

Study on Factors Affecting Pipeline Installation Margin of Civil High-Rise Buildings

Yang Xiao¹, Yu He², Yuqin Fu¹, Yifan Zhang¹, Zhongqing Yang²

¹The Second Construction Co., Ltd., China Construction Third Engineering Bureau, Wuhan Hubei

²School of Energy & Power Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: zqyang@sina.cn

Received: Dec. 11th, 2018; accepted: Dec. 26th, 2018; published: Jan. 3rd, 2019

Abstract

The gradual application of hard-connected technology for civil high-rise buildings has significantly reduced the installation margin of pipeline connections. In this paper, the law of influence affecting the installation margin is studied, which consists of the length of the deviation section, the wall thickness and the pressure. It is concluded that the installation margin changes with the power function of the length of the deviation section; keeping the diameter of the pipe unchanged, increasing the wall thickness or keeping the wall thickness constant, reducing the pipe diameter will increase wall thickness and thickening measures will increase the installation margin; the presence of pipe pressure will reduce the installation margin.

Keywords

Civil, High-Rise Buildings, Pipeline, Installation Margin

民用高层建筑管道安装裕度影响因素研究

肖阳¹, 贺禹², 扶宇钦¹, 张艺凡¹, 杨仲卿²

¹中建三局第二建设工程有限责任公司, 湖北 武汉

²重庆大学能源与动力工程学院, 重庆

Email: zqyang@sina.cn

收稿日期: 2018年12月11日; 录用日期: 2018年12月26日; 发布日期: 2019年1月3日

摘要

民用高层建筑硬连接技术的逐步应用使得管道连接的安装裕度明显下降。文章研究了偏差段管长、管道

壁厚与管道压强对安装裕度的影响规律, 得出结论: 安装裕度随偏差段管长呈幂函数变化; 保持管径不变增大壁厚或者保持壁厚不变减小管径等使管道增厚的措施都会增大安装裕度; 管道压强的存在会降低安装裕度。

关键词

民用, 高层建筑, 管道, 安装裕度

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着工程项目现代化的加深, 高层建筑与超高层建筑不断涌现, 成为目前建筑用地日趋紧张的情形下的发展趋势[1] [2] [3] [4]。伴随着的是建筑管道系统的日趋复杂, 其施工质量直接对整个工程的合格与否产生重大影响。因此在管道领域的多个方面都有较多学者与从业人员进行施工质量相关研究, 比如给排水管道[5]、水暖管道[6]、通风管道[7]、空调管道[8]等。在管道施工质量的方方面面中, 保证管道安装精度是管道施工质量中非常重要的一环。

目前已有相关人员对管道安装精度相关问题进行相关研究。逯少森[9]对地下管道顶管穿越过程中对安装精度可能产生影响的原因进行了分析, 并对顶管过程中测量监督和误差校正进行了相关研究; 刘亮[10]对船舶建造过程中的管道安装精度控制问题进行研究, 着重分析了管道预装与分段合拢过程中由于精度控制不佳产生的工程问题。

目前对于民用建筑管道领域而言安装精度的研究相对较少, 且现有的安装精度研究多集中于工程应用, 理论性研究较少。随着民用高层建筑逐步开始使用管道硬连接技术, 对安装精度的要求有了较高的提升, 其原因就在于安装裕度有了较为明显的下降。本文选取民用高层建筑管道为研究对象, 针对安装裕度问题及相关影响因素开展研究, 为管道设计施工提供安全依据。

2. 物理模型与应力计算模型

2.1. 物理模型

本文主要研究因管道偏离预定位置(表现在坐标偏差、标高偏差、水平平直度、铅垂度等参数上)而对安装裕度产生的影响。将管道偏离预定位置的程度统一称为安装偏差。故此种情况下安装裕度的高低即取决于允许的安装偏差的大小, 允许的安装偏差越大, 安装裕度越大。而安装裕度的大小直接反映在管道的应力上, 相同安装偏差下管道应力越小, 安装裕度越大。故本文以管道应力作为评判标准, 以安装偏差来体现安装裕度的大小。本文选择在管道末端施加位移作为安装偏差, 并固定管道起始点, 用以隔绝安装偏差影响范围以外管道对研究管道的影响。另一方面, 固定的管道起始点也代表安装偏差开始发生的点。

因此, 本文物理模型采用 8 条直管道, 分别编号管道 1~8。每个管道单元长 0.5 米, 管道 1~8 依次拥有 1~8 个管段。管道起始点指向末位点为 X 向, 垂直方向为 Y 向, Z 向由右手定则决定。其中管道起始点全固定, 管道末端施加位移。本文中统一向+Z 方向施加位移, 而后再赘述。安装偏差作用效果如图 1 所示。图中 31010 点为管道起始点, 31090 点为管道末端(安装偏差施加处)。

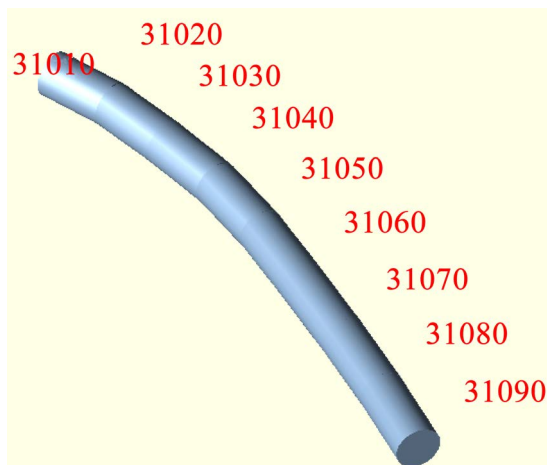


Figure 1. The diagram of the Installation deviation effect
图 1. 安装偏差作用效果图

2.2. 应力计算模型

依据选取的管道应力校核标准 ASMEB31.3 [11], 本文采用的应力计算模型如下所述。

对于一次应力, 通常表示为:

$$S_L = \left[I_a \left(|S_{lp} + F_{ax}/A_p| + S_b \right)^2 + 4S_t^2 \right]^{1/2} < S_h \quad (1)$$

对于二次应力, 通常表示为:

$$S_E = \left[\left(|I_a F_{ax}/A_p| + S_b \right)^2 + 4S_t^2 \right]^{1/2} < f [1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad (2)$$

其中:

S_L 为综合应力;

S_{lp} 为纵向压应力, 计算公式为:

$$S_{lp} = PD_i^2 / (D_o^2 - D_i^2) \quad (3)$$

D_i 、 D_o 分别为管道内直径与外直径;

F_{ax} 为轴向力;

A_p 为管道横截面积;

I_a 为持续轴向应力系数;

S_h 为材料在设计温度下许用应力;

S_c 为环境温度下许用应力;

S_b 为弯曲应力, 计算公式为:

$$S_b = \left[(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2 \right]^{1/2} / Z \quad (4)$$

M_i 、 M_o 分别为平面内、外弯矩;

I_i 、 I_o 分别为平面内、外应力增强系数;

Z 为管截面模量;

S_t 为扭转应力，计算公式为：

$$S_t = I_t M_t / 2Z \quad (5)$$

M_t 为扭转力矩；

I_t 为扭转力矩系数。

3. 参数设定

3.1. 管道参数设定

本文主要考察背景为民用高层建筑的管道，因此管道基本参数的设定要代表普遍意义上的建筑管道共性并重点突出高层建筑较为突出的特点。故流动介质选取为水，相应流体密度对应为水的标准状态密度 $0.001 \text{ kg}/(\text{cu}\cdot\text{cm})$ 。而腐蚀余量、材质等参数主要影响应力计算数值而不影响应力分布规律，因此取常见情况即可。因此管道基本参数确定为：管道材质选择 A53 Grand B (对应国标 20 号钢)；腐蚀裕量选择 1.7 mm ；加工负偏差取默认值 12.5% 。管道应力校核准则选择 B31.3 工艺管道。为凸显工程实际，基于 ASTM 管道标准表进行管径与壁厚的组合选择，结果见表 1。

Table 1. The combination of pipe diameter and wall thickness

表 1. 管径与壁厚组合

组合	管径(mm)	壁厚(mm)
1	219.1	8.18
2	273.1	9.27
3	323.9	9.53
4	355.6	9.53
5	406.4	9.53
6	457.2	9.53

3.2. 载荷工况设定

由于民用高层建筑工况呈现低温高压的特点，因此载荷工况中主要考虑压力的影响。由于目前国内超高层民用建筑项目中管道二次侧压力已经存在 5.0 MPa (美国 ASME 标准)的情况，基于实际情况考虑，工作压力取 5 Mpa 以模拟最高管道压强下的管道情况，故本文中取操作压力 $P1 = \text{常压}$ ， $P2 = 5 \text{ Mpa}$ 。由于民用建筑中作为流动介质的水主要用于生活用途，温度普遍较低，因此不考虑管道温度的影响。为避免其他因素干扰，集中载荷 F、均布载荷 U 等一系列其他载荷的影响亦不考虑，最终确定管道载荷工况组合如表 2。

Table 2. The combination of pipe load case

表 2. 管道载荷工况组合

编号	工况	类型	说明
1	W + P1 + D1	SUS	计算管道常压下安装偏差产生的应力
2	W + P2 + D1	SUS	计算管道工作压力下安装偏差产生的应力

4. 计算结果分析

分析前首先需要确定整段管道的最危险点。对所有组合管道的计算结果均显示随节点数增大，应

力呈现线性下降的趋势，因此最危险点为管道起始点，故随后的研究均集中于考察管道起始点的应力情况。当管道起始点一次应力比率达到 100% (由于小数点误差实际结果会有细微出入)，即达到许用上限时，本文在此定义此时的管段的安装偏差大小为最大允许安装偏差。在随后的研究中，最大允许安装偏差将直接作为安装裕度的量化指标。在未加说明情况下，管道均以工况 2 代表的工作压强进行计算。

4.1. 偏差段管长度对安装裕度的影响

管径壁厚组合选取组合 1~3，以偏差段管长为横坐标，最大允许安装偏差为纵坐标作图 2。由图 2 可知，选取不同的管径与壁厚组合下，最大允许安装偏差均随偏差段管长增大而增大，且斜率随着偏差段管长增大不断增加。组合 1/2/3 最大允许安装偏差由 0.5 米时的 0.4 mm/0.3 mm/0.3 mm，增大到 4 米时的 19.2 mm/15.5 mm/12.2 mm。整个变化曲线可以用幂函数得到非常好的拟合。

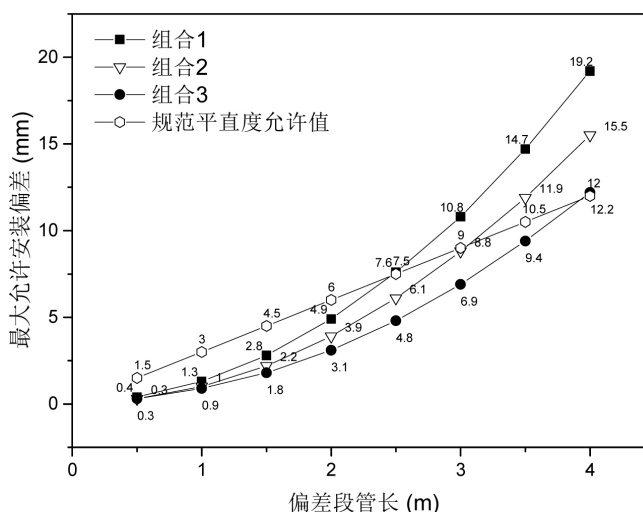


Figure 2. The diagram of the maximum allowable installation deviation as a function of the length of the deviation section
图 2. 最大允许安装偏差随偏差段管长变化图

由图 2 可以看出，最大允许安装偏差随着偏差段管长呈现先慢后快的幂函数增长关系。这说明随着偏差段管长增大，单位偏差段管长能承受的安装偏差会增大，或者说管道存在着对安装偏差产生的应力的“削减”能力。而规范[12]中对安装允许偏差往往是以偏差段管长的百分比或者指定数值进行限制，这就导致了可能存在一个临界偏差段管长数值，低于此数值时实际最大允许偏差低于规范许用值，安装裕度不足；高于此数值时实际最大允许偏差高于规范许用值，安装裕度过剩。以规范中管道平直度允许值为例，组合 1~3 的临界偏差段管长数值分别为 2.5 米、3 米及 4 米。

4.2. 管道厚薄对安装裕度的影响

由 4.1 可以看出不同管径与壁厚的组合对最大允许安装偏差会产生影响，进而影响安装裕度。而管径与壁厚相互影响，构成了管道厚与薄的直观概念。因此在这里本文固定壁厚不变，变化管径以达到管道厚与薄的变化。管径壁厚组合选取组合 3~6，以偏差段管长为横坐标，最大允许安装偏差为纵坐标作图 3。由图 3 可以看出，在相同偏差段管长下，最大允许安装偏差的大小顺序为：组合 6 < 组合 5 < 组合 4 < 组合 3。由于从组合 3~6 中管径由组合 3 的 323.9 mm 增大到组合 6 的 457.2 mm，在壁厚不变的情况下，管径增大，管道整体变薄，最大允许安装偏差减小，安装裕度减小。

随后本文固定管径不变，变化壁厚来从另一方面实现管道厚与薄的变化。选取组合 3 代表的 DN300 管径，壁厚选择 ASTM 管道标准对照表中对应管径壁厚系列汇总的 8.38、9.53、10.31 mm 三个变量。如图 4 所示，最大允许安装偏差的大小顺序为：8.38 mm < 9.53 mm < 10.31 mm。在管径不变的情况下，壁厚减小，管道整体变薄。最大允许安装偏差减小，安装裕度减小。

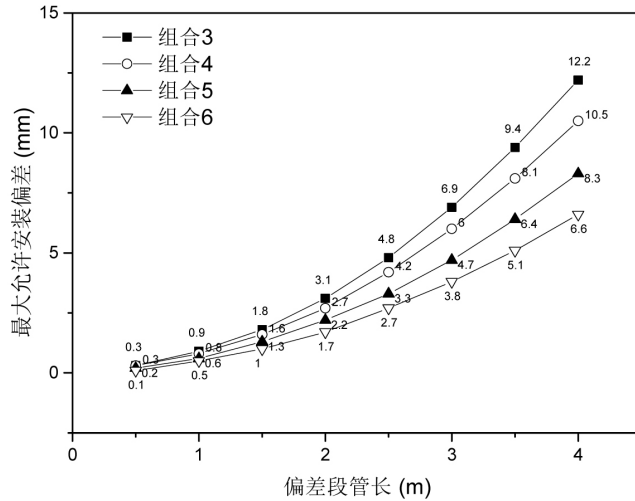


Figure 3. The diagram of the effect of pipe diameter variation on the maximum allowable installation deviation
图 3. 管径变化对最大允许安装偏差的影响图

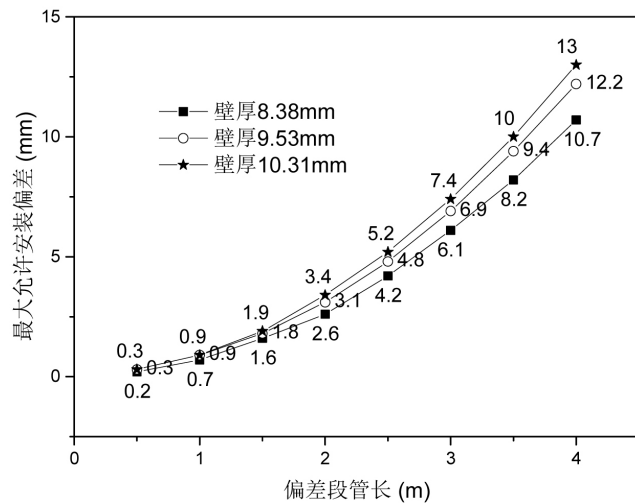


Figure 4. The diagram of the effect of wall thickness variation on the maximum allowable installation deviation
图 4. 壁厚变化对最大允许安装偏差的影响图

因此从总体而言，不论管径增大还是壁厚减小，最终结果如果使得管道整体变薄，那么管道对于安装偏差的容忍能力更低，即安装裕度更小。

4.3. 管道压强对安装裕度的影响

对于民用高层建筑而言，其较高的管道压强是必须考虑的一点，因此再选取常压工况进行计算，并与工作压强(5 MPa)下的最大允许安装偏差进行比对。管径壁厚组合选取组合 1，以偏差段管长为横坐标，最大允许安装偏差为纵坐标作图 5。由图 5 可以看出，在其他条件不变的情况下，常压下管道的最大允

许安装偏差均大于 5 MPa 工作压强下管道的最大允许安装偏差。其原因在于管道内压强的存在会给管道施加轴向与纵向的压力，而这些压力最终会参与到评判一次应力的综合应力的计算中。相对应的用于承受由于安装偏差产生的综合应力的裕度减少了，因此其他条件不变时最大允许安装偏差会对应减少，安装裕度减小。且两者的差距随着偏差段管长的不断增大而扩大。这可以解释为管道对安装偏差产生的应力的“削弱”效果。

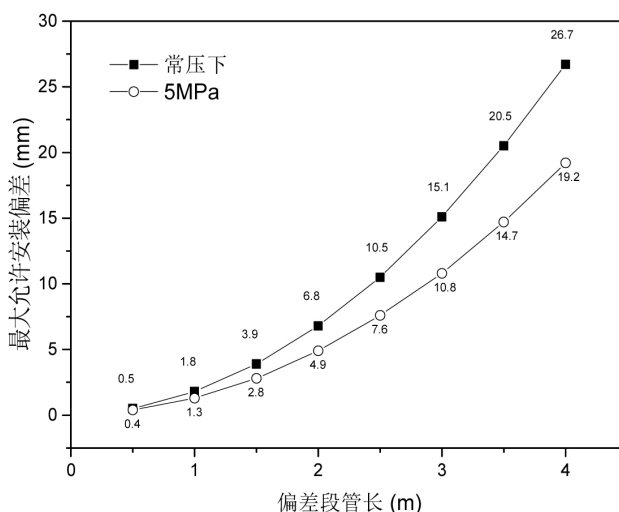


Figure 5. The diagram of the effect of pipe pressure on the maximum allowable installation deviation
图 5. 管道压强对最大允许安装偏差的影响图

5. 结论

本文针对民用高层建筑管道安装裕度问题，以最大允许安装偏差为量化指标研究了偏差段管长度、管道厚薄、管道压强等因素对安装裕度的影响，得出如下结论：

1) 安装裕度随偏差段管长呈幂函数增长。规范中以偏差段管长的百分比或者指定数值来对安装裕度进行限制，这使得部分情况下会出现一个临界偏差段管长，低于此临界值时安装裕度不足，高于此临界值时安装裕度溢出。

2) 管道越厚，安装裕度越大。保持管径不变增大壁厚或者保持壁厚不变减小管径都会使管道变厚，其他条件不变时安装裕度增大。

3) 管道压强会降低安装裕度，降低幅度随偏差段管长增大而逐渐增大。因此民用高层建筑必须谨慎考虑高压对安装裕度的削减情况。

参考文献

- [1] 龚剑. 我国超高层建筑工程施工关键技术发展[J]. 施工技术, 2018, 47(6): 19-25.
- [2] 王成洋, 白蓉, 蒋韶鑫, 孙方荣. 超高层核心筒墙帽与空心钢管劲性复合楼盖施工技术[J]. 土木工程, 2013, 2(1): 43-48.
- [3] 杨海龙, 贾宇, 陈刚, 等. 超高层建筑平面控制网设计、引测与检核[J]. 施工技术, 2017, 46(23): 43-52.
- [4] 于海申, 林冰, 张连魁, 等. 超高层施工物流通道与悬挑式施工电梯结合施工技术[J]. 施工技术, 2017, 46(23): 116-121.
- [5] 张虎. 建筑给排水工程施工问题的解决对策[J]. 赤峰学院学报·自然科学版, 2015, 31(4): 42-44.
- [6] 张新强. 浅析建筑工程水暖安装出现的问题及对策[J]. 江西建材, 2016(3): 108-108.

- [7] 胡睿. 浅谈民用建筑通风空调安装工程质量控制[J]. 江西建材, 2017(1): 92-93.
- [8] 赵后祝. 暖通空调安装施工中的问题及应对措施[J]. 江西建材, 2016(19): 108-108.
- [9] 逯少森. 管道施工中顶管穿越的缺陷控制及误差校正[J]. 胜利油田职工大学学报, 2008(2): 62-63.
- [10] 刘亮. 管子安装精度控制问题的初步研究[J]. 南方农机, 2017, 48(13): 84-85.
- [11] 工艺管道[S]. US-ANSI, 2016.
- [12] 工业金属管道工程施工及验收规范[S]. CN-GB, 2010.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org