

极浅海油田开发 技术与实践

周长江 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书以胜利浅海埕岛油田的开发实践为例,紧密结合相关理论系统地介绍了极浅海油气田的开发技术。重点论述了极浅海油气开发的浅海海洋工程环境影响评价技术、与实际紧密联系的实用油藏描述技术、适合于极浅海海洋环境的采油工程及其配套技术、全方位的油层保护技术和海洋工程建设模式及重点的施工技术。

本书侧重于介绍实用技术和评价方法,适合于从事浅海油气田开发的工程和地质技术人员、科研人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

极浅海油田开发技术与实践/周长江编著.

北京:石油工业出版社,2000.5

ISBN 7-5021-3005-5

I. 极…

II. 周…

III. ①浅海-油田开发-技术

②浅海-气田开发-技术

IV. TE5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 60586 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云红光印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 22¼印张 560 千字 印 1—1300

2000 年 5 月北京第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3005-5/TE·2324

定价: 42.00 元

前 言

极浅海是我国油气勘探开发的重要区域,由于极浅海区海洋工程环境条件复杂、气候恶劣,使极浅海油气田的开发技术既不同于陆地也不同于浅海或深海,在渤海湾黄河入海口区的埕岛油田开发实践中,逐步形成了具有本地区特色的极浅海油气田开发技术体系。

极浅海油田开发技术既取决于极浅海特殊的海洋水动力环境、气候和特殊的工程地质条件,也取决于油气田自身特征。二者有机的结合是极浅海油田开发技术体系的关键之所在,其主要内容包括对海洋工程环境评价、油藏描述技术、适用于丛式定向井的采油工艺及其配套技术、海洋工程建设技术、油层保护技术等。

海洋工程环境评价是该技术体系的重要组成部分,海洋工程环境条件主要包括气候特征、海洋水文环境特征、浅地层(即海洋工程基础层)特征,只有对海洋工程环境条件有一个较为准确的把握,才能在极浅海油田开发建设模式的选择上作出正确的决策,海洋工程环境条件在很大程度上决定了油田开发的海洋工程建设的模式。在埕岛油田的开发建设中形成了独具特色的、以中心平台通过海底电缆和管线辐射连接各井组平台为主、以移动式采油平台和船舶拉油为辅助的海上生产建设组织模式。

对油气田地质特征的认识是该技术体系的基础,油气田的地质特征决定了油田开发的主要开发技术政策,制约着油田生产组织技术和采油工程及其配套技术。在对油田构造、沉积相、储层特点等方面研究的基础上,形成的测井约束地震反演砂体追踪预测技术,是以模型为基础的波阻抗反演技术,与模式识别、神经网络等统计性方法相比,该技术是储量特征描述的确定性方法,通过准确的速度分析、初始模型建立及选取地震参数,即可得到可靠的高分辨率的地层波阻抗资料,对储层深度、厚度、物性等进行精细描述,对注采井网、按油砂体形态合理布井和产能建设过程中的井位滚动部署与调整技术起到了决定性的作用;油藏建模技术和油藏模拟技术对油田的具体开发技术及技术政策的制定起到重要作用,如:一套层系开采;立足于注水开发;立足于早期防砂和机械采油;在一套层系开采的原则下,优化组合射孔层段,既实现层间接替,又避免严重层间干扰;在弹性开采期间,合理利用天然能量,提高无水采收率。

极浅海恶劣的环境条件下所建平台面积较小和油田原油性质较差的特点以及浅海油气开发的安全、环保规范,在采油技术方面形成了适合于海上高速、高效、安全、符合环保的集成化采油工程配套技术体系,是一项集完井技术、机械采油技术、油井安全控制技术、油层保护技术、平台配套装备研制和流程集成为一体的综合配套技术,也是极浅海油田开发技术主要组成部分之一。

在完井工艺技术上,一是采用大孔弹深穿透 16 孔/米布孔的射孔技术、掏空负压射孔、研制可保护油层的精细过滤海水基入井液和 TR-5 油溶性暂堵剂;二是应用三种机械防砂方法:不锈钢金属棉滤砂管防砂、双层预充填绕丝筛管和砾石充填绕丝筛管防砂,有效地防止了油井出砂;三是研究应用井下安全控制工具:(1)螺杆泵专用封隔器,(2)潜油电泵井下安全阀和过电缆封隔器;四是研制了适用于海上特殊工况的 HKY80-21 国产化采油井口,该井口装置具有通径较大、带有井口安全阀、井口可以实现电缆、液控管线和毛细管等多通道穿越的

特点；五是满足海上定向井采油工艺要求，优化了钻井井身轨迹。

在机械采油技术研究应用和改进螺杆泵和潜油电泵采油技术。螺杆泵采油配套技术主要包括：（1）螺杆泵井管柱和杆柱的优化设计，实现海上螺杆泵井的安全生产；（2）优选应用具有转子运动偏心小、平稳性好、排量大、扬程高、定子结构耐油性能较好的三线内螺旋面定子的新型双头螺杆泵；（3）应用抗扭力大的空心抽油杆，及与之配套的防脱器、扶正器，实现了抽油杆柱整体强度的提高；（4）螺杆泵工况的监测技术；（5）防止螺杆泵井机械故障、方便生产参数调整、能减小对电网冲击，具有软起软停功能的变频启停装置。潜油电泵采油技术研究取得 2 项进展：（1）优化了潜油电泵采油管柱的设计，（2）研制成功并普遍采用了定向井加强电泵机组，它具有“并联胶囊式保护器、机组长度小、抗弯曲能力强、电缆采用滚动保护”特点，在 7in 油层套管井中适用于全角变化率率小于 $8^{\circ}/30\text{m}$ 的油井，超过国外在 9in 套管中 $3^{\circ}/30\text{m}$ 的应用范围。

形成了较为完善地面配套技术：（1）具有国内外首创、国内领先的海上采油平台一变多控系统，其关键技术是为满足海上多样性、多参数机械采油和平台其它电器设备配电和控制需要的多绕组变压器和组合式电泵、螺杆泵控制柜组成；可满足不同阶段采油的需要，减少了平台占用面积；（2）研究完善了以“液压控制油井安全控制柜为核心、与自动化测控技术相匹配”的油井地面安全控制技术；（3）根据海上平台特点和自动化测控的需要，集成技术先进的质量流量计、旋进旋涡流量计、超声波流量计、含水自动监测仪等，实现了液量、气量和含水的自动监测。

通过创新研究及引进新技术，开发应用电泵井组合式控制柜、开发斜井加强电泵机组、螺杆泵变频调控装置、螺杆泵软启停控制柜、螺杆泵井口安全阀、螺杆泵空心抽油杆、双头螺杆泵、螺杆泵封隔器、电泵封隔器、海上油井安全控制系统、油井完井技术等。

通过极浅海油气开发技术的研究和实践，建立的极浅海油气开发技术体系，对胜利极浅海埕岛油田的勘探开发起到了极其重要的技术支撑作用，并促进了海洋石油开发技术体系的发展和完善。

编著者

2000 年 4 月

目 录

第一章 埕岛海域海洋环境	(1)
第一节 埕岛油田工区的气象及水体动力特征.....	(1)
第二节 埕岛海域地貌及其演化特征	(33)
第三节 浅地层特征	(54)
第四节 埕岛海域工程地质特点	(66)
第五节 埕岛海域浅层稳定性评价	(77)
第二章 实用油藏描述技术	(88)
第一节 埕岛油田区域地质特征	(88)
第二节 碎屑沉积微相分析技术及其在馆上段应用	(94)
第三节 层序地层学分析技术.....	(109)
第四节 储层预测技术.....	(132)
第五节 储层评价技术.....	(161)
第六节 地质建模技术.....	(202)
第七节 开发地质计算机辅助技术.....	(207)
第三章 海上机械采油技术	(216)
第一节 概述.....	(216)
第二节 地面驱动螺杆泵采油及其配套技术.....	(220)
第三节 潜油电泵采油及其配套技术.....	(228)
第四节 海上防砂技术.....	(236)
第五节 海上油井动态监测技术和生产测井配套技术及研究.....	(245)
第六节 埕岛油田油井安全控制技术研究与应用.....	(257)
第七节 海上油井计量技术.....	(263)
第四章 油层保护技术	(272)
第一节 埕岛馆陶组储层特征、敏感性评价及伤害因素分析.....	(272)
第二节 埕岛油田馆陶组配套油层保护技术.....	(275)
第三节 油层保护实施情况及效果分析.....	(279)
第五章 滩海地面工程建设	(282)
第一节 滩海平台建造技术.....	(282)
第二节 水力喷射式挖沟铺缆技术.....	(288)
第三节 雷卡定位技术的应用.....	(291)
第四节 桶形基础结构的应用.....	(294)
第五节 海洋平台现场动态应力测试.....	(299)
第六节 埕岛海域固定平台的腐蚀检测.....	(306)
第七节 滩海区管道腐蚀特征及其涂层评价技术.....	(314)
第八节 雷达监测技术在采油平台安全管理中的应用.....	(335)
第九节 自动化技术在埕岛油田的应用.....	(339)
参考文献	(347)

第一章 埕岛海域海洋环境

胜利埕岛油田位于渤海湾南部、莱州湾西北部的浅海海域,南距海岸线约 5km,海域水深 2~16m 左右。浅海海域海洋环境与浅海海洋环境条件既有相同之处,也有其自身特点:浅海海域海洋环境属于海岸环境的范畴,气象特征、近岸海流和风浪特点、浅地层特征及地基土的工程地质特点是极浅海海洋环境的主要研究内容,三角洲的发育与演化对近岸环境条件的影响起着重要的作用。几年来埕岛油田开发建设的实践表明,油田开发、建设、生产与管理对海洋环境条件要求是极为严格的,且随着油田的滚动开发,开发技术装备规模的扩大和技术难度的增大,开发工区不断向深水海域发展,油田生产对本海区海洋环境的依存越来越大。

第一节 埕岛油田工区的气象及水体动力特征

胜利埕岛油田海区沿岸属黄河三角洲淤泥质海岸的侵蚀后退海岸,沿岸地形为向渤海湾南部的极浅海海域突出的岸线特征,所处的海域近岸、水浅、特殊地理环境和 M_2 无潮点等决定了埕岛油田海域气候及水文特征既受区域系统环境(渤海湾海域南北长、东西窄)所控制,又有其本身的特殊性。

一、埕岛油田海区气象特征

(一) 风

风是海洋气象中最重要气象因素。根据 1992~1996 年连续 5 年天津台、油田台气象资料及 1998 年全年中心一号实测海况资料,采取现场观察和普查历史资料一起进行研究分析,得出了埕岛海域风的基本特点。

1. 风资料的处理

(1) 风速换算

工程设计和资料统计中使用的风速资料均指 10m 高处的风速值,根据近海面边界层(距海面 50m 以下的大气层)风速随高度变化服从对数分布律可以导出 10m 高风速的计算公式:

$$V_{10} = V(Z) \ln(10/Z_0) / \ln(Z/Z_0)$$

式中 V_{10} ——10m 高处风速;

$V(Z)$ ——测量高处的风速;

Z ——实测点的高度;

Z_0 ——粗糙长度,一般取 $Z_0=0.003m$ 。

(2) 陆—海风速换算

为了利用陆地气象预报的风速资料,根据埕岛油田海区及其临近陆地同步风速实测资料拟合出本区的陆—海风速换算经验公式:

3~7 月份:

$$V_s = -0.5 + 1.02V_l$$

白天

$$V_s = 1 + 0.955V_1$$

夜间

8~2 月份:

白天:

$$\begin{aligned} V_s &= 1.0 + 0.89V_1 & V_1 < 6\text{m/s} \\ V_s &= [(V_1 - 5)/0.0154] & V_1 > 6\text{m/s} \end{aligned}$$

夜间:

$$\begin{aligned} V_s &= 1.0 + 1.12V_1 & V_1 < 6\text{m/s} \\ V_s &= [(V_1 - 4)/0.0283] & V_1 > 6\text{m/s} \end{aligned}$$

式中 V_s ——海上风速;

V_1 ——陆地黄河气象站实测风速。

根据上述公式可以将陆地实测风速换算成海上风速进行风速资料统计分析。

(3) 阵风系数及极值风速

阵风系数是海上工程设计的必要参数,是指某一时距的平均风速与 10 分钟平均风速之比。根据实际观测资料,本区阵风系数随风速的增大而减小,当风速大于 6m/s 时,阵风系数趋于常数,3 秒和一分钟阵风系数分别为 1.19 和 1.09。

本海区的极值风速序列是根据地处沿海、地形平坦、位于西部距埕岛海域 80km 的马山子气象站资料来确定的;通过马山子气象站与黄河海港气象站的风速对比,利用前述的本区陆—海风速换算公式,计算了埕岛海域 22 年大风极值序列(见表 1-1)。

表 1-1 埕岛海域海上风速极值序列

年 份	1965	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
极值风速	27.2	23.3	21.0	24.0	19.0	24.0	23.0	19.4	23.7	23.3	22.8
年 份	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
极值风速	24.3	24.9	27.2	24.2	20.4	21.7	24.0	24.5	20.0	21.0	21.0

根据埕岛海域及其周围有关资料,本区百年一遇的 10 分钟平均风速为 29.0m/s,2 分钟平均最大风速为 31.0m/s,1 分钟平均最大风速为 31.6m/s,3 秒钟平均阵风风速最大可达 34.8m/s;1997 年,风暴潮期间在中心一号测得的 1 秒最大风速为 34.0m/s。50 年一遇的瞬时最大风速为 33.6m/s。上述数据与计算得出的极值风速序列略有差异。

2. 风向分布

埕岛海区所处我国华北沿海,其大气环流受西北带和贝加尔湖低压系统影响,又受海洋的调节,本区年平均以南风出现频率最高,为 10.81%,是本海区的常风向,东北偏东风次之,频率为 7.32%,是次常风向。北风出现频率最低,为 3.94%(表 1-2)。本海区在冬季的蒙古冷高压控制下,多出现 NW、NNW、EN、ENE 向风。

中心一号平台早 6:00 实测风向统计结果为南—西南风是本区的常风向,频率分别为 18.37%、19.14%,东北风为次常风向,频率为 17.85%,与上述趋势一致,且早上是全天风力较小的时间,故具体数据略有差异。

表 1-2 各月及全年风向频率分布(%)

月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
1	4.13	3.59	5.91	5.17	3.99	3.45	4.06	5.29	6.72	6.95	5.65	9.48	9.25	8.10	9.88	7.72	0.67
2	4.82	8.07	9.38	7.51	4.40	4.58	4.14	6.32	7.25	5.07	5.22	5.14	5.85	4.21	7.74	8.87	1.43

续表

月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
3	3.97	5.14	6.27	8.50	5.65	6.66	5.49	7.20	10.6	7.20	5.23	5.50	4.82	3.90	5.59	4.98	2.83
4	3.2	4.84	4.90	8.25	5.56	5.03	5.19	11.3	15.0	7.77	6.46	4.43	2.78	3.84	6.65	4.65	0.11
5	3.13	5.16	6.31	8.40	8.41	7.89	7.17	7.79	11.0	8.39	5.97	6.16	3.25	2.60	4.56	3.52	0.24
6	1.92	3.18	3.46	8.53	11.8	11.1	12.7	12.7	15.1	4.39	2.39	2.71	2.52	2.57	2.26	2.23	0.39
7	2.38	3.53	4.37	7.93	12.1	10.6	10.1	10.3	14.7	6.35	4.44	2.86	2.30	2.28	2.41	1.84	1.11
8	3.63	8.93	9.13	8.45	9.46	10.4	7.76	5.9	10.6	4.79	4.10	3.49	3.63	2.62	2.74	2.65	1.58
9	4.63	8.11	7.01	6.41	6.29	6.59	7.44	5.86	10.0	5.77	5.29	4.80	6.23	4.62	3.83	5.12	1.95
10	4.13	7.72	5.9	6.79	5.44	4.86	5.24	5.37	11.7	6.52	7.03	5.20	6.79	5.85	5.74	4.77	1.00
11	5.19	5.02	5.18	5.50	2.59	2.03	2.45	3.76	8.16	6.95	5.91	8.14	10.7	5.49	8.91	12.7	1.28
12	6.11	5.88	4.31	6.43	2.07	0.68	1.31	4.62	8.68	6.05	5.91	10.2	15.1	6.93	6.75	7.96	1.04
全年	3.94	5.76	6.03	7.32	6.48	6.15	6.11	7.22	10.8	6.35	5.30	5.67	6.10	4.42	5.62	5.58	1.13

3. 风速分布状况

统计资料表明,本区风速的分布情况为:11月份平均风速8.1m/s,其中东北风平均风速为14.1m/s,是全年生产条件最差的月份,西北风次之为11.0m/s,元月份风速仅次于11月份,为8.0m/s,其中NE、NW、NNW向风速为7.5~8.2m/s;2月份的N、NNE、NE、ENE、NW、NNW向平均风速为6.2~7.9m/s。7、8月份平均风速最小,分别为5.9m/s、5.4m/s,是海上生产和施工黄金季节。从全年来看,海区年平均风速最强风向为东北风,风速值为9.2m/s,南风最小,风速为5.6m/s(表1-3给出了1998年海上实测风速)。这是因为渤海湾海域和沿海地形地貌的影响所致,吹东北风时,风从毫无遮挡的海面吹来,风区长,风浪、涌浪相继增大,对油田的影响也最大。

表 1-3 1998 年各月及全年各风向平均风速 (m/s)

月份	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	月平均
1	10	11.6	6.7	/	/	5.0	7.3	7.4	8.0
2	5.5	10.6	6.8	6.3	4.7	4	7.3	9	6.8
3	/	9.2	5	11	4.2	6.4	8.0	10.6	7.8
4	10	8.3	4.5	6.5	6.4	7.7	8	6	7.2
5	8	7	5.5	5.8	5.9	5.7	6.5	4	6.1
6	2	8.2	6.3	8	7.2	7.3	/	/	6.5
7	4.5	10	6.9	5.9	4	4	/	/	5.9
8	6	6.2	5.4	5	4.3	4.6	5	7	5.4
9	6	9	11	4.5	5.3	5.7	7.3	/	7.0
10	5	10.5	6.5	3.8	4.1	4.8	7	9.8	6.4
11	6	14.1	8.5	5	5.7	6.5	8	11	8.1
12	7.8	6.2	/	/	4.8	5.3	5.7	9.3	6.5
全年	6.4	9.2	6.6	6.2	5.1	5.6	7.0	8.2	6.8

4. 风的日变化特点

在实际观测中发现, 埕岛油田海域在同样的东到东北风场的条件下, 下午至上半夜风力会突然增大 2~3 级, 而在西到西南风场的条件下, 傍晚到上半夜风力会减弱 1~2 级, 这是受海陆温差转换的结果。海风转换的时间稍落后于海陆温差的转换时间, 一般在下午至上半夜海风最大。因此, 当秋末冬初 (10~11 月份) 和冬末春初 (3~4 月份), 海陆温差表现得尤为明显, 在东风场的条件下, 即系统风和风的日变化相一致时, 下午到上半夜东北风的风力要增大 2~3 级。埕岛与海港海陆风日变化对比曲线也说明了这一点: 在 10~11 月份, 下午-下半夜埕岛海区风力明显大于陆上, 而上午-中午海区风力与海港则相差较小。

5. 大风情况

根据在本海区作业的经验, 通常把东北风大于 6 级, 西南风大于 7 级以上, 船舶不能出海航行时定为大风, 则 1996、1997、1998 年平均大风天数为 113 天左右, 其分布情况为冬半年: 11、12、1、2、3 五个月, 平均每月大风天数均在 10~15 天左右, 五个月合计大风 75 天左右, 占全年大风的 62.5%; 4、10 月份为转季月, 大风天数比冬季低, 但比夏季高, 平均 10 天左右, 占全年大风天数 16.7%; 夏季在 5、6、7、8、9 月份为好天气较多的月份, 大风天数每月 4~7 天左右, 5 个月合计大风天数 25 天左右, 占全年大风天的 20.8% (表 1-4)。

表 1-4 1993~1998 年月度气象与数据统计

月份	大风警报天数						影响生产天数						实际生产天数					
	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
1	14	14	14	19	14	23	31	22.8	16.1	17.1	17.2	20.2	0	8.2	13.3	13.9	13.3	10.8
2	13	15	13	19	9	13	28	17.5	7.7	13	9.8	9.6	0	10.5	19.5	16	18.2	17.1
3	15	15	15	21	16	17	31	21.3	9.3	9.1	10.6	10.5	0	9.7	21	21.9	20.4	20.4
4	15	15	15	16	14	14	30	12.6	5.4	2.9	8.3	5.1	0	19.2	24.1	27.1	18.7	18.4
5	11	13	11	5	13	9	31	12.6	3.8	3.2	8.9	4.5	4.9	18.4	26.9	27.8	21.1	27.2
6	4	4	4	1	4	3	9.2	4.3	0.8	4.9	1.7	0.6	21.8	25.7	29.2	26.1	28.3	27.2
7	0	3	0	1	1	2	11.2	5.8	2.1	3	1.5	1.1	19.8	25.2	28	28	29.7	30.8
8	0	7	0	2	3	1	4.9	6.1	4.9	4.9	3.8	3.8	26.1	24.9	25.4	23.6	27.3	27.6
9	6	7	6	11	11	3	19.9	11	8.3	7.8	9.4	6.3	10.1	19	21.8	22.6	17.2	23.7
10	16	13	16	13	21	9	20.5	13.7	12	14.3	17.8	11.0	10.5	17.3	19	16.7	13.2	20.9
11	22	16	22	14	10	17	21.1	15.5	14.2	16.5	11.6	16.9	8.9	14.5	15.7	13.5	17.4	13.1
12	18	17	18	14	13	10	18.5	17.6	17.3	15.2	17.3	12.4	12.5	13.4	13.3	15.8	15.1	17.4
合计	134	139	134	136	129	121	256.3	160.8	101.9	111.9	117.8	102.1	114.6	206	257.2	253	240.0	254.6

全年 6 级以上的大风主要为 N 和 NE, 年均频率分别为 9.1%、13.9%, 发生的季节主要在冬季, 即 11~3 月份, 以 12 月、6 月份频率最高, 8 级以上大风发生频率较低, 以 N 风频率最高, EN 次之, 西北风频率为 1.1%, 偏南向风或南风很少有超过 8 级大风的, 8 级以上的大风多数发生在春季和冬季。

(二) 气温和水温

埕岛海区气温, 冬季最低温度为1月份, 平均最低气温为6.3℃, 春季受大风影响气温回升较快, 自3月份到5月份气温由3.2℃增至18.9℃, 夏季各月气温变幅较小。全年最高气温出现在8月份, 为28.8℃, 7月份次之, 为28.7℃。秋季气温下降迅速, 从9月份到11月份, 平均气温从20.8℃降至5.3℃。全年平均气温为11.7℃ (见表1-5)。

表 1-5 埕岛海区全年各月气温变化情况表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
最高温度, C	2.4	2.3	8.4	18	23.3	27.2	28.7	28.8	24.9	19.5	10.5	3.3	16.44
平均温度, C	-3.5	-2.2	3.2	11.8	18.9	22.1	25.9	24.9	20.8	14.3	5.3	-1.7	11.65
最低温度, C	-8.7	-6.8	0.1	7.8	13.7	19.2	22.5	22.5	17.6	10.8	2	-4.8	8.42
极高温度, C	9.5	14.1	19.6	31.2	36.3	39.6	35.3	36.6	34.5	30.3	21.8	18.6	27.30
极低温度, C	-16.6	-12.7	-8	-2	5	11.5	16.4	17.3	10.1	-2.6	-8.2	-18.0	-0.65

由表1-5看出, 该区冬季为极端最低气温为零下18℃; 夏季极端最高气温曾出现39.6℃, 在1月、2月、12月份海域的平均温度到零度以下, 最低达-8.7℃, 对油田的生产不利。

埕岛海域海面最低平均水温出现在1月份, 为1.1℃, 最高平均水温出现在8月, 为27.1℃。

(三) 海雾

埕岛海域是渤海的多雾区, 全年平均雾日为35.6天, 其中12月雾日最多, 平均约8.5天, 11月和7月次之, 平均各为4天, 4月和9月最少, 平均各1天。海雾多出现在上午的8:00—11:00, 最长连续雾日达6天。

从雾与风的关系分析来看, 冬季主要是刮偏北风时雾日较多, 占总雾日的71%; 夏季以偏东风时成雾机会较多, 占总雾日的58%。

(四) 降水和降雪

埕岛海域年平均降水量549mm, 降水主要集中在6~8月达368mm, 占全年降水量的67%, 最少降水月为12~2月份, 仅为18.8mm, 占全年降水量的3.4%。全年平均降水日为71天, 7月最多为13.2天, 2月最少为2.3天。暴雨日(日降水量多于50mm)全年平均1.8天。最少连续降水日为10天, 最长连续无降水日为71天。

埕岛海域平均年降雪日为9.6天, 最多为22天, 最少为4天, 最大积雪厚度为15cm。

(五) 寒潮、台风和气旋

受冷空气影响, 使气温在24小时内下降10℃以上, 最低气温达到5℃以下的天气过程称之为寒潮。影响埕岛海域的寒潮天气主要发生在9~5月份, 平均全年发生6.3次, 其中, 11月发生最多, 平均1.04次, 12月次之平均0.92次。寒潮往往伴随着剧烈的降温、霜冻、大风等灾害性天气。

台风进入山东省及其沿海地区后, 台风外围会对埕岛海域造成影响, 形成大风、暴雨和大浪海况。山东省沿海平均每年有2.9个台风影响, 其中8月份受影响最大, 平均1.25次, 7、9月份次之, 分别为0.65和0.6次。12~4月份期间, 山东省沿海是无台风影响期。

气旋是指地面封闭的低压天气系统, 气旋中常有锋面存在, 称之为锋面气旋。由于气旋的尺度一般较大, 所以影响山东省的气旋都会不同程度的影响埕岛海域; 影响本区的主要气旋系统主要为黄河气旋、江淮气旋, 蒙古气旋在冬季对本区也有较大的影响。山东省一年受

气旋影响的平均次数为 92.5 次,其中春季和夏初气旋次数较多,3~7 月份平均达 9.0~11.6 次。冬季相对较少,平均 4~5.5 次。气旋影响本区时,常伴有大风、降水以及雷暴等恶劣的灾害性海况。

二、波 浪

渤海是一个较封闭的内海,外海的波浪不易传入,因此埕岛海域的海浪主要是渤海当地风生成的波浪(风浪),它具有生成快、消失也快、波浪周期 10s 以上的浪很少出现等特点;另外受渤海海上风场规律所制约,波浪具有明显的季节变化和年际变化。受北向、东北向风区长,西南向风区窄的影响,即使在相同风力下,东—东北风引起的风浪和涌浪要比其它风向大的多。一般情况下,东北风起时,浪涌也相继生成,涌浪消失时间是大风持续时间的 0.5~1 倍,风向转弯,涌浪则消失较快,在转风向期间,风浪较小。根据本区 1984~1990 年观测资料 1998 年中心一号实测资料分析,该区波浪具有明显的季节特点:冬半年盛行偏北向海浪,尤其在 11 月份,涌浪超过 0.5m 的天数每月 10~15 天,最大浪高超过 5.0m,夏半年盛行偏南向海浪,日平均浪高为 0.4~0.29m,超过 0.5m 时间平均每月 5~8 天,以 7 月份最低,平均浪高仅 0.29m,南风—东南风—西南风基本上掀不起大涌大浪。通过大浪过程的数值模拟方法分析给出了该海域 9 个点重现期分别为 10、20、50、100 年一遇的特征波要素。

(一) 海浪主要特征

1. 波向

从海浪观测资料分析得出不同季节(春、夏、秋季)各波向的出现率可以看出,本区春季是季风交替的季节,因而偏北向浪和偏南向浪都出现,且偏北向浪频率(46.2%)仍多于偏南向浪(31.7%)。总的看来,偏东向浪(61.8%)多于偏西向浪,EN 向浪出现频率最高(16.7%),其次是 SE 和 E 向(各为 15.6%)。夏季本海域盛行 SE 风,相应波向也是 SE 向占优势,其出现率为 13%,其次是 ESE 向,出现率为 10.6%。秋季则是由 S 向浪向 N 向浪变化的过渡季节,此时偏 N 向浪频率(51.9%)较偏 S 向浪的(38.8%)已明显增大,由于冷空气出现次数和强度的增加,偏 N 向波逐渐增多,其中 ENE 向浪出现率最高为 10.1%,NE 向次之出现率为 7.8%。

表 1-6 春季各波级频率(%)及波高、周期最大值

方向 项目	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	各级 总额
$0 \leq H < 0.5$	5.6		5.0	0.6	5.0	1.1	2.8	1.1	0.6	1.1	4.4		5.0	0.6	8.3	0.6	41.8
$0.5 \leq H < 1.5$	4.4	0.6	7.8	3.3	9.4	0.6	11.1	5.0	0	0	1.7		1.7	0.6	2.2	0.6	49.0
$1.5 \leq H < 3.0$	0.6	1.1	3.9		1.1	0.6	1.7										9.0
$3.0 \leq H < 5.0$	0.6																0.6
总频率, %	11.1	1.7	16.7	3.9	15.6	2.2	15.6	6.1	0.6	1.1	6.1		6.7	1.1	10.6	1.1	100
最大波高, m	3.0	2.4	2.8	1.3	2.0	1.8	1.8	0.9	0.4	0.4	1.0		0.6	0.7	1.4	0	
最大平均周期, s	7.0	4.9	6.1	4.6	5.4	4.3	5.0	4.5	4.0	4.2	4.5		6.5	3.5	7.0	4.0	
最大波高, m	4.6	3.2	4.3	2.6	3.6	3.1	3.1	1.9	1.2	1.2	1.2		0.8	1.3	2.8	0.9	

表 1-7 夏季各波级频率 (%) 及波高、周期最大值

方向 项目	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	各级 总额
$0 \leq H < 0.5$	1.4	3.1	3.9	2.2	3.1	7.8	7.2	5.9	4.5	3.3	1.7	2.2	1.7	3.3	5.0	1.4	57.7
$0.5 \leq H < 1.5$	0.6	2.8	4.5	1.7	4.2	4.5	2.8	1.1	0.3	2.8	0.6	0.8	1.4	2.0	1.7	2.8	34.6
$1.5 \leq H < 3.0$	0.6	0.3	1.4	1.7	10.8	0.8	0.6	0.6		0.3	0.3	0.3				0.3	8.0
$3.0 \leq H < 5.0$	0.3																0.3
总频率, %	2.5	6.1	9.8	5.9	8.1	13.1	10.6	7.5	4.7	6.4	2.5	3.3	3.1	5.3	6.7	4.5	100
最大 1/10 波高, m	2.8	1.8	2.6	3.3	2.1	2.4	2.8	2.6	0.8	2.0	1.5	2.4	1.1	1.0	1.1	2.1	
最大平均周期, s	7.4	5.7	5.8	6.1	5.6	5.8	6.7	6.3	5.2	6.4	6.0	5.1	5.9	5.7	5.8	5.5	
最大波高, m	3.6	2.3	4.8	4.0	3.2	4.2	4.0	3.4	1.5	2.7	2.0	3.4	2.7	2.2	2.0	3.5	

本海域三季代表月中波浪总和以 NE 向波出现率最高为 10.3%，为常浪向，其次是 SE 向，出现率为 8.1%（表 1-6~表 1-8）。

2. 波高和周期

春、夏、秋各季及三季中不同波向各组波高的出现率，其结果列于表 1-9 中，可以看出，该海域春、夏、秋三季中 $H_{1/10} < 0.5\text{m}$ 的浪出现率为 51.1%，可以认为是常见浪， $0.5\text{m} \leq H_{1/10} < 1.5\text{m}$ 的出现率为 36.3%， $1.5\text{m} \leq H_{1/10} < 3.0\text{m}$ 的波高出现率为 11.8%，大于 3.0m 的波高出现率仅为 0.5%。

表 1-8 秋季各波级频率 (%) 及波高、周期最大值

方向 项目	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	各级 总额
$0 \leq H < 0.5\text{m}$	1.6	1.4	0.3	1.4	0.5	0.5	0.3	2.5	4.4	7.7	6.8	6.0	5.5	4.1	3.8	2.7	49.6
$0.5\text{m} \leq H < 1.5\text{m}$	2.5	1.6	1.6	3.0	1.4	1.1	1.1	1.6	3.3	1.4	0.8	1.4	0.3	1.4	3.6	6.0	32.4
$1.5\text{m} \leq H < 3.0\text{m}$	0.3	2.7	5.2	5.8	1.6	0.5	0.5	0.5								0.3	17.2
$3.0\text{m} \leq H < 5.0\text{m}$			0.5			0.3											
总频率, %	4.4	6.8	7.7	10.1	3.6	2.5	1.9	4.1	8.2	9.0	7.7	7.4	3.8	5.5	8.4	9.0	100
最大 1/10 波高, m	2.4	2.5	3.1	2.8	2.5	3.0	2.4	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.4	1.0	1.4	1.5	
最大平均周期, s	7.0	7.5	8.2	7.4	6.0	5.6	5.5	4.9	4.4	5.1	5.0	5.0	4.7	4.8	5.4	6.4	
最大波高, m	3.3	3.8	5.2	4.1	3.5	4.7	4.5	1.1	2.1	1.3	1.0	1.0	0.6	1.8	3.0	2.0	

表 1-9 春、夏、秋各波级频率 (%) 及波高、周期最大值

方向 项目	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	各级 总额
$0 \leq H < 0.5\text{m}$	2.3	1.8	2.7	1.5	2.4	3.5	3.5	3.5	3.7	4.6	4.3	3.3	3.9	3.1	5.2	1.8	15.1
$0.5\text{m} \leq H < 1.5\text{m}$	2.1	1.9	4.0	2.5	4.1	2.3	3.8	2.1	1.4	1.7	0.9	0.9	1.0	1.4	2.5	3.7	36.3
$1.5\text{m} \leq H < 3.0\text{m}$	0.4	1.4	3.4	3.0	1.2	0.7	0.8	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1				0.2	11.8
$3.0\text{m} \leq H < 5.0\text{m}$	0.1		0.2	0.1		0.1											0.5
总频率, %	5.0	5.1	10.3	7.2	7.7	6.6	8.1	5.9	5.3	6.4	5.3	4.3	4.9	4.5	7.7	5.6	100
最大 1/10 波高, m	3.0	2.5	3.1	3.3	2.5	3.0	2.8	2.6	0.8	2.0	1.5	2.4	1.1	1.0	1.4	2.1	
最大平均周期, s	7.4	7.5	8.2	7.4	6.0	5.8	6.7	6.3	5.2	6.4	6.0	5.1	6.5	5.7	5.8	6.4	
最大波高, m	4.6	3.8	5.2	4.1	3.6	4.7	4.5	3.4	2.1	2.7	2.0	3.4	2.7	2.2	3.0	3.5	

从表可知, $H_{1/10} > 3.0\text{m}$ 的波浪方向仅出现在 N, NE, ENE 和 ESE, 而 NE 向的出现率最高为 0.2%, 所以本海域的强浪向是 NE。这是由该方向易出现强风, 且风区长所致。

据资料统计结果, 本海域波浪平均周期最大为 8.2s, 相应的波向是 NE, 全年以 2~4s 的周期出现频率最高。当波高 ($H_{1/10}$) 为 2.0~2.5m 时, 平均周期一般在 5~6s。

CB20 井处波浪 $H_{1/10}$ 的月平均值 12 月份最大, 为 1.4m, 11 月份次之, 4、6、7 各月最小, 为 0.5m, $H_{1/10}$ 的月最大值中, 10 月份最大, 为 3.0m, 7 月份最小, 为 1.2m。

(二) 大浪过程

据观测资料, 埕岛海域有多次大浪过程的记录, 如 1964 年 4 月 5 日 08:00—7 日 08:00 有一次强冷空气过境, 风向稳定在 NNE—ENE, 它产生的大浪可看成重现期为 50 年一遇。最大波高 ($H_{\max}$) 达 6.5m, 最大有效波高 (H_s) 达 4.0m, 最大有效周期 (T_s) 达 7.5m, 大浪向是 NNE—NE—ENE 向, 与风向一致。1986 年 10 月 21—22 日 (最大波高为 5.2m) 和 1986 年 5 月 7 日—8 日 (最大波高为 4.6m) 的大浪过程来看, $H_{\max}=5.2\text{m}$ 的这次大浪发生在秋季, 它是由强冷空气过程过境所致。它的最大波高 ($H_{\max}$) 为 5.2m, 相应的 $H_{1/10}=3.1\text{m}$, 平均周期是 8.0s, 波向是 NE。 $H_{\max}=4.6\text{m}$ 的这次大浪过程出现在春季, 也是一个强冷空气过境形成的, 它的最大波高 ($H_{\max}$) 为 4.6m, 相应的 $H_{1/10}=3.0\text{m}$, 平均周期为 5.8s, 波向是 N。

从大浪过程波要素的发展规律分析, 每个大浪过程都分成长与消衰两个发展阶段。在成长阶段, 波浪都随风速增大、风时加长而迅速增大; 而在衰减阶段, 波高都随风速增大而减小, 且波高衰减较成长缓慢, 波浪周期变换不明显, 这主要是因为在上风区广大海域上形成的大浪其传播消衰需经过一段较长的时间。

(三) 多年一遇波浪要素

为给出设定海域内区域性多个点上不同重现期的波浪要素, 只能通过数值模拟方法对历史上出现过的大浪过程进行数值模拟, 选出各推算点上的极大值序列, 然后由极值比分布率外推得到。

1. 波浪数值模式

海浪数值计算模式, 已先后发展出三代模式, 这三代模式的根本差异, 集中表现在源函数的取舍和处理方法的异同, 虽然第三代模式的物理性质较强, 但是由于海浪生成机制的复杂性, 人们一时难以研究清楚, 而且非线性能量转移项计算需耗费大量计算机时, 因此, 现在许多国家进行海浪业务计算仍采用第二代或第一代模式。此类模式计算较简单, 而且具有较高的精确度。YW—SWP 区域海浪演化数值计算模式属第二代类型, 但有所改进, 其特点是: 1) 模式从组成波谱能量平衡方程出发, 直接采取离散谱方法进行风浪和涌浪的计算; 2) 在模式中考虑了地形变化引起的浅水效应, 使其在浅水条件下具有很好的适用性; 3) 模式在源函数的选取上吸取了第二代和第三代模式的一些最新成果; 4) 模式中采取最新风浪谱进行非线性波一波相互作用的处理; 5) 考虑了风浪和涌浪的相互转化问题; 6) 区分了浅水深度破碎和“白帽破碎”两个不同的机制; 7) 计算采用粗细嵌套网络; 8) 对开边界提出了一个能量驱动方法以及涌浪传入条件。因此, 对于地形复杂、水深梯度较大的海域有较好的适用性。

结合海港海域的海浪长期演化规律, 用上述模式进行数值计算, 关键是在模式中引进由水深地形变化而引起的海浪要素的变化, 这由模式中的水深因子及浅水深度破碎机制来表现。

2. 模式检验

在将模式应用于实际计算之前, 必须对模式的可靠性和准确性进行检验, 为此选取了位

于渤海海区域内的 5 个较有代表性的实测过程作为检验模式的基础（见表 1-10 和图 1-1）。

表 1-10 检验海浪模式的五个大风过程与观测点位置

检验过程	计算起止时间	观测点位置	水深, m
CF8710	1987. 10. 29. 02-1987. 11. 01. 02	39°54'10"N 120°45'34"E	31
SW8611	1986. 11. 10. 14-1986. 11. 12. 20	40°38'31"N 121°20'13"E	16
SW8805	1988. 05. 26. 08-1988. 05. 29. 08	40°12'29"N 121°07'12"E	25
SW8806	1988. 06. 29. 08-1988. 07. 01. 02	38°19'12"N 119°41'07"E	22
CF8510	1985. 10. 15. 14-1985. 10. 17. 14	38°15'00"N 118°43'00"E	9. 5

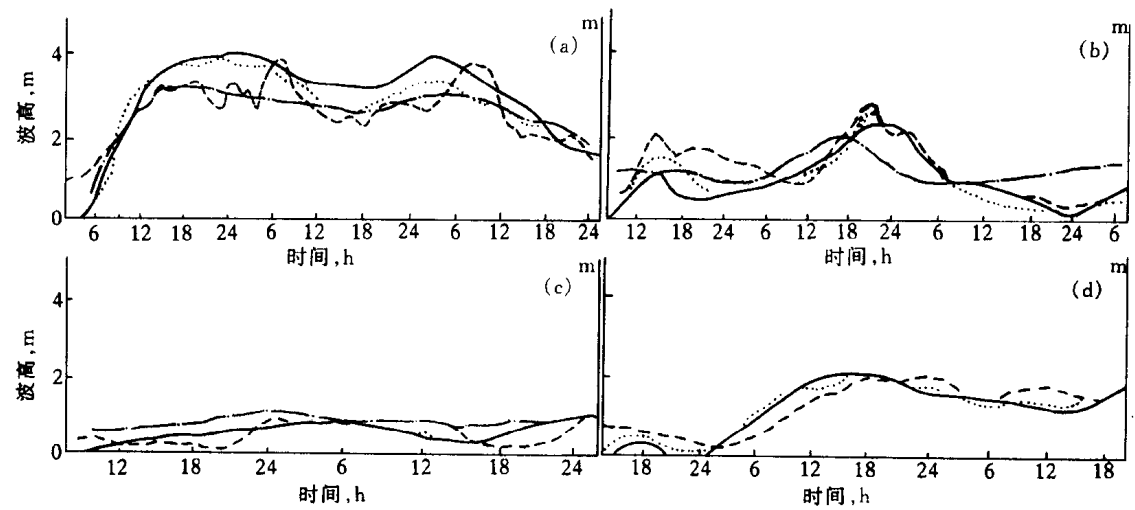


图 1-1 数值模拟与实测比较

(a) 1987. 10. 29. 02-1987. 11. 01. 02; (b) 1988. 05. 29. 08-1988. 05. 29. 08;
(c) 1988. 06. 29. 08-1988. 07. 01. 02; (d) 1986. 11. 10. 14-1986. 11. 13. 08

——国家海洋局一所结果；---实测结果；·····本模式结果；- · - · -青岛海洋大学结果

从前 4 个风场特征来看，CF8710 是一个强寒潮过程，其余 3 个为南风过程；为了检验模式第二重括号折射项的作用，选了一个有部分实测资料且水深较浅的一个寒潮过程 CF8510，以检验模式对深度的适用性。在实测个例检验中，将我们计算结果与实测资料的结果进行了比较和分析（见表 1-11）。

表 1-11 计算极值与实测极值比较

个例	特征值	有折射计算极值	无折射计算极值	观测极值	绝对误差	相对误差, %
CF8710	$H_{1/3}$ (m)	3.97	3.98	3.90	0.07, 0.08	1.8, 2.1
	$T_{1/3}$ (s)	7.50	7.62	8.20	0.70, 0.58	8.5, 7.1
SW8611	$H_{1/3}$ (m)	2.08	2.20	2.00	0.08, 0.20	4.0, 10.0
	$T_{1/3}$ (s)	6.90	7.30	6.30	0.60, 1.00	9.5, 15.9
SW8805	$H_{1/3}$ (m)	2.50	2.52	2.70	0.20, 0.18	7.4, 6.7
	$T_{1/3}$ (s)	6.14	6.17	4.80	1.34, 1.37	27.9, 28.5
SW8806	$H_{1/3}$ (m)	0.95	0.96	1.20	0.25, 0.24	20.8, 20.0
	$T_{1/3}$ (s)	4.24	4.25	5.10	0.86, 0.85	16.9, 16.7

续表

个例	特征值	有折射计算极值	无折射计算极值	观测极值	绝对误差	相对误差, %
平均值	$H_{1/3}$ (m)				0.15, 0.18	8.5, 9.0
	$T_{1/3}$ (s)				0.88, 0.95	15.7, 17.1
CF8510	$H_{1/3}$ (m)	2.30	2.60	2.50	0.20, 0.10	8.0, 4.0
	$T_{1/3}$ (s)	5.80	6.11	6.20	0.40, 0.09	6.5, 1.5

从表 1-11 可以看到, 无论大风过程 CF8710, 还是小风过程 SW8806, 整体模拟曲线与实测曲线吻合较好, 且波高的最大绝对误差为 0.25m, 最小的仅为 0.07m, 前 4 个过程波高的平均相对误差仅为 8.5%, 对 CF8510, 波高的绝对误差为 0.20m, 在目前的模式中, 在浅水处能达到如此的模拟误差是非常令人满意的。另外, 还可以看到, 对较深水 (20m) 折射效应不是很明显, 但对浅水处 (约 9.5m), 本模式给出的折射和无折射的结果相差 30m, 说明模式中第二重括号折射项在 10m 左右水深以浅海域影响明显, 而对较深水域无明显效应, 即模式对深水区和浅水域都有较好的适应性。此外, 还可看到模式对大风过程的模拟误差更小。因此, 模式对灾害性天气过程会给出更好的结果。

3. 海浪模拟结果及其设计波要素推算

按照海浪数值模式, 针对整个渤海海域, $117^{\circ}30'E-112^{\circ}30'E$, $37^{\circ}-41^{\circ}N$, 采取了嵌套网格计算, 其中对 $118^{\circ}24'E-119^{\circ}28'E$, $37^{\circ}18'N-38^{\circ}18'N$ 采用 $4' \times 4'$ 的细网格以分辨出该浅水区复杂地形冲淤变化引起的波浪变化, 对其它区域采用 $12' \times 12'$ 的网格, 并分别采用稳定平衡状态的水深和 1994 年的水深。为了了解该区域波浪特征, 给出多年重现期设计波要素, 选用了过去 28 年间的 41 个风过程进行波浪数值计算, 其中寒潮 26 个, 南风 11 个, 台风 4 个。

可以得到如下几点结论:

1) 寒潮所致的波浪场分布, 首先在辽东湾达到较大值, 然后逐渐向南移动, 在莱州湾海域产生整个过程的最大波浪分布, 由南风所致的大浪主要集中在渤海的中部和辽东湾海域的南部。

2) 黄河海港海域的大浪主要由寒潮产生, 方向大约为 NE 向, 这与实测结果相吻合。

3) 有效波高在全场的大小分布基本上与水深等值线的变化一致, 这是底摩擦作用的结果。在计算渤海这样的浅海海浪时, 必须要考虑底摩擦作用和浅水破碎限制。

4) 后报有效波高的大小分布与风场的时空演化存在着较好的响应, 波浪传播的主要方向和风场吻合较好。

为了给出该区域 10 年、20 年、50 年和 100 年一遇设计波要素, 选用 20 个较大过程为样本值, 利用 Weibul 分布推算了不同重现期的波要素, 表 1-12~表 1-17 分别给出了校核水位和设计水位条件下该海区三个断面 (东、中、西) 上 9 个点 (远、中、近) 的不同重现期的波高和周期分布。

表 1-12 校核高水位下东断面多年一遇波要素

地点	10			20			50			100			波向
	$H_{\max}$	H_s	T_s	$H_{\max}$	H_s	T_s	$H_{\max}$	H_s	T_s	$H_{\max}$	H_s	T_s	
远	5.9	3.4	7.2	6.4	3.8	7.4	7.0	4.1	7.7	7.5	4.3	7.9	45°
中	5.9	3.4	7.2	6.5	3.8	7.5	7.1	4.1	7.7	7.6	4.3	7.9	45°
近	5.6	3.3	6.9	6.0	3.5	7.2	6.7	3.9	7.5	7.1	4.1	7.7	45°

表 1-13 校核高水位下中断面多年一遇波要素

重现期 a	10			20			50			100			波向
	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	
远	5.6	3.3	7.0	6.2	3.6	7.3	6.8	4.0	7.6	7.2	4.2	7.8	48°
中	5.5	3.1	6.9	6.0	3.5	7.1	6.5	3.7	7.4	6.9	4.1	7.7	48°
近	4.2	2.4	6.1	4.8	2.7	6.3	5.1	3.1	6.6	5.4	3.2	6.7	48°

表 1-14 校核高水位下西断面多年一遇波要素

重现期 a	10			20			50			100			波向
	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	
远	5.5	3.2	6.9	6.0	3.5	7.2	6.7	3.9	7.5	7.1	4.1	7.7	51°
中	5.1	3.0	6.6	5.6	3.3	6.9	6.2	3.6	7.2	6.6	3.9	7.4	50°
近	3.3	2.0	5.3	3.7	2.3	5.5	4.1	2.5	5.7	4.4	2.6	5.9	50°

表 1-15 设计高水位时东断面远、中、近点多年一遇波要素

重现期 a	10			20			50			100			波向
	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	
远	5.7	3.3	7.1	6.3	3.6	7.4	6.8	4.0	7.7	7.2	4.4	7.8	45°
中	5.7	3.3	7.0	6.2	3.6	7.3	6.8	4.0	7.6	7.2	4.2	7.8	45°
近	5.3	3.1	6.7	5.8	3.4	7.0	6.4	3.7	7.3	6.8	4.1	7.5	45°

表 1-16 设计高水位时中断面远、中、近点多年一遇波要素

重现期 a	10			20			50			100			波向
	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	
远	5.4	3.2	6.9	6.0	3.5	7.2	6.6	3.8	7.5	6.9	4.0	7.6	48°
中	5.1	3.0	6.8	5.6	3.4	7.0	6.1	3.6	7.3	6.5	3.8	7.4	48°
近	3.4	2.2	6.2	3.8	2.3	5.8	4.1	2.4	5.9	4.3	2.5	6.2	48°

表 1-17 设计高水位时西断面远、中、近点多年一遇波要素

重现期 a	10			20			50			100			波向
	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	H_{max} m	H_s m	T_s s	
远	5.3	3.1	6.8	5.8	3.4	7.1	6.4	3.7	7.4	6.8	4.0	7.5	51°
中	4.7	2.7	6.4	5.2	3.0	6.7	5.8	3.3	6.9	6.1	3.6	7.1	50°
近	2.2	1.3	4.2	2.6	1.5	4.4	3.1	1.7	4.5	2.9	1.8	4.6	50°

(四) 海浪谱

海浪谱不仅可以有效的描述海浪内部结构，而且与海浪的外观特征（波高、周期等）有固定联系。因而它对许多应用问题，特别对研究水工建筑物在波浪作用下的受力情况是不可缺少的重要依据。

1. 资料处理

挑选平均波高大于 0.8m 的海浪连续记录 94 份, 每份记录时间 15—20min, 记录波数 120 个以上, 所选资料对本区有较好的代表性。

波浪连续记录的采样间隔 Δt 分别为 0.25s、0.5s、0.75s, 样本总量为 1024 或 2048。用快速付氏变换分析波谱方法进行波谱计算, 并用 17 点平滑求得平滑谱。依此, 计算谱的各阶距、谱宽度 ϵ 及其相应的特征波要素 (平均波高 $\bar{H}$, 平均周期 $\bar{T}$ 等)。

2. 实测个例谱

分析得到的海浪个例曲线 (如图 1-2 所示) 及相应的特征量, 特别是谱宽度, 可以看出:

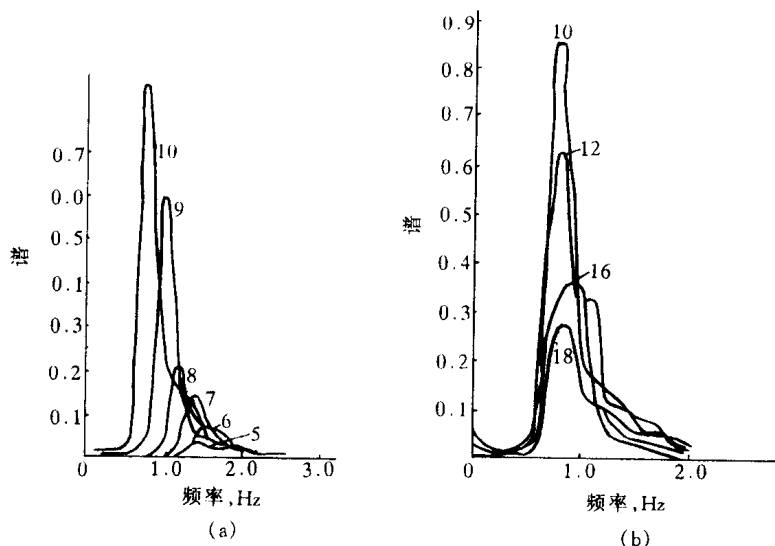


图 1-2 海浪个例曲线

(a) 成长过程海浪谱; (b) 消衰过程海浪谱

1) 本区海浪 (平均波高大于 0.8m) 个例谱, 具有明显的单峰特征。谱峰值随海浪的成长逐渐增大, 同时, 谱峰对应的频率则逐渐向低频方向推移。

2) 谱峰频率 (ω_0) 与平均频率 ($\bar{\omega}$) 的比值 ($\omega_0/\bar{\omega}$), 介于 0.568~0.928 之间, 平均为 0.755。这一结果表明, 在本海区中, 波谱的能量主要集中在小于平均频率的频段内, 即约集中在周期为平均周期 1.32 倍的海浪上。

3) 本区实测海浪谱的谱宽度 ϵ 介于 0.36~0.68 之间, 其平均值为 0.51, 这一结果说明本区风浪谱的谱宽度与国外测得的谱宽度值 (通常介于 0.2~0.9) 是一致的。谱宽度是反应谱内能量集中程度的一个量, 即窄谱表示能量集中, 宽谱表示能量分散。从计算得到的平均谱宽度看出, 本区海浪能量集中于一个较窄频段内。

3. 由实测谱拟合的当地经验波谱

考虑到该区个例谱具有单峰谱特征, 所以该区谱的基本形式可经验地认为是:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^p} \exp\left(-\frac{B}{\omega^q}\right) \quad (1-1)$$

式中 ω ——圆频率;

A 、 B 、 p 、 q ——特定量, 后两者是无因次量。

为确定 p 、 q , 以无因次频率 $\frac{\omega}{\omega_0}$ 代入式 (1-1) 得