

文章编号:1002-3682(2015)01-0041-06

水上溢油回收、分离、临时储存及 转运能力定量关系研究*

张春昌¹, 靳卫卫², 韩 龙³, 宋莎莎²

(1. 大连海事大学, 辽宁 大连 116000; 2. 中海石油环保服务(天津)有限公司, 天津 塘沽 300452;
3. 烟台溢油应急技术中心, 山东 烟台 264000)

摘 要:溢油回收、临时储存和转运是传统水上溢油应急行动的3个重要环节,现场油污水分离是近年来提出的一个新概念和新增作业环节,并逐步被认可与实践。这4个环节需要紧密配合才能使溢油应急行动效果最佳,目前,国内外尚没有针对上述4个作业环节的定量关系开展专门的研究。本研究基于水上溢油应急实践,首先给出了溢油回收能力、油水分离、临时储存和转运能力的定义、构成要素及计算方法,然后就四者之间的内在联系给出了定量算法,并通过一个应用案例检验了四者的定量关系,最后总结分析了决定水上溢油应急能力的关键因素,以期提高水上溢油应急效率和指挥决策水平,并对优化资源配置和应急能力建设有所促进。

关键词:溢油回收;油水分离;临时储存;转运;定量关系

中图分类号: X55

文献标识码: A

水上溢油应急过程中,溢油是否能够被回收、回收上的油污水和油垃圾是否有足够的空间储存以及能否及时转运上岸进行无害处置是决定溢油应急效果的关键,其中任一环节衔接不好,都可能导致其它作业不得不暂停,这些问题不仅是应急指挥人员在具体事故应急中必须要做出的决策,也是应急防备中合理购置配备应急资源,防止资源浪费的关键问题。

1996年,美国海岸警备队在其法令中提出了基于日有效机械回收能力的溢油应急综合能力评估方法^[1],其中规定临时储存容量应为日有效回收能力的2倍。加拿大也效仿美国作法,提出了应急机构的能力标准^[2]。2010年美国墨西哥湾“深水地平线”平台溢油事故后,美国拟修改基于机械回收能力的溢油应急综合能力评估方法,但仍未就回收能力与临时储存能力、转运能力之间的内在联系提出定量要求^[3]。我国交通行业标准JT/T 877—2013《船舶溢油应急能力评估导则》^[4]中提出溢油应急综合能力评估方法,其中仅有临时储存能力应为回收能力的2倍的定量关系,未考虑转运能力的定量要求。孙建新等^[5]针对1艘专业溢油应急船自身具备的溢油回收、油水分离和临时储存能力提出了表

* 收稿日期:2014-11-17

资助项目:国家科技支撑计划——智能化控制水上溢油处置平台研究(2012BAC14B06)

作者简介:张春昌(1973-),男,高级工程师,硕士,主要从事水上溢油应急方面研究, E-mail: zcczn@hotmail.com

(李 燕 编辑)

征三者关系的定量方法,但也未考虑转运能力。目前,仅在理论研究中有对突发事件物资供应调度的定量研究,但这些研究主要是基于陆上突发事件,没有结合水上溢油事故的特点专门研究转运能力的定量关系。

综上,国内外尚没有针对水上溢油回收能力、油水分离、临时储存及转运能力四者内在关系提出定量关系,究其原因在于:一是四者关系需考量的因素众多,定量关系难以确定;二是国内外已发生的水上溢油事故应急中积累的完整数据很少、算法验证难;三是全球水上溢油应急工作尚处在粗放阶段,尚未有达到其他工业生产领域的精细化管理层次。为此,本文研究分析了溢油回收效能的关键影响因素,给出了确定上述4个作业环节定量关系的算法,为溢油应急指挥提供决策支持。

1 溢油回收、分离、储存和转运能力的定义与算法

1.1 溢油回收能力

溢油回收能力是指通过收油机等机械设备和吸收吸附材料等物理方法将水上溢油回收的能力。国内外现有的计算方法中^[5-6],多是以收油机这一回收方式的回收能力代替溢油回收能力,而不考虑吸油毡等吸收吸附材料回收的油垃圾以及岸线清污回收的油垃圾这两部分,原因是后者的历史数据极少,定量关系不易建立。

以下综合考虑上述因素的溢油回收能力,给出各种回收能力的计算方法。其中收油机机械回收能力($R_{机}$)的计算公式为

$$R_{机} = \sum_{i=1}^n R_i \times \alpha_1 \times h_1 \quad (1)$$

式中, R_i 表示第*i*套收油机的标称回收能力(m^3/h),可从收油机的说明书或标牌上读取; α_1 表示实际收油速率占标定收油速率的比例(%),可参照《船舶溢油应急综合能力评估导则》^[4]中的表1取值,需要结合油种、海况和收油机的类型等因素予以调整; h_1 表示收油机一天工作的时间(h),收油机1d内有效工作时间为6~12h,受收油机本身状况、白昼长短、油膜厚度和形态、现场气象水文条件和操作人员数量等影响。

表1 收油机实际收油速率占标定收油速率经验值

Table 1 Empiric values of the actual oil collecting rate accounted for the calibrated oil collecting rate

油品种类	实际收油速率占标定收油速率的比例(α_1)	
	非开阔水域/%	开阔水域/%
中质原油、燃料油	15	7
重质原油、燃料油	10	5

吸收吸附材能回收能力($R_{附}$)的计算公式为

$$R_{附} = \sum_{i=1}^n I_i \times (j_i \times k_i \times \varphi_1 + 1) \quad (2)$$

式中, I_i 表示第*i*种溢油吸收吸附材料投放的数量(t); j_i 表示第*i*种溢油吸收吸附材料的吸收吸附倍数; k_i 表示第*i*种溢油吸收吸附材料的油保持率(%); φ_1 表示吸收吸附附加系数,一般取0.3,需要考虑溢油种类和油膜厚度、吸收吸附材料的吸水率、回收方式和海

况等因素; ρ 表示溢油的密度(kg/m^3)。

岸线清污回收能力($R_{\text{岸}}$)的计算公式为

$$R_{\text{岸}} = \sum_{i=1}^n R_1 \times A_i + R_2 \times B_i \quad (3)$$

式中, R_1 表示使用机械工具(如铲车等)进行岸线清污时每平方米产生的油垃圾量,参考取值为 $4.0 \text{ m}^3/\text{m}^2$; A_i 表示第 i 天使用机械工具可清理岸线的面积(m^2),取决于用于机械装备套数、机械工具配备以及天气影响等因素; R_2 表示使用手工方式进行岸线清污时每平方米产生的油垃圾量,参考取值为 $1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2$; B_i 表示第 i 天使用手工方法可清理岸线的面积(m^2),取决于用于岸线清污的人数、工具配备以及天气影响等因素。岸线清污产生的油垃圾量取决于所采取的清污方法、岸线类型、油污染状态等因素,其中,机械清污和人工清污产生量相差较大,但由于在该领域缺少足够的历史事故数据作支持,为此,暂可参考《Guidelines and strategies for oil spill waste management in arctic regions》(《北极地区溢油应急垃圾管理策略指南》)[7]给出的岸线清污产生油垃圾量的经验值。

综上,综合溢油回收能力($R_{\text{总}}$)的计算公式为

$$R_{\text{总}} = R_{\text{机}} + R_{\text{附}} + R_{\text{岸}} \quad (4)$$

1.2 油水分离能力

油水分离能力是指在溢油应急中将回收上的油污水通过现场油水分离装置进行分离,将水直接排放的处理方式。该方法作为一个新概念,尚处于研究和试用阶段,我国在“十二五”国家科技支撑项目已着手开发,已在一艘专业溢油应急处置船装配试用,该方法将会成为未来一项重要的溢油应急手段。为此在计算临时储存能力时,对具备此项功能的回收系统,应当考虑经过船上临时油水分离将水排出后减少的临时储存量和转运量。

油水分离能力计算公式为

$$D = \sum_{i=1}^n D_i \times h_2 \times (1 - p_1 + \alpha) \quad (5)$$

式中, D 表示油污水经过 n 套油水分离器后减少的油污水量(m^3); D_i 表示第 i 套船上油水分离装置的油水处理能力(m^3/h); h_2 表示油水分离装置的工作时间(h),1 d内的工作时间可按照实际计算,最长可连续工作24 h; p_1 表示回收的油污水中油的含量(%); α 表示油水分离装置的处理精度(mg/L),由于处理精度一般不超过50 mg/L ,可忽略不计。

1.3 临时储存能力

临时储存能力是指临时存放回收到的油污水和油垃圾的容器或场所的容量,主要包括专业溢油应急船上的油污水舱,以及其他可用于存放油污水和油垃圾的油船、储油囊、油罐等。

临时储存能力的计算公式为

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \times (1 - \alpha) \quad (6)$$

式中, S 表示 n 套临时储存工具的总容量(m^3); S_i 表示第 i 套临时储存工具的容量(m^3); α 表示容器内油污水或油垃圾的安全富余量,一般取5%。

在计算临时储存能力时,还应当考虑在远距离、大规模应急行动中需要将油污水和油垃圾转移到第2个临时储存场所,在这种情况下,应当取2个储存场所容量的最小值作为

临时储存能力。

1.4 转运能力

转运能力是指通过船舶、车辆或其他运输工具将临时储存容器或场所收集的油污水和油垃圾过驳、运输到岸上污水或危险废弃物处理设施进行无害化处理的能力。转运可分为多程转运,例如:从船到车为一程,从车到场为二程。

一程转运能力计算公式为

$$T_1 = \sum_{i=1}^n C_i \times (1 - \alpha) \times \text{Int}[h_i \div (J \div v_1 \div 2 + C_i \times (1 - \alpha) \div v_2)] \quad (7)$$

式中, T_1 表示 n 套运输工具的一程转运能力(m^3/d); C_i 表示第 i 套运输工具可装载的油污水或油垃圾的容量(m^3); α 表示运输工具容器内油污水或油垃圾的安全富余量,一般取5%; Int 表示在计算得出的往返行程次数中取整数; h_i 表示各个不同运输工具的可工作时间(h),包括了转驳、靠泊和行驶时间等。其中,航空和陆地运输主要考虑白天工作时间,以每天8~12 h计算,海上船舶运输可以考虑24 h作业,其中的转驳作业宜在白天进行; J 表示运输工具所在位置离油污水、垃圾等临时储存场所或点的距离(km); v_1 表示运输工具的速率(km/h),该速率应当考虑运输工具的备车时间,一般取陆上速度为50~60 km/h ,海上11~15 km/h ,空中150~250 km/h ^[7]; v_2 表示通过过驳的方式将油污水、垃圾等回收的污染物从临时储存场所转移到运输工具上的过驳速率(m^3/h)。

对同一批油污水或油垃圾进行多程转运的,如船至船、船至车、车到垃圾处理场,应当首先计算出每一程的转运能力,其综合转运能力应当为各个程次转运能力之间的最小值。经过多次转运的综合转运能力($T_{\text{综}}$)(m^3/d)计算公式为

$$T_{\text{综}} = \min(T_1; T_2; \dots; T_n) \quad (8)$$

2 溢油回收、分离、储存与转运能力之间的定量关系

鉴于安全和溢油回收效果的原因,目前水上溢油应急工作仍限于白昼作业。为此,在溢油回收、分离、储存和转运能力之间最佳定量关系应当为:每日回收的油污水和油垃圾的数量减去油水分离后排出的水的数量应当与临时储存容量相当;临时储存容量应当与每日的转运能力相当,为此,需要送岸处理的污染量、临时储存容量和转运的数量三者间应取最小值,即为溢油应急作业中的实际清污能力,其定量关系为

$$R = \min[(R_{\text{总}} - D) \times d; S; T_{\text{综}}] \quad (9)$$

式中, R 表示实际溢油回收能力(m^3/d); d 表示溢油回收和油水分离装置在临时储存容量和转运能力充足的情况下可连续作业的天数,对于大规模溢油事故,最佳取值为1,对于小事故,可取整数。

3 案例验证

由于无法从以往水上溢油事故获取到可运用本文算法的历史数据,仅以曾参与过的2013年黄岛“11.22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸事故海上溢油应急处置中的海巡“0512”轮的作业数据对上述算法进行验证,该轮是目前国内唯一配有现场油水分离装置的专业溢油处置船。

具体计算过程如下:

该轮自带的收油机回收能力为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,作业水域为非开阔水域,每天工作 6 h。按照上式(1)计算得出该轮每天回收的油污水为 84 m^3 。

船上配备了 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 的油水分离装置,处理精度为 15 mg/L ,船舱内储存的油污水中油的含量为 50%,每天工作 6 h。按式(5)计算得到该轮油水分离后减少的油污水量为 150 m^3 ,由于该轮每天可回收的油污水仅为 84 m^3 ,为此,实质油水分离能力仅可达到每天 42 m^3 。

临时储存能力中,船上油污水舱容总计 400 m^3 ,同时,该轮可拖带 1 只 50 m^3 的储油囊。按式(6)可得油污水的临时储存能力为 427.5 m^3 ,而实质每天只需要 42 m^3 的油污水储存容量,该轮可连续收油机回收作业 10 d。

该轮在完成溢油回收作业后可直接靠泊码头将船上油污水转驳到油罐车上,再由油罐车送至 30 km 外的危险废物处理厂进行再处理。该轮作业水域距码头 21 n mile,航速可达 10 n mile/h ,船上应急卸载速率为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。陆上可用油罐车 4 辆,每辆容积为 37.7 m^3 ,装卸油速率 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 。按式(7)得出该轮连续工作 10 d 后,可单程将船上油污水转驳到油罐车,其一程转运能力为 $420 \text{ m}^3/\text{d}$,仍按式(7)计算出二程转运能力为 $286.52 \text{ m}^3/\text{d}$,该轮需要在码头停留 1.46 d 后才能将船上回收的溢油转运完毕。按式(8)得出转运能力为 $286.52 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

按式(9)可得出,该轮的实际溢油回收能力,在 10 d 连续作业时间内可以达到 $84 \text{ m}^3/\text{d}$,但由于转运能力不足,第 10 天后其回收能力将下降至 $57.384 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

上例是在未考虑岸线清污和投入吸油毡等其它水上溢油作业方式的前提下,仅针对一艘专业溢油回收船的回收、分离、储存和转运四个作业环节,应用上述计算公式得出的结果。分析上述应用案例的计算结果可得出以下结论:

- 1)回收机的实际收油速率占标定收油速率的比例的取值是决定回收能力的关键因素,也是影响后续的油水分离、储存和转运的重要参数;
- 2)现场增加油水分离作业环节可以减少临时储存和转运能力近一半的需求;
- 3)二程转运能力的不足限制了一程转运能力,会使该应急处置船无法连续开展回收作业,最终导致总的溢油回收能力不足。

4 结 语

水上溢油应急的基本原则是在尽可能短的时间、尽可能少地动用应急资源的情况下回收更多的溢油。从上述案例可以看出,确保溢油回收的连续作业是决定溢油应急成效的关键要素。为此,应当首先确保临时储存能力和转运能力的充足,同时,增加现场油水分离作业环节将会极大地降低油污水储存和转运的能力要求,尤其对远海溢油回收作业效果更明显。本文给出的将溢油回收、现场油水分离、临时储存和转运装备有效组合的定量计算方法,既可以用于溢油应急指挥决策机构在应急中合理调度应急资源,以充分发挥每一环节应急资源的作用,又可用于在溢油应急能力规划和应急队伍建设时设计溢油应急装备配置,以防止重复建设和资源浪费。

参考文献:

- [1] 33 CFR 155 Oil or hazardous material pollution prevention regulations for vessels[S]. Washington: Authenticated U. S. Government Information, 1996.
- [2] TP 12401 Oil handling facilities standards[S]. Ottawa: Canadian Coast Guard, 1995.
- [3] 33 CFR 155 App B Determining and evaluating required response resources for vessel response plans[S]. Washington: Authenticated U. S. Government Information, 1980.
- [4] JT/T 877-2013 船舶溢油应急能力评估导则[S]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [5] 孙建新,张春昌. 专业溢油应急船溢油处置能力及其装备探讨[J]. 中国海事,2013,(6):18-21.
- [6] SUN X J, SANG Z W. Research on risk assessment of ship's oil spill[C]//2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection (ISWREP 2011). IEEE; 2011(4): 2610-2613.
- [7] POLARIS APPLIED SCIENCES, INC. Guidelines and strategies for oil spill waste management in arctic regions[R]. Inuvik: POLARIS, 2009.

Quantitative Relationship Among the Capacities of Recovery, Separation, Temporary Storage and Transfer of Spilled Oil

ZHANG Chun-chang¹, JIN Wei-wei², HAN Long³, SONG Sha-sha²

(1. *Dalian Maritime University*, Dalian 116026, China;

2. *China Offshore Environmental Services Ltd.*, Tianjin 300452, China;

3. *Yantai Oil Spill Response Technical Center of Yantai MSA*, Yantai 264000, China)

Abstract: Recovery, temporary storage and transfer of spilled oil are traditionally three important parts in the oil spill response, while in-situ oil-water separation is a new concept and part proposed in recent years and accepted and implemented gradually. To make the effect of the oil spill emergency actions optimum, a close coordinate of the four parts is necessary. However, no special research on the quantitative relationship among these four parts has been reported. This paper gives first the definition, constitute elements and calculation methods of the capacities of recovery, oil-water separation, temporary storage and transfer of spilled oil based on the practices of oil spill emergency actions and then a quantitative algorithm for the four parts according to their intrinsic relationship. The quantitative relationship among the four parts is verified through an application case. Finally, some key factors that decide the capability of the oil spill response are analyzed and summarized in order to improve the efficiency and the decision-making level of the oil spill response and to promote the optimization of resources allocation and the capability building of the oil spill response.

Key words: spilled oil recovery; oil-water separation; temporary storage; transfer; quantitative relationship