

天然气掺氢实验平台 电气设备防爆等级确定研究

张一帆¹, 钱永刚², 韦羽嘉³

1.北京市燃气集团有限责任公司; 2.北京市煤气热力工程设计院有限公司;

3.北京科技大学未来城市学院

摘 要: 氢气具有低密度、高扩散速度和低点火能等特点, 在天然气掺氢工程中, 电气设备的防爆等级必须严格符合安全标准, 本研究以天然气掺氢实验平台建设项目气源数据为基础, 通过计算掺氢比例为20%的掺氢天然气的MESG值, 分析项目电气设备防爆等级。通过校核计算, 分析研究符合ⅡB级防爆电气设备等级的天然气最大掺氢比例。

关 键 词: 天然气掺氢; 电气设备防爆分级; MESG

1 引言

氢能是推动能源向绿色低碳方向转型的重要手

段, 将成为我国未来能源结构中的关键部分。通过现有的天然气管道输送掺混氢气的天然气, 是促进氢能创新应用的重要方式之一。近年来, 我国辽宁朝阳、

的导波模态与检测方案, 以实现技术效益最大化。

在使用MsS技术对城镇燃气庭院管道检测时, 磁致伸缩低频导波的频率选择需综合考虑检测目标、材料特性及环境条件, 针对城镇燃气庭院管道的特点, 针对不同的规格管道、不同的安装环境、不同的表面状况和不同的材质, 选择最佳的激励频率。经过大量的实际检测证明, MsS导波检测可有效发现城镇燃气庭院管道的腐蚀状况, 能够为燃气经营单位提供可靠的技术支撑。未来通过多频融合、非线性效应挖掘及智能算法, 有望突破传统频率选择的局限性, 实现更高效、精准的无损检测, MsS技术将在城市燃气安全工作起到重要的作用, 必将产生极大的社会效

益和经济效益。

参考文献

- [1]孙钦蕾,李爱华,范江玮. 钢管无损检测中的磁致伸缩导波技术试验研究[J]. 河北工业科技,2015(6):521-526.
- [2]郭宏川.超声导波在压力管道腐蚀检测中的应用[J].石油和化工设备,2014(11):57-59.
- [3]辛顺平,李开良.MsS超声导波在油田集输管道腐蚀检测中的应用与优化[J].无损检测,2016(8):13.
- [4]王博文,曹淑瑛,黄文美.磁致伸缩材料与器件[J].北京:冶金工业出版社,2008.

[第一作者简介] 张一帆, 新能源事业部总经理助理, 中级工程师, 从事氢能管理及研发工作。

张家口、乌海等地,先后针对城镇燃气输配系统开展了天然气管道掺氢的示范建设。北京市燃气集团有限责任公司在北京建设天然气掺氢实验平台,验证城镇燃气输配系统掺氢天然气适应性。氢气具有低密度、高扩散速度和低点火能等特点,氢气的加入使得混合气体的爆炸特性发生改变,天然气主要成分甲烷与氢气混合后,其爆炸下限、爆炸上限以及爆炸压力等参数均发生变化。随着氢气掺入比例的增加,混合气体的爆炸下限降低,爆炸上限升高,爆炸风险增大,且混合气体的爆炸压力和火焰传播速度也会相应提高,这对电气设备的防爆性能提出了更高要求。

2 工程实例分析

2.1 项目概况

城市掺氢实验平台项目,主要对掺氢天然气领域的输送工艺、材料本质安全、关键设备等进行研究。项目近期掺氢比例为0%~20%,远期将根据实验结果探索更高掺氢比。该项目所在地天然气气质组分如表1所示,实验平台用氢气由氢气瓶组提供,氢气纯度为99.999 9%。

2.2 相关标准简述

GB 50058—2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》(本文简称《爆规》)5.2.2条文说明将爆炸性环境用电气设备分为3类,详见表2^[1]。此外,第5.2.3条规定:应保持爆炸性气体环境内爆炸性气体混合物的级别和组别高于或等于防爆电气设备的级别和组别,因此要确定电气设备的防爆等级,应当首先对爆炸性气体混合物划分爆炸等级(ⅡA、ⅡB、ⅡC),详见《爆规》表3.4.1,分级依据为爆炸性气体混合物最大

试验安全间隙(MESG)^[1]。

最大试验安全间隙(Maximum Experimental Safe Gap, MESG),是指两个容器由长度25mm的间隙连通,在规定试验条件下,一个容器内燃爆时,不会使另一个容器内燃爆的最大连通间隙的宽度。它是衡量爆炸性气体混合物爆炸危险性的重要指标,可用于对爆炸性气体进行分级分组^[2]。

《爆规》5.2.3条文说明中说明,在无法进行实验测定的条件下,爆炸性气体混合物最大试验安全间隙(MESG)的估算公式可按照式(1)进行计算^{[1][4]}:

$$MESG_{\text{mix}} = \frac{1}{\sum_i \frac{X_i}{MESG_i}} \quad (1)$$

式中, $MESG_{\text{mix}}$ ——待求爆炸性混合气体的最大试验安全间隙, mm;

X_i ——爆炸性混合气体各组分的体积分数, %;

$MESG_i$ ——爆炸性混合气体各组分的最大试验安全间隙, mm。

2.3 掺氢比例为20%时的MESG计算

查阅国家标准GB/T 3836.11—2022《爆炸性环境 第八部分:气体与蒸汽物质特性分类 试验方法和数据》表B.1,可得混合气中部分组分的MESG值^{[3][4]}。本实验平台气源各组分的MESG见表3。

由于规范中未给出异丁烷i-C₄的MESG值,鉴于其体积分数仅为0.199%,故本研究取 $MESG(i-C_4) = MESG(n-C_4) = 0.98\text{mm}$ 。同时,对于己烷及以上C₆+这部分物质,直接按己烷 $MESG(C_6+) = 0.93\text{mm}$ 计算。依据于《爆规》5.2.3条文说明示例中对混合物中不可燃惰性气体MESG的计算处理办法,本研究将N₂和CO₂两种物质当作惰性组分考虑,两者提及分数均小于

表1 天然气气质组分

组分	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄	n-C ₄	i-C ₅	n-C ₅	C ₆ +	CO ₂	N ₂	Σ
体积分数(V%)	93.5	3.47	0.967	0.199	0.225	614 × 10 ⁻⁶	418 × 10 ⁻⁶	712 × 10 ⁻⁶	0.734	0.853	100

表2 防爆电气设备分类^[1]

防爆电气设备类别	适用条件	备注
I类	煤矿瓦斯气体环境	——
Ⅱ类	除煤矿甲烷气体之外的其他爆炸性气体环境	可分为ⅡA、ⅡB、ⅡC三类,安全性:ⅡA<ⅡB<ⅡC
Ⅲ类	除煤矿之外的爆炸性粉尘环境	——

5%, $MESG$ 取0mm。按照最大掺氢比例20%计算, 计算用各组分 $MESG$ 及折算体积分数如表3所示。

表3 计算用各组分 $MESG$ 及折算体积分数

组分	$MESG_i$ (mm)	折算体积分数 ($X_i \times 100\%$)
甲烷 CH_4	1.14	74.8
乙烷 C_2H_6	0.91	2.776
丙烷 C_3H_8	0.92	0.773 6
异丁烷 $i-C_4$	0.98	0.159 2
正丁烷 $n-C_4$	0.98	0.18
异戊烷 $i-C_5$	0.98	0.000 491 2
正戊烷 $n-C_5$	0.93	0.000 334 4
己烷及以上 C_6+	0.93	0.000 569 6
二氧化碳 CO_2	0	0.587 2
氮气 N_2	0	0.682 4
氢气 H_2	0.29	19.999 98
合计 Σ	—	100

将表3数据代入式(1)计算得到20%掺氢比例下的掺氢天然气混合物的最大试验安全间隙 $MESG_{mix} \approx 0.721\ 1\text{mm}$, 即 $0.5\text{mm} < MESG_{mix} < 0.9\text{mm}$, 依据《爆规》表3.4.1, 如表4所示, 可见20%掺氢天然气属于ⅡB级爆炸性气体; 查阅《爆规》5.2.3可知此时防爆电气设备采用ⅡB安全等级即可满足要求。

表4 爆炸性气体或蒸气分级原则^{[1][3]}

级别	最大试验安全间隙 $MESG$ (mm)
ⅡA	$MESG > 0.9$
ⅡB	$0.5 < MESG \leq 0.9$
ⅡC	$MESG \leq 0.5$

2.4 满足ⅡB防爆等级的最大允许掺氢比例

稳步提高掺氢比例是掺氢天然气未来发展趋势。由2.2节计算结果可知, 20%掺氢比例下混合物 $MESG_{mix}$ 约为0.720 4mm, 远大于0.5mm的临界条件, 因此在满足ⅡB防爆电气设备等级的前提下, 可适当提高掺氢比例。对于本项目, 计算得出: 当掺氢比例提高至43%时, 混合物 $MESG_{mix}$ 约为0.504 9mm, 仍属于ⅡB级爆炸性气体; 当掺氢比例提高至44%时, $MESG_{mix}$

约为0.498 5mm, 属于ⅡC级爆炸性气体。因此, 满足ⅡB防爆电气设备等级的天然气最大允许掺氢比例约为43%。

2.5 天然气掺氢实验平台电气设备防爆等级确定

本天然气掺氢实验平台设计条件为近期掺混氢气比例0%~20%, 远期存在掺混氢气比例0%~100%的可能性。因此, 本实验平台电气设备防爆等级确定为ⅡC。

3 结语

在城镇天然气输配系统中, 电气设备防爆等级按ⅡB级进行建设。如进行天然气掺氢的转换, 对掺氢后电气设备防爆等级的影响应进行必要的分析。不考虑实际的掺氢比例, 仅仅考虑氢气的影响武断地将电气设备防爆等级提升至ⅡC是不严谨的。本研究得出结论如下:

(1) 当天然气掺氢比例不大于20%时, 电气设备防爆等级选用ⅡB级别可满足要求。

(2) 在满足使用ⅡB级别防爆电气设备的前提下, 天然气最大允许掺氢比例约为43%。

参考文献

- [1]GB 50058—2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》[S].中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.
- [2]黄旭. 爆炸性气体或蒸汽混合物的类别判定[J]. 石油工程设计, 2019, 36(2): 73~74.
- [3]GB/T 3836.11—2022《爆炸性环境 第11部分: 气体和基气物质特性分类 试验方法和数据》. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.
- [4]郭宗魁. 焦炉煤气的爆炸危险分级分组[J]. 工程建设与设计, 2018, 02: 113~114.

城市燃气

订阅方法:

敬请登录杂志社官方网站
www.gas800.com

