

谈石油化工工艺管道的压力试验

马春生（山东省正大建设监理有限公司，山东 济南 250000）

摘要：中国石化工业的蓬勃发展，已形成了一套完善的工艺管道敷设技术体系，其中，压力试验是管道安装中一项关键工序，它既可以检验密封件和焊缝的致密性，又可以更好地保障工艺管道的正常使用和安全性。当前，我国的流程管道在某些方面还存在着一定的缺陷，而不同的压力管道对不同的工艺条件的需求也是不一样的，所以，要想让工艺管道尽可能的长时间、稳定、安全的运行，就必须在试验过程中采用科学、有效的试验手段，以确保石油化工行业的正常运转。

关键词：石油化工；工艺管道；压力试验；试验研究

在石化设备工艺管道施工中，压力试验是进行最后一道工序，其目的在于检验管线的紧实度及强度是否满足设计要求。确保工艺管道设备的质量及正常的生产。大型化工生产中，管线多达数千米，管道结构复杂，为确保其安全运行，需提前做好前期准备工作，并选用合适、科学的试验方案。

1 压力试验准备工作

石化企业管线施工中，最后一项工作就是进行水压测试，目的在于检验管线的紧实度及强度是否满足设计要求。确保工艺管道设备的品质，确保设备的正常运行。大型化工生产中，管道多达数万公里，管道结构十分复杂，为了确保工程的安全运行，需要提前做好前期准备工作。

1.1 编制试验方案

在石化工艺管道的安装中，施工人员在制定压力试验方案时，首先要对施工现场进行详细的现场调查，并结合现场的情况，制定出符合现场情况的施工方案。接下来就是施工人员对管道进行试压之前的准备，施工方事先与各承建商、监理、设计、施工等部门沟通，经审核合格后方可开始施工。

1.2 划分试压系统

在进行现场试压工作时，必须先对试压体系进行分区，这样就方便了后续在现场施工。在同一条压力管道的施工中，按照工艺的要求，通常按设计压力大小将其分为低、中、高、超高四级。另外，压力试验体系的划分还需要考虑温度对材料性质的影响，不同的过程管线的温度会有很大的差异，通常在5-30℃之间，而在设计温度高于试验温度时，压力试验体系的划分就成了最大的挑战。当压力试验系统划分完毕后，按照有关设计图纸等，将材料相同、压力相近、布局相似、流程相近的各管道系统组件结合起来，构成一

个统一的压力试验体系。

压力试验中，压力试验的重点是试验体系的划分。在进行压力试验之前，通常会把管线分成数十乃至数百个试压系统。该体系的划分与生产工艺、介质、等级、设计压力、设计温度、安装位置和安装难度等因素密切相关。所以，压力试验体系的划分是比较困难的，必须从各个方面加以认真考虑。

1.2.1 管道介质

在石化装置中，压力管道通常分为工艺管道和公用管线。所以在进行管道压力试验时，石化行业一般为工艺管线。市政管道通常是通过一条干管接入设备，通过分支管线向各个用户点输送介质，通常每种介质管线都建立一个试压系统；对于工艺管道，要按照工艺流程、设计压力等情况进行细致的分区。

1.2.2 设计压力

同一家化工企业，根据生产工艺的需要，其工艺管道的设计压力也不尽相同，通常按照设计压力划分为低压、中压、高压、特高压四种类型。在此基础上，对压力管道进行了分析。对于某些管道，如果有特别的技术要求，还应另行划分。然后按照其他因素划分压力试验系统。需要指出的是，一些管线的工作压力为低压、中压，但是在生产过程中，管线会在瞬时或者间歇的情况下承受中压或者高压，这时就需要把这段管线置于中、高压系统中。

1.2.3 设计温度

过程管道的设计温度各不相同，试验温度通常为5-30℃，在设计温度远远高于试验温度时，压力试验系统的划分必须考虑到温度对材料性质的影响。

1.2.4 其他因素

根据设计压力将四种不同的划分，根据装置的总体流程、管道图等设计数据，以管道操作单元为地区，

以设计压力为主要线索,或以装置为参照,将材料相似、压力相似、现场分布相似、流程相似的管道构成一个试压系统。然后以管道布局及盲板施工的困难程度为依据,将其划分为两部分。概括起来,在进行体系划分时,应该遵循以下几个基本原则:①在设定管线压力的条件下,按照作业介质,进行细化划分;②对于直径较大的管道,应采用较小的体积;对于管径较小的管道,可以适当增加系统容量,以实现系统能量的存储;③系统内的管路要尽可能地集中。

1.3 整理试压资料

只有当工程技术人员完成了试压工作后,才能对每项试压资料进行汇总和分析。管道施工过程中的管线设计图、压力试验和试验情况的记录资料,以及管线焊接记录、射线影响报告、热反射处理报告等。然后,将收集到的资料提交给有关的审核机构,由承包商、施工单位和设计方进行确认,确认无误后,才能进行现场的管线压力试验。

2 压力试验介质选取

2.1 选取试验介质

应根据生产工艺要求并结合现场实际情况来选定,一般应采用液体进行。当采用气压试验时,应符合 SH3501 的相关规定,并提前上报监理/建设单位审批试验压力:液体压力试验的压力为设计压力的 1.5 倍;气体压力试验的压力为设计压力的 1.15 倍。而采用气体作为试验介质,具有来源广、设备数量少、易于排出等各项优点,所以在石化设备中,通常选择气态介质做管材的测压材料。另外,气体作为介质的管道试压也有一定的安全性缺陷,所以在试验过程中一定要强化安全防范意识。

2.2 分析管道失效模式

在管线压力试验中,大部分的事故起因都是由于焊缝缺陷造成的,例如焊缝间隙和热影响区的开裂。研究发现:一个原因是管材的强度和弯曲极限不能与现有管材的膜力相匹配,在多种因素的作用下,管材发生损伤,导致管材发生塑性或韧度断裂,例如:管材设计不当、管材偏薄;不符合生产工艺要求,造成管线超压;由于腐蚀的存在,导致了管壁的减薄。这种损伤通常只会在管道中产生裂纹,裂纹的大小取决于试验介质的储存能力,所以这种损伤并不严重。而另一种原因,就是由于材料的允许应力远超所需的压力,所以才会出现脆断,也就是所谓的低应力脆断,这可能是由于管道接头或者是管道本身的缺陷造成

的,所以在破坏的过程中,会形成大量的碎屑,具有非常严重的危害性。

2.3 明确试验介质步骤

在确定试验介质的步骤中,如果施工现场情况不理想,那么就需要对试验介质进行校验和确定。而它的检验与监控主要有两个方面:

2.3.1 强度的检验

这两项资料与管线的计算壁厚 δ 以及管线的实际壁厚 t 有很大的关系。经检验,当 $\delta \leq t$ 时,表明管线的实际强度较好,无塑性断裂和延性断裂;当 $\delta > t$ 时,说明管线的设计强度偏高,应适当减小试压压力。一般来说,新建的压力管道的性能都是很好的,能够满足目前的压力试验强度,但是和已经在使用的管道相比,它的压力管道和壁厚等都发生了很大的变化,所以需要在现场实际试验,并且以这个数据为参考进行压力试验。

2.3.2 韧性检验

如果压力管道中有潜在的裂缝,那么在进行压力试验时,就会引起裂缝的扩展,因此,在施工过程中,一定要选择韧性好的建筑材料,另外,如果有裂缝发生,在进行水压试验之前,必须先确定是否有裂缝,这样才能避免发生脆断。然后,进行管线检验,确定被测介质,如果管线的材质和韧性都符合要求,那么就可以选用安全、科学的气体作为试验介质,但是,管道一旦投入使用,就会出现腐蚀、蠕变、疲劳等问题,因此,如果没有准确的数据,最好采用液态试验介质,这样可以有效地防止危险事故的发生。

3 确定试验温度与压

3.1 定试验温度

在液压介质试验中,适当的温度对试验的成败也很重要,如果不能确定管道的温度,可以通过施工管道和设备材料来确定,如果管道的材料是非合金钢或者低合金钢,那么试验的温度应该在 5°C 以下,如果是合金钢,那么试验的温度应该在 15°C 以上。在此基础上,提出了一种新的思路,即:将管材的脆化转变温度降低到一定程度,以防止管材的脆化转变温度过高,造成管材脆断;另一方面,针对实际情况,对试验温度进行适当的提升,以防止管材由于管壁增厚而产生的脆化转变温度过高,从而导致切口、焊缝等部位的脆断强度增大。另外,试验介质也有一定的沸点,所以试验的温度要比介质的沸点低,而且在试验之前要做好相应的准备工作,防止突然的温度变化或者设

备的泄露。

3.2 确定试验压力

试验时, 试验压力的测定应先参考设计文件。如果没有明确的设计数据, 那么就需要根据有关公式的分析结果来确定, 比如, 通过测试压力、测试温度下的许用应力以及在设计温度下的许用应力等资料进行比较, 若压力管线的对位相差较大, 则必须将试验媒介的静态压力计算到试验压力中, 其中最高压力即为最大参照, 最低压力即为其可接受的下限。另外, 在测定管道和设备焊缝的试验压力时, 一定要保证二者是在一个体系中进行的, 如果装置试验压力比管线试验压力大, 那么试验压力就用管线试验压力作为基准来进行试验, 反之, 在这种情况下, 如果选择了装置试验压力来进行压力试验, 那么管道的设计压力应该不会超过设备试验压力的 0.87 倍。

4 压力试验的方法步骤

4.1 压力试验方法

通过对试验的细致研究, 发现工艺管道的压力试验方法主要有: 设备与管道联用、系统串联试验、单机试验和逐项试验。其中, 逐项试验法就是在对焊缝进行强度试验, 确定焊缝质量后, 对焊缝密封性能进行试验, 并以此为基础对法兰密封面的连接状况进行检验。该方法对大型石化管线的组装压力试验具有一定的参考价值。而“设备-管道”联合试验法, 是由于管道安装时, 设备和管道都是串联的, 如果在这个时候不能用盲板将它们隔开, 那么就可以使用这种方式了。管道敷设时, 如果遇到压力相近、位置相似的测试设备, 为了保证管道测试的各参数的一致性, 需要将其进行串联测试。单根管试验法就是对一组管道进行测压, 该试验方法适用于管道长度大、管径大、试验过程中不方便携带的情况。

4.2 压力试验具体步骤

在进行压力试验时, 要注意两个方面的工作, 即在进行水压试验时, 要先打开法兰、阀门和排气口等开关, 然后再对管道注水。在管路充满水的情况下, 相邻的排气系统都是关闭的。此时, 管线会逐步上升, 直到达到测试强度的 30%, 此时, 5min 内若无泄漏、变形、降压等异常现象, 则缓慢加压, 待 10min 后, 相关的技术部门工作人员对测试管道系统进行统一检查, 直到测试压力试验强度指标符合要求, 然后进行降压处理, 逐步将测试压力下降到设计压力测试水平, 停机 30min 后再次测试。在气压测试中, 进行了一次

在 0.2MPa 左右的预试。若无异样, 则可作空气压力测试。首先要在放置了泄放装置的试验系统中做吹泡剂泄露的试验, 如果试验通过了, 那么在试验中就可以将它的压力试验强度设置为 0.345MPa, 之后再逐渐地慢慢地增压, 在达到压力试验的 50% 的时候, 对管路系统进行一次全面的检查, 如果没有泄露, 那么就可以按照 10% 的设计压力, 一步一步地慢慢升高, 直到它的压力达到了试验压力, 稳定了 10min 之后, 如果没有发生任何的异常, 就可以慢慢地把压力降低到设计压力。另外, 压力试验属于比较危险的工作, 因此, 在进行压力试验时, 要保证施工人员具备一定的安全防范意识。

5 试压过程中的注意事项

压力试验是一项危险作业, 压力试验点 5m 以内均为危险地带。要事先设置警告标识, 试验区及其周边禁止闲杂人等进入。对已拆下的螺丝, 应按规格进行归类, 并用 SO₂ 涂料进行涂刷。用防水布覆盖, 并清洗法兰表面, 防止锈蚀, 损伤螺栓。无论是气压试验还是水压试验, 在试验过程中如果出现渗漏, 都不能在压力下进行修复, 必须在排除了安全隐患之后, 才能重新进行试验。

总之, 在充分认识和研究石化工艺管道体系的基础上, 采用安全、科学、稳定的试验方式, 在试压之前要做好相关的准备工作, 期间要对管道体系进行全面的检测, 完成之后要及时的对管道系统进行回复试压管道, 这样才能促进压力管道的长期、稳定、安全的运行, 也能保障石油行业的正常生产。

参考文献:

- [1] 柳立娜, 李卓, 等. 管线试压技术在石油化工工艺设计中的运用 [J]. 当代化工研究, 2016(01):22-23.
- [2] 周厚谷. 管线试压技术在石油化工工业设计中的运用 [J]. 科学与财富, 2017(17):214.
- [3] 王卉. 管线试压技术在石油化工工艺设计中的应用研究 [J]. 中国化工贸易, 2018(06):195.
- [4] 刘桂莲, 等. 炼油行业化工容器检验的必要性的安全策略分析 [J]. 中国科技博览, 2014(30):277-277.
- [5] 张豪灿, 何佳梦. 影响工业管道试验的因素分析 [J]. 中国新技术新产品, 2018(06):127-128.
- [6] 蔡亮, 孙明周, 庄栋, 张志刚. 中国和澳大利亚管道压力试验标准差异分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2017(06).
- [7] 王文韬, 周向, 等. 某市穿江航煤管道工程管道严密性试验研究 [J]. 石油和化工设备, 2020, 23(01):27-29.