

LNG 接收站卸料臂结构及操作技巧

李恺晨（中石油江苏液化天然气有限公司，江苏 南通 226000）

摘要：卸料臂是实现液化天然气（LNG）接收站与 LNG 货轮工艺系统连接的关键枢纽。船舶所载的 LNG 由船上的卸货泵输出，通过卸料臂工艺管线及卸料管线输送至 LNG 储罐存储，因此能够实现卸料臂与船侧输液法兰口的快速准确稳定连接十分必要。本文主要阐述了 LNG 接收站卸料臂的主要结构及操作时的连接技巧。

关键词：LNG 接收站；卸料臂结构；驱动；连接；操作技巧

1 LNG 卸料臂简介

1.1 卸料臂机械结构

中石油江苏 LNG 接收站配备 4 台 FMC 的 DCMA-S 型卸料臂，卸料臂主要由基座、内臂、外臂、工艺管道、平衡系统等组成。

①基座：用于支撑整个卸料臂的重量，它的高度由码头和船上管汇法兰面高于水面的距离决定，基座上设置有卸料臂的机械固定点、维修平台等；②内臂：内臂支撑基座与外臂之间的工艺管道、外臂及 Style80；③外臂：内臂与外臂通过 Style40 连接，外臂附着在内臂上，在外臂末端安装 Style80；④工艺管线：工艺管道采用奥氏体不锈钢 304L，固定在外臂、内臂、基座，工艺管道与卸料臂机构间用绝热块隔离；⑤平衡系统：每个臂设置一个主配重和次配重，主配重平衡内臂、外臂和 Style80 的重量，位于内臂的末端。次配重安装在外臂的内平衡轮上，平衡外臂和 Style80 的重量，次配重始终与外臂保持平行。

1.2 卸料臂重点部件

卸料臂重点部件主要有组合回转接头、双球阀 DBV（Double Ball Valve）、PERC 卡箍（Pipe Emergency Release Coupler）、QCDC（Quick Connect/Disconnect Coupler）等。

1.2.1 回转接头

组合回转接头确保机构间能相互转动，低温工艺管道不会与管架直接接触。

Style50 连接内臂和基座，在基座的管架和工艺管道上各安装了两个回转接头，一个位于水平面，一个垂直于水平面，可以使卸料臂进行前后伸缩、左右移动。

Style40 连接内臂和外臂，在内臂与外臂连接处的管架和工艺管道上各安装一个回转接头，该回转接头垂直于水平面，可以使卸料臂进行前后伸缩。

Style80 由三个回转接头组成，整体 Style80 还包括双球阀（DBV），PERC 卡箍，QCDC 以及相应的执行机构和接线箱，它可以进行上下、左右及前后的回转。

1.2.2 双球阀 DBV

DBV 作为 ESD-B 船岸分离时工艺管道隔离阀使用，其位于 Style80 上，由两个阀串联安装组成，上下阀相互联系且独立，易于维护。双阀均带有自泄放功能，阀与阀之间的对接面通过 PERC 卡箍连接，阀座位于 PERC 法兰面上，在双球阀未关闭时，PERC 卡箍不会脱开动作。除此之外，对接面上还配置有一对临时夹块，在卸料臂连接好后取下，断臂后装回，其主要是防止在非卸船操作期间卡箍意外脱开。

1.2.3 PERC 卡箍

卡箍围绕双球阀中间对接面安装，通过调整焊接螺母对卡箍施加预紧力（900N.M），PERC 凹槽处设置弹簧易于脱开，PERC 液压缸未收回时，双球阀无法打开，双球阀未完全关闭时，无法脱开 PERC。触发 ESD-B 时，PERC 在外力作用下脱开，实现船岸工艺系统的紧急分离。

1.2.4 QCDC

通过操作抓爪的开合实现卸料臂对船法兰的连接与断开。其采用螺栓螺母的自锁结构能确保在抓紧以后一直保持，提高安全性，在失去外部动力的情况下，仍可以通过手动方式打开 QCDC。

1.2.5 其他相关附件

序号	名称	作用	备注
1	机械支撑	位于 S80 末端；将臂的部分载荷传递至甲板，减少船岸法兰面的应力；发生船岸紧急分离后防止位于船上的部分自由旋转	卸料臂预冷完成后需重新调整机械支撑
2	维修法兰	固定 S80 在维修位置，便于进行相关维修和测试	每个臂设置一个维修法兰

3	就地控制盘	显示卸料臂相关信息；执行测试、紧急触发、移动臂、开关阀等相关操作	视野受限，就地控制盘不便操作卸料臂
4	遥控器	配合就地控制盘进行卸料臂的操作；在就地控制盘旁安装信号接收器	配备电池及充电器
5	PERC 轴	船岸紧急脱离时传递剪切力，脱开 PERC	卸船中使用
6	PERC 钥匙	配合 PERC 油路手动切断阀使用，确保卸船过程中 PERC 油路畅通，非卸船过程中 PERC 油路关闭；PERC 钥匙插入就地控制盘并置于工作位置作为“ARM READY FOR LOADING”的条件	PERC 钥匙插入就地控制盘并置于工作状态时，臂将禁止选择（机械选择除外）；每个臂配备单独的两把钥匙（一用一备）；禁止使用备用钥匙
7	平衡轮及钢丝绳	将 S50 液压缸驱动平衡轮的扭矩通过钢丝绳传递至 S40 处的平衡轮，驱动固定于 S40 处的外臂做相应运动	钢丝绳与平衡轮无相对滑动

1.3 卸料臂液压系统

1.3.1 卸料臂驱动单元

卸料臂驱动动力由液压系统提供，动力单元将为以下动作提供动力：

整体左右旋转、内臂上抬或下压、外臂上抬或后退、蓄能器充压、双球阀开关、PERC 打开、QCDC 开关。安装在卸料臂上的主配重和次配重使卸料臂在操作过程中更加平稳和省力。

1.3.1.1 液压油缸配置

在基座冒口处安装了一个单缸双作用液压缸，用于驱动卸料臂左右旋转。

在内臂支架上安装了一对单缸单作用液压缸，采用液缸串联方式，通过钢丝绳传递动力来驱动内臂上仰和下俯。

在基座冒口处安装了一个单缸双作用液压缸驱动内平衡轮，再通过钢丝绳传递至外平衡轮，外平衡轮带动外臂向前或者向后移动。

1.3.1.2 卸料臂状态

①自由状态：卸料臂无法进行操作，在正常卸船和收回储存位置时使用。该状态下就地控制盘和遥控器上“臂选择”指示灯熄灭；②选中状态：操作前，需要使需操作的臂处于选中状态。就地控制盘和遥控器上“臂选择”指示灯闪亮处于“PERC ARMED”状态时，无法对臂进行选择，通过接近开关检测选择阀芯下移可以确定臂的选择；③锁定状态：锁定后，取消选择臂锁定状态的保持，卸料臂不能执行操作命令。此时就地控制盘和遥控器上“臂选择”指示灯常亮。

1.3.2 蓄能器

江苏 LNG 接收站卸料臂配备一个 HPU 蓄能器（10L）和四个 ERS 蓄能器（50L）。蓄能器是标准的气囊式压力容器，气囊由具有高密封性和高强度的钢板制成。蓄能器外部管线上的先导式止回阀保持其压力，在液压单元无法提供动力时作为备用动力。

10L 蓄能器压力开关位于 HPU 蓄能器出口管线，检测 HPU 蓄能器（10L）内液压油压力，包含两个压力开关，一个检测低油压和低低油压，另一个检测高油压，系统设置为低低油压时报警、低油压启动液压泵、高油压停止液压泵。当 HPU 蓄能器的压力低于 178bar 时，压力开关输出信号至控制系统将自动启动液压泵，蓄能器压力增加至 180bar，1min 后泵停止，启泵 5min 后仍然未达到 180bar，泵将自动停止，压力低于 175Bar，泵禁止启动。

50L 蓄能器位于选择阀组柜旁，每条臂单独设置一个 ERS 蓄能器撬。当蓄能器压力降低时，HPU 蓄能器将作为补充压力给 ERS 蓄能器充压。在液压单元失电时为卸料臂提供驱动动力，系统失电时为船岸紧急分离提供动力，包括：ERS 阀关闭、PERC 开启、内臂收回 2m 或将卸料臂收回至储存位置。

1.3.3 选择阀组

①臂选择阀：由一个两位四通电磁阀和选择阀组成，液压油驱动，并带有自复位弹簧，可以通过手动旋下螺栓对臂机械选择或电磁阀通电改变供给液压先导阀液压油流向对臂进行选定，接近开关检测臂的选择状态；②外臂锁定阀：操作位于存储位置的卸料臂时，将该阀置于“OUT BOARD ARM FREE”位置，卸料臂收回存储后，将其置于“OUT BOARD ARM LOCK”状态，卸船过程中此阀应置于“OUT BOARD ARM FREE”位置；③蓄能器压力手动释放阀：该阀为常关阀，位于选择阀组柜内右侧，液压单元失电需要动作卸料臂时打开该阀，为卸料臂的动作提供动力。蓄能器的压力不提供打开 QCDC 驱动力，在液压单元失电时，需要手动打开 QCDC；④ PERC 油路机械互锁阀：确保当钥匙位于就地控制盘，且系统处于“ARM READY FOR LOADING”时该互锁阀开启，在阀关闭时，钥匙位于 PERC 上，系统不会处于“ARM READY FOR LOADING”状态。互锁方式：开启 PERC 油路机械互锁阀前，需插入 PERC 钥匙并顺时针方向转动钥匙 90°；关闭 PERC 油路机械互锁阀前，需要将 PERC 钥匙插入 S80 相应位置，并逆时针方向转动钥匙 90°。当 PERC 钥匙插入就地控制盘并置于工作状态时，系统

将自动解除相应臂的选定状态，并屏蔽对臂的选择（机械选择除外）；⑤紧急脱离操作阀：当卸料臂处于卸料状态，系统失电或逻辑紊乱且需要进行船岸分离操作时，操作员可通过操作每一条臂的“紧急脱离操作阀”实现船岸紧急脱离；⑥节流阀：为了实现对臂移动速度和对单个机构驱动速度的微调控制，在液压油泵出口处设置一套可调单向节流阀，微调控制进入下游的液压油流量。在 DBV, QCDC, 内臂，外臂，臂回转控制电磁阀下游分别设置一套可调双向节流阀，微调臂及其相应机构的驱动速度。

2 LNG 卸料臂操作

卸料臂的可操作方式为：就地模式下就地控制盘 LCP 操作、遥控模式下遥控器远程操作、选择阀组手动操作。在操作卸料臂时一般选择遥控器远程操作。

2.1 遥控器操作卸料臂的基本方式

左按钮上：内臂上抬；左按钮下：内臂下放。

左按钮左：收紧抓爪；左按钮右：张开抓爪。

右按钮上：外臂上抬；右按钮下：外臂后缩。

右按钮左：整体左旋；右按钮右：整体右旋。

速度选择：常速（兔标）、慢速（龟标）。

其余选择：遥控电源开关、液压油泵启停、臂选择、卸料臂锁定 / 解锁。

2.2 遥控操作卸料臂连接船法兰

2.2.1 连接操作

①就地控制盘选择遥控模式，打开遥控器电源开关，启动液压油泵，解锁内外臂，选择需要操作的臂向外伸出后锁定，等待连接；②选择并解锁需要操作的臂，常速移动至船侧安全操作区，打开 QCDC 抓爪，取下盲法兰盖板，检查法兰密封面及 O 型密封圈、主密封等部件；③通过操作卸料臂左右移动及内外臂上抬后缩，目测动作至船法兰与 QCDC 法兰中心对齐并之间留有一段间隔；④切换至慢速（龟标），右上按钮（外臂上抬）与左下按钮（内臂后缩）轮流点动，将 QCDC 导轨顺进船法兰外边侧并缓慢往前推送，再根据实际情况微操作调整使两法兰面贴合，确定不留空隙后收紧 QCDC 抓爪。此时两法兰在抓爪液压力的作用下紧密相连，切换该臂为自由状态后，进而进行气密性测试等下一步操作。

2.2.2 断开操作

①卸料臂排净吹扫合格后，就地控制盘选择遥控模式，打开遥控器电源开关，启动液压油泵，选中待断开的臂；②切换至慢速（龟标），缓慢全开 QCDC 抓爪，点动左上按钮（内臂上抬）与右下按钮（外臂

后缩），沿着导轨将法兰头缓慢退出至船侧安全操作区；③盖上盲法兰盖板，收紧 QCDC 抓爪抓住盖板，再将臂整体收回至岸侧。

2.2.3 操作经验

①连接卸料臂时，两法兰中心大致对准后将卸料臂法兰放低一点更易后续的连接；②连臂时，先进行上下面的贴合再左右贴紧。一般情况下若两法兰面上部有较大空隙但下部已贴紧，此时点动右上按钮将外臂上抬一点即可；若两法兰面下部有较大空隙但上部已贴紧，此时点动左下按钮将内臂往下放一点，切不可无操作逻辑胡乱调整，以免法兰面挤压刮花受损；

③断臂打开 QCDC 抓爪时，先微开一点点，泄去卸料臂内残留的压力及气液后再全开；④在天气不太明朗或海底暗涌较大的情况下，有时即使系缆完好，LNG 船舶也会像落叶在水中一样上下起伏，这样就会给卸料臂的操作造成了很大的困难。尤其是在连接时，往往导轨刚顺进船法兰就一下子被晃了出来，此时就得果断地往回收臂，否则导轨的橡胶头非常容易撞上甚至刮花船法兰头的密封面，造成密封不严导致卸料时 LNG 泄露以及一系列的问题。所以在这种环境情况下，只能瞅准海面平稳的间隙或掌握好起伏摆动的频率快速准确地连好卸料臂收紧抓爪并及时切到臂自由状态，防止船舶摆动的牵扯力损坏臂在选中时锁定的机械结构。因此，熟能生巧是应对紧急操作卸料臂时的唯一办法，没有时间可以去思考此时内臂该上抬下放还是外臂该上抬后缩，只能靠当下最本能的反应应急操作。

3 结束语

卸料操作程序是 LNG 接收站运行的重要环节。本文着重介绍了卸料臂的基本参数结构和相应重点部件，讲解了关于卸料臂的使用操作方法，并附上本人工作经历时一些操作卸料臂的心得体会。

参考文献：

- [1] 孙承超, 巴文安. LNG 卸料臂国产化的可行性研究 [J]. 流程工业, 2022(10):48-51.
- [2] 曾小川. LNG 卸料臂操作漂移较大原因及解决方案分析 [J]. 设备管理与维修, 2022(19):43-45.
- [3] 田小富, 汪世涛, 孙保龙. LNG 卸料臂自动对接方式研究 [J]. 天然气技术与经济, 2017(S1):75-77.
- [4] 陈国霞, 靳由顺. LNG 卸料臂安装过程中的关键技术 [J]. 油气储运, 2015(08):874-878.
- [5] 温庆城, 夏硕, 杨艳平, 史涛. 卸料臂操作出现的问题及解决措施 [J]. 天然气技术与经济, 2011(S1):39-40.