

兰州地铁 1 号线桥梁桩基托换技术模型试验研究

朱金涌

(兰州铁道设计院有限公司, 730000, 兰州//高级工程师)

摘要 以兰州地铁 1 号线穿越鱼儿沟桥工程案例为研究背景,依据桩基托换设计方案填筑室内模型,研究托换前后既有桩和托换桩的桩基竖向位移、桩身轴力和侧摩阻力的变化规律。结果表明:截断 3 号、4 号和 5 号桩至沉降稳定时,群桩基础的沉降值为 0.34 mm,模拟隧道开挖并施作衬砌至沉降稳定时,群桩基础下沉了 0.53 mm,表明桩基托换过程中隧道开挖对群桩基础变形的影响大于截桩;截桩后,1 号、2 号、5 号、6 号和 7 号桩的桩顶轴力分别增加了 35.88%、54.00%、36.00%、43.67%和 26.23%;5 号和 6 号桩的桩身轴力均呈倒梯形分布,且随上部荷载增大桩身轴力和桩侧摩阻力逐渐增大。截桩后,5 号和 6 号桩的上半部分侧摩阻力显著增大,承担上部荷载。上部荷载分别为 50 kN 和 76 kN 时,5 号和 6 号桩桩身侧摩阻力急剧减小,桩土界面发生剪切破坏。

关键词 城市轨道交通;桩基托换;室内试验;承载性能

中图分类号 U443.16⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.01.017

Model Test Research on Underpinning Technology of Bridge Pile Foundation of Lanzhou Metro Line 1

ZHU Jinyong

Abstract Based on the case study of Lanzhou Metro Line 1 crossing the Yu'ergou Bridge, the indoor model is built according to the pile foundation underpinning design plan, and the variation law of vertical displacement, pile axial force and side friction resistance of piles before and after replacement is studied. The results show that the settlement value of the pile group foundation is 0.34 mm when the No.3, No.4, and No.5 piles are cut until stable settlement. When the tunnel excavation is simulated and the lining is constructed until the settlement is stable, the pile group foundation sinks 0.53 mm, indicating that during underpinning process, the influence of tunnel excavation is greater than pile cutting on pile group foundation deformation; after pile cutting, the pile top axial forces of No.1, No.2, No.5, No.6, and No.7 piles increase by 35.88% and 54.00%, 36.00%, 43.67% and 26.23% respectively; the axial forces of No.5 and No.6 piles are distributed in an inverted

trapezoid shape, and the axial force and side friction resistance of the pile gradually increase with the increase of the upper load. After pile cutting, the side friction resistance of upper part of No.5 and No.6 piles increases significantly while bearing the upper load. When the upper load is 50 kN and 76 kN respectively, the side friction resistance of No.5 and No.6 piles decreases drastically, and shear failure occurs at the pile-soil interface.

Key words urban rail transit; pile foundation underpinning; indoor test; bearing performance

Author's address Lanzhou Railway Survey and Design Institute Co., Ltd., 730000, Lanzhou, China

桩基托换结构体系凭借着自身的优点,在地铁建设中得以广泛应用。目前针对桩基托换技术的研究方法主要有现场试验法、模型试验法和数值模拟法。文献[1]结合上海轨道交通 10 号线下穿桥梁群桩基础工程,对板式基础托换技术进行了研究。文献[2]结合深圳地铁 5 号线下穿立交桥施工监测数据和数值计算结果,对桩基托换体系的受力和变形情况进行了研究。文献[3]对地铁隧道开挖过程中桥桩与桩周土间的滑移和脱空现象进行了研究,并发现注浆加固方法可显著控制桥梁变形。文献[4]对主动托换与盾构磨桩下穿桥梁桩基的施工方法和工艺参数进行了研究。文献[5]对桩基托换技术和托换结构的地震响应问题进行了探讨。文献[6]采用 FLAC 3D 数值软件对地铁盾构隧道下穿既有桥梁桩基产生的影响进行了研究,发现盾构施工使桩体产生侧弯变形。文献[7]利用数值软件,对桩基托换过程中地上、地下结构物刚度差异对桩身轴力的影响进行了研究。文献[8-11]结合兰州市轨道交通 1 号线桩基托换工程,利用 Midas/GTS 软件对托换前后桩基的承载特性进行了分析。隧道施工对已有桩基力学行为的影响主要是通过地层媒介传播的,且施工扰动将使地层产生二次应力及变形。当应力传递到桩基位置时,将通过桩土相

互作用使桩基础产生附加变形及应力。因此在研究隧道近接施工对既有桩基的影响时,分析隧道施工对地层附加应力及变形的影响是前提和基础。本文以兰州地铁 1 号线穿越鱼儿沟桥工程为研究背景,在室内开展模型试验,对黄土隧道开挖过程中近接既有桩基的承载特性开展研究。

1 工程概况

鱼儿沟桥位于兰州市城关区,是一跨 20 m 的预应力混凝土空心板梁桥,全桥共设 22 片中梁和 2 片边梁,梁高 0.9 m,每片中梁和边梁的宽度分别为 1.25 m 和 1.50 m。下部结构采用桩接盖梁式桥台,桩径 1.2 m,桩长 17 m,每个桥台下设 8 根基桩。如图 1 所示,区间隧道在桥址处下穿,与既有鱼儿沟桥桩基发生冲突,因此需选用桩基托换方案对既有桥梁进行改造。

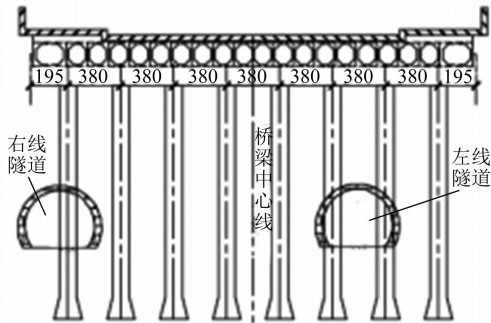


图 1 地铁隧道穿越桥梁桩基位置示意图
Fig. 1 Position diagram of metro tunnel crossing bridge pile foundation

2 模型试验概况

2.1 模型桩与承台制作

1) 模型桩设计:根据桩基托换方案和模型相似比,选用桩径为 5 cm、桩长为 80 cm 的 21 根模型桩,模拟地铁穿越既有桥梁的群桩基础。模型桩为装配式有机玻璃柱,桩顶、桩端和一半桩身处布置荷载传感器,桩身粘贴细砂粗糙处理。为了降低试验的操作难度,减小截桩过程对其他桩和桩周土体的影响,单独设计阻碍地铁隧道掘进的 3 根模型桩。

2) 承台设计:为方便加载,降低群桩模型试验难度,在群桩桩顶设置 153 cm(长)×48 cm(宽)×8 cm(高)的有机玻璃承台,并按照桩基托换方案中的布桩形式,在承台下部挖直径为 5 cm、深度为 4 cm

的圆柱形孔,并采用环氧树脂胶粘贴牢固,使桩体与承台紧密接触。

2.2 模型填筑及控制

群桩模型箱尺寸为 240 cm(长)×120 cm(宽)×120 cm(高)的模型箱,反力架采用 16# 工字钢焊接而成,并通过螺栓与模型箱连接。模型试验全貌如图 2 所示。模型箱采用最大干密度为 1.78 g/cm³、最优含水率为 14.6% 的兰州黄土填筑,控制压实度为 0.75~0.80;分层填筑,分层夯实;在模型桩底部铺设 30 cm 碎石作为桩端持力层。



图 2 模型试验全貌
Fig. 2 Model test overview

图 3 为群桩平面布置示意图,3 号、4 号 and 8 号为截桩布置位置,选用中间截断处理的模型桩。

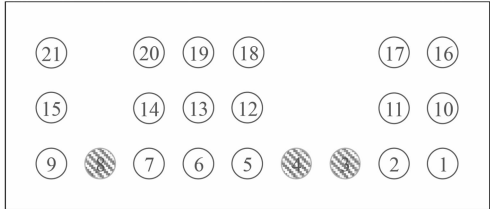


图 3 群桩布桩示意图
Fig. 3 Diagram of pile group layout

由单桩模型试验可知,单桩的极限承载力和承载力特征值分别为 1.8 kN 和 1.0 kN。综合考虑群桩效应与承台反力,取 21 根模型桩组成群桩基础的承载力极限值和设计值分别 60 kN 和 30 kN。

2.3 试验方案与过程控制

将标定准确的荷载传感器置于千斤顶下方以读取荷载,每级荷载的加载量为极限值的 1/10。由于试验中需加均布荷载,因此在群桩承台上放置 150 cm(长)×15 cm(宽)×3 cm(厚)钢板。群桩模型试验过程主要分为以下 3 个阶段:

1) 截桩:试验准备就绪后开始加载至预定值 30 kN,待沉降变化稳定后维持荷载,对影响地铁隧道开挖的既有桩做截桩处理。考虑实际截桩时必须保证上部结构安全有效运行,先对模型右侧影响

隧道掘进的一根桩做截桩处理,待沉降稳定后,再对模型右侧的两根桩进行截桩处理。

2) 模拟开挖:截桩完毕后,维持荷载,待群桩体系沉降稳定后,使用洛阳铲开挖,模拟隧道掘进。开挖贯通后用外径 200.0 mm、壁厚 1.8 mm 的 PVC (聚氯乙烯)管模拟施作隧道衬砌。为提高 PVC 管强度,将铁丝网与塑料网固定裹在 PVC 管外部。待隧道衬砌结构施作完毕后,将空隙部分填土夯实。

3) 加载:隧道施作完毕后,维持荷载,记录沉降数据。待沉降稳定后继续加载,确定群桩体系极限承载力。

3 试验结果分析

3.1 群桩竖向极限承载力分析

根据地铁穿越既有桥梁群桩基础模型试验结果,绘制群桩基础的 Q - s 关系曲线图,如图 4 所示。

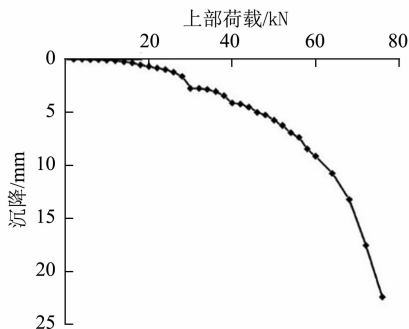


图 4 群桩基础的 Q - s 曲线

Fig. 4 Q - s curve of pile group foundation

由图 4 可见:当上部荷载小于 18 kN 时,群桩基础整体沉降较小;当上部荷载大于 18 kN 后,沉降开始逐渐增大;当上部荷载加载至 30 kN 时,沉降为 2.69 mm;维持 30 kN 上部荷载至沉降稳定时,沉降值发展了 0.38 mm。3 号、4 号和 8 号桩截桩后至沉降稳定时沉降值分别增大了 0.12 mm、0.13 mm 和 0.09 mm,使得 30 kN 处 Q - s 曲线出现了突变。隧道开挖并施作衬砌阶段沉降值增大了 0.53 mm,且该阶段沉降最大值,由此可知隧道开挖对群桩基础变形的影响大于截桩,在施工工程中应加强监测。当上部荷载为 40 kN 时,群桩基础的 Q - s 曲线在本级荷载下出现突变,出现破坏,桩顶位移为 4.19 mm。当上部荷载达到 64 kN 时,群桩基础的 Q - s 曲线出现明显的拐点,沉降显著增大,从模型箱外部观察到承台下方土体出现裂缝,桩-土整体呈现破坏特征,可由此判断截桩后群桩基础的极限承载力为 64 kN。

3.2 桩顶桩端轴力对比分析

图 5 为 1 号桩桩顶桩端轴力对比曲线。由图 5 可知,当上部荷载为 30 kN 时,截桩并开挖隧道时,其桩顶轴力会发生突变。隧道施作完毕时 1 号桩桩顶轴力由截桩前的 1.31 kN 增加至 1.78 kN,增加了 35.88%。当上部荷载小于 60 kN 时,1 号桩桩端轴力缓慢增大;当上部荷载大于 60 kN 时,增长幅度增大。

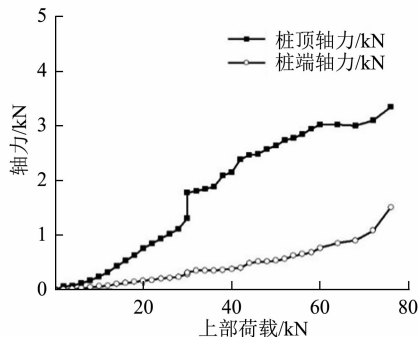


图 5 1 号桩轴力对比图

Fig. 5 Comparison diagram of axial force of No.1 pile

图 6 为 2 号桩桩顶桩端轴力对比曲线。由图 6 可知,维持上部荷载 30 kN 时,截桩并开挖隧道时,2 号桩桩顶轴力会发生突变。隧道施作完毕时 2 号桩桩顶轴力由截桩前的 1.98 kN 增加至 3.05 kN,增加了 54%,其增加值占截桩时上部荷载比例的 3.57%,随后桩顶轴力随上部荷载的增大而平稳增加。此外,当上部荷载为 40 kN 时(5 号桩出现破坏),2 号桩桩顶轴力发生较小突变,从之前的 3.49 kN 增加至 4.03 kN,增加了 15.47%。

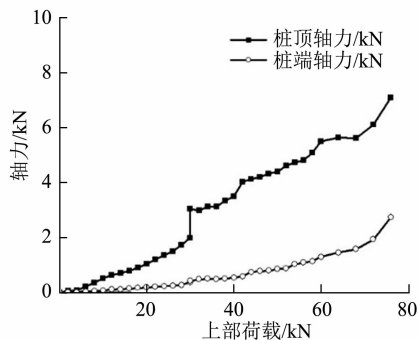


图 6 2 号桩轴力对比图

Fig. 6 Comparison diagram of axial force of No.2 pile

图 7 为 5 号桩桩顶桩端轴力对比曲线。由图 7 可知,上部荷载为 30 kN 时,截桩并开挖隧道后,5 号桩桩顶荷载由 3.61 kN 突变为 4.91 kN,增加了 36%,桩顶轴力增加值为截桩时上部荷载的 4.33%。

当上部荷载为 40 kN 时,5 号桩出现破坏,桩顶荷载由 5.63 kN 下降至 2.27 kN,但 5 号桩与承台连为一体,并未完全失效,继续承担荷载。

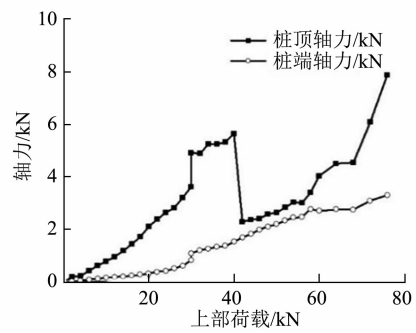


图 7 5 号桩桩顶桩端轴力对比曲线

Fig. 7 Comparison diagram of axial force of No.5 pile

图 8 为 6 号桩桩顶桩端轴力对比曲线。由图 8 可知,截桩并开挖隧道后,6 号桩桩顶荷载由截桩前的 3.16 kN 突变至 4.54 kN,增加了 43.67%,由于 6 号桩与需要截断的 7 号、8 号桩与隧道相邻,其桩顶轴力变化较大。当 5 号桩破坏时,6 号桩桩顶轴力从 5.59 kN 增加至 6.22 kN,增加了 11.27%。由于 6 号桩需分担 5 号桩荷载,因此在之后每级荷载下 6 号桩桩顶分担荷载明显增加大。

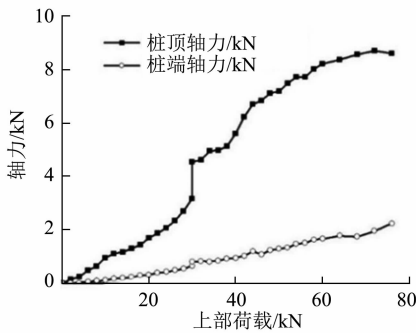


图 8 6 号桩桩顶桩端轴力对比曲线

Fig. 8 Comparison diagram of axial force of No.6 pile

图 9 为 7 号桩桩顶桩端轴力对比曲线。由图 9 可知,同样在截桩并开挖隧道后,7 号桩桩顶荷载发生了突变。隧道施作完毕后,7 号桩桩顶轴力由截桩前的 3.05 kN 增加至 3.85 kN,桩顶轴力较截桩前增加了 26.23%。由于 7 号桩紧邻需要截断的 8 号桩和地铁隧道,故 7 号桩桩顶轴力变化较大。当上部荷载为 40 kN 时(5 号桩出现破坏),7 号桩桩顶轴力从 4.62 kN 增加至 5.12 kN,增大了 10.82%。综上分析可知,截桩并施做隧道后,1 号、2 号、5 号、6 号和 7 号桩的桩顶轴力分别增大了 35.88%、

54.00%、36.00%、43.67%和 26.23%,且上述桩体桩顶轴力占上部荷载比例和为 60.4%。整个施工过程中对 2 号、5 号和 6 号桩的桩顶轴力的影响较大,因此在施工过程中需严密监控上部结构的变形。

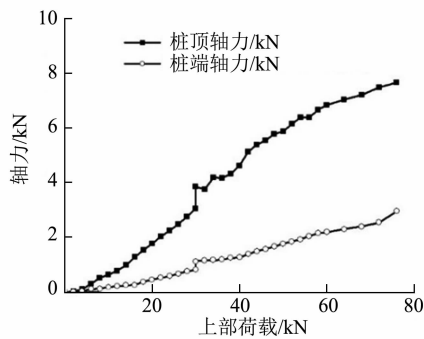


图 9 7 号桩桩顶桩端轴力对比曲线

Fig. 9 Comparison diagram of axial force of No.7 pile

3.3 桩身轴力及桩身侧摩阻力分析

综合分析可知,当上部荷载小于 40 kN 时,5 号桩桩顶荷载出现衰减,但并未完全失效,且截桩后 5 号桩桩顶轴力的增大值占上部荷载的比例在未截桩中仅次于 6 号桩,故本节根据 5 号和 6 号桩桩顶、桩身和桩端测试数据(分别见图 10 和图 11),分析隧道开挖时桩体的受力特性。

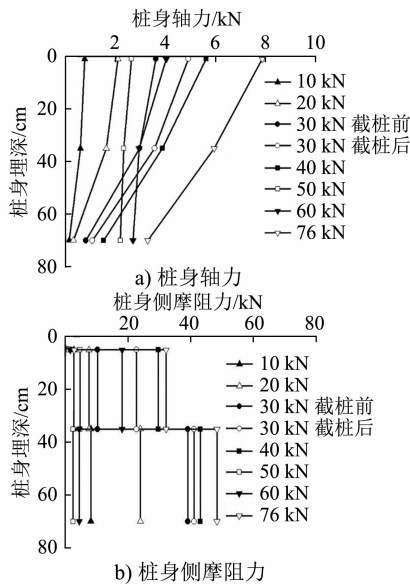


图 10 5 号桩不同荷载下的桩身轴力曲线和侧摩阻力曲线
Fig. 10 Axial force curve and side friction resistance curve of No.5 pile under different loads

由图 10 a)可知:5 号桩的桩身轴力呈倒梯形分布;当上部荷载小于 30 kN 时,每级荷载下其桩身轴力增幅较大;上部荷载为 30 kN 时,截桩前桩身 5

cm、35 cm、70 cm 处的桩身轴力占上部荷载的比例分别为 12.03%、9.87% 和 2.70%，截桩后分别占 16.37%、11.87% 和 3.70%；当上部荷载增大为 40 kN 时，上述 3 个位置处的桩身轴力占上部荷载的比例分别为 14.08%、9.70% 和 3.78%；当上部荷载增大至 50 kN、60 kN 和 76 kN 时，桩身 70 cm 处轴力变化较小。

由图 10 b) 可知：在承台的影响下，5 号桩桩顶处的侧摩阻力分布较为集中；上部荷载小于 30 kN 时，桩身侧摩阻力均匀增大，且下半部分侧摩阻力增加幅度大于上半部分；截桩后 5 号桩桩身侧摩阻力出现突变，而下半部分的桩身侧摩阻力变化较小；上部荷载为 50 kN 时，其桩身侧摩阻力曲线位于上部荷载为 20 kN 时的桩身侧摩阻力曲线左侧，整体桩身侧摩阻力丢失，说明桩土界面发生破坏，5 号桩主要依靠上半部分侧摩阻力承担上部荷载。

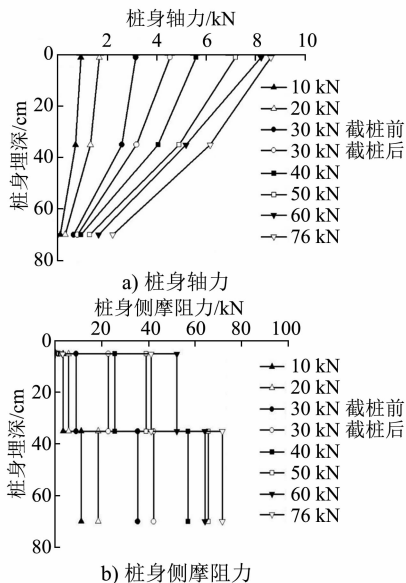


图 11 6 号桩不同荷载下的桩身轴力曲线和侧摩阻力曲线
Fig. 11 Axial force curve and side friction resistance curve of No.6 pile under different loads

由图 11 a) 可知：上部荷载为 30 kN 时，截桩前 6 号桩身 5 cm、35 cm 和 70 cm 处的桩身轴力占上部荷载的比例分别为 10.53%、8.63% 和 2.13%，截桩后分别变为 15.13%、10.60% 和 2.63%，表明 6 号桩桩身轴力发生了突变；当上部荷载分别为 40 kN、50 kN、60 kN 和 76 kN 时，5 cm 处的桩身轴力占上部荷载的比例分别为 13.98%、14.38%、13.70% 和 11.33%，35 cm 处占上部荷载的比例分别为 10.15%、9.80%、8.63% 和 8.12%，70 cm 处占上部荷载的比例分别为

2.33%、2.58%、2.75% 和 2.93%。由此可知，上部荷载增大时，5 cm 和 35 cm 处桩身轴力承担上部荷载的比例减小。

由图 11 b) 可知：上部荷载为 10 kN、20 kN 和 30 kN 时，桩身侧摩阻力均匀增大；上部荷载为 30 kN 时，下半部分的侧摩阻力显著增大；上部荷载为 30 kN 截桩后，上半部分侧摩阻力增加明显，而下半部分侧摩阻力增加较小。由此可见：在截桩后，6 号桩桩顶分担的荷载主要依靠上半部分的桩身侧摩阻力承担；随后当上部荷载增大时，下半部桩身侧摩阻力显著增大，而上半部分增幅较小。上部荷载为 76 kN 时，桩身侧摩阻力较 60 kN 时减小，此时桩周土体已经出现剪切破坏。

4 结论

1) 维持 30 kN 上部荷载，截断 3 号、4 号和 5 号桩至沉降稳定时，群桩基础的沉降值分别为 0.12 mm、0.13 mm 和 0.09 mm；模拟隧道开挖并施作衬砌至沉降稳定时，群桩基础下沉了 0.53 mm，且达到该荷载下的最大值。说明桩基托换过程中，隧道开挖对群桩基础变形的影响大于截桩。

2) 截桩前后，1 号、2 号、5 号、6 号和 7 号桩的桩顶轴力分别增加了 35.88%、54.00%、36.00%、43.67% 和 26.23%。截断 3 号和 4 号桩后，靠近截桩的 2 号和 5 号桩体分担的荷载较大，5 号桩破坏后，其将荷载分担给 6 号桩。

3) 5 号和 6 号桩的桩身轴力均呈倒梯形分布，且随上部荷载增大桩身轴力和桩侧摩阻力逐渐增大。截桩后，5 号和 6 号桩的上半部分侧摩阻力显著增大，承担上部荷载。上部荷载分别为 50 kN 和 76 kN 时，5 号和 6 号桩桩身侧摩阻力急剧减小，桩土界面发生剪切破坏。

参考文献

- [1] 徐前卫,朱合华,马险峰,等. 地铁盾构隧道穿越桥梁下方群桩基础的托换与除桩技术研究[J]. 岩土工程学报, 2012(7): 1217.
XU Qianwei, ZHU Hehua, MA Xianfeng, et al. Pile underpinning and removing technology of shield tunnels crossing through group pile foundations of road bridges[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012(7): 1217.
- [2] 刘恒,徐世达,周凯. 地下穿创业立交桥桩基托换施工技术研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2014(2): 23.
LIU Heng, XU Shida, ZHOU kai. Study on technology of pile

- foundation underpinning road overpass in subway construction [J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition), 2014(2): 23.
- [3] 闫鑫,叶阳升,张梅,等. 地铁隧道下穿既有铁路桥施工影响分析[J]. 铁道建筑, 2012(6): 84.
- YAN Xin, YE Yangsheng, ZHANG Mei, et al. Construction influence analysis of metro tunnel under-crossing existing railway bridge[J]. Railway Engineering, 2012(6): 84.
- [4] 苏明,尹志清. 盾构下穿高架桥桩基托换和切削施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2020(9): 175.
- SU Ming, YIN Zhiqing. Construction technology of pile foundation exchange and cutting for shield tunneling under viaduct piles[J]. Urban Mass Transit, 2020(9): 175.
- [5] 李世伟,张长浩. 湿陷性黄土隧道桩基托换应用及潜在问题思考[J]. 中国房地产业, 2011(1): 128.
- LI Shiwei, ZHANG Changhao. Reflection on application and potential problems of pile foundation underpinning in collapsible loess tunnel[J]. China Real Estate, 2011(1): 128.
- [6] 彭坤,陶连金,高玉春,等. 盾构隧道下穿桥梁引起桩基变位的数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2012(3): 485.
- PENG Kun, TAO Lianjin, GAO Yuchun, et al. Numerical analysis of bridge pile deformation caused by shield tunnel construction underneath[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012(3): 485.
- [7] 邓涛,关振长,陈开良,等. 桥梁桩基主动托换中顶升荷载的简化计算[J]. 岩土力学, 2015(11): 3259.
- DENG Tao, GUAN Zhenchang, CHEN Kaihang, et al. Simplified calculation of jacking load in active underpinning of bridge piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015(11): 3259.
- [8] 吴炜. 饱和黄土地区桩基托换桩承载力变异行为研究[J]. 兰州交通大学学报, 2016(3): 29.
- WU Wei. Research on the bearing capacity variation behavior of of pile foundation underpinning in saturated loess area[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2016(3): 29.
- [9] 崔爱华. 被动式桥梁桩基托换技术在兰州地铁中的应用[J]. 铁道建筑, 2016(2): 76.
- CUI Aihua. Application of passive-type bridge pile foundation underpinning technology in Lanzhou Metro[J]. Railway Engineering, 2016(2): 76.
- [10] 朱金涌. 饱和黄土区地铁隧道穿越桥梁桩基托换技术研究[J]. 铁道标准设计, 2016(4): 78.
- ZHU Jinyong. Research on technology of metro tunnel crossing bridge pile foundation underpinning in saturated loess district [J]. Railway Standard Design. 2016(4): 78.
- [11] 马文杰,王旭,王炳龙,等. 兰州轨道交通1号线被动式桩基托换技术的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2020(7): 51.
- MA Wenjie, WANG Xu, WANG Binglong, et al. Application of passive pile foundation underpinning technology on Lanzhou Rail Transit Line 1[J]. Urban Mass Transit, 2020(7): 51.
- [12] 李早,黄茂松. 隧道开挖对群桩竖向位移和内力影响分析[J]. 岩土工程学报, 2007(3): 398.
- LI Zao, HUANG Maosong. Analysis of settlement and internal forces of group pile due to tunneling [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007(3): 398.
- [13] AKAHASHI K, FUKAZAWA N, AGIWARA T, et al. Observational control of slurry shield tunnels with super close spacing under the nearby bridge abutments loads [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2004(19): 390.
- [14] 赵宏华,陈国兴. 盾构掘进施工对群桩基础变形的动态影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2012(3): 562.
- ZHAO Honghua, CHEN Guoxing. Research of the dynamic deformation influence of pile group induced by adjacent shield driving [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012(3): 562.
- [15] 马险峰,王俊淞,李削云,等. 盾构隧道引起地层损失和地表沉降的离心模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012(5): 942.
- MA Xianfeng, WANG Junsong, LI Xueyun, et al. Centrifuge modeling of ground loss and settlement caused by shield tunneling in soft ground [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012(5): 942.

(收稿日期:2021-04-22)

盘点 2021 年度上海城市轨道交通建设

近年来,上海在推进轨道交通建设、优化完善轨道交通线网的基础上,对既有轨道交通线路扩能增效,优化运营组织,逐步缩短高峰发车间隔,提高轨道交通高峰运能,长期以来位居城市轨道交通运营里程“第一梯队”。2021年是“十四五”开局之年,上海轨道交通建设又有不少大动作,总体分两大类:一是全力推进14号线、18号线一期、崇明线、世博文化公园地下空间预留工程等4个在建项目,二是确保3号线和4号线改造、2号线西延伸、13号线西延伸、17号线西延伸、18号线二期、23号线一期、21号线一期等7个项目的开工建设。随着上海轨道交通网络中重要的一块“拼图”,也是最后一条大规模穿越市中心的轨道交通线——14号线以及18号线一期北段将于12月30日开通,上海轨道交通全网运营里程将增至831 km,线路增至20条,运营车站增至508座,换乘车站增至83座,网络规模继续领跑全球。另据统计,2021年1~10月,全国共有23个城市的轨道交通客运量超1亿人次,4个城市的轨道交通客运量超15亿人次。其中,上海的轨道交通客运量最大,达29.44亿人次,同比增长31.2%。截至今年底,上海轨道交通APP已与全国18个城市的轨道交通实现“互联互通”。

(摘自2021年12月29日《上海科技报》,记者 陈怡报道)