

压力管道类别划分原则探讨

张有渝¹ 李玲晓² 赵国洪³

1. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041;
2. 浙江浙能天然气管网有限公司, 浙江 杭州 310052;
3. 中国石油天然气股份有限公司天然气销售河北分公司, 河北 唐山 063000

摘 要: 为了正确编制和选用压力管道设计、施工、安装和运行的规范, 保证压力管道的长期安全运行, 有必要对压力管道类别划分原则进行理论分析。由压力管道自身具备的要素、功能、属性切入, 确立其为压力管道类别划分原则的理论基础; 以美国 ASME B31.3《工艺管道》规范编制历史变迁的启示说明压力管道类别划分原则的重要意义, 由此提出了压力管道类别划分原则, 明确了划分因素及其顺序为功能、介质和终端目标/用户因素, 结合具体的压力管道类别予以分析; 针对当前氢能利用快速发展的情况, 对美国氢气管道规范 ASME B31.12《氢气配管系统和管道》与相关规范 ASME B31.3《工艺管道》、ASME B31.8《输气和配气管道系统》, 从压力管道类别划分原则的视角进行对比分析, 对中国氢气管道(含在役天然气混氢管道)用管线钢管抗氢脆性能的试验研究与开发抗氢脆管线钢管和氢气管道规范编制等问题提出了建议。

关键词: 压力管道; 要素; 功能; 属性; 意义; 类别划分; 原则; 因素; 氢气管道; 抗氢脆; 建议

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2021.06.006

Discussion on the principles of pressure piping classification

ZHANG Youyu¹, LI Lingxiao², ZHAO Guohong³

1. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;
2. Zhejiang Energy Natural Gas Pipeline Network Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310052, China;
3. PetroChina Gas Sales Hebei Branch, Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract: In order to compile and select specification of pressure piping design, construction, installation and operation correctly, and ensure the long-term safe operation of pressure piping, it is necessary to analyze the principle of pressure piping classification theoretically. This paper established the theoretic basis of pressure piping classification based on the two elements, functions and attributes of pressure piping, and explained the importance of pressure piping classification principle by showing the history of ASME B31.3 *Process Piping*. Combining with specific pipeline analysis, the classification principle is put forward and factors are listed as in following sequence: function, flow medium, terminal target/end users. Secondly, because hydrogen utilization is developing rapidly, this paper compared and

收稿日期: 2021-08-16

基金项目: 中国石油集团工程股份有限公司项目“含氢输气管道关键技术研究”(KY2019-02); 中国石油集团工程股份有限公司科学研究与技术开发项目“800万吨级超大型 LNG 成套技术研究”(2019ZYGC-07-01)

作者简介: 张有渝(1941-), 男, 江苏连云港人, 教授级高级工程师, 主要从事石油化工压力容器和石油天然气压力管道设备及管件、油罐的设计、审核、审定和标准编制工作。E-mail: 1793871635@qq.com

analyzed ASME B31. 12 *Hydrogen Piping and Pipelines*, ASME B31. 3 *Process Piping*, and ASME B31. 8 *Gas Transmission and Distribution Piping Systems* from the principal of pressure piping classification angle. To the end, this paper offered suggestions on China's development of steel pipe which can inhibit hydrogen embrittlement, and specification on hydrogen pipeline (including in-service mixed natural gas /hydrogen pipelines).

Keywords: Pressure piping; Elements; Function; Attributes; Meaning; Classification; Principle; Factor; Hydrogen pipeline; Inhibit hydrogen embrittlement; Suggestion

0 前言

压力管道广泛应用于生产和生活,由于压力管道中的介质是带压运行,且很多介质具有易燃易爆或腐蚀性的特点,故当压力管道出现异常情况或事故时,往往导致严重的后果。因此,中国以标准形式对压力管道设计、施工、安装、运行进行了严格的规定和要求,且以法律和条例形式对压力管道的监管作出了规定。

压力管道中运行的介质种类繁多,性质各异,压力管道的功能、属性也随着业主建设目的的不同而不同,有的压力管道设计参数和运行条件甚至还很严苛,因此压力管道的正确设计、施工、安装、运行与监管十分重要,是其长期安全运行的重要保证。

压力管道的正确设计,首先需要选择适合该压力管道的设计规范,而选择依据则应是压力管道所属的类别。压力管道类别选择的正误决定了设计、施工、安装、运行与监管等一系列环节的正误,更决定了其是否能长期安全运行,所以压力管道类别划分与选择是保证压力管道长期安全运行的先决条件。

压力管道类别划分与选择的先决条件是在理论分析的基础上,规定类别划分的原则。无论是在压力管道行业兴起的初期,还是在压力管道已广泛应用的现在,均存在确定压力管道类别划分原则的必要性。美国在压力管道规范编制的初期,经历了 25 年修订合并的过程,才完成了 ASME B31. 3《工艺管道》(以下简称 ASME B31. 3)的完整编制^[1-2]。规定压力管道的类别划分原则还可避免将不同类别的压力管道设施进行错误划分(如避免将输气管道的站场划为工艺管道类别),从而避免了在设计、施工、安装、运行、监管的各个环节错误执行不同类别压力管道规范的失策。

本文从压力管道的要素、功能、属性切入,对其类别划分与选择进行理论分析,从而得出压力管道类别划分的原则,以期压力管道设计、施工、安装、运行、监管提供类别选择的依据,保证其长期安全运行。

1 定义及分析

1.1 定义

压力管道:“利用一定的压力,用于输送气体或者液体

的管状设备,其范围规定为最高工作压力大于或者等于 0.1 MPa(表压)的气体、液化气体、蒸汽介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质,且公称直径大于 25 mm 的管道^[3]。”

长输管道:“产地、储存库、用户间的用于输送(油气)商品介质的管道^[4]。”

输油管道工程:“用管道输送原油、成品油和液化石油气的建设工程。一般包括输油管线、输油站及辅助设施等工程内容^[5]。”

输气管道工程:“用管道输送天然气、煤层气和煤制天然气的工程。一般包括输气管道、输气站、管道穿(跨)越及辅助生产设施等工程内容^[6]。”

集气管道:“气田内部自一级气液分离器至天然气处理厂/净化厂之间的天然气输送管道^[7]。”

城镇燃气:“从城市、乡镇或居民点中的地区性气源点,通过输配系统供给居民生活、商业、工业企业生产、采暖通风和空调等各类用户公用性质的,且符合本规范燃气质量要求的可燃气体。城镇燃气一般包括天然气、液化石油气和人工煤气^[8]。”“城镇燃气输配系统一般由门站、燃气管网、储气设施、调压设施、管理设施、监控系统等组成^[8]。”“城镇燃气输配系统的主要部分是燃气管网^[9]。”

工艺:“生产某种物质产品所必须的方法、技艺^[2]。”

装置内单元:“按生产完成一个工艺操作过程的设备、管道及仪表等的组合体^[10]。”

装置:“一个或一个以上相关联的工艺单元的组合^[10]。”

动力管道:“火力发电厂用于输送蒸汽、汽水两相介质的管道^[11]。”

热力管道:“由热源出口分界点至热用户(民用或工业)进口分界点之间,敷设在城镇范围内的蒸汽管道和热水管道及其附属设施^[12]。”

1.2 分析

分析各种压力管道相关定义,可得出以下三点。

1) 有一类压力管道仅用于输送气态或液态介质,将这些介质从一始发地输送到另一终端接收地,这些介质在输送过程中的性能、状态均不发生变化,如输油管道、输气管道、集气管道、城镇燃气管道及为炼油厂/石化厂供应氢气的氢气管道。

2) 另一类压力管道则是在介质从装置起点到终点的输送过程中, 每一段管道中的介质都与其前后段管道中的介质不同, 在性能、参数或状态上发生了变化, 在装置的终点生产出了新物质, 如工艺管道。

3) 动力管道既不属于从起点到终点输送介质的输送管道, 也不属于从装置起点到终点生产出了新物质的工艺管道, 它是属于利用液态水的相态变化起到能量传递作用的压力管道。

2 压力管道的要素、功能与属性

2.1 要素

《辞海》对“要素”的解释是: “构成事物的必要因素^[13]。”

压力管道存在的必要因素, 即要素有二: 一是管道 (一般是圆形钢管), 二是管道内的带压力的介质。在压力管道这两个要素中, 处于首要地位的是带压力的介质, 无论是从压力管道建设的目的及压力管道设计参数的确定, 还是从管道材质的选择, 以及安全运行管理或监管考虑, 带压力的介质都是首要考虑的因素。可以说, 是根据介质的成分、性质、状态和管道工程建设目的来决定管道的材质和各项设计参数。

压力管道中运行的带压力的介质均为流体, 其类别、品种千差万别, 特别是工艺管道中的流体介质品种十分繁杂, 但是流体中的气体、液体都有一定的共性, 例如介质的流动性, 这是流体的基本性能, 正因为具备此性能, 介质才能在压力管道中流动。由于流体介质具备可压缩性, 流体介质在压力管道中的输送才具有经济上的价值。

管道中的流体介质与外界环境是隔绝的, 因此其性能和状态是稳定不变的。这不仅对输送管道中的流体介质很重要, 对利用该流体的某一特性输送能量或传递该流体介质的其它功能则更为重要。例如火力发电厂动力管道中主蒸汽管道里的高压蒸汽, 就是保持了在高压蒸汽锅炉过热器出口联箱具备的高温高压性能, 直至汽轮机主汽阀进口之间管道, 其高压蒸汽的状态、温度、压力都是稳定不变的, 实质是高压蒸汽携带的能量是稳定不变的。

流体介质的这些性质必须处于管道中才能发挥出来, 所以带压力的介质与管道二者密不可分, 共同构成了压力管道的两个要素。

2.2 功能

《辞海》对“功能”的解释是: “功效, 作用。多指器官和机件而言^[13]。”

压力管道的功能根据其建设目的不同而不同。油气长输管道和集输管道建设的目的是将天然气、石油及其成品由油气田或炼油厂/石化厂输送到用户集中地或储存库; 管道输送中, 还将有分输站将油气经分输管道输送至各个城市或大型用户。城镇燃气管道则是将燃

气由城市门站输送至城镇的用户家庭或加气站等, 这些管道具备的是输送功能。

工艺管道从属于工艺装置, 工艺装置主要由设备 (塔、反应器、反应釜、换热设备、加热炉、分离过滤设备等)、工艺管道、机泵、压缩机、阀门、控制仪表等及工业设施组成。工艺装置建设的目的是为了将一种或多种原料物质在设备中经过化学变化或物理变化生成新的物质, 即从工艺装置进口的流体介质, 在经过设备和工艺管道的工艺流程之后, 到装置出口端生产出新的流体或固体产品。显然, 工艺装置的功能是生产新物质产品, 作为工艺装置重要组成部分的工艺管道, 其功能即是配合工艺设备生产新物质产品。

动力管道是火力发电厂发电机组的重要组成部分, 火力发电厂的三大主机 (锅炉、汽轮机、发电机) 之间得以联通实现发电功能的必要部件就是动力管道。动力管道联通锅炉与汽轮机, 将蒸汽的热能传递到汽轮机, 热能转化成机械能带动发电机发电^[14], 所以动力管道实质上是通过输送蒸汽或汽水来传递/输送热能的管道。这就是动力管道的功能。同样, 热力管道也是传递/输送热能的管道。

两条输送相同介质的压力管道, 并不一定是同类压力管道。例如长距离输送氢气用作燃料/原料的氢气管道属于长输管道; 而在炼油厂/石化厂的加氢裂化装置中, 无论是新氢管道还是循环氢管道均是用来为加氢反应器输送氢气, 在加氢反应器中, 借助于催化剂的作用, 各种大分子烃类和氢气产生以加氢和裂化为主的一系列平行顺序反应, 生产出优质轻质油品^[15], 显然新氢管道和循环氢管道应属于工艺管道。

2.3 属性

《辞海》对“属性”的解释是: “属性是逻辑名词, 即对象的特性、特征, 包括状态、动作、关系等^[13]。”

压力管道的属性, 即在其所属工程、装置、项目中的地位, 与相关设备、机件、构件间的关系, 是处于主导地位还是从属地位。对于输送介质的油气管道、城镇燃气管道、氢气管道等输送管道, 其功能是输送介质, 这一功能在管道中就能完成, 长输管道工程中还有其它设备、仪表、阀门, 如清管收发装置、汇气管、放空立管等, 这些设备、仪表、阀门均起辅助作用, 长输管道的设计参数和选材等都取决于管道本身的需要, 不受其它设备、机件的影响, 所以输送管道的属性在其所属工程、项目中处于主导地位。

工艺管道是工艺装置的重要组成部分。在工艺装置里, 为生产新物质, 原料进入装置进口后必须在工艺设备 (如塔器、反应器、反应釜、加热炉、管式裂解炉等) 中进行化学变化或物理变化, 因此工艺设备中就必须具备相应的工艺参数 (如压力、温度、流速、反应时间等)。

这就决定了工艺设备的设计参数。工艺设备的选材应根据参与化学变化或物理变化的介质腐蚀性、压力、温度条件来决定。工艺管道作为联通这些工艺设备的管道,其设计参数和管道材质也就随着工艺设备设计参数和选材的确定而确定。因此相对于工艺设备而言,工艺管道显然在工艺装置中处于从属地位。

动力管道在火力发电厂的主要作用是将锅炉产生的高压蒸汽输送到汽轮机,驱动汽轮机高速旋转,带动发电机发电。锅炉中的水蒸发为蒸汽的实质是锅炉中燃烧的燃料化学能转变为热能,这些热能传递给载热工质水,从而水蒸发为蒸汽^[14]。所以动力管道的介质蒸汽实质上是热能的携带和传递者,而水成为蒸汽的原因是利用了水的相态变化性能,在所有固态和液态物质中,水的比热最大(等于1)^[16]。在火力发电厂三大主机和动力管道以及相关的仪表、阀门、管件等组成的发电机组中,显然应首先根据发电量的需求来决定三大主机的设计参数和材质选用,三大主机设计参数和材质决定了动力管道的设计参数和材质。因此在发电机组中,动力管道处于从属地位。同样,热力管道也处于从属地位。

2.4 小结

压力管道的要素、功能、属性,由压力管道自身在其所属工程、项目、装置中的地位/作用决定,这是压力管道类别划分原则的理论基础。

3 建立压力管道类别划分原则的意义

3.1 ASME B31.3 规范编制历史变迁的启示

3.1.1 规范编制历史变迁

美国标准协会(American Standards Association, ASA)为开发压力管道规范,于1926年成立了一个B31项目,由当时的美国机械工程师学会(American Society of Mechanical Engineers, ASME)主管,后于1935年颁布了第1版《美国压力管道试行标准规范》;经过多年的应用、修改,1942年第一次出版了ASA B31.1《美国标准——压力管道规范》(以下简称ASA B31.1),直至1955年,其间多次修订出版了该规范;从1955年开始,ASA B31.1中适用于不同行业的几个独立篇章被分离出来,编制成不同的压力管道规范出版,其中ASA B31.3《石油炼厂管道规范》(以下简称ASA B31.3)于1959年出版;当时被独立分离出来的ASA B31.6《化工厂管道》(以下简称ASA B31.6)初稿于1974年完成,准备报批,但因该规范与ASA B31.3“关系太密切”,1976年二者被合并成ANSI B31.3—1976《化工厂和炼油厂管道》(以下简称ANSI B31.3—1976)出版;B31.10专业委员会对当时独立分离出来的ASA B31.10《深冷管道规范》(以下简称ASA B31.10)编写了草案,并于1981年拟上报批准,但也因其内容与ANSI B31.3“重叠甚多”,故决定把

这两个规范合并为一个规范ANSI/ASME B31.3—1984《化工厂和炼油厂管道》(以下简称ANSI/ASME B31.3—1984)。ANSI/ASME B31.3—1984规范B31.3前面的缩写变化是由于ASA于1967—1969年间改名为美国国家标准学会(American National Standards Institute, ANSI),1978年管道标准委员会又改变主管机构,成为ASME下面的一个委员会,因此将该规范定名为ASME B31.3,并于1993年将该规范改名为《工艺管道》^[1-2,17]。

美国从1959年出版ASA B31.3,1976年将其与ASA B31.6合并成ANSI B31.3—1976出版,历经17年的时间完成了炼油厂管道规范与同类化工厂管道规范的合并,后来于1981年将准备报批的ASA B31.10合并到ANSI B31.3,直到1984年正式出版ANSI/ASME B31.3—1984,又经历了8年的时间。炼油、化工、深冷三个行业的管道规范,历经25年的时间才成为了一个统一的压力管道规范ASME B31.3。

3.1.2 启示

1)2010年时任ASME B31标准委员会委员、B31.3工艺管道篇委员会主席查尔斯·贝赫特IV(Charles Becht IV)博士对化工厂和石油炼厂管道规范合并的解释是“二者关系太密切了”,ASA B31.10《深冷管道规范》合并到ASME B31.3的理由是内容“重叠甚多”^[1,17]。实际上这是说炼油、化工、深冷三个行业的管道规范包括流体分类、设计、材料、管道组件、制作、施工、安装、检验与试验等规定都是相同或相近的,没有必要单独成篇,而予以合并,但是这个发现分别经历了17年和8年的历程。在文献^[1]中查尔斯·贝赫特IV未作深入分析,笔者认为这是由于在管道规范立项编制之前,未对压力管道进行类别划分的研究,更没有进行类别划分原则的研究,未从理论分析上确定压力管道类别划分原则,因而将工艺装置中的工艺管道不恰当地按照行业领域来划分管道类别,形成了分别编制炼油、化工、深冷三个行业的管道规范的局面。由此可见,从理论分析上确定压力管道类别划分原则的重要意义是可以指导压力管道规范的立项和编制,少走或不走弯路。当然,由于当年美国的压力管道规范立项编制是国际首次,没有经验,因此ASME B31.3规范所历经的曲折过程,也可以理解。

2)对压力管道类别的划分,应该跳出行业领域的局限,从压力管道的功能和其它因素着手进行划分。正是从以前炼油、化工、深冷三个行业的压力管道共同点找出了跨行业的规律,从而得到了跨行业的ASME B31.3的出版。这也符合技术发展的规律,以前的炼油、化工行业基本是互不相干的领域,由于技术的发展,出现了石油化工行业,所以ASME B31.3实际上是“石油、石油化工和化工行业的标准”^[1]。

3.2 建立类别划分原则的意义

3.2.1 为正确编制和选择压力管道规范提供理论依据

压力管道必须确保长期安全运行,这是对压力管道的根本要求。为此,首先是对压力管道类别进行正确的划分、确定;再根据压力管道类别,正确编制和选择设计规范,这是保证压力管道安全运行的首要条件。为了避免压力管道的错误分类,应以理论分析为基础,确定类别划分原则,从而为设计、施工、运行管理、监管各方面提供确定压力管道类别的科学依据。

不恰当地选择压力管道规范进行设计的问题是存在的。查尔斯·贝赫特 IV 博士在文献^[1]中指出,美国允许业主自主选择 ASME B31.3 应用于其建设的管道项目中,有很多人对在化工厂产权范围内的建筑系统管道(如采暖系统管道)采用 ASME B31.3 设计、施工,而不是采用 ASME B31.9《建筑管道》,他认为这样选择规范的作法是“令人不解的”^[1]。这说明在美国未能正确选择压力管道设计和施工规范的情况比较多,值得中国压力管道设计和监管机构注意。

3.2.2 为正确实行压力管道监管提供理论依据

中国为保证特种设备的长期安全运行,对特种设备的监管作出了立法和行政规定,其中压力管道和压力容器是涉及面较广的两类特种设备。要对压力管道的设计、运行实行正确监管,首先要正确划分压力管道类别,对不同类别的压力管道实行不同方式的监管。压力管道类别的划分,应在理论分析的基础上确立类别划分原则,依据分类原则确定监管方式和制度,使建设方、设计方、施工方都有共同的执行标准,保证管道长期安全运行。

3.2.3 指导新出现的压力管道类别划分

依据压力管道类别划分原则可对新出现的压力管道确定类别,正确选择压力管道规范,或在编制新的压力管道规范时借鉴同类压力管道已有规范的内容,避免走弯路。

4 压力管道类别划分原则

压力管道类别划分原则是以其要素、功能、属性为理论基础,根据压力管道自身的内在因素,包括其功能、介质、终端目标/用户等,划分压力管道类别。

压力管道类别划分为三类,决定其类别划分的因素是有先后顺序的,不是并列的。应在全部分析其内在因素后,才能判定压力管道的类别。

4.1 功能因素

功能因素是压力管道类别划分的首要因素,依据压力管道功能的不同,可以将其划分为输送管道、工艺管道、能量/性能传递管道。

4.1.1 输送管道

输送管道本质仅仅是输送流体介质,其功能是将介质从一始发地输送到另一终端接收地,输送过程中介质

的性能、状态均不发生改变,这种输送功能在压力管道中就能完成。输送管道在输送管道工程中居主导地位,如原油或成品油输送管道、天然气输送管道、城镇燃气管道、氢气输送管道等。

4.1.2 工艺管道

工艺管道本质就是在工艺装置中配合/协同工艺设备生产出新物质,这是工艺管道的功能。

从工艺装置进口进入的流体介质原料,在工艺设备中发生化学变化或物理变化,生成新物质,每一段管道中的介质都与前后段管道中的介质在成分或性能状态上不同。显然,工艺管道在工艺装置中处于从属地位,如炼油、石油化工、化工、气体分离等装置中的工艺管道。

4.1.3 能量/性能传递管道

能量/性能传递管道本质是与能量/性能转换设备相连接/配合,利用介质性能、状态变化所具备的能力进行能量/性能传递的管道,这是能量/性能传递管道的功能。这类管道中的介质性能或状态不是常态,但其性能、状态在管道中却保持不变。如火力发电厂动力管道、热力管道,建筑系统管道中的采暖管道、空调管道。

火力发电厂动力管道实质上是锅炉将燃料的化学能转换成水的相态变化成蒸汽后储备的热能,储备了热能的蒸汽在动力管道(如主蒸汽管道)中保持性能状态不变,被输送到汽轮机入口做功。所以动力管道的功能实质是通过输送蒸汽或汽水来输送热能的管道。

4.1.4 同功能压力管道的共性

1)同功能压力管道有许多共性,因此在管道规范的编制和使用上都有很多相同或相近的规定或作法,如输油、输天然气、输氢气的管道,虽然输送的介质不同,介质成分和性能状态差别很大,但是都有可能要穿跨越山脉、河流、公路、铁路,线路选择、地区类别划分、管道材质选用等方面,规范的规定和设计方法都有类似或相同之处,如果有新介质的输送管道,则可以选择相类似的规范作设计和施工参考。

2)不同功能的压力管道则是各自独立的管道体系,它们均有各自成熟完整的规范标准,在设计、施工、运行和监管中,均应执行各自所属类别的压力管道规范标准,不应混用,亦不应将不同类的压力管道中的某一子项目划分到另一类的压力管道中,从而带来潜在的安全隐患^[2]。

3)城镇燃气管道也属于输送管道,但与长输管道有区别,管道主要集中在城区、集镇范围,很少有山脉、河流、铁路的穿跨越,管道直径较小,设计压力较低;但其设计、施工的许多方面与长输管道有相同或相近的规定,如直管段强度计算公式及强度设计系数、焊缝系数选取、管道通过地区的类别划分等均是相同或相近的规定;但是在进一步的因素类别划分时,其与长输管道的区别就显示出来了,是与长输管道不同类别的管道。

4.2 介质因素

功能相同的压力管道,由于介质不同,在设计参数、管道材质选用、计算公式、设备、仪表、结构、运行操作等多方面均有很大区别,如输油管道与输气管道,同是输气管道的天然气管道与氢气管道,但采用的压力管道规范不同。炼油工艺装置中的加氢裂化装置和石油化工装置中的乙烯装置,虽然同是工艺装置,但是由于原料介质不同、产品不同,前者原料介质是大分子烃类如重柴油、焦化蜡油等,和氢气在催化剂作用下,经裂化和加氢反应,生成石脑油、航空煤油等产品^[15],主要工艺设备是加氢反应器;后者原料介质是石脑油、乙烷、丙烷等,经高温裂解生成乙烯,主要工艺设备是管式裂解炉,显然与上述工艺装置配套的工艺管道也不相同。

对于同一介质,当其次要/微量成分发生改变时,导致介质的性质产生重大变化,这也是压力管道类别划分应考虑的因素,如含硫酸性天然气和净化天然气,虽然主要成分都是甲烷,但由于含硫酸性天然气中含有水和硫化氢,当硫化氢分压大于等于 0.000 3 MPa(绝)^[18]而具有强腐蚀性时,设计施工遵循的是 GB 50349《气田集输设计规范》,而不是 GB 50251《输气管道工程设计规范》,而且还应遵循 SY/T 0599《天然气地面设施抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂金属材料技术规范》。对于中国今后有待发展的混氢天然气管道,如何进行类别划分和执行规范及监管,也是有待研究的新问题。

4.3 终端目标/用户因素

对于输送管道和能量/性能传递管道,在同功能、同介质的前提下,还应考虑终端目标/用户因素,如为城镇居民家庭供应家用天然气的管道,由于要进入每户家庭(即用户),因此有 GB 50028《城镇燃气设计规范》规定了设计、施工、安装和运行的技术要求,不同于天然气长输管道规范。热力管道的功能与动力管道的功能相同,虽然同是通过输送蒸汽或热水来传递热能的管道,但热力管道不同于动力管道,其终端目标是为居民家庭冬季供热,因此设计、施工、检验与试验执行的规范是 CJJ 34《城镇供热管网设计规范》。

工艺管道不存在终端目标/用户因素。

4.4 压力管道的级别划分

压力管道类别确定之后,有些类别的管道可能会根据不同的设计参数(如压力、温度、管道直径)或介质的性质(如腐蚀性、流动性等),对管道进行分级,如高压、中压、低压管道。管道的分级一般在相应的管道规范中有明确规定,设计、施工和运行应按规范执行。

5 氢气管道

氢能利用是当前国际上环境保护、净零排放的发展方向,氢气管道是其中一个重要领域。氢气管道的设

计、施工、运行技术已趋于成熟,国际上第一部氢气管道规范是美国 2009 年颁布的 ASME B31.12《氢气配管系统和管道》(以下简称 ASME B31.12)。中国的氢气管道建设与运行长度,截至 2017 年约 400 km,主要为石化厂加氢装置供应氢气,应该说尚处于初期发展阶段,有大量的技术工作待开展。

5.1 ASME B31.12 与相关规范的比较

ASME B31.12 自颁布至今已有 3 版修订,分别是 2009 年版、2014 年版、2019 年版,该规范包含了四个部分,其中“工业管道系统”(指应用氢能的工业领域,包括炼油厂、石化厂的工艺装置)和“管道线路”的内容分别对应于 ASME B31.3 和 ASME B31.8《输气和配气管道系统》(以下简称 ASME B31.8),将上述 3 个 ASME B31 管道规范的对应内容分别进行对比,从压力管道类别划分的视角得出以下看法。

1) ASME B31.12 是以介质氢气为对象编制的规范,不同于以前编制出版的 ASME B31 其它管道规范,是以管道功能为主线编制规范,说明同为氢气介质,但是管道功能不同,则其执行的规范不同,所以压力管道类别划分的首要因素是管道功能。

2) ASME B31.12 的“工业管道系统”和“管道线路”部分分别与 ASME B31.3 和 ASME B31.8 相对应,其中设计、施工、检验与试验的方法和数据等内容规定均是相同或相近的,说明功能相同的同类管道在设计、施工、检验与试验上是有共性的,可以借鉴。但是由于介质氢气与天然气或工艺装置的其它介质,在化学成分上不同且性质上各具特性,在选材、设计数据与技术要求、结构及施工、运行等方面各有特点,因此需要分别编制以不同介质为对象的管道规范。

3) 在天然气长输管道中混氢后,管道成为两种介质的混输管道,管道改造时应如何执行规范和监管还有待探讨。

5.2 建议

5.2.1 管线钢管抗氢脆性能的试验研究

5.2.1.1 氢脆定义

氢脆是指金属“由于吸收和固溶氢原子而导致的脆性^[19]。”ASME B31.12 对氢脆的解释是:氢进入金属后,局部氢浓度达到饱和时,引起金属塑性下降,诱发裂纹或产生滞后断裂的现象。

氢不但能促使脆性断裂,也能促使塑性断裂。

5.2.1.2 分析

氢气用管道输送的方式有两种:一是新建氢气管道输送;二是利用在役天然气长输管道混氢输送^[20]。

中国的天然气长输管道从输量上存在着加入氢气混输的可能性。天然气长输管道的用管主要是两大类:一是干线钢管,一般采用管线钢钢管,执行标准为 GB/T 9711《石油天然气工业管线输送系统用钢管》(以下简称

GB/T 9711)或 API SPEC 5L《管线钢管规范》的控轧钢/热机械成型(交货状态),产品规范水平为 PS12 级,管型为直缝钢管或螺旋焊缝钢管;二是站场用钢管,一般均采用无缝钢管或直缝钢管,执行标准为 GB/T 9711 和 GB 6479《高压化肥设备用无缝钢管》、GB 5310《高压锅炉用无缝钢管》、GB/T 8163《输送流体用无缝钢管》,这类钢管输送介质为净化气,不存在腐蚀问题。

管线钢钢管及其焊缝的抗氢脆试验研究少,更缺乏实践经验,因此尽快开展管线钢钢管及其焊缝和无缝钢管的抗氢脆试验研究非常必要,它是建设氢气管道或采用在役天然气长输管道作混氢输送的必备条件之一,特别是对大口径高强度的管线钢钢管 X70、X80 及其焊缝作抗氢脆试验研究更具有潜在价值,即使试验研究的结论是否定的,也是值得的。

5.2.1.3 抗氢脆试验研究的要点建议

抗氢脆试验研究的对象是用于建设氢气管道的钢管及其焊缝,和拟利用在役天然气长输管道作混氢输送管道的管线钢钢管及其焊缝与无缝钢管,这二者是不相同的。

1)抗氢脆试验研究是一项涉及面较广的大型试验研究,应该有计划有组织地开展;新建氢气管道和利用在役天然气长输管道作混氢输送管道的钢管及其焊缝抗氢脆试验研究,宜各自单独立项开展。该项试验研究宜在管道工艺试验研究有定论后进行。

2)拟用于混氢的在役天然气长输管道,至少应考虑下述问题:用作试验研究的钢管和焊材,尽可能与在役管道的钢管及焊材同牌号、同规格,且钢管的生产工艺和现场钢管对接的环缝焊接工艺应与在役管道的相同;试验研究的钢管及焊材标准,以及焊接工艺、热处理等执行的规范标准均应与在役管道执行的标准规范相同;试验研究应考虑在役管道现场施工环境条件因素的影响。

3)关于管道钢管管型的问题:GB 4962—2008《氢气使用安全技术规程》第 4.4.4 条规定“氢气管道应采用无缝金属管道”,GB/T 34542.1—2017《氢气储存输送系统 第 1 部分:通用要求》第 4.2.6.2 款规定“氢气管道宜采用无缝金属管道”,按上述标准规定,氢气管道应/宜采用无缝金属管,一般为无缝钢管;但是在役天然气长输管道干线钢管一般均采用管线钢的直缝或/和螺旋缝埋弧焊管,只有支线钢管当直径较小时可能采用无缝钢管;且上述标准的规定与 ASME B31.12—2019 版差异较大;试验研究的成果将用于管道的设计,设计必须执行标准规范的规定,所以,开展钢管抗氢脆性能的试验研究(包括新建氢气管道和在役天然气混氢管道)和开发抗氢脆管线钢管之前,应对上述标准为什么这样规定和是否执行上述标准的规定有明晰的判定。

5.2.2 编制氢气管道规范

氢气管道的建设和在役天然气长输管道改建为混

氢管道,均需有可执行的规范以保证管道的长期安全运行。目前可以采用 ASME B31.12 或其它规范进行设计、施工,但从长远发展考虑,中国应有自己的氢气管道的国家标准规范,现在着手组织编制氢气管道规范是必要的。虽然在网上可查到 GB/T 34542.5《氢气储存输送系统 第 5 部分:氢气输送系统技术要求》,但未见正式出版,且不清楚“输送系统”与“管道”及“技术要求”与“规范”有无差异。

6 结论

1)建立压力管道类别划分原则的意义是为正确编制和选择压力管道设计、施工、安装、检验与试验、验收规范,确保管道长期安全运行及监管,提供以理论分析为基础的依据。

2)压力管道内在的要素、功能与属性是压力管道类别划分原则的理论基础。

3)压力管道类别划分原则是根据压力管道内在因素的不同进行类别划分。压力管道内在因素有功能、介质、终端目标/用户,这些内在因素应用于压力管道类别划分是有先后顺序的,功能是压力管道类别划分的首要因素。

4)功能因素相同或功能、介质因素均相同的同类压力管道,在设计、施工、安装、检验与试验等方面有许多相同或相近的规定或方法,但是由于介质成分、性质、状态不同,或终端目标/用户不同,管道又有许多重大的区别,必须编制不同的压力管道规范供使用。

不同类别的压力管道有独立的自成体系的标准规范,设计压力管道应采用各自所属类别的标准规范,不可错用其它类别的标准规范。

5)氢气管道和在役天然气混氢管道的建设与开发尚有许多的试验研究工作亟需开展,其中钢管材料抗氢脆性能的试验研究和开发抗氢脆管线钢管的试验研究(包括焊材和焊接工艺的试验研究)是重要内容,建议有计划地组织开展研究工作。

参考文献:

- [1] 贝赫特 IV. 工艺管道 ASME B31.3 实用指南[M]. 陈登丰, 秦叔经, 丁伯民, 等, 译. 北京: 化学工业出版社, 2006.
BECHT IV C. Process piping: the complete guide to ASME B31.3 [M]. CHEN Dengfeng, QIN Shujing, DING Bomin, et al, trans. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [2] 张有渝, 李平利, 袁 勇, 等. 输气管道与工业管道技术上的区别和对策[J]. 天然气与石油, 2020, 38(2): 32-38.
ZHANG Youyu, LI Pingli, YUAN Yong, et al. Technical differences and countermeasures between gas pipelines and industrial pipelines [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38(2): 32-38.

- [3] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国务院令 第 373 号 特种设备安全监察条例 [EB/OL]. (2003- 03-11) [2021- 07-22]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62053.htm.
The State Council of the People's Republic of China. No. 373 decree of the State Council of the People's Republic of China; safety supervision regulation of special equipment [EB/OL]. (2003- 03-11) [2021- 07-22]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62053.htm.
- [4] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会. 压力管道规范 长输管道:GB/T 34275—2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017:4.
SAC/TC 262. Pressure piping code—Long-distance pipeline; GB/T 34275—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 4.
- [5] 石油工程建设专业标准化委员会. 输油管道工程设计规范:GB 50253—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2015:2.
Standardization Committee of Petroleum Engineering Construction. Code for design of oil transportation pipeline engineering: GB 50253—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015: 2.
- [6] 石油工程建设专业标准化委员会. 输气管道工程设计规范:GB 50251—2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015:2.
Standardization Committee of Petroleum Engineering Construction. Code for design of gas transmission pipeline engineering: GB 50251—2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015: 2.
- [7] 石油工程建设专业标准化委员会. 气田集输设计规范:GB 50349—2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015:4.
Standardization Committee of Petroleum Engineering Construction. Code for design of gas gathering and transportation system in gas field: GB 50349—2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015: 4.
- [8] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇燃气设计规范:GB 50028—2006[S]. 2020 年版. 北京:中国建筑工业出版社,2020:2,43.
Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of city gas engineering: GB 50028—2006 [S]. 2020 ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020: 2, 43.
- [9] 张德姜,修长征. 全国压力管道设计审批人员培训教材 [M]. 3 版. 北京:中国石化出版社,2015.
ZHANG Dejiang, XIU Changzheng. Training materials of national designer and approver of pressure piping [M]. 3rd ed. Beijing: China Petrochemical Press, 2015.
- [10] 中国石油化工集团公司. 石油化工企业设计防火标准:GB 50160—2008[S]. 2018 年版. 北京:中国计划出版社, 2018:2.
Sinopec. Standard for fire prevention design of petrochemical enterprises: GB 50160—2008 [S]. 2018 ed. Beijing: China Planning Press, 2018: 2.
- [11] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. 压力容器压力管道设计许可规则:TSG R 1001—2008[S]. 北京:中国锅炉压力容器安全杂志社,2008:13.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Design appraisal regulations for pressure vessel & pressure pipe: TSG R 1001—2008 [S]. Beijing: Press of China Special Equipment Safety, 2018: 13.
- [12] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会. 压力管道规范 公用管道:GB/T 38942—2020[S]. 北京:中国标准出版社,2020:1.
SAC/TC 262. Pressure piping code—Utility piping: GB/T 38942—2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020: 1.
- [13] 辞海编辑委员会. 辞海[M]. 1979 年版. 上海:上海辞书出版社,1989.
Editorial Board of Cihai. Cihai [M]. 1979 ed. Shanghai: Shanghai Lexicographical Publishing House, 1989.
- [14] 吴粤荣,刘清方. 锅炉压力容器安全工程学[M]. 北京:北京经济学院出版社,1991.
WU Yueshen, LIU Qingfang. Safety engineering of boiler and pressure vessel [M]. Beijing: Beijing Economic Institute Press, 1991.
- [15] 李淑培. 石油加工工艺学:中册[M]. 北京:中国石化出版社,2006.
LI Shupe. Petroleum process technology: volume II [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2006.
- [16] 高等工业学校普通化学编写组. 普通化学:上册[M]. 北京:高等教育出版社,1959.
Editorial Board of General Chemistry of Technology College. General chemistry: volume I [M]. Beijing: Higher Education Press, 1959.
- [17] 美国机械工程师学会压力管道委员会. 工艺管道:ASME B31.3—2010[S]. 中石协 ASME 规范产品专业委员会,译. 北京:中国石化出版社,2011.
ASME. Process piping: ASME B31.3—2010 [S]. CACI, trans. Beijing: China Petrochemical Press, 2011.
- [18] 石油工程建设专业标准化委员会. 天然气地面设施抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂金属材料技术规范:SY/T 0599—2018[S]. 北京:石油工业出版社,2018:3,27.
Standardization Committee of Petroleum Engineering Construction. Specification for sulfide stress cracking and stress corrosion cracking resistant metallic materials for natural gas surface facilities: SY/T 0599—2018 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2018: 3,27.
- [19] 冶金工业部钢铁研究院. 合金钢手册:上册第一分册 [M]. 北京:中国工业出版社,1971.
Iron & Steel Research Institute of Ministry of Metallurgical Industry. Alloy steel manual: volume I part 1 [M]. Beijing: China Industry Press, 1971.
- [20] 陈俊文,尚 谨,刘玉杰,等. 混氢天然气管道安全设计要点探讨[J]. 天然气与石油,2020,38(6):8-13.
CHEN Junwen, SHANG Jin, LIU Yujie, et al. Discussion on the safety in design of hydrogen blended natural gas pipelines [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38 (6): 8-13.