



中华人民共和国国家标准

GB/T 16805—2017
代替 GB/T 16805—2009

输送石油天然气及高挥发性液体 钢质管道压力试验

The pressure testing of steel pipelines for the transportation of petroleum,
gas and highly volatile liquids

2017-11-01 发布

2018-05-01 实施

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 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试压类型 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 峰值试验 2

 4.3 强度试验 2

 4.4 严密性试验 3

5 试压介质 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 水以外的试压介质的特别要求 3

6 试压用设备和材料 4

 6.1 试压用设备和材料的选用 4

 6.2 测量设备的位置和使用 5

7 试压方案 5

 7.1 概述 5

 7.2 目标 5

 7.3 缺陷/风险类别 6

 7.4 安全 6

 7.5 沟通 6

 7.6 管道运行条件 6

 7.7 最大试验压力 7

 7.8 已建工程和运行记录 7

 7.9 管道特性 7

 7.10 目标试验压力和压力试验持续时间 8

 7.11 压力试验故障 9

 7.12 压力试验验收标准 9

8 试压人员资格 10

9 充装和清管 10

10 压力试验的实施 11

 10.1 升压 11

 10.2 试验周期 12

 10.3 压力试验故障 12

 10.4 查找泄漏 13

 10.5 降压、置换和处置 13

11 干燥作业 14

12 试压记录及图示 14

 12.1 一般规定 14

 12.2 压力试验记录 14

 12.3 压力试验图 15

附录 A (资料性附录) 试压记录 16



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 16805—2009《液体石油管道压力试验》，与 GB/T 16805—2009 相比，主要技术变化如下：

- 修改了“规范性引用文件”的内容(见第 2 章)；
- 增加了“术语和定义”的内容(见第 3 章,2009 版的第 3 章)；
- 增加了“压力试验类型”的内容(见第 4 章)；
- 修改了“试压介质”的内容(见第 5 章,2009 版的第 5 章)；
- 增加了“试压人员的资格”的内容(见第 8 章)；
- 增加了“压力试验故障”的内容(见第 10 章)；
- 增加了“查找泄漏”的内容(见第 10 章)；
- 增加了“试压介质的降压、置换和处置”的内容(见第 10 章)；
- 修改了“压力试验记录”的内容(见第 12 章,2009 版的第 10 章)；
- 增加了“压力试验图示”的内容(见第 12 章)。

本标准由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本标准起草单位：中国石油管道局工程有限公司、中国石油管道局工程有限公司第三工程分公司。

本标准主要起草人：张志强、李长阁、孔德胜、王东霞、常亮、刘达、周荣、宋章喜、张广龙、李友、朱光杰。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 16805—1997、GB/T 16805—2009。



输送石油天然气及高挥发性液体 钢质管道压力试验

1 范围

本标准规定了输送天然气、石油气、危险液体、高挥发性液体、二氧化碳钢质管道压力试验的做法。

本标准适用于管道及管道设施组成部分的压力试验。管道及管道设施包括：线路管道、站场管道、管道附属物、管道设备附属物、装配组件、阀门、管件等。

本标准不适用于泵组、压缩机组、泄压罐、压力容器、控制管道、取样管道、仪表管道，或其他标准指定压力试验要求的组件或管道系统（如锅炉和压力容器，建筑标准涉及的管道系统等）。

本标准也不适用于使用天然气、氮气或空气作为试压介质的管道系统压力试验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 32167—2015 油气输送管道完整性管理规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压力天平 deadweight tester

一套由垂直安装在密闭气缸中的精加工的活塞组成的仪器，用来测试压力，也被称为“活塞式压力计”。

注：与压力控制装置、压力测试口、块等合称为“压力天平”。

3.2

冷冻塞 freeze plug

通过在管道外表面使用液态氮造成管内试压水冻结的管道隔离点。

注：通常用于将试验段分成更小的测试部分，以便更容易地查明泄漏点或用于设定一个测试边界。

3.3

危险液体 hazardous liquid

石油、石油产品或者无水氨。

3.4

高挥发性液体 highly volatile liquid

在温度为 37.8 °C，饱和蒸汽压超过 0.276 MPa 时的有害液体。

3.5

严密性试验 leak test

用来判断管道系统是否存在泄漏的管道试验。

注：根据压力测试方案的需要，严密性试验可以单独使用，或者根据压力试验方案的要求除了峰值试验、强度测试

之外使用。

3.6

工作压力 operating pressure

在某个特定时间,管道系统中某点的稳定工况的压力。

3.7

极限工作压力 operating pressure limit

描述管道操作压力范围上限的专业术语。

注:在国际标准中,一般称为最高稳态操作压力或者最大许用工作压力。

3.8

规定最小屈服强度 specified minimum yield strength;SMYS

购置钢管及管件的技术规格书所规定的最小屈服强度。

3.9

峰值试验 spike pressure test

短时间(通常小于 1 h)、高压(压力比通常高于 1.25)的压力试验。

3.10

强度试验 strength pressure test

按标准要求,检验管道工作压力的压力试验。

3.11

应力腐蚀开裂 stress corrosion cracking;SCC

由拉应力(残余或外加的)、腐蚀性环境及材料协同作用下造成的一种材料开裂现象。

3.12

试压介质 test medium

进行压力试验所用的液体或气体。

3.13

试验压力比 test pressure ratio

试验压力与管道系统极限工作压力的比值。

4 试压类型

4.1 一般规定

压力试验的基本类型分为三类:峰值试验、强度试验和严密性试验。为证实管道的完整性和(或)达到标准的要求,三类试验可单独或组合实施。三类试验的试验目的和试验压力比各不相同,运营商应根据试验目的确定合适的试验类型。

4.2 峰值试验

峰值试验用来验证运行管道的结构完整性。对于峰值试验,试验压力比通常大于 1.25。在试验中,峰值试验时间通常多于 5 min 但少于 1 h,以便减少试压中亚临界扩展异常可能导致的故障。峰值试验时间应足够长,保证增压过程任何瞬间试压介质趋于稳定。达到各项验收标准,且没有管道破裂发生,视为峰值试验合格。

4.3 强度试验

强度试验用来确定试压管道的运行压力极限。通常,试验压力比为 1.25,持续时间不少于 4 h,但这些数值可依据适用的标准和规定而变化。达到各项验收标准,且没有管道破裂或泄漏发生,应视为强

度试验合格。

4.4 严密性试验

严密性试验用来证明试压管道无泄漏。通常,试验压力比低于 1.25,持续时长 2 h 或更久,但这些值根据环境、公司规程和适用的标准有所不同。通常,严密性试验的持续时间应足够长,以使运营商可判断试验是否达到验收标准。若所有压力变化都能按照既定验收标准解释,即判断严密性试验合格。在特定条件下应注意,用气体对管道再次升压后,管道的严密性试验可通过电火花检漏仪或其他泄漏探测仪器的监视进行。

5 试压介质

5.1 一般规定

当采用液体作为试压介质时,应考虑下列事项:

- a) 试压介质的主要来源和补充来源;
- b) 在试压介质中添加缓蚀剂或其他方法(酸碱中和等)的需要;
- c) 参照国家和地方的规定,确定获得试压介质是否需要许可;
- d) 注入试压段和故障应急所需的试压介质总量;
- e) 试压段的试压介质注入点;
- f) 如有要求,压力试验前需要储存清洁的试压介质;
- g) 如有要求,应对接触试压介质的管道进行杀菌剂处理;
- h) 试压介质的注入速率和压力;
- i) 试压介质、大气、地表的预计温度和稳压时间;
- j) 试压介质的品质,包括过滤设备的要求和固体沉淀的时间;
- k) 试压段充装前、充装中和故障或最终排放前,保证并记录试压介质质量的取样程序;
- l) 如有要求,排放前保留一定量的试压介质;
- m) 根据国家和地方政府的规定,以确定试压介质的处置要求及许可;
- n) 试压介质的排放地点和方法;
- o) 如有要求,用于泄漏检测和定位的程序和物资,如染料或测试气体。

5.2 水以外的试压介质的特别要求

压力试验宜用水进行。但若符合下列条件,可采用雷德蒸发压力小于 0.05 MPa 的液体石油作为试压介质:

- a) 试压管道或试压段不是海底管道或者不是海底管道设施的一部分。
- b) 试压管道或试压段不处于管道泄漏可导致不利影响产生的环境敏感地区。
- c) 试压管道或试压段(额定运行压力高于 1.9 MPa)位于城市或人口密集区之外。
- d) 当试验压力大于或等于使环向应力达到或超过规定的最低屈服强度的 50%时,且位于运营商管道设备以外,在试压管道或试压段两侧 92 m 范围以内的每座建筑物内均不得有人。
- e) 在试压期间,应定时巡查,使试压管道保持在严密监视之下。同时应给试压人员配备便携式无线通话设备或类似的装置,以便与负责人保持联系。
- f) 试压管道或试压段附近应部署对突发泄漏进行清理的应急设备及人员。

6 试压用设备和材料

6.1 试压用设备和材料的选用

应正确选择试压用设备,设备应处于良好的工作状态。测量设备的测量范围应满足压力试验期间预期产生的压力。下列设备可用于压力试验:

- a) 大容积泵:连接管道来充装介质,提供充足压力克服静压头,应能维持足够的速度推动清管器和杂质,保持管道内的紊流使边界作用减到最小;
- b) 过滤器:用于过滤试压介质,以确保试压介质清洁;
- c) 注入泵:当需要时,向试压段注入缓蚀剂、检验燃料或气体以及其他化学制剂;
- d) 流量计或类似设备:测量管道充装量;
- e) 变速容积泵:应能使管道升压到超过规定试验压力的适当的值;泵的每一冲程的容积为已知,并应配有冲程计数器(在升压过程中,若需测量注入到管道内的试压介质时,可用带可变流量的恒速泵替代上述的泵);
- f) 容积测量仪:管道注入介质后达到所需测试压力后,增压期间用于计量容积的设备,此设备大于所测容量的1%,精度为液体加注计算容积的0.1%;
- g) 安全阀:在升压和试压过程中,防止试压段超压;
- h) 可移动式储罐:供试压介质在多余时储存,不足时补充;
- i) 压力传感和显示装置:应具有为指示预定试验压力所必需的压力范围和增量刻度;
- j) 压力天平或相当的压力传感装置:可测量小于或等于0.006 7 MPa的增量,该装置应具有校准合格证书,开始试验时应在此证书1年的有效期内;
- k) 连续记录压力值的量度装置(例如图表记录仪):应能提供压力随时间变化的永久性记录,每次与压力天平配合使用前应校准该装置;
- l) 试压介质温度传感和显示仪表:将其正确校准至适当的预期温度,温度仪表测定值与实际值的偏差不超过0.5℃,灵敏度不低于0.05℃;
- m) 连续记录的温度测量装置:应能提供试压介质温度随时间变化的永久性记录,此装置在每次使用前应与标准温度计进行校准;
- n) 环境温度感应器和显示设备:应为适合预期环境温度正确校准到某一范围;
- o) 连续记录的温度测量装置:应能提供环境温度随时间变化的永久性记录;
- p) 使所有仪表免受极端天气损害的设施;
- q) 辅助试压数据分析的电子式压力/温度监测和记录系统:该系统有助于分析试验数据,如该系统中各单独压力传感器均具有一定等级的灵敏度,并能在现场用类似于上述仪表的校准方式进行校准,则该系统可代替上述各部件;
- r) 清管器、刮管器、清管球和类似的装置:用于清理试验段并排除管道中的空气、危险液体或气体,及用于试压介质排出/置换的类似设备;
- s) 必要时,配备临时的管汇和接头;
- t) 用于补充和置换试压管道介质所需的设备、材料和流体;
- u) 协调试验工作的通信设备;
- v) 为判定泄漏和方便修理而隔离管道的设备;
- w) 阀门、管子和垫片等,用来替换压力试验期间的损坏件;
- x) 试压介质取样设备;
- y) 真空油槽车:用以收集破裂或泄漏引起的试压介质溢出(如超出环境允许极限);
- z) 过滤设备:用于试压介质处理;

- aa) 挖掘设备:用于开挖故障点;
- ab) 标志牌:用于标识储存试压介质或产品的真空油槽车和压裂储罐;
- ac) 试验期间使用的或收集的化学品的信息或产品数据表;
- ad) 气体/氧气检测设备;
- ae) 静电接地设备;
- af) 试压介质密封材料(吸附材料漏油栅、吸水垫、接油盘等);
- ag) 电子定位系统:用于定位故障地点;
- ah) 清管器追踪设备;
- ai) 所有临时软管和管道的固定装置;
- aj) 若使用冷冻塞隔离管道,应采用特殊的处理技术,以保证人员安全。当选择冷冻塞接头时,应考虑接头的强度、韧脆转换温度,接头经无损检测以发现缺陷。

6.2 测量设备的位置和使用

试压管道内的体积变化易受温度影响。温度的升降,将导致相应的压力和体积变化。这就要求压力和温度测量应准确并具有代表性。

应准确测量并确定试验压力。选择多点测量或是高程剖面与测量点结合点用适当仪器,测得准确并具有代表性的试验压力。与压力不同,温度更难确定并带有很大的不确定性。对于长的测试段更为明显,试压段内不同的埋深和不同的地面环境均将导致温度的变化。试压介质和试压管道的准确温度很可能不确定。测量每个不同位置的温度是不实际的。但对温度测量点的位置和数量应仔细考虑,并选择能代表试验段特点的测量点。压力试验开始前,管道内试压介质温度的稳定是十分重要的。

测量设备应与所需测量的压力和温度相匹配。由于测量设备的测量数值和准确度可导致一定程度的不确定性,在确定验收标准时应考虑此不确定性因素。

7 试压方案

7.1 概述

管道系统的压力试验是为了验证在预期的运行条件下能正常运营。对新建管道,试验在投入使用前实施;对在役管道,试验作为完整性评估过程的一部分用来验证历史工作环境;在停输管道重新投入使用前验证管道完整性;以及验证不同工作条件(如更高工作压力下运行或者运输不同产品)管道的运营能力。

7.2 目标

实施压力试验的目标是:

- a) 探测并排除管道中存在的疲劳缺陷。可通过提高试验压力与管道运行压力极限的比率来实现。更高的比率可延长管道完整性压力试验的时间间隔。
- b) 探测并排除固有风险并验证管道的结构完整。可通过用高于管道运行压力极限的压力进行试验来实现。
- c) 确定管道的运行压力极限。
- d) 在闲置或不常用的管道重新投入使用前验证管道的完整性。
- e) 改变管道用途时验证管道完整性。
- f) 验证试压管道无泄漏迹象。

7.3 缺陷/风险类别

GB 32167—2015 已对压力试验评估的缺陷/危害进行了定义。为处理与腐蚀、应力腐蚀开裂 (SCC)、制造、材料和结构相关的缺陷/风险,应根据特定风险和预计缺陷类型和大小来设计压力试验流程:

- a) 内部和外部腐蚀风险一般通过峰值试验、强度试验和/或严密性试验处理,其试验压力比与提供的重估间隔的试验压力比相符。重估间隔是现有管道壁厚、试验压力比和预估腐蚀比率的函数值。
- b) SCC 风险一般通过峰值试验和/或强度试验处理,其试验压力比与提供的重估间隔的试验压力比相符。重估间隔是管壁厚度、可能存在的最大尺寸裂纹和预估的裂纹扩展速率的函数值。
- c) 制造风险,例如由于压力循环产生的疲劳敏感焊缝缺陷,可通过峰值试验和/或强度试验处理,其试验压力比与提供的重估间隔的试验压力比相符。重估间隔是管壁厚度、可能存在的最大尺寸裂纹、预估的裂纹扩展速率和运行压力循环的函数值。
- d) 材料和结构风险一般使用峰值试验和/或强度试验处理。如在以后的运营中不会出现制造或施工相关的不利影响,这类疲劳或固有风险不需要重新评估来确定其完整性。

7.4 安全

计划或实施压力试验时,运营商应考虑下列安全事项:

- a) 向操作人员进行交底,包括安全措施,并提供操作规程(动火作业许可、进入受限空间、个人防护装备、上锁/挂牌规程等);
- b) 进行危害评估和召开安全会议;
- c) 参与压力试验的所有人员应遵守有关环境和安全的国家标准;
- d) 确定试压时的预防措施和操作规程已将公共和环境风险降到最低,特别是采用非水的试压介质排放时;
- e) 在充装试压介质、压力试验及排放试压介质时,应采取措施减少临时管道及软管的使用;
- f) 考虑可能出现试验失败的应对措施。

7.5 沟通

运营商应考虑下列沟通事项:

- a) 压力试验策划过程应包括一份明确试验地点的试压流程,该流程包括所有与项目有关的细节。在策划过程早期阶段,该方案应分发给相应单位、人员、承包商和其他直接参与试验审查评定人员。
- b) 试验前,运营商应通知作业带沿线的有关部门、政府机构、危险应急人员和土地所有者。
- c) 试验前,运营商应取得适当的许可证。
- d) 运营商应明确参与压力试验人员的分工职责,包括下列几项:
 - 1) 操作人员;
 - 2) 承包商和/或维护人员;
 - 3) 负责验证压力试验结果的人员。

7.6 管道运行条件

运营商应考虑下列管道运行条件:

- a) 输送危险液体或二氧化碳管道的压力等级;
- b) 输送危险液体或二氧化碳管道可能出现的最大峰值压力;

- c) 试压段内要求的最低和最高工作压力值；
- d) 试验期间，试压段持续停运时长。

7.7 最大试验压力

确定试验压力时，运营商应考虑下列因素：

- a) 试压段内产生的最大环向应力（接近管道额定最小屈服强度的压力水平，升压期间考虑采用压力-容积图来监控可能的变形并记录升压情况）；
- b) 试压段每种类型管道和管件（弯头、三通、异径管）的位置、高程和特性（尺寸、壁厚、等级和焊缝类型）；
- c) 试压段内设备（过滤器、通风口、泵、盲板）的位置、高程和额定压力；
- d) 试压段内组成件（法兰、阀门）的位置、高程和等级；
- e) 增大试验压力到最大水平会导致试验失败的风险。在降低试验压力及最终工作压力限制前，运营商可承受试验失败的次数，应在流程策划阶段予以考虑。

7.8 已建工程和运行记录

进行压力试验前，应审查下列工程和运行记录，以确定压力试验是适当的、可行的：

- a) 以往的水压试验报告；
- b) 以往的在役或非在役管道失效记录；
- c) 以往在线检验调查结果（先前在线检验结果可用于确定试验前是否存在需要检查的裂缝，压力试验前要求最新在线检验结果是为了确定发现并调查所有其他潜在的异常类型，如腐蚀、凿孔、压痕等）；
- d) 管道和管件的工厂试验报告；
- e) 以往的阴极保护测量记录；
- f) 以往的维修及检查记录。

7.9 管道特性

在设计压力试验时应确定下列事项：

- a) 管道试压段的边界和分段。
- b) 试压段内附件的位置（阀门、法兰、旋塞、塞子、套管、补强板等）。
- c) 试压段内隔离点（阀门）的位置。
- d) 试验时间（试验日期和当日时间）。
- e) 试压段内压力和温度传感装置的位置。
- f) 试压介质充装位置。
- g) 试压介质处置位置。
- h) 作业带条件。
- i) 接近管道的障碍物影响。
- j) 试压段的高程变化。
- k) 试压段内裸露管道数量。寒冷天气时应特别注意裸露管道的防冻。大量的裸露管道会导致随着温度变化，其压力也将有较大的变化，从而难以达到试验的稳定。
- l) 检查下列情况的试验段连接接头：
 - 1) 试验期间，应在目视检查前考虑裸露试验段所有螺纹、螺栓或法兰配件；
 - 2) 压力试验前应考虑更换试验段内所有垫片。

7.10 目标试验压力和压力试验持续时间

确定试压管道的试验压力值时,应考虑下列事项:

- 试压段的高度差异;
- 管道的现行极限工作压力;
- 以往的水压试验压力(已知的制造厂试验压力);
- 试压段内每个点的设计工作压力极限;
- 压力试验产生的最大允许管道应力水平;
- 管道附属物的承压能力;
- 以往的故障记录(运行期和压力试验);
- 如试验失败,试验区域内可能受到影响的现场人员、建筑物和环境敏感地带;
- 主线阀位置;
- 以往在线检测(ILI)和其他评估结果;
- 制造厂测试数据的评估。

在较高压力下,可排除较低压力下无法发现的缺陷。最大试验压力时的稳压时间会降低潜在缺陷存在。管道高强度压力试验的目的是管道通过消除缺陷达到一个高于标准水平的应力。随着压力比的增加,缺陷存在的可能性更小,安全性更高,管道报废和重新进行疲劳缺陷评估的间隔时间更长(如图 1 所示)。

图 1 规定了缺陷深度(a)与管道壁厚(t)之比、缺陷长度和标准管道的试验压力之间的关系。阴影部分代表强度压力试验(粉色)和峰值压力试验(绿色)消除的缺陷总量。与峰值压力试验(100% SMYS)相比,强度试验(90% SMYS)后还存有相对较大的缺陷。较大缺陷不会像小缺陷扩散到临界深度或长度,它们通常在达到 79.2% 额定最小屈服强度时即停止扩散(72% SMYS 加上 10% 超压保护值)。

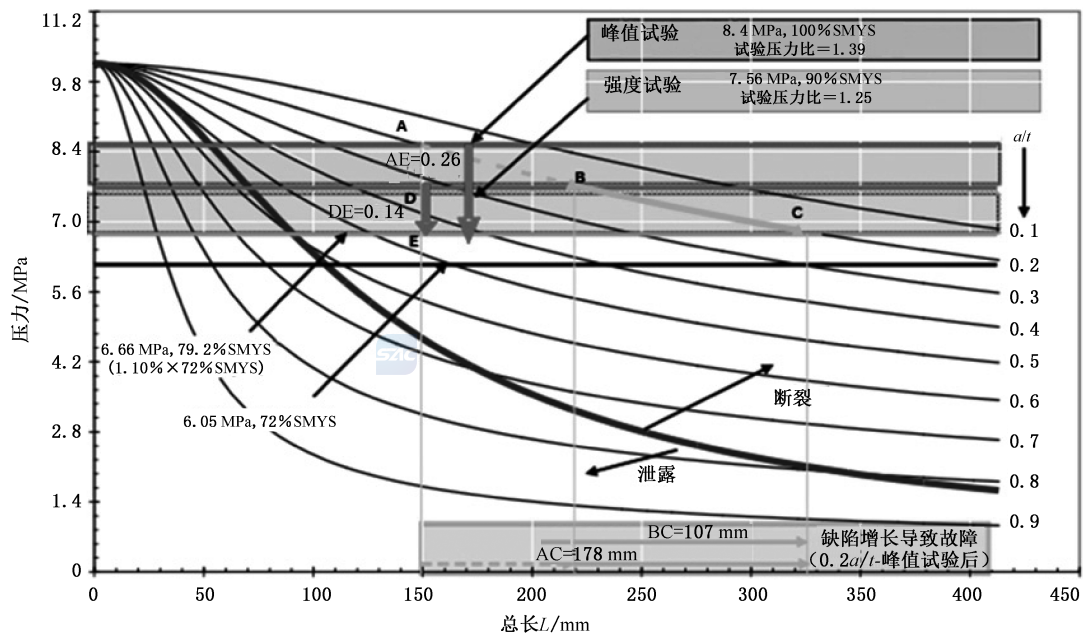


图 1 安全范围内压力试验的影响

例如,对于 DN=152 mm,20%深度缺陷,峰值压力试验后,在 79.2% SMYS(72% SMYS 加 10% 过压保护设置点)可消除的试验缺陷范围,用蓝线表示(AC=178 mm; $a/t=0.2$)。是同样深度缺陷在强

度压力试验后,消除试验故障缺陷范围的 1.66 倍($AC/BC=178/107=1.66$)。对于 $DN=150\text{ mm}$, 20% 深度缺陷,峰值压力试验后,在 79.2% SMYS(72% SMYS 加 10% 过压保护设置点)可消除的试验缺陷深度,用红线表示($AE=0.26$),是同样长度缺陷在强度压力试验后,在 79.2% SMYS(72% SMYS 加 10% 过压保护值)消除试验缺陷范围的 1.86 倍($AE/DE=0.26/0.14=1.86$)。

在这种情况下,导致试验失败的 79.2% SMYS(72% SMYS 加 10% 过压保护设置点)可通过短时间的峰值压力(峰值压力试验)分别提高 66%~86%。应用断裂力学原理产生图 1。进行压力试验的管道特征应以相同的方式进行评估,来确定是否获得了源自峰值试验的额外益处。

对管道和管道组件进行反复加压,可使缺陷增长到无法估计长度,却不导致试验故障,因此应避免对同一试压管道反复试验。重复试验可导致在随后低压情况下产生试验故障(压力异常)。试验时间、试验压力和重复故障率之间应有一个平衡,而不是在降低试验压力和最终确定工作压力极限前,运营商能够接受多少次试验故障。

运营商应根据试验目标压力值,确定试验压力范围。试验压力范围在很大程度上依赖于压力试验类型和现场条件。

运营商应根据适用标准或规程、压力试验类型、压力试验段泄漏目测情况,来确定压力试验持续时间。当标准或规程未要求压力试验持续时间时(例如完整性评估的压力试验),应按照本标准执行。

7.11 压力试验故障

运营商应编制处理压力试验可能出现的故障的方案,方案应包括下列内容:

- a) 用于管道修复和环境保护所需的仪器、人员、材料和检测手段;
- b) 为进一步的分析,保存管道故障样本断裂面的方法;
- c) 如不是已知的或明显的原因,压力试验故障的原因应经实验室检测确定。

7.12 压力试验验收标准

7.12.1 一般规定

运营商应明确压力试验验收标准,以便验证压力试验已完成且无泄漏现象。

7.12.2 强度试验和峰值试验

如试验期间压力保持不变,则强度试验或峰值试验视为合格。如试验压力无法保持,应对损坏组件进行修理并重新进行试验。

7.12.3 严密性试验

7.12.3.1 试验过程中,压力变化与体积变化是直接相关的。体积变化可能是泄漏、温度变化、试验部分空气影响的原因,或是上述因素共同作用结果。若有证据证明压力变化不是泄漏引起的,则严密性试验时的压力变化是允许的。

7.12.3.2 应确定试验开始与试验结束时的体积差。体积差可归为如下四种原因:

- a) 注入和收回;
- b) 由于温度变化,引起的可计算体积变化;
- c) 空气或气体融进试验介质;
- d) 通过减压阀排放试验介质。

7.12.3.3 滞留空气或气体会逐渐溶解。少量空气不影响试验结果。大量空气会影响试验结果,并用于体积差的评估。

7.12.3.4 由于温度和压力引起的体积变化,可通过计算确定。通过计算,可确定对应温度和压力变化

产生的体积修正量。管径、 D/T 率(外管径/壁厚)、残余空气体积和试验液体影响温度变化。当对试验组件进行外观检测泄漏时,可不应用计算评估体积偏差。

7.12.3.5 应解释测量精度不确定性之外的体积损失。无法解释的损失表示有未知泄漏存在。对于液体管道,在强度和(或)严密性试验期间,试验介质的无理由泄漏是不允许的。

7.12.3.6 在测量精度符合要求情况下,没有合理解释的体积差异表明有泄漏存在,延长试验时间可增加泄漏的敏感性。

7.12.3.7 除了体积因素,可通过温度和压力变化的相对趋势判断压力试验的结果,也可通过观察、经验、工程理论、工程判断来判定试验结果。

7.12.4 质量保证

压力试验数据应用运营商确定的验收标准进行评估。验收标准应符合相应的标准要求。应由具有资质的人员对数据进行评估,确定是否接收。运营商应明确参与验收人员的资质要求。

8 试压人员资格

执行压力试验的承包商和作业人员的资质,依据规章或者操作标准、规程的要求而不同。

参与设计、计划、实施或批准压力试验的承包商和作业人员,应在培训和经验两方面具有资格。每个相关人员均应具有相应资格。确定资格时,应考虑下列因素:

- a) 对试验数据和结果进行适当的计算和解释;
- b) 标准要求及规章方面的知识;
- c) 政府主管部门对实施或证明试验的资格要求;
- d) 政府主管部门或运营商对验证试验结果的要求;
- e) 熟悉设备和压力试验装置;
- f) 熟悉试验程序。

9 充装和清管

9.1 线路充装通常实现若干功能,例如清理管道、置换产品和向试验段注入试压介质。需要注意,清管通常不能除去所有碳氢化合物。残留产品、气体或蒸汽可仍在试验段。应考虑在介质注入前,特别是试验前管道有附加工作的情况下先进行氮气置换。线路充装前,应考虑采用测径清管器、卡尺或可变形检测工具,在试验前检出管道中存在的几何缺陷。另外,对不能完成正常清管的试压管道,应采用一组清管器清除该类试压管道中的沉淀物、石蜡等。

9.2 在管道充装和清理过程中,10.5 中的一些安全事项,同样适用于临时管道和管道接头。临时管道应固定,防止移动。管道接头应有安全装置或限位装置,用于控制由于意外移动产生的与管道的分离。

9.3 充装时通常嵌入清管器或清管球来隔离试压介质和空试压管道,可在清管器上安装跟踪器,保证能随时确定清管器所在位置。

9.4 充装泵应具有合适的规格以保证清管器在管内有保持良好密封的速度。这将降低空气或其他可压缩混合物进入清管器后的风险。当管道是空的,或在充装前注入惰性气体或混合气体时,试验用水中就可能存在空气或可压缩的混合气体。清管器的运行速度宜为 $3\text{ km/h} \sim 5\text{ km/h}$ 。过高速度可导致清管器过度磨损,使置换产品、空气或气体混合物与试验介质混合。除非以某种背压形式进行,清管器运行和下坡时,流体重力的作用将导致清管器运行速度加快,超过充装操作允许的范围,会导致气体进入清管器后方。

9.5 应确定试验水的质量和来源。水中有沉淀物、非中性或高盐分,将损害管道、阀和设备,未经过滤

或处理不得使用。应评价添加剂或缓蚀剂对输送的液体石油在加工过程中可能产生的有害作用。

9.6 在试压管道上安装流量计,用于监测和保持预定的充装速度。当压力和充装速度减低时,允许试压人员调整流量,从而对压力数值和充装速度进行调整。同时,也有助于充装计算量和实际量间的对比。在一定范围内,容器液面或容器测量设备也用于此目的。

9.7 充装过程中,减少压力稳定时间,空气与气体混合物宜减少。另外,试验介质中有气体或空气,可能会影响严密性试验的敏感性,应限制滞留空气的总量。试压段内滞留或残余空气总量可由压力-容积图确定。如图 2 所示,加压开始阶段,压力-容积图中非线性部分描述了管道内的残余空气量。试验压力大于 2 MPa 时,试压段内残余空气总量宜小于试验段容积的 0.2%。不考虑安全因素,若压力-容积图的线性部分(见图 2)的压力以小于 50% 试验压力且大于 2 MPa 开始试压段内残余空气的影响可忽略不计。但是,试压段内残余空气总量不应超过试压段体积的 5%。当空气含量很大并影响试验准确率时,应确定空气含量,并在评估试验结果时予以考虑。

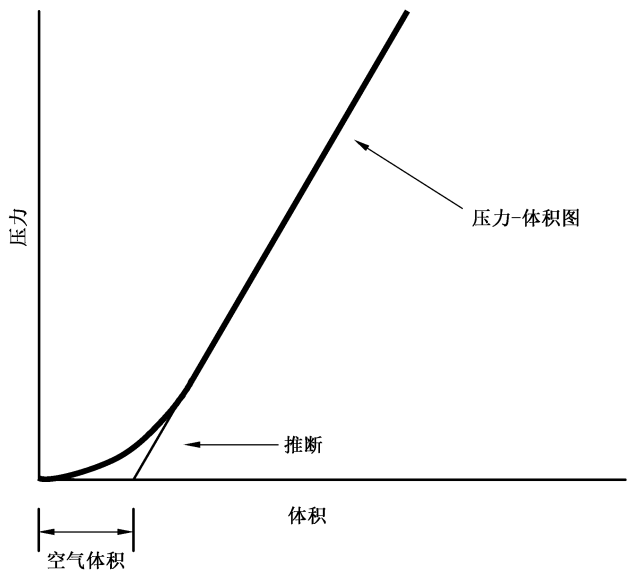


图 2 残余空气压力-体积图

9.8 水注入管道时,应记录其温度。这有助于判定线路温度稳定。另外,应记录或监视流速和压力,以确保管道不超压。

9.9 便携式水罐用于弥补大容量充装泵与实际供水量间的差额。在充装泵有直接供应源时可不采用,例如河流。

9.10 试压管道应尽可能在升压前回填,宜在管道的正常覆盖处安装与管道相接触的温度记录装置的传感器。温度记录装置的传感器应远离暴露试压管道和充装位置,以降低对传感器的影响。温度记录装置的传感器的四周应用回填土夯实。如果可能,可用绝热细管接温度传感器,并将传感器放在绝热盒子内。大型离心泵和储罐会影响试压介质的温度。应对埋地管道的温度进行记录直至液压试验完成。

10 压力试验的实施

10.1 升压

10.1.1 管道保持高压具有潜在危险,应注意并遵守安全指南。

10.1.2 升压开始前,应保证所有临时管道和试压头的安全。试压人员应对试压过程进行监视,确保过程可控。试压人员应与试压段保持安全距离。

10.1.3 当管道充满液体且经测算管内空气排空时,管道开始升压,直到试压段由静压力提升到所需的试验压力。

10.1.4 管道的初步升压应控制升压速度,以免冲击管道。具体试验规程应确定升至目标压力的升压速度(升压速度通常是 0.07 MPa/min 或低于此速度)。

10.1.5 升压过程中,宜定期检查管道接头是否泄漏。如可能,监测并记录流量,以便需要时绘制压力-体积图。试验前,通过计算可得到从充装压力到试验压力过程中所需要的试验介质总量,并将计算结果交给试验人员。这些信息有助于确定管道的密封性,借助压力-体积图,可判断是否有泄漏或管道屈服发生。

10.1.6 如确定管道中有滞留空气,可在高点增加排气阀,以排出空气。

10.1.7 当加压开始时,宜启用压力-体积图直至达到试验压力。压力-体积图的下端用来确定试压段内残余空气的总量。压力-体积图的上端用来确定试压段内的管道是否达到弹性极限。

10.1.8 当压力达到目标试验压力的 80%~90%,特别是在接近 100% 目标试验压力时,升压速度应减慢。试验开始前,应允许有一段温度和压力达到稳定的时间。一旦温度和压力达到稳定,为了测量目的,排放试压介质到量筒可减小试验压力。减小的压力和排放试压介质的体积,可用来确定试压段残余空气量。另外,该试压段内试压介质的温度信息,可用来确定整个试压段因压力变化引起的实际体积变化,以证明理论验收标准计算书的准确性。一旦达到预期试验压力,应关闭加压设备并与试压段隔离。

注:压力图,传感器和显示器只显示实际压力的近似值。压力曲线图提供试验连续性的证明。压力天平或电子设备提供了应予记录的实际压力。

10.2 试验周期

10.2.1 当到达试验压力,应停止加压并检查阀门和管道接头有无泄漏。泄漏检验后,试验人员核实是否维持规定的试验压力。升压过程中可能会发生压力瞬变并且残余空气会进入溶液中。试验开始前,需一段时间来稳定温度。热稳定时间取决于试验介质充装时温度、试验介质热容量、管道直径、管道埋地深度和地面温度。试验介质温度、管道温度、地面温度稳定后,注入泵应与试验段分离,开始计算稳压时间。

10.2.2 稳压时间应符合设计规定。

10.2.3 试验过程中,应对压力和温度进行持续监控,并记录读数。将压力天平与压力记录仪的读数分别在试验开始、过程中、试验结束时进行比较。按照预定时间间隔,将压力天平的检查结果和温度读数,记录在压力和温度记录表上。通常,温度和压力数据应在试验过程中每隔 0.5 h 记录一次。雨或云变化可影响压力和温度,类似天气变化也应记录在试验记录表。增减试验介质的体积或压力,及当时的温度和压力应记录在试验记录表中,评估压力试验结果应予以考虑。对于不能 100% 进行外观检测泄漏的管道,试验介质的增加或减少的体积,应作为压力试验完成且无泄漏的依据。

10.2.4 试验过程中轻微或逐渐的压力变化,可能是试压管道内残余空气、温度影响或连接松动泄漏的结果。延长试验持续时间以验证空气和温度的影响程度。

10.3 压力试验故障

10.3.1 专用试验规程应详细说明确定泄漏或故障点的首选方法。试压过程中,运营商可选择飞行、乘车或徒步方式,沿作业带观测泄漏。运营商应制定意外事件的应急计划,以定位复杂地势或极端天气下的泄漏点。所有装配组件应经目视检查。

10.3.2 压力试验时损坏的管道、阀、连接件和试验组件,应调查原因并减小再发生的可能性。管道的任何泄漏或故障应记录在试验报告中。适当的证明文件对随后的调查和跟踪活动是非常重要的。

10.3.3 运营商应根据故障类型采取下列措施:

- a) 如出现断裂或大量泄漏,应停止试验查找原因,并采取措施修补泄漏点和故障区域。如可能,

在修补和再升压前应查明故障原因。初步调查可能提出对试验压力或试验程序的更改。为进一步检查及分析故障,应保留管道或其他故障组件。修复后试验重新开始时,应重新计算试验时间。

- b) 如发生少量泄漏,确定泄漏点后适当降低压力。修复后,重新开始强度或严密性试验并重新计算试验时间。

10.3.4 如发现泄漏,管道应卸压并进行临时或永久修补。管道可在修补后再重新增压。如公司规程允许,临时修理可用于试验。应在管道投入或恢复使用前,进行永久性修补。运营商应通过增加严密性试验或进行泄漏调查,确定没有泄漏发生。

10.3.5 如管道/设备不是最终管道系统的组成部分,且被管理规定和设计标准允许,来自辅助管道或试验设备的少量泄漏是可接受的。应准确测量辅助管道或试验设备的泄漏量,作为验收标准计算书的组成部分。

10.4 查找泄漏

定位泄漏是困难且耗时的过程。压力试验过程中,下列许多方法和技术可提高运营商查找泄漏的能力:

- a) 将管道分段并监测每段压力。关闭主线路截断阀,将管道隔离成小段。可用冰冻塞来隔离试压管道,为评估做准备。
- b) 试验用水中放入染料以提高泄漏区域的目测指示。
- c) 采用声学监控设备,用以减小搜索区域。
- d) 充装过程中试压介质中加入着嗅剂或示踪剂,以便操作人员使用测定设备检测泄漏。

10.5 降压、置换和处置

10.5.1 作为专用试验程序的一部分,试压介质排放的设计中应考虑排放率、速率及液体动力,并应考虑介质腐蚀及大量排出的潜在环境影响。应固定试验介质排放管道,并适应排放试验介质时的工作压力。主管道和临时试验介质排放管道常出现压力骤变。清管器经过弯管时的速度变化或因管道高度差产生的清管器和试验介质速度变化,都可影响压力变化。压缩空气,氮气及其他气体从清管器四周溢出,与管内残留空气混合停留在管道高点,可在主管道内形成一定储能。这些突然压力变化引起从主管道到临时排放管道的激变。当压力超过工作压力和临时试验介质排放清管系统的弯曲能力,或设计时没充分考虑试验介质排放的多样性造成的额外压力,这将导致临时试验介质排放管道移动。

10.5.2 试验完成后,卸压应按照作为压力试验程序组成部分的控制计划进行。控制计划应指出释放压力位置的数量。对释放点进行监控。用水作为试验介质时,应根据环境标准进行处理。应进行测试、过滤、或处理达到排放许可或规定。排放前,应去除水中的固体、酸性物质、油及其他损害环境的物质。试验介质处理后排放。

10.5.3 管道卸压后,可用石油、空气或惰性气体置换试验介质。应用清管球或其他清管设备置换试验介质。根据产品质量或内部腐蚀控制规定,决定是否对管道进行干燥处理。以水为试验介质,在管道内无气或无残余烃类蒸气情况下,可用压缩空气推动清管器将水移除管道。如在压力试验前管道内有气体或危险液体输送,且在管道内有气体或残余烃类蒸气情况下,可用氮气。如采用空气或惰性气体,应考虑压缩空气的储存能量总量。

10.5.4 水作为试验介质时,应将阀体、盲试压管道、汇管、制造组件和管道中其他无法正常排水部分的水排出。一旦管道排水完成,必要时可进行干燥。另外,在干燥或管道恢复使用前,可采取灭菌剂防止细菌增长。

11 干燥作业

对需要干燥的管道,可用带有冷却器的空压机降低空气湿度和温度。按照运营商要求,清管器用来定期清理析出的水滴。低露点要求下,干氮气可用来完成干燥过程。甲醇也可协助干燥过程,并可通过碳过滤实现分离。当达到适当露点,且在管道恢复使用前,应隔离管道以保持管道干燥条件。

12 试压记录及图示

12.1 一般规定

压力试验记录可用来证明管道系统离散点的运行压力极限,也可用来证明服从管道整体管理要求。因此在管道的使用寿命内,运营商应保留压力试验记录。

12.2 压力试验记录

压力试验记录应根据试验设施类型及压力试验目的而不同。压力试验记录应包括下列信息:

- a) 运营商公司名字;
- b) 压力试验承包人名字(如适用);
- c) 管道的绘图或略图(尤其针对站管道);
- d) 绘制试验管道或管线的剖面图(特别是管线部分);
- e) 命名、管道编号及描述试验管道或管线;
- f) 试压段的管径;
- g) 试压段的管道壁厚;
- h) 试压段管道等级或额定最小屈服强度;
- i) 试压段管道附属物的承压能力;
- j) 试压段终端的位置和标高;
- k) 压力试验记录设备位置和标高;
- l) 试压介质的描述;
- m) 试压介质来源;
- n) 试压介质所有添加剂的描述;
- o) 试压用设备装置的描述;
- p) 试压用设备装置的序列号;
- q) 试压用设备装置的资质证书和校准数据;
- r) 压力试验开始日期及时间;
- s) 压力试验完成日期及时间;
- t) 压力试验每部分持续时长;
- u) 泵的直线图标示升压期间压力上升的每个增量;
- v) 记录带随时间变化显示的试验压力;
- w) 试验压力随时间变化的日志(参见 A.1);
- x) 试压段内最小试验压力和最小试验压力位置;
- y) 试压段内最大试验压力和最大试验压力位置;
- z) 试压段内限压组件的物理性描述和位置;
- aa) 所有压力间断点的解释说明;
- ab) 重新试压值或泄漏量的描述;



- ac) 连续温度图说明管道或试压介质温度随时间不同的变化(参见 A.2);
- ad) 管道或试压介质随时间不同变化的日志记录(参见 A.3);
- ae) 连续温度图说明周围环境温度随时间不同的变化;
- af) 周围环境温度随时间不同变化的日志记录;
- ag) 试验期间的天气描述(包括任何变化);
- ah) 压力试验验收标准计算(参见 A.4);
- ai) 负责执行压力试验人员的姓名、签字和职务;
- aj) 运营商公司见证人的姓名、签字、职务;
- ak) 证明/批准压力试验人员的姓名、签字、职务(包括批准标志,如要求)(参见 A.5);
- al) 泄漏或故障信息,包括位置、说明、原因、处理方法、故障管道或组件的处置(参见 A.6);
- am) 运营商要求(或法律规定要求)的其他记录。

12.3 压力试验图

绘制压力试验图时,应采用适当的格式将下列信息标注在图上:

- a) 试验管道的名称、编号和(或)概述;
- b) 试压段和试压段编号的说明(如适用);
- c) 试压段总长度;
- d) 每个压力试验端点实际位置的说明;
- e) 每个压力试验端点的高程;
- f) 压力记录设备实际位置的说明;
- g) 压力记录设备的高程;
- h) 试压段内管道最高点实际位置的说明;
- i) 试压段内管道最高点的高程;
- j) 试压段内管道最低点实际位置的说明;
- k) 试压段内管道最低点的高程;
- l) 试压段内限压组件的实际位置的说明;
- m) 试压段内限压组件的高程;
- n) 试压段内阀及附件的位置;
- o) 试压段内河流交汇处、道路交叉路口和其他永久特征的位置。

附 录 A
(资料性附录)
试 压 记 录

试压记录见表 A.1～表 A.6。

表 A.1 压力记录表

公司_____

系统_____

仪表名称(种类/型号)_____	
仪表序号_____	
试压段号_____	
MP _____	至 MP _____ 站号 _____ 至站号 _____
图卡记录仪位置 MP _____ 站号 _____	
开始:时间_____	日期_____
结束:时间_____	日期_____
承包商代表:_____	职务_____ 日期_____
监理/建设单位代表 _____	职务_____ 日期_____

压力随时间变化的永久性记录应包括本资料,因此建议考虑在本资料中贴上自粘式记录单,然后把带有本资料的记录单贴在永久性记录上。

注: MP—— 里程。

表 A.2 温度记录表

公司_____

系统_____

仪表名称(种类/型号)_____	
仪表序号_____	
试压段号_____	
MP _____	至 MP _____ 站号 _____ 至站号 _____
图卡记录仪位置 MP _____ 站号 _____	
开始:时间_____	日期_____
结束:时间_____	日期_____
承包商代表:_____	职务_____ 日期_____
监理/建设单位代表 _____	职务_____ 日期_____

温度随时间变化的永久性记录应包括本资料,因此建议考虑在本资料中贴上自粘式记录单,然后把带有本资料的记录单贴在永久性记录上。

注: MP—— 里程。

表 A.3 压力和温度记录表

公司 _____
系统 _____

试压段号 _____ 自站号 _____ MP _____									
至站号 _____ MP _____									
压力/温度传感器站号 _____									
试验周期起始时间: _____ 日期 _____									
试验周期终止时间: _____ 日期 _____									
序号	时间	压力	管子温度	环境温度	序号	时间	压力	管子温度	环境温度
1					31				
2					32				
3					33				
4					34				
5					35				
6					36				
7					37				
8					38				
9					39				
10					40				
11					41				
12					42				
13					43				
14					44				
15					45				
16					46				
17					47				
18					48				
19					49				
20					50				
21					51				
22					52				
23					53				
24					54				
25					55				
26					56				
27					57				
28					58				
29					59				
30					60				

表 A.4 鉴定计算记录表

公司_____

系统_____

管道数据(在控制地点)_____D_____WT 规格 在 SMYS 时的压力_____MPa 试压介质:纯净水_____其他_____ 设计试验压力 最高:_____MPa 最低:_____MPa 试压段号_____ 从站_____(MP _____)至站_____(MP _____) 时间和日期:从_____时_____至_____时_____ (时间)(日期)(时间)(日期) 压力天平数据 位置:站_____(MP _____)海拔高度_____m 测试压力:起始_____MPa 终止_____MPa 最低_____MPa 可验收吗?(是)(否) 使用测试仪的压力_____MPa 在站_____海拔高度_____m (p)(E)	
在试压段的最低压力 <i>a</i> ^a	在试压段的最高压力 <i>a</i> ^a
试压段内最高的海拔高度_____ (H) 位置:泵站_____(MP _____) $\overline{(H)} - \overline{(E)} = \overline{(H)} - \overline{(E)}^m$ 在最高海拔高度的压力: = 测试仪压力 - (海拔高度差 × 线压力) $= \frac{\overline{(p)}}{\overline{(H)} - \overline{(E)}} - \left(\frac{\overline{(H)} - \overline{(E)}}{\overline{(H)} - \overline{(E)}} \times \frac{\overline{(K)}}{\overline{(H)} - \overline{(E)}} \right)$ = _____ 最低试验压力 = _____ %SYMS	试压段内最低的海拔高度_____ (L) 位置:泵站_____(MP _____) 测试仪指示的海拔高度: $\overline{(E)} - \overline{(L)} = \overline{(E)} - \overline{(L)}^m$ 在最高海拔高度的压力: = 测试仪压力 + (海拔高度差 × 线压力) $= \frac{\overline{(E)}}{\overline{(E)} - \overline{(L)}} + \left(\frac{\overline{(E)} - \overline{(L)}}{\overline{(E)} - \overline{(L)}} \times \frac{\overline{(K)}}{\overline{(E)} - \overline{(L)}} \right)$ = _____ 最高试验压力 = _____ %SYMS
在该试压段内最高允许操作压力 = 72%SYMS = _____ MPa 或 80% 最低试验压力 = _____ MPa 或控制分量 _____ (无论哪个范围是最低的) 计算人_____ 批准人_____ _____ 日期 _____	
注 1: D——外径, WT——壁厚, SMYS——规定的最低屈服强度, MP——里程标志, <i>p</i>——压力, <i>E</i>——海拔, <i>H</i>——最高, <i>L</i>——最低。 注 2: <i>K</i>——线压力, 即不同试验介质高度发生单位变化时的压强变化, $K = 9.8\rho/10^8$, 单位为 MPa/m。	
^a 对含一种以上管子类型的管段, 应按每一管子类型分别计算 72% 的规定的最低屈服强度值, 最低试验压力和由此形成的规定的最低屈服强度的百分数, 并由此来确定最高操作压力。	



表 A.5 液压试验记录和证明书记录表

试压管段
日期

公司系统
说明从至
新建
更换或移位 管道 站 再鉴定
试压介质:水 其他 缓蚀剂
设计数据规程: 其他

管道设计数据							
规范和钢级	焊缝系数	设计系数	D	壁厚	规定的最低屈服强度	设计压力	说明

试验压力:
试验压力应为:
在低点最小%SMY 在低点最大%SMY
海拔:低点 高点 DWT
试压日期 试压持续时间
试压和记录见证人 日期
公司 职务
公司代表 职务
试验压力:
在低点的最高 相当于%SMYS
在高点的最低 相当于%SMYS
经鉴定操作在 相当于%SMYS
报告校对人对 日期
批准 职务
试压公司

附件:
压力记录 压力和温度记录表 温度记录
试压仪表标定数据 简单曲线图 鉴定计算
断面图 事故记录

评定意见:

对含一种以上管子类型的管段,由于考虑到管材最低屈服强度,应按每一管子类型分别计算最高点最低试验压力和最低点最高试验压力。
注: D——外径, SMYS——规定的最低屈服强度, SMY——规定的最低屈服值, DWT——静压值。

