

石油化工管道压力试验

程冬华（北京燕山玉龙石化工程股份有限公司，北京 102445）

摘要：本文针对石油化工建设中管道工程压力试验的试压包的划分、介质的选取、压力的确定及盲板厚度的计算；试验的程序等方面，提出管道压力试验各环节解决途径，并对以往的管道压力试验提出改进措施。加快管道工程的施工进度，提高了工作效率。使管道工程的压力试验更具有合理性、安全性和经济性。

关键词：石油化工管道；试压包；压力试验

石油化工建设是我国工业建设的重要组成部分，具有可燃、易燃、有毒、有害等特点。保障石油化工装置安全稳定运行是石油化工建设中需要解决的重大问题。而石油化工管道压力试验是解决问题重要手段之一。其主要目的是检查管道在超设计压力状态下的安装质量；考核管道组成件及焊缝致密性。从而保证装置安全、稳定的运行。管道压力试验按计划、有步骤的进行，可以合理调配人力、物力资源，减少浪费，加快施工进度，降低工程成本，提高经济效益。由于石油化工装置化工工艺复杂，对于管道工程，不同的工艺要求、材质、位置、气候条件等，对压力试验方法和试验介质的选择都有不同程度的影响。特别是大型石油化工装置，管道有几十万米，选择最佳的管道压力试验方案，确保工程质量，难度可想而知。因此，决策具有合理性、安全性、经济性是管道压力试验成功的关键。

1 试压包的划分

试压包划分是石油化工管道工程压力试验的重要环节。大型石油化工装置的管道工程可以划分为几十个或上百个试压包。试压包的划分与工艺流程、管道等级、管道介质、试验介质、材料、管道位置、盲板安装、气候条件等诸多因素有关，因此要根据石油化工装置的特点。综合分析影响因素，合理地划分试压包。

1.1 管道介质

石油化工装置管道可分为压力管道和非压力管道。非压力管道主要是生活用水及排水系统；压力管道主要是对工艺生产和安全具有重要作用的管道。压力管道又被分为工艺管道和公用工程管道。工艺管道是用来输送原料、燃料、产品、副产品及中间产物和反应催化剂等介质的管道；公用工程管道是输送仪表风、工业风、氮气、蒸汽等对生产和安全有辅助作用的管道。公用工程管道一般由一根（二根）主管道输入或输出装置，用支线分送（回收）到各用户点，为生产和安全服务。故石油化工装置管道压力试验一般将工艺管道和公用工程分为两大部。公用工程管道根据特点，每一种介质管道建立一个试压包；工艺管道按照管道的级别和材料等条件详细划分。

1.2 设计压力

在石油化工装置中，按照生产工艺的要求，工艺管道使用的工艺条件各不相同，设计压力高低不同。按照

我国《特种设备安全监察条例》管道级别划分标准可分为：真空、低压、中压、高压、超高压。因此按设计压力将工艺管道分为这五大部分。然后根据其他因素划分试压包。值得注意的是，一些管道按照设计压力属于低压或中压系统，但试验压力可能属于中亚或高压，这是由于工艺要求，管道的使用温度较高，这种情况下必须将管道放入中压或高压系统。因此。按照设计压力划分试压包时，同时必须注意管道的设计温度。

1.3 管道材料

按照 SH3501-2011 的规定不锈钢管道用水试验时，水中氯离子含量不得超过 50mg/L。这主要考虑到氯离子对不锈钢有腐蚀性的要求。因此要将管道材料是不锈钢的管道划分为一个单独系统，按照设计压力划分试压包。避免碳钢混入系统。

1.4 其他

经过以上几个步骤，再根据装置的工艺流程和管道区域单元为基础，设计压力为主线，把同材质、压力相近、现场位置临近管道贯通，组成试压包。同时考虑盲板的安装难易程度、试压包的大小等因素，主要考虑以下几个方面：

- ①可操作性强，充分利用已完工程，减少试压材料使用量；
- ②试压包不宜过大，安装工作量合理；
- ③安全性高，危险系数小。

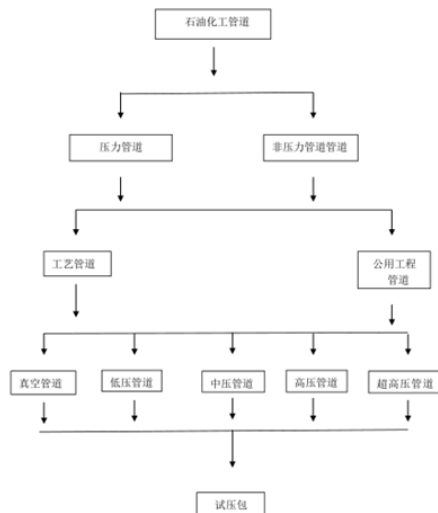


图1 管道试压包划分

经过上述程序（见图1），管道的试压包就可以划

分出来。综上所述,试压包划分原则主要有:

- ①工艺管道和公用工程管道避免分在同一试压包;
- ②不锈钢管道划分为一个系统,为若干试压包。防止其他试压包用水窜入,防止氯离子腐蚀和铁离子污染;
- ③对于罐顶等安全阀前位置分散的,压力高的管道为一个试压包,在预制阶段进行压力试验;
- ④试压包所包含的管道尽量集中。

2 试验介质的选择

2.1 标准分析

石油化工装置管道工程压力试验介质有严格的限制,规定管道压力试验一般采用液体为试验介质。液压试验确有困难时,经设计单位和建设单位同意,可用气压试验代替。我国标准和国外标准对气压的限制见表1:

表1 气压试验限定条件对比表

标准	试验压力 (MPa)	限制条件
GB50235	≤ 0.6	采取有效的安全措施
	≥ 0.6	须经建设单位和设计单位同意
SH3501	≤ 1.6	采取有效的安全措施,经建设单位和设计单位同意,施工单位技术总负责人批准。
ANSI/ASMEB31	≤ 1.6	仅当设计单位未考虑水负荷或生产有绝水要求时,经建设单位同意

上述标准对比分析可知,只有在低压试验时,才允许使用气压试验。但由于工艺条件、现场施工条件等因素的限制,有时液压试验困难或不可能实现,因此用气体介质进行管道压力试验,在检修过程中使用越来越普遍。

与液压试验相比较,气压试验有许多优越性,例如:同一试压包压力试验,不需要考虑液位差的影响,不会造成环境污染;试验介质来源容易,成本低廉;临时设施用量少;不会造成管道腐蚀;加快施工进度,降低工程成本、可以和吹扫工作同步进行等。但气压试验致命性缺点是超压可能会出现事故,安全性差。

2.2 管道应力和破坏分析

根据SH3501-2011规定,当设计温度、压力都很高或采用薄壁管道时,实验温度下材料的需用应力和设计温度下材料的需用应力比值大于1.8时,应计算管壁的应力。该应力值应小于实验温度下材料屈服点的80%(气压试验时)或90%(液压试验时)。管壁应力计算公式见式(1)。

$$\sigma_t = P_t (D_0 - 2S) / 2S \phi \quad (1)$$

式中:

σ_t —管壁应力, MPa;

D_0 —管子外径, mm;

P_t —试验压力, MPa;

S —管子的公称壁厚, mm;

ϕ —管子的焊缝系数,按规范取0.9。

由于液压试验压力是设计压力的1.5倍,而气压试

验压力是设计压力的1.15倍,压力试验时,气压时的管道内应力小于液压。管道是否安全不取决试验压力,而取决管道的破坏形式。

根据ASMEIWB-3650《压力管道缺陷评定》介绍,管道破坏有三种模式,即塑性破坏失效、韧性撕裂失效和脆性断裂失效。管道压力试验中产生事故的主要原因是管道焊缝及热影响区断裂引起的,是焊接缺陷引起的,管道薄膜应力超过材料强度极限,属于前两种破坏模式。而第三种脆性断裂失效只有在温度特别低,达到钢材的脆性转变温度 T_c ,材料内部存在缺陷引起应力集中,管道应力小于材料的许用应力产生断裂。

从上述管道破坏模式可以得知管道压力试验介质对管道失效无任何影响,只要将试压包的储能限制在一定范围内采用气压代替液压试验是可行的。

2.3 储能分析

对于管道事故产生的后果分析,气压试验的危害性要比液压试验严重。主要原因是相同条件下气体比液体储存的能量大很多,其比值如表2:

表2 常用压力下 U_g/U_l 值

绝对压力 (MPa)	2	3	4	5	6	7
比值 U_g/U_l	3.6×10^3	2.5×10^3	1.9×10^3	1.6×10^3	1.3×10^3	1.2×10^3

从表2可以看出,气体的储能比液体的储能数千倍,因此,在选择气体作为试验介质进行压力试验时,必须限制试压包的储能。我国标准及ASME都未做出具体规定。只能参考国外同行的经验。表3为美国kellogg公司对气压试验储能的要求。

表3 kellogg公司气压试验储能要求

储能 (J)	射线检查率 (%)	着色、磁粉、超声波	审批资格
$> 2.7 \times 10^8$	100	全部支管、附件和排放液(气)焊口	工程协会
$1.4 \times 10^8 \sim 2.7 \times 10^8$	100	全部支管、附件和排放液(气)焊口	公司总工程师
$6.8 \times 10^7 \sim 1.4 \times 10^8$	50	全部支管、附件和排放液(气)焊口	
$3.4 \times 10^7 \sim 6.8 \times 10^7$	25	全部支管、附件和排放液(气)焊口	
$1.4 \times 10^7 \sim 3.4 \times 10^7$	10	所有支管焊口	现场总代表
$< 1.4 \times 10^7$	10	所有支管焊口	

$$E = 9.8 \times 10^4 \times V (10 \times P + 1.033) \times \ln[(10 \times P + 1.033) / 1.033] \quad (2)$$

式中:

E —气体的储能, J;

P —气体的绝对压力, MPa;

V —气体的体积, m^3 ;

根据国外同行经验,射线探伤比例为25%时,储能上限 $6.8 \times 10^7 J$;现实施工中我们可以参考国外标准,加强质量控制,对焊口进行随机抽检,用气压试验代替液压试验是可行的。如燕化100万t/a中压加氢装置,试

验压力小于 8.0MPa 的工艺管道全部采用气压试验。严格控制储能,取得了满意的效果。

2.4 气压试验应注意的其他问题

气压升压速度的控制:从脆性断裂学可知加载速度钢脆性有明显的影响,随着加载速度增加,钢的脆性转变温度升高,钢的断裂韧性降低,所以在采用气压进行试验时应严格按照规范的要求逐级缓慢升压,使系统内气体压力缓慢均衡。温度也是造成金属材料脆性断裂的重要因素之一,当环境温度低于 0℃ 时,可以采用压缩空气为介质进行压力试验,但因为材料的脆性随环境温度的降低而增大,所以应严格注意管道材料在不同温度下的脆性转变温度。

经以上分析可知,只要环境温度不是特别低,应力校核不超过管道材料许可的性能指标,限制系统储能低于 $3.4 \times 10^7 \text{J}$,控制升压速度,并对工程实体进行严格的检查。试验压力不超越规范的要求。编制专项施工方案,相关的审批要求进行报审,经各方同意后方可选用气压试验。

3 试验温度与试验压力的确定

3.1 试验温度的确定

SH3501 中规定:液体压力试验时液体介质的温度,非合金钢和低合金钢管道系统,液体温度不得低于 5℃;合金钢管道系统,液体温度不得低于 15℃,且应高于金属材料的脆性转变温度。气压试验时,试验温度必须高于金属材料的脆性转变温度。GB50235 中规定:试验时环境温度不宜低于 5℃,当环境温度低于 5℃ 时,应采取防冻措施,试验时应测量试验温度,严禁材料试验温度接近其脆性转变温度,高于金属材料的脆性转变温度。

高温高压管道(如高压蒸汽管道)应按具体情况适当提高试验温度,因为随着管壁厚度增加,材质脆性转变温度升高。

3.2 试验压力的确定

管道系统的试验压力应按设计文件规定执行。若设计未作规定时,按下式进行计算:

$$P_t = K P_0 [\sigma]_1 / [\sigma]_2 \quad (3)$$

式中:

P_t —试验压力,MPa;

K —系数,液体压力试验时取 1.5;气体压力试验时取 1.15;

P_0 —设计压力,MPa;

$[\sigma]_1 / [\sigma]_2$ 为温度修正系数。

其中: P_0 按试压包诸多管线号中高者确定。

对位差较大的管道,如附塔管道,应将试验介质的静压计入试验压力中。试验压力应以最高点的压力为准,但最低点的压力不得超过管道组成件的承受力。

当管道与设备在同一系统进行试验,管道的试验压力小于设备的试验压力时,应按管道的试验压力进行试验;当管道系统试验压力高于设备试验压力,且设备试验压力不低于管道设计压力的 1.15 倍时,经建设单位同

意,按设备的试验压力进行试验。

值得注意的是管道压力试验时的应力值应符合下列要求:

液体压力试验时,不得超过试验温度下材料屈服点的 90%;气体压力试验时,不得超过试验温度下材料屈服点的 80%。

4 绘制试压包流程图及试压管道表格

按工艺流程图及所划分的系统绘制试压包流程图,应包括以下内容:

①管道号;②介质流向;③试验压力;④系统内空气排放点;⑤试压用临时加固位置(如膨胀节临时约束装置);⑥临时盲板位置;⑦试验介质入口;⑧试验介质排放口;⑨压力表位置;⑩临时连接线及安全措施。

试压包绘制完成后,根据图纸整理出试压包所含管线清单,然后以试压包为单元配备管道单线图、管支架及特殊附件图,制定管道检查项目表,按项目表逐一进行检查核对验收。形成尾项清单。

5 试压盲板的确定

常用试压盲板带加强肋的平盖封头、插入式盲板和法兰盖,首先常采用凭经验、查手册的方法确定盲板厚度,既不科学,也难以满足各种现场条件的需要,而且容易因盲板厚度不足引起事故,或太厚造成浪费,应根据不同工艺条件合理计算并选用。

平盖封头:适用于 DN400mm、PN2.5MPa 以上的管道系统。

$$\delta = K(D_i + 2C) \sqrt{(P / [\sigma] 2\eta) + C} \quad (4)$$

式中: K 、 η —结构特征系数,见 GB50316 规范中表 6.6.1。

盲板法兰计算:

$$\delta = 0.44 D_i \sqrt{(P / [\sigma] 2) + C} \quad (5)$$

6 压力试验方法与步骤

试验方法的选取。试验方法的选取合适与否,对试验速度,劳动强度有着直接的影响,下面是压力试验中几种常用方法。

6.1 逐项试验法

逐项试验法就是先按系统进行压力试验,主要检查焊口质量,保证强度试验合格;最后由建设单位参加,按生产流程扩大系统进行严密性试验,重点检查阀门填料等、法兰密封面的连接情况。此法适用于大型石油化工装置管道的压力试验,特别是在调节阀、孔板等未到货,而其他管道已安装完毕,工期又比较紧张的情况。采用此法可以分阶段完成压力试验的工作,充分利用时间,减少泄漏点和施工程序。

6.2 设备与管道联合试验法

即在管道系统进行压力试验时,将管道系统与设备串联在一起,或在设备试验时,带部分管道进行试验的方法。当管道系统与设备串联时,必须保证系统试验压力符合规范要求。而且试验前应核对设备的基本设计条件,进行必要的强度校核,确保设备的安全。当设备

试验带入管线时,应按设备试验压力校核管道的强度。

此法适用于下列情况:

- ①设备与管道是焊接连接,无法加入盲板进行隔离;
- ②设备间相连的管线和单个设备的盲肠管。

6.3 试压包并联试验法

此法就是将位置、压力不同的各试压包并联起来,根据试验压力和试压包大小分别按规定装设控制阀和压力表,然后同时进行压力试验的方法。如图2。

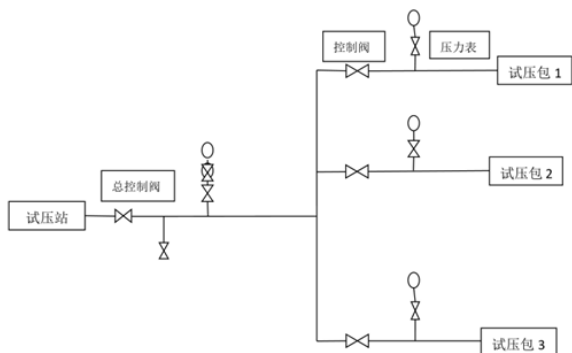


图2 试压包并联压力试验法

试验时要求各系统控制阀处必须有专人负责操作,而且与总控制阀处联系方便,各点控制要及时准确。关闭所有压力低的试压包。先打压力高试压包,合格后,泄放时,打开压力低的试压包的控制阀,严格控制试验压力,保证施工安全,最后将试压包内介质排放至排污处。采用此法利用较少的设备高效地完成大量管道的试验,而且各试压包介质可以相互补充,提高功效。减少

材料使用量,降低工程成本。

6.4 单条管线试验法

就是将一条管线单独划为一个试压包试验的方法。适用于不能带入其他试压包试验的管道,危险性大,检查时间长。此法可以避免安装过多的临时线,但效率较低。

7 结论

管道压力试验的应提前做好准备工作,建立管道压力试验试压包,选择好试验介质。每个试压包应采用DB法确定工程量,合理安排人力和物力资源,根据焊接台账确定安装工作的完成时间。合理安排试压包试验的顺序,做好施工进度计划。石油化工管道工程施工走入程序化、标准化、系列化的轨道。可以起到事半功倍的效果,创造良好的经济效益。实践证明,该模式是行之有效的,具有较强的科学性、实用性和安全性。为石油化工建设的科学组织、管理提供可靠的保证。

参考文献:

- [1] 周志明.管道气压试验储能计算[J].化工施工技术,2011(12).
- [2] 周顺深.钢脆性和工程结构脆性断裂[M].上海:上海科学技术出版社,2012.
- [3] 李培宁.ASME IWB-3650 压力管道缺陷评定规范介绍[J].压力容器,1993(06):67.
- [4] 王健安.金属学与热处理[M].北京:机械工业出版社,2008.

(上接第89页)加热条件下三相催化复合氧化(H_2O_2)体系,氧化处理目标有机硅废水,各因素对COD的去除率产生影响的敏感性依次为:pH>水浴温度>反应时间>氧化剂投加量。结合能耗和化学品耗用等问题,以本实验研究数据出发,若针对该有机硅废水采取复合三相催化氧化系统,可考虑放大试验的初步优化操作条件设定为:pH为4,水浴温度为40℃,停留时间2h,氧化剂投加量0.2%。

4 结论

本实验中,该有机硅废水强酸性,氯离子高,生化处理难度大。本文小实验研究以目标废水的特性为出发点,以后续工程放大应用为着眼,探讨了物化氧化技术对低浓度有机硅废水处理的效果与规律。实验结果显示,直接采用合适的氧化手段,能很好的去除COD。利用NaClO辅助氧化直接氧化,在pH>7,水浴加热到50℃的条件下,反应2h,COD的去除效果显著,去除率能达到75%以上。如果利用负载活性炭催化剂三相催化氧化复合反应体系,在弱酸条件下(pH=4),氧化剂双氧水的投加量(体积比)控制在0.2%,反应2h,即使常温条件下COD的去除率也可以达到80%。本实验研究为后续放大实验和工程设计提供了数据储备。

有机硅废水的处理难度不小,处理手段选择还需要

考虑工程设计和当地环保法规的要求。本实验研究仅在小试阶段,并且废水高盐高氯的问题仍需要解决。需要在氧化技术和组合工艺方面做进一步研究和尝试。

参考文献:

- [1] 幸松民.有机硅合成工艺及产品应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2] Lin S H, L in C M. Operating characteristics and kinetic studies of surfactant wastewater treatment by Fenton oxidation[J]. Water Res,1999,33(7):1735-1741.
- [3] 陈传好,谢波,任源等.Fenton试剂处理废水中各影响因素的作用机制[J].环境科学,2000,21(3):93-96.
- [4] 徐寿昌.深度氧化技术在处理工业废水中的应用与发展[J].上海环境科学,1985,4(2):18-21.
- [5] 张崇华.我国几种工业废水治理技术研究[M].北京:化学工业出版社,1988.
- [6] 乌锡康,途青萍.有机水污染治理技术[M].上海:华东化工学院出版社,1989.
- [7] 谢娟,胡筱敏,章一丹.铁屑流化床预处理-催化氧化-混凝沉淀组合工艺处理有机硅废水[J].化工环保,2006,26(1):41-44.
- [8] 袁劲松,张在利,吴海峰.高浓度有机硅废水生物处理技术研究[J].污染防治技术,1999,12(1).