

煤化工气化炉仪表防冻失效引发跳车事故的分析与启示

刘尚生 袁甫荣

鲁西化工集团股份有限公司, 山东 聊城 252200

[摘要]2020 年 12 月 29 日, 某煤化工企业气化炉因仪表引压管结冰导致氧气流量和蒸汽氧气混合器压力测量失准, 相继触发联锁停车。文中基于该事故的详细调查资料, 从直接原因、主要原因、设计图纸与现场安装偏差三个层面深入剖析事故成因, 并结合 SH/T 3126《石油化工仪表及管道伴热和绝热设计规范》、HG/T 20514《仪表及管线伴热和绝热保温设计规范》等现行行业标准, 从安全管理体系要素的角度进行系统性反思。研究表明, 事故暴露了企业在风险辨识、设计条件传递、质量保证、培训与能力发展等管理要素上的系统性缺陷, 其根源在于“凭经验”思维替代了“依标准”的规范化管理。文中结合同类行业事故案例与行之有效的防冻管理实践, 提出了涵盖设计改进、管理优化和人员能力提升的综合防范措施, 为煤化工企业冬季仪表防冻管理提供参考。

[关键词]气化炉; 仪表防冻; 联锁停车; 安全管理体系; 风险辨识

DOI: 10.33142/ect.v4i8.20342

中图分类号: TQ54

文献标识码: A

Analysis and Enlightenment of Train Jumping Accidents Caused by Anti-freezing Failure of Coal Chemical Gasification Furnace Instruments

LIU Shangsheng, YUAN Furong

Luxi Chemical Group Co., Ltd., Liaocheng, Shandong, 252200, China

Abstract: On December 29, 2020, a coal chemical enterprise's gasifier triggered interlocking shutdown due to inaccurate oxygen flow rate and steam oxygen mixer pressure measurement caused by instrument pressure tube icing. Based on detailed investigation data of the accident, this article deeply analyzes the causes of the accident from three aspects: direct cause, main cause, and deviation from design drawings and on-site installation. Combined with current industry standards such as SH/T 3126 "Design Specification for Instrument and Pipeline Tracing and Insulation in Petrochemical Industry" and HG/T 20514 "Design Specification for Instrument and Pipeline Tracing and Insulation", a systematic reflection is conducted from the perspective of safety management system elements. The research shows that the accident has exposed the systematic defects in management elements such as risk identification, design condition transmission, quality assurance, training and capacity development, and its root lies in the fact that "by experience" thinking has replaced "by standards" standardized management. The article combines similar industry accident cases and effective anti-freezing management practices to propose comprehensive preventive measures covering design improvement, management optimization, and personnel capability enhancement, providing reference for winter instrument anti freezing management in coal chemical enterprises.

Keywords: gasification furnace; instrument antifreeze; interlocking parking; safety management system; risk identification

引言

煤气化技术是现代煤化工产业的核心工艺环节, 气化炉的安全稳定运行直接关系到整个生产装置的经济效益与安全生产。在气化炉的诸多联锁保护条件中, 入炉氧气流量是其中最重要的安全指标之一——入炉氧气流量三点指标中只要有两点达到联锁值, 就会引发气化炉停车。一旦气化炉非计划停车, 直接经济损失可达近千万元, 同时可能引发次生安全事故。

我国煤化工企业多分布在北方地区, 冬季室外环境温度普遍在零度以下, 部分极端天气可达零下 30℃左右。在低温环境下, 仪表的管路内介质随环境温度降低较易出现结晶、凝固、冻结等现象。低温天气给仪表设备带来的风险主要表现为: 法兰式变送器毛细管内部硅油粘度增加导致指示失真、保温伴热不充分造成冻堵、介质结冰体积膨胀导致仪表测量元件挤压变形损坏等。因此, 仪表防冻绝非简单的“保暖”问题, 而是涉及设计、选型、安装、

运维的系统性工程。

2020年12月29日,某煤化工企业气化炉在短时间内相继跳车,事故的直接原因是仪表引压管在低温环境下结冰,导致测量信号失真触发联锁。这起事故看似是简单的“防冻措施不到位”,但深入剖析后发现,其背后涉及设计、施工、管理、人员等多个层面的系统性问题。本文旨在通过对该事故的全面分析,揭示煤化工企业仪表防冻管理的薄弱环节,并提出针对性的改进建议。

2 事故概述

2.1 事故经过

2020年12月29日20时47分,A气化炉氧气流量由 $15200\text{Nm}^3/\text{h}$ 瞬间降至0,触发联锁停车。21时29分,B气化炉蒸汽氧气混合器压力由 3.81MPa 瞬间涨至 6.95MPa ,导致粉煤给料罐(正常压力 4.7MPa)与氧气混合器压差低于 0.205MPa ,触发联锁停车。

两起事故间隔仅42分钟,事故现场调查发现:A气化炉氧气流量现场引压管未采取保温和伴热措施,造成管内结冰;B气化炉蒸汽氧气混合器压力引压管及压力变送器无伴热措施,造成变送器处结冰。引压管结冰后,压力信号无法正常传递,变送器输出异常信号,最终触发联锁停车。

2.2 联锁逻辑背景

该气化炉采用了严格的氧气管线检漏程序:粉煤给料罐压力需比氧气混合器压力高 0.205MPa ,压差如低于此值则判断为氧气管有内漏,触发停车大连锁。同时,烧嘴开停车程序要求先投入氧气管线再投入粉煤管线,且粉煤管线压力需高于氧气管线。这一联锁逻辑设计的初衷是确保氧气系统安全,防止氧气串入粉煤系统引发爆炸风险。然而,当仪表因结冰而输出虚假压力信号时,这一安全设计反而成为“误停车”的触发机制。

同类事故在行业中并不罕见。某化肥厂合成氨装置曾发生类似事件,操作员在监盘时注意到入炉氧气流量在不到一分钟内由 15000 降至 0 ,经综合判断确认为低温造成仪表指示故障。经仪表人员确认后,对入炉的三点氧气流量测量仪表全部重新校对才解决问题。这说明仪表冻堵导致流量假指示是气化装置冬季运行中的常见风险点。

3 事故原因分析

3.1 直接原因:防冻措施辨识不到位

事故的直接原因是气化界区对属区域内的工艺管道及其附属仪表设施的防冻措施辨识不到位。相关人员仅凭经验认为氧气管道和仪表不需要保温伴热,未从现场工

艺流程进行系统辨识,防冻措施排查不认真、措施制定不全。

3.2 主要原因:管理重视不足

分管仪表的主要管理干部对安排的重点工作未引起足够重视,采取的防冻措施效果差,在气温骤降过程中未能发挥作用。这一原因反映了管理层在安全承诺落实上的缺失——“重视”停留在口头和纸面,未能转化为有效的资源投入和行动保障。

3.3 设计图纸与现场安装的偏差

事故调查揭示了设计图纸与现场实际安装之间的三处关键偏差:

第一,流量计变送器安装位置偏差。设计图纸要求流量计变送器(介质为纯氧气)安装在检测点上方,以避免积液形成。但现场实际情况是变送器安装在检测点下方,导压管内容易积聚冷凝液,冬季低温下结冰堵塞。

第二,压力变送器安装位置偏差。设计图纸要求压力变送器(介质为氧气和蒸汽的混合气)安装在检测点上方。但现场导压管向下进入变送器,形成积液条件,且未定期排放。当测量介质为气体时,导压管应垂直或倾斜敷设,其倾斜度应满足一定要求。气体介质的导压管坡向应能使气体中的冷凝液自动顺着导压管流回工艺管道或设备,因此变送器安装位置最好高于压源。现场安装恰恰违反了这一要求。当被测介质为气体时,导压管应向变送器方向向下倾斜,防止冷凝液堵塞,并在低点装设排污阀。

第三,伴热措施缺失。设计图纸明确标注压力点有电伴热,但现场管道只有保温措施而无伴热,保护箱内既无保温也无伴热。

此外,仪表图纸中对于保温措施只有原则性说明,未向工艺专业传递具体的保温条件要求,导致工艺专业在施工和运维中缺乏明确的执行依据。

4 对于安全管理体系要素特征的深层次的剖析

从企业安全管理体系的视角看这起事故,多个管理要素系统性失效。

4.1 设计和施工不能有效衔接:主要表现在设计技术质量要求未能在施工环节有效落地;设计文件过于简单。

现场安装与设计图纸质量技术的偏差表明,企业重要质量保证环节存在明显不足。变送器位于检测点上方、电伴热等设计阶段提出的安装要求未在施工阶段有效落实,施工验收环节也未能及时发现和整改这项问题,致使仪表安装质量未能得到有效保障。保温措施在设计文件中过于简单仅有原则性的说明,缺少具体的技术条件和验收标准,导致施工人员未能领会设计意图,现场安装质量存在问题。

4.2 设计交底形同虚设：现场服务流于形式

设计人员在发放图纸时未进行技术交底，在前期弥补设计深度的不足；同时现场服务流于形式、不严不细，未能及时发现现场安装仪表与设计图纸的不符，也未能将安装过程的注意事项告知施工人员。设计交底流于形式，未能根据设计不足，有针对性地交底仪表的保温质量要求。设计人员专业技术能力、现场服务和沟通能力缺一不可。

4.3 风险辨识不到位

此次事故暴露出企业在风险辨识方面，存在突出问题。对仪表防冻的风险辨识操作人员仅停留在“凭经验”的层面，缺乏 HAZOP 工艺危害分析。对于从引压管结冰到信号失真、再到联锁停车的仪表故障引发的连锁反应，未能进行有效识别并采取相应防范措施。仪表专业风险辨识不全，未能覆盖气温骤降等环境因素，对仪表系统介质的影响。

4.4 未有效执行相关标准

仪表专业条件图，缺少保温条件的专项技术要求。工艺设计图纸中对保温措施仅有简单说明，未有具体的施工方案和验收要求，导致施工图纸深度不够。

行业标准对此有明确规定。SH/T 3126《石油化工仪表及管道伴热和绝热设计规范》规定了石油化工自动控制工程仪表及测量管道的伴热和绝热设计要求，适用于石油炼制、石油化工及以煤为原料制取燃料和化工产品工厂的新建、扩建和改建工程。该标准涵盖仪表伴热类型及方式、伴热原则、热水伴热系统设计、蒸汽伴热系统设计、电伴热系统设计、仪表绝热方式及绝热系统设计等内容。同时，HG/T 20514《仪表及管线伴热和绝热保温设计规范》也规定了化工装置仪表及管线的伴热和绝热保温设计要求。仪表及测量管线保温的根本目的，就是保证在环境温度低时检测过程能正常运行。

此外，《油气集输设计规范》第 9.1.4 条明确要求：“在环境温度条件下不能正常工作的测量管道、分析取样管道、自动化仪表或控制装置，应保温和伴热”，并明确“仪表及管道的保温和伴热设计应符合现行行业标准《石油化工仪表及管道伴热和绝热设计规范》SH/T 3126 的有关规定”。

企业未能按照标准要求设计、施工和操作。“凭经验认为氧气管道和仪表不用保温伴热”的做法，直接违背了 SH/T 3126 的要求，制度的缺少是导致事故发生的深层原因。

4.5 该事故发生原因的总结分析

综上，可以把该事故的原因由内至外分为三个层次：

技术方面原因：变送器安装位置由检测点上方改为下方、电伴热被取消、保温条件设计简单，设计图纸质量要

求未在现场安装阶段进行落实。这些偏差的后果使仪表中介质在低温环境下结冰，导致事故的发生的直接原因。

管理方面原因：设计交底与设计服务不足、施工环节未按设计施工、操作人员风险辨识不到位，层层失守导致事故的发生。

安全意识和安全文化缺失：未有可操作、可执行的制度来规范设计、安装、验收、操作各自的职责与质量控制流程，“凭经验”的惯性思维严重，以主观判断替代制度、标准，最终在气温骤降的外因下，导致事故的发生。

5 整改措施与相关建议

5.1 整改措施

根据这次事故的原因分析，企业制定了以下整改措施：一是在 A、B 炉流量变送器位置增加电伴热；二是为压力变送器位置增加保温。这些措施可以从技术层面消除结冰问题，消除仪表故障的根源，避免该类事故的发生。

5.2 改进建议

对于纯氧介质的流量变送器，使用电伴热增加了爆炸安全隐患。建议在下一步停车时将变送器改至节流装置上方，这样既避免了积液问题，又消除了电伴热在纯氧环境下的安全风险。

一般气体流量变送器有两种安装形式，这两种安装方式都有坡度要求，以便于排冷凝液。为保障测量气体时冷凝液能顺利流入管道或收集器，引压管应保持大于 1:10 的坡度，仪表导压管线水平段要求不小于 1:100 坡度。采用变送器高于节流装置的安装形式可使冷凝液自然回流，减少积液风险的发生。若在实际安装中位置受限，无法做到变送器高于取压点，则在导压管路最低点装设液体收集器和排液阀门，及时排除冷凝液。

5.3 管理体系完善

事故后企业制定了多项管理改进措施：制定《仪表现场服务及检查注意事项清单》，明确现场服务要点；增加仪表保温接口传递，编制仪表保温伴热技术规定；在仪表规格书中增加环境条件栏；在技术交底时增加不同的仪表安装方式对使用环境的要求。这些措施从制度层面弥补了管理体系中的薄弱环节。

6 事故启示

6.1 设计方面：细化设计内容

设计图纸中不仅有原则性的说明，更要有细化的设计图纸、详细的安装、验收标准，严格遵循 SH/T 3126 等现行行业标准的要求，将环境温度作为仪表选型和安装的重要输入条件，避免同类事故的发生。

6.2 服务方面：强化技术交底，细化现场服务

设计交底不仅交底图纸上有的内容，更要交底设计内容和注意事项。现场服务要重视细节，及时发现问题、解决问题，防止事故发生。

6.3 管理方面：构建系统性防冻管理体系

气化车间应结合生产实际，以“不冻坏一台设备、不冻坏一条管线、不冻坏一个仪表阀门”为目标，建立完善的冬季防冻管理体系。行业内已有成熟的做法可供借鉴：

提前部署、超前准备。在入冬前（如每年十月份大检修期间），仪表人员应对现场需要防冻保温的仪表设备数量进行详细统计，保温材料提前准备齐全。对仪表引压管、变送器、保温箱、调节阀和空气管等进行全面排查，及时修补、更换破损的保温伴热设施。某煤化工企业明确每年11月15日起至次年3月15日为防冻期，在此期间从防冻保温保冷设施材料、电气仪表防冻保温措施、易凝固介质的防护等六个方面规定了防冻保温措施的作业标准和工作要求。

制定制度、标准和规范。通过制度，来固化设计、安装、操作的标准流程和动作，设计阶段细化仪表变送器、保温箱、引压管线等易冻易凝部位防冻措施。安装阶段按图施工，保障安装位置正确、安装质量过关。操作阶段定时检测温度，确保保温完好、伴热有效。对容易带液的液位计、温度计、压力点的引压管等，定期排放冷凝液，防止结冰。

6.4 完成从“凭经验”到“依标准”的转变

用标准、用制度来规范各类活动，而不是凭经验。同时，利用班前班后会，固化风险辨识和防冻理念，从设计

到施工再到操作，层层把关，杜绝各类事故的再次发生。

6.5 结论

2020年12月29日的气化炉跳车事故，表面上是仪表防冻措施缺失导致的偶发事件，深层暴露了企业在风险辨识、设计管理、质量保证、标准执行等多个安全管理体系要素上的系统性缺陷。这起事故警示我们：在煤化工这样高风险、高复杂度的工业领域，任何一个看似微小的疏忽——一根引压管的伴热、一个变送器的安装位置——都可能引发连锁反应，导致重大经济损失甚至安全事故。防范此类事故，既需要技术层面的精细设计和规范施工，更需要管理层面的系统思维和制度保障，还需要文化层面的持续培育和习惯养成。只有将“技术防冻、管理防冻、文化防冻”三者有机结合，才能真正筑牢冬季安全生产的防线。

[参考文献]

- [1]《石油化工仪表及管道伴热和绝热设计规范》:SH/T3126[S].北京:化学工业出版社,2024:7.
- [2]《仪表及管线伴热和绝热保温设计规范》HG/T20514[S].北京:化学工业出版社,2023:8.
- [3]《油气集输设计规范》GB 50349[S].北京:中国计划出版社,2024:78.
- [4]《低温天气设备风险点研判及措施建议》[S].北京:省应急管理厅,2023:12-25.

作者简介：刘尚生（1975—），男，汉族，山东东阿人，本科，研究方向为煤化工生产及水处理方向；袁甫荣（1975—），女，汉族，山东东阿人，本科，研究方向为化工工艺设计、安全与咨询。