

工业压力管道长周期运行检验策略探讨

许建勋 栾霄 代建院

中国石油化工股份有限公司金陵分公司

摘要：炼化企业工业压力管道随着运行周期的增加，失效的风险逐渐加大。按照目前压力管道验收、检验规范，GC2级压力管道依照比例进行焊缝埋藏缺陷检测，可能造成部分焊口从安装，到运行多个周期后，仍未检测到。某炼厂对投用10年以上的高危介质压力管道所有焊缝进行全覆盖检测，不合格率8.3%，检出缺陷多数为焊接缺陷。随着管道长周期运行，这部分焊口失效的概率增大，需要及时返修并优化检验方案。

关键词：压力管道；工业管道；缺陷；定期检验；长周期；检验比例

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.021

压力管道是炼化企业各装置间输送介质的关键特种设备，其特点是操作条件苛刻、输送介质危险性高，一旦管道出现失效将会带来极大的危害性。2021年某企业发生1起GC2级压力管道断裂事故，断裂位置出现在龙门顶部直管焊缝，事故原因分析中有两项内容值得注意：一是该管道安装年限较早，管道焊接质量较差，存在未焊透现象；二是该管道虽然在检验周期内，但历次管道检验均未对断裂处焊缝进行埋藏缺陷检测。因此优化在用压力管道全面检验方案、持续开展隐患排查及整改，是工业压力管道管理中一项长期的重点工作。

一、压力管道安全隐患

压力管道常见的安全隐患包括爆管、裂纹、泄漏、凝管等，一旦管道失效，极易引发火灾爆炸、人员中毒、环境污染等事件。炼化企业工业压力管道施工质量验收，通常采用GB/T 20801-2020《压力管道规范工业管道》、GB 50184-2011《工业金属管道工程施工质量验收规范》、GB 50517-2010《石油化工金属管道工程施工质量验收规范》、SH 3501-2011《石油化工有毒、

可燃介质钢制管道工程施工及验收规范》等标准^[1-4]，其中对各类压力管道安装检验比例进行了规定。为确保压力管道安全平稳运行，压力管道投用后按照TSG 08-2017《特种设备使用管理规则》、TSG D7005-2018《压力管道定期检验规则—工业管道》^[5-6]等标准开展定期检验和隐患排查、整改。

存在问题：对于部分介质危险性较高的压力管道，以上标准是按照比例检测，可能会出现从安装到运行多个周期后，所有焊缝没有做到全覆盖的埋藏缺陷检测。如果未检测的焊缝在安装时存在缺陷，则会长期存在，从而带来使用风险。由于压力管道在设计时一般不给出设计寿命^[7]，所以压力管道运行周期越长，这些未检测到的缺陷焊缝所带来的安全风险越高。

二、标准的分析

（一）工业压力管道验收标准

对于工业压力管道的安装质量验收，在相关标准里均做出了对于焊缝埋藏缺陷检测的规定。GB/T 20801-2020《压力管道规范工业管道》和GB 50184-2011《工业金属管道工程施工质量验收规范》，都是将管道焊缝的检查等级分为5个等级，但是等级划分的条件不同，每个等级均设置最低无损检测比例要求，其中只有I级管道焊缝无损检测比例为100%。SH 3501-2011管道分级与GB 50517-2010一致，按照介质、设计压力和设计温度，将管道分为8个级别，其中只有SHA1、SHB1级别的管道要求焊缝无损检测比例为100%。

（二）工业压力管道定期检验标准

工业压力管道按照介质性质、设计压力、设计温度，分为GC1、GC2、GC3三级，在运行一定周期后必须进行定期检验。根据TSG D7005-2018《压力管道定期检验规则—工业管道》，GC1级管道抽查焊接接头数量15%

且不少于2个，GC2级管道抽查焊接接头数量10%且不少于2个。规范中要求抽查的部位应从重点部位选定，包括使用单位要求或者检验人员认为有必要的部位，检验人员若认为检验比例不能满足检测需要可以与使用单位协商确定抽查比例^[6]。因此在压力管道定期检验的过程中，检验方案成了保证检验可靠性的关键点。

(三) 存在风险管线

根据GB/T 20801-2020标准要求，GC1级工业管道检查等级为I级，验收时需对接接头需100%进行埋藏缺陷检测。对于部分设计压力小于4.0MPa的可燃气体和可燃流体，介质危险性很高，这类管线属于GC2级工业管道，验收时焊缝无损检验比例不低于10%，定期检验焊缝无损检验比例不低于10%。若未做到所有焊缝全覆盖检测，长周期运行存在风险。

三、压力管道长周期运行状况

(一) 压力管道隐患排查

压力管道运行10年以上时间，通常能经历2-3轮检验，若未在检验方案中要求提高检验比例及检验覆盖率，大多数管线做不到所有焊缝全覆盖检测。某炼厂对投用10年以上的82条在役GC2级压力管道进行隐患排查，对所有焊缝进行100%全覆盖的埋藏缺陷检测，涉及氢气、瓦斯、液态烃三种介质，具体情况见表1。根据现场情况，检测使用超声波检测、射线检测、相控阵检测3种方式，对所有对接焊缝进行100%埋藏缺陷检测。检测方法选择的原则：公称直径≥150mm的管道焊缝以超声波检测为主，辅以相控阵检测；公称直径<150mm的管道焊缝以射线检测为主，相控阵为辅。排查过程中的难点主要集中在高处作业平台和保温管线焊缝定位。管廊高处检测平台采用搭脚手架、拉生命绳、使用悬臂车3种方法解决，其中主要为搭脚手架，但整体耗费时间较长。保温管线焊缝定位同样比较困难，部分管线直管长度不同，需要拆大量保温进行定位。焊缝检测结果按照TSG D7005-2018标准进行缺陷评定，虽然这82条管

道都在定期检验有效期内，但排查发现其中78条管道存在超标缺陷。总共检测22510道焊缝，发现不合格焊口1869道，不合格率8.3%。从表2排查结果可以看出，使用年限较长的管道，焊缝不合格率相对较高。

表1 某石化厂系统管道排查介质情况

序号	介质名称	管道数量	长度 (km)
1	氢气	16	23
2	瓦斯 (天然气)	18	35
3	液态烃	48	71

表2 某石化厂系统管道排查情况

管道投用时间	管道数量	检测焊口数	不合格焊口数	不合格率
1981-1990	12	3504	546	15.6%
1991-2000	14	4963	407	8.2%
2001-2011	56	14043	916	6.5%

(二) 缺陷类型分布

对检测出的缺陷类型进行统计，具体情况见表3，焊口超标缺陷主要类型为未焊透，其占比达到75.3%，此外条线缺陷、圆形缺陷、未熔合缺陷等也有一定占比。未焊透、未熔合等缺陷是管道接头在安装焊接时所产生的，属于焊接质量问题，影响焊缝的焊接强度。检测发现部分焊口焊接时未打坡口，焊缝不合格率较高；部分管线存在局部减薄、保温层下腐蚀等问题。可以肯定的是随着焊接工艺、焊接工器具、材料制造等领域技术发展，焊接及验收规范不断完善，近些年管道焊接质量控制与20年前相比，有明显的提升。但是焊接质量问题仍要重点关注，需通过施工质量验收、定期检验和隐患排查进行管控。

表3 缺陷类型分布

缺陷类型	未焊透	条线缺陷	圆形缺陷	未熔合	密孔	裂纹
数量	1588	224	190	84	21	2
占比	75.3%	10.6%	9.0%	4.0%	1.0%	0.1%

(注：部分焊口同时存在多种缺陷)

压力管道在全面检验中发现的焊缝缺陷根据《压力管道定期检验规则》进行评级，并根据定期检验结果综合评定压力管道安全状况等级，对于影响评级的焊缝缺陷，通过返修使焊缝质量得到保证。上述焊接缺陷在竣工验收时未能发现，经历了多个检验周期也未能发现。

这些缺陷部分位于龙门顶部或空间狭窄的部位，检测需要搭建脚手架或使用登高设备，施工具有一定难度并且需要使用更多的费用，因此按照比例检测时，容易被选择性忽视。

(三) 超标缺陷处理

为确保压力管道使用安全，焊缝超标缺陷需及时进行处理。对于可以停用的管道，应立即安排停用返修。由于焊缝缺陷大部分为制造缺陷并且管线已经运行10年以上，返修建议对焊缝整圈割开后，重新组对焊接；对于空间受限的部位，可以根据实际情况，只对缺陷位置进行局部返修。返修过程中要检查坡口几何形状及尺寸，如图1所示，将坡口内、外两侧20mm范围内打磨清洗干净。组对过程中，管线内壁必须要平齐，错边量不得超标。焊接接头内外直焊缝磨平10~15mm，两纵缝错开，并根据管嘴位置，决定错开方向。焊接管支管焊缝与纵向、环向焊缝距离不小于50mm。管道焊缝不允许压在管托护板及支腿内，其焊缝间距应不小于100mm。管线组对点焊选用的工艺措施及焊接材料应与正式焊接相同，应采取对称点焊减少变形量。对于涉氢、涉硫化氢管线，需按照规范要求焊前消氢、焊后热处理等措施，以保证返修质量。因特殊原因无法停用的管道，应选择有评价能力的检验机构进行合于使用评价，并尽快安排返修。结合管道的实际使用情况，使用年限超过30年管道，在条件允许情况下建议进行更换。

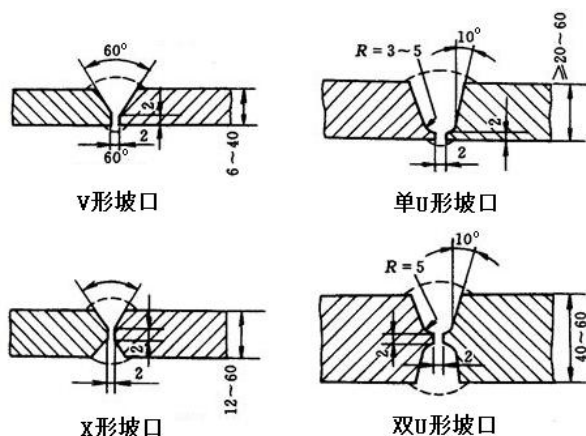


图1 焊接坡口示意图

四、结束语

1、按照目前压力管道验收、检验规范，部分输送危险介质的压力管道依照比例进行焊缝检测，可能多个检验周期无法做到所有焊缝全覆盖检测，部分影响压力管道使用安全的焊接缺陷可能长期存在。建议优化压力管道检验方案，定期检验除特定位置外，避免选择同一检验部位；重点关注龙门顶部等容易被忽视的检测部位；在若干个检验周期内做到所有焊缝全覆盖检测。

2、建议压力管道设计时给出设计使用年限，或者在管规中明确压力管道建议使用年限，对于超使用年限的压力管道制定相应管控措施。

3、建议在条件允许情况下，提高高危介质压力管道验收检验比例；对于已长期运行的高危介质压力管道，排查隐患时进行焊缝100%检测。

参考文献

[1]GB/T 20801.1-2020，压力管道规范-工业管道[S].
 [2]GB 50184-2011，工业金属管道工程施工质量验收规范[S].
 [3]GB 50517-2010，石油化工金属管道工程施工质量验收规范[S].
 [4]SH 3501-2011，石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范[S].
 [5]TSG 08-2017，特种设备使用管理规则[S].
 [6]TSG D7005-2018，压力管道定期检验规则-工业管道[S].

[7]梁春雷，胡明东，杨雄，徐万宝，闫艳伟. 现行工业压力管道定期检验有关规范探讨[J]. 石油化工设计，2019，36（04）：53-57+7-8.

作者简介：许建勋，1983年7月，男，汉族，江苏常州，工程师，大学本科，研究方向：石油化工设备。