

# 地铁盾构隧道侧穿高铁桥群桩设置隔离桩影响分析

赵晓勇<sup>1,2</sup>

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043 西安;

2. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室, 710043, 西安 // 高级工程师)

**摘要** 结合某盾构隧道侧穿高铁桥群桩基础,研究了盾构隧道侧穿高铁桥桩施工过程中对群桩的影响。通过采取隔离桩措施降低对群桩的影响,对隔离桩设置范围、位置和深度等进行了对比计算分析,得出如下结论:1)当群桩基础与隧道轴线存在夹角时,桩基和承台产生不均匀沉降,承台刚度会影响群桩的变形;距离盾构隧道近的基桩和承台位置一般为沉降变形,越近的基桩变形越大;远侧由于群桩作用效应和承台刚度影响,局部可能会产生隆起变形,应特别关注不均匀变形的影响。2)基桩变形最不利位置位于盾构隧道底部以上部位,而在底部以下基桩变形普遍较小。因此,采取土体改良措施时应主要针对盾构底部以上部分土体。3)采取隔离桩措施能降低盾构隧道施工对高铁桥桩的影响达40%以上,对桥桩起到很好的保护作用。4)隔离桩最优设置范围为桩基垂直于隧道轴线投影范围以外 $1.0D \sim 1.5D$ ( $D$ 为隧道直径),超出 $1.5D$ 范围的隔离桩作用不大。5)从设置隔离桩改善既有桥桩的变形考虑,隔离桩的设置应尽量靠近后施工隧道,这样对既有高铁桥基础的影响会减少,而且隔离桩自身施工对既有桥桩的影响也会减少。6)隔离桩深度宜取隧道底部以下 $1 \sim 3$  m,在此范围内按需设置,效果最优,也最经济。

**关键词** 地铁;盾构隧道;高铁群桩;数值模拟;侧穿;隔离桩

**中图分类号** U25

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.05.024

## Influence Analysis of Setting Separation Piles for Metro Shield Tunnel Side-crossing High-speed Railway Bridge Pile Groups

ZHAO Xiaoyong

**Abstract** Taking the case of certain shield tunnel side-crossing high-speed railway bridge pile group foundation as an example, the influence of shield tunnel side-crossing construction on high-speed railway bridge pile groups is studied. By taking separation piles measure to reduce the impact on pile groups, different scopes, locations, and depths of separation piles are analyzed and compared. Following conclusions are obtained: 1) When there is an angle between tunnel axis and the foundation of pile groups, uneven settlement will take place in pile

foundation and bearing platform. The deformation of pile groups is affected by the platform rigidity. The position of piles and the platform near the tunnel are generally settlement deformation, and the deformation increases with the distance decreasing. Affected by platform rigidity and group piles effects, the partial position on the far side to the tunnel are upward deformation. Extra attention should be spared on the uneven deformation. 2) The maximum deformation position of piles is located above the shield tunnel bottom. The value of piles deformation below the shield tunnel bottom is small. Therefore, the measure of soil improvement is mainly for the upper piles above the bottom of tunnel. 3) Adopting separation piles measure can reduce the deformation by up to 40%. The separation piles play an important protection role. 4) The optimal scope of separation piles is  $1.0D \sim 1.5D$  ( $D$  is the shield tunnel diameter) outside the projection of pile groups. Separation piles are less useful when the scope exceeds  $1.5D$ . 5) Considering using separation piles to decrease the deformation of existing bridge piles, it should be designed as close as possible to the tunnel, so that the impact of the tunnel, as well as that of the construction of separation piles, to the existing high-speed railway bridge foundation will be smaller. 6) It is most effective and most economical to design the separation piles  $1 \sim 3$  m below the tunnel bottom and set up according to demand.

**Key words** metro; shield tunnel; high-speed railway pile groups; numerical simulation; side-crossing; separation piles

**Author's address** China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

## 1 工程概况

高铁桥桩对沉降变形的要求非常高,地铁盾构施工会引起临近土体的扰动,产生地层变形,在桩附近会引起桩侧摩阻力的减小,甚至可能产生负摩阻力,进而引起桥桩沉降、水平变形增大,因此,临近高铁桥桩施工风险非常高。目前,分析隧道施工

对周边环境影响采取的方法主要有数值模拟和理论分析法。由于实际工程的复杂性,理论分析时一般需进行理想简化,计算跟实际工程差别较大。采用数值模拟方法可以依据实际工程建立模型,模拟实际开挖工况,研究临近地铁隧道的群桩沉降、水平变形等特征。

某地铁区间沿青峰路走行,采用盾构法施工,线间距 14.6 ~ 15.0 m,覆土深约 10 m。受车站站位影响,区间隧道出车站后约 34 m 处,区间右线侧穿兰新高铁仓房沟中路特大桥 39 号墩,距离最近桩基净距约 5.1 m;区间左线侧穿 40 号墩,距离最近桩基净距约 2.6 m。高铁桥与区间盾构隧道关系如图 1 所示。

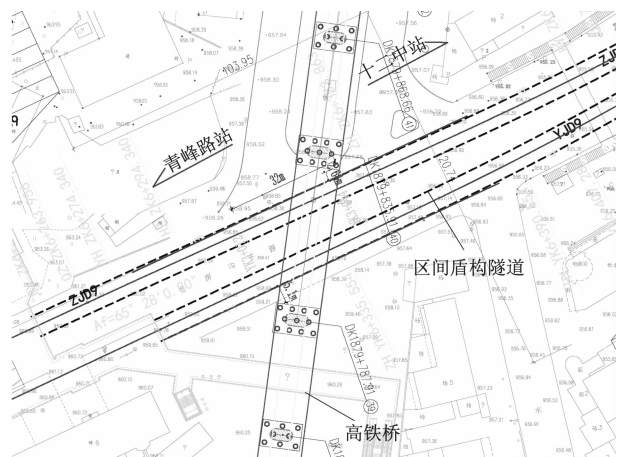


图1 高铁桥与地铁区间盾构隧道关系图

## 2 模型和地层参数

### 2.1 模型建立

区间盾构隧道外径 6.2 m,钢筋混凝土管片厚度 0.35 m,盾构顶覆土约 10 m。侧穿高铁桥 39、40 号桥墩的群桩桩基,每处桥墩设置 11 根桩基,4 + 3 + 4 布置形式,桩径 1.2 m,承台尺寸 12.6 m × 8.4 m × 3.5 m,位于地面下 1.5 m。承台长边与盾构隧道轴线夹角约 35°,其中,39 号墩桩长 39 m,40 号墩桩长 40 m,均为钻孔灌注桩,桩基设计为摩擦端承桩。

在满足计算要求的前提下,对模型进行适当简化。模型上侧取至实际地表,下侧取至桩基以下 15 m,模型前后、左右两侧取至 39、40 号桩基两侧不小于 10 m。最终模型尺寸为 90 m × 72 m × 60 m,如图 2 和图 3 所示。

桥墩、承台材料选择线弹性模型,桩基采用桩

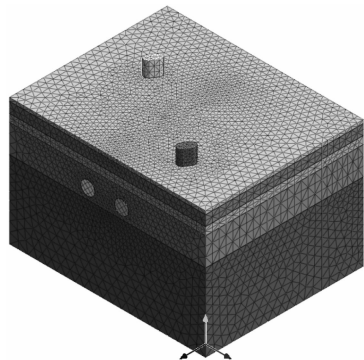


图2 3D 数值模型

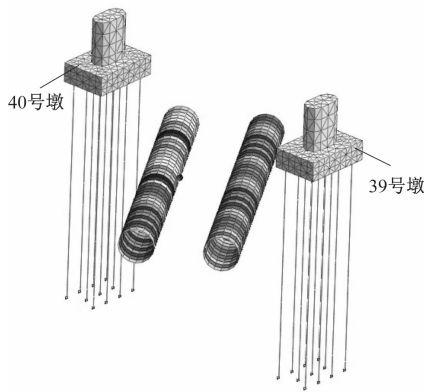


图3 隧道与桩基承台空间关系

梁单元,盾构管片采用板单元。土层为弹塑性模型,摩尔-库伦破坏准则。前后、左右边界视为链杆支座,下边界条件视为铰支座。

### 2.2 地层参数选取

土体采用弹塑性模型,强度准则采用 Mohr-Coulomb 屈服准则。土层中部分夹层,计算时适当进行简化。根据详细勘察报告,各土层参数如表 1 所示。

### 2.3 模型施加荷载

模型按土体自重施加重力荷载,以模拟隧道施工土体的初始应力。39、40 号桥墩及承台均按照实际尺寸选取,考虑两处桥墩上部结构荷载,仅考虑其承受的竖向恒载标准值,桥墩顶施加荷载为:

$$P = 19\,853\text{ kN}/20.64\text{ m}^2 = 962\text{ kPa}$$

## 3 计算分析

模拟实际盾构隧道开挖施工情况,先施工区间左线隧道,后施工区间右线。计算结果表明,桥桩、承台受隧道施工的影响,40 号承台的最大沉降变形超过 4 mm,不能满足运营期间高铁桥的沉降变形要求。考虑到本桥上部结构距离地面较高,桥下具备施工桩基条件,因此考虑采取设置隔离桩控制变形的措施。在其他条件相同情况下,分别对设置隔

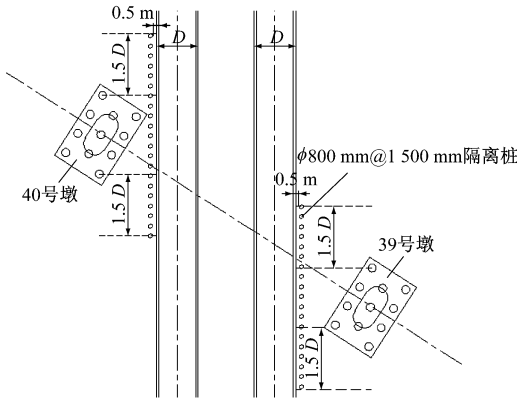
表 1 土层计算参数表

土层	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	静止侧压力系数 $K_0$	泊松比 $\nu$	弹性模量/MPa	黏聚力 $C/\text{kPa}$	摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
杂填土	19.0	0.60	0.38	13	3	10
圆砾土	22.1	0.30	0.33	40	5	17
粉土	20.6	0.43	0.43	7.0	20	19
圆砾下	22.1	0.30	0.33	40	5	32
泥岩	24.8	0.20	0.23	1 200	50	30

注:泥岩为中风化,计算中对泥岩弹性模量进行折减,折减系数 0.7。

离桩和不设置隔离桩措施进行计算,分析对桥墩和桩基的影响。

隔离桩采用  $\phi 600 \text{ mm}@1\,500 \text{ mm}$  钻孔灌注桩,为考虑尽量减小隔离桩施工对既有高铁桥桩的影响,钻孔灌注桩距离盾构隧道外侧净距为 0.5 m,设置范围为既有高铁桥桩投影在隧道中线范围内两侧各 1.5 倍的盾构直径(39 号墩距离个别桩基范围较远时,取近侧桩基)。隔离桩设置情况如图 4 所示。



注:D为隧道的开挖直径

图 4 隔离桩设置图

3.1 桥桩、承台竖向沉降分析

设置隔离桩后,桩基、桥墩和承台最终竖向沉降云图如图 5 所示。

为了研究施工过程对桥墩的影响,选取桥墩关键点位进行分析,关键点位选择如图 6 所示。

以下以距离隧道施工距离较近的 40 号桥墩为例,提取设置隔离桩前后的计算结果,分析盾构施工期间其变形的影响,结果如图 7 和图 8 所示。

由图 7 可见,左、右线施工完成后,承台范围内的位移为  $-4.30 \sim +1.31 \text{ mm}$ ,墩顶中心位置最大变形为  $-1.64 \text{ mm}$ 。由于承台和群桩基础与隧道轴线存在夹角,盾构施工过程中导致桩基和承台产生不均匀沉降,墩顶最不利位置位移  $-2.4 \text{ mm}$ 。距离

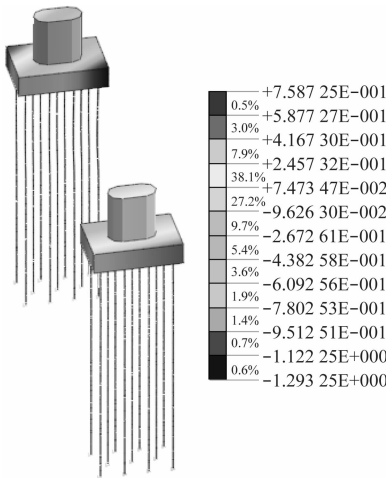


图 5 设置隔离桩后竖向沉降云图

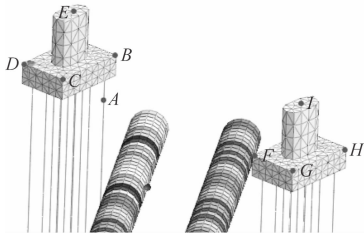


图 6 关键点位图

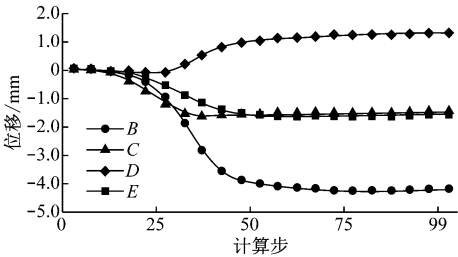


图 7 不设隔离桩时 40 号墩关键点竖向位移

盾构隧道近侧的桩基和承台位置变形大,远侧变形小。由于承台刚度比较大,在群桩效应作用下,近隧道侧桩基发生沉降,远离隧道侧承台则产生了一定的隆起变形。

由图 8 可见,设置隔离桩后,承台的沉降变形为  $-1.36 \sim 0.75 \text{ mm}$ ,墩顶中心位置最大沉降变形为  $-0.41 \text{ mm}$ 。桩基承台沉降相比未设置隔离桩,变

形减少了60%以上。设置隔离桩后,最终变形满足控制要求,这也表明采取隔离桩措施对控制群桩基础的变形效果非常明显。

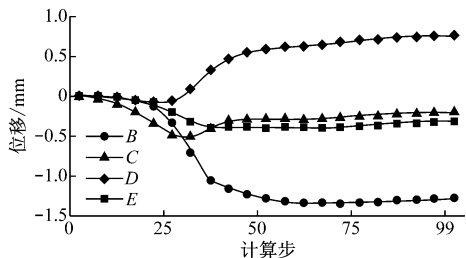


图8 设置隔离桩后40号墩关键点竖向位移

3.2 桥桩水平变形分析

取桥桩垂直于盾构隧道轴线方向的竖向位移,计算结果如图9和图10所示。

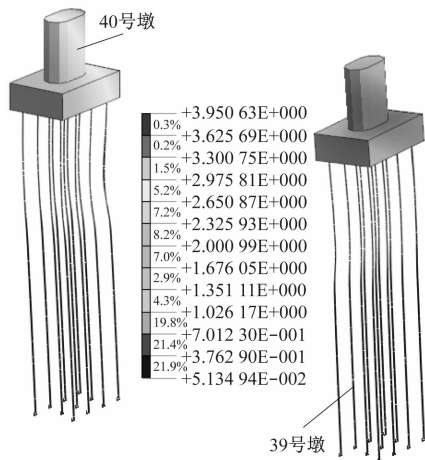


图9 群桩水平变形云图

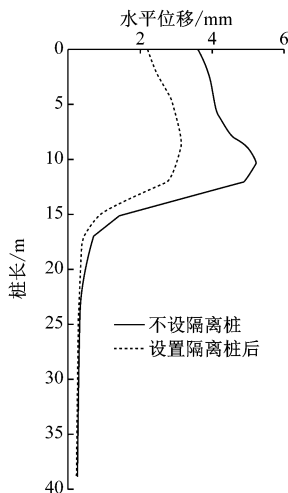


图10 40号墩距离盾构最近基桩的水平位移(A点)

由图9可见,群桩中距离盾构最近的基桩变形最大,距离越远的基桩变形越小,39号桥墩桩基(距

离隧道6.2 m)比40号墩(距离隧道2.6 m)桩基,其水平变形普遍降低了32%以上,距离隧道直径1.0 D净距时,盾构隧道施工对群桩桩基的平均影响降低40%以上。因此,条件允许情况下,在方案设计时,应尽可能增加盾构隧道与群桩桩基的净距。

由图10可见,未设置隔离桩时,基桩最大水平位移5.23 mm。设置隔离桩后,基桩最大水平位移3.16 mm。合理采取隔离桩措施,对高铁桥桩起到了显著的保护作用,使桩基最大水平位移降低了40%以上。

群桩受承台刚度及土体变形的影响,盾构隧道施工过程中基桩变形最不利位置位于盾构隧道中心部位附近,在盾构隧道底部以上位置的基桩变形相对较大,以下影响普遍较小。因此,应重点关注盾构底部以上部位基桩变形。从兼顾经济性角度出发,采取土体改良加固措施时,应重点针对盾构底部以上部分土体。

4 隔离桩设置范围合理性分析

为了研究隔离桩不同设置范围、设置距离和桩长起到的保护效果,以优化设计施工,达到安全、相对经济的效果,现对不同情况下设置隔离桩的效果进行分别研究。

4.1 隔离桩设置范围不同的影响分析

将高铁桥群桩基础垂直于隧道轴线投影,上文已经计算了投影范围以外1.5 D时对桥桩的影响,为了研究不同隔离桩设置范围的效果,进行定量分析,将隔离桩设置范围分别调整为1.0 D、0.5 D进行计算,取较为典型的B点沉降变形为研究对象,计算结果如图11所示。

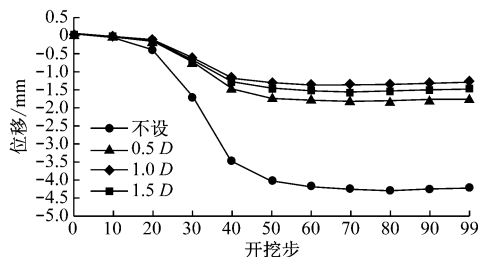


图11 隔离桩不同设置范围的影响分析

由图11可见,设置隔离桩后,隧道施工对桥桩的影响大大降低了。设置隔离桩范围越大,高铁桥受到的影响越小。隔离桩设置范围从0.5 D增大到1.0 D,高铁桥桩沉降变形相比减少了约31%。但是,桥桩设置范围继续增加到1.5 D后,对桥桩的影

响与  $1.0 D$  相比基本稳定,变化不大。说明当隔离桩范围增加到  $1.0 D$  以上时,对桥桩的保护作用变得有限。因此,从控制高铁群桩的变形角度来说,设置范围取  $1.0 D \sim 1.5 D$  是比较合理的,可以有效发挥隔离桩的作用,超出此范围,则隔离桩起到的保护作用就比较有限,经济性差。

#### 4.2 隔离桩设置距离不同的影响分析

盾构隧道距离 39 号桥墩群桩基础  $5.1 \text{ m}$ ,保持其他条件不变,将隔离桩距离隧道的距离设置为  $1.5 \text{ m}$ 、 $2.5 \text{ m}$ 、 $3.5 \text{ m}$ ,分别计算其对桥桩的影响,提取典型位置承台角部  $F$  点的沉降变形为研究对象,计算结果如图 12 所示。

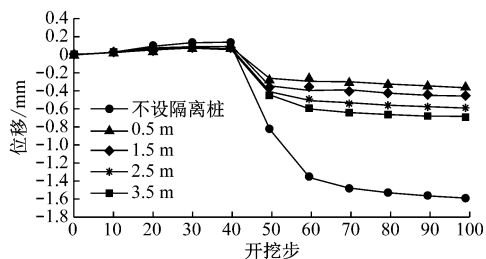


图 12 隔离桩不同设置距离的影响分析

由图 12 可见:不设隔离桩时,区间隧道施工对承台产生的最大位移为  $-1.58 \text{ mm}$ ;设置隔离桩后,产生的最大位移降低至  $-0.69 \text{ mm}$ ,减少了 56% 以上。隔离桩设置距离隧道越远,距离高铁桥桩越近,隧道施工对高铁桥桩产生的影响越大。所以,从设置隔离桩改善既有桥桩的变形考虑,在满足施工需要时,隔离桩的设置应尽量靠近施工隧道,这样对既有高铁桥基础的影响就越小。

#### 4.3 隔离桩设置深度不同对桥桩影响分析

为了确定合理的隔离桩深度,分别考虑将隔离桩深度由隧道底部以下  $1 \text{ m}$ ,调整为隧道底部以下  $3 \text{ m}$ 、 $5 \text{ m}$ ,以及桩底设在盾构中心位置(隧道底部以上  $3.2 \text{ m}$ ),分别进行计算,提取典型部位  $B$  点的沉降变形,计算结果如图 13 所示。

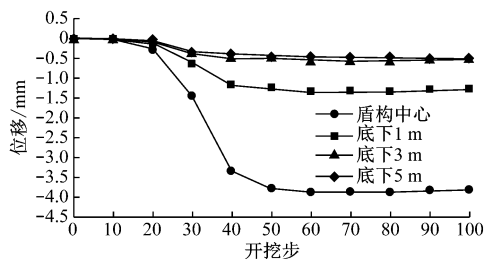


图 13 不同隔离桩长的计算结果

由图 13 可见,隔离桩设置越长,关键点位  $B$  点

的变形越小。当隔离桩深度设置在隧道中心位置时,对高铁桥桩的保护作用变得有限,说明此时隔离桩长度欠缺,未起到有效的保护作用。当设置在隧道底部以下  $1 \text{ m}$  时, $B$  点最大沉降变形为  $-1.36 \text{ mm}$ ,与设置在隧道中心处相比,沉降变形减少了 65% 以上。当设置在隧道底以下  $3 \text{ m}$  时,变形趋势进一步减小, $B$  点最大沉降变形为  $-0.57 \text{ mm}$ ,与设置在隧道中心和底下  $1 \text{ m}$  位置处相比,沉降变形分别减少 59% 和 85%,隔离桩作用效果较为明显。隔离桩继续加长至底部以下  $5 \text{ m}$  时,控制沉降变形减小作用非常有限。从减小对既有桥桩沉降变形效果看,隔离桩设置在隧道底以下  $1 \text{ m}$  及以上可以起到较好的效果,同时,设置在隧道底部以下  $3 \text{ m}$  以上时起到的效果变得有限,再继续增加隔离桩长作用不大。因此,从工程效果和经济性综合考虑,隔离桩的合理深度应在施工盾构隧道底部以下  $1 \sim 3 \text{ m}$ ,不应设置在隧道底部以上,以免起不到预期效果;也不宜超出隧道底部以下  $3 \text{ m}$ ,以免造成浪费。

## 5 结语

本文结合工程实际,对地铁盾构隧道侧穿高铁桥群桩基础的施工过程进行了影响分析,在不满足变形要求时,通过采取隔离桩措施可降低对群桩的影响。对不同隔离桩参数设置进行了对比分析,得到如下结论:

1) 当承台和群桩基础与隧道轴线存在夹角时,桩基和承台产生不均匀沉降,承台刚度会影响群桩的变形。距离盾构隧道近的基桩和承台一般为沉降变形,远侧由于群桩作用效应和承台刚度影响,可能会产生隆起变形,产生不均匀沉降。

2) 盾构隧道施工过程中导致基桩变形最不利位置位于盾构隧道底部以上部位,而在以下部位基桩变形普遍较小。因此,施工中应重点关注隧道底部以上部位基桩变形。

3) 隔离桩最优设置范围为桩基垂直于隧道轴线投影范围以外  $1.0 D \sim 1.5 D$  ( $D$  为隧道直径),桩基距离隧道距离远时取小值,距离近时取大值。隔离桩设置范围为  $1.0 D$  时,可将隔离桩的作用充分发挥出来,又较为经济;增大至  $1.5 D$  时,虽然也会进一步减小其影响,但起到的作用相对较小。

4) 设置隔离桩距离隧道越近,距离高铁桥桩越远,隧道施工对高铁桥桩产生的影响越小。因此,

(下转第 126 页)



2) 在盾构下穿完成后,受同步及二次注浆凝结时间影响,建筑物仍持续沉降一段时间,但沉降值占总沉降量比例较低。

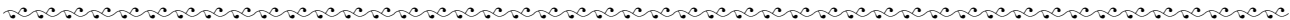
3) 对于敏感建筑物建议改良同步注浆及二次注浆材料,以缩短凝结时间,保证浆液快速达到设计强度。

4) 切桩范围盾构管片荷载计算时应合理考虑桩端残余荷载,建议结合地质条件至少考虑桩端 1 倍管片直径范围的摩阻力损失。

5) 盾构直接切桩下穿建筑物施工方案,在地质条件较好,且管片结构、盾构机外壳受力满足要求时为安全可靠的施工方案。

### 参考文献

[1] 杨记芳.大直径盾构隧道施工时高层建筑基桩基影响数值分



(上接第 120 页)

在满足施工需要时,隔离桩的设置应尽量靠近施工隧道。

5) 隔离桩设置深度宜取隧道底部以下 1~3 m,效果最优。隔离桩长度再增大,作用效果不明显。隔离桩设置在隧道底以下 1 m 与设置在盾构中心处相比,引起的桥墩承台变形减少,效果明显。

### 参考文献

[1] 温法庆,贾璐,李亚军.土压平衡盾构施工风险管控与案例分析[M].武汉:武汉大学出版社,2017.  
[2] 周文涛,张鹏,吴薪柳.北京地铁 14 号线侧穿京津城际铁路桥桩地基预加固技术分析[J].城市轨道交通研究,2019(4):86.  
[3] 柳厚祥,任志勇,陈思宇.隧道不同位置下穿施工引起临近建筑物的变形分析[J].土木工程学报,2014(8):128.  
[4] 靳宝成.兰新二线西宁隧道长距离浅埋下穿城区方案研究

析[J].太原理工大学学报,2017(5):772.  
[2] 刘涛,杨克形,姜磊,等.极限近距侧穿桩基盾构隧道开挖过程扰动效应[J].隧道与地下工程灾害防治,2020(1):61.  
[3] 庞星,杨双锁,杨欢欢,等.河漫滩地区盾构隧道对临近桩基础建筑物的影响研究[J].公路,2020(11):259.  
[4] 郭亮.盾构下穿高层结构相互影响及方案优化研究[J].现代城市轨道交通,2020(6):62.  
[5] 张亚洲,温竹茵,由广明,等.上软下硬复合地层盾构隧道设计施工难点及对策研究[J].隧道建设(中英文),2019(4):152.  
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.  
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范(2015 年版):GB 50010—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

(收稿日期:2020-12-09)

[J].铁道建筑,2018(1):103.  
[5] 李荡,高睿.盾构隧道侧穿高层建筑物时隔离桩的作用研究[J].铁道建筑,2017(12):55.  
[6] 郑刚,杜一鸣,刁钰,等.基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J].岩土工程学报,2016(4):599.  
[7] 刘金山.隧道开挖方法对邻近既有桥梁影响的数值分析[J].铁道建筑,2016(3):73.  
[8] 沈建文,刘力.盾构隧道施工对邻近桥桩影响数值及现场监测研究[J].岩土力学,2015(增刊2):709.  
[9] 孙雪兵.盾构隧道下穿施工对邻近铁路桥梁的影响分析[J].铁道建筑,2018(4):42.  
[10] 李方明,陈国兴.地铁隧道盾构施工对桩箱建筑物影响研究[J].铁道标准设计,2018(2):128.  
[11] 曾晓鑫,丁文湘,彭玲,等.隔离桩桩径对基坑开挖引起既有地铁隧道位移的影响[J].铁道建筑,2017(6):95.  
[12] 王国富,赵凯迪,路林海,等.隔离桩对盾构侧穿建筑物时基础变形的影响分析[J].城市轨道交通研究,2017(3):25.

(收稿日期:2019-07-23)



## 埃及发生严重火车出轨事故,32 人遇难

综合多家外媒报道,当地时间星期日(4 月 18 日),埃及盖卢比尤省发生了一起严重的火车出轨事故。俄罗斯卫星网援引埃及当地媒体的消息称,这起事故目前已有 32 人遇难,超过 100 人受伤。路透社报道称,埃及卫生部在一份声明中说,周日,开罗北部的盖卢比尤省的一列火车的部分车厢出轨,目前已造成 97 人受伤。埃及卫生部表示,事故发生后 50 多辆救护车迅速赶到现场,并将伤者转移到该省的 3 家医院。

卫星网表示,就在数周前,埃及索哈格省曾发生一起火车相撞事故,事故造成 19 人死亡、近 200 人受伤。而在本周早些时候,埃及沙尔基亚省发生了另一起火车脱轨事故,事故造成 10 余人受伤。

(摘自 2021 年 4 月 19 日《环球时报》网)