

油气管道腐蚀损伤评价及修复计划制定

张华兵 冯庆善 王学力 宋汉成 王富祥
中国石油管道科技研究中心,

摘要: 当前油气管道腐蚀缺陷评价的可用标准有 SY /T6151、SY/T 6477 和 SY/T 10048 等, 基本都基于自美国标准修改制定。其中 SY/T 6151 制定于 1995 年, 主要采用了 ASME B31G 的公式来计算腐蚀损伤区域的管体最大安全工作压力, 然后将腐蚀损伤划分为 5 个类别。本文结合笔者前期修订 SY/T 6151 标准的经验和管道企业的运营实践, 分析了包括 Rstreng 在内的几种方法计算时的保守性, 以及 Rstreng 管材试验数据库的组成, 最后建议标准中采用 Rstreng 方法。在划分腐蚀损伤类别时, 考虑管道安全系数作为界限值, 然后结合美国法规的要求及国内管道企业的实际管理情况, 建议将所有腐蚀损伤根据腐蚀深度和安全工作压力与最大允许工作压力比值分为三类, 以便于管道企业制定修复计划。

关键词: 管道, 腐蚀, 评价, 修复计划

0. 引言

油气长输管道因为其作为能源通道的重要性, 与公路、铁路、水路、航空并称为国民经济 5 大运输方式。目前管道基本都是采用碳钢作为材料, 并埋地敷设。管道的完整性一直受多种风险因素影响, 但管体本身的腐蚀问题一直是引起管道泄漏失效的重要原因之一。美国是世界上管道里程最多的国家, 美国能源部对美国所有陆上事故的统计分析表明, 对输油管道, 腐蚀引起的事故占总体的 23.6%, 位列第一。对输气管道, 这一数字也达到了 19.5%, 仅次于开挖破坏的比例。虽然管道企业对管道进行了多重腐蚀防护, 但对于埋地的钢质管道, 都不同程度的遭受了腐蚀损伤。腐蚀损伤使管体形成了各种形状、尺寸的缺陷, 严重的缺陷可导致承压管道泄漏或断裂事故的发生, 破坏管道的安全平稳运行。因此对受到损伤的管道提出科学的评价方法, 从而制定科学的维修计划, 便成为管道工业的一种迫切需要。

1. 现状分析

当前国际上常用的腐蚀损伤评价方法/标准有 ASME B31G、DNV RP F101、API 579 和 PCORRC 等, 其中部分已经转化为国内行业标准, 如 SY /T 6151 采用了 ASME B31G 的方法, SY/T 6477 《含缺陷油气输送管道剩余强度评价方法第 1 部分: 体积型缺陷》采用了 API 579 的方法, SY/T 10048 《腐蚀管道评估的推荐作法》则直接采标自 DNV RP F101。

各标准都有自己的特点, 公式的提出都基于大量压力试验的结果, 有的标准中详细给出了适用的管材等级范围, 有的则可通过分析其详细的压力试验用管材等级也可得出, 列表如下:

表 1 各标准适用的管材等级范围

标准名	ASME B31G/Rstreng	DNV RP F 101	API 579
适用管材范围	X25~X65	X42-X65	只对管道依据的建造规范提出要求

2. SY /T 6151 标准详细分析

标准 SY/T 6151 《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》制定于 1995 年，其中提出了两种方法。方法一为屈服强度理论的方法，最大安全工作压力计算采用的 ASME B31G 中的公式。方法二为断裂力学的方法，也可以计算得到一个安全压力 P。然后将三个值比较，取最小者为 P'，最后用来与管道的 MAOP（最大允许运行压力）进行对比。判断准则见下表 2：

表 2 腐蚀损伤类别评定

对比情况	腐蚀评定类别	评定结论
壁厚小于 10%	留用	留用腐蚀程度轻，完全可以继续使用
$P'/MAOP > 100\%$	修理	腐蚀程度不严重，能维持正常运行
$50\% < P'/MAOP \leq 1$	修理	腐蚀程度较严重，需降压运行或予以修理
$P'/MAOP \leq 50\%$	修理	腐蚀程度严重，尽快降压和修理
壁厚大于 80%	更换	更换，腐蚀程度很严重、应尽快更换

3. 对 SY /T 6151 的修改建议

对于 ASME B31G 的最大安全工作压力计算公式，常被指过于保守。其后 Rstreng 方法对其进行了一些改进，计算结果更加准确。国外对各种方法的计算结果与压力试验结果的拟合度进行了对比，结果见下图 1：

图 1 计算压力与试验爆破压力对比

从上图可以看出，Rstreng 计算结果相比 ASME B31G 更加准确，但又没有 DNV RP F101 过于冒进。此外详细分析 Rstreng 的记录文件文献[6]，其中的压力试验数据库，结果如下表 3：

表 3 Rstreng 方法试验管材数据库分析

管材等级	数量	所占百分比
X25	5	4.03%
X35	49	39.52%
X37	2	1.61%
X45	1	0.81%
X46	12	9.68%
X52	28	22.58%
X56	1	0.81%
X60	21	16.94%
X65	5	4.03%

从上表中可以看出，大量管材等级集中在 X35、X52 和 X60，而此管材正是当前国内采用较多的管材，因此 Rstreng 在国内有极大的适用性。所以建议将 SY/T 6151 中原 ASME B31G 的计算公式改为 Rstreng 的计算公式。

4. 腐蚀类别的评定

腐蚀损伤类别的评定工作非常重要，既要可能对威胁管道安全的损伤进行修复，保证管道运行的安全性，又要节约成本，不能使维修缺陷点过多，浪费经济投入。原 SY/T 6151 中将腐蚀损伤分为 5 类，也相应的给出了修复建议。

管道设计时，一般会考虑运行后的腐蚀等管道退化因素，设计相应的安全系数。在计算管体腐蚀损伤区域的最大安全工作压力时，Rstreng 方法基于管材的最小规定屈服强度 (SMYS)，乘以此区域管段的安全系数 F 来参与计算。因此最后的结果其实考虑了管道安全系数。因此将安全系数 F 作为判断计算安全工作压力与 MAOP 之比的界限值比较合理。

美国对管体缺陷针对不同的情况，提出不同的要求，大体有立即修复、60 天修复、180 天修复等。结合国内管道企业的管理实际情况，建议采用如下的腐蚀损伤类别评定准则，见表 4。

表 4 建议的腐蚀损伤类别评定

对比情况	腐蚀评定类别	评定结论
壁厚小于 10%，或 $P'/MAOP > 1$	监测使用	腐蚀程度不严重，能维持正常运行，但监测使用
$F < P'/MAOP \leq 1$	计划修复	腐蚀程度较严重，应制定修复计划或降至安全压力运行
$P' / MAOP \leq F$ ，壁厚大于 80% (管道企业可采取稍微严格些的标准，如将 80% 改为 70%)	立即修复	腐蚀程度很严重，应立即修复

一般管道企业对维修费用需要制定维修计划，进行立项审批，因此需要一段时间，即按照上表 4 中计划修复类别来处理。而特别危险的少量缺陷，管道企业也可以采用特事特办，即刻拨付费用，即按照上表 4 中立即修复类别处理。因此表 4 给出的腐蚀损伤的类别与管道企业的管理结合良好，更加易于使用。

5. 结束语

结合当前管道企业对腐蚀缺陷的管理需求，本文在平衡安全性与经济性的同时，建议采用 Rstreng 的安全工作压力计算公式替代 ASME B31G 的计算公式，然后以安全系数 F 为界限值，将腐蚀损伤分为三类，便于管道企业制定维修计划时使用。

参考文献：

- 1 HTTP://Primis.rspa.dot.gov 美国运输部管道和危险物质管理局网站；
- 2 SY/T 6151 钢质管道管体腐蚀损伤评价方法，1995；
- 3 SY/T 6477 含缺陷油气输送管道剩余强度评价方法第 1 部分：体积型缺陷，2000；
- 4 SY/T 10048 腐蚀管道评估的推荐作法，2003；
- 5 Denny R. Stephens and Robert B. Francini, A review and evaluation of remaining strength criteria for corrosion defects in transmission pipelines, ETCE/OMAE2000 Joint Conference, New Orleans, LA, February 2000；
- 6 Patrick H. Vieth John F. Kiefner, Database of Corroded Pipe Tests, PRCI Report, No. L51689e, January 1993

7 美国运输部法规 CFR Part 49 192 Transportation of Hazardous Liquids
By Pipeline, 2005, 10。
2009 年发表于中国力学学会学术大会