



油轮单点系泊事故应急设施配置

梁军波¹, 陈睿²

- (1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海, 200032;
2. 中船第九设计研究院工程有限公司, 上海, 200090)

摘要: 油轮单点系泊系统采用孤点式布置, 无陆域设施可依托, 发生事故时仅依靠机动船舶进行应急防护, 因此最大可信事故消防和溢油的应急设施配置至关重要。依据《油气化工码头设计防火规范》, 结合单点系泊特点, 引入池火和安全防护距离的理念, 提出消防船的能力配备要求; 针对装卸作业时无固定围油栏的特点, 提出自行配置的溢油应急设施达到一级防护能力要求; 通过对比《船舶溢油应急能力评估导则》《油轮单点系泊作业安全要求》2个行业标准, 提供了各项溢油应急设施的计算方法和最低配置要求。

关键词: 单点系泊; 消防; 溢油; 应急设施

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0028-05

Emergency facilities allocation for single point mooring of oil tankers

LIANG Junbo¹, CHEN Rui²

- (1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;
2. China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200090, China)

Abstract: The single point mooring system of oil tankers adopts solitary point arrangement, so there are no land facilities to rely on. In case of an accident, only motor ships are used for emergency protection. Therefore, the configuration for fire-fighting and oil spill emergency facilities of the most credible accident is crucial. According to the *Code for Fire Protection Design of Oil and Gas Chemical Terminals*, combined with the characteristics of single point mooring, this paper introduces the concepts of pool fire and safety protection distance. It also put forward the allocation requirements for fire boats. For the characteristics of no fixed oil boom during loading and unloading operation, it is proposed that self-configured oil spill emergency facilities should meet the requirements of Class I protection capacity. The calculation method and minimum configuration requirements of oil spill emergency facilities are provided by comparing the *Guidelines on the assessment of ship-source oil's response capability* and the *Requirements of safety operations for oil tankers at single point mooring*.

Keywords: single point mooring; fire-fighting; oil spill; emergency facilities

单点系泊系统主要由浮筒、锚链、系泊缆、水下软管、漂浮软管、海底管汇、锚桩等组成, 由浮筒作为系泊主体, 通过锚链固定在海床上。浮筒上部是一个装有轴承可360°旋转的转台, 转台中心部位设有流体旋转头, 旋转接头下方连接着水下软管和海底输油管汇, 上方连接着漂浮软

管并通向油轮。油轮通过缆绳系泊在浮筒转台的带缆桩上, 在风、浪、流的联合作用下, 卸载时油轮能围绕单点360°自由转动。

单点系泊装卸作业时最大可信事故为消防事故和溢油事故, 事故发生后无陆域设施可依托, 设计中机动船舶的消防应急设施和溢油应急设施

收稿日期: 2022-10-27

作者简介: 梁军波(1980—), 男, 高级工程师, 从事给排水、消防、环保等设计与研究工作。

配置至关重要。目前国内仅建成茂名石化和北部湾涠洲岛2个工程,研究相对较少。本文以某新建项目为背景,对设计中的各项应急设施配置进行计算分析。项目位于渤海湾内,拟建25万吨级单点系泊泊位2座,卸载进口原油,距离陆域岸线约57.7 km。

1 消防应急设施

单点系泊泊位不设置固定的消防管道系统,装卸时由拖消船实时监控,发生火灾事故时利用其进行灭火。拖消船的消防能力配备应满足《油气化工码头设计防火规范》^[1]消防冷却水和泡沫灭火的要求。

根据物料特性判定,项目火灾危险性为甲B类,采用泡沫为主要灭火介质,水为主要冷却介质,设计中以25万吨级原油船作为消防设计基准。

1.1 消防介质质量

1) 冷却水设计流量。根据《油气化工码头设计防火规范》,船舶发生火灾时应对船舶着火舱一定范围内甲板面进行冷却,本项目冷却水供给强度取 $2.5 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,冷却水连续供给时间6 h,经计算冷却水设计流量为335 L/s。

2) 泡沫设计流量。灭火面积为设计船型最大船舱面积,泡沫混合液供给强度取 $8 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,连续供给时间60 min,泡沫混合液百分比为3%,经计算泡沫混合液设计流量为150 L/s。

1.2 池火影响范围

油船船舱火灾事故类型为池火,一方面火势扩大会对相邻船舱造成危险;另一方面,强烈的辐射热导致消防船和消防人员无法靠近。因此火灾事故救援时,需对辐射热的影响范围进行定量计算,以确定消防船的安全距离,确保消防员的人身安全。

1) 确定火焰的几何尺寸。船舱直径大于12 m时,采用Thomas经验公式计算火焰高度:

$$H = 84R \left[\frac{dm/dt}{\rho_a (2gR)^{0.5}} \right]^{0.61} \quad (1)$$

式中: H 为火焰高度,m; R 为火焰半径即液池半径,对于非圆形液池,采用当量火焰半径,本项

目取9.47 m; dm/dt 为可燃物料质量燃烧速率,取 $0.073 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; ρ_a 为空气密度,取 $1.293 \text{ kg}/\text{m}^3$; g 为重力加速度,取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

经计算,火焰高度为28.01 m。

2) 池火热辐射量计算,见式(2)。

$$Q = \frac{(\pi R^2 + 2\pi RH)(dm/dt)\eta H_c}{72(dm/dt)^{0.61} + 1} \quad (2)$$

式中: Q 为池火热辐射量,kW; η 为效率因子,取0.3; H_c 为物料燃烧热,原油燃烧热取43.89 MJ/kg。

经计算,火灾总热辐射量为103.362 MW。

3) 最低安全距离。辐射入射强度达到 $4.0 \text{ kW}/\text{m}^2$ 时,20 s以上人会感觉疼痛;当入射强度降低到 $1.6 \text{ kW}/\text{m}^2$ 时,长期辐射无不适感。鉴于本项目火灾延续时间6 h,设计中安全辐射强度采用 $1.6 \text{ kW}/\text{m}^2$,叠加消防战斗服的辐射热保护性能($13.8 \text{ kW}/\text{m}^2$)^[2],将 $15.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ 作为火灾中消防员可接受热强度的安全临界值。则安全距离为:

$$r = \left(\frac{TQ}{4\pi I} \right)^{0.5} \quad (3)$$

式中: r 为目标到池火的距离,m; T 为热辐射通过率,取1.0; I 为目标可承受的热强度,取 $15.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ 。

经计算,消防员距离火灾的安全距离为23.1 m。

1.3 拖消船消防炮配置

1.3.1 拖消船的配置要求

单点系泊泊位扑救火灾仅依托拖消船,为此,拖消船配置的消防水炮应满足《油气化工码头设计防火规范》中“消防水炮应能保证流量和射程满足设计船型的全船范围,单个泊位配置的消防水炮数量不应少于两门”的规定,消防泡沫炮应满足“泡沫炮应能保证流量和射程满足设计船型的液货舱范围,单个泊位配置的泡沫炮数量不应少于两门”的规定。故本项目应配备2艘拖消船,每艘设计消防水泡和消防泡沫炮各1门,消防水泡和泡沫炮需满足设计流量和射程要求,同时射程选择时应考虑安全距离影响。

拖消船配备的防水炮设计流量120 L/s即可

满足水量要求,但由于 120 L/s 水炮额定射程为 80 m,根据《固定消防炮灭火系统设计规范》^[3]中“室外布置的水炮的射程应按产品射程指标值的 90%”的规定,其室外射程为 72 m,不能满足要求,为满足水炮射程覆盖要求,消防水炮有效射程需满足 90 m,为此选用额定流量 $q=180$ L/s 和额定射程 $R=100$ m 的消防水炮。同理选用 $q=100$ L/s 和 $R=75$ m 的泡沫炮。拖消船消防炮射程保护覆盖范围见图 1。

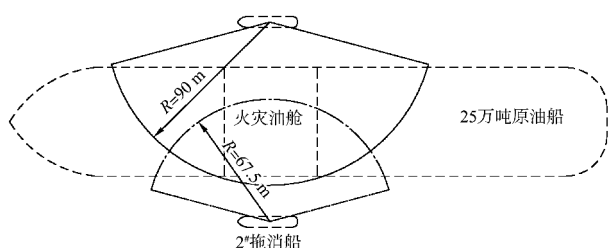


图 1 拖消船消防炮保护覆盖范围

1.3.2 拖消船配置参数

为预防火灾时拖消船发生故障,单点系泊泊位应考虑配备备用拖消船,本项目拖消船两用一备,配置参数见表 1。

表 1 拖消船配置参数

| 设施 | 射程/m | 流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) | 单艘泡沫液储量/t |
|-------|------|---|-----------|
| 消防水炮 | 100 | 648 | 10 |
| 消防泡沫炮 | 80 | 360 | 10 |

注:拖消船消防水炮工作时间 6 h,泡沫炮工作时间 1 h。

1.4 单点系泊装置灭火器配置

根据《单点系泊装置建造与入级规范》^[4],每个单点系泊泊位浮筒各配置 1 套 MP9 手提式泡沫灭火器和 1 套 MF/ABC6 手提式干粉灭火器。

2 溢油应急设施配置

单点系泊泊位装卸作业时,为保证油船装卸作业稳定连续进行,油船可在水平面内围绕单点浮筒 360°自由转动,因此装卸作业时无法布置固定围油栏对油船进行围护,为此事故发生后应急溢油设施的配置至关重要。

《港口码头水上污染事故应急配备能力要求》^[5]规定,新、改、扩建码头和装卸站应按照

《船舶溢油应急能力评估导则》^[6]分别计算污染源控制、围控与防护、回收与清除、监视监测及预警等溢油应急设施的种类和数量,并应通过自行配置或联防方式满足一级防备要求。本项目针对装卸作业时无固定围油栏进行围护的缺陷,为提高溢油事故后快速应对能力,提出自行配置的应急溢油设施满足一级防备要求,设计中一级防备能力采用 5%的区域配置比例。

2.1 污染源控制

1) 应急卸载能力,指船舶发生或可能发生溢油事故时,能够将事故船上的存油驳载转移至安全场所的能力,见式(4)。

$$A=C/H \quad (4)$$

式中: A 为应急卸载装置的总流量, m^3/h ; C 为油舱舱容,按照油轮的总舱容计算, m^3 ; H 为工作时间,取工作时间为 14 d。

经计算,应急卸载装置总流量为 $1\,042\text{ m}^3/\text{h}$,本工程配备 $200\text{ m}^3/\text{h}$ 应急卸载泵,满足一级防备能力($52\text{ m}^3/\text{h}$)要求,同时满足《油轮单点系泊作业安全要求》^[7]“卸载能力 $\geq 200\text{ m}^3/\text{h}$ ”的要求。

2) 应急拖带能力,指船舶发生或可能发生溢油事故时,能够将船舶安全拖至指定水域的能力,见式(5)。

$$P=kB \quad (5)$$

式中: P 为所需拖轮总功率, kW; k 为系数, 25 万吨级油船取 0.05; B 为船舶最大载质量,取 25 万 t。

经计算,拖轮总功率为 12.500 MW ,本项目配备拖轮 4 艘,单艘 $5\,000\text{ hp}$ (3.728 MW),合计功率 14.912 MW ,满足其拖带能力要求。

2.2 围控与防护能力

根据溢油船舶大小、回收系统的数量以及围控需求,确定围控和防护围油栏的数量。

1) 溢油围控的围油栏数量为:

$$L_1=3N(B+W) \quad (6)$$

式中: L_1 为溢油围控的围油栏数量, m; B 为最大船型的船长,取 333 m ; W 为最大船型的船宽,取 60 m ; N 为布设围控的围油栏层数,取 1 层。

经计算,围控的围油栏数量为 $1\,179\text{ m}$,

取 1 200 m。

2) 收油作业配套的围油栏数量为:

$$L_2 = 100D \quad (7)$$

式中: L_2 为收油作业配套的围油栏数量, m; D 为收油系统数量, 取 2。

经计算, 收油作业配套的围油栏数量为 200 m。

3) 导流配套的围油栏为:

$$L_3 = UN_2 \quad (8)$$

式中: L_3 为导流配套的围油栏数量, m; U 为 1 组围油栏的长度; 取 200 m; N_2 为所需导流的围油栏的组数, 取 2 组。

经计算, 导流配套的围油栏数量为 400。

4) 防护配套的围油栏数量为:

$$L_4 = \varphi(L_1 + L_2 + L_3) \quad (9)$$

式中: L_4 为防护配套的围油栏数量, m; φ 为加权系数, 取 0.4。

经计算, 防护配套的围油栏数量为 640 m。

5) 围控和防护围油栏的合计数量 L 为:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad (10)$$

经计算, $L = 2\,240$ m, 如按照 5% 一级防备能力取 112 m 很难满足第一时间布控围护要求, 此外依据《油轮单点系泊作业安全要求》“溢油应急围控围油栏 $\geq 1\,000$ m, 防火围油栏 ≥ 200 m”的规定, 本项目配备高 1.5 m 的防火型溢油应急围控围油栏 1 200 m, 同时配备导流围油栏 200 m, 收油作业围油栏 200 m, 合计 1 600 m。

2.3 回收与清除设施

发生溢油事故后, 采用物理、化学或者生物方法, 对溢油进行回收和消除的能力包括机械回收能力、临时存储能力、溢油分散剂喷洒能力、吸收吸附能力。

1) 机械回收能力, 指机械回收装置的收油能力。

$$E = \frac{TP_1}{[6\rho\alpha Y(1-\varphi_1)]} \quad (11)$$

式中: E 为收油机回收能力, m^3/h ; T 为总溢油量, 取 1.42 万 t, 参考表 2^[8]; P_1 为机械回收量占总溢油量的比例, 取 60%; ρ 为回收油水混合物密

度, 取 $856.7 \text{ kg}/\text{m}^3$; α 为收油机收油效率, 取 5%; Y 为作业天数, 取 3 d; φ_1 为富余余量, 取 20%。

原油船舶总溢油量应按照油船最大油舱和溢油概率分析确定, 缺乏资料时可参照表 2 取值。经计算, 收油机回收能力为 $1.381\,3 \text{ 万 m}^3/\text{h}$, 本项目配备 $800 \text{ m}^3/\text{h}$ 收油机, 满足一级防备能力要求, 同时满足《油轮单点系泊作业安全要求》中“回收能力 $\geq 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ”的要求。

表 2 油船溢油量参考值

| 船型/万 t | 溢油量/t |
|-----------|-----------|
| 5.0~8.0 | 0.53~0.85 |
| 8.0~15.0 | 0.85~1.28 |
| 15.0~25.0 | 1.28~1.42 |
| >25.0 | >1.42 |

2) 临时存储能力, 指船舶溢油应急过程中配备的临时储存装置的储存量, 可根据机械回收能力、储存容积、转运能力等因素计算临时储存能力。一般情况下, 临时储存能力可采用收油机工作 12 h 回收能力确定, 经计算, 临时储存能力为 $9\,600 \text{ m}^3$, 本工程配备移动式存储仓容 $1\,100 \text{ m}^3$, 其余利用库区事故池进行存储, 可满足要求。

3) 溢油分散剂喷洒能力。

①溢油分散剂配备量为:

$$G = TP_2R \quad (12)$$

式中: G 为喷洒溢油分散剂配置量, t; P_2 为溢油分散剂处理量占总溢油量的比例, 取 30%; R 为溢油分散剂与油的用量配比, 本项目按浓缩型取 0.1。

经计算, 溢油分散剂配置量为 426 t。本工程配备 21.5 t, 满足一级防备能力 5% 的要求。

②溢油分散剂喷洒速率为:

$$V = \frac{G}{6 \times 60 \rho_1} \quad (13)$$

式中: V 为溢油分散剂喷洒速率, L/min; G 为溢油分散剂的喷洒量, 取 21.50 t; ρ_1 为溢油分散剂密度, 参考某厂家参数取 $0.85 \text{ kg}/\text{L}$ 。

经计算, $V = 23 \text{ L}/\text{min}$ 。本工程配备固定式船用喷洒 2 套, 每套喷洒能力 135 L/min; 便携式手动喷洒装置 8 套, 每套喷洒能力 18 L/min, 合计 414 L/min, 远超计算结果, 同时满足《油轮单点系

泊作业安全要求》关于溢油喷洒装置的配备要求。

4) 吸收吸附能力, 指吸油毡和吸油拖网等吸油能力。根据《油轮单点系泊作业安全要求》中“吸油毡 ≥ 8 t, 吸油拖栏 $\geq 1\ 500$ m”的要求, 本工程配备吸油毡 10 t, 吸油拖栏 2 000 m, 吸油能力为:

$$T_1 = IJK\varphi_1 \quad (14)$$

$$T_2 = LNK \quad (15)$$

式中: T_1 为吸油毡吸油量, t; I 为吸油毡量, t; J 为吸收吸附倍数, 需满足《船用吸油毡》^[9]中“吸油倍数 ≥ 10 ”的要求, 参考某厂家参数取 20 倍; K 为油保持率, 根据《船用吸油毡》《吸油拖栏》取 80%; φ_1 为吸收吸附加权系数, 取 0.3; T_2 为吸油拖栏吸油量, t; L 为吸油拖栏长度, m; N 为吸油能力, kg/m, 需满足《吸油拖栏》^[10]中“吸油倍数 ≥ 6 ”的要求, 参考某厂家参数取 22 kg/m。

经计算, 吸油毡吸油量为 48 t, 吸油拖栏吸油量 35.2 t, 合计吸油 83.2 t, 满足 10% 总溢油量的一级防护能力 (70 t) 要求。

2.4 应急溢油船的配备

本工程配备 1 艘专业应急溢油船, 包括固定收油机 2 台, 内置双侧布置, 每台设计能力 150 m³/h, 污油收集固定仓容 600 m³, 搭载溢油监视雷达, 固定回收油驳运系统 1 套, 满足《油轮单点系泊作业安全要求》“至少应配备一艘专业溢油应急船及其配置的相关”的规定, 同时甲板临时存储 200 m 充气式围油栏装置 3 套, 配充气机 1 套, 液压泵站 1 套以及吸油毛毡和吸油拖栏, 溢油应急船停靠位置满足 30 min 到达现场要求。

本工程除布置于专业应急溢油船上的应急设施外, 其他设施可布置于陆域或者其他拖轮上, 满足 4 h 内到达事故现场要求。

3 结论

1) 单点系泊泊位是一种远离陆域的孤点式装卸泊位, 且离陆域较远, 无陆域应急救援设施可依托, 因此机动的消防设施和溢油应急设施配备要求至关重要。

2) 结合单点系泊泊位特点和《油气化工码头设计防火规范》的消防要求, 提出消防船的配备应满足其消防救援能力需要, 消防船的配备应结合池火概念, 量化了其安全距离, 并提出备用消拖船的观点。

3) 鉴于单点系泊泊位装卸作业时无固定围油栏进行围护, 根据《船舶溢油应急能力评估导则》确定了溢油应急设施配备能力, 依据《油轮单点系泊作业安全要求》提出某些设施配置要求, 文中提供的计算方法依据规范标准确定, 实际工程运用中应结合环评及其批复进行调整。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司, 交通运输部公安局. 油气化工码头设计防火规范: JTS 158—2019[S]. 北京: 人民交通出版社有限公司, 2019.
- [2] 苑静, 宋文华, 张茹, 等. 原油储罐池火灾状态下消防救援安全距离的研究[J]. 消防科学与技术, 2009, 28(2): 124-126.
- [3] 中华人民共和国公安部. 固定消防炮灭火系统设计规范: GB 50338—2003[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [4] 中国海洋石油生产研究中心. 单点系泊装置建造与入级规范: SY/T 10032—2000[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [5] 烟台海事局烟台溢油应急技术中心, 交通运输部规划研究院, 大连海事大学. 港口码头水上污染事故应急配备能力要求: JT/T 451—2017[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [6] 中华人民共和国山东海事局, 中国海事局烟台溢油应急技术中心. 船舶溢油应急能力评估导则: JT/T 877—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [7] 交通运输部天津水运工程科学研究所, 广东海事局, 中国石化茂名分公司. 油轮单点系泊作业安全要求: GB 40875—2021[S]. 北京: 中国质检出版社, 2021.
- [8] 张春昌. 区域船舶溢油污染风险与应急能力评估关键技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2019.
- [9] 交通部水运科学研究所, 北京合成纤维技术研究所, 江苏太仓市经贸特种滤材厂, 等. 船用吸油毡: JT/T 560—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [10] 中华人民共和国山东海事局, 中国海事局烟台溢油应急技术中心, 交通运输部规划研究院. 吸油拖栏: JT/T 864—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

(本文编辑 王传瑜)