

DOI: 10.11779/CJGE201708024

## 关于“考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究”的讨论

黎春林

(铜陵学院建筑工程学院, 安徽 铜陵 244000)

## Discussion on“Theoretical study on earth pressure on shallow tunnel considering principal stress rotation”

LI Chun-lin

(Department of Civil and Structural Engineering, Tongling University, Tongling 244000, China)

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2017)08-1545-02

作者简介: 黎春林(1971-), 男, 安徽宿松人, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程设计研究。E-mail: lichunlin111@126.com。

## 0 引言

贵刊于 2016 年第 5 期刊登了题为“考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究<sup>[1]</sup>”的文章(以下简称“原文”)。近日阅读原文, 深受启发, 但也有一些疑问, 想与原文作者和同行作进一步探讨。

## 1 需要商榷的 4 个问题

(1) 以土体极限状态推导支护力与实际工程中土体真实应力状态不符

原文支护压力的推导基于一个并不符合工程实际的前提, 也就是认为隧道上方土体充分变形, 土体抗剪强度充分发挥, 土体达到一个极限平衡状态, 这与实际工程土体真实的应力状态不符<sup>[2]</sup>, 因为此时土体濒临破坏。因此文中推荐的支护力计算方法获得的是一个土体处于极限平衡、土体自身强度充分发挥状态下最小支护力, 其值肯定会小于实际的支护力, 如果应用于工程实际也必将带来不安全的因素。

(2) 原文中将滑裂面假定为垂面不合适

在实际工程中滑裂面并不是垂面, 很多的学者对此现象也进行了分析<sup>[3-5]</sup>。当然包括太沙基在内的很多学者为简化分析, 假定土体滑动面垂直, 是基于土体滑动面虽然不垂直、但土体滑动面上的力在垂直方向的投影是不会变的, 其大小必定和滑动土体重力在垂直方向的投影保持平衡, 所以传统方法假定滑动面为垂直面以简化分析是可取的。

但这一假定应用于原文则明显不合适, 因为原文的核心是讨论主应力的偏转对支护力的影响, 而主应力的偏转角度以及原文  $\theta_0$  的大小则显然与滑裂面的形状和位置相关联。换句话说, 原文认为小主应力面与水平面夹角  $\theta_0$  等于  $\pi/4 + \varphi/2$  只有在滑裂面垂直的情况下才成立。因此本文基于一个不合理的假定获得原文支护力计算的关键参数, 其计算结果也将难以令人

信服。

(3) 对于浅埋隧道, 侧向支护力采用均布荷载不合理

原文的研究对象是浅埋隧道, 对于浅埋隧道, 侧向支护力采用均布荷载不合理, 因为隧道拱顶和拱底的侧向荷载相差很大, 建议采用梯形分布荷载, 如图 1 所示。

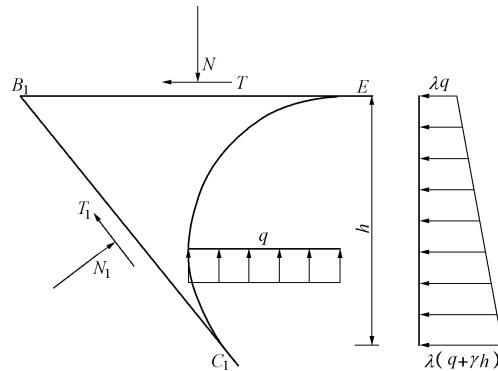


图 1 隧道侧面土块体受力示意图

Fig. 1 Forces on lateral soil of tunnel

图 1 中, 隧道拱顶位置土体侧压力强度为  $\lambda q$ , 隧道底部切点  $C_1$  处土体侧压力强度为  $\lambda(q + \gamma h)$ , 则均布荷载  $\lambda q$  产生的土侧压力合力为  $\lambda qh$ , 随着深度增加的土侧压力合力为  $\lambda\gamma h^2/2$ 。对于浅埋隧道, 拱顶位置土体侧压力强度  $\lambda q$  较小,  $\lambda\gamma h^2/2$  甚至超过  $\lambda qh$ , 原文将其简化成均布荷载将会带来很大的误差。

若采用图 1 的隧道侧面土块体受力示意图, 原文式(15)应为

$$\left. \begin{aligned} N_1 \sin \beta - T_1 \cos \beta - \lambda(qh + \gamma h^2/2) - T &= 0, \\ N_1 \cos \beta - T_1 \sin \beta + qr - N - W &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

基金项目: 安徽省高校自然科学研究项目 (KJ2015A255); 安徽省自然科学基金项目 (1408085ME98)

收稿日期: 2017-01-12

对式(1)进行求解可得:

$$q = \frac{(N + W) \tan(\beta - \varphi) - T - \lambda \gamma h^2 / 2}{\lambda h + r \tan(\beta - \varphi)} \quad (2)$$

(4) 原文结论中的说法存在不妥

原文“距离隧道顶部中心线越远, 坚直正应力与大主应力比值越小, 即主应力偏转程度越大”这句话让人疑惑。主应力的偏转也是因为隧道施工引起的应力扰动, 在一定距离外没有了应力扰动, 也就不会有应力偏转。而按照原文说法, 从主应力偏转角度, 将会得出离隧道越远, 土体受应力扰动程度越大的荒谬结论, 所以这一结论应当有适用的前提条件, 请原作者斟酌。

## 参考文献:

- [1] 汪丁建, 唐辉明, 李长冬, 等. 考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(5): 804 - 810. (WANG Ding-jian, TANG Hui-ming, LI Chang-dong, et al. Theoretical study on earth pressure on shallow tunnel considering principal stress rotation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(5): 804 - 810. (in Chinese))
- [2] 黎春林. 盾构隧道施工松动土压力计算方法研究[J]. 岩土

工程学报, 2014, 36(9): 1714 - 1720. (LI Chun-lin. Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(9): 1714 - 1720. (in Chinese))

- [3] SHUKLA S K, GAURAV, SIVAKUGAN N. A simplified extension of the conventional theory of arching in soils[J]. International Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 3(3): 353 - 359.
- [4] 武军, 廖少明, 张迪. 基于颗粒流椭球体理论的隧道极限松动区与松动土压力[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(4): 714 - 721. (WU Jun, LIAO Shao-ming, ZHANG Di. Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(4): 714 - 721. (in Chinese))
- [5] 陈国舟, 周国庆. 考虑土拱效应的倾斜滑移面间竖向应力研究[J]. 岩土力学, 2013(9): 2643 - 2648. (CHEN Guo-zhou, ZHOU Guo-qing. Study of vertical stress between slip planes considering soil arching effect[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2013(9): 2643 - 2648. (in Chinese))

DOI: 10.11779/CJGE201708025

## 对“考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究”讨论的答复

汪丁建

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

## Reply to discussion on “Theoretical study on earth pressure on shallow tunnel considering principal stress rotation”

WANG Ding-jian

(Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2017)08 - 1546 - 03

作者简介: 汪丁建(1991 - ), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 主要从事工程地质方面的学习和研究工作。E-mail: wangdj@cug.edu.cn。

首先向黎春林先生就笔者在本刊 2016 年第 5 期发表的文章“考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究<sup>[1]</sup>”(以下简称“原文”)提出讨论性问题和意见(以下简称“讨论稿”)表示感谢, 该讨论稿让笔者进一步深入学习了土压力和隧道支护问题。此外, 笔者也认真拜读了黎春林先生及其它学者在相关方向发表的研究文献<sup>[2~4]</sup>, 颇受启发, 故形成以下答复函。

(1) 对意见“以土体极限状态推导支护力与实际工程中土体真实应力状态不符”的答复

目前很多规范和研究文献, 关于隧道上覆土体压力的计算均是在极限破坏状态下进行, 但在该状态下土压力值达到最小

值。笔者认为, 讨论稿提出的采用极限平衡方法计算渐进过程中的支护压力非常有意义, 以下初步尝试分析。

如图 1 所示, 当土体处于初始状态为发生变形时, 内摩擦角未发挥, 为 0; 随着土体向下滑移, 内摩擦角逐渐增大, 处于中间过渡值  $\varphi_m$ , 微分单元体应力状态也相应改变; 当滑移距离达到某一值后, 内摩擦角完全发挥, 达到  $\varphi$ , 土体破坏。关于内摩擦角发挥程度与土体变形滑动距离关系的研究在相关文献中已有报道<sup>[5-6]</sup>, 但主要是关于挡土结构土压力的分析, 后续可开展隧道工程中类似问题的研究。

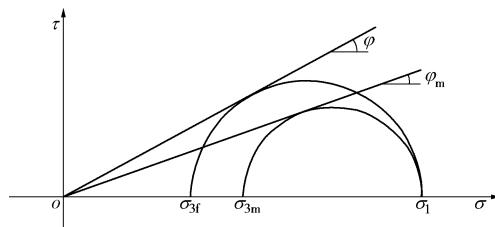


图 1 渐进破坏过程中内摩擦角变化示意图

Fig. 1 Variation of internal frictional angle during progressive collapse

为验证该思路的可行性, 假设内摩擦角发挥值  $\varphi_m$  与某时刻上覆土体滑移距离  $S_m$  和土体破坏时滑移距离  $S$  之间满足简化的线性关系:  $\varphi_m = \varphi \cdot (S_m/S)$ , 将简化的  $\varphi_m$  替换本文方法中的  $\varphi$  值计算支护压力, 并与周小文等<sup>[7]</sup>试验值对比 (参数与原文 2.2 节中模型 2 相同), 结果如图 2 所示。简化计算结果与模型试验结果趋势相同, 数值差别较小, 表明可以通过极限平衡法计算渐进破坏过程中的支护压力。

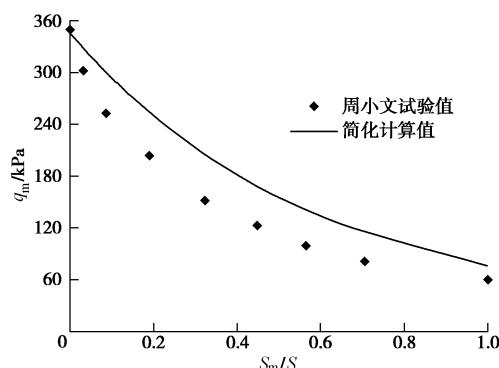


图 2 渐进破坏过程中隧道支护压力简化计算值与周小文模型试验<sup>[7]</sup>对比

Fig. 2 Comparison between calculated values of earth pressure using simplified model and Zhou's model test results<sup>[7]</sup>

(2) 对意见“原文中将滑裂面假定为垂面不合适”的答复

实际工程中隧道上覆土体滑裂面形状和倾角确实并非竖直面。正如原文所述, 诸多学者观测和研究了土体滑裂面形态, 周小文等<sup>[7]</sup>以砂土为对象开展模型试验研究, 结果表明浅埋隧道变形塌落由拱顶逐渐向上发展, 并形成锯齿状剪切带;

Atkinson 等<sup>[8]</sup>通过理论分析和模型试验研究指出, 砂土隧道发生塑性破坏时, 顶部土体发生局部三角锥式塌落, 进而引起围岩失稳; Davis 等<sup>[9]</sup>利用极限分析方法, 构造了黏土土浅埋隧道围岩的 4 种破坏模式, 并分析了其破坏机制和围岩压力; 等等。分析以上文献后可发现, 尽管土体滑裂面形态呈现多种模式, 但是对于浅埋隧道, 以竖直面为近似滑裂面, 尺寸、形状上的误差并不大, 故原文采用了 Terzaghi 提出的模式。并且, 这一模式得到很多学者的的认可<sup>[10-11]</sup>。原文中采用基于该模式提出的方法与多组试验数据以及其它方法进行对比也表明, 该模型计算结果较准确。

(3) 对意见“对于浅埋隧道, 侧向支护力采用均布荷载不合理”的答复

原文将侧向压力转化为均布荷载实为计算方便, 若以讨论稿所建议的梯形荷载 (图 3) 进行分析则更切合实际情况。采用该假设进行分析时, 荷载计算公式为

$$q = \frac{(N + W) \tan(\beta - \varphi) - T - \lambda \gamma h^2 / 2}{\lambda h + r \tan(\beta - \varphi)} \quad (1)$$

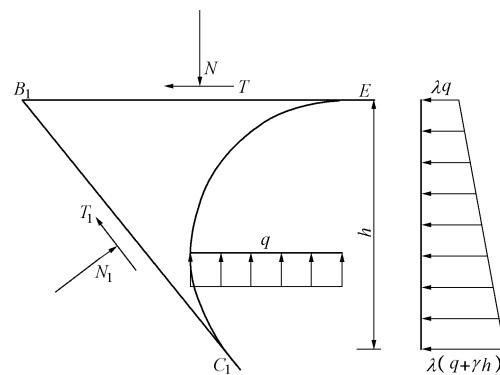


图 3 隧道侧面土块体受力示意图<sup>[2]</sup>

Fig. 3 Forces on lateral soil of tunnel<sup>[2]</sup>

(4) 对意见“原文结论中的说法存在不妥”的答复

原文语句“距离隧道顶部中心线越远, 竖直正应力与大主应力比值越小, 即主应力偏转程度越大”在表述上确实不妥, 这里关于主应力偏转的研究结论是针对在竖向滑裂面范围内的土体, 而非隧道以上半无限平面内的所有土体。对于滑裂面以外土体, 实际情况应是主应力偏转程度随着距离中心线越远而逐渐减小, 在达到一定距离后将不会发生偏转, 即隧道对较远处土体无扰动作用, 当然, 本文并没有对此进行深入探究。感谢讨论稿的意见, 让原文表述更加准确。

**致 谢:** 最后再次感谢黎春林先生的讨论稿, 为本文的丰富和完善提供了非常宝贵的意见和建议, 也让笔者有了一个再学习的过程。

## 参考文献:

- 1] 汪丁建, 唐辉明, 李长冬, 等. 考虑主应力偏转的土体浅埋隧道支护压力研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(5): 804 -

810. (WANG Ding-jian, TANG Hui-ming, LI Chang-dong, et al. Theoretical study on earth pressure on shallow tunnel considering principal stress rotation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, **38**(5): 804 - 810. (in Chinese))
- [2] 黎春林. 盾构隧道施工松动土压力计算方法研究[J]. 岩土工程学报, 2014, **36**(9): 1714 - 1720. (LI Chun-lin. Method for calculating loosening earth pressure during construction of shield tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, **36**(9): 1714 - 1720. (in Chinese))
- [3] 陈国舟, 周国庆. 考虑土拱效应的倾斜滑移面间竖向应力研究[J]. 岩土力学, 2013(9): 2643 - 2648. (CHEN Guo-zhou, ZHOU Guo-qing. Study of vertical stress between slip planes considering soil arching effect[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2013(9): 2643 - 2648. (in Chinese))
- [4] 陈若曦, 朱斌, 陈云敏, 等. 基于主应力轴旋转理论的修正 Terzaghi 松动土压力[J]. 岩土力学, 2010, **31**(5): 1402 - 1406. (CHEN Ruo-xi, ZHU Bin, CHEN Yun-min, et al. Modified Terzaghi loozening earth pressure based on theory of main stress axes rotation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, **31**(5): 1402 - 1406. (in Chinese))
- [5] 施建勇, 雷国辉, 艾英钵, 等. 土压力变化规律的应力路径三轴试验研究[J]. 岩土力学, 2005, **26**(11): 1700 - 1704. (SHI Jian-yong, LEI Guo-hui, AI Ying-bo, et al. Stress path controlled triaxial experimental study of lateral earth pressure behavior[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, **26**(11): 1700 - 1704. (in Chinese))
- [6] 卢坤林, 杨扬. 非极限主动土压力计算方法初探[J]. 岩土力学, 2010, **31**(2): 615 - 619. (LU Kun-lin, YANG Yang. Preliminary study of active earth pressure under nonlimitstate[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, **31**(2): 615 - 619. (in Chinese))
- [7] 周小文, 濮家骝, 包承纲. 隧洞拱冠砂土位移与破坏的离心模型试验研究[J]. 岩土力学, 1999, **20**(2): 32 - 36. (ZHOU Xiao-wen, PU Jia-liu, BAO Cheng-gang. A study of the movement and failure characteristics of sand mass above the crown of a tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, **20**(2): 32 - 36. (in Chinese))
- [8] ATKINSON J H, POTTS D M. Stability of a shallow circular tunnel in cohesionless soil[J]. Géotechnique, 1977, **27**(2): 203 - 215.
- [9] DAVIS E H, GUNN M J, MAIR R J, et al. The stability of shallow tunnels and underground openings in cohesive material[J]. Géotechnique, 1980, **30**(4): 397 - 416.
- [10] YANG X, YANG Z, LI Y, et al. Upper bound solution for supporting pressure acting on shallow tunnel based on modified tangential technique[J]. Journal of Central South University, 2013, **20**: 3676 - 3682.
- [11] LEE C J, CHIANG K H, KUO C M. Ground movement and tunnel stability when tunneling in sandy ground[J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2004, **27**(7): 1021 - 1032.