文章编号:0253-4339(2022) 06-0018-07 **doi**:10.3969/j.issn.0253-4339.2022.06.018

典型海水温度年计算方法及其应用(续)

端木琳'贾欣'马伟强'王芸'

(1大连理工大学土木工程学院 大连 116024;2大连大学建筑工程学院 大连 116622)

摘 要 海水温度对利用海洋能的新能源系统(如海水源热泵系统、以海水为冷却介质的发电系统等)的设计和运行起着重要 作用。本文通过统计 2005—2021 年黄海、渤海近海海域海水温度数据,分别计算得出黄海和渤海的典型海水温度年,并分别获 得黄海和渤海近海典型年逐日海水温度表达式,能够为海洋能新能源系统的设计和科研提供更为合理的基础数据。通过对比本 文计算得到的 2021 年黄海典型年与 2014 年黄海典型年海水温度发现,黄海海水温度值增加,月平均温度最高增加 0.98 ℃。同 时得到黄海海水极端最高温度为 26.2 ℃;海水极端最低温度为-0.4 ℃。渤海海水极端最高温度为 28.6 ℃;海水极端最低温度 为-1.8 ℃。与渤海相比,黄海海域海水夏季温度更低,冬季温度更高,更适合作为海水源热泵的低位热源。

关键词 典型年;海水温度;海水源热泵;海洋能 中图分类号:TO051.5; P743.4

文献标识码:A

Generation of Typical Seawater Temperature Year and Its Applications(Part II)

Duanmu Lin¹ Jia Xin² Ma Weiqiang² Wang Yun¹

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, 116024, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Dalian University, Dalian, 116622, China)

Abstract Seawater temperature is a critical factor in the design and operation of new energy systems that utilize ocean energy, such as seawater-source heat pumps and power generation systems that use seawater as the cooling medium. In this study, statistical data on the water temperatures in the Yellow Sea and the Bohai Sea near Dalian, China, from 2005 to 2021, were obtained. Thereafter, the daily variation formulas of the annual seawater temperatures were derived, which can provide more reasonable fundamental data for the design and research of ocean energy utilization systems. It was observed that the typical seawater temperatures increased in 2021. The maximum increase in the mean monthly temperature was 0.98 °C compared with that in 2014. From 2005 to 2021, the extreme water temperatures in the Yellow Sea were 26.2 °C in the summer and -0.4 °C in the winter, and the extreme temperatures in the Bohai Sea were 28.6 °C in the summer and -1.8 °C in the winter. Because the temperatures in the Yellow Sea were lower in the summer and higher in the winter compared with those of the Bohai Sea, the Yellow Sea is more suitable as a heat source for seawater-source heat pumps.

Keywords typical year; seawater temperature; seawater-source heat pump; ocean energy

目前,我国传统的区域供热和供冷方式主要为锅 炉和冷冻机,该方式通常需要消耗大量化石能源且污 染环境。在"双碳"目标之下,区域供热和供冷方式 的改革势在必行,这使海水源热泵的普及成为可能。 在沿海地区,海水源热泵系统虽然可以代替传统的锅 炉房和冷冻机为建筑物供热、制冷,但并非任意从海 洋中取出的海水都可作为热泵系统的冷、热源。

海水温度对热泵系统的设计和运行起着重要作用,是海水源热泵技术应用成败的关键,主要考虑应 用海水源热泵地区的海水的极端温度^[1-2],极端温度 主要涉及海水最冷月和最热月海水各层的温度。我 国大部分海域有很好的水温条件,符合机组制冷和制 热对冷热源温度的要求^[3]。海水源热泵供热设计时 要求海水温度不得低于 2 ℃^[4],张莉等^[5]针对青岛 市一海水源热泵试点工程,通过实验数据分析青岛市 附近黄海海域海水作为热泵系统热源时系统运行的 可靠性,由实验结果分析可知,1、2 月份气温最低的 冬季,系统运行可靠。陈高峰^[6]对天津港附近渤海 海域海水冬季水温进行了测试,冬季海水作为低温热 源,水温较低,可能会出现结冰现象,设计中要考虑海 水温度过低系统无法运行时的措施。因此,渤海海域 海水源热泵实际工程需要考虑不同的设计方案,主要 有三种:1)热泵机组+冬季板式换热器市政热网供 暖;2)热泵机组+冬季备用热源(锅炉、电加热器等); 3)采用海岸井渗滤取水的海水源热泵系统^[7-11]。

海水温度全年变化,而海水温度条件的改变将对

收稿日期:2022-03-13;修回日期:2022-04-26

热泵循环特性乃至机组性能产生影响。季节的变化 对陆地和海洋温度变化起着决定性的作用,因此海水 温度的变化具有显著的季节特征^[12]。胡莹英^[13]分 析了东海不同区域、不同断面和不同层次的海水温度 年际变化规律。为满足工程设计需要,得到具有代表 性的海水温度数据,端木琳等^[14]基于 2005—2014 年 海水温度数据提出了典型海水温度年(简称:2014 年 典型年),并给出了典型海水温度年的计算方法,为 海水源热泵系统的设计工作奠定了基础。但典型海 水温度年计算并非一劳永逸之事,全球气候变暖,海 洋温度也随之变化,根据其他国内外多位学者的调查 研究可知,近年来海水温度一直处于上升趋势^[15-16], 我国的黄海、渤海海域也不例外,因此随着全球气候 的变化,黄海、渤海海域典型海水温度年需要进行 更新。

综上所述,本文在前期工作^[14]的基础上,统计了 2005—2021 年大连市黄海、渤海近海海域海水温度 数据,计算出大连市黄海、渤海海域(本文提到的"黄 海、渤海海域",无特殊说明均指大连地区近海海域) 最新的典型海水温度年并进行数据分析。

1 数据来源及处理

本文收集记录了近 17 年(2005—2021 年)大连 市棒棰岛海域、星海海域、付家庄海域和夏家河子海 域近海岸表层海水温度,海水温度数据源于大连市海 洋渔业局^[17]。其中,以棒棰岛、星海和付家庄海域近 海岸表层海水温度三者的平均值代表黄海海域海水 温度,以夏家河子海域近海岸表层海水温度代表渤海 海域海水温度。

由于实测人员节假日休息或其他原因无法进行 实测记录,导致个别天数温度数据缺失,则利用线性 内插法对缺失数据进行补充。夏家河子浴场个别年 份1、2月的海水温度数据缺失过多,采用差值法补充 后导致计算误差过大,计算结果不具有代表性,故未 将这些年份的数据包含于累计分布函数。

2 典型年计算

本文沿用 2014 年典型年采用的 FS(Finkelstein-Schafe)统计方法^[18-20]进行计算。以黄海为例,通过 FS 统计方法计算每个月份的 Fs 值,计算结果如表 1 所示。

由计算过程可知,Fs值的大小反映当月数据分 布规律与多年累计分布规律的相似程度,Fs值越小, 其所在月份温度分布规律与该月份过去多年长期分 布越接近,二者分布规律越相似。因此,为保证典型

表 1 海水温度 Fs 计算值

Tab.1	Fs	statistics	of	seawater	temperature
-------	----	------------	----	----------	-------------

年份	1月	2 月	3月	4月
2005	0. 165 3	0. 121 2	0. 222 1	0. 240 9
2006	0.1401	0.1864	0. 133 5	0. 123 7
2007	0.1761	0.345 2	0. 234 7	0.236 0
2008	0. 133 9	0.237 1	0. 221 5	0.2017
2009	0. 233 0	0. 119 8	0. 138 3	0.1802
2010	0.4127	0.405 1	0.425 5	0.301 1
2011	0.328 8	0.3511	0.325 1	0.2257
2012	0.118 0	0.1403	0. 254 4	0.1476
2013	0.205 1	0.184 2	0.2544	0.284 5
2014	0.090 5	0.2601	0.218 3	0. 119 6
2015	0. 179 2	0.432 9	0. 294 1	0.168 8
2016	0.0779	—	0. 137 5	0.099 3
2017	0.296 6	0.462 8	0.443 2	0. 244 4
2018	0. 170 7	0.188 0	0.1641	0. 186 9
2019	0.3296	—	0.4784	0. 234 5
2020	0.255 6	—		—
2021	0.084 1	0.229 0	0.125 2	0.064 4
年份	5 月	6月	7 月	8月
2005	0.1472	0. 153 3	0. 235 5	0.302 0
2006	0.066 8	0.049 0	0. 089 9	0. 116 9
2007	0.1803	0.2167	0. 096 9	0. 197 8
2008	0.1221	0.072 4	0. 136 9	0. 183 0
2009	0.214 1	0 1 (7 0		
		0.16/2	0.1111	0.2194
2010	0. 183 8	0. 167 2 0. 038 2	0. 111 1 0. 058 2	0. 219 4 0. 304 1
2010 2011	0. 183 8 0. 200 4	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7
2010 2011 2012	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7	 0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7
2010201120122013	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 057 6	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9
2010 2011 2012 2013 2014	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 057 6 0. 073 3	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8
2010 2011 2012 2013 2014 2015	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 057 6 0. 073 3 0. 065 3	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5 0. 101 8	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 057 6 0. 073 3 0. 065 3 0. 068 5	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9 0. 195 0	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6 0. 232 8
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5 0. 101 8 0. 176 7	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 077 6 0. 073 3 0. 065 3 0. 068 5 0. 094 2	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9 0. 195 0 0. 179 7	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6 0. 232 8 0. 090 2
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5 0. 101 8 0. 176 7 0. 083 2	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 077 6 0. 073 3 0. 065 3 0. 068 5 0. 094 2 0. 103 2	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9 0. 195 0 0. 179 7 0. 081 6	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6 0. 232 8 0. 090 2 0. 428 1
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5 0. 101 8 0. 176 7 0. 083 2 0. 054 8	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 077 6 0. 073 3 0. 065 3 0. 068 5 0. 094 2 0. 103 2 0. 053 1	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9 0. 195 0 0. 179 7 0. 081 6 0. 135 8	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6 0. 232 8 0. 090 2 0. 428 1 0. 224 2
2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020	0. 183 8 0. 200 4 0. 024 7 0. 136 4 0. 057 7 0. 098 5 0. 101 8 0. 176 7 0. 083 2 0. 054 8 0. 168 1	0. 167 2 0. 038 2 0. 159 2 0. 076 5 0. 057 6 0. 073 3 0. 065 3 0. 068 5 0. 094 2 0. 103 2 0. 053 1 0. 148 8	0. 111 1 0. 058 2 0. 302 5 0. 096 0 0. 136 9 0. 100 0 0. 074 9 0. 195 0 0. 179 7 0. 081 6 0. 135 8 0. 097 1	0. 219 4 0. 304 1 0. 252 7 0. 058 7 0. 038 9 0. 180 8 0. 164 6 0. 232 8 0. 090 2 0. 428 1 0. 224 2 0. 104 9

— 19 —

续表1

年份	9月	10 月	11 月	12 月
2005	0.114 0	0.067 5	0.146 6	0.048 9
2006	0.096 8	0.1767	0.075 4	0.218 2
2007	0.254 1	0.068 9	0.078 8	0.136 6
2008	0. 185 7	0.129 8	0.108 6	0.097 6
2009	0. 220 9	0.081 0	0.245 3	0.299 5
2010	0.130 2	0.049 0	0.0906	0.121 6
2011	0. 236 9	0.213 6	0.091 3	0.042 2
2012	0.1407	0.045 4	0.045 2	0.201 5
2013	0.1206	0.0514	0.0617	0.053 9
2014	0.1477	0.236 6	0.154 8	0.1367
2015	0.1508	0.082 8	0.061 9	0.132 2
2016	0.217 1	0.0891	0.087 5	0.157 8
2017	0.1371	0.096 5	0.036 0	0.089 4
2018	0. 294 4	0.064 3	0.1629	0.279 9
2019	0.090 2	0.087 2	0.1206	0.157 8
2020	0.1704	0. 135 3	0.2614	0.2537
2021	0.326 6	0.1511	0.202 5	0.261 9

年的温度分布规律与过去多年海水温度的长期分布 规律相似,选取具有最小Fs值的月份作为典型月,由 12个不同的典型月组成典型年^[14],如表2所示。同 理计算出渤海海域典型海水温度年,如表3所示。

基于 DataFit 软件对得到的典型年黄海、渤海海 水逐日温度进行计算分析,得到黄海、渤海典型年海 水温度表达式:

$$t = a + b \sin\left(\frac{2\pi}{T}(\tau - \tau_0) + e\sqrt{\frac{\pi}{T}}\right) \tag{1}$$

式中:(1)对于黄海海域海水温度, τ 为天数 (1月1日为起始);a=12.52;b=-10.27;T=367.65; $\tau_0=15.68$;e=8.70,均为拟合系数。(2)对于渤海海 域海水温度, τ 为天数(1月1日为起始);a=12.04; b=-13.05;T=362.02; $\tau_0=4.25$;e=10.27,均为拟合 系数。图1所示为黄海、渤海海域典型年海水逐日温 度,其中散点表示典型年海水逐日温度,实线表示拟 合曲线。该公式能够便于工程师根据实际工程设计 需求计算海水温度,作为工程设计基础。

3 计算结果分析

3.1 数据代表性分析

对典型年月平均温度和累年月平均温度进行对

注,加粗标注的数值为历年该月最小值。

	表 2 黄海典型海水温度年组成
Tab.2 Typical	seawater temperature year in the Vellow Sea

			1ab.2 1y	pical seav	water tem	perature	year in u	ie renow	Sea			
月份	1月	2 月	3月	4 月	5月	6月	7 月	8月	9月	10 月	11 月	12 月
典型年组成	2016	2009	2021	2021	2012	2010	2010	2013	2019	2012	2017	2011
			Tab.3 T	表 3 vpical sea	;渤海典西 water ten	」 海水温度 merature	₹年组成 vear in ti	he Bohai	Sea			

			145.5 13	pical sea	water tem	perature	year in ei	le Donai	Jeu			
月份	1月	2 月	3月	4 月	5 月	6月	7 月	8月	9月	10 月	11 月	12 月
典型年组成	2007	2021	2021	2015	2013	2007	2012	2016	2010	2017	2017	2013

比,可以观察典型年温度分布规律与温度累年分布规 律的相似性。图 2 所示为黄海、渤海海域海水的月平 均温度对比,由图 2 可知,典型年各月平均温度与该 月累年平均温度很接近,两条曲线几乎重合。黄海、 渤海海域典型年月平均温度和累年月平均温度最大 差值分别出现在 2 月和 12 月,为 0.9 ℃和 0.63 ℃。 因此,本文计算确定的典型海水温度年温度全年变化 趋势和分布规律与过去 17 年里的温度变化趋势和分 布相似,能够反映过去多年海水温度的变化情况,具 有较好的代表性。

3.2 海水温度极端年

参考《中国建筑热环境分析专用气象数据集》^[21]

中获得极端气象数据的方法,本文采用历年海水月平 均温度最大的月份组成海水温度极高年;历年海水月 平均温度最小的月份组成海水温度极低年;采用累年 海水日最高温度为极端最高温度;采用累年海水日最 低温度为极端最低温度。黄海海水温度极高年和温 度极低年月平均海水温度如图 2(a)所示。渤海海水 温度极高年和温度极低年月平均海水温度如图 2(b) 所示。黄海海水极端最高温度为 26.2 ℃;极端最低 温度为-0.4 ℃。渤海海水极端最高温度为 28.6 ℃; 极端最低温度为-1.8 ℃。

3.3 海水温度逐年变化分析

为研究近17年来海水温度的变化趋势,本文将

-20 -



Fig.1 Seawater temperature of the typical year

2005—2021年的海水温度数据进行对比。图 3(a) 所示为黄海海域 2 月海水平均温度的逐年变化, 2005—2009这五年的海水平均温度为 3.22 ℃,而 2017—2021近五年的海水平均温度为 3.83 ℃,上升 了 0.61 ℃;图 3(b)所示为黄海海域 8 月平均温度的 逐年变化,2005—2009 这五年的海水平均温度为 22.82 ℃,而 2017—2021 近五年的海水平均温度为 23.5 ℃,上升了 0.67 ℃;经过同样的方法分析得出, 2005—2009 这五年的渤海 2 月海水平均温度为 1.14 ℃,而 2017—2021 近五年的渤海海水平均温度为 -0.72 ℃,2005—2009 这五年的渤海海水平均温度为 -0.72 ℃,2005—2009 这五年的渤海海水平均温度为 1.86 ℃,8 月份的海水平均温度上升了 1.11 ℃。

本文通过将计算确定的典型年与2014年典型年 进行对比发现,除了2月、5月和6月这三个月份的典 型月没有改变,其他月份的典型月均发生了变化,且温 度值均增加,增幅最大的为1月,由原来的4.07℃变 为5.05℃增加了0.98℃,具体数据如表4所示。





Fig.2 Comparison of mean monthly seawater temperature in the Yellow Sea and Bohai Sea

3.4 黄海、渤海海水温度对比分析

受地理位置的影响,不同海域的海水温度也存在 差异。黄海海域海水全年月平均温度约在 2.8~22.9 ℃范围内变化,渤海海域海水全年月平均温度约在 -0.4~25.5 ℃范围内变化,渤海海域海水全年月平 均温度变化范围大于黄海海域海水全年月平均温变 化范围。黄海、渤海海域海水月平均温度最大差值为 5.8 ℃,出现在 12 月;最小差值为-0.7 ℃,出现在



— 21 —



图 3 黄海海域海水平均温度逐年变化

Fig.3 Changes in the mean seawater temperature in the Yellow Sea

表 4	苗海	海域	曲型海	水温度	宇在日	平均	气温
1X -	9 奥1马	1423	六主/4	小皿乃	マーク		<u>сл</u>

Tab.4 Mean monthly seawater temperature of the typical years in the Yellow Sea

月份	1月	2 月	3月	4月	5月	6月	7 月	8月	9月	10 月	11月	12 月
本文典型年(2021年)	5.05	2.82	3. 59	5.86	10.00	15.47	20.15	22. 92	21.92	17.85	13.15	8.75
2014 年典型年	4.07	2.82	2.70	4.94	10.00	15.47	19.35	22. 53	21.38	17.55	13.01	8.22
差值	0. 98	0	0.89	0. 92	0	0	0.80	0.39	0.54	0.30	0.14	0.54

表 5 黄海、渤海海域典型海水温度年月平均温度

Tab.5 Mean monthly seawater temperature of the 2021 typical year in the Yellow Sea and the Bohai Sea

月份	1月	2 月	3月	4 月	5月	6月	7 月	8月	9月	10月	11 月	12 月
黄海	5.1	2.8	3.6	5.9	10.0	15.5	20. 2	22. 9	21.9	17.9	13.2	8.8
渤海	0.1	-0.4	2.1	7.1	13. 1	18.8	23.4	25.5	22.7	17.1	10.3	3.0
差值	5.0	3.3	1.4	-1.2	-3.1	-3.3	-3.2	-2.5	-0.7	0.8	2.8	5.8





9月,具体数据如表 5 所示。图 4 所示为黄海、渤海 海域月平均温度对比。由图 4 可知,4—9月渤海海 域海水月平均温度高于黄海海域,10 月至来年 3 月 黄海海域海水月平均温度高于渤海海域,即黄海海域 海水夏季温度更低,有利于热泵夏季工况运行效率的 提升(海水作为冷却水,降低了机组冷凝温度,提高 了机组效率),冬季温度更高,有利于热泵冬季工况 运行效率的提升(海水作为冷冻水,提高了机组蒸发 温度和效率),因此黄海近海海域更适合作为海水源 热泵系统的低位冷热源。

本文通过计算结果可知,黄海海域典型海水温度 年最低月平均温度为 2.8 ℃,海水极端最低温度为 -0.4 ℃。相比之下,渤海海域典型海水温度年最低 月平均温度为-0.4 ℃,海水极端最低温度为-1.8 ℃,这一点对于海水源热泵系统是不利的^[22]。

4 结论

1)本文以近 17 年(2005—2021 年)大连市黄海、 渤海近海逐日海水温度数据为基础,沿用 2014 年典 型年的计算方法计算得到了大连市黄海、渤海近海海 域最新的典型海水温度年,经过验证,本文计算得到 的典型年能够反映过去多年海水温度的变化情况,典 型年温度数据具有较好的代表性,并获得了典型年黄 海、渤海逐日海水温度表达式。

2) 通过分析计算结果发现,近17年来,大连地

区黄海近海海域的海水温度均处于上升趋势,黄海近 海海域 8 月份近五年月平均温度较 2005—2009 这五 年上升约 0.67 ℃,2 月份上升约 0.61 ℃,与 2014 年 典型年相比,本文典型年月平均温度除 3 个月份未发 生改变之外,其他月份平均温度均有不同程度的增 加,其中 1 月增值最大,增加了 0.98 ℃。大连地区渤 海近海海域温度变化趋势与黄海近海海域不同,冬夏 季海水温差变大,2005—2009 这五年的渤海近海海 域 2 月海水平均温度为 1.14 ℃,而 2017—2021 近五 年的渤海近海海域海水平均温度为-0.72 ℃,2005— 2009 这五年的渤海近海海域 8 月海水平均温度为 25.16 ℃,而 2017—2021 近五年的渤海近海海域海 水平均温度为 26.27 ℃。渤海近海海域 2 月份海水 平均温度降低了 1.86 ℃,8 月份的海水平均温度上 升了 1.11 ℃。

3)根据大连市附近黄海、渤海海域海水温度的特点,黄海海域夏季温度更低,有利于热泵夏季工况运行效率的提升,冬季温度更高,有利于热泵冬季工况运行效率的提升,因此黄海近海海域更适合作为海水源热泵系统的低位冷热源。但渤海近海海域冬季海水温度较低,最低月平均温度为-0.4℃,海水极端最低温度为-1.8℃,海水不适合直接或单独作为低位热源,需要采用岸边打井取水方式或具有其他辅助热源的海水源热泵形式。

典型海水温度年为海洋能新能源系统、海水源热 泵系统、以海水为冷却水的发电系统等相关设计和方 案论证提供了数据基础。但典型海水温度年的计算 并不是一件简单的工作,不同海域的典型年不同,同 一海域不同区域的典型年也不同,而且随着时间的推 移,由于气候变化,典型年还会发生改变,因此建立我 国各海域不同区域的典型海水温度年数据库,并不断 更新,为海洋能新能源系统的设计提供基础数据,助 力"双碳"目标的实现。

致谢

本文作者感谢大连市海洋渔业局大连市海洋预报台提供的大连地区海水温度数据,向其对海水源热泵等海洋能利用 技术的贡献致敬。

参考文献

- [1] 高磊. 近岸浅埋式毛细管海水源热泵系统运行特性研究[D]. 青岛:青岛理工大学, 2019. (GAO Lei. Study on operation characteristics of offshore shallow-buried capillary seawater source heat pump system [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2019.)
- [2] 贾欣,端木琳,舒海文,等.黄海北部海水源热泵供热

和免费供冷系统实测[J]. 制冷学报, 2014, 35(6): 42-46. (JIA Xin, DUANMU Lin, SHU Haiwen, et al. Field measurement on a seawater source heat pump system for heating of buildings and a free cooling system in coastal area of the northern Yellow Sea[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(6): 42-46.)

- [3] 任玉迎,南远新,杭庆荣,等.海水源热泵的发展和应用[J].制冷与空调(北京),2007,7(2):8-9.(REN Yuying, NAN Yuanxin, HANG Qingrong, et al. The development and application of seawater source heat pump [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2007,7(2):8-9.)
- [4] 徐伟. 地源热泵技术手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011. (XU Wei. Handbook of ground-source heat pump engineering [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.)
- [5] 张莉,胡松涛.海水作为热泵系统冷热源的研究[J]. 建筑热能通风空调,2006,25(3):34-38,57.
 (ZHANG Li, HU Songtao. Research on the heat pump system using seawater as heat source or sink[J]. Building Energy & Environment, 2006, 25(3):34-38,57.)
- [6] 陈高峰.用于海水源热泵的海岸井渗滤取水系统渗流 换热性能研究[D].天津:天津大学,2012.(CHEN Gaofeng. Seepage and heat transfer of beachwell infiltration intake system in seawater source heat pump[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.)
- [7] 吴君华,由世俊,余知,等. 渗滤取水技术在海水源热 泵系统中的应用[J]. 暖通空调,2010,40(3):89-92, 82. (WU Junhua, YOU Shijun, YU Zhi, et al. Application of infiltration intake technology to seawater-source heat pump systems[J]. Journal of HV&AC, 2010, 40(3):89-92,82.)
- [8] JIA Xin, DUANMU Lin, SHU Haiwen. Effect of seawater intake methods on the performance of seawater source heat pump systems in cold climate areas[J]. Energy and Buildings, 2017, 153: 317-324.
- [9] JIA Xin, DUANMU Lin, SHU Haiwen. Large-area seepage and heat transfer model of beach well infiltration intake system for seawater source heat pump [J]. Energy and Buildings, 2018, 158: 1593-1601.
- [10] JIA Xin, DUANMU Lin, SHU Haiwen. Multifactor analysis on beach well infiltration intake system for seawater source heat pump[J]. Energy and Buildings, 2017, 154: 244-253.
- [11] JIA Xin, DUANMU Lin. A stepwise enumeration optimization method for large-scale seawater-source heat pump system with multiple beach wells[J]. Journal of Building Engineering, 2021, 40: 102749.
- [12] 张虹, 蒋志婷, 刘恩旭. 黄、东海水温季节变化特征

[J]. 中国水运, 2016, 16(11): 167-170. (ZHANG Hong, JIANG Zhiting, LIU Enxu. Characteristics of seasonal variation of water temperature in yellow sea and east China sea [J]. China Water Transport, 2016, 16(11): 167-170.)

- [13] 胡莹英. 黄、东海水温季节和年际变化特征分析[D]. 青岛:中国海洋大学, 2013. (HU Yingying. Seasonal and interannual variations of the water temperature in the Yellow Sea and East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.)
- [14] 端木琳,徐飞. 典型海水温度年计算方法及其应用
 [J]. 制冷学报, 2016, 37(3): 6-11. (DUANMU Lin, XU Fei. Calculation and its application of typical seawater temperature year [J]. Journal of Refrigeration, 2016, 37 (3): 6-11.)
- [15] STRAMSKA M, BIAŁOGRODZKA J. Spatial and temporal variability of sea surface temperature in the Baltic Sea based on 32-years (1982 - 2013) of satellite data [J]. Oceanologia, 2015, 57(3): 223-235.
- [16] 孙克渠, 胡志晖, 茆海云, 等. 连云港海域海水温度近40 年来的变化及突变分析[J]. 海洋预报, 2007, 24 (3): 108-111. (SUN Kequ, HU Zhihui, MAO Haiyun, et al. Period and jump analysis of temperature variation in Daqing in recent 40 years[J]. Marine Forecasts, 2007, 24 (3): 108-111.)
- [17] 大连市海洋与渔业局[EB/OL]. (2022-02-21) [2022-02-21]. http://ep.bdcb.cn/(Dalian Ocean and Fisheries Bureau[EB/OL]. (2022-02-21) [2022-02-21]. http://ep.bdcb.cn/).
- [18] CHAN A L S, CHOW T T, FONG S K F, et al. Generation of a typical meteorological year for Hong Kong[J]. Energy Conversion and Management, 2006, 47(1): 87–96.

- [19] SKEIKER K. Comparison of methodologies for TMY generation using 10 years data for Damascus, Syria[J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(7): 2090-2102.
- [20] OHUNAKIN O S, ADARAMOLA M S, OYEWOLA O M, et al. Generation of a typical meteorological year for northeast, Nigeria[J]. Applied Energy, 2013, 112: 152–159.
- [21] 宋芳婷,诸群飞,吴如宏,等.中国建筑热环境分析专 用气象数据集[C]//全国暖通空调制冷 2006 学术年会 资料集.北京:中国制冷学会,2006:252. (SONG Fangting, ZHU Qunfei, WU Ruhong, et al. Special meteorological data set for building thermal environment analysis in China[C]//National HVAC Refrigeration 2006 Academic Conference Data Set. Beijing: Chinese Association of Refrigeration, 2006: 252.)
- [22] 舒海文,端木琳,朱颖心,等.海水热泵区域供热的节能判断及影响因素[J].哈尔滨工业大学学报,2010,42(12):1995-1998. (SHU Haiwen, DUANMU Lin, ZHU Yingxin, et al. Critical COP value of heat pump unit for energy-saving in the seawater-source heat pump district heating system and the analysis of its impact factors[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2010, 42(12): 1995-1998.)

通信作者简介

贾欣,女,博士,讲师,大连大学建筑工程学院,13390004838, E-mail: jiaxin851018@163.com。研究方向:热泵及可再生能 源在建筑中的利用。

About the corresponding author

Jia Xin, female, Ph. D., lecturer, College of Civil Engineering and Architecture, Dalian University, +86 13390004838, E-mail: jiaxin851018@163.com. Research fields: heat pump and the application of renewable energy in buildings.