

超高层建筑天然气管道设计方案的分析及探讨

□ 重庆市川东燃气工程设计研究院深圳分院 (518033) 齐海鸥 聂廷哲 高华伟

摘 要: 本文主要分析了压缩应力、热应力对超高层建筑立管的影响及低-低压调压器在超高层建筑天然气管道设计中的应用, 并给出相应的设计方案。

关 键 词: 超高层建筑 压缩应力 热应力 低-低压调压器

Discussion on Design Scheme of Natural Gas Pipeline of Super High-Rise Building

Shenzhen Branch of Chongqing City Chuan Dong Gas engineering Design and Research Institute
Qi Haiou, Nie Tingzhe, Gao Huawei

Abstract: This paper mainly analyzed the influence of compressive stress and thermal stress on the gas pipeline of the super high-rise buildings, and the application of low pressure regulator on the design of natural gas pipeline in super high-rise buildings, and put forward the corresponding design scheme.

Keywords: super high-rise buildings compressive stress Thermal stress low pressure regulator

1 概述

近年来,随着大城市超高层建筑越来越多,对天然气管道工程设计提出了诸多要求。在设计超高层建筑天然气管道时,需考虑的因素较多,本文主要侧重于对超高层建筑立管压缩应力、热应力的影响及补偿以及低-低压调压器在超高层建筑天然气管道设计中的应用进行深入分析。

2 天然气立管的应力影响及补偿措施

超高层建筑天然气立管较长,立管自重产生的压

缩应力和环境温度变化产生的热应力达到一定程度时都会对燃气管道的安全性造成影响。因此,在超高层建筑天然气管道设计中,需要采取一定的安全措施。

2.1 立管自重产生的压缩应力^[1]

立管自重产生的压缩应力: $\sigma = \frac{G}{A}$

式中: σ ——压缩应力 (MPa);

G ——燃气管道自重 (N);

A ——立管截面积 (mm^2)。

由上式可以看出,压缩应力只与管道的材质、管长有关,与管径无关。下面以120m的超高层建筑,立管采用 $\phi 57 \times 4$ 无缝钢管为例来计算燃气管道的压缩应力。

立管截面积 $A=665.7\text{mm}^2$ ，单位长度管重为 51.3N/m ，则 120m 的立管自重产生的压缩应力 $\sigma=9.25\text{MPa}$ 。常温下 $20\#$ 无缝钢管许用应力约为 130MPa ，因此对于 120m 高的建筑物来说，其立管自重产生的压缩应力较小，但为了维修方便，仍需考虑分解管道自重的措施。

2.2 环境温度变化产生的热应力

燃气管道在安装固定后，其长度会随环境温度的变化而变化，管道因温差产生的伸缩量可按下式进行计算^[2]：

$$\Delta L = \alpha L \cdot \Delta t$$

式中： ΔL ——管道的热伸缩量（mm）；

α ——管材线膨胀系数，对普通碳素钢管 20°C 时，取 $0.012\text{mm}/(^\circ\text{C}\cdot\text{m})$ ；

L ——管段的计算长度（m）；

Δt ——管道安装时与运行中的最大温差（取正值（ $^\circ\text{C}$ ））

如果将计算管段两端固定，则会产生热应力，由下式计算：

$$\sigma_t = \alpha E \cdot \Delta t$$

式中： σ_t ——热应力（MPa）；

α ——管材线膨胀系数，对普通碳素钢管 20°C 时，取 $0.012\text{mm}/(^\circ\text{C}\cdot\text{m})$ ；

E ——管材弹性模量（MPa），对普通碳素钢管 20°C 时，取 $1.92 \times 10^5\text{MPa}$ ；

Δt ——管道安装时与运行中的最大温差（取正值 $^\circ\text{C}$ ）。

由上两式可以看出，管道的热伸缩量与管道材质、管长和温度变化有关，而热应力只与管道材质和温度变化有关，与管径、管长无关。

一般计算时，根据历年来实际工况和对管道进行压力试验的工艺要求，考虑到超高层建筑隔季施工期间的施工温差和燃气管道不加保温层在阳光下暴晒后的最不利温度，表1计算了 120m 长立管不同温差的热伸缩量和热应力。

表1 120m长立管不同温差的热伸缩量和热应力

项目	温差（ $^\circ\text{C}$ ）						
	10	20	30	40	50	60	70
伸缩量（mm）	14.4	28.8	43.2	57.6	72	86.4	100.8
热应力（MPa）	23.0	46.1	69.1	92.2	115.2	138.2	161.3

由表1可见，当温差为 50°C 时，热应力为 115.2MPa ，已经接近无缝钢管的许用应力。因此，立管的热伸缩量和热应力是不可忽视的，应采取有效的热补偿措施。

2.3 补偿措施

考虑到超高层燃气立管太长产生的压缩应力及热应力影响，一般将立管分段，每隔6层~8层设置一个固定支撑，以承受分段立管自重，每两个固定支撑之间设置补偿措施。常见的补偿措施有自然补偿和加设波纹管补偿。

（1）自然补偿

燃气管道常用的自然补偿为设置 Π 型弯补偿，根据固定支撑设置位置不同，又分为L型补偿、Z型补偿和 Π 型补偿。

a、L型补偿

L型补偿如图1所示：

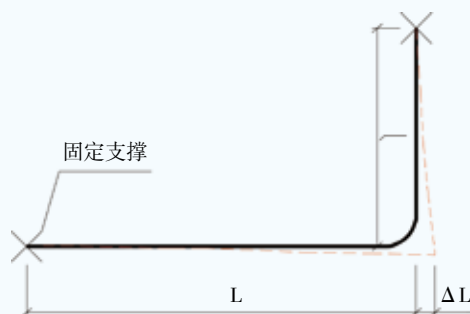


图1

其短臂的长度可按下式计算：

$$l = 1.1 \times (\Delta L \cdot D_w / 300)^{1/2}$$

式中： l ——L型补偿器的短臂长度（m）；

ΔL ——长臂的热伸缩量（mm）；

D_w ——管道外径（mm）。

根据经验，L型补偿器的长臂长度宜取 20m ~ 25m 左右，否则会造成短臂的侧向移动量过大而失去作用。

b、Z型补偿

Z型补偿如图2所示。

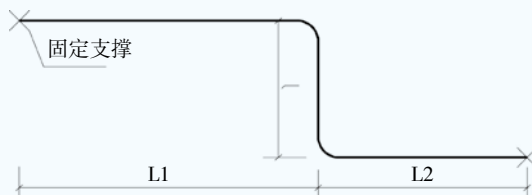


图2

其垂直臂的长度可按下式计算:

$$l = \left[\frac{6 \Delta t E D_w}{10^3 R (1 + 12K)} \right]^{1/2}$$

式中: l ——Z型补偿器的垂直臂长度 (m);

Δt ——计算温差 (°C);

E ——管材的弹性模数 (MPa);

D_w ——管道外径 (mm);

R ——允许弯曲应力 (MPa);

$K=L_1/L_2$; L_1 为长臂长, L_2 为短臂长。

c、Π型补偿

Π型补偿如图3所示。

Π型补偿主要是计算补偿器的伸出距离和开口距离, 计算公式如下:

$$H = \left(\frac{1.5 \times 0.5 \Delta L E D_w}{\sigma_s (1 + 6K)} \right)^{1/2}$$

$K=B/H$, 一般取0、1、0.5或2.0。

式中: H ——补偿器的伸出距离 (mm);

B ——补偿器的开口距离 (mm);

ΔL ——两固定支撑之间管道的热伸缩量 (mm);

E ——管材弹性模量 (MPa), 对普通碳素钢管 20°C时, 取 1.92×10^5 MPa;

D_w ——管道外径 (mm);

σ_s ——管道的弯曲许可应力 (MPa), 碳素钢一般取 70 MPa~80 MPa。

在燃气管道设计中, 常用的立管自然补偿方式为 Z型补偿和 Π型补偿, 结合固定支撑所放的位置, 确定采用何种补偿公式进行计算。

以 Π型补偿器为例, 当采用 D57 × 4 的钢管, 计算管道伸缩量为 20 mm 时, 需选择一个 $L_k=250$ mm, $L_{sh}=250$ mm 的 Π型补偿器, 或选择一个 $L_k=165$ mm, $L_{sh}=330$ mm 的 Π型补偿器, 或选择一个 $L_k=368$ mm, $L_{sh}=184$ mm 的 Π型补偿器。

(2) 加设波纹管补偿

在没有设置自然补偿弯的情况下, 建议选用波纹

补偿器进行补偿。通过计算两固定支撑之间管段的最大伸缩量来确定波纹补偿器的长度。此方法的优点为便于安装和检修, 缺点在于增加了漏气点。

3 低-低压调压器在超高层建筑天然气管道设计中的应用

在超高层天然气管道设计中, 无论是采用楼栋式调压箱供气还是采用区域调压柜集中供气, 设计时仅凭调节调压柜 (箱) 的出口压力和管径已经不能完全满足所有用户的用气需求。

为防止超高层用户超压, 我们通常采取以下措施: (1) 调压柜 (箱) 出口压力在 2 300 Pa~2 800 Pa 范围内调节, 通过水力计算, 确定在一定层数以上用户表前设置低-低压调压器, 使立管上所有用户的燃具在允许压力范围内工作。(2) 采用中压 B 进户表前调压的方式, 在每个用户表前设中-低压调压器, 使所有燃具前压力接近额定压力。此方法虽然能保证所有燃具的最佳燃烧工况, 但每户都设置中-低压调压器, 投资偏大, 管网多了一个中压 B 的压力级制, 给生产运营带来不便。因此, 本文建议超高层用户采用第 (1) 种设计方案。

3.1 低-低压调压器的工作原理

低-低压调压器也称为稳压器, 对于高层、特别是超高层建筑, 可以消除附加压头的影响, 保证燃具在额定压力下工作。低-低压调压器结构如图4所示。

进气腔 A 的压力 p_1 , 在弹簧 1、主阀皮膜 2、调压阀口 5、调压阀瓣 6、平衡腔 B' 内压力 p_3 的综合调节作用下, 使出气腔 B 的压力稳定在 p_2 , 在一定流量下达到用气的动态平衡。

当用户用气量增大, 出气腔 B 的压力 p_2 下降, 平衡腔 B' 内的压力 p_3 , 通过信号管 7 与出气腔 B 连通, p_3 同步下降, 弹簧 1 和平衡腔 B' 压力 p_3 之间的压力失去平衡, 主阀皮膜 2 向下移动, 通过连杆机构带动调节

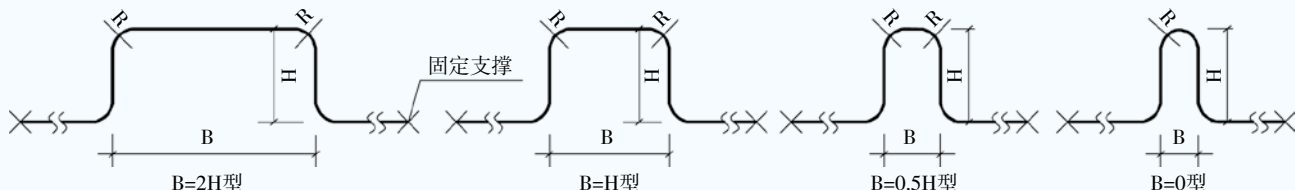
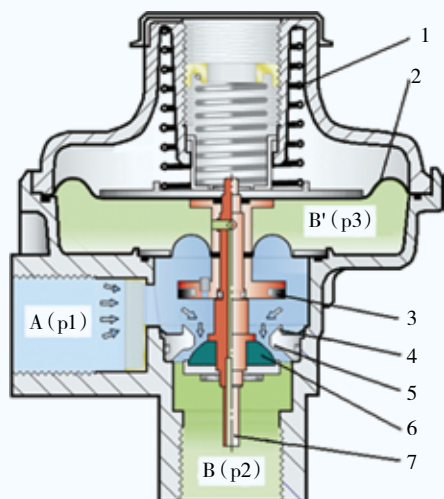


图3



1—调节弹簧；2—主阀皮膜；3—安全切断阀瓣；4—安全切断阀口；5—压力调节阀口；6—压力调节阀瓣；7—信号管；
A—进气腔（ p_1 ）；B—出气腔（ p_2 ）；B'—平衡腔（ p_3 ）

图4 低-低压调压器结构

阀瓣6下移，调节阀瓣6和调节阀口5通道增大，使得更多的燃气补充到出气腔，出气腔的压力 p_2 上升，得以达到新的动态平衡。

当用户用气量减少，出气腔B的压力 p_2 上升，平衡腔B'内的压力 p_3 同步上升，弹簧1和平衡腔B'压力 p_3 之间的压力失去平衡，主阀皮膜2向上移动，通过连杆机构带动调节阀瓣6上移，调节阀瓣6和调节阀口5通道减小，使得补充到出气腔的燃气量减少，出气腔的压力 p_2 下降，得以达到新的动态平衡。

当用户停止用气，出气腔B压力 p_2 会上升，达到一定值，使得调节阀瓣6上升将调节阀口5完全关闭，此时出气腔的压力即为关闭压力 p_b 。

当用户端流量突然增加，超出设定流量值，出气腔B压力 p_2 突然下降，平衡腔B'压力 p_3 降到安全切断值 $p_{3, \min}$ 时，主阀皮膜2带动安全切断阀瓣3下移，将安全切断阀口4完全关闭，实现超流欠压切断功能，该功能可在用户胶管脱落或表具爆裂时起保护作用。

3.2 低-低压调压器安装层数的选择

3.2.1 居民用燃具压力的波动范围

根据《城镇燃气设计规范》GB50028-2006，居民生活用气设备前的燃气压力在 $0.75P_n \sim 1.5P_n$ 范围内波动（ P_n 为燃具的额定压力）。

- (1) 天然气燃具额定压力 P_n : 2 000Pa;
- (2) 燃具正常燃烧的最高压力 $1.5P_n$: 3 000Pa;

- (3) 燃具正常燃烧的最低压力 $0.75P_n$: 1 500Pa。

当天然气压力超出此范围，燃具的热效率降低，燃烧不稳定，燃烧噪声大，出现脱火或者回火等现象。

3.2.2 天然气的附加压头

根据《城镇燃气设计规范》GB50028-2006，天然气的附加压头可按下式计算：

$$\Delta H_{\text{附}} = g(\rho_k - \rho_m) \cdot h = 9.81 \times (1.293 - 0.75) \cdot h = 5.3 \cdot h$$

式中 $\Delta H_{\text{附}}$ —天然气的附加压头（Pa）；

ρ_k —空气的密度（ kg/m^3 ），一般取1.293；

ρ_m —天然气的密度（ kg/m^3 ），为方便计算，这里统一取0.75；

h —沿天然气流动方向管段终端及始端的高程差（m）。

可见，天然气的附加压头每米约为5.3Pa。^[3]

3.2.3 低-低压调压器安装层数

燃气管道压力降=沿程压力降+局部阻力+燃气表压力降-附加压力^[2]

用户灶前压力=调压柜（箱）出口压力-燃气管道压力降

本节通过计算确定当调压柜（箱）出口压力调到一定值时，某一层数以上的楼层均需加装低低压调压器。

按照夜晚超高层用户仅一户用气作为计算的最不利条件。

- (1) 天然气燃具额定压力为：2 000Pa；
- (2) 燃具正常燃烧的最高压力：3 000Pa；
- (3) 天然气附加压头：每米为5.3Pa；
- (4) 工况计算时暂不考虑弯头三通等的局部阻力；
- (5) 夜间用气低峰时，认为管道内储满气，沿程阻力为0；
- (6) 燃气表的压力损失按150Pa计；
- (7) 楼房层高按每层3m计。

当调压柜（箱）出口压力2 300Pa~3 000Pa时，计算超高层用户的超压层数，即超高层用户需安装低-低压调压器的楼层数，如表2所示。

根据管网水力计算，保证离调压柜（箱）最远立管的底层用户不欠压，合理选定调压柜（箱）的出口压力。调压柜（箱）的出口压力确定后，对应上表确定超压层数，超压层数及以上的楼层均需要加低低压调压器。

表2 低-低压调压器安装层数参考表

调压柜(箱)出口压力(Pa)	2 300	2 400	2 500	2 600	2 700	2 800	2 900	3 000
超压高度(m)	160	142	123	104	85	66	47	28
超压层数(层)	53	47	41	35	28	22	16	9

通过表2可以看出,通过水力计算,如果调压柜出口压力选定2 800 Pa,则高于22层用户表前需加装低低压调压器。

(3)为防止超高层用户超压,通过水力计算,在超压层及以上的用户表前设置低-低压调压器。

4 结论

通过以上几方面分析,得出以下结论:

(1)考虑到超高层建筑立管自重产生的压缩应力对燃气管道安全性的影响,每隔6-8层设置一个固定支撑,承受分段立管自重。

(2)针对环境温度变化产生的热应力对燃气管道安全性的影响,采用每两个固定支撑之间设置补偿器进行补偿,首推自然补偿。

参考文献

- 1 朱艳红,田文中,李英利.高层建筑对燃气管道影响及解决措施[J].上海煤气,2010;1:39-40
- 2 刑月萍.谈高层民用建筑室内燃气管道设计[J].山西建筑,2012;38(12):146-147
- 3 董丽.高层建筑室内燃气管道设计的探讨[J].能源技术,2007;4:29

其它消息

江苏荣浩集团 被确定为全民阅读志愿服务站

2015年8月,江苏省精神文明建设指导委员会办公室、全民阅读活动领导小组办公室、宿迁市精神文明建设指导委员会办公室、总工会等单位联合举行全民阅读活动,布署开展江苏省全民阅读月活动,并表彰在全民阅读活动中取得优异成绩的单位和个人,江苏荣浩集团分别被江苏省确定为“全民阅读志愿服务站”和宿迁市“书香企业”。

读书是获取知识的主要途径,更是提升职工素质、岗位成才的源泉,也是职工实现个人梦想的重要渠道。近年来,荣浩集团高起点推进“职工书屋”建设,倾心为职工创造良好的学习环境、提供良好的学习平台,多举措开展“创建学习型企业,

争做知识型职工”,通过读书竞赛、知识竞赛、主题演讲等形式,激发职工获取知识、更新知识的热情,努力丰富企业职工文化生活,不断提高广大职工的政治与业务素质,凝聚为企业发展的智慧和力量。截止目前,该集团职工书屋藏有思想政治、经管励志、生活科普、社科人文、大众文化、历史人物、文学艺术、法律法规、燃气运用等多门类图书逾15 000册,党报、期刊及音像制品80余种,设有图书室、阅览室、荣誉室和展览室,其职工书屋先后被江苏省总工会授予职工书屋、中华全国总工会授予职工书屋的称号。

(张峰)