

# 金属软管网套破裂原因分析及预防措施

杨美兰

南京炼油厂有限责任公司 江苏南京 210033

**摘 要:** 金属软管是油品装卸中常用设备。在装卸过程中, 经常会出现网套破裂, 导致波纹管鼓包、外挤、甚至撕裂, 造成油品外泄。所以有必要对此现象进行原因分析, 并采取相应措施, 确保装卸安全。

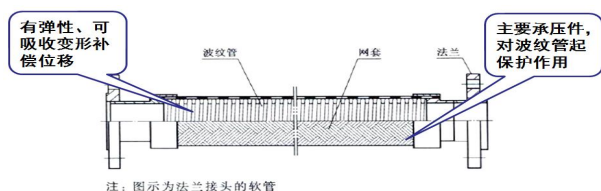
关键词: 波纹管; 网套; 压力; 水击

中图分类号: TV732.4      文献标识码: B

### 一、金属软管结构

不锈钢金属软管作为一种柔性耐压管件安装于液体输送系统中，用以补偿管道或设备连接端的相互位移，吸收振动能量，能够起到减振、消音等作用。具有柔性好、质量轻、耐腐蚀、抗疲劳、耐高低温等多项优点。不锈钢金属软管是由不锈钢波纹管外编一层或多层钢丝网套，两端配以接头或法兰，用于输送各种介质的柔性元件。其中不锈钢网套是由不锈钢丝编织而成，安装在波纹管外层。它是软管中的主要承压件，同时对波纹管起保护作用，根据管道中的压力大小及应用场所，可选择一层或多层的网套，按一定的参数编织而成，形成耐高压金属软管。

其结构如下图所示。



## 二、金属软管网套破裂、波纹管鼓出现象

码头车间由于承担了公司绝大部分油品的进出厂任务,装卸作业频繁。所以日常见到的金属软管网套破裂、波纹管外鼓,甚至撕裂现场较多。近几年,码头车间在装卸沥青作业过程中出现了几次金属软管网套破裂、波纹管鼓出现象:



图 1

2014 年 4 月 24 日, 8#码头沥青装船过程中发生的软管鼓包泄  
漏; 2018 年 8 月 17 日, 7#码头沥青装船过程中发生的软管鼓包泄  
漏; 2021 年 5 月 17 日, 7#码头沥青装船过程中, 船方阀门误操作  
导致憋压, 致使金属软管网套撑破、波纹管外挤现象; 2022 年 2

月 25 日 16 时 0 分 31 秒至 35 秒, 8#码头装沥青过程中, 金属软管突然变形, 波纹管中部向外鼓出, 撑裂钢丝网套, 整个过程持续时间 5 秒钟 (图 1)

结合以上几次案例，我们不难看出，造成金属软管网套破裂、波纹管鼓出，基本上都发生在沥青装船管线上。

下面,就以 2022 年 2 月 25 日发生的金属软管网套破裂、波纹管鼓出现象为例,加以具体分析:

### 三、金属软管网套破裂调查经过及原因分析

事件发生后，公司启动了调查程序。走访、问询、沟通了船方、码头及沥青泵房的操作人员，调阅了8#码头三处监控以及船方监控，追溯沥青罐区 DCS 记录以及码头计量系统趋势，获取了大量信息：

1、查 8#码头视频监控：软管外金属丝网破裂时间 25 日 16 时 30 秒（视频时间），即在装船约 1 小时后。码头车间发现软管外金属丝网破裂为 26 日 11 时 58 分，期间码头操作人员多次巡检均未发现软管异常。巡检时，甚至出现当班操作人员且踩着金属软管来回进行检查，虽然离事发软管近在咫尺，但未发现异常之现象。后续问询当班操作人员，其回复当时听到一声异常声响，且进行了例行检查。检查关注重点为软管法兰，故未发现软管本体异常。

生产计划部组织专人反复查看公司 8#码头三处视频监控记录以及船方视频监控记录,软管金属丝网破裂前未发现船方及码头人员有明显操作阀门动作。

调查过程中查《码头车间巡检方案》，方案中明确要求码头岗位每2小时1次工艺巡检、每小时1次船岸界面检查。巡检内容包括对金属软管的检查。但从实际结果来看，码头车间巡检不到位，岗位人员责任心缺失，巡检质量不高。交接班流于形式。无法保证巡检人员能够及时发现异常并处置。



图 2

2、查 25 日沥青岗位泵 P20 出口压力趋势：该泵出口压力自 25 日 16 时 0 分 30 秒开始由 0.78MPa 上涨，峰值出现在 0 分 42 秒，最高压力达到 1.88MPa。在变频投用的情况下，于 0 分 55 秒恢复正常压力，整体波动持续时长为 25 秒。（图 2）

此次波动过程中，泵出口压力高点达到 1.88MPa，超过泵出口的 1.6MPa 联锁值，但沥青泵并未联锁跳停。此时的憋压与软管外金属丝网破裂时间吻合。（图 3）

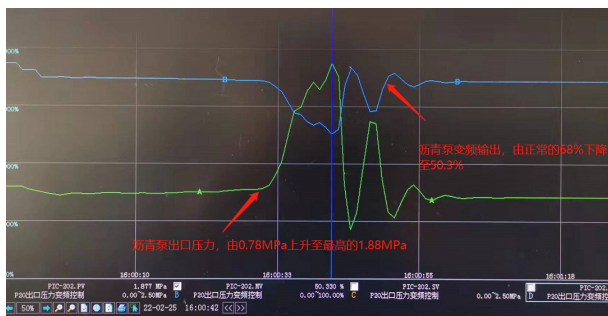


图 3

8#码头趸船操作室设有爆破片触发式超压声光报警系统，报警压力为 1.0MPa。通过查看趸船监控，确定事发前后趸船操作室有当班人员，问询当班人员反馈未发现趸船操作室声光报警提示。另因报警系统处于趸船操作室内监控盲区，无法通过调阅监控确认当时是否报警。调查过程中发现 8#码头趸船操作室爆破片超压报警系统不具备记录查询功能，一旦超压触发声光报警，泄压后不再继续报警，无确认报警功能。3 月 1 日联系仪表人员对该报警系统进行测试，报警系统可正常工作。

3、查码头计量系统，8#码头爆破片前后压力指示：25 日 16 时 0 分 20 秒，爆破片前后出现压力同时上升趋势，持续时长与当日沥青泵出口压力上涨吻合。其中，爆破片前压力由正常 0.1MPa 上涨至 0.39MPa，爆破片后压力上涨至 0.57MPa（图 4）

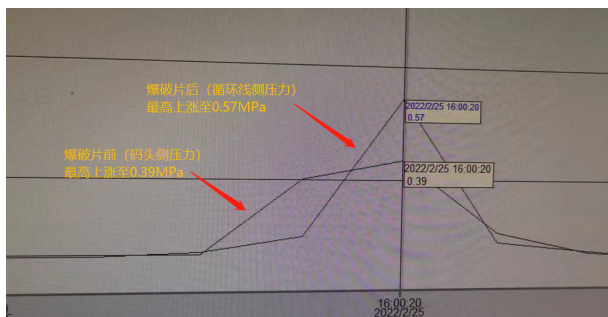


图 4

8#码头爆破片标定爆破压力 1.52MPa（140℃），25 日 16 时压力异常上升过程中，趋势记录爆破片前后最高压力分别为 0.39MPa/0.57MPa（图 4）。本次憋压期间，沥青泵出口憋压至 1.88MPa。因计量记录系统取值为 10 秒/次，虽然码头爆破片前后未记录到更高压力，且趸船操作室声光报警未发现触发，但因液相不可压缩，判断沥青爆破片于 25 日下午被击穿。28 日对爆破片拆开检查，确认爆破片已被击穿。

4、因疫情期间禁止船岸之间人员接触，码头操作人员船岸检查过程中只是通过问询、对讲的方式与船方进行沟通。调查人员未能第一时间进行现场核实舱位阀门情况。《装卸货前记录》显示自

15 时开始至 19 时为通舱（合计 10 舱）装船，19 时切换为 8 舱装船。调查人员后续问询船方，船方回复装船步骤为通舱装油 3 米后，关闭左右舷 5#舱两个阀门，使船首下沉，达到装船末期开始降量后，船首的左右舷 1#、2#舱装满首先关闭，待装船结束后关闭左右舷 3#、4#舱阀门。最后打开 5#舱进行最终的扫线操作。

5、金属软管日常维保问题：本次出现丝网破裂的金属软管厂家为航天晨光金属软管公司，管径为 DN150，压力等级为 2.5MPa，2015 年 6 月投入使用。金属软管在 2021 年 9 月初 8#趸船回港期间进行试压，压力为 3.75MPa。炼油厂日常软管检查频次为每月检查软管泄漏鼓包法兰保温防腐等情况，每年拆除软管进行一次软管耐压试验。

查《生产装卸用管管理规定》，规定中要求“充装单位或者使用单位对装卸用管必须每年进行 1 次耐压试验，试验压力为装卸用管公称压力的 1.5 倍，试验结果要有记录和试验人员的签字”“使用单位应定期对装卸用管进行检查，每年进行一次全面检查，检查内容包括网套、保护钢丝、内外表面有无损伤，法兰螺纹接口是否完好，管体有无变形、泄漏。橡胶是否老化变形开裂。检查记录存入设备档案。不合格的装卸用管应立即更换。”“码头使用的临江临水软管最长使用寿命不宜超过 8 年。与油船连接的装卸软管最长使用寿命不宜超过 6 年”。

本次调查过程中查阅了码头车间的软管检查记录、试压记录均符合规定要求，该软管使用年限为 7 年，符合不宜超过 8 年的要求。

本次调查过程中检查了该金属软管的试压记录，记录显示试压时间为 2021 年 9 月 22 日，软管设计压力为 2.5MPa，试压压力为 3.75MPa。有效时间至 2022 年 9 月。现场法兰面挂有试压记录牌，与试压记录一致。

6、沥青岗位报警管理存在问题：沥青岗位 P20 出口压力高报警值设定为 1.1MPa，高高报警值设定为 1.2MPa，联锁值设定为 1.6MPa。沥青岗位 DCS 系统为早期浙大中控 ECS100，存在读取、记录、响应时间长的问题。另报警设置默认为一旦报警值恢复正常，则报警显示消失，但后台调取报警统计可以查阅。该缺陷沥青岗位未能充分识别。

25 日 16 时，沥青泵出口压力出现波动。同时沥青岗位 DCS 出现报警，约 10 秒后泵出口压力降到报警值以下，报警在 DCS 主画面上不再显示。后续问询沥青当班操作人员，其反馈当时未听到报警声，未看到报警栏中的报警。2 月 26 日 1 时 44 分 29 秒，沥青岗位夜班操作人员对此报警进行了确认，但并未调阅趋势分析报警原因和交班，也没有汇报主管领导。

调查过程中对该系统报警情况进行试验，结果显示，在压力达报警值后间隔约 2 秒，会发出一次提示音。根据泵出口压力波动趋势看，当时会有 2 次提示音。

按照公司报警管理要求，装置技术管理人员应每天对报警情况进行统计和分析，但 2 月 25 日 P20 出口压力高报和高高报出现报警后，沥青岗位并未及时进行检查、确认和分析，导致该报警未被及时发现。

此次事件体现出沥青岗位整体报警管理缺失，装置工艺技术人员及班组成员风险意识不强，对于报警管理重视程度不够。



针对该问题,公司生产部、信息中心对所有沥青泵出口压力联锁做以下改进:1)增加联锁锁位功能,确保联锁触发后联锁输出自动锁位,在压力恢复至联锁值以下后,需人工确认才能解除。2)办理相关变更,将泵出口压力联锁值由 1.6MPa 变更为 1.3MPa,保证联锁提前动作。

除了以上分析的人为因素:巡检不到位、泵开大了、软管使用年限久了,管理上的责任外,还有介质在储运过程中的影响:

1、在沥青装船前,先进行管线暖线、循环、全面排查沥青管线保温情况,并进行完善整改,避免出现局部冻凝现象,导致管线不畅。沥青装船开始阶段,沥青付油泵阶梯式提量,避免提量过快导致前期管线挂壁介质移动导致憋压。以上都是诱发管线内部运行压力突然升高,导致金属软管网套破裂、波纹管突变鼓包的原因。

## 2、软管运行过程中温度对耐压性能的影响:

根据 GB/T14525-2010 波纹金属软管通用技术条件,金属软管在不同的温度下,耐压性能不同,如下:

### A.1 计算公式

软管在不同温度下,允许的最大工作压力按公式(A.1)进行计算:

$$P_s = k_2 \times P_d \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$P_s$ ——软管允许的最大工作压力,单位为兆帕(MPa);

$k_2$ ——软管的温度修正系数;

$P_d$ ——室温下设计压力,单位为兆帕(MPa)。

### A.2 温度修正系数

#### A.2.1 波纹管、网套和接头常用材料的温度修正系数见表 A.1。

表 A.1 温度修正系数

| 材料牌号           | 温度/℃ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                | ≤20  | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  | 350  | 400  | 450  | 500  | 550  | 600  |  |
| 06Cr19Ni10     | 1    | 0.93 | 0.81 | 0.70 | 0.64 | 0.60 | 0.57 | 0.54 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.49 | 0.47 |  |
| 022Cr19Ni10    | 1    | 0.93 | 0.81 | 0.70 | 0.64 | 0.60 | 0.57 | 0.54 | 0.51 | 0.50 | 0.49 | 0.47 | 0.47 |  |
| 06Cr17Ni12Mo2  | 1    | 0.93 | 0.83 | 0.72 | 0.66 | 0.63 | 0.60 | 0.55 | 0.53 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 |  |
| 022Cr17Ni12Mo2 | 1    | 0.93 | 0.83 | 0.72 | 0.66 | 0.62 | 0.59 | 0.56 | 0.55 | 0.53 | 0.51 | 0.50 | 0.50 |  |
| 06Cr18Ni11Ti   | 1    | 0.94 | 0.86 | 0.76 | 0.73 | 0.70 | 0.67 | 0.65 | 0.63 | 0.61 | 0.60 | 0.59 | 0.57 |  |
| Q235B,20       | 1    | 0.98 | 0.90 | 0.89 | 0.86 | 0.82 | 0.76 | 0.73 | 0.70 | 0.41 | 0.24 | —    | —    |  |

在常温下,金属软管设计压力 2.5MPa,装船时管道内部沥青介质温度在 130℃左右,蒸汽伴热在 150~160℃左右,修正系数取 0.7,软管的耐压能力降低至 1.75MPa。

## 3、瞬间压力冲击的影响

在《流体力学》及《液体管道瞬变流理论及应用》中,详细研究了输送液体管线的的水击现象(又称水锤现象)。当水击发生时,对管道的弯管段的冲击力比直管段更加强烈。

8 号码头沥青软管变形鼓包,是非常符合水击现象的。根据当时的视频监控及后来对当班员工的询问,都反映当时听到一声异常的声响,员工出来检查时,声音已经消失。金属软管临近末端阀,存在弯曲现象。发生水击时,受到的冲击力比直管段更加强烈,所以导致瞬间破裂、鼓包,完成压力释放。

事后我们查阅发生变形软管水压试验台账,发现大多数金属软管使用年限较长,有的已经近 7 年。钢丝网套存在一定程度的老化、磨损、断裂。趸船、活动引桥随着潮汐起伏,软管不断弯曲拉伸,频繁的折弯导致软管疲劳,其材质稳定性等下降较多。在同样的冲击力下,新软管可能能抵挡住,旧软管可能就会发生变形突变。

## 四、预防措施

1、提高水击现象的认识,完善压变、取压、连锁报警系统

2 月 25 日发生的问题,反映出对水击现象的认识不够。在瞬间突变的压力现象发生时,我们的仪表系统和报警系统不能有效的记录数据,不能有效报警提醒职工。

通过查询系统参数曲线,发现系统中压力参数采集时间间隔是 10 秒,流量数据采集时间间隔是 30 秒。这是不符合实际需要的。建议将压力采集时间缩短为 1~2 秒,流量采集时间控制在 5~10 秒。

报警设计不合理。在超压后,应当持续报警,等人工确认后再次消除报警,而不是压力值降低后自动恢复。在这种瞬间突变的情况下,报警系统没有起到有效的警示作用。

应当综合考虑,在输油臂底部设置压力变送器,缩短取值频率,设置连锁机泵、快切阀等设施,确保紧急停泵、关阀。

## 2、金属软管耐压测试的优化

按照 GB18434-2001《油码头安全作业规程》中 10.6.1.4,“所用的软管应定期进行压力试验,时间间隔不得超过一年;按照 ISGOTT《国际邮轮与油码头安全指南》第 5 版中关于试验压力的要求:按额定工作压力(RWP)的 1.5 倍进行压力试验。

按照《油品储运部金属软管使用管理规定》:“对于相对固定使用的金属软管和经常移动使用的金属软管,每年进行一次水压试验。试验压力为公称压力的 1.5 倍”。

目前,码头车间是按照公称压力的 1.5 倍,进行水压试验。

每年的耐压测试,都有可能损伤软管本体:如网套的钢丝发生一些隐蔽性的断裂、缩径等。每次软管打压,需要人工抬运、拖拽、撬杠等,都有可能对软管造成物理损伤。

可以考虑降低耐压测试取值,在适当的情况下,可考虑采用气压测试、公称压力相同的软管串联试压等方式。对趸船甲板、活动引桥等有相对位移的软管,可以安装防摩擦圈、橡胶垫等,以降低对金属软管本体的物理损伤。

## 3、缩短沥青等重质油金属软管的使用周期

沥青软管由于使用环境温度高,对金属网套、波纹管的老化或腐蚀都起到加速的作用。建议缩短重质油金属软管的使用周期,每年批量更新,可彻底消除软管变形破损可能造成的泄漏现象。其他有伴热保温的低凝点油品软管:如船燃线、蜡油线、纯苯线、PX 线等,也可适当缩短使用周期,可考虑每 4 年一换。其它轻质油品金属软管可考虑每 6 年一换。

## 4、使用可拆卸的保温层

金属软管破损,都是从网套破损开始的。重质油软管由于包裹保温层,外观检查不便,是隐患难以第一时间发现的根本原因。目前码头车间已经对所有保温软管采用可拆卸的保温层。日常外观检查,打开保温层,即可清晰看到网套是否完好、接头是否渗漏、螺栓是否松动等,为油品安全装卸提供了保障。

## 参考文献:

- [1]GB/T14525-2010 波纹金属软管通用技术条件 6.4.3、附录 A
- [2]罗惕乾主编 机械工业出版社《流体力学》2017.
- [3]刘恩斌 石油工业出版社《液体管道瞬变流理论及应用》2017.
- [4]GB18434-2001《油码头安全作业规程》 10.6.1.4
- [5]ISGOTT《国际邮轮与油码头安全指南》第 5 版 18.2.6