

# 地铁明挖基坑与建筑相邻位置关系的判别

曹平 唐凯 李冀伟

(成都市建筑设计研究院, 610015, 成都//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(GB 50625—2011)对于周边建筑风险等级的评估主要是根据建筑的重要性分类和相邻位置关系综合确定。其中,相邻位置关系的判别仅考虑了地铁基坑工程与建筑上部结构的水平距离的影响,而未考虑建筑基础的影响。通过引入相邻位置关系的影响因子,建立了相应的计算公式以及判别邻近位置关系的方法。同时,基于理论分析和数值分析,提出了考虑地铁基坑工程与建筑上部结构、基础相对位置综合影响的相邻位置关系影响因子的改进计算公式,并据此判别相邻位置关系类别。最后,通过不同方法对浅基础和带地下室建筑的对比分析,阐述了相邻位置关系改进后的判别方法的有效性和合理性。

**关键词** 地铁基坑工程; 邻近建筑; 建筑基础; 相邻关系影响因子

**中图分类号** TU441+6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.12.025

## Judgement of Position Relation Between Open Excavation Metro Foundation Pit and Adjacent Buildings

CAO Ping, TANG Kai, LI Jiwei

**Abstract** The assessment of risk grade of adjacent buildings is mainly based on the importance of buildings and adjacent position relation in Code for Risk Management of Underground Works in Urban Rail Transit (GB 50625—2011). However, the adjacent position relation is judged only considering the influence of the horizontal distance between metro foundation pit and building superstructure, without considering the building foundation influence. By introducing the influencing factors of adjacent position relation, the corresponding computational formula and the method for adjacent position relation judgement are established. Considering the comprehensive influence of the relative position between metro foundation pit and superstructure/foundation of building based on theoretical and numerical analysis, an improved computational formula is proposed. And the classification of adjacent position relation is concluded accordingly. Finally, through the comparative analysis of buildings with shallow foundation and buildings with basement by

different methods, the validity and rationality of the improved judgement method of adjacent position relation are expounded.

**Key words** metro foundation pit project; adjacent building; building foundation; influencing factors of adjacent position relation

**Author's address** Chengdu Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., 610015, Chengdu, China

地铁工程一般位于城市密集区,其工程复杂,施工难度大,潜在的风险种类多,风险损失大<sup>[1]</sup>。为规范城市轨道交通地下工程建设风险管理,统一风险管理的实施技术和执行标准,减少城市轨道交通地下工程建设风险的发生,国家和地方出台了一系列的安全质量管理办法和风险管理规范等<sup>[2-3]</sup>。

在地铁建设中,由施工引起的环境安全风险尤为突出<sup>[4]</sup>。在城市轨道交通工程建设的环境风险管理中,尤其要认真做好环境的识别和风险预控工作,以降低环境的技术风险<sup>[5]</sup>。文献[6]分析了我国地下工程安全风险管理的必要性和紧迫性,并针对风险管理实践中存在的问题提出了合理的建议。文献[6-9]等研究大多集中于地铁基坑的变形规律,而对于周边环境的风险等级评估研究甚少。GB 50625—2011《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(以下简称“《规范》”)对于建筑风险等级评估中的相邻位置关系定义存在一定模糊性,导致明挖法施工地铁基坑与周边建筑相邻位置关系的判别存在问题,亟待完善。

## 1 建筑风险的辨识与分级

### 1.1 地铁明挖基坑工程与建筑邻近位置关系分类

《规范》根据建筑上部结构与地铁基坑的最小距离 $L$ ,对地铁明挖基坑工程与周边建筑的相邻位置关系(以下简为“相邻关系”)进行分类,见表1。

表 1 相邻关系分类<sup>[1]</sup>

Tab. 1 Classification of adjacent position relation <sup>[1]</sup>				
项目	非常接近	接近	较接近	不接近
$L$	$<0.7 H$	$0.7 H \sim <1.0 H$	$1.0 H \sim <2.0 H$	$\geq 2.0 H$

注: $H$ 为地铁基坑的深度。

对于相邻关系的判别,本文引入相邻关系影响因子 $a$ ,有

$$a = L/H \tag{1}$$

根据式(1),表 1 相邻关系分类可相应调整为由 $a$ 判别,见表 2。

表 2 相邻关系影响因子与相邻关系类别对应表  
Tab. 2 Correspondence between influencing factors and classification of adjacent position relation

非常接近	接近	较接近	不接近
$a<0.7$	$0.7 \leq a<1.0$	$1.0 \leq a<2.0$	$a \geq 2.0$

由表 2 可知, $a$  越小,地铁基坑与周边建筑越近,地铁基坑施工对周边建筑的影响风险越大。

1.2 建筑风险分级

综合建筑重要性分类及相邻关系,《规范》建立了城市轨道交通地下工程施工环境影响的风险等级评估,见表 3。

表 3 城市轨道交通地下工程施工环境影响的风险分级<sup>[1]</sup>  
Tab. 3 Risk grade of the environmental impact of urban rail transit underground construction<sup>[1]</sup>

风险等级	周边建筑的设施重要性类别	相邻关系
I 级	重要设施	非常接近
	重要设施	接近
II 级	一般设施	非常接近
	重要设施	较接近
III 级	一般设施	接近
	重要设施	不接近
IV 级	一般设施	较接近

注:①注意分析地下工程施工方法及穿越邻近形式;②需考虑现场邻近设施保护要求和特点进行具体分析;③风险评估可根据施工方法适当进行等级调整。

由表 3 可知,周边建筑的风险等级由其重要性类别及相邻关系综合确定。可见,相邻关系的准确判别对于风险等级的划分尤为重要。

2 相邻关系判别方法的改进

2.1 相邻关系判别的影响因素

根据上文可知,《规范》对邻近关系的判别主要考虑 $H$ 及 $L$ 两因素。但实际情况更为复杂。工程实践和相关理论研究表明,地铁基坑施工对周边建筑最直接最敏感的影响是引起地基的变形,导致建

筑基础的沉降和差异沉降,进而引起建筑上部结构的变形<sup>[10]</sup>。

如图 1 所示:带地下室的建筑 A、建筑 B 及建筑 C,其上部结构均为 9 层框架结构,且其上部结构与地铁基坑工程的水平距离均相等;仅因地下室层数不同而导致各建筑的基础埋深不同,即地铁基坑与建筑基础的高差不同。如按《规范》判别,则地铁基坑工程同建筑 A、建筑 B 及建筑 C 的邻近关系均相同,故风险评估等级也相同。然而工程实践表明,由于建筑基础埋深差异较大,建筑 A、建筑 B 及建筑 C 的工程风险存在明显的差异。

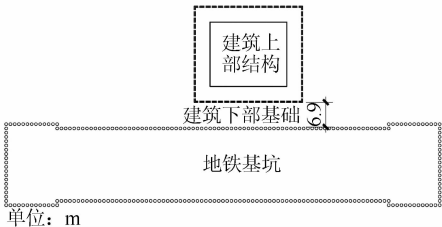


图 1 地铁基坑与建筑平面关系图

Fig. 1 Diagram of plane relation between metro foundation pit and adjacent buildings

以北京地区某地铁基坑为例,其基坑深度范围内的各地层物理力学参数见表 4。

表 4 地层物理力学参数  
Tab. 4 Physical and mechanical parameters of soil

地层	重度/( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	黏聚力/ $\text{kPa}$	内摩擦角/( $^\circ$ )	层厚/ $\text{m}$
素填土	18.4	8	10	2.0
黏质粉土	20.0	12	30	5.8
粉质黏土	19.7	20	18	9.2
黏土	18.2	30	15	15.2
砂质粉土	20.2	10	32	20.0
粉质黏土	20.5	35	15	24.8

按图 1 和图 2 所示的邻近关系,建筑上部结构为框架结构体系,地铁基坑工程深约为 16.6 m,基坑围护结构采用钻孔灌注桩(桩径为 0.8 m,桩间距为 1.2 m),竖向设置 3 道钢支撑。

利用 MIDAS GTS 软件进行数值分析,探讨地铁基坑与建筑邻近关系对建筑风险等级评估的影响。图 3~图 5 为地铁基坑开挖至底部后,建筑 A、建筑 B 及建筑 C 的沉降云图。

由数值分析结果可知:建筑 A、建筑 B 及建筑 C 的最大沉降量分别是 29.60 mm、18.64 mm 及 16.90 mm;建筑 A 最大沉降量比建筑 C 最大沉降量约大 75.1%;建筑 A、建筑 B 及建筑 C 的差异沉降分别是 0.000 79、0.000 66、0.000 54;建筑 A 差异沉降值比

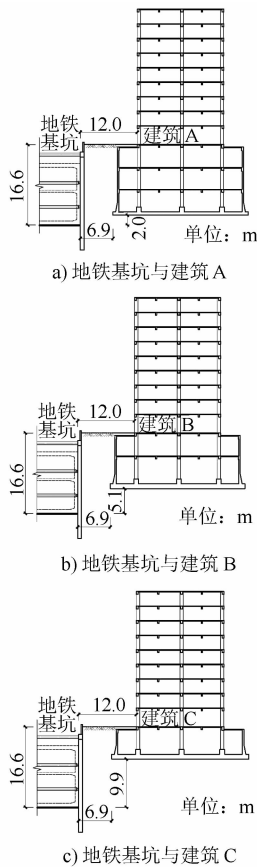


图 2 地铁基坑与建筑剖面图

Fig. 2 Section of metro foundation pit and adjacent buildings

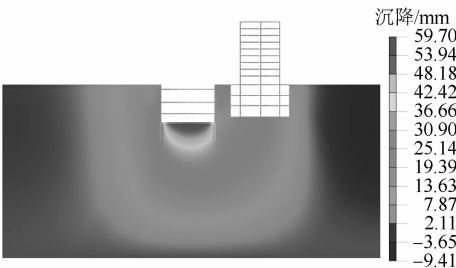


图 3 地铁基坑对建筑 A 影响的沉降云图

Fig. 3 Subside nephogram of influence of metro foundation pit on building A

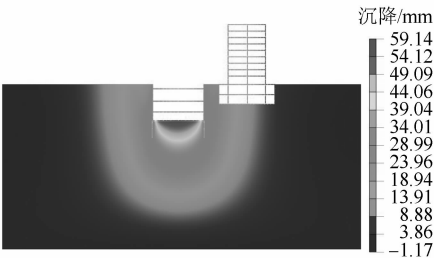


图 4 地铁基坑对建筑 B 影响的沉降云图

Fig. 4 Subside nephogram of influence of metro foundation pit on building B

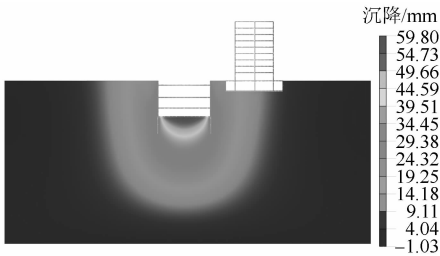


图 5 地铁基坑对建筑 C 影响的沉降云图

Fig. 5 Subside nephogram of influence of metro foundation pit on building C

建筑 C 差异沉降值约大 46.4%；建筑地基的主要变形路径指向开挖后的基坑内侧。进一步分析可知：随着邻近建筑基础埋深的增大，邻近建筑基础与基坑坑底的竖向间距减小，地铁基坑的坑底隆起和建筑邻近基坑一侧的沉降也随之加剧，且建筑沉降和差异沉降均显著增大。可见，建筑基础与地铁基坑的相对位置关系对于其风险评估的影响不容忽视。

建筑的上部结构以墙、柱与基础相连，基础底面又直接与地基相接触。一方面，由上部结构产生的附加应力通过建筑基础传递给地基，进而对邻近的地铁基坑工程产生侧压力引起基坑变形；另一方面，在建筑地基范围内的地铁基坑变形，将引起建筑基础产生沉降和差异沉降，进而引起建筑上部结构的变形。因此，地铁基坑变形和建筑变形是通过地基基础沉降而相互作用的结果。

根据以上分析，结合《规范》的相关条款可知，地铁基坑自身特征、地铁基坑与建筑上部结构的位置关系、地铁基坑与建筑基础的位置关系是判别地铁基坑与建筑邻近位置关系的主要因素。如图 6 所示具体参数为：①地铁基坑深度  $H$ ；②地铁基坑与建筑地上结构的水平距离  $L$ ；③地铁基坑与建筑地下结构的水平距离  $l$ ；④  $H$  与建筑基础埋深  $h$  的高差  $\Delta h$  ( $\Delta h = H - h$ )。

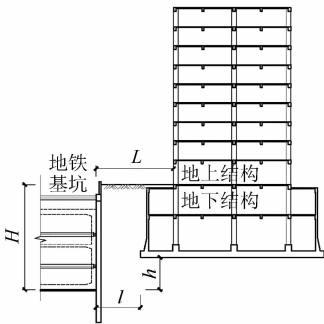


图 6 相邻关系判别的影响因素

Fig. 6 Influencing factors for judging the adjacent relation

2.2 地铁基坑与建筑基础的位置关系的影响

由工程实践经验和数值分析结果可知:建筑的风险随着 $l$ 的增大而减小,随着 $\Delta h$ 的增大而减小;建筑的沉降及差异沉降均随着 $\Delta h$ 的增大而减小。

2.3 相邻关系影响因子的改进

根据建筑风险与其影响因素的定性变化趋势,结合建筑风险与相邻关系影响进行分析发现: $a$ 随 $H$ 的增大而减小、随 $L$ 的增大而增大、随 $l$ 的增大而增大、随 $\Delta h$ 的增大而增大。此外,考虑到与《规范》既有规定的衔接,本文提出改进后的相邻关系影响因子 $b$ :

$$b = (L + l + H - \Delta h)/(3H) \tag{2}$$

根据 $b$ 判别地铁基坑与周边建筑的邻近位置关系见表5。

表5 地铁明挖基坑工程与周边建筑的邻近位置关系分类改进

Tab.5 Improved classification of adjacent position relation between metro open excavation foundation pit and adjacent buildings

非常接近	接近	较接近	不接近
$b < 0.7$	$0.7 \leq b < 1.0$	$1.0 \leq b < 2.0$	$b \geq 2.0$

2.4 按 $a$ 与 $b$ 进行邻近位置关系判别的对比

对于 $h \approx 1.5$  m的浅基础建筑,若 $H \approx 16.6$  m, $L = l$ ,则 $a$ 与 $b$ 随 $l$ 的变化见图7。由图7可知:在相邻关系影响因子介于0.7~1.0的区段,即“非常接近”与“接近”、“接近”与“较接近”的类别敏感区段, $a$ 与 $b$ 差别不大,说明本文的改进方法与规范的评价方法相差较小;在“非常接近”和“不接近”范围, $a$ 与 $b$ 虽相差较大,但基本不影响相邻位置关系的判别。可见,在判别地铁明挖基坑与浅基础建筑相邻位置关系时,采用本文改进方法与《规范》评价方法的结论基本一致。

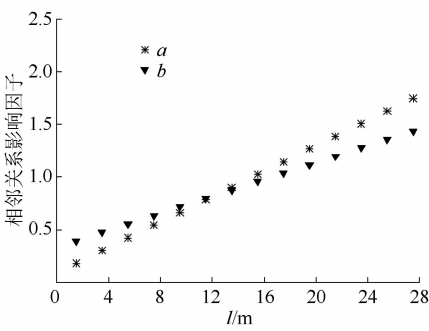


图7 浅基础建筑相邻关系影响因子的对比  
Fig.7 Comparison of influencing factors of adjacent relation of shallow foundation buildings

当 $H \approx 16.6$  m,且 $L = 12$  m时,在 $l$ 不同的条件下,相邻关系影响因子随 $\Delta h$ 的变化见图8。由图8可知:如 $h_1$ 越小(即 $\Delta h$ 越大),或 $l$ 越大,则 $a$ 与 $b$ 越接近,相邻位置关系的判别趋于一致;反之,如 $l$ 越小或 $h_1$ 越大(即 $\Delta h$ 越小),则本文改进的相邻关系影响因子同规范的计算方法偏离越大,相邻关系分类的判别可能不一致。

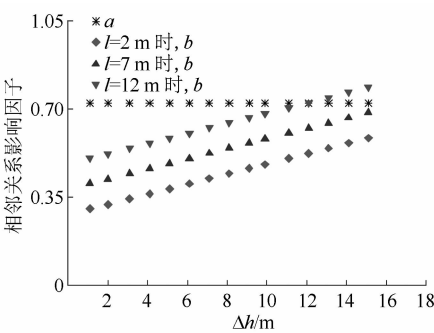


图8  $l$ 不同条件下相邻关系影响因子的对比  
Fig.8 Comparison of influencing factors of adjacent relation between building foundation and metro foundation pit under different distance conditions

3 结语

针对《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(GB 50625—2011),根据地下工程周边环境设施重要性和邻近影响距离关系评估周边建筑风险的等级中相邻关系的判别,通过引入相邻关系影响因子的概念,结合考虑建筑基础与地铁基坑工程相对位置关系的影响,通过理论分析和数值模拟,得出以下研究成果:

- 1) 影响建筑邻近关系的主要因素为:地铁基坑深度、地铁基坑与建筑上部结构的距离、地铁基坑与建筑地下结构距离、地铁基坑与建筑基础的高差。
- 2) 基于规范的基本思路,分析建筑邻近关系的影响因素,并在规范的基础上建立了相邻关系影响因子与邻近关系种类的对应关系。
- 3) 通过分析地铁基坑与建筑地下结构的距离、地铁基坑与建筑基础的高差对建筑风险的影响,结合考虑相邻关系影响因子与建筑风险的关系,提出了考虑建筑基础与地铁基坑工程相对位置关系改进的相邻关系影响因子计算公式,并据此判别地铁基坑与建筑的邻近关系,改进后的方法简单明了,可操作性强。

4) 对于基础埋深小的建筑,改进后的相邻关系影响因子计算结果与现规范的计算方法有一定的

差别,但相邻关系的类别判别基本一致。

5) 对于基础埋深大的建筑,改进后的相邻关系影响因子计算方法与现规范计算方法的差别较大。由于本文改进的计算方法考虑建筑基础的影响,当建筑基础与地铁基坑相距越小或建筑基础埋深越大时,本文改进的相邻关系影响因子同规范的计算方法偏离越大,因此,相邻关系的分类可能不一致。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范:GB 50652—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011: 76.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for risk management of underground works in urban rail transit:GB 50652—2011[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2011: 76.
- [2] 吕培印. 城市轨道交通建设安全保障技术现状与发展[J]. 都市快轨交通,2017(1): 7.  
LYU Peiyin. Presentsituation and development of security technology for urban rail transit construction[J]. Urban Rapid Rail Transit,2017(1): 7.
- [3] 骆建军,张顶立,王梦恕,等. 地铁施工对邻近建筑安全风险[J]. 岩土力学,2007(7): 1477.  
LUO Jianjun,ZHANG Dingli,WANG Mengshu,et al. Security risk management of neiboring buildings during metro construction[J]. Rock and Soil Mechanics,2007(7): 1477.
- [4] 张顶立. 城市地下工程施工诱发的安全事故及其控制[J]. 科技导报,2017(5): 31.  
ZHANG Dingli. Safety accidents induced by urban underground engineering and control[J]. Science & Technology Review, 2017(5): 31.
- [5] 赵斌. 城市轨道交通建设中环境风险管理策略[J]. 都市快轨交通,2009(1): 32.  
ZHAO Bin. Environmental risk management strategy in urban rail transit construction[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2009

(1): 32.

- [6] 王卫东,徐中华. 预估深基坑开挖对周边建筑影响的简化分析方法[J]. 岩土工程学报,2010(增刊1): 32.  
WANG Weidong,XU Zhonghua. Simplified analysis method for evaluating excavation-induced damage of adjacent buildings[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2010(S1): 32.
- [7] 吴烽波,金淮,朱少坤. 北京市轨道交通基坑工程地表变形特性[J]. 岩土力学,2016(4): 1066.  
WU Fengbo, JIN Huai, ZHU Shaokun. Ground deformation characteristics of foundation pit related to the urban rail transit in Beijing[J]. Rock and Soil Mechanics,2016(4): 1066.
- [8] 郑刚,朱合华,刘新荣,等. 基坑工程与地下工程安全及环境影响控制[J]. 土木工程学报,2016(6): 1.  
ZHENG Gang,ZHU Hehua,LIU Xinrong,et al. Control of safety of deep excavations and underground engineering and its impact on surrounding environment[J]. China Civil Engineering Journal,2016(6): 1.
- [9] 李淑. 基于变形控制的北京地铁车站深基坑设计方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2013.  
LI Shu. Study on design of Beijing subway station deep excavation based on deformation controlling[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2013.
- [10] 钱七虎,戎晓力. 中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议[J]. 岩石力学与工程学报,2008(4): 649.  
QIAN Qihu,RONG Xiaoli. State, issues and relevant recommendations for security risk management of China's underground engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2008(4): 649.
- [11] 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. 建筑地基基础规范:GB 50007—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China,General Administration of Quality Supervision,Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of building foundation: GB 50007—2011[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2011.

(收稿日期:2019-07-15)

## 习近平总书记出席中老铁路通车仪式

中共中央总书记、国家主席习近平12月3日下午在北京同老挝人民革命党中央总书记、国家主席通伦通过视频连线共同出席中老铁路通车仪式。中老双方有关部门和地方负责人、工程建设者代表、有关国家驻昆明总领事、驻老使节等分别在中国昆明站分会场、老挝万象站分会场参加仪式。老挝副总理宋赛和中国国家铁路集团有限公司负责人分别向两国元首汇报通车准备情况。两国元首分别致辞(见第215页)。万象站列车驾驶员报告:“发车准备完毕,请通伦主席下达指令。”通伦下达指令:“发车!”昆明站列车驾驶员报告:“报告习主席,中老铁路首发旅客列车C3次准备完毕,请指示。”习近平下达指令:“发车!”中方客运列车C3次在昆明站1道、老方客运列车C82次在万象站1道同时发车。通车仪式在《中老人民友谊之歌》中圆满结束。中老铁路北起中国云南昆明,南至老挝首都万象,是第一条采用中国标准、中老合作建设运营,并与中国铁路网直接连通的境外铁路,全长1 035 km。通车后,昆明到万象10 h可通达。

(摘自2021年12月4日央广网·新闻和报纸摘要,记者 刘会民报道)