

近接新建地铁既有污水管道安全性分析

王庆磊, 李文江, 孙洪硕, 刘阳

(石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:石家庄地铁1号线市招待所段至北国商城段为左右两线, 区间隧道上方靠近一既有污水管道, 污水管已使用60 a。整条区段上污水管道与隧道呈一定夹角, 角度较小。其中靠近地铁车站k10+928.290~k10+943.59区间隧道断面尺寸有所扩大, 且污水管底板距离左线隧道拱顶仅6.8 m, 该区段既有污水管在隧道开挖过程中可能存在安全风险, 并且受污水管可能的渗水影响, 隧道本身开挖过程中也存在稳定问题。分别分析了隧道开挖过程中既有污水管底板、边墙和拱部横向和纵向应力分布规律, 并通过分析纵向不均匀沉降和纵向应力分布的关系, 对隧道开挖过程中既有污水管的破坏机制进行了探讨。最后针对工程特点, 提出了改进的超前加固方案。石家庄地铁为石家庄市新建工程, 对工程后续建设具有一定的借鉴意义。

关键词:新建地铁; 既有污水管道; 安全性

中图分类号: TU94+2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)02-0041-06

1 工程概况

石家庄地铁1号线市招待所段至北国商城段为左右两线, 区间隧道上方靠近一既有污水管道, 该污水管道底板采用1:5水泥砂浆砌片石, 边墙采用1:5水泥砂浆砖砌, 污水管已使用60 a。在整条区段上, 污水管道与隧道走向呈一定夹角, 角度较小。其中k10+928.290~k10+943.59段区间隧道靠近地铁车站, 断面尺寸有所扩大, 隧道宽度8.48 m, 高度9.37 m。区间隧道主要穿越粉质黏土层和中粗砂层。由于污水管道离隧道较近, 且隧道断面尺寸较大, 隧道开挖过程中, 污水管可能存在安全风险, 且受污水管可能的渗水影响, 隧道本身开挖过程中也存在稳定性问题。污水管道与新建地铁区间隧道的位置关系如图1所示。

2 有限元模型

为分析新建地铁隧道开挖过程中既有污水管道的受力状态及安全性, 利用大型有限元软件 ANSYS 建立三维有限元计算模型, 对地铁隧道施工过程进行了数值模拟^[1]。区间隧道模型尺寸为8.48 m×9.37 m (宽×高), 为减小边界约束效应, 计算范围应按左右边界距离隧道中心线3~5倍的洞径考虑, 底部边界距隧道底部距离3~5倍的隧道高度考虑。本模型计算范围: 横向100 m, 纵向50 m, 下边界距轨顶面21.5 m。模型上顶面为自由面, 其余边界面均施加法向约束。具体模型如图2所示。

3 隧道施工中污水管的安全性分析

为便于分析, 将模型中部断面, 即 $Z=25$ m处断面作为监测断面。同时为消除边界影响, 提取既有管道监测面前后各10 m范围内计算数据作为分析对象不同工况下, 既有污水管底板纵向和横向应力分布情况如图3、图4所示。

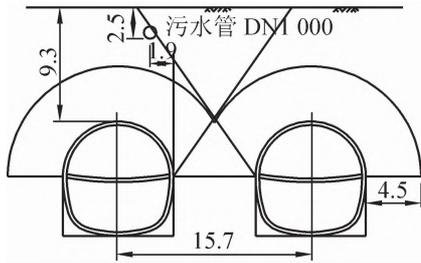


图 1 污水管道与区间位置关系图(单位:m)

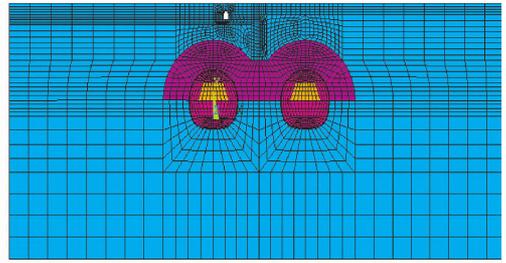


图 2 模型正面图

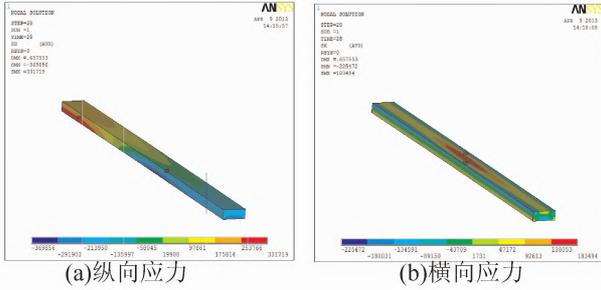


图 3 左线开挖至监测面处污水管底板沿管道纵向、水平横向应力(单位:Pa)

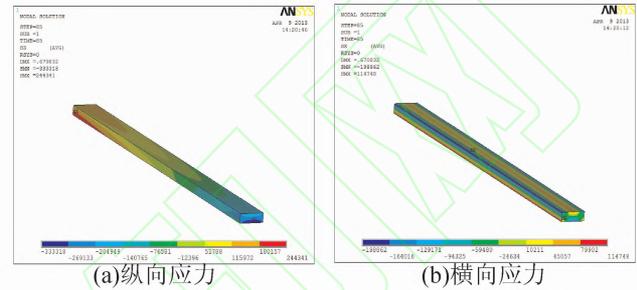


图 4 右线开挖至监测面处污水管底板沿管道纵向、水平横向应力(单位:Pa)

根据计算结果,当左线隧道开挖至监测面位置时,监测面前方 10 m 范围内,纵向拉应力值均大于 120 kPa,根据《砌体结构设计规范》,M10 水泥砂浆的极限抗拉强度约为 220 kPa^[2],考虑到污水管已使用 60 a 以及可能存在渗水的影响,其极限抗拉强度应进行折减 50%,研究中按 110 kPa 考虑。可见,在监测面前方 10 m 范围内,底板纵向拉应力值均超过了水泥砂浆的极限抗拉强度,横向拉应力主要集中在底板中部,且在监测面处横向水平应力达到最大值 160 kPa,也超出了水泥砂浆的极限抗拉强度,因此,左线隧道的开挖过程中,既有污水管的底板存在纵向和环向开裂的风险。

右线开挖至监测面时,在监测面前方 5 ~ 10 m 范围内纵向应力均超出了水泥砂浆的极限抗拉强度。从计算结果来看,右线隧道的开挖虽然在一定程度上可缓解既有管道结构的受拉程度,但在新建隧道掌子面近区前方位置既有管道的受拉破坏风险仍不能忽视。

不同工况下,既有污水管边墙纵向应力分布情况如图 5、图 6 所示。

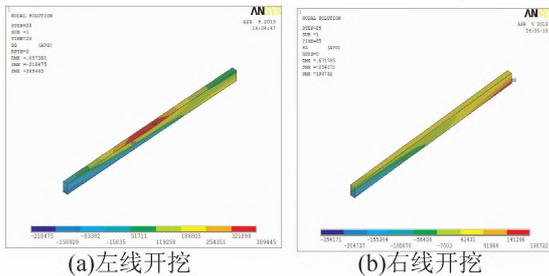


图 5 左线和右线开挖至监测面处污水管右边墙沿管道纵向应力(单位:Pa)

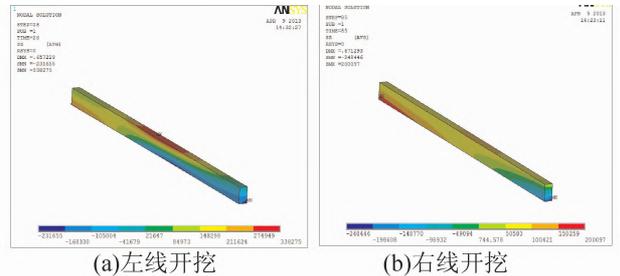
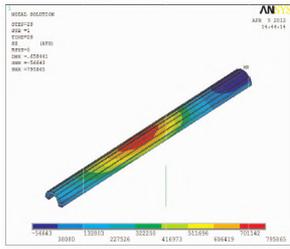


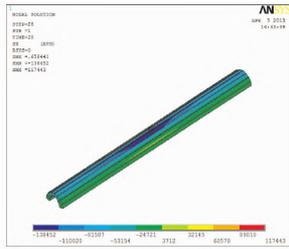
图 6 左线和右线开挖至监测面处污水管左边墙沿管道纵向应力(单位:Pa)

根据计算结果可以看出,在新建隧道的开挖过程中,既有污水管边墙的纵向应力分布与底板有明显不同。当左线隧道开挖至监测面位置时,对于既有污水管左边墙和右边墙,均会在监测面附近出现应力集中。右边墙在监测面位置的纵向拉应力达到 389 kPa,而左边墙在监测面位置的纵向拉应力达到 338 kPa,均已超过水泥砂浆的极限抗拉强度。右线隧道开挖至监测面位置时,既有污水管边墙的纵向应力分布与左线隧道开挖至监测面位置时边墙的纵向应力分布相比,也有所不同。右线开挖至监测面位置时,对于左边墙和右边墙,均会在监测面前方 10 m 处(而非监测面附近位置)出现应力集中,纵向应力均已超出水泥砂浆的极限抗拉强度,因此左右线隧道的施工会导致既有污水管边墙环向拉裂的风险。

不同工况下,既有污水管拱部纵向应力分布情况如图 7、图 8 所示。

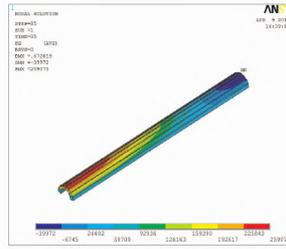


(a)纵向应力

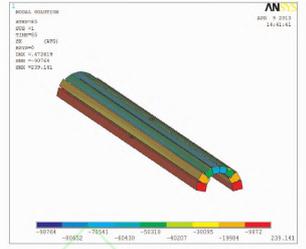


(b)横向应力

图 7 左线开挖至监测面处污水管拱部沿管道纵向、水平横向应力(单位:Pa)



(a)纵向应力



(b)横向应力

图 8 右线开挖至监测面处污水管拱部沿管道纵向、水平横向应力(单位:Pa)

对于既有污水管拱部,左线隧道开挖会在监测面附近位置出现纵向拉应力集中,在监测面位置纵向拉应力达到 796 kPa,已经远远超出了水泥砂浆的极限抗拉强度,而右线隧道开挖,监测面后方 10 m 位置纵向拉应力达到 260 kPa,也超出了水泥砂浆的极限抗拉强度。与污水管底板和边墙不同,拱部的纵向压应力出现在监测面前方 5 ~ 10 m 范围内,且压应力值不大。

4 隧道施工中的污水管纵向不均匀沉降

由于新建隧道距离既有污水管道较近,隧道开挖不可避免地会导致污水管纵向产生不均匀沉降,如果不均匀沉降值过大,将严重影响既有污水管道的安全。为便于分析污水管纵向沉降规律,仍将模型中部断面,即 $Z = 25$ m 处断面作为监测断面。同时为消除边界影响,提取既有管道监测面前后各 10 m 范围内计算数据作为分析对象,分别研究既有污水管边墙、拱部和底板在纵向的沉降分布。

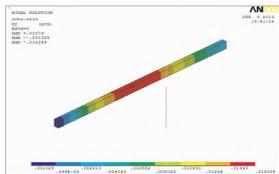
4.1 隧道施工中边墙的不均匀沉降

既有污水管道右边墙纵向沉降分布情况如图 9 所示。

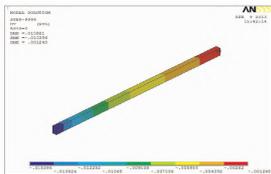
可以看出,在左线开挖过程中,由于污水管道离左线隧道很近,在左线隧道施工过程中,加固圈靠近管道,受加固圈的影响,左线隧道开挖后,右边墙整体发生向上的位移。在监测面处位移值最大,约为 1.4 cm。管道由于离右线隧道较远,右线开挖已基本消除加固圈的影响,管道整体开始下沉。监测面(上台阶掌子面)后方沉降值较大,前方沉降较小。纵向不均匀沉降值 1.3 cm。

4.2 隧道施工中拱部的不均匀沉降

污水管拱部纵向沉降分布情况见图 10 所示。

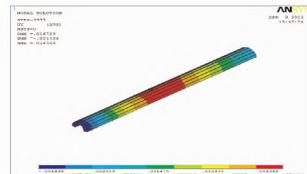


(a)左线开挖

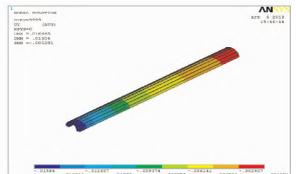


(b)右线开挖

图 9 开挖至监测面处污水管右边墙不均匀沉降(单位:m)



(a)左线开挖



(b)右线开挖

图 10 开挖至监测面处污水管拱部不均匀沉降(单位:m)

拱部纵向不均匀沉降的变化规律与边墙基本相同。左线施工中,污水管由于离左线较近,受其超前加固的影响,拱部中间位置产生上移,位约为 1.4 cm。右线开挖时,由于污水管离右线距离较远,基本消除了相互影响,掌子面后方沉降较大,前方沉降较小,纵向最大不均匀沉降 1.3 cm。

4.3 隧道施工中底板的不均匀沉降

既有污水管底板纵向沉降分布情况见图 11。

底板的纵向不均匀沉降规律与边墙和拱部一致,沉降受左线开挖的影响较大。右线的开挖底板最大纵向不均匀沉降 1.3 cm。



图 11 开挖至监测面处污水管底板不均匀沉降(单位:m)

5 纵向不均匀沉降与纵向应力分布的关系

经观察分析可知,对于污水管底板、边墙和拱部,纵向不均匀沉降和纵向应力的分布变化规律一致。以底板为例,提取底板路径上的纵向应力和纵向不均匀沉降,不均匀沉降与纵向应力分布见图 12、图 13。

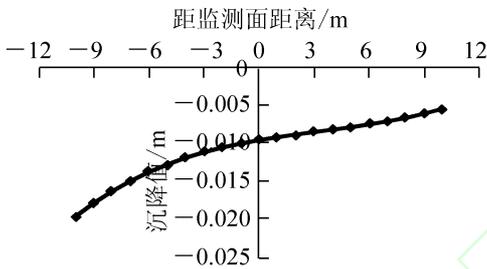


图 12 底板纵向不均匀沉降

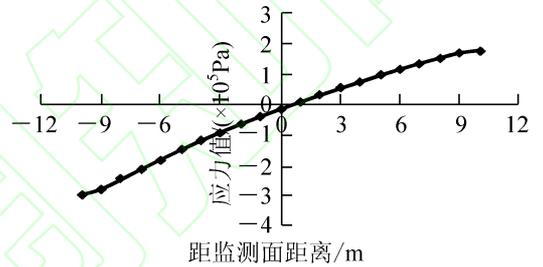


图 13 底板纵向应力

可见,纵向不均匀沉降是导致纵向应力调整的直接原因。对于底板和边墙,监测面前方距监测面越远沉降较小而纵向拉应力越大,拱部最大拉应力出现在监测面后方,如果能减小由于隧道开挖造成的污水管纵向不均匀沉降,可以有效减小纵向拉应力的集中。

6 隧道施工中的稳定性问题

由于新建隧道埋深较浅(仅 9.3 m),各土层物理学参数较低,隧道开挖过程中可能存在稳定性问题。加上左右两线隧道距离较为接近(仅 15.7 m),隧道施工过程中左右两线也存在相互影响问题。现从隧道开挖的变形响应及塑性区两方面对隧道稳定性进行研究^[3]。

6.1 隧道开挖的变形响应

左线拱顶沉降、水平收敛和底部隆起与开挖的关系见图 14 ~ 图 16。

左线开挖初期,拱顶沉降值不大,且沉降速率较小,当开挖至监测断面时,拱顶沉降急剧增大,之后沉降速率开始降低至 0,左线速到开挖完毕,拱顶沉降稳定在 3.7 cm。水平位移当开挖至监测断面时开始急剧增大,达到 2 cm。之后水平位移速率降低至 0,至左线开挖完成,基本稳定在 2 cm。由于受右线隧道的影响,右线开挖使左线水平位移发生 5 mm。至两线贯通,左线水平位移稳定在 2.5 cm 左右。底部隆起初期较小,基本为 0,当开挖至监测断面时,底部隆起值开始急剧增大,达到 14 cm。之后隆起变形速率降低至 0,底部隆起至左线开挖完成,基本稳定在 14 cm。

右线拱顶沉降、水平收敛和底部隆起与开挖的关系见图 17 ~ 图 19。

右线开挖过程初期,拱顶沉降速率较小,当开挖至监测断面时,拱顶沉降急剧增大,之后沉降速率开始降低至 0,全线开挖完毕,拱顶沉降稳定在 3.5 cm。水平收敛初期较小,当左线开挖至 25 m 时,右线隧道水平收敛受到影响,约为 5 mm。当开挖至右线监测断面时,水平位移开始急剧增大,达到 2.5 cm。之后水平位移速率降低至 0,水平位移至全线开挖完成,基本稳定在 2.5 cm。右线开挖初期,底部隆起当开挖至监测断面时开始急剧增大,达到 13 cm。之后隆起变形速率降低至 0,底部隆起至右线开挖完成,基本

稳定在 13 cm。

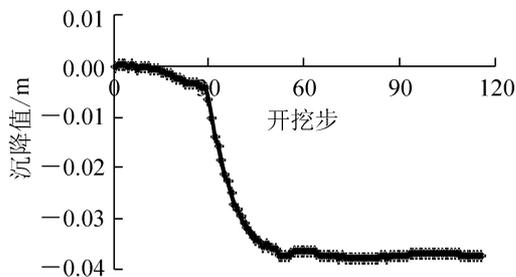


图 14 左线拱顶沉降与开挖步的关系

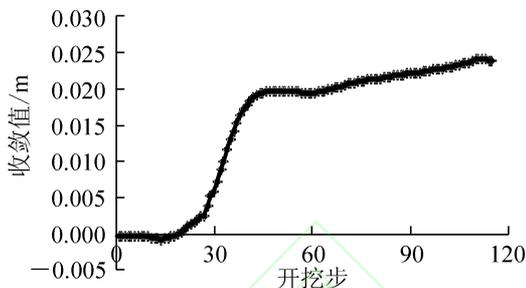


图 15 左线水平收敛与开挖步的关系

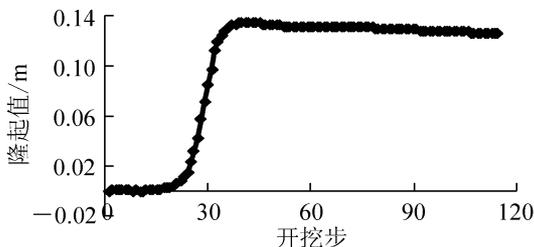


图 16 左线底部隆起与开挖步的关系

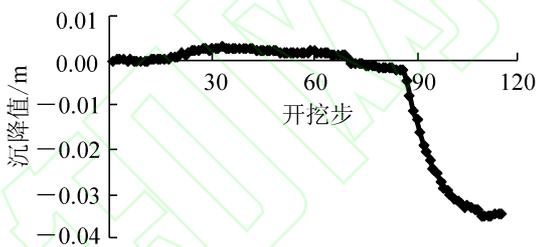


图 17 右线拱顶沉降与开挖步的关系

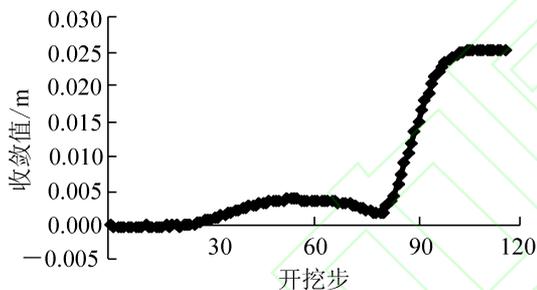


图 18 右线水平收敛与开挖步的关系

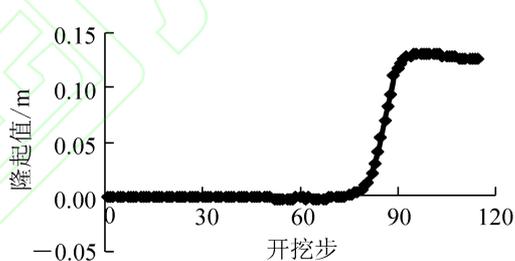


图 19 右线底部隆起与开挖步的关系

6.2 塑性区

最终区间隧道全部挖通以后隧道塑性区云图见图 20。隧道开挖过程中,会在拱脚处出现塑性区。且范围较大。左右两线由于相隔较近,塑性区在拱脚位置贯通,因此拱脚为开挖过程中的薄弱部位,应重点加固。

7 结论

(1)既有污水管受隧道开挖影响,会产生纵向不均匀沉降,不均匀沉降会导致掌子面前方 10 m 范围内污水管底板、边墙和拱部纵向拉应力超出水泥砂浆的极限抗拉强度,掌子面前方 10 m 范围内污水管在隧道施工中存在重大安全隐患。

(2)由于既有污水管纵向不均匀沉降是导致纵向拉应力集中的主要原因,施工中应控制掌子面前方地层的不均匀沉降。建议超前支护措施改用超前大管棚,管棚长度 20 m,掌子面后方污水管也存在一定的安全风险,因此建议采用径向小导管注浆,以改善地层。

(2)区间隧道开挖过程中,可能受污水管渗水影响,加之两线隧道距离较近,塑性区会在隧道中间岩体处贯通,施工中应对中间岩体进行加固。

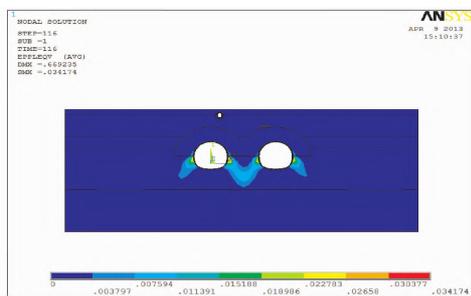


图 20 开挖完成后的塑性区

2); 1692- 1696.

[9]孙宏宝. 地铁达官营站洞桩法开挖稳定性分析及地震作用下结构响应研究[D]. 北京:北京科技大学,2012.

Simulation Investigation on Numerical Value of Hole- stake Excavation in Daguanying Station of Beijing Subway Line 7

Zhang Wenjin

(CRCC China- africa Construction Limited, Beijing 100855, China)

Abstract: The thesis simulates the excavation process of Daguanying Station under the statics function, studying the sedimentation of earth's surface, the distortion of bridge groundwork, pipe and circuitry, and the structure stress of station of all the construction stages. The study shows that the most sedimentation of No. 2 bridge groundwork and each pipe and circuitry exceeds the limit value, and it is necessary to strengthen inspection and adopt control measure in construction. The middle stake must also be inspected and controlled carefully because it is the main stress structure which supports the vertical and shear loading and is at the worst position.

Key words: subway station; hole- stake excavation; FLAC3D; sedimentation; stability

(责任编辑 车轩玉)

(上接第 45 页)

参 考 文 献

- [1]钱家欢,殷宗泽. 土工数值分析[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.
 [2]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB5003—2011 砌体结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
 [3]朱永全,张素敏,景诗庭. 隧道稳定性位移判别的概念和划分[J]. 河北省科学院学报, 1996, 13(3) : 208-210.

Safety Analysis of Sewage Pipe Under Nearby New Subway

Wang Qinglei, Li Wenjiang, Sun Hongshuo, Liu Yang

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuangi 050043, China)

Abstract: Metro Line 1 from City Hostel to North Mall in Shijiazhuang has two lanes, the top of which is close to a sewage pipe that has been used for 60 years. There is a small angle between the sewage pipe and the tunnel. The section size of tunnel segment k10 + 928. 290 ~ k10 + 943. 59 near a metro station is larger and there is only about 6. 8 meters from the base plate of the sewage pipe to the top of the left tunnel. The sewage pipe in this section maybe face risk during tunnel excavation and tunnel excavation will also face stability risk because of possible seepage. This paper mainly analyzes the horizontal and vertical stress distribution of base plate, side wall and arch of the sewage. Through the analysis of the longitudinal uneven settlement and vertical stress distribution, this paper discusses the failure mechanism of the existing sewage during tunnel excavation. On this basis, this paper introduces improved forepoling proposals in view of the engineering characteristics, which may be of reference value for other tunnel construction in the city.

Key words: newly built subways; sewer existing; safety

(责任编辑 车轩玉)