

压缩天然气工程管道壁厚计算探讨

李金成

河北渤海工程设计有限公司, 河北 石家庄 050021

摘 要: 为了保证压缩天然气供应站、CNG 加气站高压天然气管道系统本质安全可靠, 保障企业生产及站外周边生产、生活人员和设施安全, 结合我国国内现行标准对高压 (16~32 MPa) 管道系统的相关设计要求, 从石油天然气行业自身特点、国内标准配套情况及压缩天然气供应站、CNG 加气站的外部环境等方面, 系统分析了高压压缩天然气管道壁厚计算的影响因素, 建议采用第三强度理论计算压缩天然气供应站、CNG 加气站高压管道壁厚。

关键词: 加气站; 压缩天然气; 壁厚计算

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.02.001

0 前言

压缩天然气供应站、CNG 加气站同属石油天然气行业终端, 对于此类站场虽然国家都有相关的标准规范但都缺乏对工艺管道壁厚计算公式选取的具体要求。因此在行业内一直存在两种不同的观点: 一种是按石油天然气行业及城镇燃气强度计算公式计算; 另一种是按工业管道强度计算公式计算。其实, 上述两种计算公式本质都一样, 不论是石油天然气行业还是工业管道的强度计算公式都同属于第三强度理论, 只在表达上有所区别。石油天然气行业采用钢管最低屈服强度为设计参数, 引入设计系数进行计算, 由最低屈服强度和设计系数的乘积得出设计温度下的许用应力^[1]。而工业金属管道的壁厚计算参数则直接引用设计温度下的许用应力。

笔者认为, 两个公式无本质差别, 只是安全系数选取不同而已, 而对于压缩天然气供应站来说, 其本身就属于石油天然气行业, 所以对于此类站场管道壁厚计算按石油天然气行业的计算公式采用钢管最低屈服强度为设计参数, 并结合设计系数进行计算更为安全。

1 行业特性

石油天然气行业从油气田的开采到加工处理、管道输送至长输站场再到其下游门站、加气站都有自身的行业特性。GB 50350-2005《油气集输设计规范》适用于油田、气田集输工程设计, 涉及气田采出气的加压, 气田内管道压力高达 30 MPa 甚至更高, 该规范中油气集输管道壁厚用公式 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t) + C$ 计算, 式中采用钢管最低屈服强度 σ_s 和设计系数 F 为计算参数^[2], 应用了第三强度理论。

油气田净化加压处理后的天然气经管道输送至各站场, 在这些输气管道及站场 (包括天然气加压站) 设计中采用 GB 50251-2003《输气管道工程设计规范》管道壁厚公式 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 计算, 式中采用钢管最低屈服强度 σ_s 和设计系数 F 为参数计算钢管壁厚^[3], 同样应用了第三强度理论。

GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》也提到压力大于 1.6 MPa 小于 4 MPa 的钢管采用第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 公式计算管道壁厚^[4]。

可见在整个石油天然气行业产业链从始至终都是使

收稿日期: 2013-12-04

基金项目: 中国石油昆仑燃气与保定中茂合作项目 (G12-48)

作者简介: 李金成 (1980-), 男, 河北唐山人, 工程师, 学士, 从事石油天然气设计工作。

用第三强度理论计算管道壁厚。

2 外部环境

对于石油天然气行业管道强度计算所考虑的外部因素与工业管道不同，工业管道多处于工业园区，有的是专门规划的化工园区，其外部环境与压缩天然气加气站、供应站不同。压缩天然气加气站、供应站多处于城市建成区，人口及商业、公共建筑往往较多，需考虑加大设计安全系数，提高工艺系统本质安全^[5]，而工业管道不区分这些因素。工业管道的强度计算理论与石油天然气行业的强度计算理论虽都同为第三强度理论但其考虑的因素与石油天然气行业不同，工业管道的强度计算公式主要考虑温度的影响，随使用温度的增加其允许的许用应力值减小。而石油天然气行业主要考虑事故状态对外部环境（周边的人群、建筑物）的影响。

所以对处于天然气行业终端的压缩天然气加气站、供应站中加压前后的管道根据其建站所处地区人口及商业情况采用 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 更为合适。式中引入钢管最低屈服强度 σ_s 和设计系数 F 为计算参数计算管道壁厚。在人口稠密，商业建筑较多地区增大安全设计系数，保证管路系统本身的安全性。而不宜

采用 GB/T 20801.3-2006《压力管道规范 工业管道 第 3 部分》中 $t = (PD) / [2(\sigma_s \phi + PY)]$ 公式，使用统一许用应力值做为参数进行管道壁厚计算^[6]。

GB 50251-2003《输气管道工程设计规范》第 4.2.1、4.2.2 条解释说明中提到：天然气管道许用应力的取值根据所处地区等级不同在 $(0.4\sim0.7)\sigma_s$ 之间选取，当所处地区人口稠密、建筑较多时应选用较小的强度设计系数降低许用应力值，提高安全度，以确保管道周围建筑物的安全。GB 50423-2007《油气输送管道穿越工程设计规范》第 3.2.4 条也提到许用应力值按强度设计系数 F 乘以屈服强度 σ_s 进行计算，这是我国石油天然气行业管道强度计算理论的基本原则。而工业管道许用应力值是温度函数，这样不论在什么样的内外部环境只要工作温度一定其取值就是固定的。

例如：304 无缝钢管管道外径 60 mm，屈服强度 $\sigma_s=205$ MPa，工作压力 25 MPa，设计压力 27.5 MPa，工作温度小于 100 ℃，分别采用石油天然气行业第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 和 GB/T 20801.3-2006《压力管道规范 工业管道 第 3 部分》公式计算压缩天然气管道壁厚，按不同地区等级取设计系数 F 值（根据《城镇燃气设计规范》表 6.4.9 选取），计算结果见表 1。

表 1 石油天然气行业与工业管道壁厚计算

石油天然气行业公式计算				工业管道公式计算			
地区等级	F	δ/mm	选取壁厚/mm	许用应力 S	腐蚀余量/mm,取0mm; 制造负偏差, 取12.5%	计算厚度 t/mm	选取壁厚/ mm
二级地区	0.5	8.05	8.5	137	0.75	5.57	6.5
三级地区	0.4	10.06	10.5	137	0.75	5.57	6.5
四级地区	0.3	13.41	13.5	137	0.75	5.57	6.5

从表 1 可以看出按石油天然气行业公式 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 计算，根据不同地区等级计算的结果与工业管道计算结果相差大，原因是工业管道壁厚计算公式主要考虑温度的影响，故对于压缩天然气加气站、供应站设计采用第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F \phi t)$ 更为适宜。

3 工业管道对高压管道设计要求

对 PN16~32 MPa 高压管道、管件，我国最早有化工部行业标准 H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》，该标准沿用至今。在 HG/T 20553-2011《化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列》中提到 H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》依然有效，虽然 H1~31-67 标准允许直接在管道上开等径三通，对管道壁厚做了补强设计，增加了管道壁厚，同时也考虑了加工螺纹时产生的壁厚

减薄量，但根据 GB/T 196-2003《普通螺纹 基本尺寸》、GB/T 197-2003《普通螺纹 公差》和 GB/T 12716-2011《60°密封管螺纹》相关标准，1"~2"（外径最大到 114 mm）螺纹最大加工深度为 1.76 mm，采用 H1~31-67 标准计算，三通开孔补强厚度保守估算为 2 mm（主管和支管各自都增加 2 mm 补强厚度），则 H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》壁厚对于对焊管件来说至少有 2 mm 的余量（螺纹加工深度与开孔补强增加厚度不进行叠加计算）。

2010 年我国发布 JB/T 2768-2010《阀门零部件 高压管子 管件和阀门端部尺寸》，其中 PN25 MPa、PN32 MPa 的外螺纹连接高压管道规格与 H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》标准所列管道规格完全一致，如果按该标准中提到的螺纹加工要求符合 GB/T 12716-2011 标准，则 1"~2"（外径最大到 114 mm）螺纹最大加工深度

为 1.76 mm，减去此部分厚度后 JB/T 2768-2010《阀门零部件 高压管子 管件和阀门端部尺寸》中的管道壁厚见表 2。

目前我国常用法兰标准 HG/T 20592~20635-2009 中美洲体系 PN260 对应的整体法兰接管规格在该规范表 8.2.4-5 中已经给出其连接管道壁厚值，其壁厚基本与 H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》、JB/T 2768-

2010《阀门零部件 高压管子 管件和阀门端部尺寸》壁厚一致（见表 2）。

按石油天然气行业采用第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ 计算压缩天然气供应站、加气站内工艺管道壁厚，设计压力取 27.5 MPa，按地区等级取设计系数 F 值（根据 GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》表 6.4.9 选取，取 $F=0.4$ ）。各个标准及计算结果比较见表 2^[7-9]。

表 2 各标准高压管道壁厚比较表

公称压力/ MPa	公称直径 D_N	H1~31-67 管子规格 外径×壁厚/ (mm×mm)	螺纹加工深度/ mm	去除螺纹加工深度后管子规格 外径×壁厚/ (mm×mm)	按输气管道设计公式计算 $\delta=(PD)/(2\sigma_s F\phi t)$ 外径×壁厚/ (mm×mm)	HG/T 20615-2009整体法兰接管规格PN26MPa 外径×壁厚/ (mm×mm)	国际通用 Sch160系 列管道壁厚 外径×壁厚/ (mm×mm)	国际通用 ××S系列 管道壁厚 外径×壁厚/ (mm×mm)	GB/T 1224-2005 表A.1推算阀门接管规格 外径×壁厚/ (mm×mm)
32	6	14×4	1.76	14×2.5	14×2.5	22×4.8	22×4.8	22×7.47	
	10	24×6	1.76	25×4	24×4.5	27×5.8	27×5.6	27×7.82	26.9×6.0
	15	35×9	1.76	35×7	35×6	34×6.6	35×6.35	35×9.09	33.7×6.35
	25	43×10	1.76	43×8	43×7.5	42×7.9	42×6.35	42×9.7	42×7.55
	32	49×10	1.76	49×8	49×8.5	48×9.7	48×7.14	48×10.15	48.3×7.9
	40	68×13	1.76	68×11	68×11.5	60×11.2	60×8.74	60×11.07	60.3×8.15
	50	83×15	1.76	83×13	83×14	89×15.7	89×11.13	89×15.24	88.9×11.8
	65	102×17	1.76	102×15	102×17.5	114×19.1	114×13.5	114×17.12	

由表 2 可见，在不考虑螺纹加工深度的情况下我国现行的 JB/T 2768-2010《阀门零部件 高压管子 管件和阀门端部尺寸》、H1~31-67《高压管件及紧固件通用设计》、HG/T 20615-2009《钢制法兰（Class 系列）》所列的 PN32MPa 系列管道外径和壁厚的数值与 $\delta=(PD)/(2\sigma_s F\phi t)$ 公式计算结果基本一致。

综上，我国工业管道在 PN16 MPa、PN32 MPa 高压管道设计时，计算管道壁厚也加大了安全系数，比采用 GB/T 20801.3-2006《压力管道规范 工业管道 第 3 部分》所给的公式计算值要厚，在设计时对于此类高压系统管道通常都是直接选用标准而不再按 GB/T 20801.3-2006《压力管道规范 工业管道 第 3 部分》进行管道壁厚计算。

所以对于与长输管道、城市燃气密切相关的压缩天然气供应站、加气站站场内管道壁厚计算，采用第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ 能与目前我国相关标准更好地配套使用。

4 与上游输气管道衔接

作为压缩天然气供应站、加气站不论是母站还是标准站其气源都来自长输管道或门站，如果是长输管道来气按 GB 50251-2003《输气管道工程设计规范》输气站场内管道壁厚计算采用 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ ，如果是门站按 GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》也提到压力大于 1.6 MPa 小于 4MPa 的钢管计算采用第三强度

理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ ，对同一站场内管道壁厚计算应选用统一的计算公式，也不宜前段进站管道采用一个计算公式，压缩机加压后再采用另一个计算公式。同时作为输气站场或者城市门站选用的管材通常采用 GB/T 9711-2011《石油天然气工业管线输送用钢管》标准，在该标准中只给出了屈服强度值而查不到相应温度下的许用应力值，在其他现有标准中也很难查找，这样在利用工业管道计算公式进行计算时就造成许用应力取值的问题，究竟如何取值难以确定也无统一标准，所以对于与长输管道、城市燃气密切相关的压缩天然气供应站、加气站站场内管道壁厚计算采用第三强度理论 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ 更为合适。

5 国家技术监督局要求

目前国家质量技术监督总局虽然要求天然气站场、城镇燃气站场、加气站站内管道按工业管道监管，但国家质量技术监督总局也强调只是按工业管道监管，其相关设计应按相关国家或行业标准进行，工业管道监察规程只是最低要求。通过上述计算举例可以看出，按现行石油天然气行业公式进行计算得到的管道壁厚完全满足监察规程的要求，与监察规程不矛盾。

6 结论

通过计算可看出，根据压缩天然气供气站所建地理

位置适当加大安全设计系数,对于在城市建成区内建设该类项目管道壁厚计算选用公式 $\delta = (PD) / (2\sigma_s F\phi t)$ 更为合适。另外,从管道选材、管件选取也更能和我国国内相关标准配套使用。

参考文献:

- [1] 沙晓东,陈晓辉,黄坤,等.输气管道应力影响因素分析[J].天然气与石油,2013,31(1):1-4.
Sha Xiaodong, Chen Xiaohui, Huang Kun, et al. Analysis on Factors Affecting Stress in Gas Pipeline [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31(1): 1-4.
- [2] GB 50350-2005, 油气集输设计规范[S].
GB 50350-2005, Code for Design of Oil-Gas Gathering and Transportation Systems [S].
- [3] GB 50251-2003, 输气管道工程设计规范[S].
GB 50251-2003, Code for Design of Gas Transmission Pipeline Engineering [S].
- [4] GB 50028-2006, 城镇燃气设计规范[S].

- GB 50028-2006, Code for Design of City Gas Engineering [S].
- [5] 秦光.人口稠密地区的输气管道设计[J].天然气与石油,2010,28(6):1-3.
Qin Guang. Design of Gas Pipelines in Densely Populated Areas [J]. Natural Gas and Oil, 2010, 28(6): 1-3.
- [6] GB/T 20801.3-2006, 压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算[S].
GB/T 20801.3-2006, Pressure Piping Code—Industrial Piping—Part 3: Design and Calculation [S].
- [7] JB/T 2768-2010, 阀门零部件 高压管子、管件和阀门端部尺寸[S].
JB/T 2768-2010, Components of Valves—High Pressure Pipes, Fittings and End-to-End Dimensions of Valves [S].
- [8] HG/T 20592-200635-2009, 钢制管法兰、垫片、紧固件[S].
HG/T 20592-200635-2009, Steel Pipe Flanges, Gaskets and Bolting [S].
- [9] H1-31-67 高压管、管件及紧固件通用设计[S].
H1-31-67, Design of High Pressure Pipes, Fittings and Bolting [S].

大型天然气液化工艺技术及装备实现国产化

天然气作为一种优质、高效、清洁的能源,在能源构成中所占的比例日益提高,成为各国能源发展的首选,而全球天然气资源地域和能源消费区域的不均衡,推动了天然气液化业务的快速发展。天然气液化技术以其压缩比高和储存成本低等巨大优势,成为实现天然气远洋运输的唯一选择。中国石油通过重大科技专项攻关,实现了大型天然气液化工艺及装备的国产化,建成了国内最大的天然气液化工程。

主要技术创新,一是自主开发了双循环混合制冷和多级单组分制冷天然气液化工艺技术,液化比功耗达到国际先进水平,形成了单线液化能力 $50 \times 10^4 \sim 350 \times 10^4$ t/a 系列液化工艺包;二是实现了适用于单列年产 $50 \times 10^4 \sim 350 \times 10^4$ t 天然气液化装置的大型制冷压缩机、低温阀门、冷箱等重大设备国产化,研制成功国内最大的丙烯、乙烯和甲烷制冷压缩机,最大的国产电机及变频器,最大液化天然气装车系统,并实现了工业应用。

国产化的天然气液化工艺及装备功耗低、工期短、投资省,已经成功应用于山东泰安、湖北黄冈天然气液化工程建设中,节省工程投资 20%,建成了目前国内最大的天然气液化工厂,实现了我国天然气液化生产工艺和装备国产化的重大突破,对推动我国天然气业务的快速发展、促进国内装备制造业升级具有重要意义。

(蓝天 摘自中国石油新闻中心网)