

# 油品液体化工码头消防水泵复核与设计选型

王洋

(天津市海岸带工程有限公司, 天津 300384)

**摘要:** 消防水泵作为消防给水系统中最常用的设备, 其布设选型是否合理将对消防给水产生较大的影响。某油品液体化工码头因发展需求, 需要靠泊 100000 吨级油船, 通过结合相关现行设计规范对现有消防水泵的供水能力和布设进行复核, 验证其是否能继续被利用, 若不能, 需要重新设计选型。消防水泵若需重新设计选型, 在选型后通过对消防水泵并联运行曲线和汽蚀现象是否会发生进行分析与判断, 验证经重新设计选型的消防水泵在布设和供水能力方面能否满足消防给水系统改建后的要求, 同时提出了灭火第二阶段消防水泵的操作方法。

**关键词:** 水泵; 复核; 设计选型; 运行曲线; 汽蚀现象; 操作方法

**中图分类号:** U656.1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0071—03

某油品液体化工码头现状可靠泊最大船型为 50000 吨级, 随着市场对石化产品需求不断增加, 该码头需通过改建扩大作业能力, 实现靠泊 100000 吨级油船。

项目已按照预留 100000 吨级油船的可能对消防给水系统进行了设计, 只是设计之时主要参考《装卸油品码头防火设计规范》JTJ 237-99, 如今该规范已被《油气化工码头设计防火规范》<sup>[1]</sup> 替代, 通过对比发现两者内容差异较大, 部分条文规定《油气化工码头设计防火规范》<sup>[1]</sup> 要严于《装卸油品码头防火设计规范》JTJ 237-99, 这就使得码头已建消防给水系统不能满足现行设计规范的要求。

基于上述原因, 码头已建消防给水系统需重新设计, 以满足现行设计规范的要求。本文以该油品液体化工码头改建设计工作为基础, 结合现行规范规范和项目现状, 着重对现有消防水泵的布设和供水能力进行复核, 以验证其能否在改建后的消防给水系统中被继续利用。若不能, 则需重新布设与设计选型。

## 1 工程概况

项目位于北方某港区北部岸线的液体化工及油品泊位岸线区段, 码头泊位长度 298m, 码头宽 26m, 码头与陆域之间设 1 座引桥, 作为管廊及码头与岸联系的通道, 引桥宽度 18m, 长度 70m。可同时靠泊 2 艘 5000 吨级化学品船, 最小兼顾 1000 吨级化学品船, 最大靠泊 50000 吨级油轮。

码头布置采用连片式 + 系缆墩结构。泊位中部可靠泊 10000~50000 吨级船舶, 泊位东侧与西侧可靠泊较小船型。

码头现有消防设施包括: 消防塔架、固定式消防水炮、固定式消防泡沫炮、固定式干粉炮、移动炮、水幕、消火栓、灭火器、消防水管道和泡沫混合液管道等。

陆域现有消防设施包括: 消防水泵、平衡式泡沫比例混合装置、泡沫液罐、消防水池、消防水管道和泡沫混合液管道等。

## 2 消防给水系统改建

### 2.1 消防给水系统调整

码头消防系统包括消防给水系统和泡沫灭火系统, 前者用于设计船型着火舱周围一定范围内的甲板冷却, 后者用于设计船型液货舱灭火。

根据《油气化工码头设计防火规范》<sup>[1]</sup> 相关要求, 已建消防给水系统面临的最大问题是消防泵房现有消防水泵组最大给水流量不能满足改建后消防给水系统和泡沫灭火系统所需最大用水流量之和的要求。根据项目现状综合考虑, 将两套系统相互独立设置, 消防水由已建消防泵房供给, 泡沫水由新建泡沫消防泵房供给, 其他更改按照《油气化工码头设计防火规范》<sup>[1]</sup> 相关要求执行。

### 2.2 改建后消防给水系统设计参数

现状消防水最大流量为 401L/s, 改建后消防水与泡沫水最大流量为 533L/s, 其中消防水流量 385L/s, 所需压力 1.7MPa, 根据灭火需求, 消防水流量和用水设施见表 1。

表 1 消防水流量和用水设施表

序号	流量 (L/s)	用水设施
1	385	固定式消防水炮、水幕、移动消防设施
2	155	固定式消防水炮、移动消防设施

### 3 消防水泵复核

消防泵房内现有4台消防电动泵,3用1备,单泵流量140L/s,扬程180m,供水能力满足改建后消防给水系统用水要求,但结合《油气化工码头设计防火规范》<sup>[1]</sup>、《石油化工企业设计防火标准》<sup>[2]</sup>和《消防给水及消火栓系统技术规范》<sup>[3]</sup>相关要求对消防水泵布设现状进行复核,发现以下问题:

(1) 备用泵未采用柴油机拖动,且未达到具备100%备用能力要求;

(2) 若主泵不变,备用泵采用柴油机泵,3用1备运行,则备用泵出水流量不符合规范要求,且1台主泵发生故障时就需启动备用泵代替3台主泵工作,运行模式合理性较差。

因此,消防水泵需重新布设和设计选型。

### 4 消防水泵设计选型

#### 4.1 消防水泵特性曲线

根据改建后消防给水系统所需流量、供水压力、运行模式合理性以及消防泵房空间等因素综合分析,主泵采用电动泵,备用泵采用柴油机泵,2用2备,单泵流量200L/s,扬程170m,额定功率515kW,NPSHr(必需汽蚀余量)5.2m,消防水泵特性曲线如图1所示。

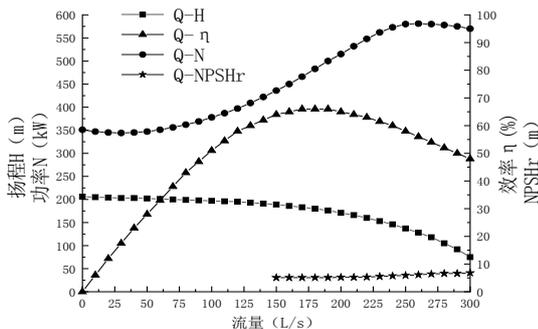


图1 消防水泵特性曲线

由图1可知,消防水泵高效区为60%~66%,对应的流量和扬程分别为120L/s~250L/s和195m~137m。

#### 4.2 消防水泵并联特性曲线

消防水泵并联运行时,其工作点由泵与其所隶属的管道系统一同确定,即水泵特性曲线与管道系统特性曲线共同确定工作点。将管道水头损失视为零的情况下,根据图1内容按照《泵与泵站》<sup>[4]</sup>给出的步骤绘制水泵并联特性曲线,如图2所示。

(1) 在同一坐标图上绘制并联各泵的(Q-H)特性曲线;

(2) 把对应同一H值的各流量相加;

(3) 用平滑曲线将流量叠加后的坐标点连接,得到水泵并联后的总和(Q-H)特性曲线。

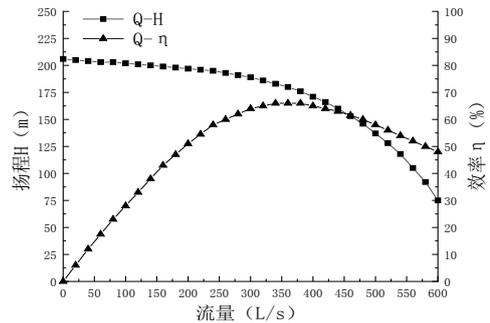


图2 消防水泵并联特性曲线

#### 4.3 管道特性曲线

根据管道系统特性方程绘制管道系统特性曲线,管道系统特性方程如下。

$$H = H_{ST} + \sum SQ^2 \quad (1)$$

$$S = \sum AkL + \sum 8\zeta / \pi^2 D^4 g \quad (2)$$

式中: H—扬程(m);  $H_{ST}$ —静扬程(m); S—管道综合阻力系数; Q—管道流量( $m^3/s$ ); A—管道比阻; k—修正系数; L—管道长度(m);  $\zeta$ —局部损失系数; g—重力加速度( $m/s^2$ ); D—管道直径(m)。

根据公式1、2和图2绘制消防水泵并联运行曲线,如图3所示。

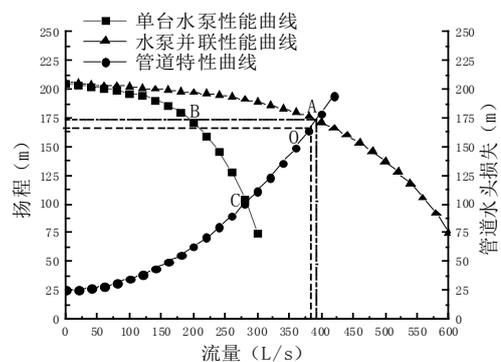


图3 消防水泵并联运行曲线

#### 4.4 消防水泵选型分析

##### 4.4.1 流量、扬程、功率、NPSHr、效率

由图3可知,灭火第一阶段,消防给水流量最大,该阶段2台消防水泵并联运行,此时A点为消防水泵并联特性曲线与管道系统特性曲线交汇点,B点为2台

消防水泵并联运行时单台消防水泵工况点，O点为设计工况点。消防水泵并联运行时各工况点参数见表2。

表2 消防水泵并联运行时各工况点参数表

序号	工况点	流量 (L/s)	扬程 (m)	功率 (kW)	NPSHr (m)	效率 (%)
1	A	392	173	510	5.2	66
2	B	196	173	510	5.2	66
3	O	385	170	—	—	—

结合图1和表2可知，A点流量和扬程满足O点要求，此时消防水泵效率处于高效区内。此种工况下消防水泵供水能力满足用水需求，各项运行参数合理高效。

灭火第二阶段，消防给水流量最小，该阶段1台消防水泵运行，此时消防水泵特性曲线与管道系统特性曲线交汇于C点。单泵运行时各工况点参数见表3。

表3 单泵运行时各工况点参数表

序号	工况点	流量 (L/s)	扬程 (m)	功率 (kW)	NPSHr (m)	效率 (%)
1	C	280	102	578	6.6	52
2	设计工况	155	153	—	—	—

结合图1和表3可知，C点除扬程不满足设计工况点要求外，消防水泵功率升高至580kW远大于其额定功率515kW，NPSHr（必需汽蚀余量）升高至6.6m大于其额定流量对应的5.2m，效率降低至52%脱离了高效区，此时若不采取措施，消防水泵会出现驱动电机过载烧毁，还有可能发生汽蚀现象。

由于受到项目建设方对投资的硬性要求以及已建消防泵房结构尺寸不得改动的双重制约，灭火第二阶段通过调节阀门节流，加大管道系统水头损失，管道系统特性曲线将变陡，使交汇点C向左移动至设计工况点附近，达到消防水泵正常高效运行以满足用水需求的目的。因Q-N为上升曲线，调节阀门节流，减小流量，消防水泵轴功率也随着减小，驱动电机不会出现过载危害，而且通过调节阀门节流方便易行，因此，在泵站实际运行中是一种常见的操作方法。

#### 4.4.2 汽蚀现象

泵中最低压力如果降到被抽送液体工作温度下的汽化压力时，泵壳内会发生汽蚀现象。汽蚀现象初期表现为泵外部轻微噪声、振动和H、N下降，严重时泵的H、N、 $\eta$ 急剧下降，最后停止出水。为防止汽蚀现象发生，应确保NPSHa（有效汽蚀余量）> NPSHr（必需汽蚀余量）。但为了安全起见，在工程中，通常采用NPSHa（有效汽蚀余量）> NPSHr（必需汽蚀余量）+0.6，以保证水泵吸水性良好。NPSHa可由公式3确定。

$$NPSHa = \left[ \frac{P_a - P_v}{\rho g} \right] + \Delta H - \sum h \quad (3)$$

式中：NPSHa—有效汽蚀余量（mH<sub>2</sub>O）；P<sub>a</sub>—消

防水池表面气压（mH<sub>2</sub>O）； $\Delta H$ —吸入几何高度（m）； $\sum h$ —吸水管水头损失之和（mH<sub>2</sub>O）；P<sub>v</sub>—汽化压力（mH<sub>2</sub>O）； $\rho$ —输送介质密度（kg/m<sup>3</sup>）；g—重力加速度（m/s<sup>2</sup>）。

根据公式3计算并结合图1和图3，消防水泵并联运行 and 单独运行时的NPSHa和NPSHr关系见表4。

表4 消防水泵并联运行和单独运行时NPSHa和NPSHr关系

序号	运行工况	NPSHa (mH <sub>2</sub> O)	NPSHr (mH <sub>2</sub> O)	关系
1	并联运行	14.3	5.2	NPSHa > NPSHr+0.6
2	单独运行	12.0	5.1	NPSHa > NPSHr+0.6

由表4可知，消防水泵并联运行和单独运行时不会发生汽蚀现象。

## 5 结语

与民用类项目相比，油品液体化工码头消防备用泵应按照《石油化工企业设计防火标准》<sup>[2]</sup>中的“备用泵应采用柴油机泵，且应按100%备用能力设置”要求布设选型。

由于受到建设方和项目现状制约的影响，灭火第二阶段采用调节阀门节流，使各项参数合理运行，以满足用水需求的操作方法。此方法虽然常用却消耗大，对阀门磨损大，一般情况下，不宜使用此方法。

由于忽略了管道系统特性曲线对消防水泵并联运行的影响，往往错误地认为消防水泵并联数量增加一倍，流量也增加一倍，根据这种错觉布设消防水泵是不可靠的，应通过并联工况分析计算后确定消防水泵型号和数量为宜。

该项目消防水泵在进行常规设计选型之后，又通过绘制并联运行曲线进行并联工况分析计算和汽蚀现象判断，验证了消防水泵的适用性。此设计方法不仅具有提高设备选型结果可靠性的优点，更重要的是提升了消防水泵并联工况分析计算和汽蚀现象判断的能力，也为其他类似项目提供了参考。

#### 参考文献：

- [1] JTS 158-2019, 油气化工码头设计防火规范 [S].
- [2] GB 50160-2008 (2018年版), 石油化工企业设计防火标准 [S].
- [3] GB 50974-2014, 消防给水及消火栓系统技术规范 [S].
- [4] 姜乃昌. 泵与泵站 (第五版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 27-85.