

城镇燃气 PE 管与钢管的工程应用分析

张茂银（北京燃气房山有限责任公司，北京 102401）

摘要：阐述了城镇燃气用 PE 管和钢管的发展历程，结合管道特性、规格及价格等因素，给出两种管材的选用特点。PE 管和钢管分别在城镇燃气中低压管网和高压级管网中发挥着各自的优势。通过燃气管道工程案例的计算分析，分别得到了用 PE 管和钢管计算的工程费用，结果表明在城镇燃气工程中，尤其是中低压管网工程，PE 管材更具有优越性。本文旨在为城镇燃气管道的选用提供参考依据。

关键词：城镇燃气；PE 管；钢管；工程应用

0 引言

当下，能源结构正在向低碳、清洁和多元化方向转型。天然气以其独特的经济、环保和服务效益，赢得了大家的喜爱。城镇燃气管网系统随之得到快速发展。国务院办公厅印发的城市燃气管道等老化更新改造实施方案（2022–2025 年）中指出，加快推进城市燃气管道的老化更新改造，保障安全运行，提升城市安全韧性，让人民群众生活更安全、更舒心、更美好。可见燃气管材的工程应用研究意义重大。钢管和聚乙烯（PE）管是两种主要的城镇燃气管材，在工程应用中各有优势，在城镇燃气管网工程应用中应从实际出发因地制宜合理选用。

1 PE 和钢管在城镇燃气系统中的发展

1.1 PE 管

英国于 1933 年发明了聚乙烯（PE），20 世纪 50 年代至 70 年代末，是第一代 PE 时期，仅实现五十年的承压能力。1956 年美国铺设了第一条聚乙烯燃气管道。20 世纪 80 年代初至 80 年代末，第二代 PE 时期，进一步注重寿命期内的耐慢速裂纹增长性能，称其为“长寿”压力管，相当于现在的 PE80 级，从而快速占领了燃气管道市场。如，法国 1970 年开始使用 PE 管，到 1980 年以后，中低压燃气管网建设中完全取代了钢管，从 1998 年开始法国规定除特殊情况外新敷设燃气管道全部采用聚乙烯管道。20 世纪 90 年代之后进入第三代 PE 时期，进一步提高了管道性能，被称为“安全长寿”压力管，具有双峰结构的 PE100 管材问世，极大的推进 PE 管材在城镇燃气输配系统中的应用。

我国 PE 燃气管道发展起步于 20 世纪 80 年代初。1982 年上海低压人工煤气聚乙烯管道、1988 年北京燃气 PE 工程示范小区等项目的有益尝试，为 PE 燃气管道应用奠定坚实的基础。1995 年颁布 PE 燃气管材、

管件的国家标准和工程技术的行业规程，修订一系列相关基础标准和方法标准。目前，PE 燃气管道在城镇燃气输配系统工程中正发挥着重要的作用，并且随着城市燃气新技术的不断研发，其发展势头强劲。

1.2 钢管

我国城镇燃气管网中的钢制管材，在 80–90 年代还处于探索阶段，这一时期的长输燃气管材开始以 X70 等高强度钢为主，随后大规模采用 X80 钢。直到 21 世纪初期，各大城市的管道更新过程中逐步用钢管替换普通的铸铁管道，以满足地下管线的复杂变化和人们对安全性要求。城镇燃气输配管网系统中应用了各种类型的钢制管材，如普通的螺旋焊缝钢管、直缝钢管、无缝钢管等。

随着城市高压级管道的发展和扩建，高压力输气与高强度管材的组合必定是新建管道发展的主要趋势，钢管在未来高压级管网中不可替代的作用会越来越突出。

2 PE 和钢管管材特性

表 1 从耐腐蚀性、抗震性能、使用寿命、柔韧性能、重量及连接工艺等方面对城镇燃气用 PE 管和钢管进行对比。

可知，PE 管具有优良的耐腐蚀性和抗震性能，重量轻、寿命长、柔韧性好且施工方便可靠。具有节材、节能、节水、节地特点的聚乙烯管道，经长期实践应用证明，在多方面具有独特的优越性。值得在城镇燃气领域大力推广，尤其是中低压燃气管网中大量选用，因为 PE 管在强度、抗冲击性及耐温等方面还是存在弱势。而钢管最大的优势是承载应力大，因此，在城镇燃气设计规范 GB50028–2006（2020 版）^[1]中明确规定，次高压和高压燃气管道必须采用具有良好抗脆性破坏能力和良好的焊接性能的钢管，以保证输气管道的安全。

表1 城镇燃气用PE管与钢管对比

项目	PE 管	钢管
耐腐蚀性	耐多种化学介质腐蚀, 无电化学腐蚀	耐腐蚀性差, 需要可靠的防腐措施
抗震性能	优良的抗震性能 案例: 汶川大地震后, 据统计, 247km 的钢管出现了两处拉裂漏气, 而 360km PE 管道没有发生断裂漏气现象。1995 年日本神户地震中, PE 燃气管道幸免遇难	较好的抗震性能
使用寿命	约五十年	约二十年 (取决于使用环境)
柔韧性	良好的柔韧性和挠性, 弹性形变可达 50%~70%	有一定的可挠性 (基本可忽略), 为保持坡度和角度, 必须使用三通弯头等标准管件
重量	密度约 0.95g/cm ³ , 重量轻, 搬运方便	密度约 7.9g/cm ³ , 较重, 机械设备辅助搬运
连接工艺	热熔焊接或电熔焊接。全自动焊机, 人为因素相对较少, 密封性能良好, 连接可靠性高	焊接连接, 专业的电焊工进行焊接, 人为因素更大。法兰连接 (设备与管道连接)
强度	较低	较高

3 PE 和钢管管材选用

3.1 PE 管管材规格及选用

目前应用于城镇燃气工程中的 PE 管材和管件, 按颜色分为橙色 (黄色) 管和黑色管等, 按材质分为 PE80、PE100、PE100RC、PE100RT 等, 按标准尺寸比分为 SDR11、SDR17.6 等。PE80 可以是高密度聚乙烯 (HDPE) 也可以是中密度聚乙烯 (MDPE), 而 PE100 必须是高密度聚乙烯 (HDPE)。PE100 比 PE80 有更优良的耐压性能、更薄的管壁且更加经济。已经研发成功的第四代 PE100RC 级管材, 在使用寿命、韧性、耐划伤等方面有了大幅提升, 耐慢速裂纹开裂性能已提升到大于 8760h, 而 PE100 级为 500h^[2]。新技术发展为实现国家双碳环保相关政策做出积极的贡献。

城镇燃气输配系统中, PE 管道输送天然气和液化石油气 (LPG) 时, 其设计压力不应大于管道最大允许工作压力。

表2 PE 管道最大允许工作压力 (MPa)

燃气种类	PE80 SDR11	PE80 SDR17.6	PE100 SDR11	PE100 SDR17.6
天然气	0.5	0.3	0.7	0.4
液化石油气 (混空气)	0.4	0.2	0.5	0.3
液化石油气 (气态)	0.2	0.1	0.3	0.2

表2所示, 输送天然气的 PE 管道最大允许压力

相对大, 且 PE100 SDR11 承压能力最强, 因此 PE100 能应用在城镇较高压力的燃气管网中。目前, 大多数燃气公司选用的管材、管件一般以 PE80 SDR11 为主。PE80 最大优点是溶体流动速率较高, 焊接时更容易填满空隙。

3.2 钢管管材规格及选用

城镇燃气常用的钢管有焊接钢管、镀锌钢管及无缝钢管, 城市各压力级别管网中钢管选用情况及相关标准见表3。

城镇燃气设计规范 GB50028 (2020 版) 中对敷设于三级地区和四级地区的高压钢管有明确规定, 钢级不应低于 L245。由于钢管强度较低不适用于高压燃气管道, 因此 GB/T9711.1 中要求 L175 级钢管不应选用。城市燃气用钢管的选择应结合多因素经技术经济比较后确定, 如设计压力、温度、敷设地区、输送介质特性及材料的焊接性能等。

表3 城镇燃气管网钢管管材选用要求

管道级别	钢管管材	相关标准	特殊要求
中压 (0.01~0.4MPa)、低压 (小于 0.01MPa)	焊接钢管、镀锌钢管、无缝钢管	①《低压流体输送用焊接钢管》GB/T3091; ②《输送流体用无缝钢管》GB/T8163	室内燃气管道应采用输送低压流体的钢管、镀锌钢管及薄壁不锈钢管等
次高压 (0.4~1.6MPa)、高压 (1.6~4MPa)	焊接钢管、无缝钢管	①《输送流体用无缝钢管》GB/T8163; ②《石油天然气工业输送钢管交货技术条件第1部分: A 级钢管》GB/T9711.1 ③《石油天然气工业输送钢管交货技术条件第2部分: B 级钢管》GB/T9711.2	①地下次高压 B 可采用钢号 Q235B 焊接钢管; ②三级和四级地区高压钢管钢级不应低于 L245; ③ GB/T 9711.1 中 L175 级钢管除外

3.3 PE 和钢管管材价格及选用

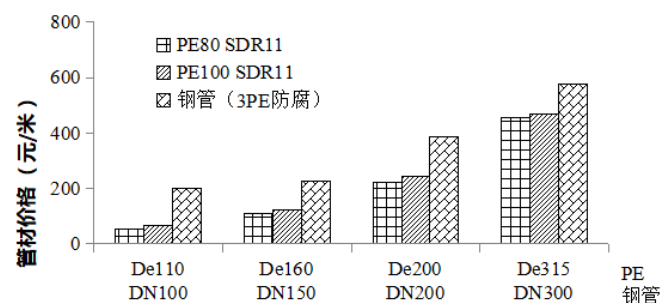


图1 PE 和钢管不同管径管材价格

图1给出 PE 和钢管部分管材不同管径价格^[3], 包括钢管 (3PE 防腐)、PE80 SDR11 及 PE100 SDR11 管

材。由图可见，管径小于 300 时，PE 管具有经济优势。

4 低压城镇燃气管道工程经济性对比

本案例为居民住宅小区燃气管线工程，见图 2。以下将按 PE 和钢管两种管材进行计算分析。

4.1 工程概况

该工程包括 20 栋住宅楼，共计居民用户 730 户。天然气气源，甲烷含量 96.2%，密度为 0.76kg/Nm³，热值为 34.8MJ/Nm³。每户居民设计用气量为 2.2Nm³/h。燃气用具的额定燃气压力为 2000Pa。设计起点为中低压调压站。根据各用气点的分布情况，整个小区低压管线呈枝状管网布线形式。

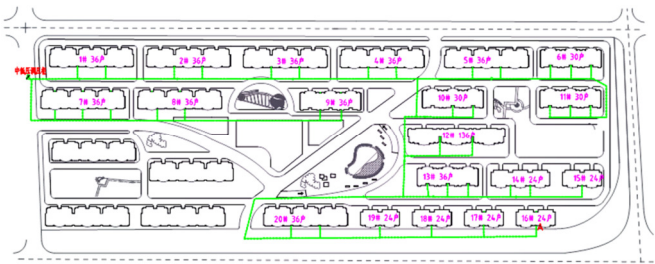


图 2 低压燃气管道工程设计示意图

4.2 工程计算及经济性分析

低压燃气管道单位长度的摩擦阻力损失计算公式^[4]为：

$$\frac{\Delta p}{L}=6.26\times 10^7\lambda\frac{Q^2}{d^5}\rho\frac{T}{T_0}$$

式中：

Δp- 燃气管道摩擦阻力损失，Pa；

L- 燃气管道计算长度，m；

λ- 燃气管道的摩擦阻力系数；

Q- 燃气管道的计算流量，Nm³/h；

d- 燃气管道内径，mm；

ρ- 燃气密度，kg/Nm³；

T₀- 标准状态绝对温度，273.15K；

T- 燃气的绝对温度，K。

根据燃气管道平面图计算。以钢质燃气管材计算结果为：以气源点中低压调压站到供气最远端用户（节点 A），压力为 2382Pa，管道总损失为 618Pa；以 PE 燃气管材计算结果为：以气源点中低压调压站到供气最远端用户（节点 A），压力为 2204Pa，管道总损失为 796Pa。

工程燃气管道费用计算结果见表 4 所示，不包含

调压站、中压燃气管道及户内燃气管道。计算结果表明：采用钢管的方案工程费用 351820 元，采用 PE 管的方案工程费用 223581 元。两者费用比为 1:1.57，PE 管具有明显的经济优势。本低压管网案例中 PE 管道的材料强度得到了充分的利用。

表 4 燃气管道工程费用

管材	管径 (mm)	管长 (m)	主材费 (元/m)	施工费 (元/m)	小计 (元)	总计 (元)
钢管	150	21.5	240	110	7525	351820
	100	731.5	178	98	201894	
	80	352.5	120	90	74025	
	50	462	72	76	68376	
PE 管	160	51	136	90	11526	223581
	110	702	86	81	117234	
	90	352.5	64	70	47235	
	63	462	41	62	47586	
注：表中主材费用参考市场报价， 施工费参考管道安装定额估算						

5 结语

PE 管和钢管是城镇燃气管网系统中最重要的一种管材，分别在中低压管网和高压级管网中发挥着各自的优势和作用。燃气工程应用中管道的选择应同时结合管网压力、管材特点、管材价格等多因素，兼顾经济性和可靠性，这对于现今国家推进实施的城市燃气管道更新改造及各大城市新建燃气管网工程的设计运行至关重要。

参考文献：

[1] GB50028-2006（2020 版）. 城镇燃气设计规范 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2020.

[2] 刘畅. 城镇燃气管道材料对比分析与应用研究 [D]. 北京：北京建筑大学，2020.

[3] 李巍. PE 管在燃气中低压管网工程中的应用 [J]. 上海煤气，2020(03):23-25.

[4] 段常贵. 燃气输配（第五版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2015.

作者简介：

张茂银，就职于北京燃气房山有限责任公司，主要从事安全及生产管理工作。