

贵阳市浅层地温能赋存特征与资源评价

段启杉^{1,2}, 宋小庆^{1,2}, 孟凡涛^{1,2}, 曹振东^{1,2}

(1. 贵州地质工程勘察设计院, 贵州 贵阳 550008; 2. 贵州省地质矿产勘查
开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550008)

[摘要] 文章在分析贵阳市浅层地温能赋存条件的基础上, 利用层次分析法进行了资源开发适宜性评价, 并计算了浅层地温能资源量。贵阳市地下水地源热泵建设适宜区面积 19.46 km²、较适宜区面积 173.76 km²、不适宜区面积 173.23 km²; 埋管地源热泵建设适宜区面积 327.02 km²、不适宜区面积 39.43 km²。区内浅层地温能资源总量 9.975×10⁶ kW, 可服务建筑空调面积 14.24×10⁸ m²。如果区内资源得到充分开发利用, 可基本满足贵阳市城市建设发展需要。

[关键词] 浅层地温能; 赋存特征; 资源评价; 贵阳市

[中图分类号] TK617; P641 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2015)03-0227-06

浅层地温能是指地表以下一定深度内具备开发利用价值的地热能^[1]。作为绿色可再生能源, 浅层地温能有着储量巨大、分布广、开发利用成本低的优点^[2]。浅层地温能开发是以地源热泵实现的, 由于地源热泵能效比高、节能效果显著, 目前正逐渐替代中央空调, 成为实现建筑节能的重要手段。我国浅层地温能开发利用始于 20 世纪 80 年代, 目前全国利用浅层地温能供暖/制冷建筑物面积达数亿平方米^[3]。贵州省浅层地温能开发工作起步较晚, 已建地源热泵工程主要集中在贵阳市。与其他省会城市相比, 贵阳市浅层地温能开发利用程度较低, 主要原因有两方面, 一是以往对浅层地温能赋存条件认识不全面, 开发效率较低; 二是资源量不清晰, 对开发潜力和价值认识不足, 未能引起社会足够重视。

本文以“贵阳市浅层地温能调查评价项目”成果为基础, 系统阐述了贵阳市浅层地温能赋存条件, 研究了区内岩土体和主要地层的热物性特征, 进行了地下水地源热泵、埋管地源热泵建设适宜性分析, 评价了区内资源总量和开发利用潜力, 希望对提高贵阳市浅层地温能资源认识、促进地源热泵技术在城市建筑节能方面的规模化应用提供一定帮助。研究区范围为《贵阳市十二五城市总体规划》的城市建设范围, 面积 360.2 km²。

1 浅层地温能赋存条件

1.1 地质特征

贵阳地处扬子地台黔北台隆遵义断拱贵阳构造变形区, 区内地质构造复杂, 自第四系至寒武系地层均有分布, 碳酸盐岩分布最为广泛, 占区内面积的 90.03%, 碎屑岩占 9.97%。各时代地层中, 三叠系分布最广, 次为侏罗系、二叠系, 其余地层分布面积较小。

1.2 水文地质特征

1.2.1 区域水文地质特征

贵阳地区水文地质条件主要有以下特点: ①受地质构造、地层结构和地形地貌影响, 地下水系统小型多样、单个地下水系统中地下水资源量相对较小; ②不同含水岩组的含水性、透水性有明显差异; 即使同一含水岩组, 因所处构造与地貌部位不同, 富水性也存在显著差异。面积较大的地下水富集块段有四处, 分别为三桥—阳关富水块段、南明区富水块段、新添寨—洛湾富水块段、花溪竹林寨—烂草坝富水块段^[4], 水位埋深一般小于 20 m, 单井单位涌水量 0.1~1.9 L/s·m。

[收稿日期] 2015-05-29

[基金项目] 中国地质调查局地质调查项目“全国地热资源调查评价”(1212011120163)。

[作者简介] 段启杉(1965—), 男, 汉族, 陕西三原人, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质、工程地质工作。

1.2.2 含水层回灌能力

回灌能力是地下水地源热泵工程建设适宜性评价的重要指标,以回灌比(单井回灌量与抽水量之比)表示。“贵阳市浅层地温能调查评价”项目开展期间于区内随意布置了9个水文地质勘察

钻孔,分别进行了抽水 and 回灌试验。试验成果(表1)表明:①区内钻井回灌能力普遍较强,除侏罗系碎屑岩地层外,其他地层回灌比多大于1;②碳酸岩地层回灌比相差较大,表明不同层位、不同地段碳酸岩透水性差异较大。

表1 贵阳市含水岩组综合回灌比统计表

Table 1 Statistics of water-bearing formation complex comprehensible recharge ratio of Guiyang

含水岩组	三叠系下统 大冶组(T ₁ d)	三叠系下统 安顺组(T ₁ a)	三叠系中统 花溪组(T ₂ h)	二叠系上统 吴家坪—长兴组(P ₃ w+c)	侏罗系中下统 自流井群(J ₁₋₂ zl)
回灌比	2.8~4.1	0.7~2.2	0.85	1.1	0.48

1.2.3 地下水水化学特征

区内地下水类型以HCO₃-Ca·Mg、HCO₃·SO₄-Ca和HCO₃·SO₄-Ca·Mg为主。根据“贵阳市浅层地温能调查”水质分析结果,区内地下水水质以II、IV类水为主,V类水较少(图1a)。IV类地下水占总样品数的49%,分布于主城区、三桥、渔安村至新添村一带;V类水占4%,分布于乌当区新天光电厂一带;II类水占47%,分布

于上述区域以外的其他区域。

地下水的结垢和腐蚀性对地下水地源热泵机组运行有较大影响。除乌当区和花溪区局域受污染地段有腐蚀性外(占总样品数的2.78%),其他区域地下水多属非腐蚀性水(图1b)。区内地下水结垢较严重,尤其三叠系碳酸盐岩地层,“锅垢很多”水样占样品总数的2.78%，“锅垢多”占86.11%，“锅垢少”占11.11%(图1c)。

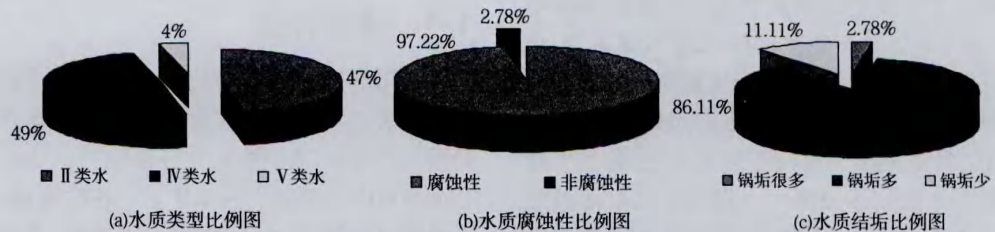


图1 贵阳市地下水水化学特征图

Fig. 1 Chemical features of groundwater in Guiyang

1.3 环境地质特征

岩溶塌陷是贵阳市地下水水源热泵开发利用的主要限制性因素。在环境地质薄弱地带,无论是以供水为目的的地下水开采、建筑基坑降水还是地下水地源热泵建设,均可引发岩溶地面塌陷。贵阳市此类工程案例屡见不鲜,例如贵阳医学院地源热泵建设初期即引发过岩溶塌陷。贵阳地区地下水埋藏浅,地下水富集地段也是岩溶塌陷易发地带,地下水水源热泵开发的风险较大。岩溶塌陷对城市公共安全危害很大,岩溶区地下水地源热泵建设适宜性评价时应就引发岩溶塌陷的可能性进行充分论证。

根据岩土热物性测试结果,贵阳市所分布地层热物性较好(表2)。不同岩性岩土体导热系数有如下规律:①热系数从小至大的岩性依次为粘土,灰岩,白云岩,砂岩,钙质胶结的砾岩;②钙质、硅质胶结的砾岩导热系数值大于泥质胶结砾岩;③硅质成分高的白云岩、灰岩导热系数值大于一般组份的白云岩、灰岩;④岩石晶粒越大导热系数值越大。

1.4.2 地层热响应特征

“贵阳市浅层地温能调查”项目在侏罗系中下统自流井群,三叠系下统安顺组、大冶组及中统花溪组代表性地层进行了双U换热器原位热响应试验。根据试验结果,钻孔综合热导率介于2.166~3.212 W/(m·℃),热扩散系数介于0.936~1.322×10⁻⁶ m²/s,总热阻介于0.091~0.279 (m·℃)/W。区内地层地埋管换热效果普遍较好。

1.4 热物性特征

1.4.1 岩土体热物性特征

表 2 贵阳市岩土体热导率值统计表
Table 2 Statistics of rock-soil heat conductivity of Guiyang

岩性	粘土	泥质灰岩	泥质白云岩	灰岩	白云岩
导热系数 λ (W/m·°C)	0.77	2.03	2.18	2.46	2.6
岩性	硅质/粗晶灰岩	砂岩	砾岩	硅质/粗晶白云岩	
导热系数 λ (W/m·°C)	2.77	3.02	3.46	3.95	

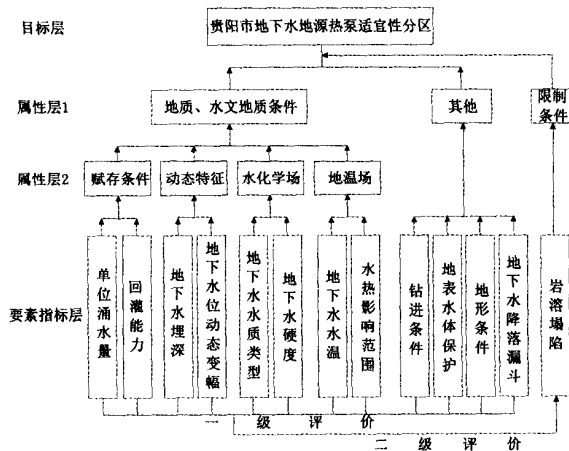
2 浅层地温能适宜性评价

2.1 评价体系建立

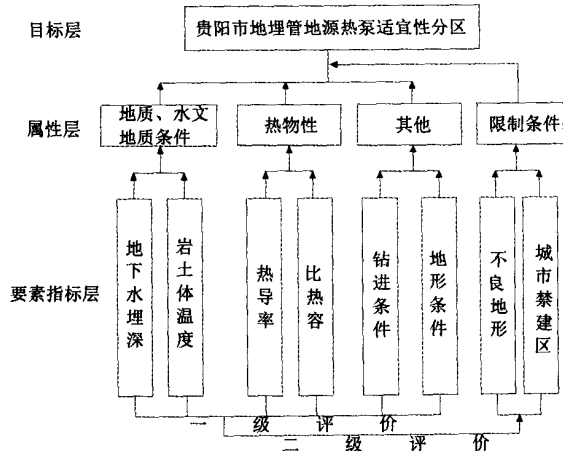
浅层地温能开发适宜性评价是对资源赋存条件、分布特征、开发利用条件和资源状况的综合分析,评价结果是指导浅层地温能勘察开发的重要依据。适宜性评价因素涵盖了区域地质、水文地质、环境地质、岩土热物性和开发利用条件。其中,单井涌水量、含水层回灌能力、地质环境承载能力是地下水地源热泵适宜性评价的主要要素;岩土体热物性、单孔换热功率、地形地貌和环境地质条件是地埋管地源热泵适宜性评价的主要

要素。

层次分析法(AHP)是对一些较为复杂、模糊问题作出决策的系统分析方法^[6-8]。贵阳地区环境地质条件复杂,影响资源开发因素众多,层次分析法诸多评价因子能较好地表达贵阳市特殊环境地质条件下的浅层地温能的赋存特点和开发利用条件。通过影响要素综合分析,分别建立了地下水地源热泵和地埋管地源热泵适宜性评价模型(图2)。该模型评价共分为两级,一级评价过程中对评价区进行网格剖分,对每网格作因子赋值,并采用综合指数法进行初步评价;二级评价是在一级评价基础上,叠加不良地质、不良地形、城市禁建等限制条件,给出最终评价结果。



(a) 地下水地源热泵适宜性分区模型



(b) 地埋管地源热泵适宜性分区模型

图 2 贵阳市浅层地温能评价层次分析模型结构图

Fig. 2 Model structure of shallow geothermal resource hierarchical analysis of Guiyang

2.2 适宜性评价

2.2.1 因子权重

采用层次分析法中 1~9 标度分别比较属性层和要素层中各因素的相对重要性,构建比较矩阵。通过计算检验比较矩阵的一致性,确定要素

层中各个要素在目标层中所占的权重(表 3、表 4)。

2.2.2 因子赋值

根据贵阳地区水文地质、环境地质条件、既有地源热泵工程运行情况,采取评判方式对各项因子进行分级和赋值(表 5、表 6)。

表3 地下水地源热泵适宜性影响因子权重
Table 3 IF weight of GSHP availability of groundwater

评价因子	单位涌水量	回灌能力	地下水埋深	水位动态变幅	地下水水质	地下水结垢
权重	0.278 3	0.139 1	0.084 1	0.042 0	0.067 8	0.067 8
评价因子	地下水水温	水热影响半径	钻进条件	地表水体保护	地形条件	地下水降落漏斗
权重	0.035 5	0.035 5	0.024 6	0.083 1	0.024 7	0.117 5

表4 地埋管地源热泵适宜性影响因子权重表

Table 4 IF weight of GSHP availability of buried pipe

评价因子	地下水埋深	岩土体温度	热导率
权重	0.138 8	0.069 4	0.440 5
评价因子	比热容	钻井条件	地形条件
权重	0.220 3	0.043 7	0.087 4

表5 地下水地源热泵适宜性影响因子赋值表

Table 5 IF evaluation of GSHP availability of groundwater

因子	分级	赋值
单位涌水量/ (L · s ⁻¹ · m ⁻¹)	>1.15	5
	1.15 ~ 0.46	3
	<0.46	0
单位回灌量/单位涌水量	>80%	5
	50% ~ 80%	3
地下水水位/m	<50%	0
	<10	5
	10 ~ 30	3
地下水水位动态变幅/m	>30	1
	<2.0	5
	2.0 ~ 4.0	3
地下水水质类型	>4.0	1
	I、II	5
	III	3
地下水水垢总量	IV、V	0
	<125	5
	125 ~ 250	3
地下水温度/℃	>250	0
	10 ~ 25	5
	>25 或 <10	0
水热影响半径/m	<60	5
	60 ~ 80	3
	>80 ~ 0	
钻进条件	好	5
	一般	3
	差	1
保护范围/m	>150	5
	80 ~ 150	3
	<80	0

续表

因子	分级	赋值
地形坡度/(°)	<10	5
	10 ~ 25	3
	>25	0
地下水降落漏斗	稳定	5
	缓速下降	3
中水位下降速度	中速下降	-1
	急速下降	禁止建设

表6 地埋管地源热泵适宜性影响因子赋值表

Table 6 IF evaluation of GSHP availability of buried pipe

因子	分级	赋值
热导率(w/m · °C)	>2.0	5
	1.0 ~ 2.0	3
	<1.0	0
比热容(kJ/kg · °C)	>1.1	5
	0.8 ~ 1.1	3
地下水埋深(m)	<0.8	0
	<10	5
	10 ~ 30	3
地下水温度(°C)	>30	1
	10 ~ 25	5
	>25 或 <10	0
钻进条件	好	5
	一般	3
	差	1
地形坡度(°)	<10	5
	10 ~ 25	3
	>25	0

2.2.3 综合指数计算

采用综合评价指数法对评价体系中要素指标层的因子进行加权叠加,计算出适宜性综合评价指数:

$$R_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_i \quad (1)$$

式中:R_i 为综合评价指数;α_i 为指标要素权重;X_i 为指标要素属性赋值;n 为指标要素个数。

在一级评价过程中,将地下水地源热泵综合评价指数>3.2 的区域初判为适宜区,2.4 ~ 3.2 间的区域初判为较适宜区,小于 2.4 的区域判定

为不适宜区;将埋管地源热泵综合评价指数 > 3.5 的区域初判为适宜区,2.0~3.5 间的区域初判为较适宜区,小于 2.0 的区域判定为不适宜区。二级评价在一级评价基础上叠加限制条件,有限制条件的区域修订为不适宜区。

2.3 评价结果

根据适宜性评价结果,贵阳市地下水地源热泵适宜性划分为适宜、较适宜、不适宜三种类别,埋管地源热泵适宜性划分为适宜、不适宜两种类别。地下水地源热泵适宜区面积 19.46 km²,较适宜区面积 173.76 km²,不适宜区面积 173.23 km²(图 3);埋管地源热泵适宜区面积 327.02 km²,不适宜区面积 39.43 km²(图 4)。

3 浅层地温能资源评价

在适宜性评价基础上,对贵阳市浅层地温能区域换热功率进行了计算。区域换热总功率为 9.975×10⁶ kW,其中地下水地源热泵区域功率为

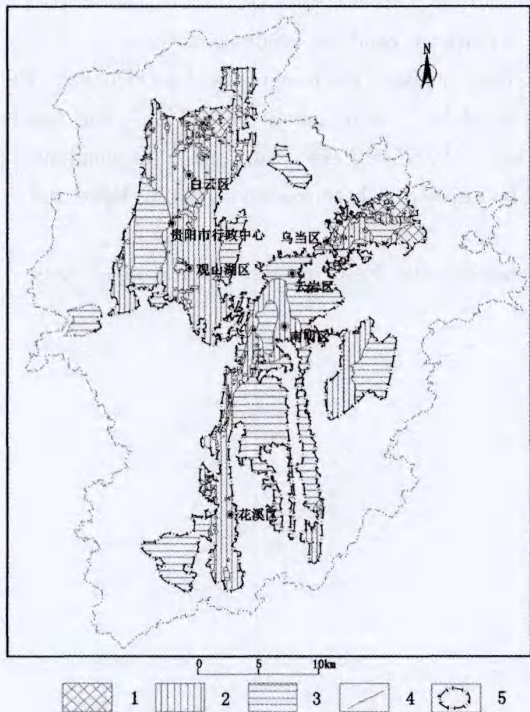


图 3 贵阳市地下水地源热泵适宜性评价图

Fig. 3 Availability assessment of shallow geothermal resource of Guiyang

1—地下水地源热泵适宜区;2—地下水地源热泵较适宜区;3—地下水地源热泵不适宜区;4—分区界线;5—评价区界线

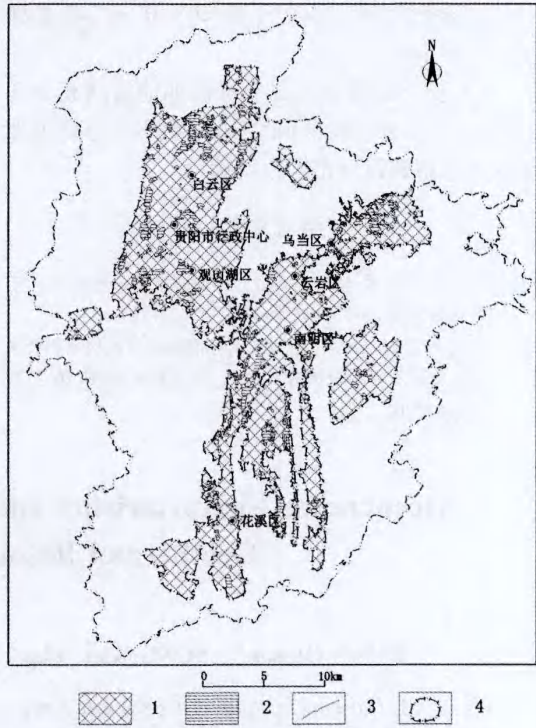


图 4 贵阳市埋管地源热泵适宜性评价图

Fig. 4 Availability assessment of GSHP of buried pipe in Guiyang
1—埋管地源热泵适宜区;2—埋管地源热泵不适宜区;3—分区界线;4—评价区界线

0.255×10⁶ kW,埋管地源热泵区域功率为 9.720×10⁶ kW。地下水地源热泵浅层地温能资源相对较少,占资源总量不足 3%。

根据贵阳市气候条件和建筑结构特征,以空调负荷 70 w/m² 估算,区内浅层地温能资源可服务建筑空调面积 14.24×10⁸ m²,基本满足贵阳市城市建设需要。

如果贵阳市浅层地温能得以充分开发利用,每年可减少二氧化碳排放 356.8 万吨、二氧化硫排放 2.54 万吨、氮氧化物排放 8.97 万吨、悬浮粉尘排放 1.2 万吨,环境效益显著。

4 结论

(1) 贵阳市浅层地温能赋存条件较好,资源储量且分布广泛,具有良好的开发利用价值。受水文地质和环境地质条件限制,区内可利用的地下水地源热泵资源量相对较小,埋管地源热泵资源十分丰富。埋管地源热泵将是贵阳市浅层地温能开发利用的主要方式。

(2) 贵阳市浅层地温能资源总量 9.975×10⁶

kW,可服务建筑空调面积 $14.24 \times 10^8 \text{ m}^2$,基本满足贵阳城市建设需求。

(3)贵阳市浅层地温能资源如能得到充分开发利用,将有效改善能源结构,将对贵阳市绿色文明生态城市建设做出巨大贡献。

[参考文献]

[1] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等. 浅层地热能勘查评价[J]. 中国地质,2007,34(6):1115-1121.

[2] 唐永香,李嫻嫻,俞衲安,等. 天津滨海新区浅层地热资源评价及开发利用对策分析[J]. 地质找矿论丛,2014,29(4):622-627.

[3] 蔺文静,吴庆华,王贵玲. 我国浅层地温能潜力评价及其环境效应分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(3):57-61.

[4] GB50027-2001 供水水文地质勘察规范[S]. 北京:中国标准出版社,2001.

[5] 邹健生,李统初,熊杰,等. 贵州省贵阳市城市供水水文地质勘察报告[R]. 贵阳:贵州地质工程勘察院,1991.

[6] 金婧,席文娟,陈宇飞,等. 基于AHP的浅层地热能适宜性分区评价[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(3):91-93.

[7] 刘建霞,原晓军,索立涛. 基于层次分析法的鲁东地区浅层地热能适宜性评价[J]. 海洋地质前沿,2012,28(10):65-70.

[8] 骆正清,杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(9):51-60.

Occurrence Characteristics and Resource Assessment of Shallow Geothermal Resource of Guiyang City

DUAN Qi-san^{1,2}, SONG Xiao-qing^{1,2}, MENG Fan-tao^{1,2}, CAO Zhen-dong^{1,2}

(1. Guizhou Institute of Geological Engineering Exploration & Design, Guiyang 550008, Guizhou, China; 2. 111 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang 550008, Guizhou, China)

[Abstract] On the base of shallow geothermal resource occurrence condition analyses of Guiyang, the resource exploitation suitability is assessed by hierarchical analysis method, the resource is also calculated. The good area for groundwater GSHP construction of Guiyang is 19.46 km^2 , better area is 327.02 km^2 , bad area is 39.43 km^2 . The total shallow geothermal resource in this area is $9.975 \times 10^6 \text{ kw}$, can service air conditioning area is $14.24 \times 10^8 \text{ m}^2$. The city construction of Guiyang will be satisfied if these resources are developed and utilized sufficiently.

[Key words] Shallow geothermal resource; Occurrence characteristic; Resource assessment; Guiyang city