

# 海冰对滩浅海油气开发的影响及防御对策研究<sup>\*</sup>

——以冀东南堡油田为例

赵绍祯<sup>1</sup>, 袁本坤<sup>2,3</sup>, 杜春平<sup>1</sup>, 商杰<sup>2,3</sup>, 王立新<sup>1</sup>, 黎舸<sup>2,3</sup>, 焦艳<sup>2,3</sup>

(1. 中国石油海上应急救援响应中心 唐山 063200; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室 青岛 266061;

3. 国家海洋局北海预报中心 青岛 266061)

**摘 要:** 渤海滩浅海地区是我国重要的海洋油气资源开发基地, 同时也是我国主要的结冰海区之一。因此, 海冰是渤海滩浅海油田海上工程设计、勘探开发及生产作业过程中必须考虑的重要海洋环境要素之一。文章以冀东南堡油田为例, 通过对2005—2013年海冰监测数据的统计、分析, 总结并给出了该海域的冰情基本特征; 同时分析了海冰对滩浅海油田海上生产作业和工程设施造成的影响, 并从工程性和非工程性两个方面提出了具体的防御对策。

**关键词:** 渤海; 滩浅海; 油气开发; 海冰; 南堡油田; 影响; 防御对策

## 1 引言

滩浅海油田是指在沿海滩涂、潮间带以及水深不足3 m的浅海地带进行勘探开发的油田。随着陆上油田陆续进入高含水和产量递减的开发阶段, 我国东部油田纷纷将目光投向滩浅海地区。因此, 滩浅海地区已成为我国石油勘探开发的重要阵地<sup>[1]</sup>。

渤海滩浅海地区拥有丰富的油气资源, 是我国滩浅海油田开发历史最长、数量相对较多的地区。目前, 中石油所属辽河、冀东、大港以及中石化所属胜利等油田均在这一地区进行油气勘探开发。其中, 位于渤海湾北部的冀东南堡油田(以下简称“南堡油田”)是我国近年来发现的一个储量规模较大的滩浅海油田<sup>[2]</sup>。该油田的开发建设对于增强我国能源安全供应的保障能力具有十分重要的意义。

但是, 由于渤海地理纬度偏北, 冬季易受北方南下冷空气影响, 每年冬季都有不同程度的结冰现象<sup>[3]</sup>。受水深浅、水体交换能力弱等地理环境和水动力条件影响, 渤海滩浅海地区的冰情通常较其他海区偏重。冰情严重时这些海区整个海面往往布满海冰, 给海上石油勘探

开发和生产作业等造成很大影响, 并对油田的各种海上工程作业设施构成严重威胁<sup>[4]</sup>。历史上也曾发生过多起海冰损毁海上油气设施的严重事故, 并造成了巨大的经济损失。因此, 海冰是渤海滩浅海油田海上工程设计、勘探开发及生产作业过程中必须考虑的重要海洋环境要素之一<sup>[5]</sup>。下面仅以南堡油田为例进行详细论述。

## 2 地理位置及数据来源

### 2.1 地理位置

南堡油田位于渤海湾北岸的河北省唐山市沿海的滩浅海地区, 地处渤海湾盆地南堡凹陷南翼。

### 2.2 数据来源

为了充分了解和掌握南堡油田海域海冰时空分布变化特征, 自2005年12月至今, 国家海洋局北海预报中心利用卫星、船舶、飞机以及岸基监测等多种方式, 连续8个冬季(每年12月至翌年2月)对南堡油田所在海域进行了

<sup>\*</sup> 基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费资助项目(201105016); 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金资助项目(2012009)。

海冰监测, 获取了大量冰情和海洋环境要素数据<sup>[6]</sup>。本研究中各类冰情要素统计值主要来源于上述监测数据。

### 3 冰情基本特征

#### 3.1 冰日和冰期

##### 3.1.1 冰日

海冰冰日是指结冰海区海冰的初冰日、严重冰日、融冰日和终冰日。每年冬季首次出现海冰的那一天, 谓之初冰日; 冰期中, 第一次连续 3 d 能见海面的冰量达 8 成, 冰厚达 5 cm, 这 3 d 中的第一天谓之严重冰日; 冰期中, 最后一天冰量连续 3 d 低于 8 成, 冰厚小于 5 cm, 这 3 d 中的最后一天谓之融冰日; 翌年初春海冰最后消失的那一天, 谓之终冰日。2005—2013 年南堡油田海域逐年冰日监测结果见表 1。

表 1 2005—2013 年南堡油田海域逐年冰日

年 度	初冰日 (日—月)	严重冰日 (日—月)	融冰日 (日—月)	终冰日 (日—月)
2005—2006	5—12	8—1	24—1	28—1
2006—2007	16—12	28—12	12—1	6—2
2007—2008	15—12	14—1	11—2	25—2
2008—2009	6—12	11—1	5—2	25—2
2009—2010	17—12	4—1	19—2	25—2
2010—2011	13—12	10—1	4—2	23—2
2011—2012	8—12	25—12	29—1	24—2
2012—2013	10—12	22—1	11—2	28—2

##### 3.1.2 冰期

冰期指的是各个冰日之间间隔的时间, 包括初冰期、严重冰期、融冰期和总冰期, 通常用天 (d) 来表示。

同渤海其他海域一样, 南堡油田海域的海冰均为一季冰<sup>[7]</sup> (也称一年冰), 其生消变化需要经历初冰期、严重冰期和融冰期 3 个阶段<sup>[8]</sup>。2005—2013 年南堡油田海域逐年冰期统计结果见表 2。

表 2 2005—2013 年南堡油田海域逐年冰期统计结果

年度	初冰期	严重冰期	终冰期	总冰期
2005—2006	34	16	36	86
2006—2007	12	16	25	53

续表

年度	初冰期	严重冰期	终冰期	总冰期
2007—2008	30	28	14	72
2008—2009	36	26	20	82
2009—2010	18	46	7	71
2010—2011	28	25	20	73
2011—2012	17	35	26	78
2012—2013	43	20	17	80
平 均	28	27	24	75

#### 3.2 冰型、冰厚及结冰范围

##### 3.2.1 浮冰

常冰年初冰期以初生冰和冰皮为主, 间有莲叶冰、尼罗冰和少量灰冰; 严重冰期以灰冰为主, 间有尼罗冰、莲叶冰及少量灰白冰; 终冰期以冰皮为主, 间有莲叶冰、尼罗冰及少量灰冰。冰厚及结冰范围见表 3。

表 3 南堡油田常冰年平整冰厚及结冰范围

冰期	平整冰单层冰厚/cm		最大结冰范围/n mile
	一般冰厚	最大冰厚	
初冰期	3~6	10	3~6
严重冰期	5~12	15	10~20
终冰期	3~7	10	4~7

##### 3.2.2 固定冰

常冰年初冰期固定冰以冰脚和沿岸冰为主; 严重冰期以沿岸冰和搁浅冰为主; 融冰期以搁浅冰和沿岸冰为主。固定冰厚度、宽度及堆积高度见表 4。

表 4 南堡油田海域常冰年固定冰要素统计

冰期	固定冰单层冰厚/cm		最大固定 冰宽度/km	堆积高度/m	
	一般	最大		一般	最大
初冰期	4~10	16	1.5~2	0.2~0.4	0.7
严重冰期	4~16	30	2~3.5	0.2~0.6	1.0
终冰期	4~12	18	1.2~1.8	0.2~0.5	0.8

#### 3.3 海冰表面特征

通常, 由于天气冷暖变化及所在海区水文、地形等因素的差异, 可以使海冰呈现出不同的外貌形状, 而海冰的外貌形状通常用表面特征来描述。海冰的外貌形状即海冰表面特征是反

映海冰受动力或热力影响程度的重要指标。我国结冰海区的海冰表面特征分为4种类型,即平整冰、重叠冰、冰丘和覆雪冰。根据监测,按照其出现频率高低和量的多少,2005—2013年各年度冬季南堡油田海域海冰表面特征类型依次为平整冰、重叠冰、冰丘和覆雪冰。

### 3.4 浮冰流向和流速

海冰在风、浪、流等外力作用下,会发生漂移和流动。海冰运动时产生的推力和撞击力都是巨大的。根据8个年度的监测分析,南堡油田海域大多数海区的浮冰流向与潮流往复方向基本一致,以NW—SE向为主,其次为WNW—ESE向;流速一般在0.3~0.5 m/s,最大可达0.8 m/s以上。

### 3.5 冰情时间变化与地理分布

#### 3.5.1 时间变化

受气象、海洋等自然因子的变化影响,该海域的冰情具有时间变化特征。2005—2013年各年度冬季该海域的冰情时间变化总体特征为:初冰期内冰情由轻到重,但不稳定,常因短时的气温回升而使冰情迅速减轻,甚至无冰;严重冰期内冰情显著加重,其显著特征是结冰范围广、冰量多、密集度高、冰厚大,且冰情相对比较稳定;融冰期内冰情虽然有所反复,但总体上呈迅速减轻之势,直至完全融化、消失。不同冰期内,冰情均呈现出时轻时重的态势,且阶段性冰情变化起伏较大。

#### 3.5.2 地理分布

除了受气象、海洋等自然因子的影响外,地理环境也对冰情产生影响,造成冰情分布在地理性变化和差异。2005—2013年各年度冬季南堡油田海域冰情地理分布总的特征是:一号岛和四号岛以北沿岸及附近海域结冰较早,融冰和终冰也比其他海区相对滞后,其冰期最长、冰情最重;一号岛至五号岛、腰坨至东坑坨沿岸及附近海域次之;五号岛至腰坨沿岸及附近海域冰情最轻。

## 4 海冰对海上生产作业及工程设施的影响

### 4.1 对海上生产作业的影响

每年冰期尤其是严重冰期内,渤海滩浅海

油田多数近岸或浅水区域无法安排生产作业,已经开工或正在进行的生产作业,受海冰影响被迫停止,并且需对正在进行勘探作业的钻井平台等海上工程设施进行拖航移位,造成极大经济损失。另一方面,滩浅海油田油气勘探开发主要采取人工岛和平台两种方式,而海上浮冰则影响了人工岛、平台与基地之间的人员及各类物资的海上运输,冰情严重时往往冰封码头、困住船舶,运输被迫中断,使生产作业受到严重影响。

### 4.2 对海上工程设施的影响

通常,海冰对滩浅海油田海上工程设施的影响主要有以下几种<sup>[9]</sup>。

(1) 在风、浪、流等外力作用下,大面积的海冰会整体移动,并且常常在平台等结构物周边形成堆积,使结构物受到挤压,造成振动;

(2) 海上浮冰多数始终处于漂流状态。自由漂移的浮冰极易对海上平台等油气工程结构物造成冲击;

(3) 因潮汐、风暴等因素导致的水位变化,可以使冻结在结构物四周的海冰对结构物产生上拔或下压;

(4) 浮冰对结构物造成磨蚀;

(5) 海冰膨胀可以对结构物形成挤压,等。

## 5 海冰防灾减灾形势及防御对策

### 5.1 海冰防灾减灾形势分析

近年来,随着全球气温上升,渤海冰情总体呈现减轻趋势<sup>[10]</sup>。尽管如此,冰情较重或偏重年份依然时有出现(如2009年和2010年冬季发生的近30年来的最严重冰情),而局部海域出现偏重或较重冰情几乎每年都有。据统计,我国渤海大致每5~6年发生一次严重或比较严重的海冰灾害,而局部海域出现的海冰灾害几乎每年都有发生<sup>[11]</sup>。另一方面,同其他自然灾害一样,海冰灾害的发生和发展有其复杂背景和内在联系。统计数据显示<sup>[10]</sup>,近20年来,尽管渤海冰情呈减轻态势,但海冰灾害发生频率特别是近10年来发生海冰灾害的频率并没有降低。这说明海冰灾害的发生不仅仅是自然因素决定,也是自然条件和社会条件共同作用的结

果, 即冰情减轻并不能使海冰灾害减少。随着我国能源需求的不断增加, 渤海滩浅海油田开发建设力度必将进一步加大, 探井试油、修建人工岛、油井后期管理以及人员和物资运输等海上作业越来越多, 海上平台、导管架以及工程作业船只等日益增多。一旦出现严重或比较严重的冰情, 其成灾概率和损失程度都相应增大。

因此, 防御或减轻海冰灾害依然是包括南堡油田在内的滩浅海油田今后开发建设和生产所面临的一个重大课题。

## 5.2 防御对策

海冰是一种自然现象, 海冰灾害则是海冰作用于人类海上活动所产生的危害。同其他自然灾害一样, 其成因同样具有自然属性和社会属性两个方面。因此, 应该在尊重海冰自然规律的前提下, 实施海冰灾害社会性和工程性综合防御。

### 5.2.1 开展海冰监测和预警报工作

海冰监测是获取海冰资料的唯一手段, 同时也是海冰防灾减灾的基础。通过监测, 不但可以为滩浅海油田的海冰预警报提供准确资料, 同时可以第一时间为油田提供实时冰情信息。

海冰有着自身的发展变化规律。目前人们已经可以比较准确地对其进行预测、预警。近年来, 北海预报中心每年冬季都为有关滩浅海油田发布冰情预报和警报。油田据此科学、合理地调度和安排生产, 不但延长了冬季海上生产时间, 使油田经济效益显著提高, 而且保证了油田冬季海上生产的平稳、有序进行。实践证明, 海冰预警报是滩浅海油田海冰防灾减灾的最有效措施之一。

### 5.2.2 落实各类抗冰措施

(1) 优化设计形式。根据海冰弯曲强度小于抗压强度等基本原, 优化各类海上结构物的设计形式。例如, 把平台腿柱建成锥形、将人工岛等构筑物的迎冰面做成斜坡等, 使海冰发生弯曲破坏, 以减小海冰荷载作用<sup>[12-13]</sup>。

(2) 提高设计标准。人工岛及平台等设施要提高设计标准, 以增大这些设施的安全系数。根据《滩海环境条件与载荷技术规范》(SY/

T4085-95), 砂石人工岛采用百年一遇的环境条件参数进行设计, 导管架平台采用 50 年一遇环境条件参数进行设计<sup>[14]</sup>; 海冰载荷往往是冰区各类海上工程设施的控制载荷, 而海冰强度又是海冰载荷的重要计算参数, 因此, 应严格按照国家有关标准和规范控制各类海上设施的设计载荷。

(3) 严格限制作业条件。无冰期作业能力的工程设施在每年结冰之前应安全撤离作业海区。没有抗冰能力或破冰能力的船只, 不要随意进入冰区航行, 以免被冰困住, 甚至发生灾难性事故。

(4) 开展海冰对人工岛的影响研究。目前渤海的滩浅海油田陆续建设了各类人工岛及码头等设施, 从而实现成本相对较低的“海油陆采”模式。由于人工岛采油模式是近年才在我国滩浅海油田中使用, 海冰对人工岛及其进海路、码头等构筑物及其附属设施的作用机理和影响目前尚不十分明确。因此, 在加强这些工程设施周边冰情监测的同时, 应系统开展海冰影响机理的研究, 以确保人工岛的安全。

(5) 提高抗冰能力。海上施工之前要充分考虑海上结构物的抗冰能力, 并开展相应的海冰与海上结构物相互作用的研究。例如, 对于需在冰期承担海上运输及施工的船舶, 在建造时应考虑具有一定的破冰能力, 增加中间肋骨和抗冰纵横, 加强首柱、舵叶及轴系等。同时, 船舶在冰区航行时, 可根据冰情分布状况, 选择海冰厚度薄、密集度小、浮冰漂流方向与船舶航向一致的航线。

### 5.2.3 完善应急措施

逐级编制或修订海冰灾害应急预案, 完善各项应急措施, 提高海冰灾害防御和应急能力。结冰期间应配备具有一定破冰能力的船舶值班守护, 必要时可对海上油气设施周边进行破冰。同时, 应建立专业的应急队伍, 配齐人员、设备及物资, 切实提高发生海冰灾害时的实际处置能力。

## 6 结束语

(1) 渤海滩浅海地区是我国重要海洋油气资源开发基地, 同时也是冰情相对较重的区域

之一,并对海上油气工程设施和生产作业造成严重影响和威胁。

(2) 随着滩浅海油田海上生产作业活动日益频繁,冰情较轻或偏轻时,灾害发生频率并不一定会减少,同时也不排除发生较重甚至严重冰情的可能。因此,必须高度重视海冰防灾减灾工作。

(3) 只有在深入研究海冰变化规律的基础上,从设计阶段入手,提高海上结构物及船舶等工程设施的抗冰等级,加强海冰监测和预警报,掌握冰情,建立和完善海冰应急系统,才能最大限度地降低海冰灾害影响,使冬季渤海滩浅海油气勘探开发与生产作业健康、有序进行。

### 参考文献

- [1] 罗博. 滩浅海领域成为中国石油勘探开采重要阵地[EB/OL]. (2011-06-09)[2014-01-10]. [http://news.xinhuanet.com/politics/2011-06/09/c\\_121515003.htm](http://news.xinhuanet.com/politics/2011-06/09/c_121515003.htm).
- [2] 冉永平. 我国发现储量规模 10 亿吨大油田[N]. 人民日报,2007-05-04(1).
- [3] 白珊,刘钦政,李海,等. 渤海的海冰[J]. 海洋预报,1999,16(3):1-9.
- [4] 袁本坤,郭可彩,商杰,等. 南堡油田海域的冰情对工程作业的影响[J]. 海洋预报,2012,29(5):85-89.
- [5] YANG, G. Bohai sea ice conditions[J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2000,14(2): 54-67.
- [6] 袁本坤,江崇波,黎舸,等. 2005-2013 年冬季南堡油田海冰监测报告[R]. 青岛:国家海洋局北海预报中心,2005-2013.
- [7] 张方俭. 我国的海冰[M]. 北京:海洋出版社,1986.
- [8] 王文辉,王相玉,袁本坤. 曹妃甸邻近海域的海冰状况与特征[J]. 海岸工程,2005,24(3):50-57.
- [9] 丁德文. 工程海冰学概论[M]. 北京:海洋出版社,1999.
- [10] 李志军. 渤海海冰灾害和人类活动之间的关系[J]. 海洋预报,2010,27(1):8-12.
- [11] 王相玉,袁本坤,商杰,等. 渤海海冰灾害与防御对策研究[J]. 海岸工程,2011,30(4):46-55.
- [12] 史庆增,苏彪,刘波. 海冰对海上油气工程的破坏及减灾措施[J]. 石油工程建设,2005,31(4):19-23.
- [13] 孙振平. 渤海平台设计冰载荷的计算的回顾及考虑[J]. 中国海上油气(工程),2001,13(1):26-29.
- [14] 王铁刚,刘欢,冯梅芳,等. 海冰对滩浅海油气设施的影响及防冰措施[J]. 油气田地面工程,2009,28(9):8-10.