

· 综 合 ·



大连海域波浪特征研究

李孟国, 肖 辉, 张义丰

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 根据大连及其附近海域11个站的波浪实测资料, 研究分析了大连海域不同岸线段的波浪基本特征, 包括常浪向、强浪向及其频率等, 绘制了波浪玫瑰图; 根据有关文献, 对大连海域不同岸线外海深水波浪要素特征进行了分析研究, 给出了50 a一遇强浪向的波高和周期。结果表明: 大连海域在渤海侧强浪向主要为偏北向, 黄海侧海域的强浪向主要是偏南向。

关键词: 波浪; 设计波要素; 强浪向; 常浪向

中图分类号: TV 139.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0019-07

Wave characteristics of Dalian sea area

LI Meng-guo, XIAO Hui, ZHANG Yi-feng

(Key Laboratory of Engineering Sediment of the Ministry of Transport, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: According to the wave data of 11 wave observation stations in Dalian sea area and nearby, the basic wave features of dominated wave directions, the strongest wave directions and their frequencies on different coastline segments are studied, and wave rose diagrams of 11 stations are drawn. Based on relevant literatures, the out-sea deepwater design wave characteristics on different coastline segments are analyzed, and the 50-year frequency wave heights and wave periods are presented. The results shows that the strongest wave direction in Dalian sea area in Bohai sea is of near-north, and that in Huanghai sea is of near-south.

Key words: wave; design wave characteristics; strongest wave direction; dominated wave direction

大连市位于辽东半岛, 三面环海。大连海岸线总长度2 211 km, 其中大陆岸线长1 371 km, 岛屿岸线840km, 是全国海岸线最长的城市, 管辖海域面积2.9万km²。为了发展经济, 必须对海岸线进行开发利用。在对海岸线的开发中, 港口开发建设如火如荼: 从大窑湾至老虎滩近百千米的海岸线上, 平均每4 km就有一座港口, 是中国港口密度最高的“黄金海岸”, 大连港地处辽东半岛南端的大连湾内, 港阔水深, 冬季不冻, 万吨货轮畅通无阻。目前, 大连的旅顺港区、长兴岛港区、太平湾港区、登沙河港区、皮口港区、庄河港区等或在规划或在设计或在建设中。除了港口

建设, 还有围垦工程、护岸工程、庄河核电取排水工程等。

众所周知, 波浪是一种重要的海洋动力因素, 在海岸工程中, 波浪推算和计算是一项重要工作^[1]。无论是码头建设、防波堤建设、围垦堤坝建设、还是核电厂取水明渠建设, 都要首先了解重现期波浪要素, 以确定码头面(防波堤堤顶、围垦区等)高程、堤坝结构等。环抱式港池的设计、挖入式港池的设计尚需进行泊稳计算和波浪作业天数计算, 港池口门选取还要尽量避开强浪向和常浪向。

在大连及其附近海域, 有10余个测波站(鲅

收稿日期: 2012-10-09

作者简介: 李孟国(1964—), 男, 博士, 主要从事海岸河口水动力泥沙研究。

鱼圈、江石底、温坨子、长兴岛、双岛湾、北隍城、老虎滩、大窑湾、小长山、庄河物流码头、大鹿岛，见图1)的测波资料，有若干关于深水波要素的研究成果文献。本文根据这些资料和成果，对大连海域的波浪特征进行研究分析。

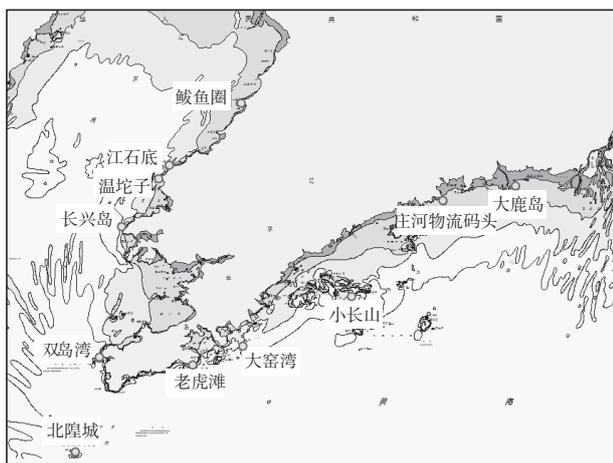


图1 测波站位置

1 波浪基本特征

1.1 测波站资料

共收集到11个测波站的测波资料：

鲅鱼圈站 (40°18' N, 122°06' E) 2009-07—2010-06；

江石底站 (39°51' N, 121°31.5' E) 2008-08—2009-09；

温坨子站 (39°48' N, 121°28' E) 2001-01—2003-12；

长兴岛站 (39°32.5' N, 121°13.6' E) 2004-12—2007-11；

双岛湾站 (38°53' N, 121°04' E) 2003-10—2004-09；

北隍城站 (38°24' N, 120°55' E) 2010-01—2011-12；

老虎滩站 (38°51.6' N, 121°41.2' E) 2011-01—2011-12；

大窑湾站 (38° 57' N, 121°58.5' E) 1985-06—1986-05。

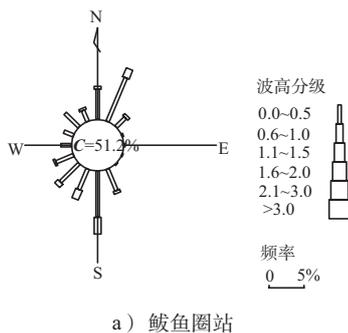
庄河物流码头站 (39°41' N, 123°16' E) 1997-08-01至1998-08-02日共285d的资料 (其中1997-12-10—1998-02-28为冬季结冰期停止

观测)。

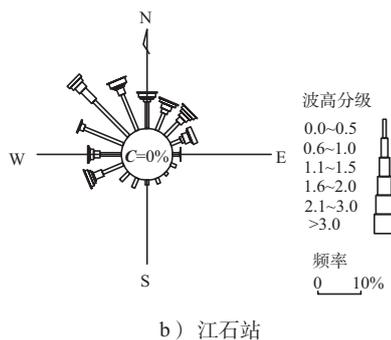
大鹿岛站 (39°45' N, 123°45' E) 1968、1969、1974、1977、1979、1980年，由于大鹿岛海域12月一次年3月间为结冰期，因此该段时间内无实测波浪资料。

1.2 测波站波玫瑰图

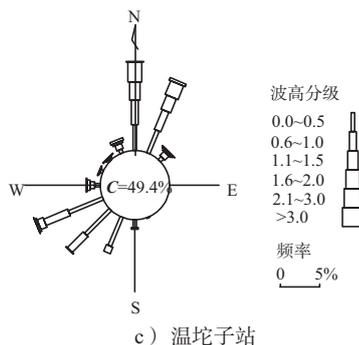
图2为各测站波浪玫瑰图。



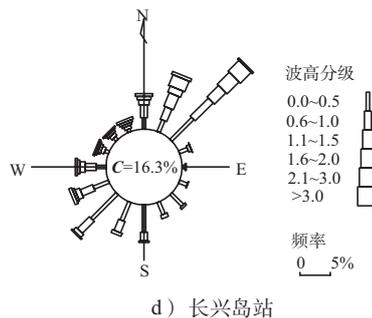
a) 鲅鱼圈站



b) 江石站



c) 温坨子站



d) 长兴岛站

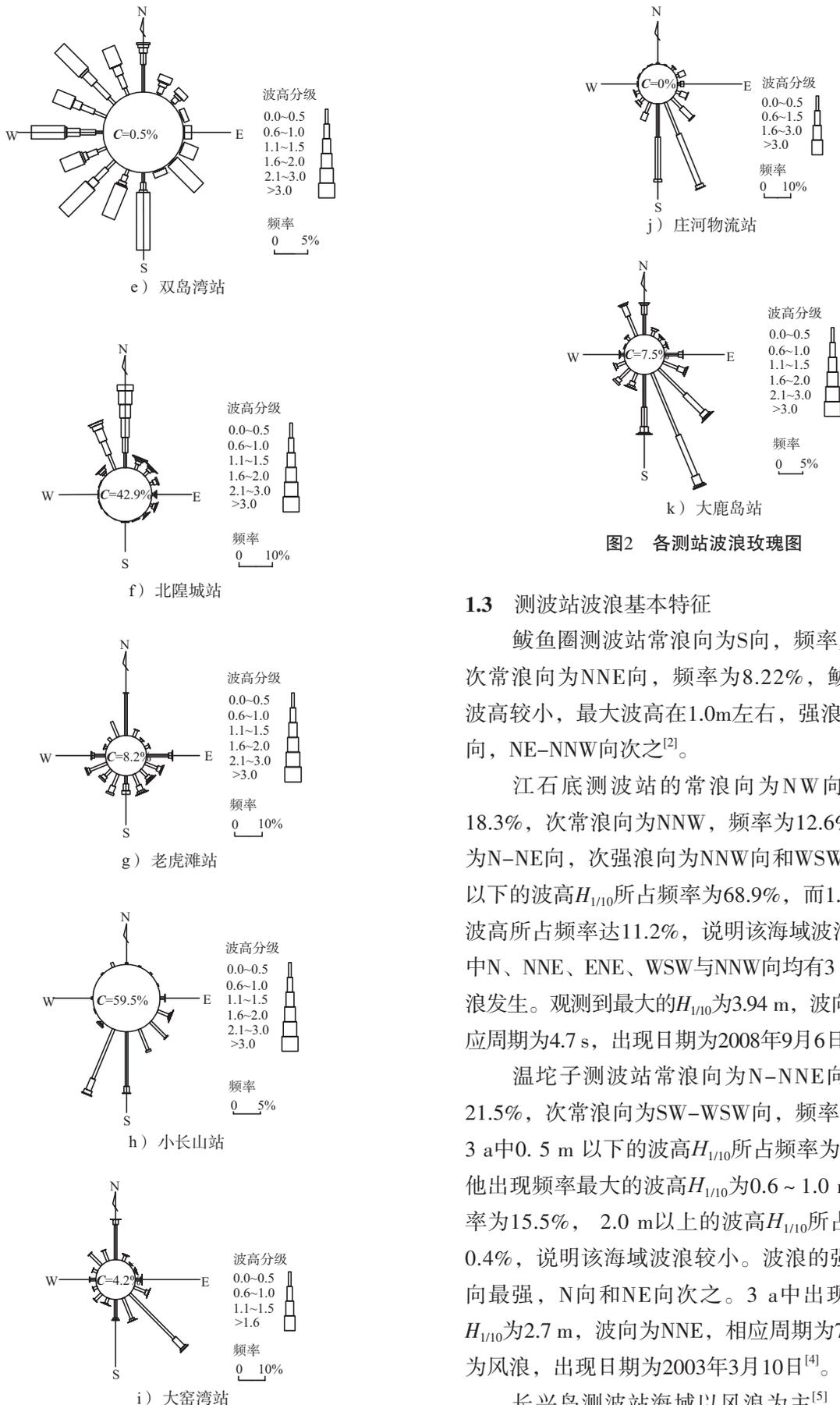


图2 各测站波浪玫瑰图

1.3 测波站波浪基本特征

鲅鱼圈测波站常浪向为S向, 频率为9.18%, 次常浪向为NNE向, 频率为8.22%, 鲅鱼圈海域波高较小, 最大波高在1.0m左右, 强浪向为S-SW向, NE-NNW向次之^[2]。

江石底测波站的常浪向为NW向, 频率为18.3%, 次常浪向为NNW, 频率为12.6%, 强浪向为N-NE向, 次强浪向为NNW向和WSW向。0.5 m以下的波高 $H_{1/10}$ 所占频率为68.9%, 而1.5 m以上的波高所占频率达11.2%, 说明该海域波浪较强, 其中N、NNE、ENE、WSW与NNW向均有3 m以上的大浪发生。观测到最大的 $H_{1/10}$ 为3.94 m, 波向为NE, 相应周期为4.7 s, 出现日期为2008年9月6日^[3]。

温坨子测波站常浪向为N-NNE向, 频率占21.5%, 次常浪向为SW-WSW向, 频率占16.5%。3 a中0.5 m以下的波高 $H_{1/10}$ 所占频率为72.4%, 其他出现频率最大的波高 $H_{1/10}$ 为0.6~1.0 m, 所占频率为15.5%, 2.0 m以上的波高 $H_{1/10}$ 所占频率仅为0.4%, 说明该海域波浪较小。波浪的强度以NNE向最强, N向和NE向次之。3 a中出现的最大的 $H_{1/10}$ 为2.7 m, 波向为NNE, 相应周期为7.5 s, 波型为风浪, 出现日期为2003年3月10日^[4]。

长兴岛测波站海域以风浪为主^[5], 最多风浪

向秋、冬、春季为NE向,夏季为SW向,风浪方向具有明显的季节性;最多涌浪向为WSW向和N向。常浪向为NE向,频率为17.6%,次常浪向为SW向,频率为9.6%;强浪向为NNE向,最大波高为5.4 m,次强浪向为NE向,最大波高为5.2 m。全年 $H_{1/10}$ 波高主要集中于0.0~1.0 m,频率占75.8%, $H_{1/10}$ 波高1.1~2.0 m占频率16.6%, $H_{1/10}$ 波高大于3.0 m仅占频率1.0%。

双岛湾海域以风浪为主^[6-7],涌浪频率不足30%。常浪向为NW向,频率11.78%,次常浪向为S,频率11.56%;强浪向为NW,实测最大波高4.4 m,实测 $H_{1/10}>2.0$ m以上出现频率5.07%,次强浪向为N向;SE、E、SSW、SW、W向 $H_{1/10}>2.0$ m出现频率都在5%以上。

北隍城测波站海域常浪向为N向,频率24.66%,次常浪向为NNW向,频率为15.09%;强浪向为N向, $H_{1/10}>3.0$ m的频率达1.85%,次强浪向为NNE向, $H_{1/10}>3.0$ m的频率达0.21%。本海域 $H_{1/10}>2.0$ m的频率达7.3%,波浪动力较强。

老虎滩海域常浪向为N向,次常浪向为E向,所占频率分别为15.7%和9.5%;强浪向为SE向和SSE向^[8],年平均波高 $H_{1/10}$ 分别为0.7 m和0.6 m,年最大波高 $H_{1/10}$ 分别为2.1 m和2.2 m,平均周期分别为6.6 s和6.7 s。

大窑湾测波站位于大窑湾湾口^[9],测波点距岸上信号接收站7.5 km,测点水深为-28 m。常浪向为SE向,次常浪向为N向,所占频率分别为29.13%和15.03%;强浪向为SE向,次强浪向为ESE和SSE向^[8]。观测期间恰好有8509号特大台风登陆,但由于某种原因,与最大风速对应的波浪观测缺测,陈路华^[9]根据现场实测资料,对8509号台风生成的最大波高进行了计算,得出最大波高为7.89 m,平均周期9.7 s,波向SE向。翁克勤等^[10]根据实测资料对风浪频谱进行了分析,给出了风浪频谱的表达式;常征^[11]根据实测资料对波浪的方向性进行了分析,给出了方向谱表达式。

小长山测波站海域以风浪为主^[12-13],涌浪为辅。常浪向为SSW向,频率为13.15%,次常浪向为S向,频率为11.46%。强浪向为ESE向,实测

最大 $H_{1/10}$ 波高2.5 m,次强浪向为SSW向,实测最大 $H_{1/10}$ 波高1.6 m。波高 $H_{1/10}>1.0$ m以上出现频率1.67%,波高 $H_{1/10}>1.5$ m以上出现频率0.29%。

庄河物流码头站的常浪向为SSE向,次常浪向为S向,出现频率分别为34.7%、29.1%,波向主要集中于ESE-SSW向,频率达86.2%;强浪向为SSE向,次强浪向为S向。 $H_{1/10}$ 波高大于1.5 m的频率为3.4%;实测最大波高为5.42 m(9711号台风造成)^[12],波向为SSE向。

大鹿岛测波站的常浪向为SSE向,次常浪向分别为SE、S向,出现频率分别为26.2%、14.6%、12.7%,波向主要集中于SE-S向,频率占53.5%。强浪向位于SE-SSW向之间,最大波高为4.0 m(SSE向,1991年),其次为3.8 m(S向,1968年);各向多年平均 $H_{1/10}$ 均在1.0 m以下,最大为0.7 m(S向), $H_{1/10}$ 波高大于1.5 m的频率为17.1%^[12,14]。

综合以上分析,在渤海侧海岸,强浪向均为偏北向,在黄海侧海岸,强浪向均为偏南向。

2 外海深水设计波浪要素

2.1 各岸段深水设计波浪要素

1) 太平湾海域。

肖辉等^[15]使用1988—2007年20 a间影响太平湾海域的台风、寒潮等恶劣大风天气过程,利用ECMWF(欧洲中长期预报研究中心)和NCEP(美国国家海洋环境预报中心)历史再分析风场资料和区域气候模式MM5计算出工程附近海域10 m高度的再分析风场,用海浪数值模式SWAN计算对应的浪场,得到了外海深水处-20 m等深线的极值波要素,通过P-III型极值分布分析得到了深水处重现期设计波要素。并使用温坨子(红沿河核电厂址)外海-15 m等深线的设计波要素进行了验证。

计算结果表明,太平湾外海-20 m等深线50 a一遇强浪向N向 $H_{1/10}$ 波高5.13 m(有效波高4.22 m),平均周期7.52 s。

2) 江石底海域。

为了在江石底建设江石底核电厂的需要,天津市海岸带工程有限公司^[3]进行了本海域深水波

要素计算。文献[3]认为,由于江石底核电厂址的特殊地理位置,所有进入渤海的强台风,引起的该海域台风浪均较低,核厂址所在海域最大浪高是由温带风暴引起的。温带天气系统引起江石底核电厂址附近海域波浪的成长是由控制辽东湾的区域性强风所造成的,文献[3]选择位于辽东湾东西两岸的温坨子和葫芦岛两测站不同风向风速的平均代表辽东湾的区域性强风,得到江石底核电站16个风向的1 000、100、50 a一遇的辽东湾海面风速,通过温带风暴波浪的数值计算,得到了外海-20 m水深处N-NNE、NW和WSW-SW向的重现期波要素。计算结果表明,江石底外海-20 m等深线50 a一遇强浪向NW向 $H_{1/10}$ 波高7.00 m(有效波高5.83 m),平均周期9.47 s。

3) 温坨子海域。

为了在温坨子附近建设红沿河核电厂的需要,天津市海岸带工程有限公司^[4]进行了本海域深水波要素计算。文献[4]采用温坨子海洋站1987—2004年共18 a的 $H_{1/10}$ 年极值波高及平均周期资料,按照中华人民共和国行业标准JTJ 213—1998《海港水文规范》的要求,分别对影响工程海域10个主要方位即S-NNE向,选取 $H_{1/10}$ 年最大值和平均周期,进行皮尔逊III型频率曲线分析,得到了外海水深-15 m处重现期设计波浪要素。计算结果表明,温坨子外海-15 m等深线50 a一遇强浪向N向 $H_{1/10}$ 波高4.71 m,平均周期7.78 s。

如上所述,文献[15]就推算的太平湾外海-20 m等深线各向50 a一遇的波要素与温坨子外海-15 m等深线的各向50 a一遇的波要素进行了对比验证,误差在10%以内。

4) 长兴岛海域。

肖辉等^[16]使用在太平湾海域推算外海深水设计波浪要素相同的方法,推算了长兴岛海域的外海-30 m的深水设计波浪要素。长兴岛外海-30 m等深线50 a一遇强浪向N向 $H_{1/10}$ 波高6.11 m(有效波高4.99 m),平均周期8.28 s。

文献[16]推算的强浪向是N,次强浪向是NNE,与长兴岛多年(1961—1982年)风资料的强风向和次强风向相吻合^[7],与太平湾海域、温坨子海

域的结果匹配。

5) 西中岛海域。

肖辉等^[16]使用在长兴岛海域推算外海深水设计波浪要素相同的方法,推算了西中岛海域的外海-30 m的深水设计波浪要素。西中岛外海-30 m等深线50 a一遇强浪向N向 $H_{1/10}$ 波高6.28 m(有效波高5.13 m),平均周期8.3 s。

6) 旅顺双岛湾海域。

南京水利科学研究院采用风推浪的方法得到了双岛湾外海-30 m等深线的NW-WNW、W-WSW、SW-SSW、S-SSE向的各重现期设计波浪要素^[7]。50 a一遇强浪向NW-WNW向 $H_{1/10}$ 波高6.0 m(有效波高4.90 m),平均周期8.4 s。

大连理工大学采用北隍城和老虎滩2个站的测波资料进行推算得到了双岛湾外海-30 m等深线的NW、W(WNW)、SW(WSW)、S(SSW)向的各重现期设计波浪要素^[6]。50 a年一遇强浪向NW向 $H_{1/10}$ 波高7.46 m(有效波高6.07 m),平均周期10.9 s。

7) 北隍城海域。

根据北隍城测波站1960—2006年共47 a的波浪资料统计分析^[6,18],得到了北隍城海域深水各重现期设计波浪要素,50 a一遇强浪向NW的 $H_{1/10}$ 为8.42 m,平均周期10.9 s。

8) 老虎滩海域。

根据老虎滩测波站1963—2002年共40 a的波浪资料统计分析^[19-20],得到了老虎滩海域深水各重现期设计波浪要素(-30 m等深线),50 a一遇强浪向SE(ESE) $H_{1/10}$ 为6.7 m,平均周期9.0 s。翁克勤^[21]在大连大窑湾港区设计波浪推算时,使用老虎滩测波站自1963年以来的20多年的测波资料,按常规方法推算了外海设计波浪要素,并将其向东平移27 km,作为大窑湾口外同一水深(-28 m)处的设计波浪。翁克勤推算的50 a一遇强浪向SE(ESE) $H_{1/10}$ 为6.1 m。

9) 小长山海域。

交通运输部天津水运工程科学研究所^[12]和南京水利科学研究院^[13]分别根据小长山测波站1970—2002年共33 a各向年极值 $H_{1/10}$ 波高,采用频

率拟合曲线分析出测站各方向的重现期波高,结果相差无几,50 a一遇强浪向S的 $H_{1/10}$ 为4.76 m;交通运输部天津水运工程科学研究所使用33 a的各向年极值周期采用频率拟合曲线分析测站各方向的重现期周期,50 a一遇强浪向S的平均周期为7.8 s。

交通运输部天津水运工程科学研究所^[12]为了计算大连港庄河港区海域的设计波浪要素,把小长山测波站的各重现期波要素外推到-30 m水深处,强浪向仍是S向,次强浪向是SSE向,50 a一遇 $H_{1/10}$ 波高分别为6.27 m和6.08 m。

南京水利科学研究院^[13]为了计算大连港皮口港区海域的设计波浪要素,把小长山测波站的各重现期波要素外推到-40 m水深处,强浪向是SSE向,次强浪向是S向,50 a一遇 $H_{1/10}$ 波高分别为6.54 m和6.42 m。

10) 大鹿岛海域。

交通运输部天津水运工程科学研究所^[12, 14]使用大鹿岛测波站1965—1992年共28 a的各向年极值 $H_{1/10}$ 波高为基础,采用PIII频率分析得到了测波站不同方向不同重现期设计波要素,50 a一遇强浪向S(SSE)的 $H_{1/10}$ 为4.70 m,平均周期8.6 s。

文献[12]将大鹿岛测波站的各方向各重现期波要素外推到-30 m等深线,强浪向是SSE向,次强浪向是S向,50 a一遇 $H_{1/10}$ 波高分别为5.78 m和5.74 m。与用小长山测波站的各重现期波要素外推到-30 m水深处的比,对于SW-ESE向波浪,小长山海洋站推算得到的深水波要素普遍大于大鹿岛海洋站推算结果,差值约在10%左右,而对于E向波浪,小长山海洋站推算结果略小,这与小长山测波站位置对于E向的开敞程度有关。

2.2 综合分析

1) 从外海深水波要素可以看出,对于大连海域,在渤海侧海岸,重现期波浪强浪向均为偏北向,在黄海侧海岸,重现期波浪强浪向均为偏南向。影响大连海域渤海侧的主要恶劣天气是寒潮和温带气旋(台风很难影响),这些恶劣天气均来自偏北方;而在黄海侧,这些寒潮和温带气旋则成了离岸风,对于黄海侧海岸不会产生大浪,影响黄海侧的大浪无疑是来自黄海的台风引起的

长风区波浪。

2) 从上面的外海深水50 a一遇强浪向波高看,渤海侧西中岛、旅顺双岛湾、北隍城的 $H_{1/10}$ 波高分别达6.5, 7.46和8.42 m,而黄海侧老虎滩、小长山外海的波高分别为6.7 m和6.54 m,虽然渤海是内海,黄海属外海,但两侧海域的波高相当,渤海侧甚至更大。

3) 对重现期设计波要素的推算,用不同的方法可能会得到不同的结果:如上面的江石底海域和温坨子海域的结果是用不同方法得到的,差异是明显的,综合太平湾海域、温坨子海域、长兴岛海域的结果,江石底的结果有些偏大;又如双岛湾海域的结果,不同的方法也存在明显差异。

3 结语

1) 大连海域三面环海,在渤海侧海域,无论是实测资料的强浪向,还是设计波浪的强浪向,都是偏北向,而在黄海侧则都是偏南向。

2) 从深水50 a一遇设计波浪来看,虽然渤海是内海,黄海是外海,但大连海域渤海侧的强浪向波高与黄海侧相当,甚至更强。

3) 外海深水设计波浪要素对海岸工程设计是必要的设计参数,是至关重要的,深水设计波浪要素的获得需要基于长期的实测资料积累,由于实测资料的限制,往往需要推算确定,然而不同的推算方法可能得出差异较大的结果,因此,建议使用多种方法确定设计波浪要素。

参考文献:

- [1] 李孟国,王正林,蒋德才.近岸波浪传播变形数学模型的研究与进展[J].海洋工程,2002,20(4):43-57.
- [2] 张义丰,肖辉,麦苗.大连太平湾海区波浪数学模型试验研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2011.
- [3] 天津市海岸带工程有限公司.辽宁江石底核电厂工程海域海洋水文分析报告[R].天津:天津市海岸带工程有限公司,2009.
- [4] 天津市海岸带工程有限公司.辽宁红沿河核电厂工程海域海洋水文分析报告[R].天津:天津市海岸带工程有限公司,2005.

- [5] 肖辉,李孟国.大连港长兴岛北港区波浪数学模型研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2009.
- [6] 马小舟,孙志国,孙大鹏.大连双岛湾港区规划波浪分析和数值计算报告[R].大连:大连理工大学,2010.
- [7] 交通运输部规划研究院.旅顺新港双岛湾作业区建港条件及规划方案论证[R].北京:交通运输部规划研究院,2012.
- [8] 许婷,吴以喜,李孟国.大连港登沙河港区潮流泥沙数学模型计算研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2009.
- [9] 陈路华.8509号台风在D海湾口外生成的最大波高计算[J].水运工程,1989(5):11-15.
- [10] 翁克勤,陈路华.大连新港风浪频谱[J].水运工程,1988(5):1-5.
- [11] 常征.大窑湾海域波浪方向性分析[J].水运工程,1993,15(4):104-113.
- [12] 张义丰,陈纯.大连港庄河港区总体规划波浪数学模型研究报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2011.
- [13] 交通运输部规划研究院.大连港皮口港区建港条件及规划方案论证[R].北京:交通运输部规划研究院,2012.
- [14] 肖辉,许婷.丹东港海洋红港区总体规划波浪数学模型计算研究报告[R].交通运输部天津水运工程科学研究所,2010.
- [15] 肖辉,高山红,毕凡.大连太平湾外海深水设计波浪要素推算技术报告[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2010.
- [16] 肖辉,李孟国.长兴岛附近深水设计波要素推算[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2009.
- [17] 李孟国,肖辉.外海深水波要素确定方法比较[J].水运工程,2010(7):1-5.
- [18] 张宁川,陈雪峰.大连临空产业园填海工程波浪数值计算报告[R].大连:大连理工大学,2011.
- [19] 张宁川,陈雪峰.大连电机有限公司重德钢构分公司专用码头工程全水域波浪数值模拟计算报告[R].大连:大连理工大学,2010.
- [20] 王科.大连虎滩湾环境治理改造工程控制性详细规划湾内波况数学模型试验研究报告[R].大连:大连理工大学,2010.
- [21] 翁克勤.大连港大窑湾港区设计波浪[J].水运工程,1996(12):10-19.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

一航局承建的黄骅港三期工程正式交付使用

4月12日,一航局承建的黄骅港三期工程土建、水工及设备三大项全部通过验收,并正式交付使用。

黄骅港三期工程施工内容主要包括疏浚及水工工程、土建工程、设备的设计调试和安装三大部分。其中水工工程包括新建4座5万吨级高桩式专业化煤炭装船泊位(建筑物总长1 200 m,宽32 m),疏浚工程包括码头前沿停泊水域、港池及回旋水域等部分(总挖泥量327万 m^3)。土建工程包括24座直径40 m,高41.95 m的筒仓,及所有建、构筑物的施工(总建筑面积18 108 m^2),1座翻车机房(直径96 m)。设备部分包括整个带式输送机系统、转接机房、4台卸料小车、162台活化给料机、2套四翻翻车机系统、4套卸船机。总造价32.85亿元,工期19个月。

该工程是一航局首个大型水工总承包项目,工程建设规模大,自2011年4月20日开工建设以来,一航局在港口领域首次引进筒仓储煤的环保工艺,翻车机及装船机系统能力均达到国内领先水平,经过一年多的不懈努力,一航局顺利完成各个节点工期,并开创了大型总承包项目管理先河,为一航局实施战略转型提升,实现从单一施工型向集设计、施工和机电设备采购安装一体化的综合型、现代型企业转变积累了经验。

该工程是神华集团打造节能、环保、高效的现代化大港的示范性工程,投产后将为黄骅港煤炭港区新增5 000万t煤炭下水能力,使神华黄骅港年装船量达1.5亿t。

摘编自《中国交通建设网》