

阀门逸散要求在天然气行业的应用

王长锋¹ 周璇¹ 苑冬² 吴知谦¹

1. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041;
2. 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田公司, 新疆 库尔勒 841000

摘要: 国内外越来越多的国家和组织颁布相关的法规及标准,对工业污染物的排放提出量化要求,其中阀门外漏几乎占据挥发性有机污染物来源的一半,为更好地指导天然气行业中阀门外漏相关技术要求的提出,有必要对阀门逸散相关标准中的试验内容及程序进行对比以及对阀门本身外泄漏点进行分析。对比结果表明,不同标准之间试验条件和验收标准不尽相同,填料部位为阀门外漏控制的关键。当前实现阀门低泄漏的方式中,采用低泄漏填料最为经济有效。在工程设计过程中,应根据不同的工况按照标准的规定提出合理的逸散等级要求。

关键词: 阀门;逸散;填料;天然气

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.03.003

The Application of Fugitive Emission Limit of a Valve in the Natural Gas Industry

Wang Changfeng¹, Zhou Xuan¹, Yuan Dong², Wu Zhiqian¹

1. China Petroleum Engineering & Construction Corp. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;
2. PetroChina Tarim Oil Field Company, Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: More and more countries and organizations at home and abroad have issued relevant regulations and standards to quantify the discharge of industrial pollutants, among which valve leakage accounts for almost half of all pollutant sources. In order to better guide the technical requirements of valve leakage in natural gas industry, it is necessary to compare the test content and procedures in related standards of valve fugitive emission (FE) and analyze the leakage point of the valve itself. The results show that the test conditions and acceptance criteria are not the same among different standards and valve stem packing is the key to the control of valve external leakage. Among the currently available means of controlling fugitive emission from a valve, the use of packing with low leaking property is the most economical way. In the process of engineering design, reasonable FE class requirements should be put forward according to different working conditions and standard requirements.

Keywords: Valve; Fugitive emission; Packing; Natural gas

收稿日期:2019-08-10

基金项目:中国石油天然气集团公司“剑阁区块礁滩气藏试采地面工程”(Z 2019011)

作者简介:王长锋(1985-),男,山东济宁人,工程师,硕士,主要从事管道材料设计工作。E-mail: wangchangf_sw @ cnpc.

com. cn

0 前言

全球化工业进程中,环境及安全问题越来越受到人们的关注。欧美国家先后颁布了相关的法规规定危险及有毒污染物向大气排放的要求^[1-3]。中国继2013年国务院印发《大气污染防治行动计划》后,逐步发布相关行业工业污染物排放标准^[4-6],在标准中明确规定了各行业设备与管线组件外漏检测与控制要求,如泵、压缩机、阀门、法兰等。挥发性有机物逸散主要来源于阀门、法兰、泵、压缩机和其他管件,其中几乎一半来源于阀门,因此现代工业中将控制易挥发物的逸散作为衡量阀门密封性能的一个重要指标^[7]。逸散的定义为:任何未能预料或难以发觉的以各种物理形式从任何工业生产现场泄漏出来的化学品或化学混合物^[8],由定义可知,阀门逸散实际是指阀门的外漏,这种外漏肉眼不可见,靠常规水压、气压密封试验已不能判定,只能借助仪器进行检测。当前,很多组织都已经发布了针对阀门逸散相关的标准^[8-15],对阀门逸散提出具体的要求。

天然气作为重要的能源,近年来国内外开采大幅增加,尤其四川地区大储量、高含H₂S的气田的逐步开发,对阀门低泄漏提出了更高的要求。不论是天然气的外漏,还是剧毒介质H₂S的外漏,当浓度积累到一定程度,或达到爆炸极限造成爆炸起火,或造成人员不可逆伤害,其潜在危害比阀门内漏更严重。因此,天然气行业中,对阀门低外漏要求已经不可避免。

1 阀门逸散标准比较

1.1 基本信息

对阀门逸散相关标准要求的比较分析,高开科^[16]已经进行了相关的工作。随着标准升版和新标准的发布,对阀门逸散提出了更多、更苛刻的要求,有必要进行标

准的对比分析,以指导工程设计和产品制造工作。国际及国内常用的阀门逸散相关标准及企业规定主要有以下8种。

ISO 15848 - 1:2015《工业阀门——逸散性测量、试验和鉴定程序第1部分:阀门型式试验分级体系和评定方法》(以下简称“ISO 15848 - 1”)。

ISO 15848 - 2:2015《工业阀门——逸散性测量、试验和鉴定程序第2部分:产品试验》(以下简称“ISO 15848 - 2”)。

API STANDARD 622 - 2018《阀门填料逸散性型式试验》(以下简称“API 622”)。

API STANDARD 624 - 2014《石墨填料升降杆阀门逸散性型式试验》(以下简称“API 624”)。

API STANDARD 641 - 2016《1/4回转阀门逸散性型式试验》(以下简称“API 641”)。

MESC SPE 77 /300 - 2018《工业阀门设计确认试验程序及技术规范》(以下简称“MESC SPE 77 /300”)。

MESC SPE 77 /312 - 2017《产品逸散性试验》(以下简称“MESC SPE 77 /312”)。

GB /T 26481 - 2011《阀门的逸散性试验》(以下简称“GB /T 26481”)。

对于上述8个标准的测试对象、试验型式、试验介质及检测方法的对比,见表1。

1.2 密封等级

在ISO 15848 - 1、ISO 15848 - 2、MESC SPE 77 /300、MESC SPE 77 /312、GB /T 26481标准中,对阀杆密封及阀体密封处的泄漏划分了不同的等级,并给出了具体的量化指标。与其他标准不同,API 624及API 641标准并没有区分阀杆密封和阀体密封,而是将阀门作为整体进行量化。不同标准之间密封等级的比较见表2。

表1 不同标准逸散试验比较表

Tab. 1 Comparison of different standards about fugitive emission test

标准号	测试对象	试验型式	试验介质	检测方法
ISO 15848 - 1	阀门(阀杆密封及阀体密封)	型式试验	CH ₄ 或 He	真空法或吸枪法
ISO 15848 - 2	阀门(阀杆密封及阀体密封)	产品试验	He	吸枪法
API 622	填料	型式试验	CH ₄	吸枪法
API 624	升降杆阀门	型式试验	CH ₄	吸枪法
API 641	1/4回转阀门	型式试验	CH ₄	吸枪法
MESC SPE 77 /300	阀门(阀杆密封及阀体密封)	型式试验	He	吸枪法
MESC SPE 77 /312	阀门(阀杆密封及阀体密封)	产品试验	He	吸枪法
GB /T 26481	阀门(阀杆密封及阀体密封)	产品试验	He	吸枪法

表 2 不同标准密封等级比较表

Tab. 2 Comparison of different standards about tightness classes

标准号	阀杆密封 / ($\text{mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 阀杆周长)			阀体密封 / ($\text{mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 阀杆周长)	
	A 级	B 级	C 级	A 级	B 级
ISO 15848 - 1	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-4}$	$\leq 10^{-2}$	≤ 50 ppmv (不区分 A 级或 B 级)	
ISO 15848 - 2	≤ 50 ppmv	≤ 100 ppmv	≤ 200 ppmv	≤ 50 ppmv (不区分 A 级或 B 级)	
MESC SPE 77 /300	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-4}$	—	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-5}$
MESC SPE 77 /312	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-4}$	—	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-5}$
GB /T 26481	≤ 50 ppmv	≤ 100 ppmv	$\leq 1\ 000$ ppmv	≤ 50 ppmv (不区分 A 级或 B 级)	
API 622	≤ 500 ppmv (填料密封)				
API 624	≤ 100 ppmv (不区分阀杆密封和阀体密封,也不区分具体密封等级)				
API 641	≤ 100 ppmv (不区分阀杆密封和阀体密封,也不区分具体密封等级)				

注:表头单位适用于表格中不带单位的数据;1 ppmv = 1 ml/m³ = 1 cm³/m³;ISO 15848 - 1 采用的数据为以 He 作为试验介质时的密封要求。

由于试验介质和方法不同,且不同单位之间并无严格转换关系,所以不同的标准体系之间难以进行严格的量化比较。

对于型式试验中阀杆密封等级要求,ISO 15848 - 1 与 MESC SPE 77 /300 标准要求一致,不同的是 MESC 标准取消了等级 C。对于产品试验,ISO 15848 - 2:2015 版本将阀杆密封等级 C 由 2006 版本的 1 000 ppmv 调整至 200 ppmv,GB /T 26481 与 ISO 15848 - 2 要求并不一致;阀体密封等级要求 ISO 15848 - 2 与 GB /T 26481 保持一致。

1.3 耐久等级

不同标准考虑因素不同,其耐久等级评定也不同,

表 3 不同标准耐久等级比较表

Tab. 3 Comparison of different standards about endurance classes

类别	ISO 15848 - 1			MESC SPE 77 /300			API 622	API 624	API 641
	CO1 /CC1	CO2 /CC2	CO3 /CC3	\leq NPS 8	NPS 10 ~ NPS 16	\geq NPS 18			
机械循环 /次	205 /20 000	1 500 /60 000	2 500 /100 000	208	183	158	1 510	310	610
热循环 /次	2	3	4	1	1	1	5	3	3

表 4 不同标准温度等级比较表

Tab. 4 Comparison of different standards about temperature classes

标准号	温度等级				
ISO 15848 - 1	-196 °C ~ 室温	-46 °C ~ 室温	室温	室温 ~ 200 °C	室温 ~ 400 °C
MESC SPE 77 /300	-196 ~ -50 °C	-50 ~ -29 °C	室温	室温 ~ 200 °C	最大设计温度
API 622	—	—	—	室温 ~ 260 °C	—
API 624	—	—	—	室温 ~ 260 °C	—
API 641	—	—	—	室温 ~ T_e	—

注:API 641 的温度等级中的 T_e 值需要依据阀门设计温度 (≥ 260 °C 或 < 260 °C) 和阀门压力等级不同分别判断。

见表 3。ISO 15848 - 1 考虑其使用情况的不同,将阀门区分为开关阀 (isolating valve) 和控制阀 (control valve),两者在耐久试验的机械循环要求上有很大区别,CO、CC 分别代表开关阀和控制阀的耐久等级;MESC SPE 77 /300 则根据阀门口径的不同规定了不同的机械循环次数;API 622、API 624 和 API 641 则给出了固定的机械循环要求。

1.4 温度等级

表 4 为不同标准温度等级比较,ISO 15848 - 1 及 MESC SPE 77 /300 标准可以覆盖更宽的温度范围,更大程度上满足工程上高温、深冷阀门的使用需求。

1.5 总结

通过上述不同标准之间的比较分析可知,试验条件和验收标准不尽相同,其验收难以做到量化比较,买方应根据需求选择合适的标准。只要选用符合上述标准的填料和阀门都将有效减少易燃、有毒介质的排放,降低对环境的污染以及对人员的伤害。

2 阀门外漏点

阀门本身外泄漏点主要包含:阀杆填料部位;阀体与阀盖连接处,如阀盖与阀体连接点;阀体与阀体连接处,如三片式球阀结构;阀体辅助结构开孔处,如注脂口、放空排液点、旁通连接点、止回阀摇臂轴穿越阀体点、固定球阀底部轴封处。

相比较其他泄漏点,阀杆填料处的密封具有以下特点:密封件在相对运动时会产生更大的微观空隙;相对运动造成的磨损,会导致后期密封性能的下降;为了减少阀门的开启力,并减轻填料对阀杆的磨损,施加于填料处的压力不能太大,控制泄漏的难度更大^[17]。

由此可见,阀门填料处的泄漏控制是整个阀门逸散控制的关键所在。

3 阀门低泄漏实现方式

从高开科^[18]的研究可知,影响阀门填料逸散性的因素包括:温度,压力,阀门形位公差,阀杆及填料函表面粗糙度,填料端环形式,压套与阀杆间隙和填料箱与压套间隙。除上述因素外,密封结构的选择、填料的形式与性能也会对阀杆密封产生不一样的效果。

3.1 波纹管密封

波纹管密封可以完全阻断介质通过阀杆填料处的泄漏,可以将阀门的外漏控制到 ISO 15848-2 等级 A 的要求,通常用于苛刻的工况。然而,波纹管的使用会面临以下几个问题。

1) 波纹管虽然可以完全阻断阀杆填料处的泄漏,但不能阻断阀盖处的泄漏。

2) 波纹管不能与 90° 旋转切断阀配套使用。

3) 波纹管密封阀门加工难度大,技术要求高,在一定程度上依赖国外进口,性价比不高。

4) 波纹管阀门通常具有加长阀杆结构,实际操作需要较大空间与平台。

以上原因制约波纹管密封阀门在行业中的应用。

3.2 填料结构

合理的填料结构形式可以帮助阀门取得良好的低逸散效果,如上下编织石墨填料中间成型石墨填料的矩形或锥形填料形式或者压力自密封结构、活载填料结构设计^[19]。

3.3 低泄漏填料及垫片

为了达到标准及法规要求的阀门密封等级,国内外诸多公司相继开发阀杆用低泄漏填料,如美国 SLADE 公司 3300 系列碳纤维增强石墨编制盘根、美国 Garlock 公司 EVSP 低泄漏组合填料等,上述低泄漏盘根及组合填料均已经通过 TA-Luft-2002 *Technical Guidelines for Air Pollution Control*、API 622、ISO 15848 等法规及标准的考核,并在实际工程中取得良好的应用效果^[17]。

3.4 产品试验

近来,经过国内外项目的推动,越来越多的制造商已经取得了 ISO 15848-1 或者 API 624、API 641 的型式试验认证证书。笔者认为影响阀门低泄漏的因素众多,且阀门一旦随管线投产以后,长期处于承压、受力、反复开启状态,必须确保产品低泄漏性能满足要求。因此对于有逸散性要求的阀门应对产品按协定比例进行试验,同时进行资料复查,看厂家是否按照技术要求完成阀门制造与检验。如果发现问题,应及时提出,甚至拒收。

4 逸散要求在天然气行业应用

与常规阀门相比,低泄漏阀门在原材料、设计、加工精度、试验要求上都有较大不同,势必会带来成本的增加,但与波纹管阀门相比,结构简单,加工制造容易,其成本与常规阀门相比高约 10%~20%^[20]。鉴于波纹管阀门在制造、使用、价格上的诸多限制,低泄漏阀门在较大程度上可以替代波纹管阀门达到工程上对于低泄漏的要求。

结合天然气行业实际情况与标准规范对阀门外漏的要求,密封等级为 ISO 15848-2 等级 B 的阀门可以满足多数工况的要求,该等级要求在制造难度上并不会对国内制造商带来困难,因此建议在实际工程设计过程中对普通介质视情况做 ISO 15848-2 等级 C 要求或不做要求;对易燃、易爆及有毒介质考虑 ISO 15848-2 等级 B 的要求;对于高含 H₂S 的介质根据实际情况可考虑 ISO 15848-2 等级 B 甚至等级 A 密封要求;对深冷工况介质如 LNG 等,可做 ISO 15848-2 等级 B 要求,试验温度应为 -196℃。在提出具体密封等级要求的基础上,同时应视工况对型式试验过程中的耐久等级和温度等级做出明确要求。

5 结论

各国对环境及安全越来越重视,法规及标准也逐步完善阀门逸散性的要求。随着中国与国外工程公司合作逐渐深入,低逸散要求也越来越多地应用到天然气工程项目中。设计人员应熟悉标准要求,从而提出更为合理的设计要求。同时,阀门制造商应逐步提升自己的技术实力,以应对严苛技术要求。相对于波纹管密封阀

门,采用低逸散性填料和结构设计的阀门,由于价格上的优势以及对需求的满足也必将使其得到越来越广泛的应用。

参考文献:

- [1] United States Environmental Protection Agency. Determination of Volatile Organic Compound Leaks; EPA Method 21 [S]. New York: EPA, 2017.
- [2] Association of German Engineers. Emissions Control-Mineral Oil Refineries; VDI 2440-2000 [S]. Düsseldorf: VDI, 2000.
- [3] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Technical Guidelines for Air Pollution Control; TA-Luft - 2002 [S]. Cologne: TA Luft, 2002.
- [4] 环境保护部科技标准司. 石油炼制工业污染物排放标准: GB 31570-2015[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
Department of Science, Technology, and Standards of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Emission Standard of Pollutants for Petroleum Refining Industry; GB 31570 - 2015 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.
- [5] 环境保护部科技标准司. 石油化学工业污染物排放标准: GB 31571-2015[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
Department of Science, Technology, and Standards of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Emission Standard of Pollutants for Petroleum Chemistry Industry; GB 31571 - 2015 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.
- [6] 环境保护部科技标准司. 无机化学工业污染物排放标准: GB 31573-2015[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
Department of Science, Technology, and Standards of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Emission Standards of Pollutants for Inorganic Chemical Industry; GB 31573 - 2015 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.
- [7] 蔡仁良. 阀门易挥发物逸散的检测方法[J]. 化工设备与管道, 2006, 43(3): 5-9.
Cai Renliang. Detection Method for Fugitive Emission of VOC from Valve [J]. Process Equipment & Piping, 2006, 43 (3): 5-9.
- [8] International Organization for Standardization. Industrial Valves-Measurement, Test and Qualification Procedures for Fugitive Emissions-Part 1: Classification System and Qualification Procedures for Type Testing of Valves; ISO 15848 - 1: 2015 [S]. Geneva: ISO, 2015.
- [9] International Organization for Standardization. Industrial Valves-Measurement, Test and Qualification Procedures for Fugitive Emissions-Part 2: Production Acceptance Test of Valves; ISO 15848 - 2: 2015 [S]. Geneva: ISO, 2015.
- [10] American Petroleum Institute. Type Testing of Process Valve Packing for Fugitive Emissions; API 622 - 2018 [S]. Washington, D. C.: API, 2018.
- [11] American Petroleum Institute. Type Testing of Rising Stem Valves Equipped with Graphite Packing for Fugitive Emissions; API 624 - 2014 [S]. Washington, D. C.: API, 2014.
- [12] American Petroleum Institute. Type Testing of Quarter-turn Valves for Fugitive Emissions; API 641 - 2016 [S]. Washington, D. C.: API, 2016.
- [13] Shell Global Solutions International. Procedure and Technical Specification for Design Validation Testing of Industrial Valves; MESCSPE 77/300-2018 [S]. Hague: Shell GSI, 2018.
- [14] Shell Global Solutions International. Fugitive Emission Production Testing; MESCSPE 77/312-2017 [S]. Hague: Shell SGI, 2017.
- [15] 全国阀门标准化技术委员会. 阀门的逸散性试验; GB/T 26481-2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
SAC/TC 188. Valve Test for Fugitive Emissions; GB/T 26481 - 2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [16] 高开科. 阀门逸散性相关标准规定的比较与分析[J]. 阀门, 2012(3): 33-37.
Gao Kaike. Fugitive Emission Standard Comparison Between the International Standard and the Domestic Standard [J]. Valve, 2012 (3): 33-37.
- [17] 全国化工设备设计技术中心站. 工业阀门选用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
National Technology Center of Process Equipment. Industrial Valves Selection Guide [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014.
- [18] 高开科. 阀门逸散性检测标准的工厂实践[J]. 阀门, 2010(2): 31-34.
Gao Kaike. Factory Practice on Latest Fugitive Emission Standard [J]. Valve, 2010 (2): 31-34.
- [19] 陈蔚青, 岳进才. 石油化工用阀门外漏的分析及控制[J]. 阀门, 2006(5): 37-39.
Chen Weiqing, Yue Jincai. Fugitive Emission and Control of Valves for Petrochemical Plant [J]. Valve, 2006 (5): 37-39.
- [20] 丘平, 王志强. 低泄漏阀门试验标准及其工业应用[J]. 石油化工安全环保技术, 2008, 24(2): 9-11.
Qiu Ping, Wang Zhiqiang. Testing Standards and Industrial Application of Fugitive Emission Valves [J]. Petrochemical Safety and Environmental Protection Technology, 2008, 24 (2): 9-11.