

基于适宜性的西安市水源热泵开发潜力评估

姚炳光^{1,2}, 赖光东^{1,2}, 周维博^{1,2}

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要: 依据适宜性评价,综合考虑水质、回灌率、已运行情况以及环境条件对水源热泵开发的影响,对西安市水源热泵开发利用潜力进行评估。结果表明:西安市适宜性面积占研究区总面积 31.52%;将西安市水源热泵开发潜力划分为 5 类潜力类型区:Ⅰ、Ⅱ类潜力区主要分布于西安市北部,以平原为主,为开发潜力优、良区;Ⅲ类潜力区主要分布于临潼中部、阎良东部、长安南部、户县和周至南部等地,为适度开发潜力区;Ⅳ类潜力区主要分布于蓝田西南、临潼南部以及长安丘陵区,为不宜开发潜力区;Ⅴ类地区为秦岭山地和禁采区,应限制水源热泵的开发利用。研究可确定西安市不同地域的水源热泵开发利用潜力,研究结果可为编制西安市水源热泵开发规划提供参考。

关键词: 地下水源热泵; 开发潜力; 适宜性; 地热能储量; 西安市

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)04-0145-05

Evaluation the potential of groundwater heat pumps exploitation based on its suitability in Xi'an City

YAO Bingguang^{1,2}, LAI Guangdong^{1,2}, ZHOU Weibo^{1,2}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to the suitability evaluation, and further considering the influence of water quality, recharge rate, operation and environmental conditions, the paper evaluates the exploitation potential of Xi'an groundwater heat pump (GWHP). The results show that 31.52% of Xi'an area is suitable, and the development potential of the GWHP is divided into five types. Type I and II mainly are distributed in plain region in the north of Xi'an City as priority areas. Type III is widely distributed in central Lintong, Eastern Yanliang, southern Chang'an, Huxian and southern Zhouzhi as moderate development areas. Type IV is mainly in the hilly area of southwest of Lantian, Southern Lintong and Chang'an, which is unsuitable to develop. Type V is the area of Qinling Mountains and the ban area where should limited GWHP. This study can be used to determine the potential of the development and utilization of GWHP in different regions of Xi'an. The results can be used as reference for the development of GWHP in Xi'an.

Key words: groundwater heat pumps (GWHP); development potential; suitability; geothermal energy savings; Xi'an city

随着西安快速城市化的推进,能源和环境等问题日益突出。近几年,西安一直饱受雾霾的困扰,冬季居民燃煤取暖是一重要原因^[1-2],发展清洁取暖技术已刻不容缓。西安市迄今已有 40 多处水源热泵系统正常运行,十几年的工程实践表明,水源热泵系统的经济社会和环境效益显著,节能减排效果明

显^[3-4]。但是在应用中往往出现回灌困难和水资源浪费等问题,因此对西安市地下水源热泵进行系统、合理地规划十分必要^[5]。

适宜性评价是水源热泵开发利用规划的基础,是水源热泵技术推广的关键性工作,对地下水的合理开发和可持续利用具有重要意义^[6]。

收稿日期:2017-04-28; 修回日期:2017-06-13

基金项目:陕西水利科技项目(2014slkj-19),陕西省自然科学基金项目(2014JM1030)

作者简介:姚炳光(1992-),男,山西平遥人,在读硕士研究生,主要从事水文及水资源研究。

通讯作者:周维博(1956-),男,陕西乾县人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为水资源规划与利用等。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

西安市位于关中平原腹地,地势南高北底。南部为秦岭、骊山山地,中部断续分布有黄土丘陵及沟梁相间的破碎地带,北部为冲积平原区。全市总土地面积 10 108 km²,现辖 10 区 3 县。南部秦岭山地面积为 4 908.4 km²,占辖区总面积的 48.6%;中东部和西南部丘陵地面积为 651.6 km²,占总面积的 6.4%;北部冲积平原区及黄土台塬和秦岭山前洪积扇区面积为 4548.0 km²,占总面积的 45.0%,为主要研究区^[7]。区内含水层整体趋势为西北区富水性好,往东南富水性减弱;区内分布的松散岩孔隙水、碎屑岩裂隙-孔隙水、基岩裂隙水,彼此含水层厚度、富水性等均有差异^[8-9]。

1.2 研究内容与方法

水源热泵的开发能力与其开发区适宜性有关,而适宜性取决于开发区的水文地质、水动力、水化学、水温等条件,还与环境、社会经济条件有关。研究区的可利用水量、水质、地温能条件决定水源热泵的开发潜力程度。所以,本文分析水源热泵开发利用潜力包括两部分:

(1)根据西安市水文地质条件和环境保护条件,建立西安市地下水源热泵适宜性评价体系,利用层次分析法得到各评价指标的组合权重。在确定了评分体系的基础上,采用综合指数法得到西安市水源热泵适宜性分区^[3]。运用 Surfer 和 GIS 等软件对各种指标进行单因素分区,通过专家综合打分法^[10]对进行综合评分,划分水源热泵开发适宜性等级。

(2)在此基础上,结合当地的可利用地下水资源、可开采条件以及已开发情况,进行百分制加权运算,从而对西安各区水源热泵开发利用潜力进行评估,确定各区域的开发潜力程度。

2 水源热泵适宜性评价

2.1 适宜性评价指标选取及其权重

评价指标的选取以反映影响水源热泵开发利用因素的全面性、代表性、评价因子的相对独立性、层次性以及资料的可获得性为原则^[6]。潜水、浅层承压水的水文地质、水动力、水化学、水温是水源热泵选址时必须考虑的因素,各类指标在标准范围内才适宜建设地下水源热泵空调系统。根据西安市实际,结合专家知识选取了含水层厚度、富水性、回灌率、水位埋深、渗透系数、水力坡度、矿化度、硬度、水

化学类型、水温 10 个因子建立评价指标体系,采用层次分析法^[11]确定单项指标在评价中的相对权重。

2.2 建立适宜性评价模型

本次将地下水源热泵适宜性评价体系分为两级:一级评价为考虑水文地质条件的初步评价;二级评价为考虑环境保护要素的综合评价,将一级评价结果与环境保护要素(水源地、地裂缝、保护区、禁采区等)进行叠加,完成二级评价,最终得到西安市水源热泵适宜性分区结果。图 1 为构建的西安市地下水源热泵适宜性评价体系。

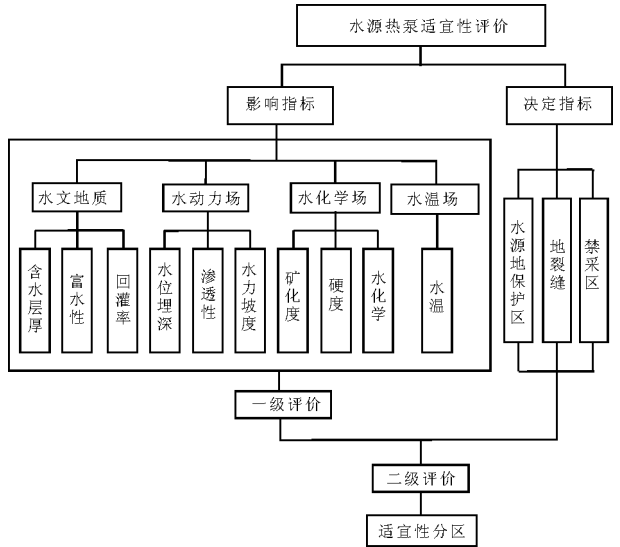


图 1 西安市地下水源热泵适宜性评价体系

采用加权指数和法进行水源热泵适宜性等级评定。依据现有的水文地质资料和收集的水源热泵论证和运行资料对各评价因子进行划分等级,并进行属性赋值,将各要素矢量图层进行叠加,利用加权综合指数法确定各区域适宜开发等级。水源热泵适宜性等级评价指标及其的权重属性见表 1。

2.3 评价结果与分析

将西安平原地区按地质环境与行政区划划分为 20 个单元,利用加权指数和法计算各单元的适宜性分值,根据评价单元分值频数分布直方图确定适宜等级界限,确定其适宜等级。可得西安市水源热泵适宜性评价结果见图 2。

评价结果表明:西安地区总面积为 10 108 km²,其中水源热泵适宜区(包括适宜、较适宜、一般适宜)面积为 3 185.67 km²,占西安地区总面积的 31.52%,占主要研究区的 70%。

从空间分布格局看,最适宜开发水源热泵地主要分布在西安北部沿渭河平原地区,由北向南呈现适宜减弱的趋势,说明与地形地貌有很大的关系。

这些区域富水性强、水位埋深小、含水层厚度大、渗透系数大,具有很好的自然条件,可以进行大规模的水源热泵空调系统的推广;不适宜地区主要分布在山区和黄土台塬地区,富水性差,水位埋深大且不好布置抽灌井。

3 开发利用潜力分区

由适宜性评价结果可知,西安市水源热泵开发利用受自然条件限制,也与社会环境、经济条件有关。为确定西安市不同区域水源热泵的开发潜力,本文从资源条件、开采情况、环境条件 3 方面选取评

价因素,对西安市水源热泵开发潜力进行分区。

3.1 选取评价因素及划分单元

适宜性主要是从“质”的方面对水源热泵开发利用进行了评价,潜力分析基于适宜性评价可以从“量”的角度进行分析,选取各区域水源热泵开发可开采地下水量、地温能储存情况作为水源热泵开发潜力主要指标,再结合其水质、已开发情况、回灌率以及不利环境因素等进行潜力评估。为了便于水源热泵开发的实施与管理,保持行政区划的相对完整性很有必要,划分评价单元还要考虑到地貌条件,共划分了 20 个评价单元。

表 1 适宜性指标评价体系

适宜等级	富水性/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)		回灌率/%		含水层厚/m		水位埋深/ m		渗透系数/ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)		水力坡度/%		矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		硬度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		水化学		水温/($^{\circ}\text{C}$)	
	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数	分级	指数
	指标		指标		指标		指标		指标		指标		指标		指标		指标		指标	
最适宜	>4000	9	85~100	9	>70	9	<10	9	>40	9	<0.001	9	<0.2	9	<120	9	HCO_3^-	9	<16.5	9
中等适宜	2000~4000	7	50~85	5	50~70	7	10~30	7	30~40	7	0.001~0.002	7	0.2~1	6	120~240	7	$\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4$	6	16.5~17.5	8
勉强适宜	1000~2000	5	25~50	3	30~50	5	30~60	5	10~30	4	0.002~0.003	5	1~2	4	240~300	5	$\text{HCO}_3^- - \text{Cl}$	3	17.5~18.5	6
不适宜	<1000	3	0~25	1	<30	3	>60	3	<10	2	>0.003	3	>2	2	>300	3	$\text{Cl} - \text{SO}_4$	1	>18.5	4
权重	0.3181		0.18		0.09634		0.147		0.08613		0.025		0.05697		0.031		0.01725		0.046	

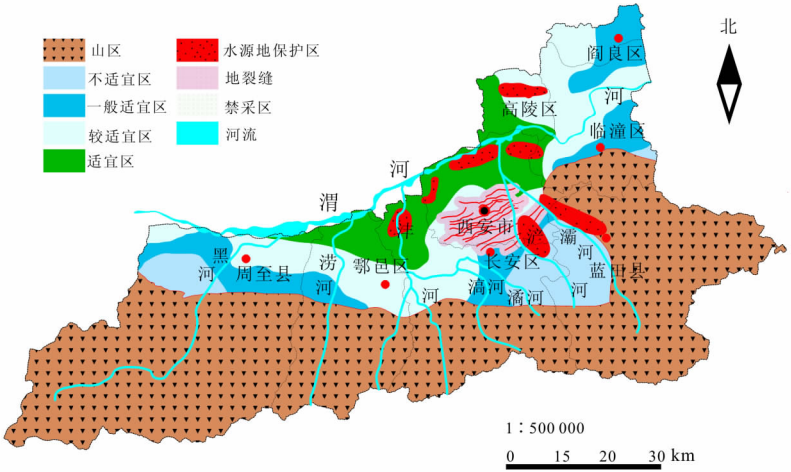


图 2 西安市水源热泵适宜性分区示意图

3.2 潜力评价指标处理

3.2.1 可开采地下水量分析 采用地下水资源可开采模数 p 进行地下水开采潜力分析评价,计算公式如下:

$$p = \frac{Q_{\text{可采}}}{F} \tag{1}$$

式中: $Q_{\text{可采}}$ 为地下水年可开采资源量, 10^4 m^3 ; F 为评价区面积, km^2 。

根据地下水均衡法计算得到西安各分区地下水可开采量,再通过公式(1)计算得到各分区的可开采模数。通过水均衡法计算得各分区地下水可开采量

见表 2,研究区地下水总可开采量为 $106\,132 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均可开采模数为 $23.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

3.2.2 地热资源储量分析 地热资源储量计算评价方法主要有热储法、热流量法、开采动态法、类比法、集中参数模型法及蒙特卡洛法等^[12-13]。目前,热储法是计算地热资源储量最为普遍的方法,本次研究将利用热储法计算西安地区的地热资源量,分别计算评价单元内包气带、饱水带中的地热资源储量,然后合并计算得该单元的地热资源储量。在计算得到各分区单位面积热储量,用以评价各区的地热储量丰富程度。

表 2 各分区可开采量与地温能资源量表

计算 分区	地下水可 开采量/ 10^4 m^3	面积/ km^2	地下水可	总热储量/	均热储量/
			开采模数/ $10^4\text{ (m}^3\cdot\text{km}^{-2}\text{)}$	10^{14} kJ	10^{12} kJ
I_{1-1}	27772	690.0	40.25	22.0625	3.19746
I_{2-1}	363	40.5	8.96	1.3247	3.27097
I_{2-2}	0	70.0	0.00	2.5409	3.62986
I_{1-2}	15266	581.2	26.27	19.1483	3.29462
I_{2-3}	618	46.6	13.26	1.6754	3.59530
I_{2-4}	1701	150.3	11.32	5.5494	3.69219
I_{2-5}	313	39.2	7.98	0.79602	2.03068
I_{2-6}	0	6.9	0.00	0.25216	3.65454
I_{2-7}	0	10.4	0.00	0.39987	3.8449
I_{1-3}	20685	622.5	33.23	22.3556	3.59127
I_{2-8}	333	70.5	4.72	2.1087	2.99108
I_{1-4}	13358	551.0	24.24	14.6951	2.66699
I_{1-5}	4303	184.3	23.35	5.2593	2.85368
I_{2-9}	769	135.0	5.70	3.9288	2.91023
I_{2-10}	0	25.4	0.00	0.8443	3.32405
I_{2-11}	0	21.5	0.00	0.6751	3.14019
I_{1-6}	9603	550.6	17.44	18.8576	3.42492
I_{2-12}	1268	133.0	9.53	5.1205	3.85000
I_{1-7}	4045	244.0	16.58	9.0483	3.70832
I_{1-8}	5736	287.0	19.99	10.0731	3.50975
合计	106132	4459.90	23.80	146.71565	3.28966

热储法所用到的计算参数主要有:岩土体孔隙率、饱和度、固体颗粒密度、岩土体骨架比热容及空

气和水的密度、比热容等^[14]。参考已有文献评价区内土体物性参数值,通过热储法计算西安地区各分区包气带与饱水带的地热资源量,从而得到西安地区的地温能资源总储量为 $1.467\times10^{16}\text{ kJ}$,其各分区地温能资源量计算结果见表 2,并求得西安地区平均地温能资源量为 $3.290\times10^{12}\text{ kJ/km}^2$ 。

3.3 结果分析

依据地下水开采潜力与地热资源量的分区评价,再综合考虑单元内适宜性、水质、回灌率、已运行情况以及环境条件的影响,并对其开发利用的潜力进行相应的评分,采用百分制评分法对相应指标构建评价体系,利用加权平均法(各指标权重见表 3)对西安地区各分区进行开发潜力评分,计算得到各分区的开发潜力评估值。

表 3 评价指标权重

标层	地下水	水质	地温	抽回灌	水源	地裂	已开发
(U)	开采潜力	能储量	条件	地	缝	情况	
权重	0.092	0.048	0.025	0.15	0.205	0.175	0.305

依据评估对各评价单元进行开发条件评价,依据评估结果与当地地质地貌条件,将西安地区划分为 5 个类型的潜力分区,由北向南对各分区进行归类分析,其潜力评价单元分类结果见表 4。

表 4 水源热泵开发利用潜力评价单元分类表

类别	综合评价值	评价单元及其综合评估值	开发条件评价
I	>80	长安西(81.75)、城六区西北(80.3)、高陵西(80.305)	优
II	75~80	周至中(78.725)、户县北(78.375)、高陵东(79.82)、阎良西(79.92)、临潼西北(79.745)	良
III	60~75	蓝田西南(70.635)、临潼北(69.61)、长安中南(62.785)、阎良东(74.68)、周至西北(70.12)、周至东南(68.68)、户县东南(62.995)、户县西南(69.64)	一般
IV	<60	临潼南(55.16)、蓝田西(53.44)、长安南(54.07)	不足
V	<30	城六区中(24.67)	限制

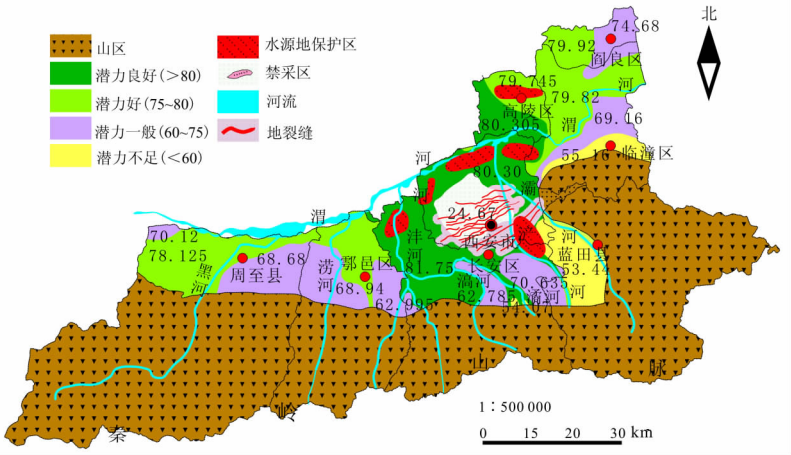


图 3 水源热泵开发利用潜力评估图

利用GIS软件,对西安地区水源热泵开发潜力类型区分布进行分析,由西安地区水源热泵开发潜力评估图(图3)可知,西安地区水源热泵开发潜力与地形地貌有密切关系,由北向南潜力递减,中部地区潜力最大;各区的具体开发潜力及开发对策分析如下:

(1) I类开发潜力区。此类型潜力区为潜力优良区,主要分布在主城区外围一带,尤其是沿渭河、泾河以及沣河一带有着很大的开发利用潜力且大部分地区尚未大规模开发利用。尤其是西安市政府北迁,政治经济中心北移,西安市北郊正在规划国际大都市布局建设,可以在该区域大力推广水源热泵系统的运用。

(2) II类开发潜力区。此类型潜力区次于I类开发潜力区,主要分布在周至中部、户县北部、高陵东部、阎良西部、临潼北等地,开发潜力也比较大,目前尚未进行开发利用,今后在进行城市各类建筑规划时应注重考虑在该区域进行水源热泵开发利用。

(3) III类开发潜力区。此类型潜力区主要分布在西安地区临潼中部、阎良东部、长安南部、户县和周至南部等地,有一定的开发潜力,可鼓励新建小区与学校等机构布设水源热泵。

(4) IV类开发潜力区。蓝田西南、临潼南部以及长安中南少许地区开发潜力不足,主要体现在地下水资源量不充足、富水性差,回灌率差,不适合布设抽灌井,不建议这些地区进行大规模的水源热泵的开发利用。

(5) V类开发潜力区。该类地区主要为西安南部以及临潼东部秦岭山地,人类活动匮乏,不适合布设抽灌井,或已划为水源地、禁采区,应严格限制水源热泵开发利用。值得注意的是,目前西安地区水源热泵系统的开发利用主要集中在主城区,开发利用程度较大,但依据《陕西省沿渭(河)主要城市地下水超采区划定及保护方案》,该区域自2006年起已划为地下水禁采区^[15]。虽然已建水源热泵尚未出现较大问题,但如果长期运行不合理,回灌不及时或不完全,必然导致地下水的超采,从而造成地下水超采漏斗甚至引发地面沉降等环境地质问题^[16]。

4 结论与讨论

基于西安市水源热泵二级适宜性评价体系,对西安市水源热泵开发利用潜力进行了评估,得出结论:

(1) 西安地区总面积为10 108 km²,其中水源热

泵适宜区面积为3 185.67 km²,占西安地区总面积的31.52%,占主要研究区的70%。西安地区地下水总可开采量为106 132 × 10⁴ m³,平均可开采模数为23.8 × 10⁴ m³/km²,其地温能资源总储量为1.467 × 10¹⁶ kJ,平均地温能资源量为3.290 × 10¹² kJ/km²。

(2) 结合西安行政区划、地形划分了20个单位,综合考虑地下水可开采潜力、地热资源储量、已开发水源热泵、环境条件(地裂缝、禁采区、水源地)的影响,将西安市水源热泵开发划分为5类潜力区,为西安市地下水源热泵的开发利用规划提供依据。

(3) 从开发潜力评估图中可以看出,受自然条件限制,西安市各区县水源热泵开发利用适宜性与潜力分布差异较大,北部渭河平原区和主城区北部和南部地区潜力最大,中部阶地丘陵地区开发潜力次之,南部山区和西部黄土地区适宜性与开发潜力最差。

本文对西安市水源热泵开发潜力评估是最大潜力评估。现实中水源热泵系统的布设,潜力能否实现,还取决于经济因素与当地具体的水文地质条件,在局部地区与本次评估可能存在差异,抽回灌井的布设应符合具体的经济和自然条件。

参考文献:

- [1] 刘翠,薛科社. 西安市雾霾天气成因及治理措施分析[J]. 地下水, 2013, 35(3): 220-221.
- [2] 常纪文. 区域雾霾治理的革命性思路及措施分析[J]. 环境保护, 2016, 44(1): 26-30.
- [3] 马聪,周维博,李娜. 西安市主城区地下水源热泵适宜性分区[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 156-159.
- [4] 赵飞燕,万贵生. 安阳市地下水源热泵的现状与应用[J]. 河南水利与南水北调, 2010(4): 39-40.
- [5] 刘立才,王金生,张霓,等. 北京城市规划区水源热泵系统应用适宜性分区[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(6): 15-17.
- [6] 王筱明,闫弘文,卞正富. 基于适宜性的济南市宜耕未利用地开发潜力评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 307-312.
- [7] 李云排. 西安地区地下水动态及地下水供水安全研究[D]. 西安:长安大学, 2014.
- [8] 宋扬,周维博,马聪,等. 西安主城区地下水埋深空间变异性分析[J]. 人民黄河, 2015, 37(8): 56-59.
- [9] 杨亚慧. 基于SWAT模型的西安市秦岭北麓流域径流分析[D]. 西安:长安大学, 2015.

(下转第157页)

(1)大亚湾海域玻沙山岬角等局部地貌单元与潮流共同作用形成了复杂的动力结构,影响温排水的输运过程。人工岬角(电厂防波堤)加强了天然岬角(湖头角和玻沙山岬角)对烟囱湾的屏蔽作用,形成了稳定的低流速区及两个顺时针回流结构,并致使南排北取方案废热窝积及其管排方案取水温升高于明渠浅排方案。

(2)碧甲港规划形成了工程区域的双峡口地貌单元,动力上形成两个双向射流结构,加大了港内、烟囱湾的热量积累效应,使南排北取方案温排水交换能力减低、取水温升高,影响方案成立。碧甲港规划使北排南取方案下泄热水减少,减轻烟囱湾热量累积,并使取水温降低0.2~0.3℃。

(3)近岸岬角地貌单元形成的复杂动力结构对于物质输运及工程方案布置有重要意义。取排水工程布置方案选择必须考虑工程附近区域岸线规划调整的空间尺度。

参考文献:

[1] 陈惠泉,岳钧堂,陈燕茹.我国电厂排取水口规划特点及其水力热力特性[J].水利学报,1993,24(10):1-11.
[2] 岳钧堂.差位式理论及工程应用-感潮水域冷却水运动及工程布置研究[J].水利学报,1993,24(12):10-17.
[3] 陈惠泉,许玉麟,贺益英.火、核电厂冷却水试验研究50年的进展和体验[J].中国水利水电科学研究院学报,2008,6(4):288-298.

[4] 纪平,秦晓,袁珏,等.冷却池近区湍射流与远区环流耦合计算模型[J].水利水电技术,2006,37(9):23-26.
[5] 朱军政.强潮海湾温排水三维数值模拟[J].水力发电学报,2007,26(4):56-60.
[6] 广东省水利水电科学研究院.广东平海电厂冷却水工程数学模型计算报告[R].2005.
[7] 中国科学院南海海洋研究所.广东平海电厂夏季水文泥沙观测报告[R].2005.
[8] 倪培桐,江洵.潮州三百门电厂冷却水排放的数值模拟研究[J].中国农村水利水电,2004(5):25-27.
[9] 倪培桐,陈丕翔,黄健东.粤东陆丰海域温排水输运及取排水工程布置原则分析[J],水利水电技术,2016,47(10):129-133.
[10] 广东省水利水电科学研究院.广东惠来电厂冷却水工程数学模型计算报告[R].2005.
[11] 吴超羽.黄茅海河口小尺度动力结构及其沉积作用[J].中山大学学报(自然科学版),1995,34(2):86-94.
[12] Wei Xing, Ni Peitong, Zhan Haigang. Monitoring cooling water discharge using Lagrangian coherent structures: A case study in Daya Bay, China[J],Marine Pollution Bulletin, 2013, 75(1-2):105-113.
[13] 陈凯麒,章本照.沿岸凸体对污水排水排放影响的数值模拟[J].水动力学研究与进展(A辑),1996,11(3):352-360.
[14] 倪培桐,吴超羽,刘欢,等.“门”地貌单元的能量耗散和过程机制[J].热带海洋学报,2012,31(2):34-40.
[15] 倪培桐,陈卓英.基于惯性耗散法的峡口岬角地形能耗分析[J].水资源与水工程学报,2016,27(2):128-134.



(上接第149页)

[10] 何超,李萌,李婷婷,等.多目标综合评价中四种确定权重方法的比较与分析[J].湖北大学学报(自然科学版),2016,38(2):172-178.
[11] 朱少荣,刘佑荣,吴益平.层次分析法在滑坡区建筑适宜性评价中的应用[J].水文地质工程地质,2003,30(3):58-60.
[12] 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.
[13] 赵常青.大庆市龙凤区地热资源热储分布特征及资源

量评价[D].长春:吉林大学,2012.
[14] 刘彩波.西安市浅层地温能资源评价研究[D].西安:长安大学,2014.
[15] 佚名.陕西省启动新一轮地下水超采区治理工作重新划定超采区和保护区[J].陕西农业科学,2016,62(4):5-5.
[16] 吴佩林.我国城市节约用水的潜力与对策分析[J].山东理工大学学报(社会科学版),2005,21(6):38-42.