Method Test Vertical Velocity Distribution Parameter $1/n$ to δ Type Error [J]. Meteorological Hydrological Marine Instrument, 2008, (1): 57-59. (in Chinese))
- [14] 钟灵, 王西良. 渠道流量损失及渠系水利用系数的计算方法[J]. 中国农村水利水电, 2004, (12): 27-28. (ZHONG Ling, WANG Xiliang. The Calculation Method of the Channel Flow Loss and Canal Water Use Coefficient [J]. China's Rural Hydropower, 2004, (12): 27-28. (in Chinese))
- [15] SL 207-1998, 节水灌溉技术规范[S]. (SL 207-1998, Water saving Irrigation Technical Specifications[S]. (in Chinese))

(上接第 154 页)

- [7] 贾惠艳, 孙雨, 张军. 基于模糊层次分析法的沈阳市地下水源热泵适宜性分区[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(4): 108-111. (JIA Huiyan, SUN Yu, ZHANG Jun. Research on Zonation of Adaptability for Groundwater Source Heat Pump in Shenyang Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(4): 108-111. (in Chinese))
- [8] Ravikumar P, Somashekar R. K. Assessment and Modeling of Groundwater Quality Data and Evaluation of Their Corrosiveness and Scaling Potential Using Environmetric Methods in Bangalore South Taluk, Karnataka state, India [J]. Water Resources, 2012, 39(4): 446-473.
- [9] Kara C, Doratli N. Application of GIS/AHP in Siting Sanitary Landfill: A Case Study in Northern Cyprus [J]. Waste Management & Research, 2012, 30(9): 966-980.
- [10] Sener S, Sener E, Nas, B. Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: A Case Study in the Lake Beysehir [J]. Waste Management, 2009, 30: 2037-2046.
- [11] Rina K, Datta P S, Singh C K, et al. Characterization and Evaluation of Processes Governing the Groundwater Quality in Parts of the Sabarmati Basin, Gujarat Using Hydrochemistry Integrated with GIS [J]. Hydrological Processes, 2012, 26 (10): 1538-1551.