doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2012.01.004

城市天然气输送用钢管的选型

□ 深圳市燃气集团股份有限公司(518054) 林一飞

摘要: 文章从各种钢管生产工艺和城市燃气供气特殊性等角度出发对目前在“城市天然气”输送中使用的各种钢管进行了比较,提出了“城市天然气”管线的选型原则。

关键词: 城市天然气管道 钢管 工艺 钢级 选型原则

The Type Selection of Transmission Pipes for Urban Natural Gas

ShenZhen Gas Corporation Ltd. Lin Yifei

Abstract: Based on the production process in all kinds of steel tube and the particularity in the urban gas supply, this paper compares all kinds of steel pipes that are used in urban natural gas transmission, and points out the selection principles of urban natural gas pipeline.

Keywords: urban natural gas pipeline steel tube technology steel grade selection principles

1 前言

随着“西气东输”一线、二线的建成输气,国内掀起了城市天然气建设的高潮,今后几年城市天然气管网的建设将遍及全国,其建设质量的高低和人民的生命财产安全息息相关。国家和各地区为保证城市天然气的建设和使用安全,出台了大量的法律、法规及相关的强制性标准。这些法规、规范对城市天然气的建设和使用做了细致的强制性规定,使设计单位在很多方面有法可依。但由于城市天然气管线在中国发展的时间较短,城市天然气输送方面的标准还不够全面。设计院在设计城市天然气输送管线时,不得使用部份推荐性标准,对钢管的技术要求一般以API-5L和GB/T9711为依据,参考一些比较著名的长输管线的“技术规格书”,然后根据设计者自己的经验和理解进行钢管选型和编制钢管采购技术条件。各城市天然气输送管线的建设和设计部门相互独立,各建设部门

的建设和设计理念互不相同,有的建设和设计单位以安全性为主,而有的则以经济性为主。由于API-5L和GB/T9711只是规范了各种钢管的制造,检验和交货标准,并没有明确指出应在什么情况下使用什么钢管,有的建设单位不清楚各种管型之间的质量差别,仅从节约投资出发,以钢管价格为唯一指标,而有的城市则是以钢管的安全性为主。因此出现了在同一类地区,基本类似的使用条件下,钢管的选型各不相同,有的城市使用无缝管,有的城市使用ERW高频焊管,有的使用螺旋埋弧焊管,有的使用直缝埋弧焊管。在对安全性和可靠性要求最为严格的“城市天然气管线”的钢管选型方面出现了一种比较混乱的局面,这个问题不解决很有可能会对广大的城市市民的人身和财产安全构成直接的威胁。

这些情况也使一些设计人员感到无所适从,或者设计人员的意见遭到建设单位的否决。本文拟从制管工艺对钢管性能影响的角度出发,探讨“城市天然

气”钢管选型的问题，希望能给“城市天然气”管道的设计人员和建设单位提供一点参考性建议。

2 不同的制管工艺对钢管性能的影响

2.1 天然气输送用的主要管型

目前城市天然气输送用管主要分为中、小直径和大直径钢管，中、小直径钢管一般用于城市中心地区的输气。管型主要是无缝管和ERW高频焊管，大直径钢管一般用于城市周边地区的输气主干线，主要管型为螺旋埋弧焊管和直缝埋弧焊管，本文主要讨论上述4种目前在城市天然气输送时实际使用的钢管的制造工艺及性能。

2.2 中、小直径钢管

2.2.1 无缝钢管

无缝钢管是在管坯上通过穿孔、拉拔工艺制造的钢管，在管坯制成钢管的过程中，压缩比很小，其性能主要靠化学成分和热处理获得。

无缝管工艺复杂，价格相对较高。

无缝管的壁厚偏差较大，为迁就这一缺点，相关制管标准都允许无缝管有较大的壁厚公差。

由于无缝管没有焊缝，除壁厚偏差引起的强度偏差外，管体各部位相对焊管来说性能的一致性较好，不存在危险部分。

另外无缝管厂相对来说规模较大，质量容易得到控制。无缝管的质量虽不是十分令人满意，但比较可靠。

2.2.2 ERW焊管

ERW高频焊管用热轧卷板为原料经过连续多次辊轧成型，利用高频电流将板边熔融，并通过施加一定的挤压力锻焊制成的，焊缝金属与母材相同。

管线钢热轧卷板是用钢坯经多次控制轧制加上快速冷却制成的。有至少10倍的压缩比。快速冷却实际上是对钢板进行了在线热处理。因此钢板的组织致密。晶粒细化。在高强度的同时，又具有高的韧性及良好的延伸率。

焊接后焊缝经过中频热处理，消除了焊接应力和焊缝区的马氏体组织，使焊缝的综合机械性能得到了极大改善，材质低于X65时，焊缝的强度一般都高于母材强度，焊缝的韧性也完全符合标准要求并有相当的富裕。

钢管通过定径，大大减小了钢管成型和焊接应力，同时大幅度提高了钢管的尺寸精度。

ERW焊管的圆度可轻松地控制在1mm以内，壁厚公差可控制在0.2mm~0.3mm，尺寸精度十分优秀。

ERW高频焊管如果质量能得到有效地控制，其性能明显优于无缝管，但ERW焊如果存在假焊，冷焊，或热处理不到位，则焊缝质量将得不到保证，而这些缺陷仅靠对成品的无损检测和外观检验一般难以发现，钢管质量只有靠工厂进行保证。这些因素又恰恰是ERW高频焊管失效的主要原因。

ERW高频焊管具有高品质和高风险的双重性，目前其在DN500以下口径生产工艺较为成熟，产品质量稳定，但在DN500及以上使用仍有一定的风险。

2.3 大直径焊管

2.3.1 螺旋埋弧焊管

螺旋埋弧焊管（以下简称螺旋焊管），是用三辊将钢带按螺旋线方向进行卷曲，在卷曲的同时用填充金属进行内焊和外焊。由于这种工艺是在成形的同时进行焊接，属于动态焊接状态，在熔敷金属凝固前焊点位置就离开了挤压辊，钢管在成型应力的作用下对焊缝产生了拉应力。而这种拉应力是产生焊接热裂纹的充分条件，在焊接高材质钢管时，钢管母材本身就具备了产生热裂纹的必要条件，这两个条件加在一起，就形成了产生热裂纹的充要条件，这时就极易产生热裂纹。生产线焊缝检验是采用当量缺陷报警的方法进行判断的。如果缺陷的当量大于标定值时，工厂可以检出，但如果缺陷当量小于标定值时，则作为合格品出厂了。这些微裂纹在今后的使用中。很有可能会扩大成为危害管道安全的大裂纹，甚至使钢管完全失效。

国外一些先进的螺旋焊管工厂，为了解决这一问题，采用了予精焊工艺，这样就避免了焊缝在焊接时的拉应力作用。

螺旋焊管无法进行扩径，因此成品钢管存在着较大的拉应力，这种拉应力成为管线应力腐蚀的力学条件。

螺旋焊管在弧面焊接，熔敷金属会产生流淌，焊缝形状为内马鞍、外脊背的形状，焊缝和母材之间存在较大的局部应力，这又进一步加强了应力腐蚀的力学条件。

另外螺旋焊管的尺寸精度较差，为解决这问题，

有的工厂对螺旋焊管进行管端扩径，这样虽然解决了现场对接的问题，但管体尺寸仍未得到改善。

除此之外，螺旋焊管还存在焊缝长，容易偏焊，无损检测跟踪难度大等不利因素。

2.3.2 直缝埋弧焊管

直缝埋弧焊管(以下简称直缝焊管)是用成型机将平板卷(压)成圆型,通过予焊或机械夹持方法将焊接位置固定。然后在水平位置进行内、外多丝焊接。熔融金属在静态凝固,因此消除了产生热裂纹的充分条件,焊缝质量稳定可靠,焊后钢管进行整体扩径,使成型应力得到了释放,焊接时熔池处于水平位置,多丝焊时各焊丝各司其职,焊缝可以和母材平滑过渡,局部应力小的多,为减慢应力腐蚀创造了有利条件。

直缝焊管有各种不同的成型方式(如UOE、JCOE等)和扩径方式(如水压、机械),不同的方式也会对焊管的使用性能产生一定的影响,管理水平不同,焊管质量也会产生巨大的差异,但是总体来说,直缝焊管的质量可靠性和尺寸精度要远远高于螺旋焊管。

2.3.3 性能比较

螺旋焊管和直缝焊管在承压能力方面并无大的差别,主要是在安全性和可靠性方面存在较大的差异,同时在应力腐蚀方面也存在有一定的差别,直缝管明显要优于螺旋管。螺旋焊管由于设备投资较小,卷板价格比平板价格便宜许多,尤其是螺旋焊管可用较窄钢卷生产较大直径的焊管,因此螺旋焊管的价格明显低于直缝焊管。

3 城市天然气管线的安全属性及对钢管选型的要求

(1) 城市天然气输送管线与长输管线的同一性和特殊性

由于历史和经济上的原因,原石油部主管长输管线和油田集输管线的设计及施工。经过多年的实践,原石油部的管道局,管材研究所和管道学院等一些大专院校对长输管线的使用安全性进行了系统的研究,积累了比较完善的经验。因此比较两种管线的异同,对充分利用已有的研究成果,更好地进行“城市天然气”管线的建设有十分重要的意义。

(2) 无论长输管线、集输管线还是“城市天然

气”管线都属于“天然气输送”管线,因此城市天然气输送管线的设计选型不应该自成体系,而应该遵循“天然气输送”管线的一般规则。

(3) 城市天然气管线和长输管线的差别主要是“城市天然气”管线比长输管线应该具有更高的安全性和可靠性。

(4) 长输管线输送路线长,为减少压力损失,提高输送流量,往往采取尽可能高的输送压力,由于管道距离长,钢管的成本占管线建设成本的比例较大,因此长输管线建设节省成本的一个重要措施是尽量降低钢管采购成本,在能使用螺旋管的场合尽量使用螺旋管。但由于螺旋管和直缝管在安全性和可靠性方面存在的明显差异。因此一般国内的长输管线规定仅在I类、II类地区可以使用螺旋管,在III类、IV类地区必须使用直缝管。一些重要的工程,例如:“西气东输”工程,其二类地区也使用直缝管。

(5) “城市天然气”管线全部都处在III类、IV类地区,随着中国城市化进程的快速进展,今天的III类地区很快就会变成IV类地区,因此城市天然气管线都应该按IV类地区考虑。

目前IV类地区是分类的最高级别,实际上很多城市的人口密度早已大大超过了IV类地区的标准。城市天然气管道能否安全进行,直接关系到千家万户数以亿计人民的生命和财产安全。

城市天然气管线的特殊性还在于其往往在马路旁边安装,汽车等重物长期碾压和震动会造成地面的不均匀沉降,这就要求钢管具有很好的纵向塑性和韧性。另外城市管道经过区域情况复杂,管道有时要通过隧道或在建筑物下面埋设,一旦有微小泄漏无法立即散发,当聚集到一定浓度后遇到明火,就会发生爆炸,这种案例屡有发生。

(6) “城市天然气”管线的路径不长,钢管采购费用相对建设管道时的拆迁费用,影响交通造成的损失,和对人民的生活产生的困扰来说只占很小的比例,因此更没有必要过分计较钢管采购的少许费用差异而牺牲管道的整体安全性能。

4 城市天然气管线的钢级选择要求

根据API 5L国际标准,一个完整的钢级表述应包

含两个内容：一个是强度等级，指钢管应满足的最低屈服强度；一个是交货状态，主要有3种交货状态，即M（热机械轧制）、N（正火）或Q（调质）。M表示原料钢板应采用控轧或TMCP轧制工艺。TMCP工艺是从上世纪60年代开始发展起来的新工艺，可以在低碳和不增加合金含量的情况下，使钢材的强度、韧性获得提高，大大改善钢材的可焊性，并提高钢材的性价比，因此现代天然气管线几乎全部采用TMCP工艺，如中国西气东输一线的X70和二线的X80全部采用M状态交货。N表示正火状态，在60年代以前的管线使用较多，钢级最大只能到X60。Q表示调质状态，在高压级无缝钢管工艺中应用较多，对于厚壁抗酸钢管也大多采用调质工艺。

管线设计除充分考虑其安全性外，还要考虑其经济性。由于管线在单位时间的输送量与输送压力梯度和管道直径的平方根成正比，因此提高管道输送压力和增加管径是现代管道建设的发展方向，有资料认为，对于干线管道的管径最大最佳直径为1 422mm。但如果选用一般强度等级的钢材，钢管要设计得相当厚，其经济性则不能体现，所以干线钢管的钢级往往比较高，比如西气东输一线采用X70，西气东输二线采用X80，正在规划的西气东输三线据说要采用X90或X100，这其中许多技术问题需要解决，比如焊接性问题。

对于不同强度等级的管线钢，其组织结构是有区别的。X60及以下钢级一般组织为铁素体+少珠光体组织，晶粒尺寸 $15\mu\sim 20\mu$ ；X65、X70一般为针状铁素体，晶粒尺寸 $5\mu\sim 10\mu$ ；X80、X100、X120一般为低碳贝氏体组织，晶粒尺寸 $1\mu\sim 5\mu$ 。随着管线钢强度等级的升高，其可焊性变差，为解决可焊性问题，基本上都采用低碳或超低碳的合金设计。

对于城市天然气管线而言，设计压力相对不高，安全问题应是最主要的问题。适用于城市天然气管网的钢级主要应是X52、X56、X60、X65，对城市管线的支干线可适当考虑到X70，这些钢级可焊性较好，施工方便，运用成熟，对于X80及以上钢级则没必要考虑。

5 总结

(1) 不同类别的钢管其安全性和可靠性存在明

显的差异，管道的安全性和安全系数有一定的关系，同一条钢管安全系数越高，相对来说越安全，在同一安全系数的条件下，质量稳定，性能好的钢管具有更高的安全性能。“城市天然气”输送管线应始终将安全性作为第一要素考虑，尤其是管道建设单位，切不可为了省很少的一点钢管采购费用而牺牲管道的安全性能。

(2) 城市天然气管线DN500以下钢管可采用ERW钢管，小口径钢管也可采用无缝钢管，DN500及以上钢管建议采用直缝双面埋弧焊钢管。支干线用钢管级选用建议在X70及以下，其他管网用管建议在X65及以下。

(3) 城市天然气管道选型原则应按压力与地区类别作为选型依据，在条件许可的情况下，可适当提高一些设计压力标准，为后续的安全运行与升压运行留有一定空间。考虑目前国内城市化进程速度很快，地区类别确定应按照就高不就低原则，最好按IV类地区考虑。

(4) 在城市天然气输送管线中选型中，应参考长输管线的研究成果，这虽然不是强制性规定，但都是世界各国管道行业专家，汇集了各国管道失效的案例，通过对失效概率的统计，建立失效与风险控制模型，总结出来的宝贵经验。充分利用这些宝贵的经验，对保证“城市天然气”输送的安全性有着积极的指导作用。

参考文献

- 1 李鹤林.天然气输送钢管研究与应用的几个热点问题,石油管工程应用基础研究论文集
- 2 黄志潜.国外油气输送管道用螺旋缝埋弧焊管制造技术的发展,石油管工程应用基础研究论文集
- 3 李平全.油气输送管线钢管的选材问题,石油管工程应用基础研究论文集
- 4 路民旭,白真权,赵新伟等.油气集储过程中腐蚀观状及典型案例,石油管工程应用基础研究论文集
- 5 庄传品,霍春勇,冯耀荣等.西气东输管线的风险评价,石油管工程应用基础研究论文集
- 6 潘家华.我国管材及制管工业的发展趋势,2003国际管线钢管学术报告会论文集