

# 油气管道空气试压方案研究与分析

胡小坡\*, 李倩, 武海江, 李海涛

(中国石油管道建设项目经理部, 北京 100101)

**摘要:**通过系统地分析国内外规范对采取空气试压的具体规定,总结分析出国内外规范对于空气试压的通用要求以及相应的限制条件。通过对国内外近几年来进行空气试压的案例进行分析,说明空气试压在管道施工实践过程中的应用现状。通过规范理论和实践案例的总结,系统地提出长输油气管道空气试压实际操作的通用前提条件以及需要注意的事项。

**关键词:**油气管道;空气试压;规范;案例

中图分类号:TE937.92

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2015)09-0189-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2015.09.048

## Study and analysis of air pressure test scheme for oil and gas pipeline

HU Xiao-po\*, LI Qian, WU Hai-jiang, LI Hai-tao

(China Petroleum Pipeline Construction Project Manager, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Through analysis of the specific provisions for the air pressure test in domestic and international standard, the general requirements and the corresponding constraints for air pressure test are summarized. Based on the case study of the air pressure test in the past few years, the application status of air pressure in the pipeline construction is described. On the basis of the summarization of the theory and practice, the general conditions of the practical operation of the air pressure pipeline and the attentions needed to be paid are put forward in the end.

**Key words:** oil and gas pipeline; air pressure test; standard; case

长输管道在建成后必须经过强度试压和严密性试压,方可投产。管道强度试压的目的—是验证管道的整体强度,能否承受管道以后运行的压力;二是为提高管道输量和管道输送能力提供试验依据。管道强度试压介质分为空气和水2种。采用水进行管道分段强度试压,在管道存在缺陷而在试压中出现泄漏或破裂时,由于水具有不可压缩的特性,管道内试压介质的减压速度大于管道的开裂扩展速度,管道能够迅速止裂,不会造成大段破裂和严重的次生灾害,因此把水作为目前进行管道试压的首选试压介质。而采用压缩空气进行分段强度试压,在管道出现泄漏或破裂时,由于管道内介质的减压速度小于管道的开裂扩展速度,在管道止裂韧性不能满足止裂要求时会造成管道的大段破裂和严重的次生灾害,因此采用空气试压时钢材必须要满足韧性要求,为此一般试压强度较低。近年来随着国力的增长,能源需求越来越迫切,管道建设规模也随之加大,虽然水介质试压具有一定优势,为此管道途经地区受自然条件限制无法采用水试压的情况也会时有发生,如个别高落差山区、低温寒冷地区、沙漠或枯水地区等。空气试压方案势必将是一种行之有效的解

决无水或者水试压无法满足试验的重要手段。因此空气试压方案的理论和实践的研究有着较为显著的实用价值和长远意义。

## 1 国内外规范中对空气试压的具体规定

### 1.1 本研究收集的规范

(1)国内的GB 50251—2003《输气管道工程设计规范》、GB 50253—2003《输油管道工程设计规范》、GB 50369—2006《油气长输管道工程施工及验收规范》。

(2)国外的ASME B31.4《液态烃和其他液体管线输送系统》(2009)、ASME B31.8《输气和配气管道系统》(2010)、CSA-Z662《石油和天然气管线系统》(2007加拿大)、BS EN 1594《天然气供气系统——最大操作压力超过16 bar的管线的基本要求》(2009英国)、ISO 1362《石油天然气工业——管道输送系统》(国际)、49CFR192《管道安全法 天然气和其他气体的管道输送:联邦最低安全标准》(美国)。

国内外规范中关于采用空气试压的条件和要求,见表1<sup>[1-9]</sup>。

表1 国内外规范采用空气试压的条件和要求对比分析

项目	规范名称	采用空气试压条件	空气试压要求	备注
国内	GB 50251—2003 《输气管道工程设计规范》	10.2.3条:一、二级地区可采用空气试压;三、四级地区及站内应采用水介质,满足以下3个条件时可采用空气试压。 ①试压最大环向应力要求:三级地区 $<50\% \sigma_s$ ,四级地区 $<40\% \sigma_s$ ; ②最大操作压力 $\leq$ 最大试验压力80%; ③新管子,焊缝系数为1.0。	强度试验压力一、二、三、四级地区试验压力分别为:1.1、1.25、1.4、1.5倍的设计压力,稳压时间为4h; 严密性试验压力应为设计压力,稳压时间24h不泄漏为合格。	一、二级地区采用气体试压时,规范中无条件要求。(国标强度试压部分参照B31.8编制)
	GB 50253—2003 《输油管道工程设计规范》	9.2条:人烟稀少、寒冷、严重缺水地区,可酌情采用气试压,但管材必须满足止裂要求,并必须采取防暴措施。中线两侧200m范围内,任意划分2km长度,居民户数10户以下段及荒地、沙漠、山区、草原、耕地等严重缺水地区气试压时。	强度试验压力为1.1倍设计内压力,严密性试验压力为设计内压力。	
	GB 50369—2006 《油气长输管道工程施工及验收规范》	14.4.1条:空气试压分段长度不宜超过18km。 14.1.6条:输气管道位于一、二级地区的管段可采用气体或水作试压介质。 14.4.5条:规定了试压防暴安全条件。	一、二级地区强度试压压力分别为设计压力的1.1和1.25倍,稳压时间4h; 严密性试验压力为设计压力,稳压时间24h; 强度试压不破裂、无泄漏,严密性试压压降不大于1%试验压力值,且不大于0.1MPa为合格。	
国外	ASME B31.4《液态烃和其他液体管线输送系统》(2009)	437.4条:运行期间管道的环向应力大于20% SMYS的地段应进行试压。 试压介质应采用水。	强度试压要求 $\geq 1.25$ 设计内压力; 严密性试压要求 $\geq 1.1$ 操作压力; 稳压时间局均不少于4h。	规范未提空气试压
	ASME B31.8《输气和配气管道系统》(2010)	841.3.2条:管道的环向应力大于30% SMYS的地段应进行试压,推荐试压介质为水。 一(设计系数0.72时)及二级地区可采用气体介质,但二级地区试压产生最大环向应力 $<75\% \sigma_s$ ;三、四级地区如果存在:管子埋深处地温太低或符合质量的水不够时,可采用气试压,但必须要满足试压产生最大环向应力:三级地区 $<50\% \sigma_s$ ,四级地区 $<40\% \sigma_s$ ;最大操作压力 $\leq$ 最大试验压力80%;新管子,焊缝系数为1.0。	一、二级地区规定最小试验压力为1.25 MOP,最大为1.25 DP;三、四级地区1.5 MOP,稳压时间2h。	规范提出如果用空气试压,需要疏散试压范围内人口,试压人员采取防护措施。
	CSA-Z662《石油和天然气管线系统》(2007加拿大)	8.2.3条:选用空气试压时,强度试压与严密性试压合并实施,试压压力不超过100% SMYS,并要有适当检测泄漏方法。 8.4条:试压介质首选水,其次是选择其他可替代的液体并做好泄漏应急方案。 如果管材符合加拿大国家标准关于切口韧性要求,是新管道且焊缝系数为1时,试压时存在以下情况之一: ①环境温度过低;②符合水质的水量不够;③排水不便; ④高差引起试压分段过多;⑤不允许任何点强度试压时产生的环向应力超过 $80\% \sigma_s$ ,可以采用气试压。	8.8.3条:气试压时,最大强度试验压力不应超过计算压力,相应地要小于100% SMYS,稳压时间至少4h;严密性试验不区分试压介质,压力最小为最大操作压力的1.1倍,最大为最小强度试验压力与产生环向应力为 $1.1\sigma_s$ 的压力二者中较小者,稳压时间至少24h。	超过700kPa管道只进行强度试压,不进行严密性试压。
	BS EN 1594《天然气供气系统——最大操作压力超过16bar的管线的基本要求》(2009英国)	9.5.3条:除非采取了安全措施并且压力与体积乘积受到限制,可以采用空气或惰性气体试压。	9.5.3条:强度试验压力平坦地区至少为设计压力的1.3倍,山区至少为设计压力的1.2倍,强度试验最大压力不得造成管道屈服,稳压时间至少15min。 9.5.4条:严密性试验压力不得大于强度试验压力,不得小于设计压力,稳压时间至少24h。	规范未对安全措施、压力与体积乘积的约束条件限制。
	ISO 1362《石油天然气工业——管道输送系统》(国际)	6.7.2条:当环境温度过低、水量不够、水质不合格或不适合水试压的情况下,必要时可采用空气或无有害气体试压。	6.7.3条:强度试验压力为最大操作压力的1.25倍,稳压时间至少1h,严密性试验压力为最大操作压力的1.1倍,稳压时间至少8h。	
	49CFR192《管道安全法 天然气和其他气体的管道输送:联邦最低安全标准》(美国)	192.503、192.505条:在等于或大于30% SMYS的环向应力条件下操作的新管道,试压介质可采用空气、天然气或惰性气体,采用空气时,一、二、三、四级地区强度试压的最大环向应力极限值分别为 $80\% \sigma_s$ 、 $75\% \sigma_s$ 、 $50\% \sigma_s$ 、 $40\% \sigma_s$ 。	192.505、192.619条:一、二、三、四级地区强度试验压力分别为1.1倍、1.25倍、1.5倍、1.5倍操作压力,强度试验稳压时间至少8h。	未规定最大强度试验压力和严密性试验要求。

## 2 国内外规范对空气试压规定的分析对比

### 2.1 国内天然气管道空气试压规范的对比分析

对于输气管道,国内规范主要有 GB 50251—2003 和 GB 50369—2006 对空气试压进行了规定说明。

#### (1) 共同点

对位于一、二级地区的管道均规定可以采用空气试压,强度试验压力为 1.1 倍和 1.25 倍的设计压力,稳压时间为 4 h。

对位于一、二、三、四级地区管道的严密性试验压力均为设计压力,稳压时间为 24 h。

#### (2) 不同点

GB 50251—2003 对位于三、四级地区的管道在满足一定条件时可以进行空气试压,GB 50369—2006 未提三、四级地区空气试压。

GB 50369—2006 提出了空气试压分段长度不宜超过 18 km,且有试压防暴安全要求。

### 2.2 国外天然气管道试压规范的对比分析

对于输气管道,国外规范主要有 ASME B31.8、CSA-Z662、BS EN 1594、ISO 1362 和 49CFR192 5 个规范对空气试压进行了规定说明。

#### (1) 5 个规范相近点

5 个规范均明确可以采用空气试压。

允许采用空气试压的客观条件主要为管道埋设深度内环境温度过低或缺少符合质量的试压水源,同时 CSA-Z662 中还规定在高差大、排水困难地段以及 ISO 1362 中规定在不适合水试压的情况下也可以采用空气试压。

允许采用空气试压的管道自身需要满足的条件主要为:是未使用的新管子,焊缝系数为 1.0,ASME B31.8、CSA-Z662 和 49CFR192 中还规定了试压产

生的最大环向应力与 SMYS 的关系。

5 个规范中对空气试压的压力如何检测判定和泄漏检测均没做详细说明。

#### (2) 5 个规范不同点

各规范对强度试压和严密性试压的压力规定不同,包括采用设计压力(DP)、最大操作压力(MOP)计算,压力等级不等。

试压时间不同,强度试压时间最小 15 min,最大为 8 h,严密性试压时间最小 8 h,最大为 24 h。

各规范对空气试压时的严密性试压要求不同,ASME B31.8 和 49CFR192 未明确是否进行严密性试压,CSA-Z662 不要求进行严密性试压。

### 2.3 输油管道国内外空气试压规范的对比分析

对于输油管道,国内外主要有 GB 50253—2003、GB 50369—2006、ASME B31.4、CSA-Z662 和 ISO 1362 5 个规范对空气试压进行了说明。

#### (1) 5 个规范相近点

除 ASME B31.4 规定用水试压外,其他规范规定在缺水、寒冷、人烟稀少地区,允许输油管道采用空气试压,但管道应满足止裂要求。

#### (2) 5 个规范不同点

各规范对试压压力要求不同,强度试压压力国内标准为 1.1 倍设计压力,CSA-Z662 和 ISO 1362 规定为计算压力和 1.25 MOP,强度试压时间除 ISO 1362 规定为 1 h 外,其他均为 4 h。

严密性试压压力国内规范为设计压力,国外规范为 1.1 MOP,试压时间除 ISO 1362 规定为 8 h 外,其他规范主要为 24 h。

## 3 空气试压的案例分析

近年来国内(1990年后)和国外采用空气试压的案例见表 2。

表 2 国内(1990年后)和国外空气试压案例

项目位置	项目名称	工程规模	管输介质	设计压力/MPa	管材	限制条件	安全措施	备注
国内	涩北-西宁-兰州输气管道(2001年投产,空气试压约 900 km)	线路全长 909.3 km,7 个站场,35 个阀室	天然气	6.3	D660 × 7.1 mm X60 级钢管	水源紧张且受高差影响	试压期间现场疏散人口等措施	仅花庄段水试压 9.5 km,其余全空气试压
国内	长岭-长春-吉化输气管道(2009年投产,全线采用 9 座空气试压)	线路长度 221 km,站场 4 座,阀室	天然气	6.3	长岭-长春段 D711 mm,长春-吉化段 D610 mm,材质为 L450 级	主要受工期紧、温度低影响,沿线不缺水且高差不大	一、二级地区没有特殊措施,三级地区做疏散人口处理	试压分段长度均为 20 km/段

续表

项目位置	项目名称	工程规模	管输介质	设计压力/MPa	管材	限制条件	安全措施	备注
国内	山西煤层气一期(2011年投产,干支线空气试压共330 km)	干线长度为245.8 km,支线114.8 km,站场6座,阀室13座	前期输送天然气,后期为煤层气	6.3	干线 D508 × 6.3/7.1 mm, L415 级钢管, 支线为 D406 × 6.3/7.1/7.9 mm 和 D273.1 × 5.6/6.4 mm, 材质为 L360 级钢管	沿线人烟较少、水源奇缺,管径较小	张贴通告,设置作业警示区等,制定应急措施;一、二级地区空气试压,三级地区用水试压	分段长度为 11.5 ~ 23 km/段,一、二级地区均按二级地区压力 7.88 MPa 试压
国内	靖边-西安输气管道(1997年投产,全线空气试压)	线路长度482 km	天然气	5.8 ~ 4.0	铜川以北为 D426 × 7(8), 铜川以南为 D426 × 6(7), 材质均为 L360 钢级双面埋弧焊螺旋焊缝管	沿线缺水,管径较小		
国内	陕京输气管道(1997年投产)	线路长度918 km	天然气	6.4	D660 mm X60 钢级	人烟稀少、严重缺水		
国外	西西伯利亚-中央6条输气管道(空气试压长度10721 km)	线路总长18155 km	天然气	7.5	D1420 mm × 15.1/15.7/16.4/16.8 mm X70 级钢	寒冷缺水、人烟稀少	使用前进行全尺寸水压和气压试验,检漏使用增味剂。最大200 m 范围内清除试压以外人员	试压分段平均长度最小47 km/段,最大124 km/段

## 4 分析结论

根据上述理论和案例统计分析,管道采用空气试压时,主要是受试压区域内严重缺水和环境温度太低影响。国内一般都是小管径、压力较低的管道采用空气试压较多,对于大口径、高压管道采用空气试压案例较少,空气试压分段长度一般在23 km以内;国外管道特别是前苏联进行大口径管道空气试压较早,试压分段划分长度也较长。可能考虑到输油管道材质一般未考虑止裂性能,另外油管道场站的水依托有强制性要求,因此对于输油管道空气试压案例尚未收集到。

统筹规范和实践案例,对于今后采用气体作为介质试压的建议如下。

(1)对于一、二级地区采用空气介质对天然气管道进行试压时,在理论、规范方面 GB 50251—2003 与 ASME B31.8 在空气试压部分规范较为详尽,因此在国内施工时建议主要以 GB 50251—2003 为准,同时要参考 ASME B31.8 规范,建议在二级地区空气试压时,增加试压产生最大环向应力  $< 75\% \sigma_s$  要求,强度试压可按 MOP(非 DP)的倍数考虑,根

据试压各段的不同地形,详细核算环向应力最高点满足管材强度要求,另外可考虑空气试压时加入可嗅气体,方便检漏。

(2)对于输油管道,若采用空气试压时,实施时除满足上述规范条件外,对于原油管道材质,要求必须满足止裂要求。

(3)对于高压、大口径管道试压时,如果采用空气试压,建议试压分段长度控制在18 km以内,同时需要更加重视和加强管道试压期间的安全措施采用情况,建立有效的防范和应急处理预案。

## 参考文献

- [1] GB 50251—2003. 输气管道工程设计规范[S].
- [2] GB 50253—2003. 输油管道工程设计规范[S].
- [3] GB 50369—2006. 油气长输管道工程施工及验收规范[S].
- [4] ASME B31.4. 液态烃和其他液体管线输送系统(2009)[S].
- [5] ASME B31.8. 输气和配气管道系统(2010)[S].
- [6] CSA-Z662. 石油和天然气管线系统(2007加拿大)[S].
- [7] BS EN 1594. 天然气供气系统——最大操作压力超过16 bar的管线的基本要求(2009英国)[S].
- [8] ISO 1362. 石油天然气工业——管道输送系统(国际)[S].
- [9] 49CFR192. 管道安全法 天然气和其它气体的管道输送:联邦最低安全标准(美国)[S]. ■