

文章编号: 1005—0523(2006)04—0005—04

盾构隧道下穿对土质路基无碴轨道的影响

刘建国

(同济大学 道路与交通工程教育部重点试验室, 上海 200092)

摘要:随着高速客运专线建设在国内的全面开展, 无碴轨道技术也正从试验研究阶段逐步走向应用. 但若土质路基上铁路采用无碴轨道方式, 由于其对路基沉降的苛刻要求, 市政下穿项目对其影响不能忽略不计. 本文针对盾构隧道推进中引发的地表沉降采用 PECK 公式对其影响因素进行了讨论; 根据有关规定的的地表不均匀沉降的限值, 针对不同的隧道直径提出了上覆土最小厚度的经验公式.

关 键 词:无碴轨道; 盾构穿越; PECK 公式

中图分类号:U213.2+44

文献标识码:A

1 引言

目前大部分高速铁路已运营的国家所采用轨道形式多为有碴轨道, 但有碴轨道在列车载荷的作用下, 残余变形积累很快, 而且沿线路方向的变形积累和轨道刚度分布不均匀, 从而造成轨道不平顺, 同时显著增加轨道的养护维修工作量. 而无碴轨道在此方面具备着明显的优势. 可是无碴轨道在运营过程中一旦产生病害, 维修将十分困难. 高速铁路无碴轨道若在土质路基上铺设, 则不可避免地将遇到城市市政工程(管线, 道路, 地铁隧道等)与高速铁路交叉. 以往多采用架空方式跨越, 但现在随着盾构顶管等非开挖施工技术日趋成熟, 地下穿越方式越来越多地被采用. 鉴于无碴轨道轨道对于病害尤其是路基沉陷非常敏感, 因此有必要对市政工程下穿铁路过程中对于无碴轨道的影响进行深入的研究.

2 土质路基无碴轨道沉降控制要求

无碴轨道在隧道内、高架结构和桥梁上已经广泛应用, 而在高速土路基上的应用则十分谨慎, 除德国 Rheda 轨道铺设应用较多并基本定型外, 日本、美国等许多国家多处于积极的试铺试验中. 世界各国铁路在土路基上铺设的少维修无碴轨道, 其轨下基础结构多为在混凝土道床或沥青混凝土道床上铺设支承块式、整体式、双块式混凝土枕^{[1][2]}.

纵观世界各国的无碴轨道, 无碴轨道仅就铺设精度而言就必须达到毫米级, 因此极为重视路基的变形. 尤其无碴轨道对于不均匀沉降变形要求非常严格, 对于调高量为 30 mm 的扣件, 扣件施工误差为 +6/-4 mm, 仅有 20 mm 可以调整, 再考虑列车运行时需要的 +5 mm 的余量, 实际留给运营期间的允许调整量仅为 15 mm. 若沉降大于 15 mm, 将无法调整到原来的轨面高程.

德国计算与经验表明: 路基的允许工后沉降量为扣件留给路基沉降调整量的 3 倍, 可依靠圆顺竖曲线也可以保证运营要求. 因此德铁规定: 对于长

收稿日期: 2006—01—08

作者简介: 刘建国(1975—), 男, 黑龙江克山人, 在读博士, 讲师, 研究方向: 地下工程.

度大于 20 m 沉降均匀的路基,若允许的扣件调整量为 20 mm,则此时的允许的工后沉降量可以达到 30 mm。(4)我国的客运专线无碴技术标准也是沿袭德国的相关行业规定。^[3]

日本铁路无碴轨道沉降控制相关技术标准则较为简单:(1)最终沉降目标 ≤ 30 mm;(2)最大挠度值 $\leq 1/1\ 800$;(3)最大折角 $\leq 3/1\ 000$;(4)路堤以上强度 $K30 \geq 110$ MPA/M。同时指出:就地基基础而言,应以岩基、N 值 ≥ 8 的冲积粘土层、厚度 ≥ 2 m 的不含粘土层的冲积砂砾层地基为主。

3 下穿工程对于路基与轨道变形的影响分析

鉴于无碴轨道土质路基的变形要求极为严格,因此有必要针对规范中提出的判别准则对于地下工程穿越无碴轨道的可行性进行分析。工程实践表明:隧道施工采用盾构法可以很有效地控制地表变形,但是也不可避免地对周围土体产生一些影响。其与施工参数控制,人员的技术水平等主客观原因有着联系。如何去准确描述盾构推进过程中引发的地表的垂直位移,一直困扰着现场科技人员。目前比较有效的且得到公认的方法为 PECK 经验公式。^[4]

当地层为均匀土质地层,墨西哥学者 Peck 和英国学者 Reilly 提出了地表沉降规律(横向)符合正态概率曲线的推断,Peck 方程为:

$$s = s_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \quad (1)$$

式中: x —距隧道中心的距离; s —距隧道中心为 x 的地面沉降量; $s_{\max}$ —隧道中心处最大沉降量; i —沉降槽宽度系数,可利用以下经验公式计算:

$$i = \frac{H+R}{\sqrt{2\pi}\tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (2)$$

式中: H —覆土厚度 R —计算半径;

PECK 还认为,提出隧道开挖过程中引起的地面沉降是在不排水条件下发生的,沉降槽体积应该等于地层损失的体积,可推求地面最大沉降公式:

$$S_{\max} = \frac{\pi R^2}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{\Delta A}{A} \right) \quad (3)$$

式中 ΔA 为沉降槽断面面积, A 为隧道面积。一般认为 $\frac{\Delta A}{A}$ 可控制再 1%~3% 之间^[5]。

$$\text{沉降槽最大宽度: } B = 5 \times i \quad (4)$$

从式(1)、(2)、(3)中可以看出隧道开挖影响地

表沉降的主要因素有隧道直径、地层损失率、覆土厚度以及上覆土的内摩擦角。因此有必要研究这些因素对于地表沉降槽的影响,并判定路基沉降是否再无碴轨道所规定的限值之内。

本文假设无碴轨道在沉降过程中与路基贴合紧密,道床与路基之间未出现明显空隙。因此认为路基的沉降曲线即为道床的沉降曲线,计算方法参见图 3。

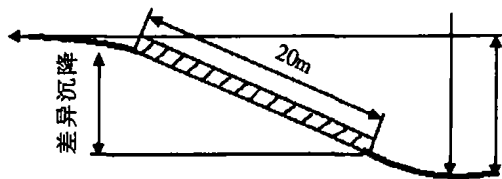


图3 无碴轨道差异沉降计算方法

无碴轨道对于差异沉降最为敏感,因此本文中认为在沉降槽范围内,沉降较为平缓均匀,判别主要以差异沉降为主,其限值采用我国客运专线无碴轨道技术标准,即:规定 20 m 范围内的均匀沉降不能超过 3 cm。

为全面为了综合反映上覆土体内摩擦角,和覆土厚度对地面沉降的影响,特选取某地区较为普遍的参数进行计算:盾构直径为 6.33 m,土体内摩擦角为 $7^\circ \sim 15^\circ$,上覆土分别选取 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m。沉降槽宽度系数,沉降槽宽度以及沉降最大值,20 m 范围差异沉降与覆土厚度关系参见图 4,图 5,图 6,图 7,图中 Φ_i 为土体内摩擦角。

从图 4~图 7 中可以看出在盾构外径相同情况下:(1)沉降槽宽度系数与沉降槽宽度随覆土厚度的增加而增加,且基本呈线性关系;(2)最大地面沉降随着覆土厚度增加而减小,且与 20 m 范围不均匀沉降变化趋势一致;满足规范要求的 3 cm 限制界限的覆土厚度在 10 m 左右。(3)土体内摩擦角为 $7^\circ \sim 15^\circ$ 范围内对于沉降槽宽度和最大沉降与差异沉降都影响较小。

鉴于此,将土体内摩擦角定为 11° ,选取隧道直径 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m 进行研究,且在上覆土厚度上充分考虑到规范中所做的最小覆土厚度必须大 1 倍盾构外径的规定。地层损失率为 2% 的地表最大沉降值和 20 m 范围内不均匀沉降最大值与覆土厚度的关系计算结果参见图 8,图 9。地层损失率为 3% 的计算结果参见图 10,图 11。可以看出,盾构外径对于沉降的影响是较大的,在工程实践中直接影响到受扰动的土体的范围。

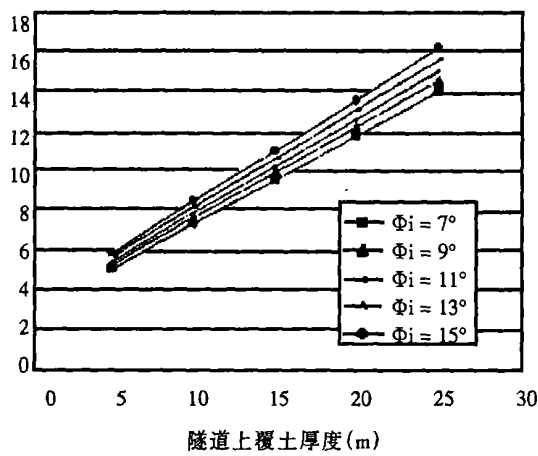


图 4 沉降槽宽度系数与覆土厚度关系

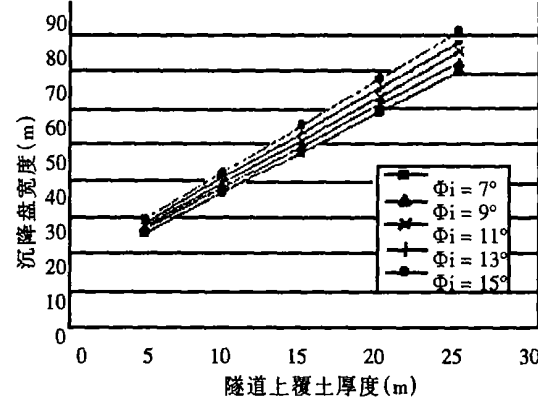


图 5 沉降槽宽度系数与覆土厚度关系

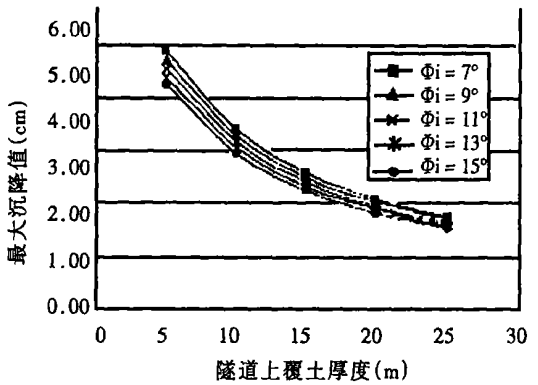


图 6 沉降最大值与覆土厚度关系

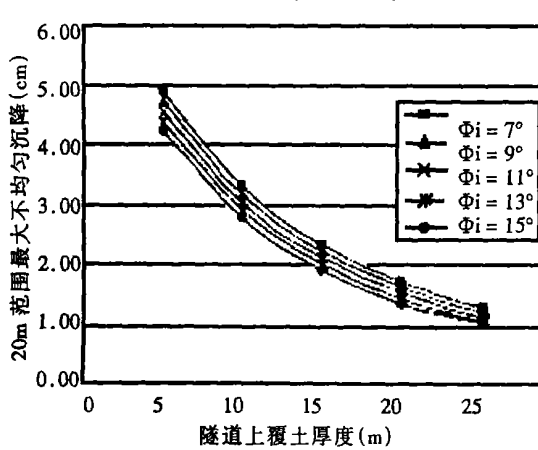


图 7 20m 范围差异沉降与覆土厚度关系

采用插值方法将图 9, 图 10 中各种盾构直径对应 3cm 界限的最小上覆土厚度的整理出来, 汇总于图 12. 并得到两个拟合的三次多项式:

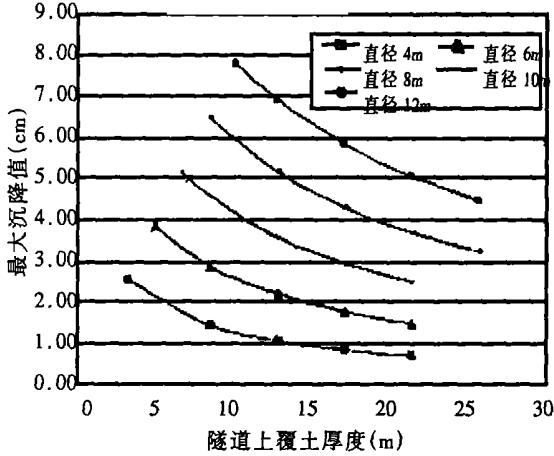


图 8 沉降最大值与覆土厚度关系

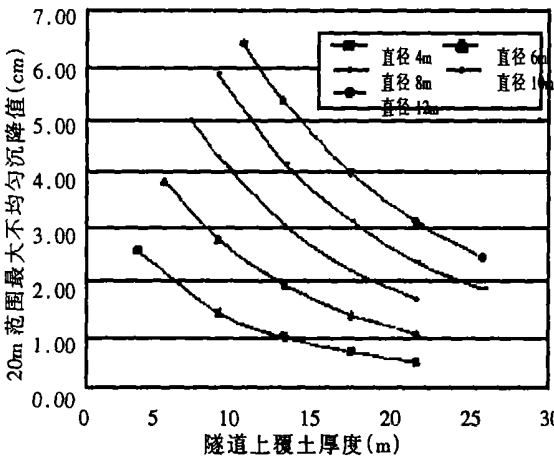


图 9 20m 范围差异沉降最大值与覆土厚度关系 (地层损失率 2%)

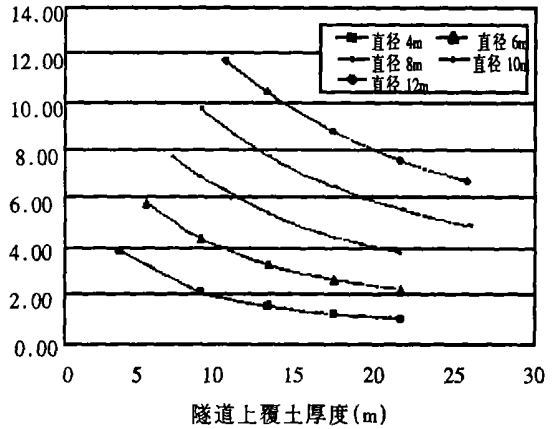


图 10 沉降最大值与覆土厚度关系 (地层损失率 2%)

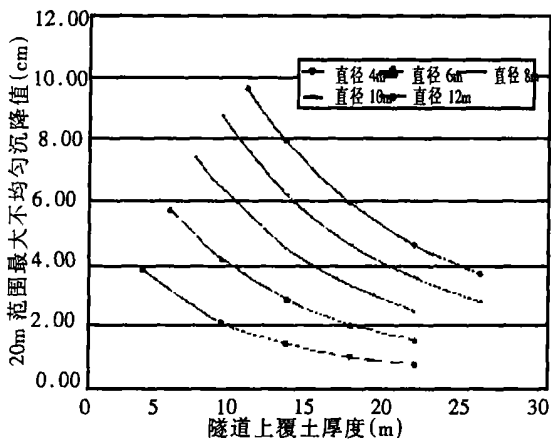


图 11 20m 范围差异沉降最大值与覆土厚度关系 (地层损失率 3%)

$$H_{\min} = 0.0105 D^3 - 0.3531 D^2 + 6.4424 D - 18.96 \quad (5)$$

$$H_{\min} = 0.0132 D^3 + 0.2031 D^2 + 2.8474 D - 6.4225 \quad (6)$$

式中 D 为隧道直径。(式 5 对应地层损失率 2%; 式 6 对应地层损失率 3%)。

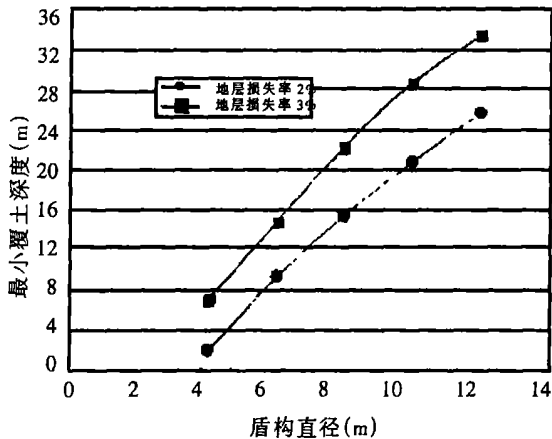


图 12 盾构外径与极限覆最度关系

同时从图 12 不难看出, 2% 地层损失率与 3% 的地层损失率对应的最小覆土厚度差别很大, 对应 4 m 直径, 相差接近 4 倍, 而对应 12 m 直径的也相差在 1.3 倍左右. 可见在推进盾构机时, 控制地层损失率是非常重要的。

4 结论

(1) 盾构隧道开挖引起的地表无碴轨道沉降受多种因素的影响, 要正确预估盾构施工引起的地面沉降并采取相应措施将地面沉降控制在允许范围内, 就要综合考虑各种因素的影响。

(2) 从 PECK 计算结果可以看出, 隧道埋深、地层损失率、隧道直径对无碴轨道的非均匀沉降影响比较大。

(3) 本文针对某特定地层和不同的盾构直径, 在地层损失率控制在 2% 和 3% 时, 提出了上覆土极限深度. 由于控制无碴轨道变形的指标不仅包括横向沉降分布, 还应涉及盾构推进轴线上纵向变形. 且满足高速行驶条件下的旅客舒适度, 因此有必要进行更加深入的研究。

参考文献:

- [1] 王其昌, 蔡成标, 等. 高速铁路土路基上无碴轨道的应用[J]. 铁道标准设计 2003, (12): 1—4.
- [2] 孙宏林. 客运专线土质路基地段铺设无碴轨道调研及分析[J]. 铁道标准设计 2005(5), 1—5.
- [3] 客运专线无碴轨道铁路设计指南 北京: 铁道部 2005 30—31.
- [4] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2004 248~254.
- [5] B. Maidl, M. Herrenknecht, L. Anheuser. Mechanised Shield Tunnelling[M]. Berlin: Ernst & Sohn, 1996 25 (November 1993), 27—p28.

The Research about the Affect of the Shield Tunneling across the Ballastless-rail

LIU Jian-guo

(Key laboratory for Highway and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the development of the high-speed-way in china, the technology of ballastless-rail is being brought into effect. If the ballastless-rail is employed on the embankments, the disturbance to the ballastless-rail during the shield-tunneling across the embankments will not be avoided. This paper employ the PECK formula to discuss the key-factors of shield-tunnelling, proposes a experiential formula about the minimum depth of the covering-layer.

Key words: ballastless rail; shield-tunneling across; PECK formula