

# 近30年渤海水文和气象状况的 长期变化及其相互关系\*

方国洪 王凯 郭丰义<sup>1</sup> 魏泽勋 范文静<sup>2</sup>

张冬生<sup>2</sup> 毕家胜<sup>2</sup>

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

<sup>1</sup>(国家海洋信息中心 天津 300171)

**提要** 利用线性回归方法对渤海和北黄海西部沿岸7个海洋站1965—1997年实测海洋表层水温和盐度及地面气温和降水等4个水文气象要素的长期变化趋势作了分析,得出渤海在这32年期间海表温度年变率为 $0.015^{\circ}\text{C}/\text{a}$ ,由此推算得出32年升高 $0.48^{\circ}\text{C}$ ;海表盐度年变率为 $0.042/\text{a}$ ,32年升高1.34;气温年变率为 $0.034^{\circ}\text{C}/\text{a}$ ,32年升高 $1.09^{\circ}\text{C}$ ;降水年变率为 $-2.73\text{mm}/\text{a}$ ,32年减少87mm。这4个要素之间及其与厄尔尼诺指数之间的超前/滞后线性回归分析表明,海温与气温的年际变化相关关系最密切,相关系数达到76.5%,置信度高于0.99。其次是盐度与降水,它们之间亦有良好关系。同年盐度和降水之间的相关系数为 $-43.6\%$ ,盐度落后降水一年时相关系数为 $-39.2\%$ ,置信度均高于0.95。由此可推知,盐度变化平均落后降水约半年。渤海水文气象状况变化与厄尔尼诺有一定关系,其中以降水与厄尔尼诺关系最密切,1982—1983年厄尔尼诺期间渤海气温和水温较高,降水显著偏少且海水盐度显著偏高。

**关键词** 渤海,水温,盐度,气温,降水,长期变化

**中图分类号** P732

渤海是我国一个深入大陆的内海,它与外海之间的海水交换必须首先通过北黄海,然后再通过南黄海进行,因而与外部深海进行水交换十分困难。同时由于渤海周边沿岸是人口密集、工业发达的重要经济区,其环境成为一个非常受关注的问题。这里将根据近30多年渤海海洋站长期连续观测资料,对有关渤海环境的最基本要素,即海水温度、盐度和地面气温及降水在近年来的长期变化趋势提供一种定量估计,同时对这些要素之间的相互关系,特别是大气气候变化对海洋水文状况变化的影响作出估计。

## 1 基本资料

渤海沿岸有鲅鱼圈、葫芦岛、秦皇岛、塘沽和龙口共5个海洋站,同时在靠近渤海的北

\* 中国科学院重点项目, KZ952-J1-405号、中国科学院创新工程项目, KZCX2-202号、国家自然科学基金项目, 40136010号、49876010号和国家重点基础发展规划项目, G1999043808号。方国洪,男,出生于1939年12月,研究员,博士生导师, E-mail: ghfang@ms. qdio. ac. cn

收稿日期: 2001-07 修改稿日期: 2002-04-18

黄海西部有大连和烟台两个海洋站(图 1)。在这些站都有系统连续的多要素海洋水文气象观测资料,这里选择其中与生态环境关系最密切的海水表层温度、表层盐度、地面气温和降水(分别简记为 SST, SSS, SAT 和 PRC) 4 个要素进行分析,时间跨度为 1965—1997 年。其中气象资料比较完整;水文资料因受结冰影响,冬季 SST 和 SSS 观测受到限制,故

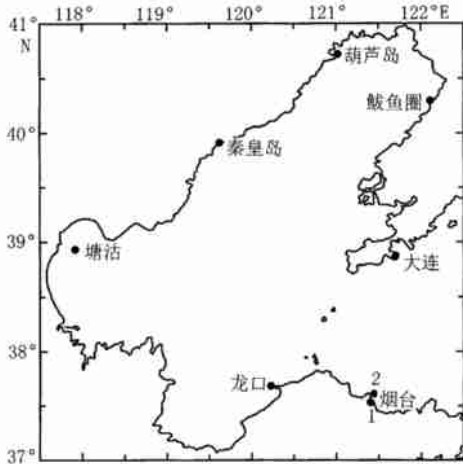


图 1 渤海沿岸海洋站站位图

Fig. 1 Map of coastal oceanic stations of the Bohai Sea

在计算 SST 和 SSS 年均值时只采用历年均无冰冻的月份。例如鲅鱼圈 SST 和 SSS 的年均值是 4—11 月 8 个月月均值的平均值。大连则因基本上无冰冻,故采用全年 12 个月月均值的平均值作为年均值。这样做的结果对于有冰冻的海洋站,所得 SST/SSS 年均值要高于/低于实际年均值,但对研究年际变化特别是长期趋势影响不大。另外,还有一些站资料有缺测的情况,也不能进行统计。特别要提到的是,烟台站自 1981 年起从烟台(37°32'N, 121°24'E)迁至芝罘岛(37°36'N, 121°26'E),气象观测场高度原先是 46.7m,1981 年以后是 74.7m,故 SAT 观测结果有系统变化,给估计 SAT 长期变化趋势带来困难。图 1 中烟台站点 1 和点 2 分别为迁址前后的位置。资料的详细情况见表 1。

表 1 采用的渤海沿岸海洋站观测资料情况

Tab. 1 Information of data at coastal oceanic stations used in the present study

站名	海水表面温度		海水表面盐度		地面气温		降水	
	起止年份	资料情况	起止年份	资料情况	起止年份	资料情况	起止年份	资料情况
鲅鱼圈	1965—1993	缺 12—3 月	1965—1993	缺 12—3 月	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整
葫芦岛	1965—1997	缺 1—3 月	1965—1997	缺 1—3 月	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整
秦皇岛	1965—1997	缺 1—2 月	1965—1997	缺 1—2 月	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整
塘沽	1965—1997	缺 12—4 月	1965—1997	缺 12—3 月	1965—1997	缺 1—4 月	1971—1997	基本完整
龙口	1965—1997	缺 12—2 月	1965—1985	缺 1—2 月	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整
烟台 <sup>1)</sup>	1966—1985	基本完整	1966—1985	基本完整	1966—1997	基本完整	1966—1997	基本完整
	1987—1997		1987—1996					
大连	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整	1965—1997	基本完整

1) 烟台站 1966—1980 年在烟台,1981 年以后迁至芝罘岛

## 2 文气象状况的长期变化趋势

为了估计各水文气象要素的长期变化趋势,对各要素在各海洋站的年均值用如下线性关系进行回归分析:

$$y = y_0 + k(x - x_0) \quad (1)$$

式中  $x$  代表年份,  $y$  代表该年的年均值;  $x_0$  和  $y_0$  分别为  $x$  和  $y$  的平均值;  $k$  代表该要素的

年变率。各要素的年均值及回归直线示于图 2—5, 其中粗线表示 11 年滑动平均值, 显示年代际变化; 烟台站由于观测地点变动, 其趋势项估计值会受到不同程度的影响。由于烟台港没有入海河流, 在海水侧向混合作用下, 不同地点 SST 和 SSS 可能变化不大, 仍将它们作为同一观测点测量结果看待(图 2、3)。气象要素观测高度变化对气温有显著影响, 故在作回归分析时分为两段(图 4)。降水不受观测点高度影响, 仍将其作为同一观测点测量结果看待(图 5)。

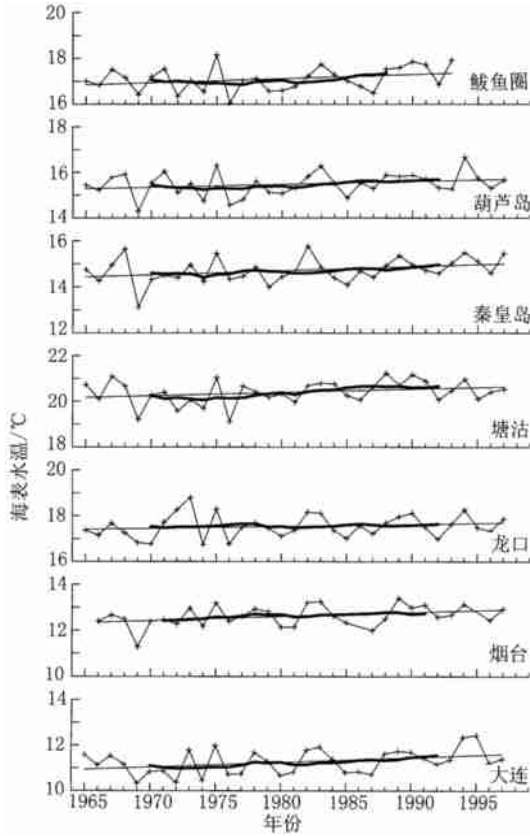


图 2 沿岸海洋站海表水温时间序列图

Fig. 2 Time series of sea surface temperature at the coastal oceanic stations

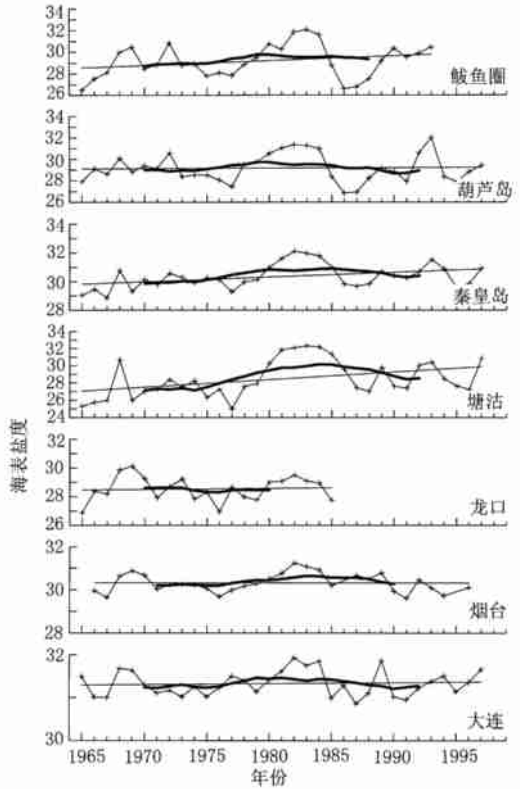


图 3 沿岸海洋站海表盐度时间序列图

Fig. 3 Time series of sea surface salinity at the coastal oceanic stations

表 2 列出多年平均值和年变率的计算结果, 括号的数据表示在计算各站平均值时不予考虑。其中龙口 SSS 年变率不予统计的原因是资料时段显著偏短; 塘沽 SAT 不予统计的原因是由于其余各站均有全年资料, 只有该站 SAT 冬天资料不完整, 在统计年均值时没有考虑 1—4 月值, 所得多年平均 SAT 显著偏高; 而塘沽的降水资料也因时段偏短而不予考虑。烟台站平均 SAT 和年变率取迁站前后两段的平均值。此外, 表 2 中  $k$  值 ± 号后面的数值是回归系数  $k$  值的标准差估计值。由这些数值一方面可看出, 由于时间序列短, 长期趋势的估计值存在相当大的不确定性; 另一方面也可看出, 对绝大多数回归系数,

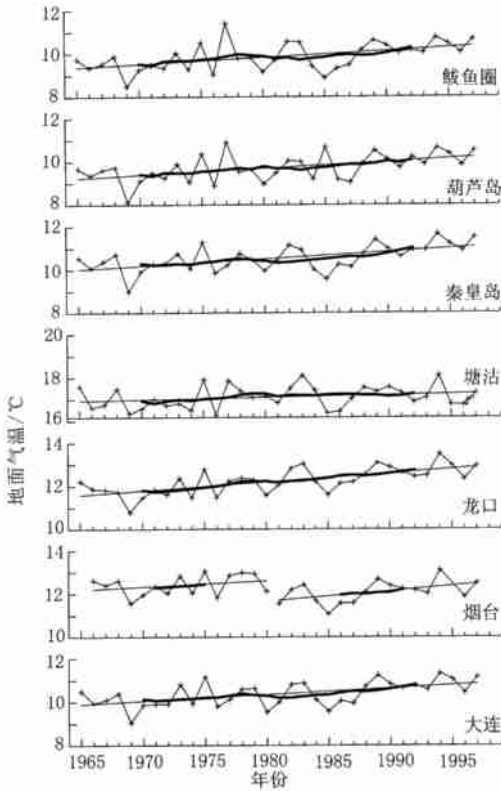


图 4 沿岸海洋站地面温度时间序列图

Fig. 4 Time series of surface air temperature at the coastal oceanic stations

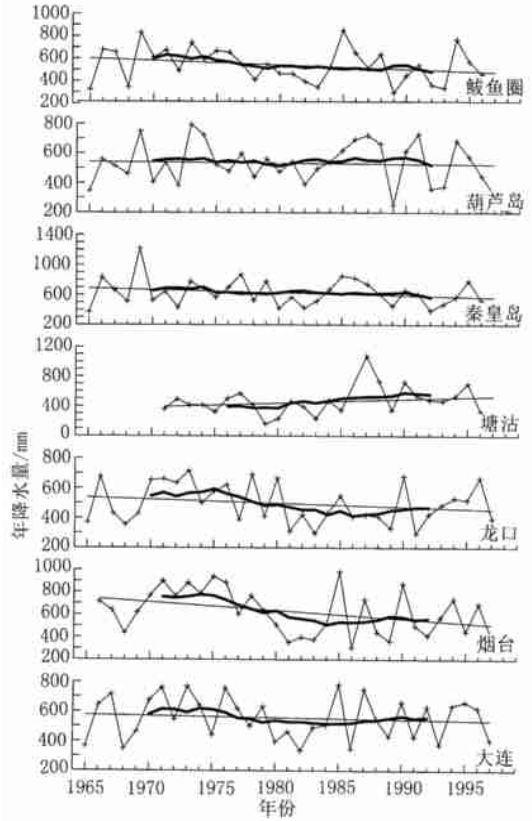


图 5 沿岸海洋站降水时间序列图

Fig. 5 Time series of precipitation at the coastal oceanic stations

其标准差值小于回归系数本身,说明所得变化趋势的特性(即上升或下降特征)是可信的。其中降水年变率的标准差相对较大,这与降水有较大的偶然性有关。但除塘沽外,所有各站降水的  $k$  值均为负,说明降水减少的总趋势是毋庸置疑的。表 2 中对各站数值进行区域性平均时给出两种统计结果:上面一行是渤海内 5 个站的平均值,下一行是全部 7 个站的平均值。由于多数站 SST 和 SSS 缺冰冻月份的观测,故与实际的年平均值相比较,统计得出的多年平均 SST 偏高,多年平均 SSS 偏低,因此表 2 中没有进一步给出多站平均值。

由表 2 可见,渤海 5 个站海表温度平均每年升高  $0.015^{\circ}\text{C}$ ,由此推得 32 年的 SST 总变化为升高  $0.48^{\circ}\text{C}$ ;海表盐度平均每年升高  $0.042$ ,32 年升高  $1.34$ ;地面气温平均每年升高  $0.034^{\circ}\text{C}$ ,32 年升高  $1.09^{\circ}\text{C}$ ;年降水量平均每年减少  $2.73\text{mm}$ ,32 年减少  $87\text{mm}$ 。由此可见在渤海区域近 30 余年的大气增暖现象十分显著。相应地海水也有明显增温,但幅度比大气增温小一半左右,即只有气温增量的  $0.44$  倍。降水减少非常明显,32 年间减少量相当于平均年降水量的  $16\%$ 。渤海盐度的增加也十分明显,其中重要因素之一是降水量的减少,另一个重要原因是江河,特别是黄河径流的减少(李凡等,2001)。但为了判断哪一个因素更重要,还需要获得有关流入渤海各主要河流径流量变化的较确切资料。此外,大气

表 2 各要素的多年平均值  $y_0$  和年变率  $k$ 

Tab. 2 Mean values and annual variations of the parameters

站名	SST		SSS		SAT		PRC	
	$y_0$ (°C)	$k$ (°C/a)	$y_0$ (psu)	$k$ (psu/a)	$y_0$ (°C)	$k$ (°C/a)	$y_0$ (mm)	$k$ (mm/a)
鲅鱼圈	17.1	0.018±0.011	29.2	0.044±0.033	9.9	0.030±0.011	540	-3.87±2.72
葫芦岛	15.5	0.013±0.009	29.2	0.004±0.024	9.7	0.031±0.011	533	-0.59±2.51
秦皇岛	14.7	0.018±0.010	30.3	0.033±0.015	10.5	0.033±0.011	627	-3.86±3.27
塘沽	20.4	0.015±0.009	28.5	0.088±0.038	(17.1)	(0.011)	(459)	(5.17)
龙口	17.5	0.009±0.009	28.6	(0.008)	12.2	0.040±0.011	496	-2.58±2.39
烟台	12.6	0.018±0.009	30.3	0.000±0.009	12.2	0.038±0.010	624	-7.50±3.72
大连	11.3	0.021±0.010	31.3	0.002±0.005	10.4	0.030±0.010	557	-1.24±2.56
平均值(1)		0.015		0.042	10.6	0.034	549	-2.73
平均值(2)		0.016		0.034	10.8	0.034	563	-3.27

和海洋物理状况的变化还可能带来蒸发量的显著变化,而蒸发量的估计还是一个十分困难的问题。

由上可见,近 30 多年渤海大气和海洋的长期变化相当大,这是十分值得注意的。但另一方面也应指出,这样大的年变率与所用资料的时段也有关系。因为我国海洋站的设立大都始于 60 年代中期,这里所用的资料也始于这一时期。这个时期正好处于北半球,包括我国华北地区气温偏低的时期(李先让, 1992; 阎俊岳等, 1993; 施能等, 1995)。华北气温在 40 年代要比 60 年代高 0.5°C 左右。如果渤海情况也是如此的话,则 90 年代比 40 年代暖期的气温大约高 0.6°C,长期趋势的年变率大约为 0.01°C/a。

### 3 各要素之间的相关关系

前面已经提到,海水温度的长期变化趋势与大气温度一致,都具有增暖趋势,但水温的年变率只有气温年变率的 0.44 倍。盐度的增高趋势亦与降水的减少趋势相对应。为了了解各要素年际变化间的关系,下面进一步对各要素年均值的时间序列进行相关分析,同时为了研究渤海水文气象要素年际变化与厄尔尼诺事件的关系,采用 NINO3 指数的年均值(记作 N13)代表各年厄尔尼诺强度,其变化过程见图 6。

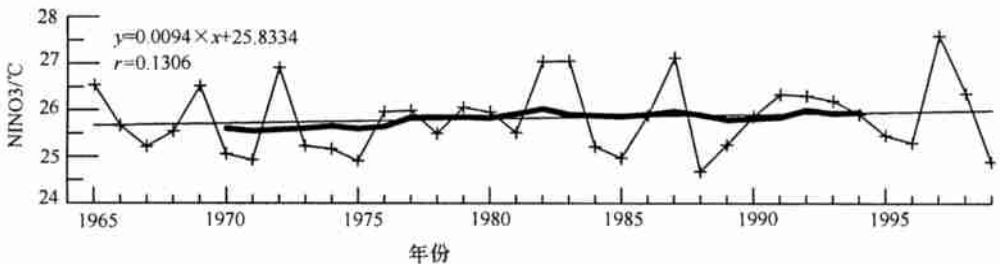


图 6 年均厄尔尼诺指数(NINO3)时间序列图

Fig. 6 Time series of the annual mean NINO3 index

计算中在年均海表水温(*SST*)、海表盐度(*SSS*)、地面气温(*SAT*)、年降水量(*PRC*)和 NINO3 指数(NI3)中任取两个要素,记为  $x_m$  和  $y_m$ ,然后对  $x_m$  和  $y_{m-l}$  作相关分析,其中  $l = -2, -1, 0, 1, 2$  代表时间滞后(负值代表超前)年数,计算出相关系数  $r$ :

$$r = \left[ \frac{\sum (x_m - \bar{x}_m)(y_{m-l} - \bar{y}_{m-l})}{\left[ \sum (x_m - \bar{x}_m)^2 \cdot \sum (y_{m-l} - \bar{y}_{m-l})^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (2)$$

其中  $\sum$  表示对  $x_m$  和  $y_{m-l}$  均有数据的资料求和,  $\bar{x}_m$  和  $\bar{y}_{m-l}$  是这些数据的平均值,所得结果见表3。该表给出了各海洋站及各站平均值结果。每个站上半部分是  $r$  值,下半部分是所用资料的个数  $n$ 。

从表3可以看到相关关系最密切的是海表温度 *SST* 与地面气温 *SAT*,其中秦皇岛和大连高达 86.6%,7个站平均为 76.5%,时滞  $l = 0$ ;其次是 *SSS* 和 *PRC*,其相关性亦甚好,且均系负相关,即降水偏少时盐度偏高,其中最高的是大连,达到 -61.6%,时滞  $l = 0$ 。从7个海洋站来看,时滞为 0 和 -1 的相关系数都比较高。其中3个站即葫芦岛、秦皇岛和大连以  $l = 0$  时为最高,分别为 -53.5%, -44.5% 和 -61.6%。其余4个站,即鲅鱼圈、塘沽、龙口和烟台以  $l = -1$  时为最高,分别为 -52.7%, -40.4%, -44.2% 和 -58.5%。从站数来看,以  $l = -1$  时  $|r|$  达最高的居多,但从7个站的平均值来看,则以  $l = 0$  的  $|r|$  值(43.6%)略高于  $l = -1$  的  $|r|$  值(39.2%)。由此看来,盐度对降水的响应具有一定的时滞,时滞值大约在半年左右。

以上相关系数的置信度绝大多数高于 0.99(即置信水平  $\alpha = 0.01$ ),个别的低于 0.99,但仍高于 0.95(即  $\alpha = 0.05$ )(章景德等,1995),因此它们之间的关系是密切的。除了以上海洋与大气参数的密切相关关系外,其他要素之间相关性较差,均达不到 0.95 置信度,因此它们之间关系仅有参考意义。在大气两个要素,即气温 *SAT* 和降水 *PRC* 之间有一定相关性,如7个站平均值当  $l = 0$  时,  $r = -26.8\%$ ,呈负相关,即气温偏高时降水偏少,反映了华北“干暖”特性(施能等,1995)。由于 *SST* 又与 *SAT* 密切相关,故它与 *PRC* 也有一定相关性(平均 -13.8%);同样由于 *SSS* 与 *PRC* 密切相关,它与 *SAT* 也有一定相关性(平均为 -26.8%)。这些相关性可认为是间接的作用。

厄尔尼诺与渤海水文气象要素的关系总的水平不高,其中以降水最为密切,最大为 25.3%,呈负相关,且  $l = 0$ 。值得注意的是,当  $l = 1$  时 *PRC* 与 NI3 相关性( $r = -24.8\%$ )与  $l = 0$  时相差不大。这似乎表明,渤海区干旱发生时间平均要比厄尔尼诺出现时间超前半年。由于 *PRC* 与 NI3 有一定相关性,又造成 *SSS* 与 NI3 的相关,当  $l = 0$  时  $r = 23.2\%$ ,呈正相关。但  $l = -1$  时  $r$  也不小,为 21.8%。似乎海水盐度变化要落后于厄尔尼诺半年。这显然与前面提到的盐度变化落后于降水变化有关。不过三者时滞大小关系对应得不十分准确,这可能与统计结果的不确定性有关。*SAT* 与 NI3 有一定相关性,但平均而言已是比较低了(当  $l = 1$  时平均为 17.5%)。比较图2—5和图6,可见渤海水文气象要素与厄尔尼诺之间并不总是有很好对应关系,但是 1982—1983 的厄尔尼诺期间,明显对应着高气温、高水温、干旱和高盐度的时期。

#### 4 结语

近30多年来渤海区的水文气象条件有明显的长期变化,即气温升高,降水减少,水温升高且盐度升高,变化的幅度相当大,对生态环境可能有显著影响(王正方等,2001),这是

表3 各要素之间的超前/滞后相关分析结果

Tab.3 Results of correlation analysis between the parameters

站 位	超前/滞 后天数	l = -2			l = -1			l = 0			l = 1			l = 2			
		SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	
鲅鱼圈	r	-109	161	125	299	0											
	(%)	SAT 136	184	582	-139	141	-218										
		PRC -72	-320	42	-256	-527	-141	-228	-350	-416	48	-359	171	169	-27		
		N/3 175	150	-72	194	214	135	62	-290	295	147	-414	201	94	185	-265	43
	n	SSS 27	28	29	28	29	29	28	29	29	29	29	27	29	29	29	29
		SAT 27	27	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
葫芦岛	r	SSS 55	158	81	86	-73											
	(%)	SAT -100	-184	30	14	490	-44	-109	88	276	-31						
		PRC 41	30	121	-78	-272	-91	-120	-535	-218	61	-43	59	233	175		
		N/3 114	236	180	167	268	8	238	-110	193	-59	-207	187	128	215	-270	-78
	n	SSS 31	32	33	32	33	33	32	33	33	33	33	32	33	33	33	31
		SAT 31	31	32	32	32	32	33	33	33	33	33	32	32	32	31	31
秦皇岛	r	SSS 37	-11	345	78	3											
	(%)	SAT 35	92	866	294	-8	7	132	14	144	-41	45	-17	-43			
		PRC -37	-150	16	-97	-377	-234	-611	-445	-594	202	312	-271	-61	-37		
		N/3 86	219	81	-190	-41	232	16	35	224	116	-181	330	202	312	-271	-70
	n	SSS 31	32	33	32	33	33	33	33	33	33	33	32	33	33	31	31
		SAT 31	31	32	32	32	32	33	33	33	33	33	32	32	32	31	31
	PRC 31	31	32	32	32	32	33	33	33	33	33	32	32	32	31	31	
	N/3 33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	

续表

站 位	超前/滞 后天数	l = -2			l = -1			l = 0			l = 1			l = 2				
		SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC	SSS	SAT	PRC		
塘沽	r	SSS	124		78		29		285		-34							
	(%)	SAT	139	71	-201	194	765	107	-34	141								
		PRC	157	-54	115	-404	150	386	-404	150	386	-404	150	386	-404	150	386	
	n	N/3	128	354	-29	-287	231	122	223	169	-112	214	167	48	77	258	5	-348
		SSS	31		32		33		32		31							
		SAT	31	31	32	32	33	33	32	32	31	31	31	31	31	31	31	
		PRC	24	24	24	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
		N/3	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
		r	SSS	52		-156		165		-158		39						
	(%)	SAT	-54	68		-22	-321		660	-53		104	-167					
龙口	r	SSS	124	150	-84	109	-442	109	70	-189	-233							
	(%)	PRC	124	150	-84	109	-442	109	70	-189	-233							
	n	N/3	-160	-298	65	-211	67	436	174	0	106	178	160	-342	116	-56	186	
		SSS	21		21		21		21		20							
		SAT	31	19	31	20	32	20	33	21	32	21	32	21	31	21	31	
		PRC	31	19	31	20	32	20	33	21	33	21	33	21	32	21	32	
		N/3	33	21	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
		r	SSS	264		-3		-117		-177		39						
	(%)	SAT	56	-223		123	-182		844	-147		117	-209					
		PRC	-211	-113	-71	-4	-585	-100	-148	-559	-207	-22	87	-88				
烟台	r	SSS	99	148	-19	-105	47	238	166	-183	17	253	112	-336	249	-96	144	
	(%)	N/3	99	148	-19	-105	47	238	166	-183	17	253	112	-336	249	-96	144	
	n	SSS	26		27		27		29		26							
		SAT	27	27	27	28	27	28	27	28	28	28	28	28	28	28	28	
		PRC	28	27	29	28	30	29	31	31	29	29	30	30	31	31	31	
		N/3	30	29	31	32	30	29	31	32	30	29	31	32	30	29	31	
		r	SSS	264		-3		-117		-177		39						
	(%)	SAT	56	-223		123	-182		844	-147		117	-209					
		PRC	-211	-113	-71	-4	-585	-100	-148	-559	-207	-22	87	-88				
		N/3	99	148	-19	-105	47	238	166	-183	17	253	112	-336	249	-96	144	



续表

站 位	超前/滞 后天数	l = -2			l = -1			l = 0			l = 1			l = 2		
		SST	SAT	PRC	SST	SAT	PRC	SST	SAT	PRC	SST	SAT	PRC	SST	SAT	PRC
大连	r	-28			173			97			97			22		
	(%) SAT	155	-26		287	48		866	137		103	-50		39	-226	
	PRC	-89	-38	114	-112	-138	31	-106	-616	-200	78	90	38	-184	75	-94
	N/3	162	290	72	1	259	19	98	121	268	73	-343	182	61	-190	-78
	n	31			32			33			32			31		
平均	r	56			57			103			72			-34		
	(%) SAT	52	-2		64	48		724	54		24	-27		43	-71	
	PRC	-12	-70	36	-7	-392	-70	-138	-436	-268	30	53	-89	0	115	-89
	N/3	86	157	39	-157	132	218	117	63	232	102	-253	173	99	175	-248
	n	28			29			30			28			28		
大连	SAT	29	28		30	29		32	30		31	29		30	28	
	PRC	29	27	29	30	28	30	31	29	31	30	28	30	29	28	30
	N/3	32	30	32	31	32	30	32	30	32	31	32	30	32	30	32

值得十分注意的现象。

海洋水文状况和大气气候状况年际变化的关系,特别是水温和气温,盐度和降水的关系十分密切,说明气候变化对渤海海洋水文状况有重大影响。就水温和气温的长期变化而言,水温的年变率明显低于气温的年变率。

作者在研究中仅采用了海洋站资料。这些资料具有时段长、连续性好的优点,但水文观测太靠近海岸,受到陆地及陆源入海物质较大影响,不能准确反映整个海区的状况。今后进一步采用海洋调查资料进行分析是十分有意义的。此外,由于我国海洋站均设立于1965年左右,到目前为止,仅积累了30多年资料,故统计结果仅反映近30余年的情况,与更长期(例如100年)变化趋势可能存在较大差异。

### 参 考 文 献

- 王正方,张庆,吕海燕,2001. 温度、盐度、光照强度和pH对海洋原甲藻增长的效应. 海洋与湖沼,32(1):15-18
- 李凡,张秀荣,2001. 黄河入海水、沙通量变化对河口及邻近海域环境资源可持续利用的影响I. 黄河入海流量锐减和断流的成因及发展趋势. 海洋科学集刊,43:51-59
- 李克让,1992. 中国气候变化及其影响. 北京:海洋出版社,1-450
- 施能,陈家其,屠其璞,1995. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征. 气象学报,53(4):431-439
- 阎俊岳,陈乾金,张秀芝,黄爱芬,1993. 中国近海气候. 北京:科学出版社,1-600
- 章景德,高富荣,郑祖光,1995. 气象统计预报基础. 北京:气象出版社,1-584

## LONG-TERM CHANGES AND INTERRELATIONS OF ANNUAL VARIATIONS OF THE HYDROGRAPHICAL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS OF THE BOHAI SEA DURING RECENT 30 YEARS

FANG Guo-Hong, WANG Kai, GUO Feng-Yi, WEI Ze-Xun

FAN Wen-Jing, ZHANG Dong-Sheng, BI Jia-Sheng

(Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

(National Center for Marine Information, Tianjin, 300171)

**Abstract** The annual mean sea surface temperature (*SST*), sea surface salinity (*SSS*), surface air temperature (*SAT*) and the annual precipitation (*PRC*) observed during 1965-1997 at seven coastal oceanic stations along the coast of the Bohai Sea and western North Yellow Sea are analyzed. Trend analysis shows that during this 32-year period the annual rates of change of *SST*, *SSS*, *SAT* and *PRC* are 0.015 °C/a, 0.042/a, 0.034 °C/a and -2.73 mm/a respectively. Correspondingly, during this period *SST*, *SSS* and *SAT* increased by 0.48 °C, 1.34 and 1.09 °C, respectively, and *PRC* decreased by 87mm.

The time series of *SST*, *SSS*, *SAT*, *PRC* and the annual mean NINO3 *SST* index (NI3) are employed to perform regression analysis between the parameters. The correlation between *SST* and *SAT* is the highest. The mean correlation coefficient of the studied coastal oceanic stations is  $r = 76.5\%$  with time lag  $l = 0a$ . The next highest correlation

is between *SSS* and *PRC*, with the correlation coefficients being  $r = -43.6\%$  for  $l = 0a$  and  $r = -39.2\%$  for  $l = 1a$ . This indicates that the variation of *SSS* lags *PRC* by about 0.5a.

Generally, correlation between the parameters of the Bohai Sea and the NI3 index is not high. The highest correlation coefficient is that between *PRC* and NI3, reaching  $-25.3\%$  for  $l = 0a$  and  $-24.8\%$  for  $l = 1a$ . This appears to indicate that the low *PRC* leads high NI3 *SST* by about 0.5a. The relationship between *PRC* and NI3 further results in a certain degree of correlation between *SSS* and NI3:  $r = 23.2\%$  for  $l = 0a$  and  $r = 21.8\%$  for  $l = -1a$ . In general, the variations of the parameters of the Bohai Sea and the El Nino events do not always have a close relation; however, during the El Nino period of 1982—1983, the Bohai Sea area was characterized by high air temperature, high sea water temperature, drought, and high salinity.

**Key words** Bohai Sea, Sea surface temperature, Sea surface salinity, Surface air temperature, Precipitation, Long-term changes