

浅析工业金属管道的压力试验

夏伟伟（河北正元化工工程设计有限公司，河北 石家庄 050000）

摘 要：压力试验时尽量采用液压试验，分析了不同规范对液压试验的试验介质的选取，试验压力的确定；分析了采用气压试验时相关标准规范的不同要求，气压试验介质的选取，试验压力的确定；气压试验风险大，文中对使用气压试验的场合进行了列举，对气压试验过程中应采用的安全管理及措施进行了阐述。

关键词：金属管道；液压试验；气压试验；安全问题；试验压力；试验介质

压力试验是在工业金属管道安装完毕、热处理、无损检测合格后进行，按试验的目的可分为对管道的力学性能进行强度检测、检查管道连接的密封性能、查看管道真空系统保持性能的试验和泄露性试验、敏感性泄漏试验等。大部分管道只做强度和密封性试验，本文主要是通过不同规范及实际实施情况谈一下做强度试验的液压试验或气压试验的要求及使用条件。

目前工业管道压力试验主要遵循的标准规范有《压力管道安全技术监察规程—工业管道》TSG D0001-2009引用的《压力管道规范工业管道》GB/T20801-2020，《工业金属管道工程施工规范》GB50235-2010，《工业金属管道工程施工质量验收规范》GB50184-2011，《工业金属管道设计规范》GB50316-2000（2008版），《石油化工有毒、可燃介质钢质管道工程施工及验收规范》SH3501-2011。GB/T20801-2020中规定在初次运行前以及按规范要求完成有关的检查后，管道系统都应进行压力试验以保证其承压强度和密封性能、安全性能。

1 液压试验

1.1 液压试验介质的选取

规范推荐压力试验一般采用液压为首选。一般液压试验介质采用洁净水。当对镍及镍合金管道、不锈钢，或对连有不锈钢、镍及镍合金管道或设备的管道进行试验时，水中氯离子含量是有要求的，TSG D0001-2009中规定试验用水中氯离子的含量不能超过0.005%；GB/T20801-2020中规定试验用水中氯离子含量不得超过值为50mg/L；SH3501-2011中规定试验中使用的洁净水中氯离子含量也是不得超过50mg/L；GB50235-2010是不得超过 25×10^{-4} （25ppm），GB50235-2010中的规定是最严格的，如果在设计中引用的规范有多种相似或相同要求时，以最严标准执行。

对不锈钢管道的水压试验中氯离子有限制主要原因是：不锈钢设备或者管道表面本身有一层氧化物保护膜，即钝化膜。不锈钢耐腐蚀主要靠表面的致密的氧化膜（氧化铬），但是氯离子能对它进行破坏，氯离子能优先有选择地吸附在氧化膜上，把氧原子排掉，然后和氧化膜中的阳离子结合成可溶性氯化物，溶解在水中，从而溶解不锈钢表面的氧化膜，引起不锈钢的腐蚀。在水压试验后可能有死角存在，很难将水渍彻底擦拭干净，如果试验中使用的水氯离子浓度比较高，那么残留在容

器中的水蒸发后浓度增加，从而产生了应力腐蚀，因此对水中的氯离子进行严格控制。

规范提到加入用水做试验，水对管道或工艺等有不良影响时，并有可能损坏管道时，可使用其他合适的其他无毒流体。当采用可燃流体进行试验时，对闪点也有要求，不得低于49℃，且应考虑周围环境。试验时流体的温度不低于5℃。

1.2 液压试验压力的选取

①各规范对承受内压的管道液压试验压力的选取基本一致即为设计压力的1.5倍。

即：

$$P_t = 1.5P \quad (1)$$

P_t —试验压力，MPa；

P —设计压力，MPa。

②在管道组合中的设计温度高于试验温度时，则其的液压试验压力应按式（2）计算，计算后的试验压力不得使管道在试验条件下产生的周向应力或轴向应力超过试验温度下材料屈服强度的90%，也不能超过1.5倍系统中管道组成件的额定压力。否则必须将试验压力降低，以满足液压试验时管道组成件应力值在安全使用范围内的要求：

$$P_t = 1.5PS_t/S_2 \quad (2)$$

P_t —试验压力，MPa；

P —设计压力，MPa；

S_t —试验温度下管子的许用应力，MPa；

S_2 —设计温度下管子的许用应力，MPa；

当 S_t/S_2 大于6.5时取6.5。

序号	输送介质	设计温度 ℃	设计压力 MPa	管道材质	试验压力 MPa	备注
1	变换气	320	1.7	15CrMo	3.80	
2	甲醇	50	0.6	S30408	0.9	
3	仪表空气	80	1.0	20#	1.5	

2 气压试验

采用气压试验要比液压试验有着更大的危险性、不确定性，因为气体是有压缩性的而液体是不具备的，气压试验如果发生事故，会释放很大的聚集能量，需要释

放升压过程中的产生压力，他的冲击性很强，基本接近冲击波，破坏力度很大。因此在工程中尽可能采用液压试验，液压试验是在有困难的，才允许采用气压试验。近几年气密试验事故时有发生，一般不推荐使用气压试验。不过在一些实际施工过程中，一些管道或者工艺不适合采用液压试验的场合，需要进行气压试验来保证管道的承压强度及密封性。

2.1 气压试验介质的选取

试验介质为洁净的空气、氮气或其他不易燃和无毒的气体。

2.2 气压试验压力的选取

即：

$$P_t = 1.15P \quad (3)$$

P_t —试验压力，MPa；

设计压力，MPa。

2.3 使用气压试验的规定

GB50235-2010 中规定，如果管道的设计压力 $\leq 0.6\text{MPa}$ 时，可采用气压试验，但必须采取相应的有效安全措施。

SH3501-2011 中规定做液压试验确实存在困难的，需经设计和建设两家单位同意，可用气压试验代替，试验压力的要求是不宜高于 1.6MPa ，并应符合以下要求：

①管道系统内现场施工焊接接头已按本规范规定检测合格；

②脆性材料管道组成件经液压试验合格；

③试压方案中应有切实的安全措施，经施工单位技术总负责人批准。

2.4 采用气压试验的一些工况

①管道系统禁水，重新干燥很困难的，或者在冬季寒冷地带试压，水要冻住的区域或者季节性；

②冷冻系统，制冷液氟利昂，冷冻机与蒸发冷之间的管道设备厂家说不能用液压试验，因为不能保证管道里的水全部吹扫干净。而如果残余水，水会随氟利昂液体进入系统，在机组低压侧凝结成冰，堵设备；

③还有的压力管道介质为导热油，就是热媒管道，因不能进行液压试验，采用气压试验；

④水压试验会损坏衬里或者保温，比如在技改项目中现有设备已装填有催化剂，改造管道不能与设备断开时，管道无法进行液压试验需要用气压试验替代；

⑤如果由于结构或支撑原因不能用液压试验时，或设备容积较大时一般采用气压试验。

2.5 气压试验时的安全措施及安全管理

2.5.1 安全泄放装置的安装

为了防止管道的压力超过限制，在进行气压试验的管道上应安装安全用释放装置，在 GB50235-2010 中规定泄放装置的设定压力不应超过试验压力的 1.1 倍。安全泄放装置一般采用安全阀，当入口压力超过设定的压力时，阀门打开达到泄压目的，当压力降到一定值后，则阀门自动关闭，不再进行泄放。安全泄放装置的设置避免使用爆破片，爆破片装置是不能重复闭合

的泄压装置，简单的说就是一次性的泄压装置，达到设定压力快速排出气体，这样容易引起管道迅速收缩，容易对管道的焊缝等造成冲击，造成安全隐患。

2.5.2 安全管理

气压试验前，检查有关技术文件，制定试验方案、试验应急预案，采取有效的安全措施，并且应该经由现场施工技术负责人和安全技术部门审批后，才能进行。现场应设置对试验人员保护的场所，应对紧固件等进行检查，确定安装完好。试压现场应加设围栏和警示牌，所有作业人员进入现场，必须戴好安全帽，正确系好帽扣，必须穿戴好工作服和穿好工作鞋。试验过程中不得任何人靠近，需在安全处观察。

2.5.3 试压过程要求

气压试验时所用空气应为干燥、洁净的空气，氮气或其他惰性气体。气温不低于 15°C 。不能对带有有残留的易燃流体的容器或者管道采用空气作为试验介质。气压试验前，应进行预试验，试验介质为空气，试验压力宜为 0.2MPa ，试压时应缓慢升压，当气压到了试验的 50% 时，如果没有发现异常状况或者泄露问题，则可以继续按 10% 逐级提高压力，每级保持压力 3min，最终达到试验压力。试验压力值下需保压 10 min。保压结束后将压力下降，降到设计压力为止。采用发泡剂检测为不泄露则合格。发现泄露时，应按照规定及方案要求进行补焊或者其他措施。

升压过程中如果发现异常情况，气压试验终止，在管道系统中查到问题所在，泄露点的位置等确定后，进行泄压，泄压过程严格执行标准及方案要求，确保人身安全。气压试验的管道系统，如果管道没有在试验结束后拆卸管道，则泄露性试验可以不进行。

3 结语

通过对工业金属管道液压试验和气压试验的分析，对现行规范的理解，应尽量选择液压试验。不可避免采用气压试验时，应设有安全泄放设施，为降低风险，做好试验前的组织管理及应急预案，并应根据安全距离等要求，对现场进行人员清理，减少气压试验时引起管道材料的脆性断裂，气压试验温度不能接近其的延性-脆性转变温度。实际工作中，应遵循以设计文件要求，按照设计文件说明中引用的标准规范为依据，按照管道数据表中的试验压力及试验介质进行压力试验，如果现场发生不能执行设计文件时，施工方需与业主单位及设计单位进行沟通，协商符合规范符合现场的试验方法。如果设计文件中出现多个相似标准时，以最严苛标准的执行。

参考文献：

- [1] SH3501-2011, 石油化工有毒、可燃介质钢质管道工程施工及验收规范 [S]. 北京：中华人民共和国工业和信息化部, 2011.
- [2] 张宏彬. 管道气压试验安全技术与管理 [J]. 海洋工程装备与技术, 2017, 4(003): 173-177.