

烟台市城市污水排海工程予可行性研究

分报告之七

烟台市城市污水尾水排海管 稀释扩散能力研究

国家环保局 环境科学技术研究所
同济大学

一九八七年八月

总课题负责人：顾国维、孙茂智

分课题负责人：韦鹤平

参加工作人员：顾国维、蔡不忒、邢 彪、张建华、周善生

毛善培、袁根生、陈若曦、张东山、刘锦珠

李贵义、浦建龙、徐 亮、吴小龙、余宗莲

吉 宏、俞悦平、孙 蓓、曹瑞玉、沈燕云

徐威毅、何小娟

协 作 单 位：国家海洋局北海分局烟台中心海洋站

山东海洋学院环保中心

烟台市环保局

农牧渔业部黄渤海渔政分局中国渔政 1 2 号

协 作 人 员：张瑞安、董以芝、奚盘根、孙英兰、刘远良

高占君

分报告执笔：韦鹤平

目 录

第一章	引言	1
第二章	自然环境概况	5
	§2.1 气象	5
	§2.2 水文	8
	§2.3 盐度	11
	§2.4 潮汐	12
	§2.5 海流	12
第三章	1986年芝罘岛北部水域现场测试	16
	§3.1 概述	16
	§3.2 测试水域海流	17
	§3.3 测试水域潮汐	17
	§3.4 测试水域水温	18
	§3.5 测试水域盐度	19
第四章	芝罘岛北部水域稀释扩散现场模拟试验	25
第五章	近区稀释混合	29
	§5.1 概述	29
	§5.2 喷口间距	29
	§5.3 排放管直径	30
	§5.4 起始稀释	34
	§5.5 环境水流的影响	40
第六章	远区扩散	46
第七章	拉格朗日余流和污染云传输	55
	§7.1 潮流方程	55
	§7.2 欧拉余流	57
	§7.3 拉格朗日余流	57

§7.4	污染云的传输轨迹.....	59
§7.5	水质预测.....	59
第八章	排放口位置选择的系统分析.....	61
第九章	海洋排放管的水力计算.....	70
附 录		76
参考资料		151

第一章 引言

滨海工业城市设施目前普遍将污水向海洋排放。通常的做法是建造一条沿海底铺设的管道，在出口处设有扩散器以产生较大的初始稀释。向海洋排污所造成的环境污染是当前国内外所共同关心的问题。如对污水经过一定程度的处理后排放，不在排放形式上作适当考虑，则不仅投资大，而且环境效益也不一定理想；如对污水既不作必要的处理，又不考虑适当的排放形式，虽费用可大为降低，但环境效益将变差。充分利用海洋可能提供的巨大稀释能力，在满足一定的水环境质量要求下，使处理污染费用降低，则是我们所力争的目标。

烟台近海位于黄海北部山东半岛北岸，海域开阔水深；曲折的基岩海岸，岸线稳定，地质好，海底滩面坡度较大，无淤积之患，且常年不冻。

烟台市是我国海滨风景游览地、十四个对外开放城市之一。烟台市地处东经 $119^{\circ}30'$ — $122^{\circ}42'$ ，北纬 $36^{\circ}16'$ — $38^{\circ}24'$ 之间，东、南、北三面环海，见图(1-1)环境优美，气候宜人，物产丰富。近年来由于市区工业和旅游事业发展，人口增加，工业废水和生活污水迅速增加，目前已达近25万吨/日，据预测到2000将达38.4万吨/日。由于基础设施条件较薄弱，工业废水和生活污水大多数未经处理就近排入芝罘湾内，使芝罘湾遭到比较严重的污染。据《芝罘湾水环境质量现状调查报告》(根据1985年5月22日和7月27日两期监测数据)其结论是：1. 芝罘湾水质污染，按污染面划分，具次序为石油污染>有机污染(主要是COD)>有毒物质污染。底质属未污染级；2. 就污染物的区域分布而言，有较强的规律性：污染最严重的区域均在沿岸和港内，并且河口区更明显(见表1-1)；3. 芝罘湾污染物质主要通过三种途径进入该湾：工业废水、生活废水和港区内的船只及港区作业。由于市区污水未经处理排入河道，至使市区内几条排污河道全部黑臭。

根据烟台市城市总体规划，确定烟台市城市性质为：以轻工业为主的海港旅游城市。为了取得良好的经济效益、社会效益和环境效益，降低污水处理投资费用、节约城建投资和运行费用，充分利用烟台市三面临海得天独厚的地理条件，合理利用海洋大水体的自净能力，烟台市规划了城市污水排海工程。该项工程将芝罘区、福山区、开发区的工业废水和生活污水截流汇截到西沙旺污水处理厂，除去漂浮物和浮油后，经过两级泵房加压，由十三公里长的转输管道输送出芝罘岛以北海域，(见图1-2)通过一条沿海底铺设的管道，经设在出口处的扩散器以浮射流形式排入海洋。

污水排入芝罘岛以北黄海海域，保证排放后排入海域的水质目标，因此要合理的利用自净能力。合理利用海洋的自净能力，必须研究海域的环境容量。环境容量的宏观定义，是在短时间内某一特定水体接受某种污染物质的最大负荷量，此时必须达到国家的

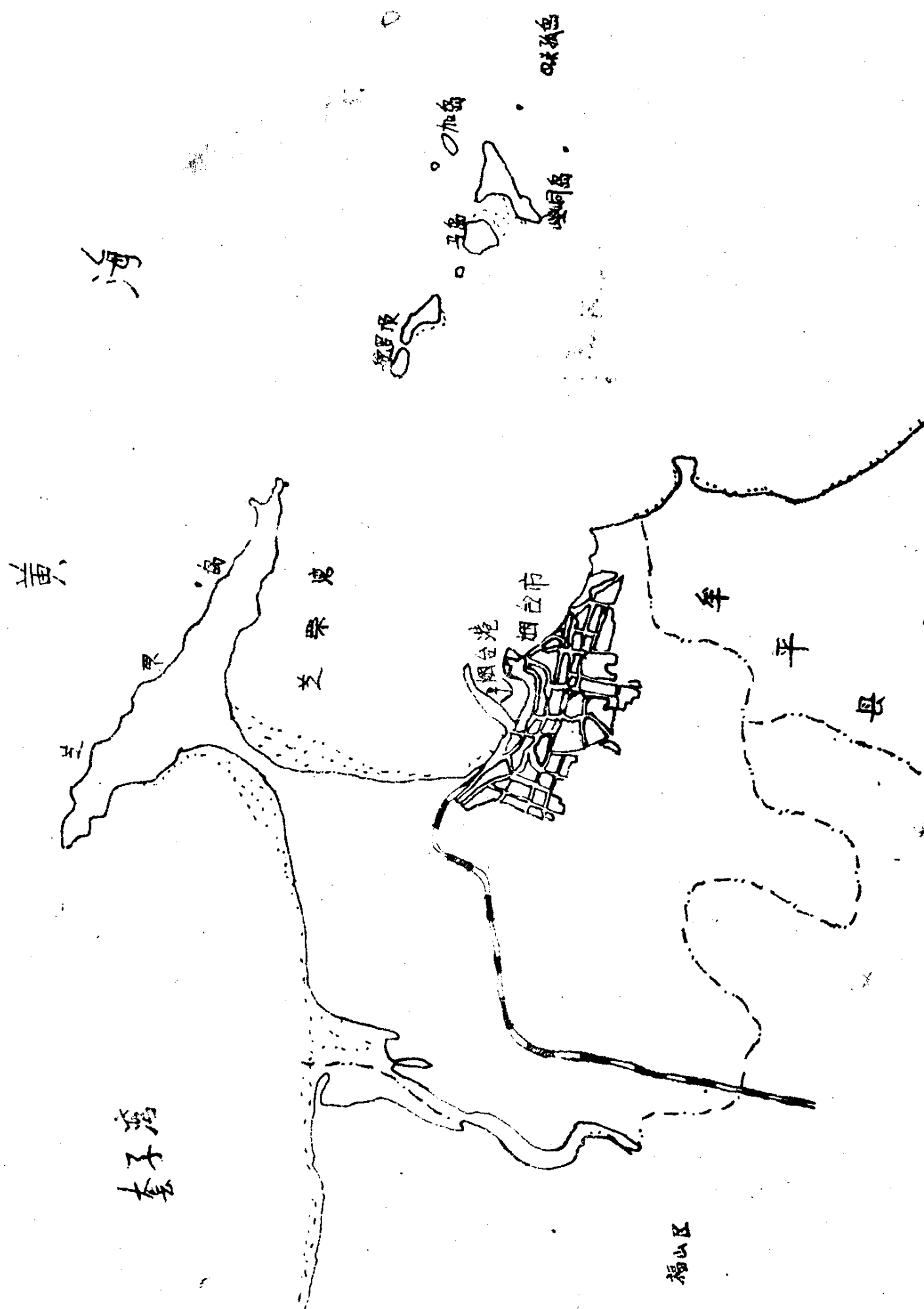


图 1-1

表 1-1

芝罘湾污染状况

污 染 类 型	污 染 等 级	占评价面积的百分比
有 机 污 染(水质)	水质良好	45
	水质一般	40
	开始受到污染	7
	中等污染	2
	严重污染	6
石 油 污 染(水质)	水质良好	65
	轻污染	16
	中污染	9
	重污染	10
水 质 有 毒 污 染	未污染	98
	中污染	2
底 质 有 毒 污 染	未污染	86
	轻污染	14

海水水质标准, 不危害海水的环境质量。

海洋的自净能力研究是很复杂的, 而稀释扩散作用是海洋的重要而迅速的自净过程之一: 海水的扩散能力与湍流扩散有关, 由于流场中湍流扩散过程及其影响因素的复杂性, 因此, 许多研究结果带有某种局限性。目前利用大型水工模型实验来重现实际的海洋扩散过程尚有一定的困难。因此, 许多国家通常利用示踪剂在近海现场进行小尺度试验, 了解扩散的全过程, 并由此研究其时空变化的规律性。课题组曾在1985年7月19日至7月27日(7月27日因台风过境, 停止作业返航); 8月21日至8月22日; 9月21日在杭州湾北岸中港金汇塘海域用罗丹明B三次做了现场稀释扩散试验。

1986年8月6日至8月14日; 10月7日至8日; 10月13日在烟台市政府亲切关怀下, 我们和烟台市环保局北海分局烟台中心海洋站, 以及农牧渔业部黄渤海区渔政分局中国渔政12号船, 山东海洋水产研究所水文组等单位密切配合, 在芝罘岛外海域进行了罗丹明B的稀释扩散试验和海流、潮汐、温度、盐度、气象等测定(其中10月份仅进行了后者的测定)。

在进行现场调查和研究过程中, 烟台市建委和城建局从物质等方面给予支持, 国家

烟台市城市污水排海工程陆上转输管示意图

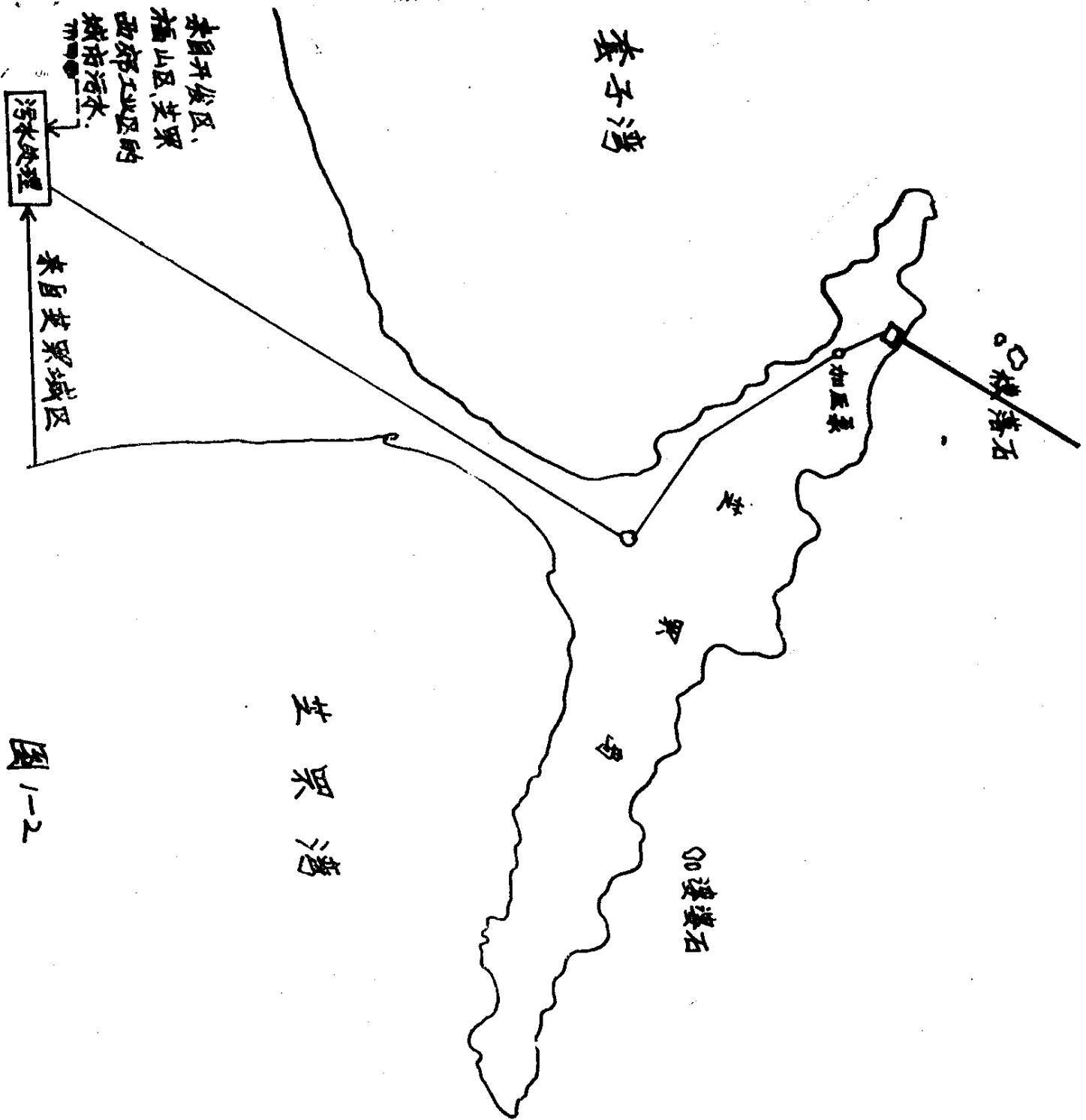


图 1-2

00 落石

海洋局第一海洋研究所港湾室承担了部分工作。在此表示衷心的感谢。报告中有关“场”部分引用了山东海洋学院环保中心某些结果，谨此说明。

第二章 自然环境概况

※2. 1 气 象

气象要素的统计及其分析，对排放口的选址、规划、设计和施工都有重要意义。这里我们采用了国家海洋局芝罘岛海洋站1981—1985年和烟台市气象台1960至1979年有关气温、降水、风等气象资料。

①. 气温

烟台市位于东亚季风区，气温四季变化较为明显。据计算，烟台的大陆度为53.5%大于50%，称为大陆性气候，但大陆度仅仅反映某地区全年气候的一般特点。根据烟台气候逐月分析可知，10月至次年5月主要受来自亚州大陆冬季风影响，大陆性气候明显；6月至9月主要受来自海洋夏季风影响，海洋性气候明显。

烟台市气候接近海洋性气候，四季变化和季风进退都较明显，与同纬度的岳内相比，具有雨水丰富，年温适中，气候温和的特点。由于三面环海，受海洋影响较大。所以，升温降温都比较缓和。年平均气温12.5℃，历年平均最高气温为8月份25℃最低为1月份-1.5℃。

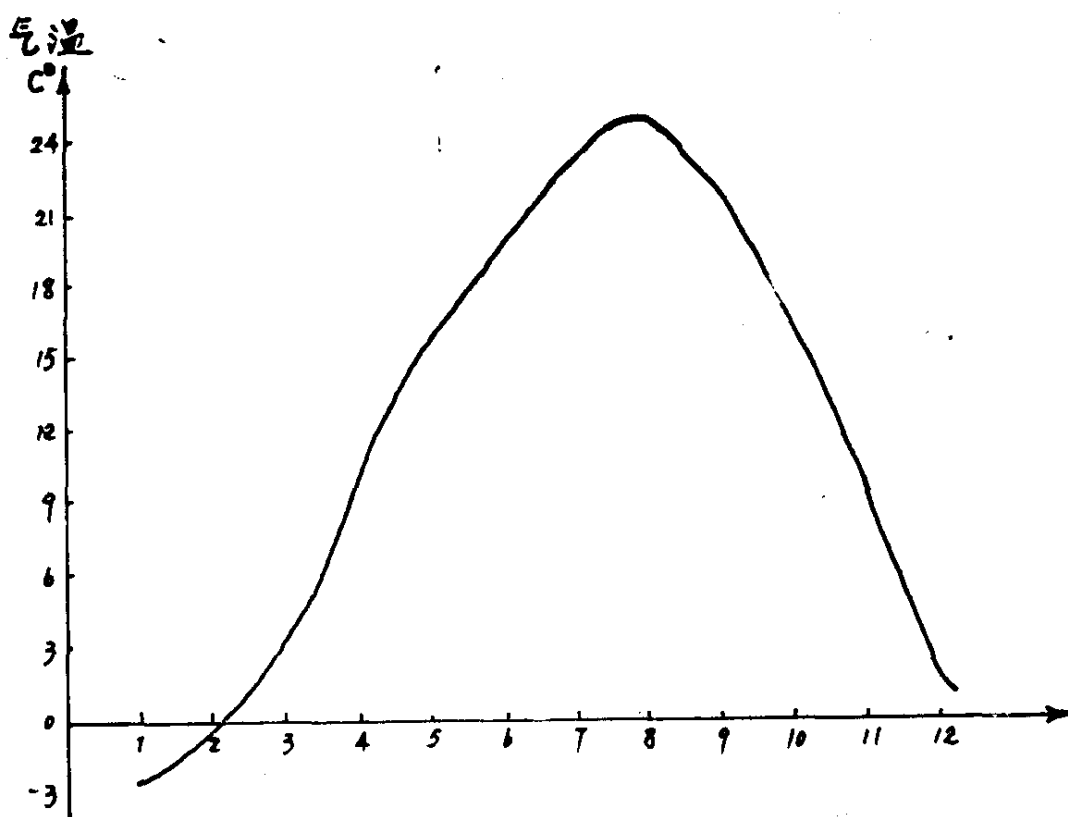


图 2-1

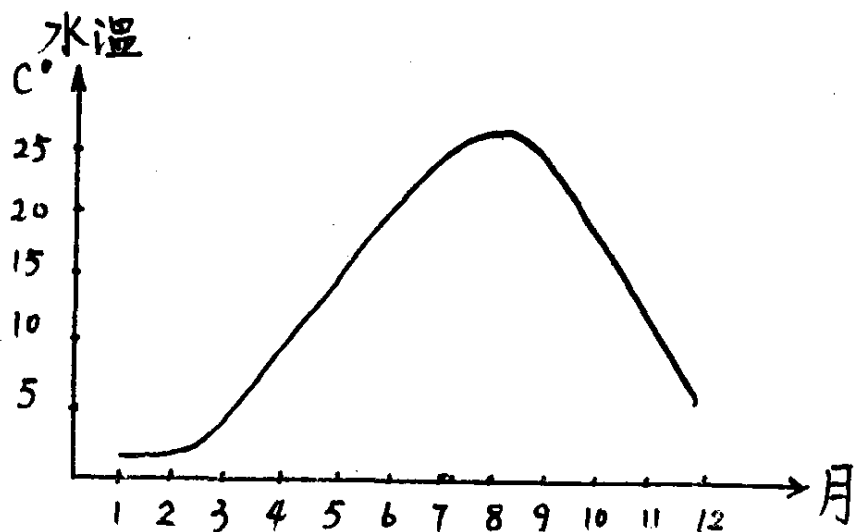


图 2-2 烟台水温月变化

根据1981年—1985年资料，本地全区年各月平均气温见图2-1。极端最高气温出现在8月份，为35.4℃（出现在1983年8月3日）；极端最低气温出现在2月份，为-13.1℃（出现在1981年2月6日）。年极端最高气温的年际变化较小，不超过2℃；极端最低气温年际变化较大，但最大也不超过4℃。

附近海域的表层水温，冬季因受东流的低温渤莱沿岸水的控制，水温在1℃左右；春季为13℃—14℃；夏季为24—27℃；秋季为12—14℃。水温月变化曲线见图2-2。

② 降水

选用烟台气象站1960—1980年资料进行统计，烟台年平均降水量为737.9 mm，其各月的平均降水量见表2—1

表2—1 烟台月平均降水量表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均降水量 (mm)	10.5	13.0	17.2	44.3	44.9	68.4	188.9	176.6	85.3	44.2	30.5	16.3

降水量的年际变化较大，根据1981—1985年资料分析，（见表2—2）1985年年降水量983.4mm，而1981年年降水量仅353.9mm。其各年降水量分布见图2—3。各月降水量年际变化也较大，例如1985年8月降水量为285.4mm，而1983年降水量仅有34.0mm，前者为后者的8.4倍。

表2—2 历年各月降水量

单位，mm

量 月 年 值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年 降 水 量
1981	14.8	9.5	23.7	17.4	13.3	40.5	103.0	72.9	7.8	32.6	13.8	4.6	353.9
1982	9.9	1.4	3.8	4.4	17.9	82.3	35.7	154.0	4.8	11.2	54.3	18.7	398.4
1983	5.6	7.7	24.7	24.3	33.5	20.3	104.0	34.0	81.7	19.5	12.1	19.7	376.6
1984	5.6	7.0	8.5	12.7	36.3	84.1	176.7	114.0	67.9	5.1	12.3	26.9	557.1
1985	5.4	2.3	9.4	30.9	126.7	27.9	272.4	285.4	133.7	17.5	20.2	51.6	983.4
平均	8.3	5.6	14.0	17.9	45.5	51.0	138.4	132.1	59.2	17.2	22.5	22.3	533.9
月、年百分比%	1.6	1.0	2.6	3.4	8.5	9.6	25.6	24.7	11.1	3.2	4.2	4.2	—
最大	14.8	9.5	24.7	30.9	126.7	84.1	272.4	285.4	133.7	32.6	54.3	51.6	983.4
最小	5.4	1.4	3.8	4.4	13.3	20.3	35.7	34.0	4.8	5.1	12.3	4.6	353.6

③ 风

全年最多风向为SSE，频率为11%；其次为NNW和W向风，频率为9%。夏季盛行SSE向风，冬季盛行W向风。累年年平均风速为5.6 m/S；累年各月平均风速，冬季最大，其中尤以12月份平均风速最大，达6.7 m/S；夏季和秋初最小，其中尤以9月份平均风速最小，仅为4.5 m/S。

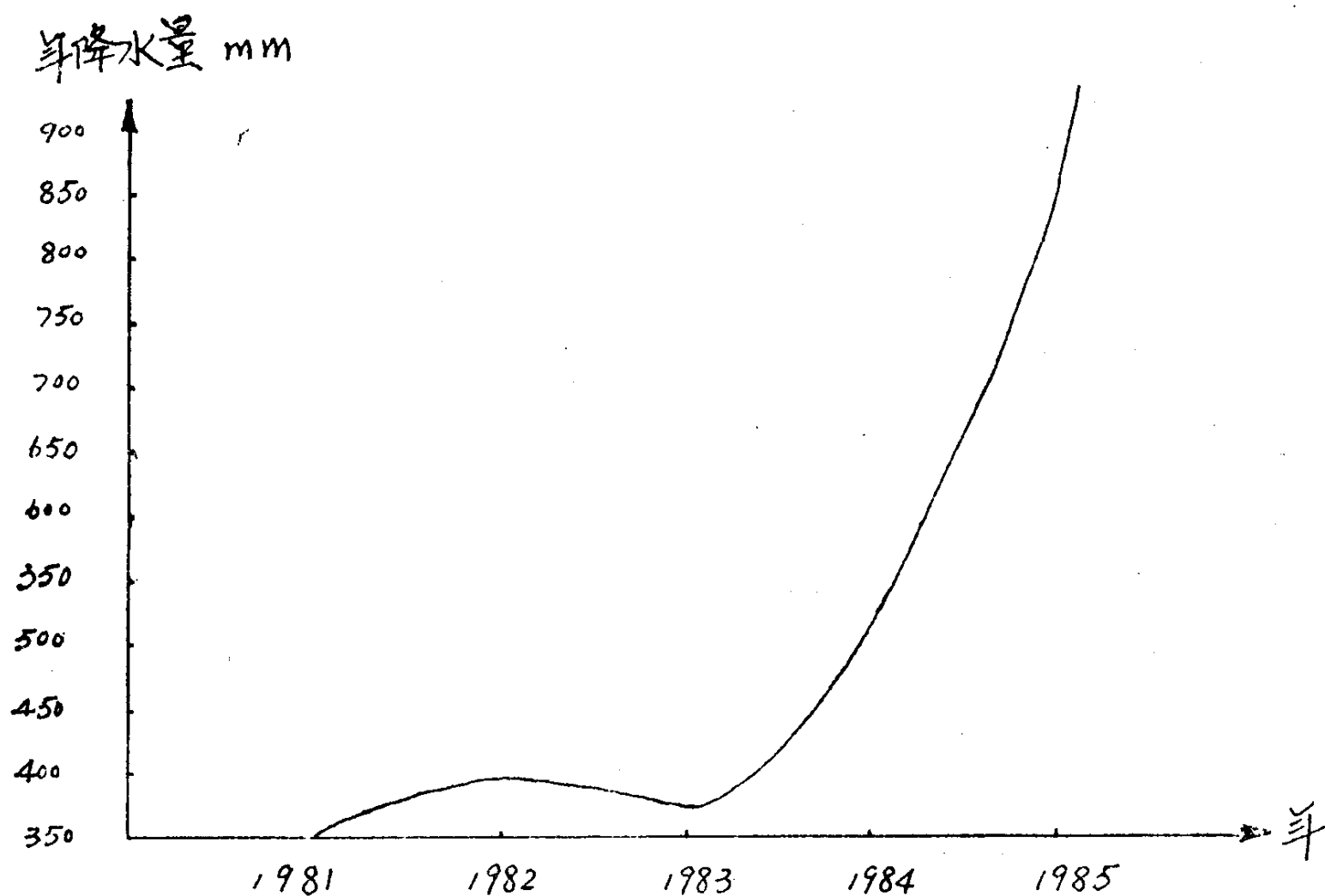


图 2—3

根据芝罘岛海洋站1981—1985年资料统计表明（见附表2—1至附表2—3）：春季（3—5月）以SSE向最多，频率为14%左右；其次为NNW向，频率为10%左右；NE—E向风较小，其中尤以NE和E向风最小；夏季（6—8月）也以SSE向最多，频率为19%左右；其次为SE向，频率为11%左右，其中仍以NE向风最小，频率为3%左右；秋季（9—11月）以W向最多，频率为11%左右，其次为NNE向，频率为10%左右，其中仍以NE向风最少，频率为2%左右；冬季（12月—次年2月）也以W向最多，频率为15%左右，其次是WSW向和NW向，频率为11%左右，其中尤以E向和NE向最少，频率为1%。

由附表2—1至附表2—3可知，该地区的风向季节变化非常明显。冬季主要受来自大陆冷空气的控制，因而盛行偏西风。夏季主要受来自海洋的暖湿空气的控制，而盛行偏南风。春、秋两季是冬、夏两季风的转换季节，偏北风和偏南风的势力相差不大，因而各向风的分布也较均匀。

本区全年各向平均风速的分布为 WNN—NNE向的偏北风的平均风速最大，为5.8m/S—8.3m/S，其中尤以NW向的平均风速最大，为8.3m/S。其次是偏南风，SSE—SSW向平均风速在5.5m/S—6.3m/S。偏西风 and 偏东风的平均风速较小。从平均风

速的季节变化来看：春季NW向的平均风速最大，为8.8 m/S，其次为SSE向，为7.3 m/S；NE和E向最小，为4.2 m/S。

累年各月最大风速和平均风速的分布大致相同。偏北向的最大风速最大，其中尤以NW向最大，为40 m/S；其次为偏南风，SSE的最大风速为25 m/S。（见图2—4）

※ 2. 2 水 文

这里所引用的水色透明度、水温、盐度等资料，是根据国家海洋局烟台中心海洋站收集1958年至1986年在烟台近海海域131个站次的海上调查资料及9个站次周日连续观测记录。岸滨温度、盐度资料是统计1960—1979年芝罘海洋站(37°33' N, 121°23' E)的定时观测结果。

由于海上调查资料有限，在描述其时、空变化时，分别以2月、5月、8月、11月为冬、春、夏、秋季度月。

1. 水色透明度

水色与透明度对于化学、生物等分子的分布和变化有极其重要的影响。海水透明度提高会增强光合作用。

烟台近海(37°30'—37°43' N, 121°09'—121°33' E)观测资料表明，水色与透明度的年变化、夏半年(4—9月)各月水色平均值为7—10号，透明度的平均值为3.5—7.7米；冬半年(10月至次年3月)各月水色平均值为8—16号，透明度平均值为0.9—5.0米。可见，夏半年的水色与透明度均大于冬半年（见表2—3）

烟台近海累年的年平均水色为10号，透明度为4.4米。

表 2—3

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均	年合计
水 色	8	1.6	8	10	8	9	7	7	8	11	12	13	10	—
透 明 度	5.0	0.9	3.5	3.5	5.3	7.7	6.5	6.8	5.7	2.8	2.6	2.0	4.4	—
观测次数	1	1	1	4	6	3	8	3.2	3	18	3	1	—	81

注：根据1958—1986年资料统计

2. 水温

近海水温的分布受太阳辐射，流余平流效应以及气象因子、紊动混合等的影响。烟台近海（系指北黄海）水深在20米左右，其季节变化较明显。

根据烟台近海17个站次的海上观测，春季表层平均水温为12.84℃，近岸水温高于海上。底层平均水温为11.25℃，低于表层。由于本季度太阳辐射逐日增强，表层水温增加较快垂直分布层状结构比较明显，部分测站出现水温跃层现象，最强跃层出现在1959年5月10日的2014站，强度为0.52℃/m（见表2—4和2—5）。

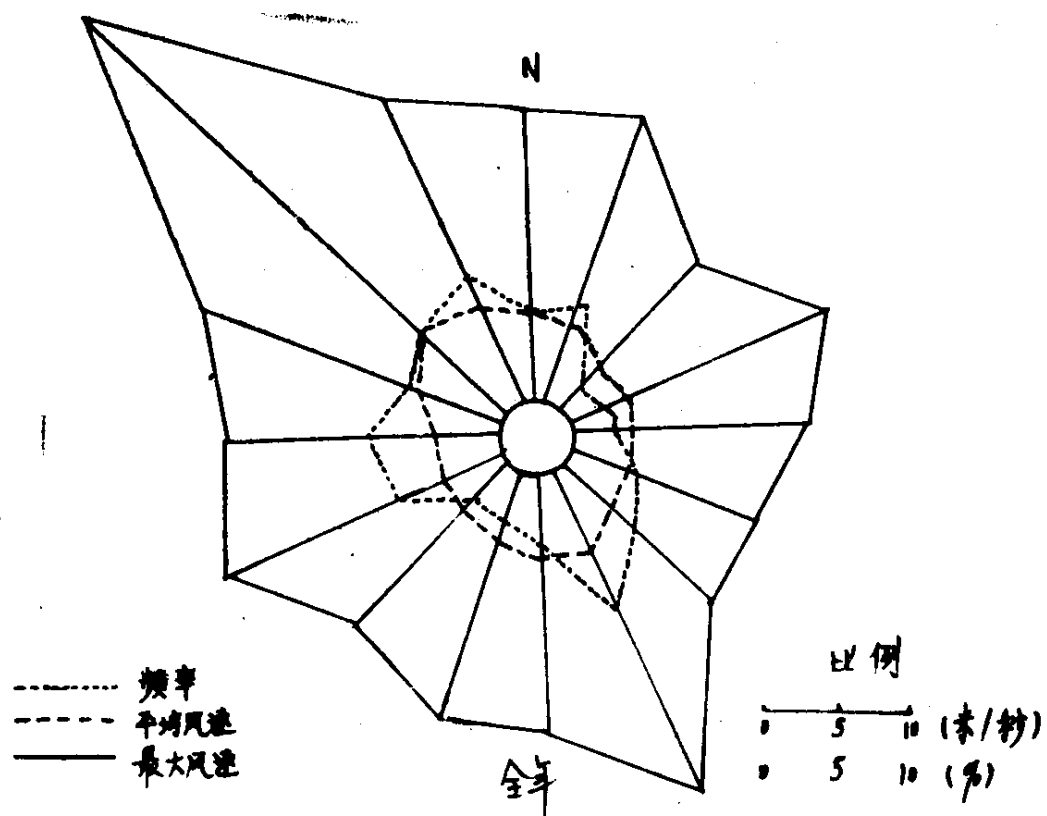


图 2-3 累年各月及全年各向平均风速、最大风速及频率 (全年)

表 2—4

站 号	站 位	观测时间	跃层深度 (m)	跃层厚度 (m)	跃层强度 (°C/m)
2014	121°27.0'E 37°41.0' N	1959.5.10	5	5	0.52
6671	121°30'E 37°40' N	1961.5.20	5	5	0.29
916	121°30.0'E 37°35.0' N	1962.5.30	0	5	0.30
916	121°30.0'E 37°35.0' N	1963.5.3	10	5	0.21
916	121°30.0'E 37°35.0' N	1964.5.5	0	5	0.45
916	121°30.0'E 37°35.0' N	1964.5.23	10	6	0.32
880	121°20'E 37°40' N	1964.5.19	0	15	0.45

夏季表层平均水温为24.49℃。该季是跃层最强的季节。垂直分布层状结构甚为明显。最强跃层出现在1959年8月7日的2014站(见图2—6),强度为0.84℃/m(见表2—5)。这里应该指出,在紧邻芝罘岛北岸水域,由于潮流较大,混合作用强烈,其水温垂直分布均匀(见第三章)。

表 2—5

8月水温跃层统计

站号	站 位	调查时间	跃层深度 (m)	跃层厚度 (m)	跃层强度 (°C/m)
2014	121°26.3'E, 37°46.3' N	1959.8.7	0	10	0.84
6563	121°35'E, 37°40' N	1963.8.13	0	10	0.68
916	121°30'E, 37°35' N	1963.8.15	5	12	0.35
916	121°30'E, 37°35' N	1964.8.18	10	7	0.20
916	121°30'E, 37°35' N	1965.8.1	5	5	0.45
6563	121°25'E, 37°40' N	1972.8.13	10	8	0.40
6563	121°25'E, 37°40' N	1973.8.11	0	10	0.39
2014	121°26.3'E, 37°41.3' N	1982.8.31	0	5	0.34

秋季表层平均水温为12.84℃,底层平均水温为12.79℃,几乎与表层一样。垂直分布比较均匀。

冬季表层水温为2.20℃,底层平均水温为2.48℃。和秋季一样,本季水温垂直分布亦比较均匀。

※ 2. 3 盐 度

沿岸的海水盐度与近海一样受两大水系（大陆径流所形成的低盐沿岸水和外海高盐水）所制的。冬季由于大陆径流最弱，沿岸表层盐度一般都升高，山东半岛盐度为29.0‰左右；春季由于东北季风大大减弱，渤莱沿岸低盐水影响的范围缩小，此时盐度比冬季显著增高（约1.5‰），达到30.5‰；夏季由于山东半岛沿岸江河径流影响较小，盐度虽有所降低，但幅度很小，其值仍在30.0‰左右；秋季由于渤莱沿岸低盐水在西北风作用下顺岸东流，致使这一带盐度反而比夏季降低，其值为29.5‰。

近海盐度的年变化由于受到径流、海流、气象（风、降水、蒸发）结冰及融冰诸因素的影响，变化十分复杂，烟台附近沿岸海域，由于受渤莱沿岸水的消长运动影响，其盐度的年变化表现为上半年为增盐期，下半年为降盐期。烟台沿岸海域表层盐度月变化见图2—5

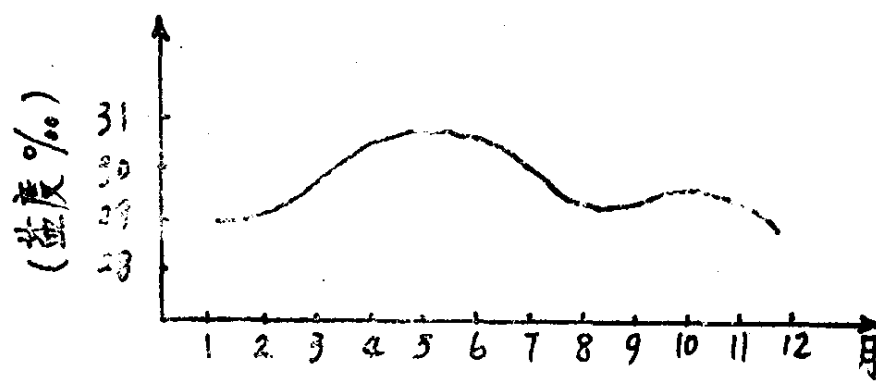


图 2 - 5

下面根据与水温资料同步测试所取得的盐度资料，对烟台近海盐度的时、空分布作一初步分析。

春季：烟台近海表层平均盐度为31.1‰，底层平均盐度为31.25‰。绝大多数的测站垂直分布比较均匀。

夏季。近海表层平均盐度为30.17‰，底层平均盐度为30.78‰，较表层高。本季节温度垂直分布呈层状比较普遍，部分站也出现盐跃现象，最大强度为0.23‰/m（见表2—6）

表 2—6 8 月盐度跃层统计

站号	站 位	观测时间	跃层深度 (m)	跃层厚度 (m)	跃层强度 (‰/m)
916	121°30'E, 37°35'N	1963.8.15	5	5	0.11
916	121°30'E, 37°35'N	1964.8.18	0	5	0.10
916	121°30'E, 37°35'N	1965.8.1	0	10	0.19
2014	121°26'E, 37°41.3'N	1982.8.31	0	5	0.23

但近岸(如芝罘岛北部邻近海域)由于离岸近,潮流较大,混合作用强烈,其垂直分布呈均匀状态。(见第三章)

秋季:近海表层平常盐度为30.11‰,底层平均盐度为30.13‰,略高于表层。本季度垂直分布均匀。

冬季:近海表层平均盐度为31.26。本季垂直分布比较复杂。离岸较远的部分站,出现表层高于低层的逆盐现象,而大部分站,呈表层低于底层的层状分布。

※ 2. 4 潮 汐

1. 潮汐概况

烟台近海位于山东半岛的北岸,潮汐主要受黄海北部半日分潮,日分潮系统的控制。烟台潮汐类型指标值为0.33属正规半日潮。由实测资料,烟台 M_2 分潮的振幅是太阳半日分潮 S_2 的3倍左右,是两个主要全日分潮 K_1 和 O_1 振幅和的3倍左右。于是烟台港区的主要潮汐周期决定于 M_2 分潮,约为12小时25分。

2. 潮位与潮差

潮位也称潮高,这是指任意时刻海面相对于潮高基准面的高度。平均潮位是指逐时观测潮位的平均值。一个海区的潮位存在着日变化、月变化、季节变化和年变化,这些变化往往是十分复杂的。这里我们根据三个站的实测资料来描述海区平均潮位季节变化情况(见表2—7,图2—7)

表 2—7 烟台近海各站历年各月平均潮位

平均潮位 站名	月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年变幅	资料年限
蓬 莱		243	246	254	265	272	285	291	292	283	276	264	253	49	1984—1986
烟 台		195	195	199	209	217	229	237	240	234	224	210	200	45	1960—1965 1973—1979
威 海		103	104	108	116	124	135	145	150	147	135	125	113	47	1960—1967

注:潮位以各站潮高基准面起算

由表2—7和图2—7可见,烟台近海岸各站平均潮位的季节变化是很明显的。其年内月变化曲线是一峰一谷型,波谷在冬半年,以1、2月最低;波峰在夏半年,以8月最高,年变化幅度在45—49cm之间。

潮差系指相邻的高潮和低潮的水位高度差。它又可分为平均潮差,平均大潮差,平均小潮差、最大潮差、最小潮差及最大可能潮差。黄海沿岸平均潮差的季节变化不明显;烟台沿岸的平均潮差为1.66米,而最大可能潮差只有2.0米。蓬莱平均潮差为1.03米,威海为1.39米。烟台潮差较大,有利于水体交换。

※ 2. 5 海 流

烟台近海处于山东半岛黄海北部是半封闭浅海,潮流显著,海流(余流)较小。北黄海沿岸多属岩岸,海岸曲折,多突咀、石栏等。芝罘岛外底层坡度较陡,海底起伏不

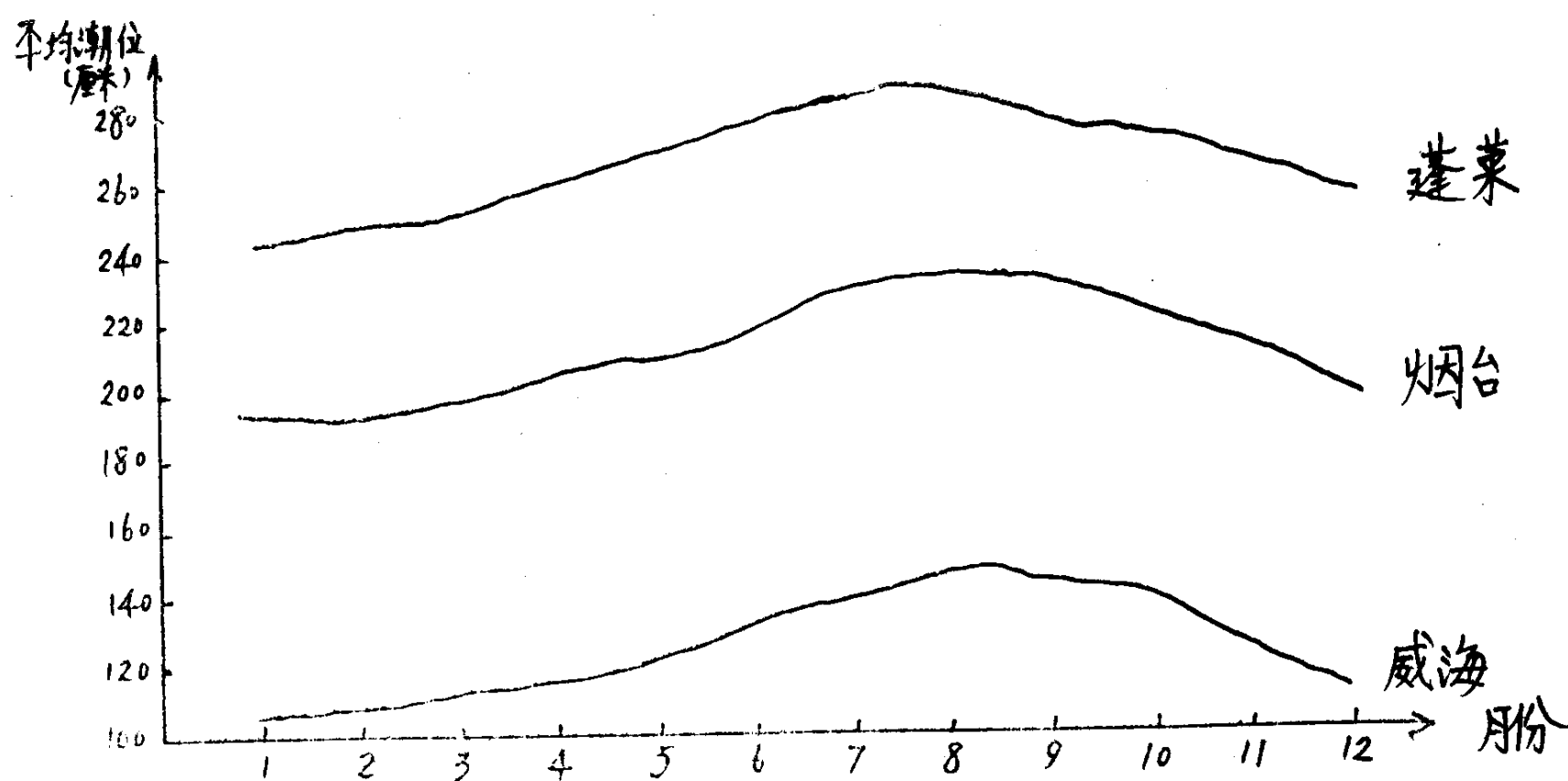


图 2-7

一。这使山东陆架环流的性质比大洋环流复杂得多。据前人研究，黄渤海主要有二个流系：其一为外海流系，它的一支为黄海暖流，是黑潮的一个分支对马暖流在济州岛西南海域分出的一支，大致沿着东经 124° 线北上进入北黄海，余脉通过渤海海峡进入渤海的海系，成为黄渤海区环流的主干；其二为山东沿岸流，它沿山东北岸东流绕过成山角南下扩散到南黄海，成为沿岸流系。两流系都是冬季强、夏季弱。此次调查海区范围较小，距芝罘岛较近，是在沿岸流系中。以下我们将各站在不同月分别测到的海流值，按冬半年（10月—次年3月）和夏半年（4月—9月）来划分，进行初步的统计分析。

冬半年期间偏北风占优势，沿岸水在持续而强劲的偏北风作用下，在近岸区域堆积形成倾斜流，加上其它影响，海流分布的外界环境因子作用下，不同类型的海流相互迭加，形成山东沿岸流，流向基本与海岸平行，流速颇强。如85A05站（见图2—6）中汛期表层流速达 57 cm/S ，余流流速 11.1 cm/S ，流向 143° ；8603站（见图2—6）大汛期表层流速达 62 cm/S ，余流流速 6 cm/S ，流向 170° 。

夏半年期间偏南风占优势，沿岸河流迳流量逐渐强盛，使山东沿岸流明显减弱。如8501站（ $37^{\circ}38' \text{ N}$ ， $121^{\circ}24'00'' \text{ E}$ ）大汛期最大表层流速为 48 cm/S ，余流流速 5.5 cm/S ，流向 23.6° ；8603站（见图2—6）大汛期表层流速达 55 cm/S ，余流流速 3 cm/S ，流向 127° 。潮流比冬半年小 10 cm/S 左右。

这里需要说明的是，由于海流随季节、风、迳流和地形等的影响而变化，致使研究海洋流是很复杂的。因此，在浅海海域以某几个测站一次或几次的观测值代表该海域某