

油气储运中二氧化碳工艺气管道冷却套管改造技术研究

刘慧 杜世成

山东金岛勘察设计有限公司

摘要：二氧化碳工艺气管道温度超高问题严重影响化工生产的安全性和效能，尤其是在压缩机组运行中温度过高已成为制约系统增产增效的关键瓶颈。本文以碳一车间二氧化碳压缩机组为研究对象，通过分析其运行中温度超标的原因，提出利用管道冷却套管改造技术有效降低工艺气温度的方法。文章详细论述了改造方案的设计、实施过程及实际运行效果，并通过现场参数对比分析了改造前后的温度变化、设备负荷提升情况及经济效益。结果表明，该改造措施显著降低了二氧化碳压缩机组工艺气的运行温度，提高了设备运行的安全性和生产效率，为类似装置的改造提供了实证依据和理论参考。

关键词：二氧化碳；冷却套管；工艺气管道；温度控制；技术改造

随着化工行业生产规模和设备负荷的提高，设备运行的安全性和稳定性成为企业生产管理的重要关注点。尤其是二氧化碳压缩机组运行温度超标问题频繁发生，严重影响装置安全和后续生产工序。研究解决工艺气管道温度控制技术具有重大现实意义。目前国内外在工艺气管道降温技术方面已进行了一定的探索，但具体到二氧化碳工艺气管道降温，尤其是采用冷却套管技术方面的研究和实际应用案例较少。针对本问题开展技术研究具有实际价值。

1 二氧化碳压缩机组温度超标原因分析

1.1 设备运行现状分析

二氧化碳压缩机组长期存在出口温度超标问题，特别是二段出口温度长期逼近 230℃ 的指标高限，严重影响生产安全和效能。长期的高温运行导致机组安全风险显著增加，设备部件老化加速，维护频率提高，机组停机检修的次数增加，进一步影响了生产

效率和产能释放^[1]。频繁的停机和重启也加剧了生产波动性，降低了装置的生产稳定性。亟须明确温度超标的原因并采取有效措施进行控制，保障设备稳定运行并提高生产能力。

1.2 超温成因详细分析

通过查阅设计资料发现，二氧化碳压缩机组设计的一段进口温度为 20℃，但实际运行中前工序原料气的温度高达 30℃，大幅超过了原设计预期。由于压缩机必须保持设计的压比不变，原料气的温度升高必然导致压缩过程中的温度升高，使得一段出口及二段进口温度远高于设计值，从而最终导致二段出口温度超标，严重制约了设备的运行性能和生产能力^[2]。综合分析表明，实际运行条件与设计参数之间的差异是造成设备温度长期超标的根本原因。

2 冷却套管改造技术方案

2.1 冷却套管技术选择依据与优势分析

冷却套管技术通过在现有管道外

部增加冷却水套管，利用冷水机组提供的冷水对管道进行间接冷却。这种技术具有施工快捷、投资成本低廉、实施简单等突出优势，特别适用于需要紧急降温且短期内难以实施大规模改造的场景。冷却套管技术对生产过程几乎没有任何干扰，可以在设备正常运行过程中实施，不仅提高了改造的便捷性，还有效缩短了设备的停机时间，保障了生产过程的连续性和稳定性。该技术被车间选定为解决温度超标问题的首选方案。

2.2 技术方案的具体实施步骤与工艺流程

冷却套管技术实施过程包括方案设计、材料选择与加工、现场施工安装、冷水管路连接和保温措施等多个步骤。首先，进行精确测量确定套管规格及长度，随后进行定制加工。套管加工完成后，组织现场施工人员进行安装，确保套管与原管道紧密贴合。之后连接冷却水循环系统，并进行全面保温，防止能量损失，保证冷却效果^[3]。整个

表 1 二氧化碳套管改造材料

序号	材料名称	规格型号	材料材质	技术要求	单位	数量
1	无缝钢管	$\phi 480 \times 6$	20 [#]	GB8163—2008	m	20
2	无缝钢管	$\phi 133 \times 4$	20 [#]	GB8163—2008	m	300
3	闸阀	Z41H-1.6 DN125	WCB	JB/T308—2004	个	4
4	带颈对焊法兰	DN125、PN1.6 SO RF	20 [#]	HG/T20635—2009	片	8
5	六角螺栓	M16×70	8.8 级	GB5782—2016	个	64
6	螺母	M16	8 级	GB6170—2015	个	64
7	缠绕垫	D125-1.6	1221	NG/T47025—2012	个	8
8	90° 弯头	$\phi 133 \times 4 R=d$	20 [#]	GB12459—2005	个	16
9	等径三通	$\phi 133 \times 4$	20 [#]	GB12459—2005	个	2

改造过程严密组织、快速实施，仅用数小时即完成施工，并顺利投入运行。

3 改造实施效果分析

3.1 改造措施

技术改造准备在一段出口并联一台换热器，但换热器制作周期较长，在换热器没有安装投用前，受夏季高温影响机组负荷不能进一步提高，外送尿素气量仅能维持 17 500 Nm³/h，最终决定在一段换热器改造之前将一段冷却后不锈钢管道进行加套管改造^[4]。利用冷水机组提供的冷水通过不锈钢管道外壁对二氧化碳工艺气体进行降温，从而达到降低二段出口温度的目

的，改造示意图如图 1 所示。

3.2 投用后效果分析

改造方案审批后车间立即组织队伍连夜施工，在 24 日 22:30 投用改造后的冷水降温设施，改造前后参数对比如图 2 所示，二氧化碳机组改造前后参数对比见表 2。

从以上参数对比可以明显看出，投用后冷水设计后二段进口温度明显下降 6℃，二段出口温度受此影响也下降 6℃有余，同等负荷下的蒸汽消耗下降 3 t/h，车间在温度下降后及时通知尿素系统加量运行，截至 25 日 13:00 送尿素用装置气量由 17 500 Nm³/h 加至 19 650 Nm³/h，增产 2 100 Nm³/h 高

压 CO₂ 产品气，后因尿素系统原因没有继续加量^[5]。由此可见，改造完成后，二段进口温度明显降低约 6℃，二段出口温度相应降低超过 6℃，有效缓解了机组运行超温压力。尿素系统外送气量从 17 500 Nm³/h 提升至 19 650 Nm³/h，设备运行稳定性显著增强，机组安全运行水平得到有效提升。蒸汽消耗减少约 3 t/h，节约成本明显，同时增加了高压 CO₂ 产品气产量，经济效益明显提高。

4 结语

本研究针对化工企业二氧化碳压缩机组运行中常见的温度超标问题，创新性地提出并实施了管道加冷却套管的改造技术。通过实际运行数据的对比分析，证明了该技术措施的有效性和可靠性，显著降低了二氧化碳工艺气的运行温度，增强了设备运行安全性，提升了生产能力和经济效益。该改造技术施工简单、见效快、成本低，具有较强的推广价值。在后续的工作中，建议进一步深入研究和优化该冷却套管技术，与换热器改造方案结合，建立更加完善的智能控制体系，实现

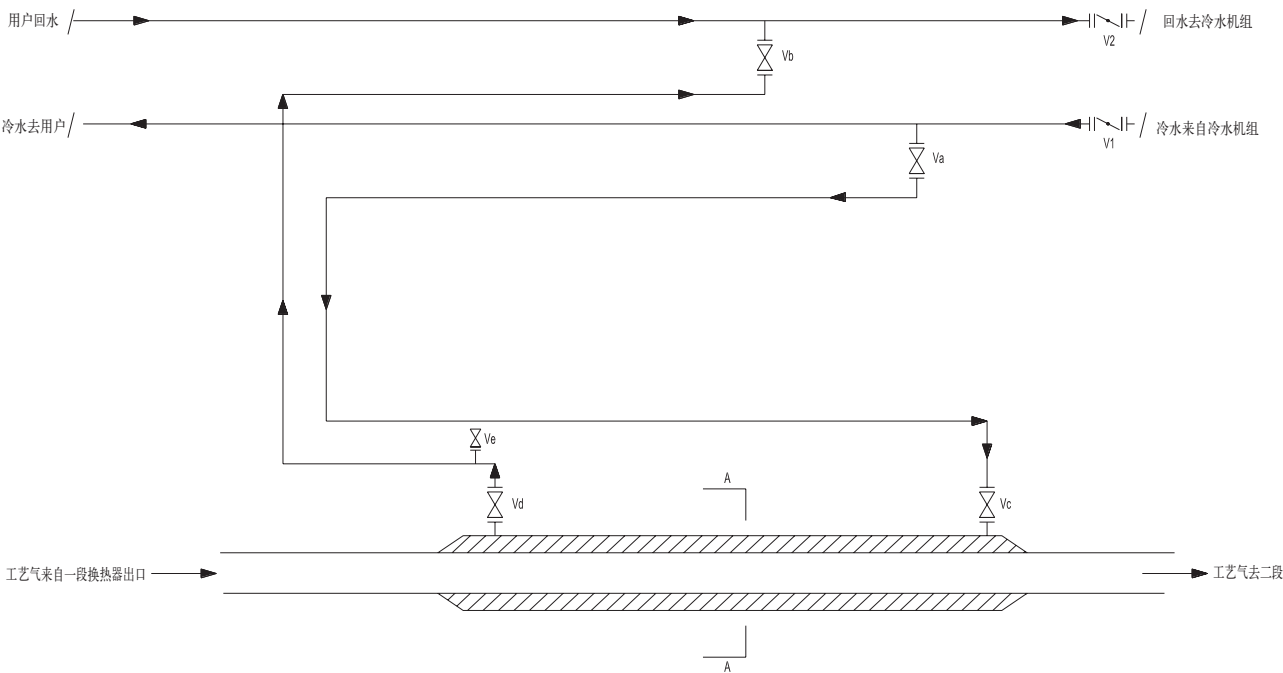


图 1 改造示意图

表 2 氧化碳机组改造前后参数对比表

序号	项目	汽轮机 转速	蒸汽 流量	进汽 压力	调阀 开度	一进 温度	一出 温度	二进 温度	二出 温度	低压缸 打气量	高压缸 打气量	出口 压力
	位号	SI2760	FI2760	PI2760	ZI2760	TI2721	TI2722	TI2723	TI2724	FI2721	FI2725	PI2729
	单位	r/min	t/h	MPaG	%	℃	℃	℃	℃	Nm³/h	Nm³/h	MPaG
1	24 日 16:00	9 767	93.1	3.80	46.3	36.0	183.2	75.6	232.2	23 632	17 581	14.33
2	24 日 17:00	9 812	93.5	3.80	45.3	36.6	183.6	76.0	232.8	23 915	17 833	14.42
3	24 日 18:00	9 834	95.8	3.81	46.9	36.3	183.5	76.0	232.9	24 365	17 933	14.44
4	24 日 19:00	9 812	95.6	3.81	47.3	35.8	183.2	76.0	233.0	24 041	17 845	14.44
5	24 日 20:00	9 812	95.4	3.80	46.7	36.3	183.8	75.9	233.1	23 822	17 550	14.36
6	24 日 21:00	9 834	96.5	3.80	47.5	36.6	183.3	75.9	232.9	24 519	18 053	14.42
7	24 日 22:00	9 833	95.8	3.80	47.0	36.3	183.3	75.9	232.0	24 170	18 031	14.42
8	24 日 23:00	9 812	95.7	3.79	47.2	35.9	182.1	70.6	229.4	23 302	17 726	14.38
9	25 日 8:00	9 768	95.0	3.77	46.7	33.0	178.3	68.0	225.5	23 717	18 365	14.35
10	25 日 9:00	9 768	93.5	3.80	45.9	32.7	179.4	67.9	226.7	23 540	18 432	14.42
11	25 日 10:00	9 813	94.9	3.79	46.4	33.0	179.6	68.5	227.3	24 035	18 788	14.42
12	25 日 11:00	9 813	96.0	3.77	47.0	33.4	180.6	68.8	228.4	24 112	18 658	14.48
13	25 日 12:00	9 904	100.0	3.79	48.8	34.2	180.7	69.6	228.6	25 623	19 572	14.57
14	25 日 13:00	9 972	101.0	3.76	50.5	36.1	183.0	70.8	230.0	25 564	19 630	14.69

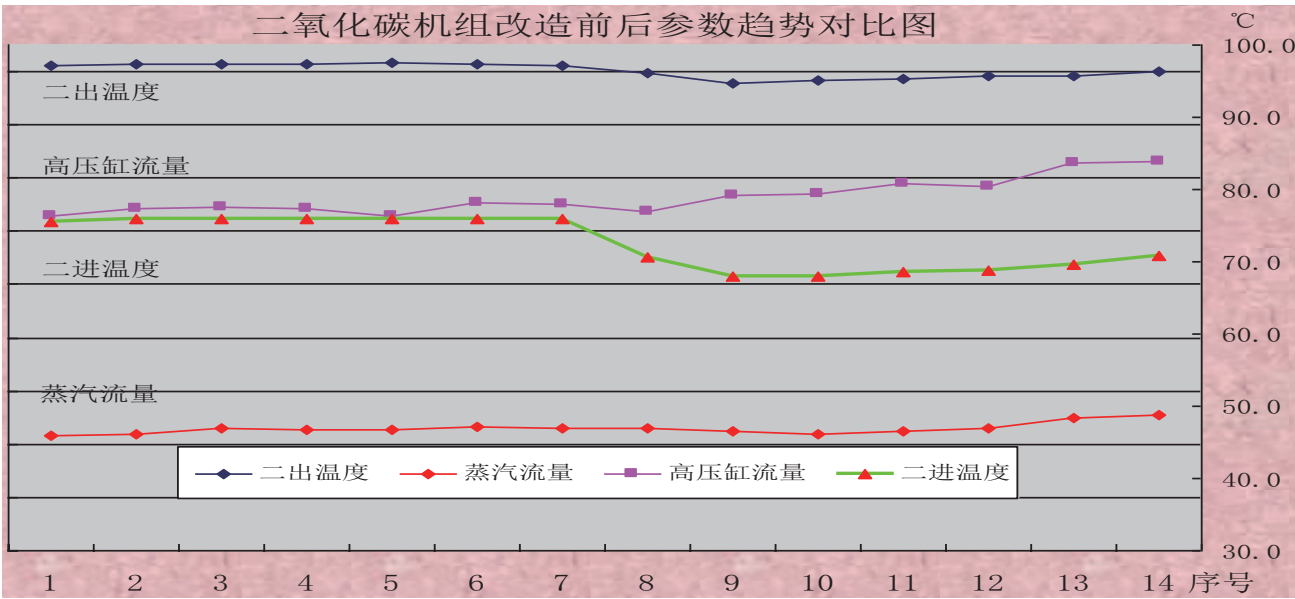


图 2 投用前后趋势对比图

工艺温度的精准控制和长效稳定运行。未来，随着技术和管理的不完善，本研究成果将为类似工艺设备改造提供有效的参考和实践经验，助推企业实现高效、安全、可持续的发展目标。

参考文献：

[1] 陈兵, 祖江涛, 毕鉴, 等. 小波降噪算法在CO₂管道中的泄漏精确定位[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2025,

11 (01): 1-14.
[2] 曹琦, 何春宏, 辛保泉, 等. 二氧化碳管道泄漏扩散风洞试验研究[J]. 安全与环境学报, 2025, 04 (15): 1-11.
[3] 李世奇. 基于二氧化碳致裂技术的地下岩土裂解与基坑工程优化研究[J]. 自动化应用, 2025, 66 (07): 268-273+277.
[4] 王伟斌, 马英瑞, 杨超, 等. 高压二氧化碳单井注入管线泄漏扩散特性

及风险[J]. 安全与环境学报, 2025, 06(22): 1-10.
[5] 孙继丰, 李世聪, 何明梁, 等. 油田集输管道在含CO₂油水环境中的腐蚀规律及防护措施[J]. 当代化工, 2025, 54 (03): 619-623.