

田湾海域温排水分布及变化规律分析*

王冠琳^{1,2}, 熊学军^{1,2}

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 海洋环境科学与数值模拟国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061)

摘要:选取田湾核电站附近海域,采用定点连续、多点同步的水温分层现场观测方式,辅以连续高分辨率的气象、水位和海流等观测,分析研究了田湾核电温排水的分布及变化规律,绘制出逐时的 1℃温升曲线,从而经计算得到与之相对应的温升在 1℃以上的海域面积,并据此讨论了影响温排水的主要因子。结果表明,在现场观测期间,温排水面积变化趋势与潮汐潮流直接相关。在落急时刻,温排水面积达到最大值,为 32.33 km²。在涨憩时刻,温排水面积最小,仅为 7.93 km²。

关键词:田湾;核电温排水;水温;分布规律

中图分类号:X834

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2013)01-0069-06

核电温排水是在营核电站附近海域最突出的现象,其对海洋水文和生态环境影响极大,受到了海洋管理部门和广大民众的高度关切。目前,对核电站温排水分布规律及 1℃温升范围的获取主要通过数值模拟的方法进行^[1-3],但因其缺乏后期观测验证,其结论一直存有争议。业界也有利用航空遥感进行表层水温观测的尝试,但由于核电温排水分布是动态变化过程,利用此方法对其进行连续跟踪观测尚存在一定困难。

田湾核电站位于连云港市东北方向田湾的扒山头处,规划建设 8 台百万千瓦级核电机组,其中一期工程 2×1 000 MW 核电机组已投产发电。核电站每台机组的温排水量约为 50 m³/s,两台机组共计约 100 m³/s。田湾核电站厂址邻近海域月平均最低水温为 -0.1℃,出现在 2 月;月平均最高水温为 29.5℃,出现在 8 月。海域水温受气温影响,季节变化显著。1966-08 实测最高表层水温为 31.5℃。累计频率 10%的水温为 28.0℃。

本文选取田湾核电站周边海域,采用定点连续、多点同步的水温分层现场观测方式,辅以连续高分辨率的气象、水位和海流等观测,分析研究田湾核电温排水的分布及变化规律,绘制逐时的 1℃温升曲线,经计算得到与之相对应的温升在 1℃以上的海域面积,据此讨论影响温排水的主要因子。

1 资料获取及处理

本研究选定受田湾核电站直接影响的沿岸海域,其范围为以电厂排水口为中心,经向距离为 8 000 m,纬向距离为 7 500 m 的扇形区域,于 2010-10-09 对其进行了定点连续、多点同步的水温、气象、水位和海流的现场观测实验,以揭示田湾核电温排水的分布及变化规律。

在水温观测实验站位选定时,充分考虑了田湾地形对温排水的可能影响,以 3 条断面计 18 个定点连续观测站位,加之循环冷却水进口、排口共计 20 个观测站,全面覆盖田湾海域。测站布置及现场水深见图 1。其中 B 断面因现场养殖区原因,在站位设计时断面有所倾斜,但并不会对观测结果造成较大影响;在 C 断面设置过程中,因排水口附近水深过浅,故其最左侧站位 C1 离排水口尚有一段距离。水温观测使用高精度温

* 收稿日期:2012-02-22

资助项目:西太平洋环境监测与预警体系建设专项——滨海核电温排水动态监测(BJ10-201202)

作者简介:王冠琳(1981-),男,山东烟台人,硕士研究生,助理研究员,主要从事区域海洋学和调查技术方面研究。

E-mail:wanggl@fio.org.cn

(王 燕 编辑)

度测量仪进行,观测层次为表、中、底层。

同时,在核电站排水口西侧设立岸基自动天气站,对风向、风速、温度、湿度、气压等气象要素进行连续观测;在高公岛渔港码头设置一个固定水位观测点,进行覆盖水温观测时间的水位现场观测;选取在观测海域具有代表性的观测点 B5 进行海流连续观测,采用座底安装声学多普勒海流剖面仪的方式进行观测,观测层次为表、中、底。

上述要素的观测均持续 26 h,采样间隔为 1 h。

在现场观测完毕后,对所有观测数据按照海洋调查规范要求进行了严格的质量控制,并将分层观测的温度和海流数据进行了垂向平均处理,以用于后续分析。

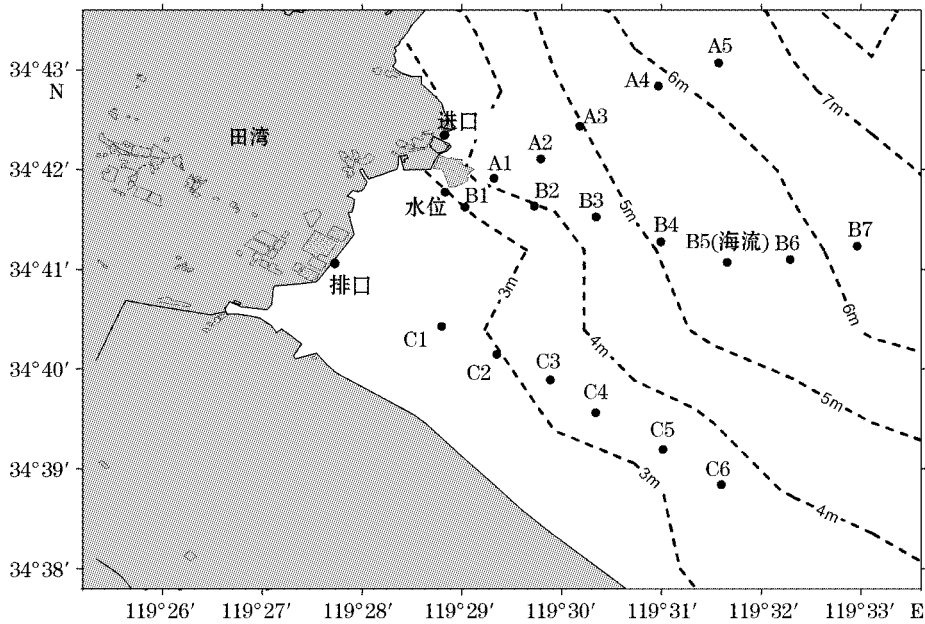


图 1 观测站位图

Fig. 1 Locations of the observation station

2 温排水分布及变化规律分析

观测实验结束后,对经过质量控制的各要素观测数据进行了综合分析。以气象、水位、海流数据为辅,重点分析了水温变化特征及受核电温排水影响温升在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的海域面积,得到温排水分布及变化规律。

现场调查期间,岸基自动气象站测得的最大风速 3.34 m/s ,最小风速 0.68 m/s ,平均风速 2.13 m/s ;观测期间现场平均气温 $19.80\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均相对湿度 77% ,现场天气情况良好,海面风速较小。

高公岛水位站测得的最高水位 3.36 m ,最低水位 0.23 m 。实测潮高数值是相对值(即水位计记录零点的高度值)。观测期间水位数据见表 1,曲线见图 2。可以看出,观测海域在一天内共存有两个明显的潮周期过程。

根据 B5 观测站的海流连续观测结果,观测平均流速为 0.29 m/s 。涨潮时,外海潮流进入湾口,涨潮流流向偏向 SW,且存在一定的逆时针旋转特征。落潮时,海水涌入外海,海流方向偏 NE。现场涨、落潮历时均为 6 h 左右。观测期间垂向平均的流速流向数据见表 1,曲线见图 2。由表 1 可看出,涨潮流最大流速(涨急)出现在低潮到高潮的中间时刻,涨潮流最小流速(涨憩)出现在高平潮时刻,落潮流最大流速(落急)出现在高潮到低潮的中间时刻,落潮流最小流速(落憩)出现在低平潮时刻。涨、落潮流的转流时刻发生在高、低平潮时刻,由此看出实验海域的潮波属前进波。

由于在温度观测中,观测布点情况为3个断面共18个观测点,加之循环冷却水排口和循环冷却水进口,共设计有20个观测点。因此,根据现场观测所得到的逐时温度数据,可绘制出每整点时刻的温度水平分布图。在绘制前,首先对测点数据采用了比较通用的克里金插值方法进行处理。该方法是一种很有用的格网化方法。它首先考虑的是空间属性在空间位置上的变异分布,确定对一个待插点值有影响的距离范围,然后用此范围内的采样点来估计待插点的属性值。该方法在数学上可对所研究的对象提供一种最佳线性无偏估计(某点处的确定值)的方法。因此,经此方法处理过的数据在反映温排水扩散变化规律上具有一定的代表性。

因逐时图像较多,在此我们仅给出第一潮周期的落急、落憩、涨急、涨憩四个时刻的温度水平分布情况(图3),并由此分析观测海区水温分布特征。

表1 流速、流向、水位及温排水面积数据

Table 1 Data of ocean current, water level and area enclosed by the heat-diffusion isallotherms

t	V /m · s ⁻¹	θ /°	水位 /m	S /km ²	t	V /m · s ⁻¹	θ /°	水位 /m	S /km ²
08:00	0.20	50.6	7.98	8.12	21:00	0.22	45.2	7.79	15.85
09:00	0.25	32.3	7.11	15.96	22:00	0.30	30.2	6.85	20.94
10:00	0.34	27.4	6.08	27.74	23:00	0.34	26.6	5.80	32.76
11:00	0.37	29.7	5.05	32.33	00:00	0.33	28.4	4.84	30.49
12:00	0.30	30.1	4.21	30.95	01:00	0.24	21.2	4.20	17.54
13:00	0.16	10.1	3.72	20.25	02:00	0.17	344.2	4.00	15.26
14:00	0.15	305.5	3.70	12.64	03:00	0.23	257.0	4.34	14.07
15:00	0.36	237.3	4.31	11.11	04:00	0.42	224.5	5.39	12.69
16:00	0.50	218.6	5.73	10.03	05:00	0.43	206.3	6.95	10.12
17:00	0.46	204.4	7.43	9.00	06:00	0.31	189.2	8.21	7.58
18:00	0.28	189.3	8.67	8.50	07:00	0.23	135.6	8.84	7.59
19:00	0.15	127.4	9.02	7.93	08:00	0.19	82.1	8.43	8.89
20:00	0.18	69.3	8.54	9.76	09:00	0.25	55.3	7.66	12.72

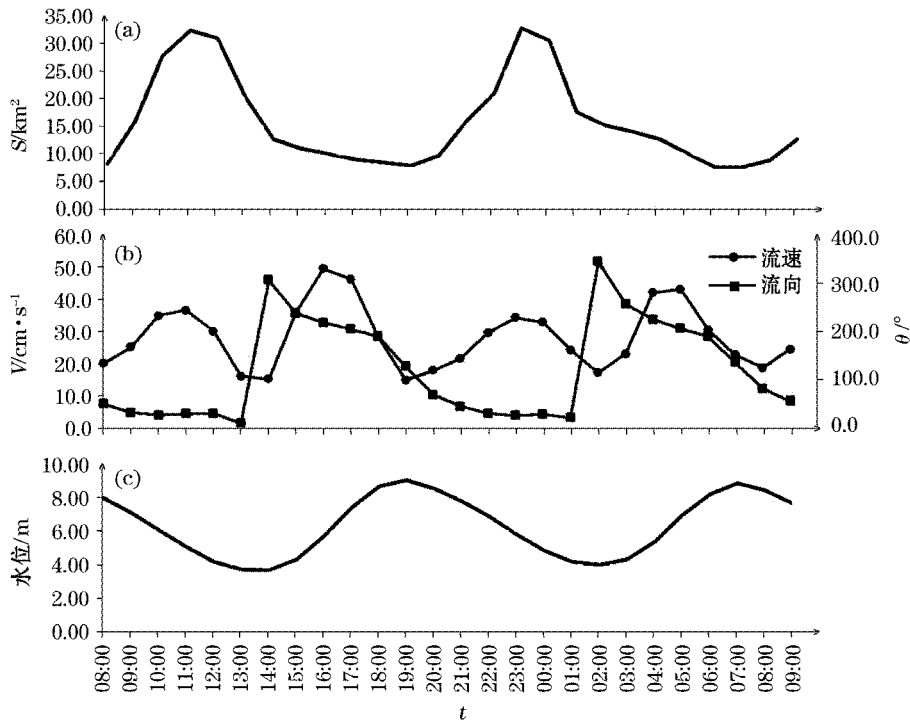


图2 温排水面积(a)、海流(b)及水位(c)逐时变化曲线

Fig. 2 Hourly variation curves of warm water discharge area (a), tidal currents (b) and water level (c)

由图 3 可以看出,在落潮时段,核电温排水在观测海域主要呈 SW—NE 向舌状突起分布,其中落憩时刻影响范围较落急时刻要大。

在涨潮时刻,核电温排水主要呈 NE—SW 向分布,其影响范围较落潮时刻明显减小,其中涨急时刻影响范围略大于涨憩时刻。

如纵观所有逐时温度水平分布图,可发现温排水水平分布范围呈现与潮周期类似的两个周期震荡情况,即在落潮过程中温排水影响范围不断增大,至落憩(低平潮)时最大。并在接下来的涨潮过程中逐渐减小,至涨憩(高平潮)时最小。这是因为在落潮过程中海流方向远离位于田湾最西侧的核电站温排水出口,从而将其排除的温水带向外海,而在涨潮过程中刚好相反。

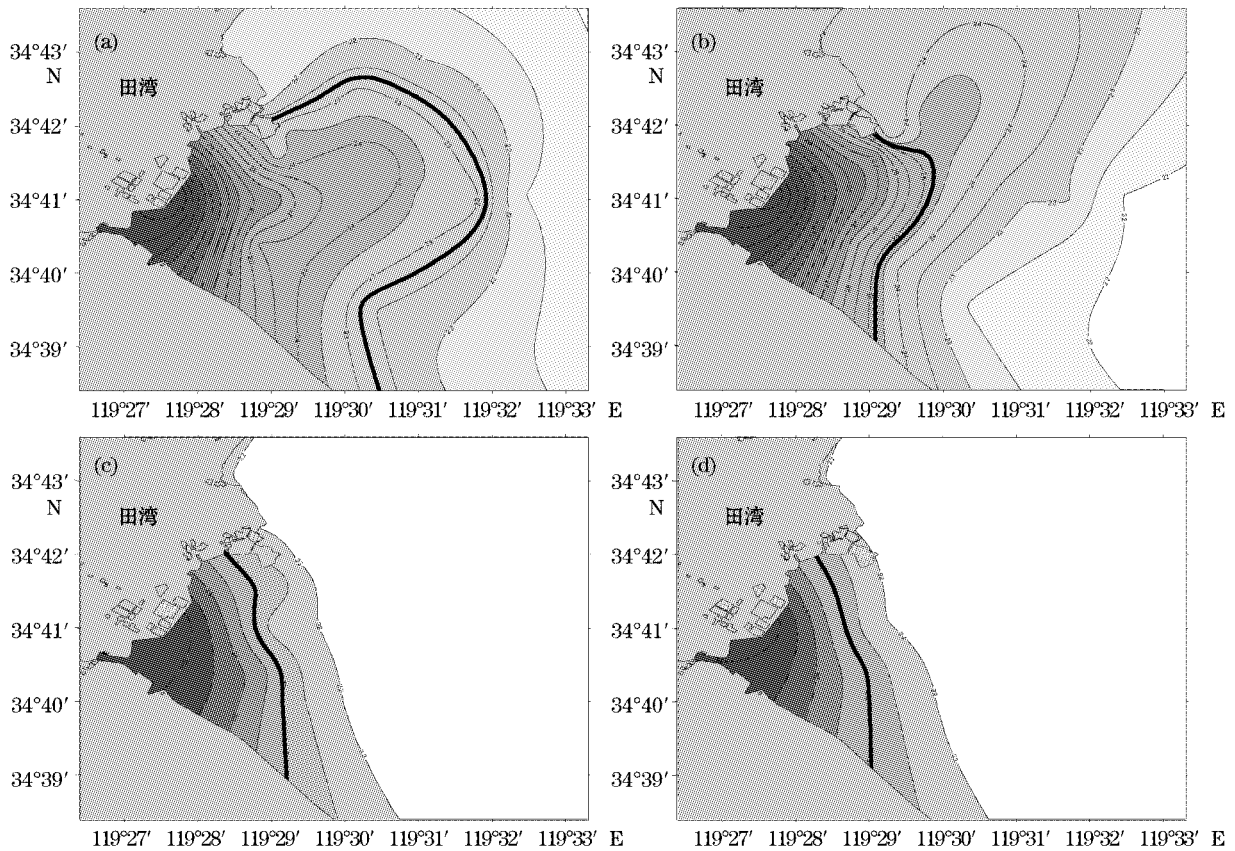


图 3 落急(a)、落憩(b)、涨急(c)和涨憩(d)时刻温度水平分布情况(粗线为 1 °C 温升线)

Fig. 3 Distributions of water temperature at ebb maximum (a), ebb minimum (b), flood maximum (c) and flood minimum (d)

2.1 1 °C 温升范围变化分析

采用上述方法对数据进行处理后,同时可绘制出每小时一次的 1 °C 温升曲线(图 3 中粗线),其定义为比循环冷却水进水口温度高 1 °C 的等温线。

结合高分辨率的岸线数据,可根据 1 °C 温升曲线计算得出受核电温排水影响温升在 1 °C 以上的海域面积(以下简称温排水面积),具体计算方法为将田湾岸线与 1 °C 温升曲线所围起的封闭海域进行高分辨率等比例格点化,再根据每个相同大小网格的实际面积及区域内所包含网格的个数进行累加计算。

由此得到面积数据及与之对应的辅助观测数据见表 1,各要素随时间变化的曲线见图 2。由图 3 结合表 1 数据可以总结得出如下规律:

- 1) 在 11:00 时,落潮流速达到最大,为落急时刻,与之对应的温排水面积为 32.33 km^2 。
- 2) 在 14:00 时,落潮流速达到最小,为落憩时刻,与之对应的温排水面积为 12.64 km^2 。
- 3) 在 16:00 时,涨潮流速达到最大,为涨急时刻,与之对应的温排水面积为 10.03 km^2 。
- 4) 在 19:00 时,涨潮流速达到最小,为涨憩时刻,与之对应的温排水面积为 7.93 km^2 。

以上为针对第一个潮周期的分析,第二个潮周期与之类似,在此不再赘述。

可见,本研究中温排水面积变化趋势与潮汐、潮流直接相关,具体表现为

1) 在落潮开始时,海流流向离岸方向,造成温排水面积增加,特别是在落急时刻,由于落潮流速达到最大,将温水向远离岸边的方向快速输送,使温排水面积达到最大值 32.33 km^2 。在此之后,虽然海流方向仍为离岸方向,但流速逐渐较小,对温水的离岸推动变小,使其离岸运动速度减慢,因此造成温排水面积也随之减小,并在落憩转流时达到落潮阶段的最小值 12.64 km^2 。

2) 在涨潮开始时,海流流向近岸方向,造成温排水面积继续减小,在涨急时刻,涨潮流速达到最大,此时温排水面积为 10.03 km^2 。在此之后出现的情况与落潮时有所区别。虽然涨潮流速开始变小,但因流向继续保持近岸方向,始终与温排水留出方向相反,因而温排水面积继续减小,并在涨憩转流时达到涨潮阶段的最小值为 7.93 km^2 。

3 结 论

通过采用定点连续、多点同步的水温分层现场观测方式,辅以连续高分辨率的气象、水位和海流等现场数据,经连续 26 h 的现场观测研究实验,获取了每小时一次的高分辨率数据,绘制出逐时的 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 温升曲线,经计算得到与之相对应的温升在 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上的海域面积,并据此讨论了影响温排水的主要因子,得到的主要结论如下:

1) 温排水扩散与潮流运动方向密切相关,水平方向温度等值线明显朝向涨、落潮流方向(涨潮流由 NE—SW 方向,落潮流由 SW—NE 方向)倾斜呈舌状突起,由此说明温排水扩散受潮流影响。具体表现为在落潮过程中温排水影响范围不断增大,至落憩(低平潮)时最大;但在接下来的涨潮过程中逐渐减小,至涨憩(高平潮)时最小。

2) 温排水面积变化趋势与涨、落潮流速呈现明显相关关系,其数值大小也与涨落潮过程密切相关。在落急(低平潮)时刻,温排水影响面积达到最大值。在涨憩(高平潮)时刻,温排水影响面积最小。

3) 现场观测期间,田湾海域受核电温排水影响温升在 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上的海域面积最大为 32.33 km^2 ,最小为 7.93 km^2 ,其平均值为 15.73 km^2 。

参考文献(References):

- [1] MIAO Q S, ZHOU L M, DENG Z Q. Numerical simulation and in-situ measurement for heat discharge from Xiangshangang power plant into sea[J]. Coastal Engineering, 2010, 29(4): 1-11. 苗庆生,周良明,邓兆青. 象山港电厂温排水的实测和数值模拟研究[J]. 海岸工程, 2010, 29(4): 1-11.
- [2] ZHOU Q J. A three-dimensional numerical simulation of thermal discharge in DAYA Bay [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2007, (4): 37-46. 周巧菊. 大亚湾海域温排水三维数值模拟[J]. 海洋湖沼通报, 2007, (4): 37-46.
- [3] CAO Y, ZHU J Z. Numerical simulation of 3D cooling water based on FVCOM[J]. Journal of Hydrodynamics, 2009, 24(4): 432-439. 曹颖,朱军政. 基于 FVCOM 模式的温排水三维数值模拟研究[J]. 水动力学研究与进展, 2009, 24(4): 432-439.

Distribution and Variation of Warm Water Discharge in the Coastal Area of Tianwan

WANG Guan-lin^{1,2}, XIONG Xue-jun^{1,2}

(1. *First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*; 2. *Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: The distribution and variation of warm water discharge in the coastal area of Tianwan are studied and hourly 1 °C temperature rise curves are plotted through the observations of water temperature stratification carried out in the sea area near the Tianwan nuclear power station by means of fixed-point continuous and multi-point synchronous observations and by combining with continuous high resolution observations of meteorology, water-level and currents as well. Based on these investigations, the area of waters with temperature increment greater than 1 °C is calculated and the major factors affecting the warm water discharge are discussed. The results show that during the in-situ observations, the area of the warm water discharge tends to correlate directly to the tidal currents. When ebb current reaches its maximum, the area of the warm water discharge reaches a maximum value of 32.33 km², and when flood current goes down to its minimum, the area of the warm water discharge decreases to a minimum value of 7.93 km².

Key words: Tianwan; warm water discharge; water temperature; distribution

Received: February 22, 2012