

轨道梁支座对盾构法隧道结构受力的影响分析

杨醒宇

(中铁四院集团西南勘察设计有限公司, 650000, 昆明//工程师)

摘要 结合工程实际情况,运用有限元方法,针对跨座式单轨轨道梁支座对盾构隧道结构内力的影响进行了分析。结果表明:在轨道梁支座作用下,盾构法隧道底部弯矩分布由正弯矩转变为负弯矩,底部轴力明显减小,底部剪力增大且局部急剧变化;轨道梁支座荷载作用对盾构隧道圆心以上结构影响较小;环间螺栓采用 8.8 级,可满足轨道梁支座处盾构管片抗剪承载力要求,且安全余量较大。

关键词 跨座式单轨; 盾构法隧道; 轨道梁支座; 结构受力

中图分类号 U121

DOI:10. 16037/j. 1007 - 869x. 2021. 05. 026

Analysis of Influence on Internal Force of Shield Tunnel Structure under Action of Track Beam Support

YANG Xingyu

Abstract Considering actual situation in engineering projects, the influence of straddle monorail track beam support on the internal force of shield tunnel structure is studied with finite element method. Research results show that: under the action of track beam support, the bending moment distribution at the bottom of shield tunnel changes from positive to negative, and the bottom axial force of shield tunnel decreases evidently, and the bottom shear increases and changes drastically in certain part; the support load of track beam has little effect on the structure above the center of shield tunnel; with the adoption of grade 8.8, the shear capacity of shield tunnel segment at track beam support can meet the stress requirements, and the safety margin is large.

Key words straddle monorail; shield tunnel; track beam support; structural internal force

Author's address China Railway Siyuan Southwest Survey and Design Group Co., Ltd., 650000, Kunming, China

国内外跨座式单轨主要采用高架线路敷设,极少采用地下或地面线路敷设^[1-3]。当线路位于建(构)筑物密集的城市繁华地段或下穿铁路、河道等地段时,为兼顾城市景观、周边建(构)筑、地面交通

安全以及地层适用性等制约因素,跨座式单轨线路不可避免地需要采用盾构法隧道进行实施。总体而言,目前关于跨座式单轨交通的研究主要集中在线路设计、高架结构、轨道梁、支座等方面^[4-9],而跨座式单轨交通中盾构隧道结构受力方面的研究成果极少。本文综合考虑盾构结构型式、轨道梁支座结构、底座型式、线路线型、隧址地质条件,对跨座式单轨交通盾构隧道结构受力进行分析。

1 轨道梁支座布置型式

本文研究依托的工程,盾构隧道外径 6.7 m,内径 6.0 m,管片幅宽 1.0 m。曲线段轨道梁支座横断面布置如图 1 所示。盾构隧道内沿线路方向轨道梁每隔 20 m 布置 2 个铸钢支座,支座与盾构隧道管片通过钢筋混凝土底座进行连接与固定。底座宽度 $b=1.8\text{ m}$,底座底至支座顶高度 $h=1.056\text{ m}$,底座纵向长度与管片幅宽相等 $l=1.0\text{ m}$ 。

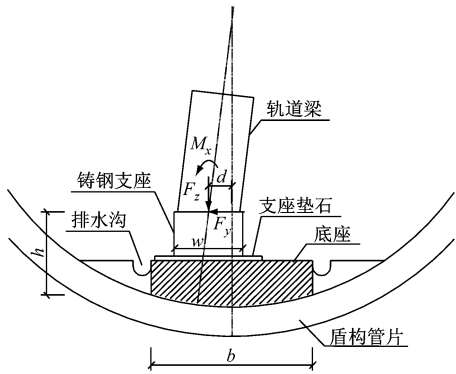


图 1 曲线段盾构隧道内轨道梁支座布置断面图

2 底座底面压力分析

盾构隧道中轨道梁底座受到来自支座传递的竖向荷载 F_z 、水平荷载 F_y 、弯矩 M_x 、支座与垫石自重 G_1 、底座自重 G_2 。

根据平截面假定,底座底面压力为线性分布,底座底面压力由桥梁自重、车辆活载、离心力、车辆

摇摆力、车辆制动力、支座自重、垫石自重、底座自重共 8 种荷载压力线性叠加组成,底面压力分布图如 2 所示。

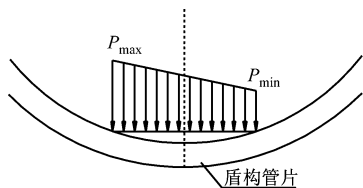


图2 底座底面压力分布示意图

盾构隧道设计一般以正常使用状态中裂缝验算起控制作用,根据相关规范^[10]对荷载进行准永久组合,永久荷载分项系数取 1.0,可变荷载分项系数取 0.8。

3 轨道梁支座影响分析

3.1 弯矩分析

采用隧址所在地区主要地层代表性参数,按照前述分析模型进行计算,可得到不同线型段盾构隧道内力。图 3 为土层中盾构隧道弯矩图,图 4 为岩层中盾构隧道弯矩图。图中,弯矩以管片内侧受拉为正,外侧受拉为负^[11]。

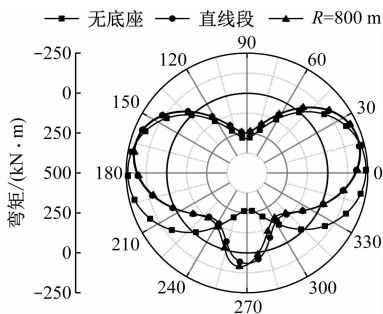


图3 土层中盾构隧道弯矩图

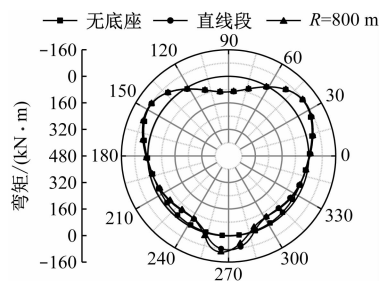


图4 岩层中盾构隧道弯矩图

由图 3 和图 4 可知,土层中无轨道梁支座作用的盾构隧道段,弯矩呈“花生”型分布,最大正弯矩位于拱顶与拱底,最大负弯矩位于拱腰两侧。岩层中无轨道梁支座作用的盾构段,弯矩呈“心”型分

布,最大正弯矩位于拱顶,最大负弯矩位于拱肩,拱腰、拱底弯矩值较小。

轨道梁支座作用会造成盾构隧道拱底向下弯曲,拱底弯矩由正弯矩转变为负弯矩受力。对于直线段,偏心荷载较小,弯矩基本呈对称分布。随着曲线半径减小,弯矩逐渐转变为非对称分布,拱底负弯矩值也逐渐增大。对于土层,最大正弯矩区位于拱顶且变化较小,最大负弯矩由拱腰位置逐渐转移至拱肩处,拱底负弯矩区为非控制性负弯矩区。对于岩层,拱顶与拱肩弯矩变化较小,曲线半径减小主要影响拱腰以下部位弯矩分布,有支座作用的拱底位置处负弯矩区为全断面控制性负弯矩区。

3.2 轴力分析

图 5 为土层中盾构隧道轴力图,图 6 为岩层中盾构隧道轴力图。轴力以受拉为正,受压为负^[11]。由图 5 和图 6 可知,土层中,无轨道梁支座作用的盾构隧道段轴力呈“花生”型分布,拱腰轴力最大,拱顶拱底轴力相对较小。岩层中,无轨道梁支座作用的盾构隧道段轴力呈“梨”型分布,拱顶轴力较大,拱腰拱底轴力相对较小。

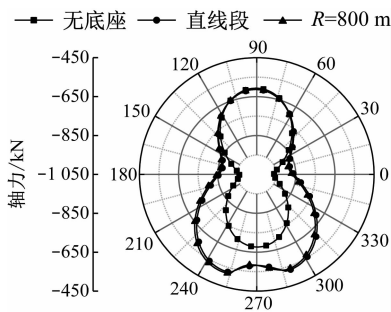


图5 土层中盾构隧道轴力图

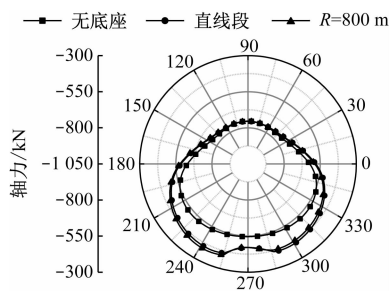


图6 岩层中盾构隧道轴力图

土层中,在轨道梁支座作用下,轴力分布由“花生”型分布转变为“葫芦”型分布,底座位置处轴力局部向内突出(局部增大)。轨道梁支座作用导致盾构隧道拱腰以下轴力明显减小,且曲线半径越小,轴力越小但差异并不显著。岩层中,轨道梁支

座作用同样会造成拱腰以下轴力明显减小,底座位置处轴力局部增大,与土层中情况类似。

3.3 剪力分析

图7为土层中盾构隧道剪力图,图8为岩层中盾构隧道剪力图。剪力以截面顺时针转动为正,以截面逆时针转动为负^[11]。

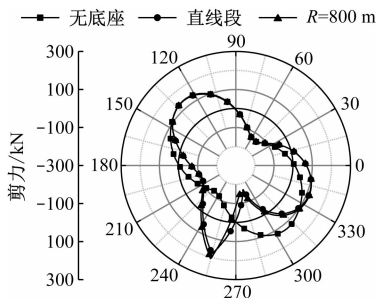


图7 土层中盾构隧道剪力图

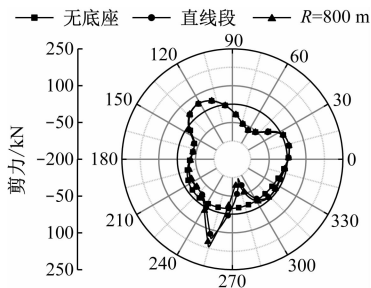


图8 岩层中盾构隧道剪力图

由图7和图8可知,土层中,无轨道梁支座作用的盾构隧道段剪力呈“花生”型并关于隧道中心呈中心对称分布,拱顶、拱腰、拱底剪力值接近于0,最大负剪值位于盾构隧道45°、225°处,最大正剪值位于135°、315°处。岩层中,无轨道梁底座作用的盾构隧道段剪力呈“梨”型分布,最大负剪值位于60°处,最大正剪值位于120°处,拱腰以下剪力值较小。

土层中,在轨道梁支座作用下,剪力分布由“花生”型分布转变为“三叶草”型分布,有三处负剪值较大,约分别位于45°、210°、285°处,三处正剪值较大,约分别位于120°、255°、330°处,拱底由于底座荷载作用,局部变化明显,且曲线半径越小,局部差异越大。岩层中,在轨道梁底座作用下,除拱底外其他位置处剪力值基本无变化,最大负剪值、最大正剪值均位于拱底附近,剪力最大值随着曲线半径减小而增大。

3.4 纵向受力分析

本工程管片环之间共采用16个M30螺栓进行连接,在有轨道梁支座段对连接螺栓进行了加强,

螺栓等级由5.8级提高为8.8级。

$R=800$ 曲线段轨道梁支座荷载产生管片环间剪切荷载基本组合值为1 322.74 kN。抗剪强度验算公式如下:

$$N_v = n \frac{\pi d^2}{4} f_v = 2\,872\text{ kN} > N_v = 1\,322.74\text{ kN}$$

式中:

N_v ——受剪承载力设计值;

d ——螺杆直径;

f_v ——螺栓的抗剪强度设计值。

从抗剪验算结果可知,采用8.8级螺栓能够承受轨道梁支座产生的环间剪切力,且安全余量较大。

4 结语

本文针对跨座式单轨交通轨道支座对盾构隧道底部管片的压力作用进行了研究,并详细分析了轨道梁支座作用对岩、土层中盾构隧道结构受力的影响。主要结论如下:

1) 轨道梁支座作用对盾构隧道底部内力影响较大。在支座荷载作用下,盾构隧道底部弯矩分布由正弯矩分布转变为负弯矩分布,底部轴力明显减小,底部剪力增大且局部急剧变化。

2) 轨道梁支座荷载作用对圆心以上盾构隧道结构影响较小。在轨道梁支座荷载作用下,盾构隧道底部的内力分布变化明显,但圆心以上盾构隧道结构的轴力、弯矩、剪力基本无变化。

3) 岩层相对于土层而言,盾构隧道弯矩值明显减小,轴力值显著增大,轨道梁支座作用的影响同样相对较小。

4) 环间螺栓采用8.8级,可满足轨道梁支座处盾构管片抗剪承载力要求,且安全余量较大,轨道梁支座作用对盾构隧道纵向受力影响较小。

参考文献

- [1] 周勇. 跨座式单轨交通工程设计与研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2002.
- [2] 刘浪. 基于重庆轻轨2号线的单轨交通结构形式适应性分析[J]. 城市道桥与防洪, 2009(5): 165.
- [3] 王成, 靳宇. 跨座式单轨交通系统领域技术分析[J]. 现代信息科技, 2018(8): 30.
- [4] 李林. 重庆跨座式单轨交通高架轨道梁桥设计[J]. 城市轨道交通研究, 2003(6): 88.
- [5] 李霞明. 跨座式单轨线路设计主要标准及方案优化浅析[J]. 四川建筑, 2005(3): 47.

(下转第133页)

SIL 提供完整的安全证明;③或者在外部消除既有部件引起的危险失效,并在规定的时间内强制达到安全状态,以达到规定的安全目标。

在分析过程中,由于既有部件的失效模式不能追溯到失效的实际原因。因此,当既有部件执行安全功能时,计算系统的危险失效率计算中应将既有部件的所有失效率(安全失效和危险失效)纳入计算,必须证明既有部件的失效率与系统安全功能所需的 TFFR(可接受危险失效率)相匹配。

4.3 采用使用经验证明的要求

有的既有部件虽然在开发过程中没有遵循安全标准进行开发,但经过长时间的实际应用表明其可靠性和安全性达到了一定的水平,如果列车运行控制系统开发过程中采用了这一类既有部件,则可以考虑采用使用经验证明(Proven in Use)其安全性或可靠性的要求。采用这一方法时,进行安全评估时要考虑以下方面的证据:①既有部件在应用过程中的配置没有发生变化;②系统所需要的功能在既有部件的应用中已经使用;③既有部件至少在 10 个以上的不同地点进行 1 年以上的应用^[1];④具有严格的故障报告记录系统,可以提供既有部件在应用过程中发生的所有故障信息;⑤根据 SIL 确定的具体无安全相关故障运行时间证明。

对于既有部件需要具有的无危险性失效的运行时间,参照基础安全标准 IEC 61508 中^[3]的要求,针对不同的 SIL 和数据置信度,其要求的无失效总运行小时如表 2 所示。

表 2 既有部件的分类

SIL	每功能每小时的 TFFR	无失效总运行时间/h	
		置信度 0.95 时	置信度 0.99 时
1	$10^{-6} \leq \text{TFFR} < 10^{-5}$	3×10^6	4.6×10^6
2	$10^{-7} \leq \text{TFFR} < 10^{-6}$	3×10^7	4.6×10^7
3	$10^{-8} \leq \text{TFFR} < 10^{-7}$	3×10^8	4.6×10^8
4	$10^{-9} \leq \text{TFFR} < 10^{-8}$	3×10^9	4.6×10^9

5 结语

列车运行控制系统开发过程中采用既有部件可以加快开发进度,但既有部件的使用应满足系统所分配的安全要求。通过以上分析可知,采用既有部件承担部分列车运行控制系统安全功能是一个可行的做法,但需要针对既有部件的类型和特点进行安全分析,并将既有部件纳入到系统的设计、开发、验证和确认活动中,在这个过程中收集既有部件的相关信息和安全证据。同时,根据系统安全要求,开发设计过程中需要采取相应的安全措施,以检测并控制既有部件的失效。

参考文献

[1] CENELEC. Railway applications; safety related electronic systems for signalling; EN 50129[S]. Brussels, 2018;130.
[2] CENELEC. Railway applications; software for railway control and protection systems; EN 50128[S]. Brussels, 2011;41.
[3] IEC. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems (part 7): overview of techniques and measures; IEC 61508-7[S]. Brussels, 2010;107.

(收稿日期:2021-01-14)

(上接第 129 页)

[6] 乔志.跨座式单轨交通车辆-轨道梁耦合系统动力问题研究[D].北京:北京交通大学,2016.
[7] 刘国超.跨座式单轨交通钢轨道梁地震响应分析[D].成都:西南交通大学,2011.
[8] 武农,雷慧锋,郭铨.跨座式单轨作为中等规模城市轨道交通模式的适应性分析[J].隧道建设,2015(7):623.

[9] 马继兵.跨座式单轨交通系统结构静动力行为研究[D].成都:西南交通大学,2008.
[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012;12.
[11] 胡瑞青,王士民.泥炭质土不同赋存条件对盾构隧道衬砌结构动力响应特性影响分析[J].铁道标准设计,2017(8):101.

(收稿日期:2019-05-10)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. com