

DOI: 10.11779/CJGE201805010

考虑回填层的护盾式 TBM 隧道结构设计方法研究

吴圣智^{1,2}, 姜志毅^{1,2}, 王明年^{1,2}, 刘大刚^{*1,2}, 董宇苍^{1,2}

(1. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学交通隧道工程教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

摘 要: 回填层作为管片与围岩之间的传力层对管片受力有着重要的影响, 而现行护盾式 TBM 隧道设计方法均忽略了回填层的影响, 与工程实际存在一定的差异。研究考虑了护盾式 TBM 隧道中回填层的实际分布, 推导了回填层-围岩等效抗力系数计算公式, 并以此建立了 TBM 隧道管片结构设计模型。研究得出: 由于回填层的存在, 围岩-回填层的等效抗力系数与围岩抗力系数存在一定的差别, 围岩抗力系数的改变程度与围岩、回填层力学参数比有关; 回填层在管片背后分布呈“上厚下薄”状, 使得管片背后围岩-回填层弹性抗力系数分布不同, II 级围岩回填层-围岩弹性抗力系数呈“上小下大”的鸭蛋状, III, IV 级围岩近乎圆状, V 级围岩呈“上大下小”的倒鸭蛋状; 基于回填层-围岩等效抗力系数的结构设计模型计算出的管片受力结果与现场试验值更加接近, 验证了回填层-围岩等效抗力系数计算方法和设计模型的准确性。

关键词: 管片; 围岩; 回填层; 抗力系数; 结构设计模型

中图分类号: U25

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2018)05-0857-07

作者简介: 吴圣智(1987-), 男, 博士研究生, 主要从事 TBM 设计及施工控制技术研究。E-mail: 821437063@qq.com。

Design method for shield TBM tunnels considering backfill

WU Sheng-zhi^{1,2}, JIANG Zhi-yi^{1,2}, WANG Ming-nian^{1,2}, LIU Da-gang^{1,2}, DONG Yu-cang^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Key Laboratory of Transportation Tunnel

Engineering, Ministry of Education, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: As the transmission layer between segments and surrounding rock, the backfill layer has important influence on the mechanical characteristics of segments. However, the current design method for shield TBM neglects the influence of the backfill layer, and has differences from the engineering practice. According to the actual distribution of backfill in shield TBM tunnel, the formula for calculating backfill layer and ground reaction coefficient is deduced, and the design model for segment structures is established. It is concluded that due to the existence of the backfill layer, the equivalent resistance coefficient of the surrounding rock and backfill layer is different from that of the surrounding rock. The change degree of the resistance coefficient is related to the mechanical parameters of the surrounding rock and the backfill. Because the backfill behind the segments is thick at upper part and thin at lower part, the distribution of resistance coefficient is different. The distribution of resistance coefficient in rock grade II is small at upper part and large at lower part like a duck egg. The resistance coefficient in rock is grade III and IV, close to be uniform. The resistance coefficient in rock grade V is large at upper part and small at lower part like an inverted duck egg. The calculated results of the segmental force based on the structural design model for backfill are closer to the field test values, and the proposed method for the equivalent resistance coefficient and the design model are verified.

Key words: segment; surrounding rock; backfill layer; resistance coefficient; structural design model

0 引 言

护盾式 TBM 隧道管片与围岩之间通常存在一定的空隙。为固定管片, 防止管片错动失稳, 施工过程中会吹填粒径为 5~10 mm 的碎石并注浆, 从而形成回填层。回填层作为围岩和管片之间的连接部分, 对管片受力具有重要影响^[1-3]。结构设计时, 应考虑围岩、回填层、管片三者的相互作用。目前, 常用的结构设

计方法多采用荷载-结构模型作为计算模型, 将管片与围岩的相互作用以弹性抗力的形式表现。由于回填层的力学性质与管片差距较大, 且施工质量难以保证, 不能将其视作支护结构的一部分, 可以与围岩一并看

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51208434); 重庆市应用开发计划重点项目 (cstc2014yykfB30003)

收稿日期: 2017-03-01

***通讯作者** (E-mail: 82384975@qq.com)

作广义上的地层,类似于盾构施工中的注浆层。回填层的存在改变了原有围岩的力学性能,尤其是其弹性抗力系数。

目前,针对围岩、回填层、管片三者相互作用关系的研究较少。杨悦等^[4]分析了回填层对管片应力的影响,得出增大回填层的弹性模量可以减小管片上的应力。李晶晶^[5]研究了回填层的传力规律,推导了二者的应力解析表达式。上述研究均认识到了回填层对围岩、管片具有重要的作用,但未给出一个明确的定位及相应的结构设计方法。采用荷载结构模型,将三者的作用关系采用围岩-回填层等效抗力系数表达可解决上述问题,但目前尚无围岩-回填层等效抗力系数的计算方法。针对围岩抗力系数的研究,国内外学者做了大量工作,推导了一系列基于隧道椭圆变形的围岩抗力系数公式^[6-10]。但这些均未考虑护盾式TBM隧道具有回填层这一特点,不能准确的反映护盾式TBM隧道实际情况,因此,有必要针对围岩-回填层等效抗力系数的计算方法进行研究,通过相应研究建立考虑回填层的护盾式TBM隧道设计模型,为护盾式TBM隧道设计提供指导。

1 回填层-围岩等效抗力系数计算方法

1.1 回填层均匀分布等效抗力系数计算方法

假定碎石回填层在管片背后分布均匀,且围岩-回填层为连续、均匀的各向同性的弹性体,见图1,围岩-回填层-管片为轴对称模型。其中,回填层内外侧分别承受来自管片、围岩的法向均匀挤压作用力,见图2。

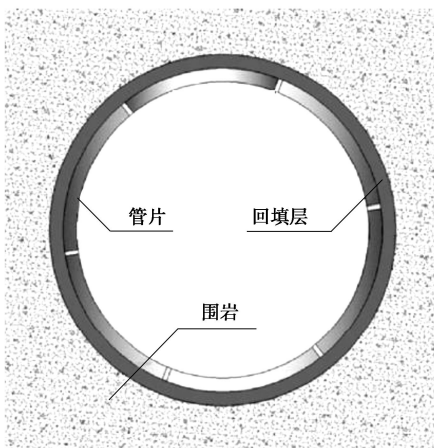


图1 围岩-回填层-管片轴对称模型

Fig. 1 Axisymmetric model for surrounding rock, backfill and segment

围岩-回填层为理想弹性体,符合温克勒假定^[11],其应力应变关系如下式:

$$P_1 = k_1 U_1 \quad (1)$$

式中, P_1 为管片作用在回填层上的法向挤压力, U_1 为回

填层内侧径向变形, k_1 为围岩-回填层的等效抗力系数。

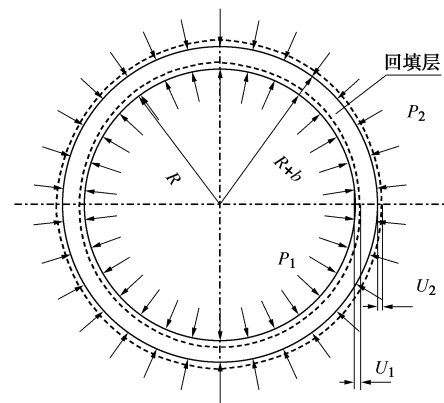


图2 回填层力学模型

Fig. 2 Model for backfill stress

此时, 围岩的应力应变关系为

$$P_2 = k_2 U_2 \quad (2)$$

式中, k_2 为围岩自身的抗力系数, P_2 为回填层对围岩的法向作用力, U_2 为围岩的径向变形。

对回填层受力进行单独分析, 其内外侧分别 P_1 和 P_2 的径向压力, 产生值为 U_1 和 U_2 的变形。依据弹性力学中厚壁圆筒理论, 径向位移、应力表达式如下:

$$u_{\text{径}} = A_1 r + \frac{A_2}{r} \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{径}} = \frac{E}{(1-2\nu)(\nu+1)} A_1 - \frac{E}{(\nu+1)r^2} A_2 \quad (4)$$

边界条件为

$$\left. \begin{aligned} u_{\text{径}} \Big|_{r=R+b} &= U_2, \\ \sigma_{\text{径}} \Big|_{r=R+b} &= -P_2, \\ u_{\text{径}} \Big|_{r=R} &= U_1, \\ \sigma_{\text{径}} \Big|_{r=R} &= -P_1. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

求解可得 P_2 , U_2 的表达式为

$$\left. \begin{aligned} P_2 &= P_1 \times n_1 - U_1 \times n_2, \\ U_2 &= U_1 \times n_4 - P_1 \times n_3. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

根据式(2)将 P_2 和 U_2 用 k_2 代替, 并结合式(6)得到 P_1 , U_1 之间的关系式为

$$P_1 = \frac{k_2 n_4 + n_2}{k_2 n_3 + n_1} U_1 \quad (7)$$

式中, 系数 $n_1 \sim n_4$ 表达式为

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{(R+b)^2 + (1-2\nu_0)R^2}{2(1-\nu_0)(R+b)^2}, \\ n_2 &= \frac{E_0}{1-\nu_0^2} \times \left[\frac{1}{R} - \frac{R}{(R+b)^2} \right], \\ n_3 &= \frac{(1-2\nu_0)(1+\nu_0)}{2E_0(1-\nu_0)} \times \left[\frac{(R+b)^2 - R^2}{R+b} \right], \\ n_4 &= \frac{R^2 + (1-2\nu_0)(R+b)^2}{2(1-\nu_0)(R+b)R}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中, E_0 , ν_0 为回填层的弹性模量与泊松比, b 为回填层厚度, R 为管片外半径。根据式 (1)、(7)、可得围岩-回填层等效抗力系数的计算公式为

$$k_1 = \frac{k_2 n_4 + n_2}{k_2 n_3 + n_1} \quad (9)$$

1.2 回填层分布不均等效抗力系数计算方法

在工程实际中,管片背后的回填层并非均匀分布,而是拱顶厚,拱底薄的弧形分布,见图 3。在回填层均匀分布的基础上进一步推导非均匀分布时,围岩-回填层等效抗力系数计算方法。

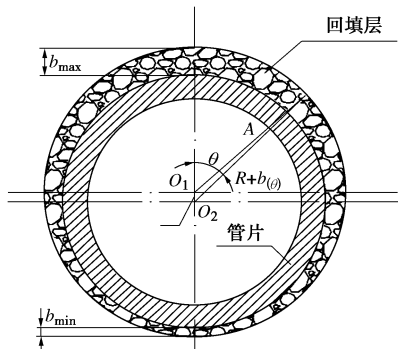


图 3 回填层非均匀分布
Fig. 3 Non-uniform distribution of backfill

图 3 中,

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{b_{\max} + b_{\min}}{2} + R, \\ B &= \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中, b_{\max} 为回填层拱顶最大厚度值, b_{\min} 为回填层拱底最小厚度值。由此,各部位回填层厚度可以由下式获得:

$$b_{(\theta)} = \sqrt{\left(\frac{b_{\max} + b_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{b_{\max} - b_{\min}}{2} \sin \theta\right)^2} + \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2} \cos \theta - R \quad (11)$$

由于隧道洞壁及回填层的变形均远小于隧道半径,此时剪应变极小,剪应力也相应的极小。由此假定隧道洞壁、回填层内外侧面上的剪应力 $\tau_{r\theta}$ 为 0,相应的回填层在 θ 面和 r 面上的剪应力分量均为 0。回填层均匀分布求解等效抗力系数时,由于结构及所受荷载均对称,回填层所受应力与 θ 无关,仅与 r 有关,且只承受正应力 σ_r 无剪应力 $\tau_{r\theta}$ 。取出角度无限小 $\Delta\theta$ 边长为 b 的回填层进行分析,见图 4。

图 4 中切向力 $P_{\theta(r)}$ 为与 r 相关的函数值。当回填层不均匀分布时,角度为 $\Delta\theta$, 长度为 $b_{(\theta)}$ 的回填层受力与图 4 相同。回填层内外侧所受的力 P_2 , P_1 变为 $P_2(\theta)$ 和 $P_1(\theta)$, 厚度变为 $b_{(\theta)}$ 。由此可以计算出回填层分布不均匀时各点的围岩-回填层等效弹性抗力计算

公式:

$$k_{1(\theta)} = \frac{k_2 n'_4 + n'_2}{k_2 n'_3 + n'_1} \quad (12)$$

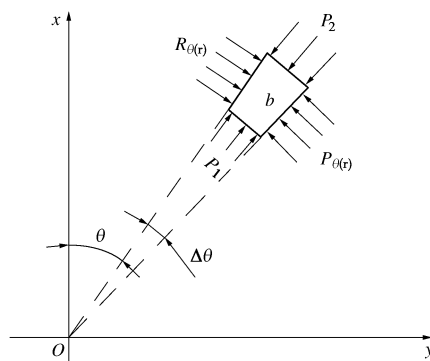


图 4 回填层微段受力模型

Fig. 4 Stress model for a slice of backfill

式中, $n'_1 \sim n'_4$ 的表达式如下所示:

$$\left. \begin{aligned} n'_1 &= \frac{(R + b_{(\theta)})^2 + (1 - 2\nu_0)R^2}{2(1 - \nu_0)(R + b_{(\theta)})^2}, \\ n'_2 &= \frac{E_0}{1 - \nu_0^2} \times \left[\frac{1}{R} - \frac{R}{(R + b_{(\theta)})^2} \right], \\ n'_3 &= \frac{(1 - 2\nu_0)(1 + \nu_0)}{2E_0(1 - \nu_0)} \times \left[\frac{(R + b_{(\theta)})^2 - R^2}{R + b_{(\theta)}} \right], \\ n'_4 &= \frac{R^2 + (1 - 2\nu_0)(R + b_{(\theta)})^2}{2(1 - \nu_0)(R + b_{(\theta)})R}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

2 管片背后等效抗力系数分布特征分析

现结合青岛地铁 2 号线双护盾 TBM 掘进段进行分析。隧道开挖直径 6.3 m, 管片外径 6 m, 回填层弹性模量 0.9 GPa, 泊松比 0.3, 拱顶回填层厚 0.25 m, 拱底厚 0.05 m。分别计算围岩为 II ~ V 级时围岩-回填层的等效弹性抗力系数。围岩弹性抗力系数按照规范分别选取为 1500, 850, 350, 150 MPa/m。为方便比较,定义以抗力系数比 K 为

$$K = \frac{k_1}{k_2} \quad (14)$$

当 $K > 1$ 时,围岩-回填层等效弹性抗力系数大于围岩弹性抗力系数,回填层起到了增强作用;反之,回填层起到削弱作用。不同围岩等级下管片背后的抗力系数比 K 计算结果见图 5。抗力系数比最大值与最小值计算结果见表 1。

表 1 回填层抗力系数对比

Table 1 Comparison of resistance coefficients of backfill				
部位	II 级	III 级	IV 级	V 级
拱顶	0.798	0.911	1.079	1.310
拱底	0.951	0.981	1.019	1.068
比值	1.19	1.08	0.94	0.82

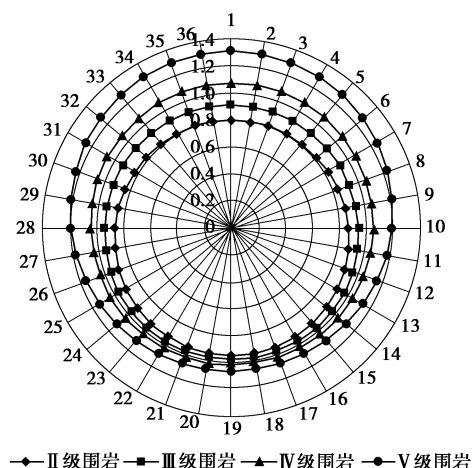


图5 管片背后抗力系数分布

Fig. 5 Distribution of resistance coefficient behind segments

由计算结果可以得出以下结论:

(1) 由于回填层的存在, 围岩-回填层的等效抗力系数与围岩抗力系数存在一定的差别, 其中II级围岩和V级围岩弹性抗力系数改变约20%, 可见回填层的作用不可忽略。

(2) 对于质量较好的围岩, 由于回填层力学参数相对于围岩力学参数较低, 回填层的存在弱化了围岩抗力系数; 对于质量较差的围岩, 由于回填层力学参数相对于围岩力学参数较高, 回填层的存在则增强了围岩抗力系数。可见回填层的存在既可以提高原围岩抗力系数, 也可降低原围岩抗力系数, 围岩抗力系数的改变程度与围岩、回填层力学参数比有关。

(3) 由于回填层在管片背后分布呈“上厚下薄”状分布, 使得管片背后围岩-回填层等效弹性抗力系数分布不同。对于质量较好的围岩, 如II级围岩, 回填层的存在降低了围岩抗力系数, 此时回填层厚度越厚, 回填层-围岩等效弹性抗力系数越低, 因此II级围岩回填层-围岩等效弹性抗力系数呈“上小下大”的鸭蛋状分布。对于质量较差的围岩, 如V级围岩, 回填层的存在提高了围岩抗力系数, 回填层厚度越厚, 回填层-围岩等效弹性抗力系数越大, 因此V级围岩回填层-围岩弹性抗力系数呈“上大下小”的倒鸭蛋状分布。对于III, IV级围岩, 回填层对围岩抗力系数改变不为明显, 回填层-围岩等效弹性抗力系数分布较均匀, 近乎圆形。由管片背后回填层-围岩等效弹性抗力系数分布可以看出, 回填层厚度对等效弹性抗力系数的影响随围岩与回填层力学参数比不同而呈现不同的规律, 围岩与回填层力学参数比为影响等效抗力系数的主要因素。

3 管片设计方法及现场试验验证

3.1 管片设计模型

目前, 隧道结构设计方法多采用荷载结构计算模型, 管片与围岩的相互作用以弹性抗力的方式表现, 反映到计算模型中则以土弹簧的形式出现, 见图6。

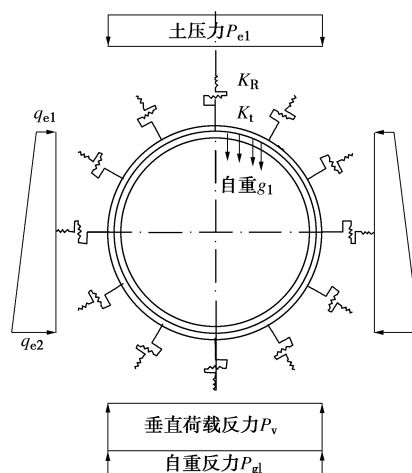


图6 管片设计计算模型

Fig. 6 Computational model for segment design

由于护盾式TBM隧道管片与围岩之间存在回填层, 管片与围岩的相互作用应由回填层-围岩等效弹性抗力表示。因此, 模型中土弹簧径向刚度 K_R 应由回填层-围岩等效弹性抗力系数计算公式获得, 不同的部位弹簧刚度也不相同, 切向刚度 K_t 取径向刚度的1/3, 土弹簧计算为

$$\left. \begin{aligned} K_R &= \begin{cases} k_{t(\theta)} & (\text{弹簧受压}) \\ 0 & (\text{弹簧受拉}) \end{cases} \\ K_t &= \frac{K_R}{3} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

计算模型中土压力依据铁路隧道规范计算。

3.2 现场试验验证

为验证回填层-围岩等效弹性抗力系数计算公式及相应的结构设计模型, 进行了现场试验。选择青岛地铁2号线徐家麦岛-麦岛站458环作为试验断面, 458环为微风化花岗岩, 围岩等级为III级, 断面地质剖面图及隧道穿越区围岩物理力学参数见图7。

为分析隧道结构受力, 在管片预制过程中, 埋设了10组混凝土应变计, 测试电缆放置于特定的保护盒内保护。待管片养护完成后, 将管片安装于试验断面, 取出保护盒及测试电缆进行现场测试, 仪器布置见图8。

分别建立考虑回填层和不考虑回填层的荷载-结构模型对试验断面进行结构内力计算, 并与实测值进行比较。碎石回填层力学参数选用第三节数据, 等效抗力系数按照式(12)计算, 计算结果见表2。

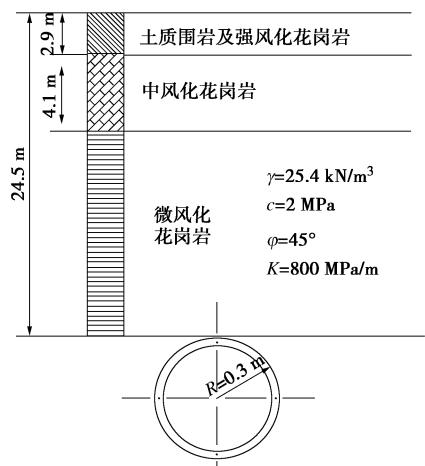


图 7 458 环地质剖面图
Fig. 7 Geological profile of ring No. 458

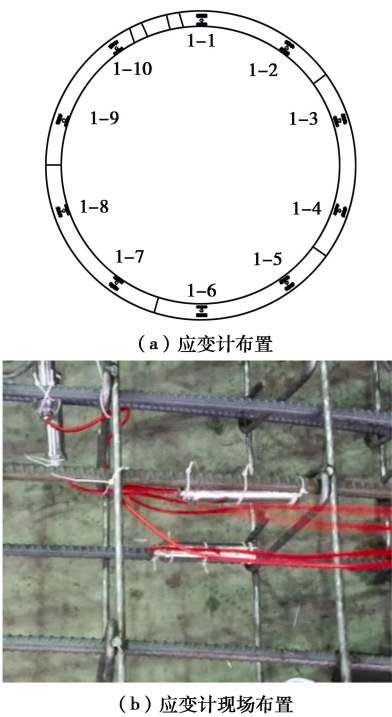


图 8 混凝土应变计布置
Fig. 8 Arrangement of concrete strain gauges

表 2 弹性抗力系数取值

Table 2 Determinations of elastic resistance coefficient			
断面	位置	围岩抗力系数 MPa/m	围岩-回填层等效抗 力系数 MPa/m
458	拱顶	800	737
	拱底		786

通过计算得出的围岩-回填层等效抗力系数可以看出, 由于原围岩质量较好, 回填层的存在弱化了围岩原有的抗力系数, 管片背后等效抗力系数分布上小下大, 但差距较小。建立壳-弹簧模型, 管片采用壳单元, 地层、管片接头采用弹簧单元, 模型见图 9。接头抗弯刚度取值为 $40 \text{ MN}\cdot\text{m}/\text{rad}^{[12-16]}$, 荷载依据规范

计算取值 152.4 kPa 。
将考虑回填层的计算结果和不考虑回填层的计算结果分别与实测值进行比较, 见图 10, 11。

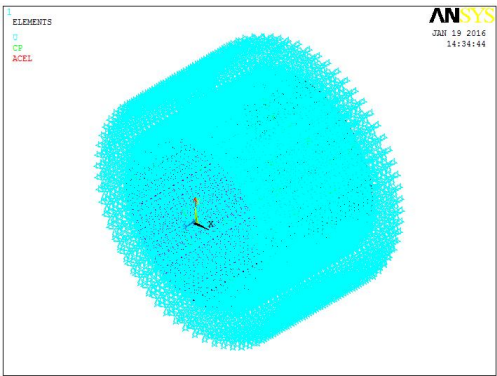


图 9 壳-弹簧数值计算模型
Fig. 9 Numerical model for shell-spring

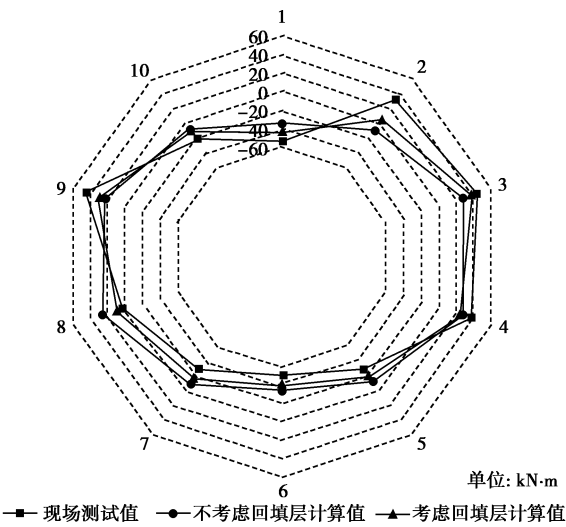


图 10 弯矩计算值与实测值对比
Fig. 10 Comparison between calculated and measured moments

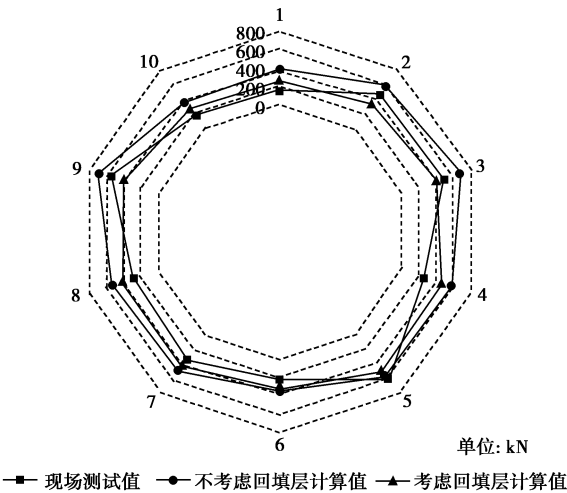


图 11 轴力计算值与实测值对比
Fig. 11 Comparison between calculated and measured axial forces

由计算结果可以发现,考虑碎石回填层计算出的弯矩极值为 $-43.1\text{ kN}\cdot\text{m}$,其绝对值大于不考虑回填层时计算出的弯矩值 $-35.7\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。考虑碎石回填层计算出的轴力极值为 498 kN ,其值小于不考虑回填层时计算出的轴力极值 678 kN 。可见,在回填层的作用下,围岩弹性抗力系数降低,管片内力增加。因此,隧道设计中忽略回填层的存在结构可能存在一定的安全隐患,回填层的影响不可忽视。将计算结果与现场实测值对比可得出,考虑碎石回填层计算出的结果与实测值更为接近,由此可以验证围岩-回填层等效抗力系数的计算方法及基于等效弹性抗力系数建立的结构设计模型是合理的。

4 结 论

回填层作为管片与围岩之间的传力层对管片受力有着重要影响,而现行护盾式TBM隧道设计方法均忽略了回填层的影响,与工程实际存在一定的差异。研究采用理论推导、现场试验、数值模拟等方法,对围岩、回填层、管片三者相互作用进行了分析,得出了以下结论:

(1) 采用围岩-回填层等效抗力系数表达围岩-回填层-管片三者作用关系,依据温克勒假定和厚壁圆筒理论推导了回填层均匀分布与不均匀分布时的回填层-围岩等效抗力系数计算公式,并以此建立了管片结构设计模型。该模型计算出的管片受力结果与现场试验值更加接近,从而验证了回填层-围岩等效抗力系数计算方法和设计模型的准确性。

(2) 由于回填层的存在,围岩-回填层的等效抗力系数与围岩抗力系数存在一定的差别,其中Ⅱ级围岩和Ⅴ级围岩地层弹性抗力系数改变达到了20%。围岩抗力系数的改变程度与围岩、回填层力学参数比有关。对于质量较好的围岩,由于回填层力学参数相对围岩较低,回填层的存在弱化了围岩抗力系数;对于质量较差的围岩,回填层的存在则增强了围岩抗力系数。

(3) 由于回填层在管片背后分布呈“上厚下薄”状,使得管片背后围岩-回填层弹性抗力系数分布不同。对于质量较好的围岩,如Ⅱ级围岩,回填层的存在降低了围岩抗力系数,此时回填层厚度越厚,回填层-围岩等效弹性抗力系数越低,因此Ⅱ级围岩管片背后回填层-围岩弹性抗力系数呈“上小下大”的鸭蛋状分布。对于质量较差的围岩,如Ⅴ级围岩,回填层的存在提高了围岩抗力系数,此时回填层厚度越厚,回填层-围岩等效弹性抗力系数越大,因此Ⅴ级围岩管片背后回填层-围岩弹性抗力系数呈“上大下小”的倒

鸭蛋状分布。对于Ⅲ,Ⅳ级围岩,回填层对围岩抗力系数改变不为明显,回填层-围岩弹性抗力系数较均匀分布,近乎圆形。

参考文献:

- [1] 夏定光. 豆砾石回填与灌浆技术探索[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(1): 20 - 23. (XIA Ding-guang. Discussion on gravel backfilling and grouting[J]. Modern Tunneling Technology, 2002, 39(1): 20 - 23. (in Chinese))
- [2] 苏华友, 汪家林. TBM 施工中的质量控制与管理[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(11): 1930 - 1934. (SU Hua-you, WANG Jia-lin. Quality control and management of TBM construction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004(11): 1930 - 1934. (in Chinese))
- [3] 郭陕云. 对盾构(TBM)技术运用及开发的几点认识[J]. 隧道建设, 2008, 28(6): 631 - 637. (GUO Shan-yun. Comments on application and development of TBM/shield tunneling technology[J]. Tunnel Construction, 2008, 28(6): 631 - 637. (in Chinese))
- [4] 杨悦, 尹晓黎, 高红梅, 等. 地铁盾构隧道回填层的应力传导性能[J]. 黑龙江科技学院学报, 2013(6): 571 - 576. (YANG Yue, YIN Xiao-li, GAO Hong-mei, et al. Stress conductivity of backfill in subway TBM construction tunnel[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology 2013(6): 571 - 576. (in Chinese))
- [5] 李晶晶. TBM(盾构)施工斜井围岩-支护相互作用机理研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015. (LI Jing-jing. Research on interaction between surrounding rock and support by TBM techniques[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2015. (in Chinese))
- [6] WOOD A M M. The circular tunnel in elastic ground[J]. Géotechnique, 1975, 25(1): 115 - 127.
- [7] ZHANG D, HUANG H, PHNOON K K, et al. A modified solution of radial subgrade modulus for a circular tunnel in elastic ground[J]. Soils and Foundations, 2014, 54(2): 225 - 232.
- [8] 徐栓强, 俞茂宏. 考虑中间主应力效应的隧洞岩石抗力系数的计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增刊 1): 4303 - 4305. (XU Shuan-qiang, YU Mao-hong. Calculation of rock resistant factor in tunnel considering intermediate principal stress effect[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(S1): 4303 - 4305. (in Chinese))
- [9] 封坤, 刘四进, 邱月, 等. 盾构隧道地层抗力系数的修正计算方法研究[J]. 铁道工程学报, 2014(6): 62 - 67. (FENG Kun, LIU Si-jin, QIU Yue, et al. Research on the

- modified calculation method for ground resistance coefficient of shield tunnel[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(6): 62 - 67. (in Chinese))
- [10] LEE K M, HOU X Y, GE X W, et al. An analytical solution for a jointed shield-driven tunnel lining[J]. International Journal for Numerical & Analytical Methods in Geomechanics, 2001, 25(4): 365 - 390.
- [11] 王光钦. 弹性力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008. (WANG Guan-qin. Mechanics of elasticity[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2008. (in Chinese))
- [12] 晏启祥, 唐茂皓, 何 川, 等. 基于薄壁圆柱壳理论的盾构隧道抗震拟静力分析法[J]. 岩土工程学报, 2014(7): 1371 - 1376. (YAN Qi-xiang, TANG Mao-hao, HE Chuan, et al. Pseudo-static analysis method for shield tunnels based on theory of thin-walled cylindrical shell[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014(7): 1371 - 1376. (in Chinese))
- [13] 封 坤, 何 川, 夏松林. 大断面盾构隧道结构横向刚度有效率的原型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011(11): 1750 - 1758. (FENG KUN, HE Chuan, XIA Song-lin. Prototype tests on effective bending rigidity ratios of segmental lining structure for shield tunnel with large cross-section[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011(11): 1750 - 1758. (in Chinese))
- [14] 何 川, 周济民, 封 坤, 等. 基于接头非线性抗弯刚度的盾构隧道迭代算法的实现与应用[J]. 土木工程学报, 2012(3): 166 - 173. (HE Chuan, ZHOU Ji-min, FENG Kun, et al. An iterative algorithm based on segment joint stiffness nonlinearity and application for shield tunnel structures[J]. China Civil Engineering Journal, 2012(3): 166 - 173. (in Chinese))
- [15] 郭 瑞. 盾构隧道管片衬砌结构稳定性问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014. (GUO Rui. Research on stability of segmental lining structure of shield tunnel[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2104. (in Chinese))
- [16] 彭益成, 丁文其, 朱合华, 等. 盾构隧道衬砌结构的壳-接头模型研究[J]. 岩土工程学报, 2013(10): 1823 - 1829. (PENG Yi-cheng, DING Wen-qi, YAN Zhi-guo, et al. Analysis and calculation method of effective bending rigidity ratio in modified routine method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013(10): 1823 - 1829. (in Chinese))

第十届全国土动力学学术会议二号通知 2018年11月2日~4日

主办单位: 中国振动工程学会土动力学专业委员会; 中国地震学会岩土工程防震减灾委员会; 恢先地震工程学基金会(中国)。

承办单位: 南京工业大学。

第十届全国土动力学学术会议将于2018年11月2日~4日在六朝古都南京召开。本次会议是继1980年12月6~12日在合肥召开“土的动力特性学术讨论会”后有着近四十年历史的第十次学术盛会, 在汶川特大地震10周年之际的2018年召开“第十届全国土动力学学术会议”, 将是一次具有历史意义的学术盛会。

会议主题与内容: 围绕“一带一路”倡议、“建设海洋强国”和“西部大开发”战略中的重大工程灾害灾前预防与综合防范, 本次会议重点研讨防灾减灾救灾工作“两个坚持、三个转变”新理念中遇到的前沿科学与关键技术问题, 具体征文专题如下: ①土的动力特性与本构关系; ②土与结构动力相互作用; ③土动力学数值与物理模拟研究; ④土动力学室内试验方法与技术; ⑤原位动力测试与表征技术; ⑥砂土液化评价与防治; ⑦强地震动与场地非线性效应; ⑧近海工程的特殊土动力

学问题; ⑧环境振动与测试技术; ⑨重大工程的土动力学问题; ⑨工程场地地震损失评估与灾害保险; ⑩桩基动力测试技术。

大会秘书处: 联系人: 庄海洋13584050564, 吴志坚13919182444, 陈炜昀13770620150, 赵凯13951863149, 王盛年15077865785, 通讯地址: 南京工业大学虹桥校区实验楼400-1室, 鼓楼区中山北路200号, 邮编: 210009, 论文提交邮箱: 王盛年myresort@126.com, 赵凯 zhaokai@njtech.edu.cn。

重要时间: 论文全文截止: 2018年5月30日, 修改稿截止: 2018年7月30日, 论文录用通知: 2018年8月30日。

会议论文征集: 会议论文应为未经正式发表过的最新成果, 学术委员会将组织专家对提交论文进行审查, 通过审查的论文将在《地震工程学报》专刊、《防灾减灾工程学报》和《地震工程与工程振动》正刊发表, 论文版面费自理。

会议、住所地点: 会议酒店: 南京国际青年会议酒店, 地址: 南京建邺区金沙江西街9号(南京保利大剧院旁), 电话: 025-86538888, 大会统一安排住宿, 费用自理。

会议费用: 正式代表1600元/人, 学生代表800元/人, 随从人员600元/人(自行安排食宿除外)。

(大会组委会 供稿)