

# 乙二醇装置凝液罐气相控制改造及其经济效益分析

陈微微（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

**摘要：**通过分析乙二醇装置凝液系统的过滤器堵塞频次增加、机泵能力下降、泵入口滤网堵塞等现象，找出系统内存在设备腐蚀、杂质累积的原因，进而将凝液罐气相控制系统改造。观察改造后装置运行状态，从改良后的情况进行效益分析，确定改造可维持下游过滤器、机泵等设备长周期平稳运行，对装置运行效益有一定的影响。

**关键词：**环氧乙烷 / 乙二醇装置；气相控制改造；腐蚀；效益分析

中图分类号：TQ223.16 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)016-0088-03

## Gas phase control transformation of condensate tank in ethylene glycol plant and its economic benefits analysis

Chen Weiwei (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578101, China)

**Abstract:** By analyzing the phenomena of increased filter blockage frequency, decreased pump capacity, and clogged pump inlet filter screen in the condensate system of the ethylene glycol plant, the reasons for equipment corrosion and impurity accumulation in the system were identified, and the gas phase control system of the condensate tank was modified accordingly. Observe the operating status of the modified device, conduct a benefit analysis based on the improved situation, and determine that the modification can maintain long-term stable operation of downstream filters, pumps, and other equipment, which has a certain impact on the operating efficiency of the device.

**Keywords:** ethylene oxide/ethylene glycol plant; Gas phase control transformation; Corrosion; Benefit analysis

### 1 背景介绍

乙二醇是制造聚酯树脂的主要原料，也大量用作抗冻剂，主要用于生产聚醇酯纤维、涤纶，还可用于生产防冻剂、薄膜、柔软剂等。二乙二醇用于生产溶剂、纺织助剂、橡胶与树酯增塑剂、润滑油粘度改进剂、纺织品整理剂。近几年可感受到我国乙二醇行业产能扩张的明显趋势。2020–2023年期间，我国大型乙二醇装置（规模在60万吨/年以上）投产了13套装置，其中5套采用荷兰壳牌Shell公司专利技术<sup>[1]</sup>。壳牌生产环氧乙烷/乙二醇路线为乙烯氧化法直接生成环氧乙烷，一部分环氧乙烷溶液进一步精制得到高纯度环氧乙烷产品，另一部分环氧乙烷进一步水合生成一乙二醇、二乙二醇等产品。

#### 1.1 生产概况

某炼油化工公司建有100万吨/年乙烯项目，其中以乙烯为原料的下游生产装置配套了环氧乙烷/乙二醇装置（以下简称为EO/EG装置）。该EO/EG装置采用荷兰Shell公司专利，设计生产力为20万吨/年环氧乙烷或80万吨/年乙二醇，主要产品为环氧乙烷、乙二醇、二乙二醇、三乙二醇（分别简称为EO、MEG、DEG、TEG），于2023年2月14日正式投产。

#### 1.2 工艺凝液流程

化工系统含有杂质的工艺蒸汽凝液在保证产品质量的前提下进行回收再利用，可提高系统中凝结水的

利用率、减少脱盐水装置的消耗，缓解经济指标压力，降低公用工程介质消耗费用。EO/EG装置设计生产中产出的含醛、少量乙二醇等杂质的工艺蒸汽冷凝液用作四效蒸发系统的回流、用作EO水合反应生产EG的水进料，多余的冷凝水送往废水总管处理。

工艺冷凝液闪蒸罐V-402控制压力0.16MPa左右，接收来自所有PS0.5MPa等级工艺蒸汽用户的冷凝液，该冷凝液闪蒸产生PS0.1MPa工艺蒸汽输送至总管，罐内余下的冷凝液输送至浓缩塔凝液闪蒸罐V-403作为补充。工艺冷凝液闪蒸罐V-402冷凝液接收上游溴化锂凝液罐V-601凝液，补充至下游浓缩塔凝液闪蒸罐V-403，多余凝液外送界区排放总管。V-403当中的工艺凝液作为生产EG反应器的水进料及四效蒸发系统浓缩塔的塔顶回流。

V-402上游溴化锂凝液罐V-601的凝液由溴化锂制冷机组蒸汽凝液罐补充。在正常生产时溴化锂冰机使用PS0.1MPa蒸汽作为机组热源，蒸汽凝液收集于PK-601-V01凝液罐，经凝液罐泵PK-601PM01/PM02加压后送至V-601。

#### 2 凝液系统存在的问题及原因分析

##### 2.1 主要存在问题

EO/EG装置自2023年2月14日开工起始，运行至今时间约2年，在原料进料纯度合格、岗位操作规范的情况下，内部产生、回收使用的工艺凝液在运行

过程中，该系统内设备常常出现机泵能力下降、调节阀堵塞问题，最为明显的是使用工艺凝液作为塔顶回流的四效蒸发系统下游的首个塔釜过滤器在2年的运行周期中清理逐渐频繁，极大地增加了工作量。详细现象如下：①利用工艺凝液作为塔顶回流的四效系统，其末效蒸发塔之后的乙二醇脱水塔塔釜过滤器F-401A/B压差上涨速度变快，清理频次由早期的12天清理一次逐渐减少至3天清理一次、甚至为1天一次。②凝液系统涉及的机泵入口滤网堵塞，清理凝液系统机泵PK-601-PM02、P-602等机泵入口滤网，发现滤网脏污堵塞严重，肉眼观察铁锈类杂质较多。需要注意的是，P-602出入口管线设计为不锈钢材质，但泵入口滤网发现较多铁锈类杂质。③凝液系统中的机泵能力减弱，外送凝液流量下降的同时电流不断上涨。检修机泵打开泵体发现叶轮上黏附了大量锈色杂质，影响了机泵做功能力，清理叶轮附着物后机泵使用恢复效果，附着物观察多为腐蚀剥落的杂质。④凝液系统部分调节阀调节效果变差，在泵回流至罐的流程中，回流调节阀的开度大小对机泵出口流量影响不大，调节效果不明显。下线清理调节阀内部时发现锈迹杂质堵塞阀门，清理杂质后投入使用恢复调节效果。

## 2.2 可能影响凝液系统的因素分析

凝液系统涉及到的流程较多，工艺凝液涉及到含醛、乙二醇杂质的工艺蒸汽，而凝液系统中涉及到多个压力控制类型的设备。工艺蒸汽系统中的杂质可能引入凝液系统，与空气直接接触的罐可能产生杂质，这些杂质可能导致设备管道腐蚀、杂质累积，本文以下几个方面进行讨论：

### 2.2.1 项目开工初期 PS0.1MPa 蒸汽管道内杂质未处理干净

EO/EG 装置 2023 年首次开工成功，设计催化剂使用时间是 4 年一周期，迄今为止是首次运行周期内，项目建设初期若未处理干净管道内杂质，则可能导致管道内杂质在系统运行过程中逐渐累积。而凝液系统也将可能在运行过程中不断接收到上游用户所带过来的杂质，导致系统过滤器杂质不断累积堵塞，进而影响系统运行。首要考虑未处理干净的管道为 PS0.1MPa 工艺蒸汽管道，该管道主要管道达到 42 寸约等于 1.05m。在工业上，管道验收之前常常采用空气吹扫、蒸汽吹扫、水冲洗等技术进行冲洗和吹扫，但这些方法对小直径管道比较有效，而大尺寸管道难以找到合适的吹扫介质和流速，故常规吹扫冲洗方法效果不理想<sup>[2]</sup>，清洁效果难以保证。大尺寸管道无法使用常规爆破吹扫手段，只能在初期管道安装期间尽可能保证其清洁度。

无法进行爆破吹扫的大管径低压蒸汽管道虽有杂

质残留的可能，但考虑系统中存在的已有杂质是固定量的，在运行累积过程中只会导致系统内的过滤器前期杂质累积较频繁，初期清理多次过滤器即可恢复系统干净，故该条因素只考虑会短时间内造成过滤器堵塞，一般不考虑导致系统持续腐蚀或持续清理仍然堵塞，本文将不再详细进行分析。

### 2.2.2 工艺凝液中的酸性物质腐蚀

酸碱腐蚀是化工设备中常见的金属腐蚀原因，主要原因在于设备接触到的酸性、碱性物质与金属发生化学反应而导致。酸性腐蚀主要原因为酸的氢离子能与金属表面阳离子反应形成溶解性金属离子，同时产生电子造成金属表面腐蚀和溶解<sup>[3]</sup>。化工系统中含有少量二氧化碳、醇和醛等杂质的蒸汽一般称之为工艺蒸汽，生产上将工艺蒸汽热量回收利用、凝液循环利用可一定程度上减轻物质消耗，节省成本。

壳牌专利公司设计的乙二醇生产流程在乙二醇进入精馏工序之前设计了乙二醇真空干燥塔，通过蒸汽加热，将真空干燥塔进料乙二醇溶液中含有的轻醛或其他挥发性杂质蒸发至塔顶，并通过塔顶冷凝液离开乙二醇精制系统，塔顶含杂质的凝液小部分回流至塔顶，大部分进入工艺凝液系统进行回收再利用。塔顶冷凝液含有少量二氧化碳、乙二醇和醛，可进一步氧化生成酸性物质，这些组分会对凝液系统造成一定的腐蚀。此外，在 EG 反应器之后的四效蒸发系统所产生的 PS0.5MPa 和 PS0.1MPa 工艺蒸汽中均包含了同类型的杂质，形成的含少量二氧化碳、乙二醇和醛等杂质蒸汽凝液也将进入系统，对管道及设备产生一定的腐蚀。

工艺凝液内组分导致管道腐蚀产生的杂质在系统运行过程中也会逐渐累积至机泵系统，并且由于腐蚀一直存在，将导致过滤器杂质不断累积，若不加以控制则导致过滤器清理频次逐渐变高。

虽然生产运行中工艺介质带来的腐蚀是不可避免的，且不同金属材料腐蚀速率各异。针对这些已知的风险后果，项目设计者们往往已经在考虑成本、风险控制和腐蚀可接受程度之后，在设计、选型阶段便已经通过选择耐腐蚀管材、采用外涂层技术、采用阴极保护、使用特殊性能的防腐层等手段进行了风险控制<sup>[4]</sup>。在壳牌生产工艺中也存在通过控制 pH 的手段进而控制酸腐蚀，或是在关键系统中使用不锈钢材料减少腐蚀的发生，尽可能的减弱管道腐蚀，而在可控范围内且无法规避的腐蚀结果本文不再展开分析。

### 2.2.3 氧化腐蚀

氧化腐蚀也是常见的金属材料腐蚀原因之一，将导致金属表面光滑度降低，且增加表面粗糙度，可能

造成设备性能下降、工作效率降低。氧化腐蚀主因在于设备中的金属与氧气发生氧化反应，如空气中的氧气、水中溶解氧等<sup>[5]</sup>，造成金属表面产生氧化物，进而使金属设备在这个过程中发生部分变质，失去原有的金属性质和结构稳定性。在化工行业金属材料与氧气接触是常见的，这种反应在高温或潮湿环境下更明显，而工业生产中恰恰具有高温、与溶剂接触的特点。

在凝液系统中，溴化锂冰机凝液收集罐 PK-601-V01 设计流程为接收 PK-601 使用后的蒸汽凝液，通过罐底泵送至下游凝液回收系统，罐压为常压接触大气状态，罐体有高处溢流导淋和下部、底部导淋，导淋末端设计了水封，避免底部直排导淋直接接触空气。通大气运行的常压凝液罐 PK-601-V01 设计使用碳钢材质，设计数据为 10mm 壁厚，但在运行约 2 年后，我们对其东 / 西封头、南 / 北罐壁进行测厚，测量数据显示罐体不同方向均有不同程度减薄，其中封头处减薄较为明显，最小值分别为东封头下部 9.39mm、西封头上部 9.39mm、西封头下部 8.64mm 厚度，所测量数据最高减薄 1.36mm 厚度。

此外，凝液系统中该凝液罐的下游溴化锂凝液罐 V-601 为不锈钢材质，管道均设计为不锈钢材料，但同样发现了腐蚀剥落杂质引起泵滤网堵塞，分析该不锈钢系统中的铁锈类腐蚀杂质由上游系统带入，即 PK-601-V01 腐蚀脱落的铁锈类杂质进入凝液系统，进而引起下游机泵过滤器堵塞频繁，机泵叶轮受铁锈类杂质附着而减弱能力。

经过分析，凝液罐 PK-601-V01 常压通大气导致空气中的氧直接与罐内凝液形成氧化腐蚀，进而造成罐壁腐蚀减薄、管道腐蚀铁锈进入下游。此外，基于上文提到的“工艺凝液中的酸性物质腐蚀”的基础上，考虑了凝液中含有的物质接触氧气后氧化为酸性物质，进一步加强了凝液系统内的腐蚀，故在不影响系统运行的基础上，本文考虑对通大气的凝液罐 PK-601-V01 进行改造，减少气相系统中的氧含量，进而抑制部分的氧化腐蚀。

### 3 改造内容及结果影响与效益分析

#### 3.1 改造内容

为避免溴化锂冰机蒸汽凝液罐 PK-601-V01 接触大量空气，利用临时管道将低压氮气通入罐内，将气相控制系统改为氮气持续吹扫，即微正压控制，防止空气中的氧气进入罐内造成持续氧化腐蚀。将 0.7MPa 左右的低压氮气与罐顶的排气阀接通，氮气持续小量吹扫维持微正压可避免空气进入凝液系统内。

#### 3.2 结果影响与效益分析

在凝液罐气相控制中加入该氮气线吹扫运行后，

乙二醇装置可见到一些改变。四效蒸发系统之后的脱水塔釜过滤器 F-401 清理频次下降，初步效果可由最严峻时的 1 天一切变为 10 天一切，极大地减轻了操作工的人力工作量，延长了过滤器滤芯的使用时间。此外，凝液系统机泵清理次数减少，机泵能力下降情况未明显出现，由此可推断出腐蚀在一定程度上有所减缓，可延长凝液罐及相关管道的使用寿命，防止因腐蚀过快出现泄漏。

F-401 滤芯共 27 根，单根清理近 800 元，完成一次清理需要耗费 21600 元，改造前最高每月清洗 9 次，在改造后清理次数可减负至 4 次 / 月，减少 5 次 / 月，按照当月数据计算可节约清理成本 108000 元。此外，清理滤芯、滤网需要多名维保人员协调进行工作，进行该项改造还可节省人力成本，在工作减负效果上也是极为可观的。

溴化锂冰机凝液收集罐底泵 PK-601-PM01/PM02 设计使用 380V 电压，在单泵外送凝液能力不足时需要双泵运行外送，双泵运行期间电流分别在 14A 左右；改造气相控制保护罐体可减少腐蚀物对机泵的影响，尽可能地维持机泵能力保障单泵运行。单泵运行情况下可节省一台泵耗电量，按照三相电流计算：

$$P = \sqrt{3UI\cos\phi} \quad (\text{功 率 因 素 取 } 0.8) = \sqrt{3 \times 380V \times 14A \times 0.8} = 7371.6W$$

则 PK-601-PM01/02 单泵可节省电费约 7 度 /h，单月可节省 5040 度电。

### 4 结论及意义

通过将凝液系统中直接接触空气的凝液罐罐 PK-601-V01 改为氮气吹扫控制微正压，避免空气进入凝液系统内可减少凝液系统内设备、管道腐蚀的发生，保护存储设备的同时可减缓凝液系统过滤器堵塞频次、保持机泵运行能力，增长生产装置平稳运行周期。

控制系统腐蚀情况的发生不仅可减轻适时操作工的工作量，更可以延长设备、管道的使用寿命，实现生产运行及设备维护降本增效。

#### 参考文献：

- [1] 佟欣 . 我国环氧乙烷与乙二醇的市场分析 [J]. 石油化工技术与经济 ,2024,40(02):19-23.
- [2] 李智 . 大口径工业管道爆破吹扫技术 [J]. 化工建设工程 ,2004(02):45-46.
- [3] 邓连逢 . 化工设备金属材料腐蚀原因及防护策略思考 [J]. 世界有色金属 ,2024(19):28-30.
- [4] 熊伟 . 石油化工工艺管道的腐蚀及防护技术分析 [J]. 中国设备工程 ,2024(16):107-109.
- [5] 王繁华 . 石油化工设备常见的腐蚀原因及防腐措施研究 [J]. 中国设备工程 ,2024(20):179-181.