

岩石地层基坑开挖对下部地铁车站结构受力的影响分析

张 驰

中铁十四局集团有限公司, 山东 济南
Email: 42072269@qq.com

收稿日期: 2021年7月5日; 录用日期: 2021年7月19日; 发布日期: 2021年8月3日

摘 要

地铁建设在改善城市交通的同时, 可以带动沿线地块的开发。地铁车站往往吸引高大建筑物在其附近修建, 因此在地铁车站周围会出现越来越多的近接、超近接的施工影响问题。为了研究岩石地层建筑物深基坑开挖对下部既有地铁车站的影响, 以重庆城区常见的IV级围岩为例, 采用有限元数值模拟方法, 研究深基坑开挖深度对下部地铁车站初期支护和二次衬砌结构受力的影响。结果表明, 基坑开挖对下部地铁车站初期支护结构的影响一般大于对二次衬砌结构的影响; 基坑开挖深度的增大会导致地铁车站初期支护和二次衬砌的拱部及边墙区域产生局部受拉区, 进而产生拉裂缝。

关键词

岩石地层, 基坑开挖, 地铁车站, 支护结构, 受力

Analysis of the Influence of Rock Strata Pit Excavation on Structural Force of the Lower Metro Station

Chi Zhang

China Railway 14th Bureau Group Co., Ltd., Jinan Shandong
Email: 42072269@qq.com

Received: Jul. 5th, 2021; accepted: Jul. 19th, 2021; published: Aug. 3rd, 2021

Abstract

Subway construction can bring development along the plot while improving urban traffic. The

subway station often attracts high buildings in its vicinity, so there will be more and more close, super-close construction problems around the subway station. In order to study the influence of the deep pit excavation of rock formation buildings on the lower existing subway station, the common IV surrounding rock in Chongqing is used as an example. The finite element numerical simulation method was used to study the influence of the depth of deep pit on the initial support and secondary lining structure of the lower subway station. The results show that the impact of pit excavation on the initial support structure of the lower subway station is generally larger than the effects of secondary lining structure; the increase of the depth of excavation will lead to the formation of local tension zones in the arch and sidewall areas of the initial support and secondary lining of the subway station, and then the tensile cracks will occur.

Keywords

Rock Strata, Pit Excavation, Metro Station, Supporting Structure, Stress

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在岩石地层进行基坑开挖会引起下部地铁车站产生变形和受力响应, 以往的研究大多针对变形问题进行分析。李平等[1]采用 FLAC3D 软件重点分析了基坑开挖对下方地铁隧道隆起的影响, 发现盾构隧道刚度较低, 位移较小时, 其随着周围土层的变形而变形。孟祥笋[2]以长沙地区某基坑开挖工程为背景, 采用有限元软件模拟二维平面模型施工过程, 发现位于隧道正上方的基坑开挖引起隧道整体上浮, 位于隧道侧上方的基坑开挖引起隧道水平移动。姜叶翔等[3]采用 MIDAS 有限元软件模拟杭州某项目深基坑开挖对邻近地铁隧道的影响, 认为在基坑与隧道间施作隔离桩能较好地控制隧道变形。徐腾飞[4]基于南昌地区某实际工程开展了数值模拟研究, 研究基坑开挖对近接地铁车站的影响, 发现相对于软土地区而言, 砂土地层发生的卸荷回弹和土体位移都相对较小。张治国等[5]建立有限元模型, 研究隧道埋深、隧道与基坑间距、地层地质、隧道外径等因素对隧道纵向变形的影响。

综合以上文献分析可知, 目前, 学者们采用数值模拟技术, 开展了大量的基坑开挖对地铁车站围岩和支护结构变形的影响研究。然而, 针对岩石地层深基坑开挖对下部地铁车站结构的力学响应分析研究较少。因此, 本文将重点研究岩石地层深基坑开挖对下部地铁车站结构受力的影响。

2. 数值模型的建立

采用 GTS NX 建立有限元数值分析模型。岩土材料采用平面应变单元模拟, IV 级围岩物理力学参数依据地勘资料和相关规范; 地铁车站的初期支护、二次衬砌和基坑支护等结构单元采用梁单元模拟, 材料参数依据相关设计文件。IV 级围岩、车站初期支护、二次衬砌及基坑支护材料参数如表 1 所列。

研究对象分析模型范围为 $475\text{ m} \times 180\text{ m}$, 地铁车站跨度 25.4 m , 高 21.4 m , 最大埋深 55 m ; 深基坑开挖宽度 125 m (垂直车站轴向), 开挖深度为 $0\sim 50\text{ m}$, 每次分层开挖深度 5 m 。模型底面边界约束竖向和水平向位移, 侧边边界约束水平向位移, 上表面为自由边界。模型的网格划分如图 1 所示。

3. 模拟结果分析

为了研究深基坑开挖深度对下部地铁车站结构内力的影响, 选取拱顶、拱腰、拱脚、边墙中部、仰

拱脚部、仰拱底部 6 处(图 2)的应力数据进行分析。

Table 1. Physical and mechanical parameters of rock strata and supporting structure
表 1. 围岩及支护结构物理力学参数

围岩级别	重度(kN/m ³)	弹性模量(GPa)	泊松比	内摩擦角(°)	黏聚力(kPa)
IV 级围岩	23.5	3.65	0.33	33	450
初期支护	22	29.6	0.2		厚度 0.3 m
二次衬砌	25	32.5	0.2		厚度 0.9 m
基坑 - 喷混支护	22	26.0	0.2		厚度 0.15 m

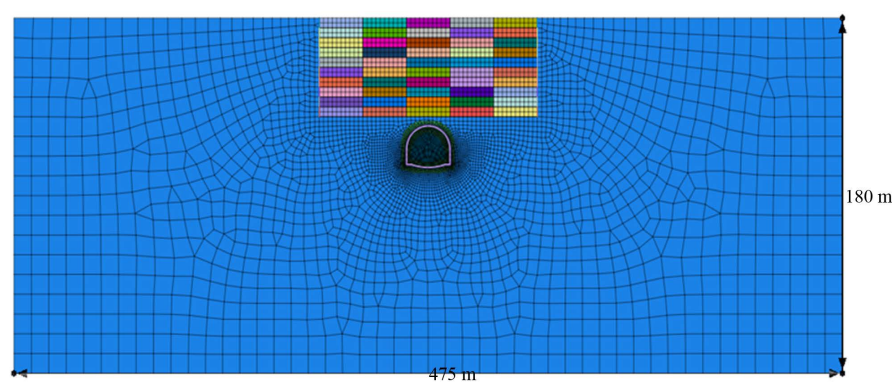


Figure 1. Model grid diagram
图 1. 模型网格图

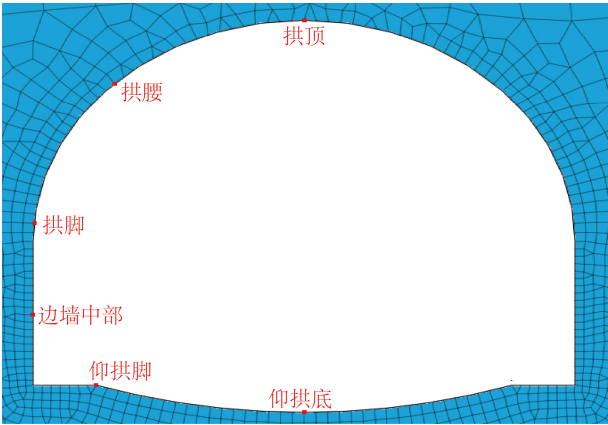


Figure 2. Schematic diagram of measuring point position
图 2. 分析测点位置示意图

3.1. 基坑开挖深度对初期支护的影响

基坑不同开挖深度地铁站初期支护不同部位的应力变化如图 3 所示。

由图 3(a)可以看出，随着上部基坑开挖深度的逐渐增加，初期支护拱顶截面的最大、最小主应力皆为压应力，其压应力先增大后减小，其变化(拐点)深度在深度 20 m~25 m 之间。

由图 3(b)、图 3(c)可以看出，地铁站初期支护的拱腰、拱脚以及边墙中部的应力变化总体规律比较相似，均是随着基坑开挖深度的增加而增大并且出现了应力由负转正(由压应力转变为拉应力)的情况。由于混凝土抗拉强度相对较低，所以当基坑开挖深度较大时，会引起下部地铁站初期支护局部产生拉

裂缝。当基坑开挖深度为 40 m 时, 初支拱脚处的最大拉应力为 2444.4 kPa, 边墙中部的最大拉应力为 2773.2 kPa, 均超过了 C25 混凝土抗拉强度标准值, 混凝土将受拉产生裂缝。

由图 3(d)可以看出, 地铁站初期支护的仰拱脚部同时存在拉应力区和压应力区。随着基坑开挖深度的增加, 仰拱脚部的最小主应力变化不大, 仰拱脚部的最大主应力呈现减小的趋势。

由图 3(e)可以看出, 车站初期支护仰拱底部的最大应力和最小应力的变化趋势比较接近, 随着基坑开挖深度的增加而减小, 且出现了由正转负的变化, 以压应力为主。由于混凝土的抗压性能较好, 所以基坑开挖对仰拱部位的影响较小。

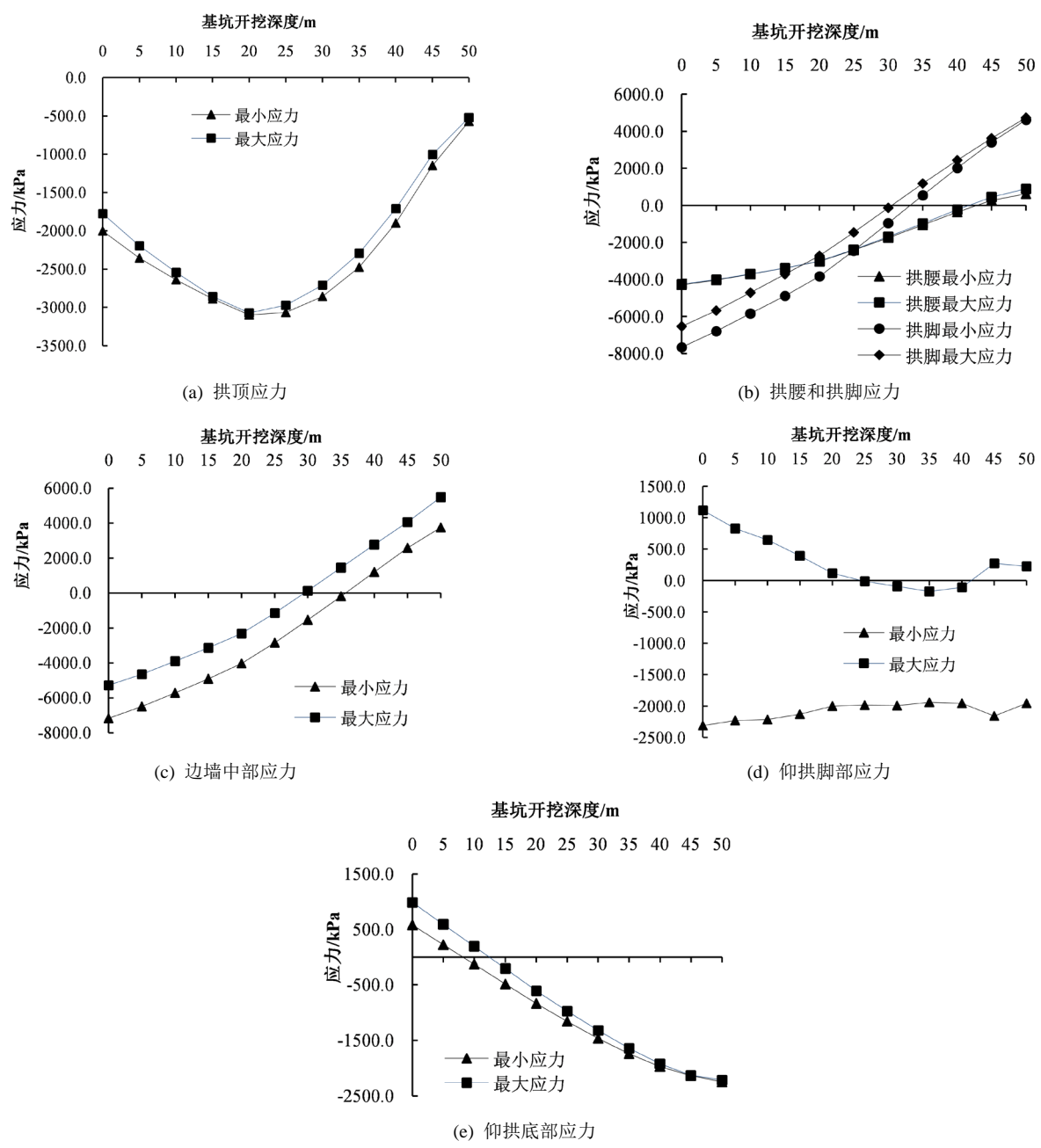
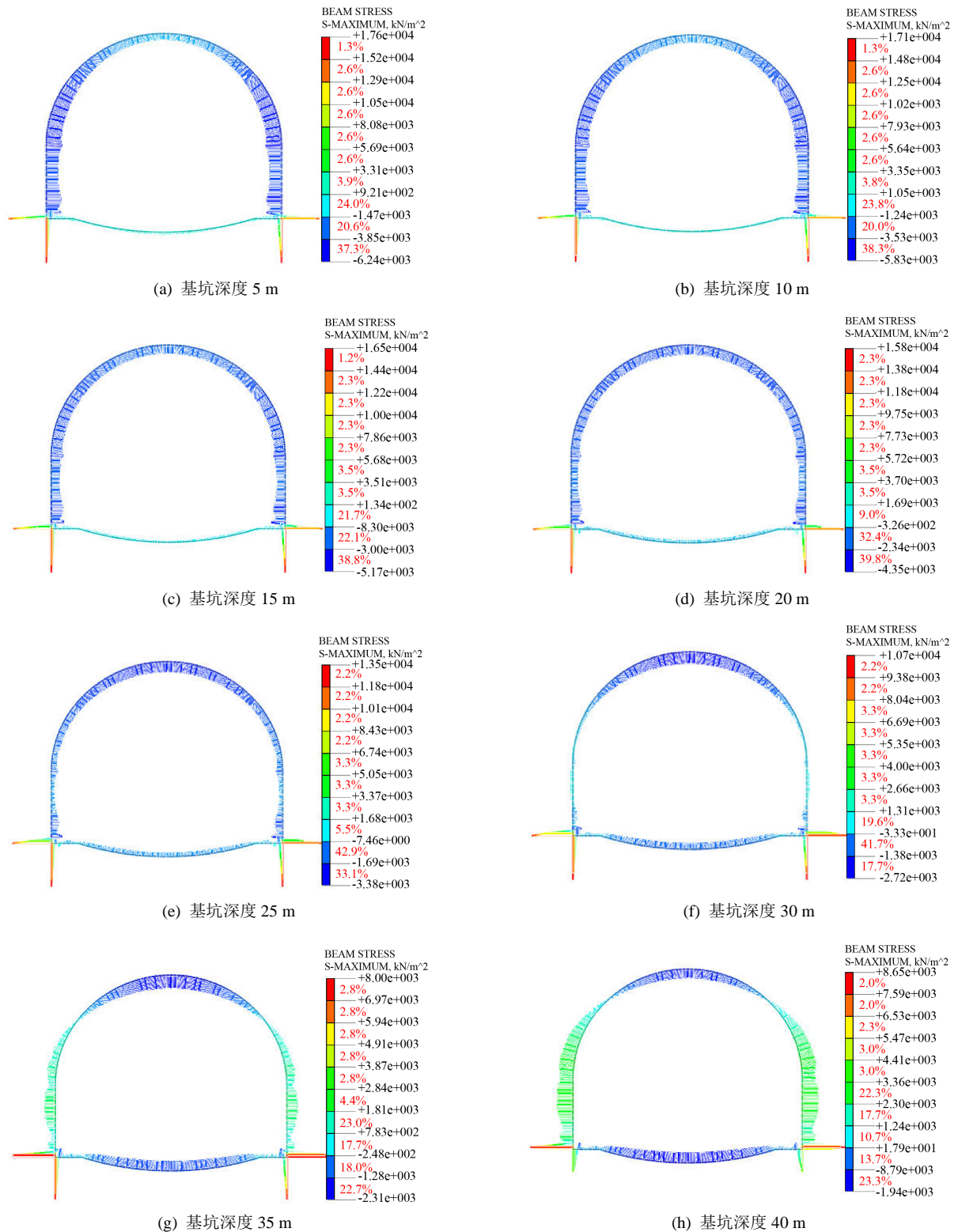


Figure 3. Stress-excavation depth curves of different parts of the initial support of a subway station
图 3. 地铁站初期支护不同部位应力 - 基坑开挖深度曲线

通过地铁车站初期支护结构的应力云图可以直观的看出应力的变化情况。随着基坑开挖深度的增大,车站初期支护的最大应力变化云图如图4所示。



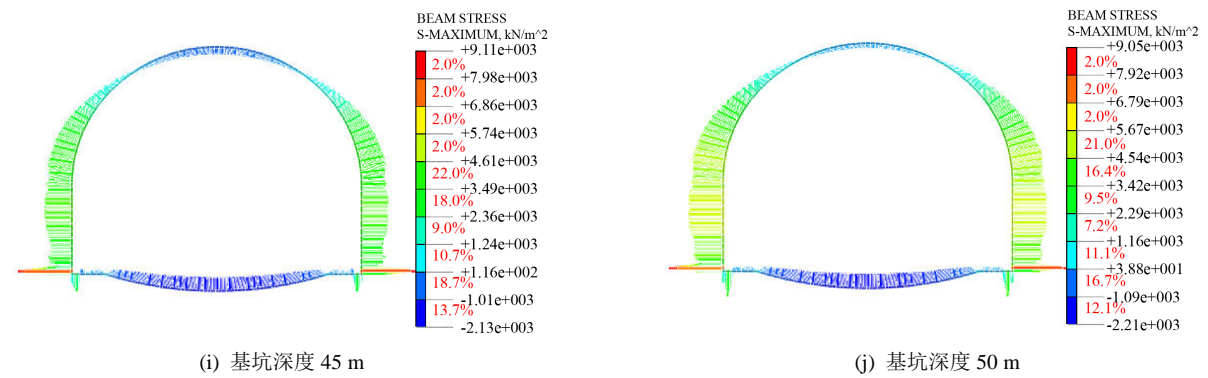


Figure 4. Maximum stress variation diagram of primary lining
图 4. 初期支护最大应力变化图

由图 4 可以看出,随着基坑开挖深度的增加,初期支护的拱腰以下及边墙区域的最大应力逐渐由负转正,出现拉应力;基坑开挖深度在 0~40 m 时拱顶部分压应力变化不明显,当基坑开挖深度超过 40 m 时,拱顶压应力呈现减少趋势,且趋势较明显;而仰拱部位的总体变化规律是压应力逐渐增大。

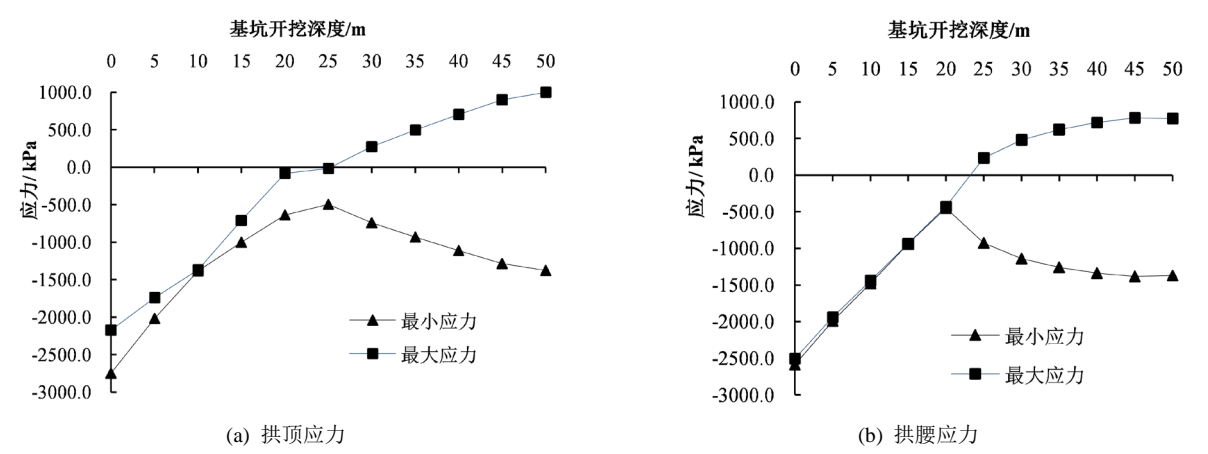
综上所述,随着基坑开挖深度的增加,下部地铁车站初期支护的受力持续发生变化。当上部基坑深度较大时,车站初期支护的拱腰以下及整个边墙,均出现了拉应力区,且数值较大,超过了混凝土的抗拉强度。当基坑开挖深度达到 40m 时,拱脚处的最大应力达到 2444.4 kPa,边墙中部的最大应力达到 2773.2 kPa,超过了 C25 混凝土的抗拉强度标准值。

3.2. 基坑开挖深度对二次衬砌的影响

基坑不同开挖深度地铁车站二次衬砌不同部位的应力变化如图 5 所示。

由图 5(a)~(c)可以看出,地铁车站二次衬砌的拱顶、拱腰及拱脚的应力变化特征比较相似,对应二次衬砌的拱部区域而言,当上部基坑开挖深度较小时,其最大应力与最小应力均为负值,表示拱部区域处于受压状态。当上部基坑开挖深度 > 25 m 时,拱腰处开始处于拉应力状态,此后随着上部基坑开挖深度的继续增加,二次衬砌的拱顶、拱脚处逐渐出现拉应力。二次衬砌拱部区域出现的拉应力较小,最大拉应力小于 1.0 MPa。

由图 5(d)可以看出,随着基坑开挖深度的增加,二次衬砌边墙中部的最大压应力逐渐减小,由 5959.6 kPa 减小到 2719.3 kPa;当基坑深度小于 30 m 时,随着基坑深度的增加,边墙中部的最大拉应力由 290.1 kPa 增加到 2084.2 kPa;当基坑深度继续增大时,最大拉应力的数值出现小幅下降。



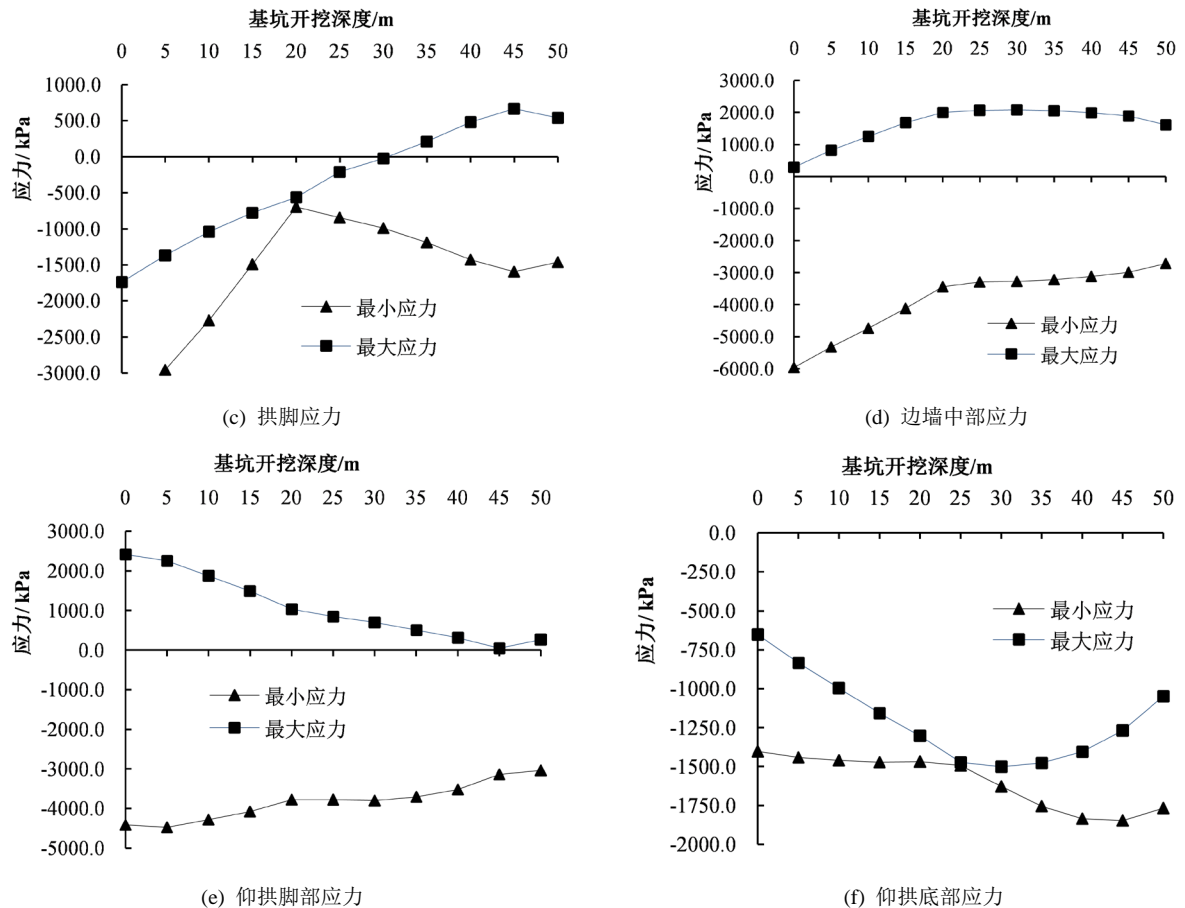


Figure 5. Stress-excavation depth curves of different parts of the secondary lining of a subway station

图 5. 地铁车站二次衬砌不同部位应力 - 基坑开挖深度曲线

由图 5(e)可以看出,随着上部基坑开挖深度的增加,二次衬砌仰拱拱脚的最大压应力和最大拉应力整体呈现减小的趋势。其中最大压应力由 4408.7 kPa 减小到 3035.3 kPa,最大拉应力由 2419.1 kPa 减小到 263.9 kPa。可见,上部基坑的开挖在一定程度上能够减小二次衬砌仰拱拱脚部位的受力。

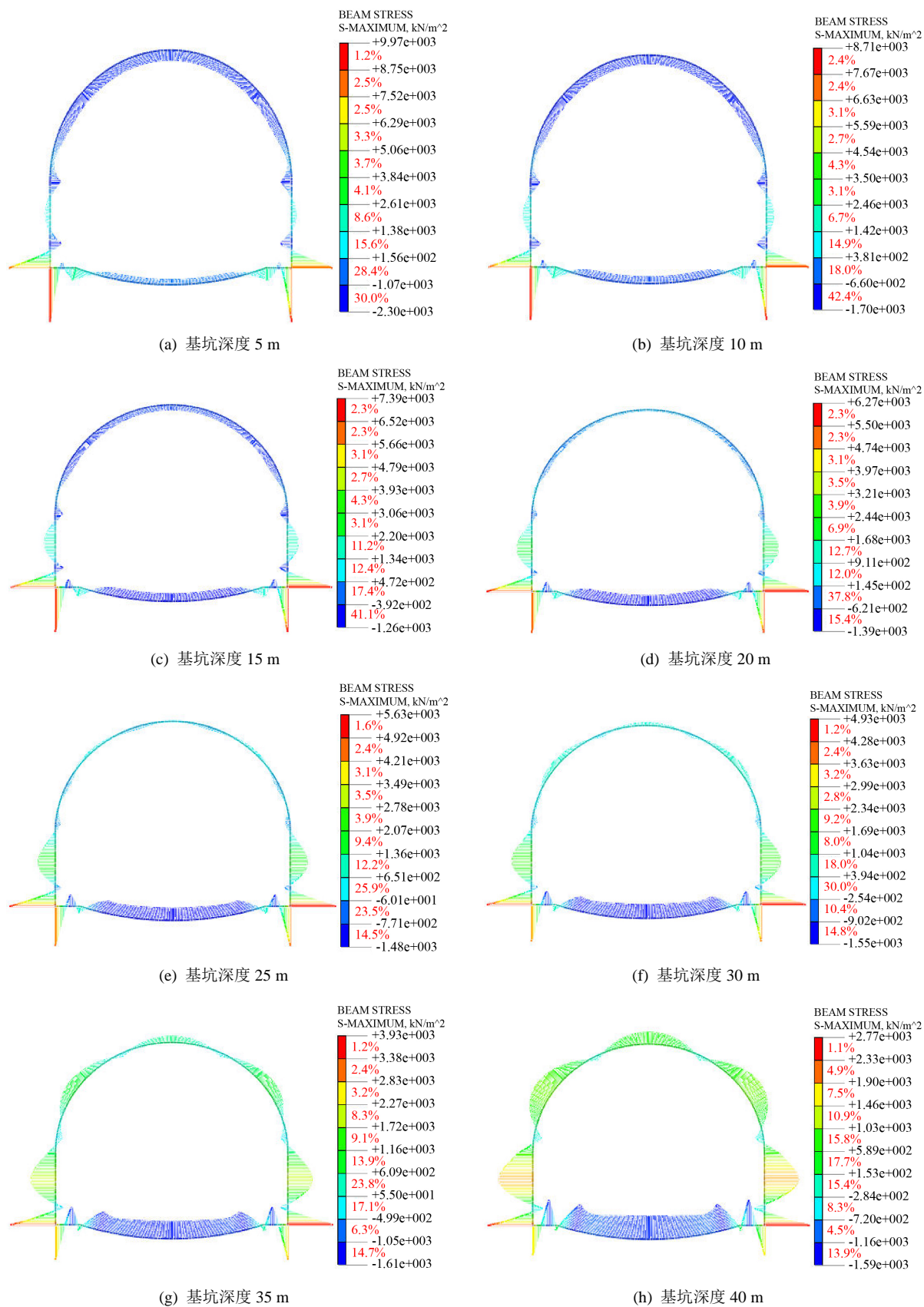
由图 5(f)可以看出,在上部基坑开挖的过程中,二次衬砌仰拱底部始终处于受压状态,由于混凝土抗压性能较好,所以上部基坑的开挖对其影响较小。

通过地铁车站二次衬砌应力云图可以直观地看出应力的变化情况。随着基坑开挖深度的增大,地铁车站二次衬砌最大应力变化云图如图 6 所示。

由图 6 可以看出,随着上部基坑开挖深度的增大,下部地铁车站二次衬砌结构的受力持续发生变化。随着基坑的开挖,二次衬砌的边墙部位首先出现拉应力区,接着拱部也出现拉应力区,且拉应力呈现变大趋势。从应力数值上看,受上部基坑开挖的影响,初期支护产生的拉应力一般大于二次衬砌产生的拉应力,说明初期支护结构受到的影响大于二次衬砌结构受到的影响。但由于二次衬砌结构直接关乎地铁车站的安全,因此也需要在施工中重点关注,防止上部基坑开挖导致地铁车站二次衬砌出现大范围裂缝。

对于仰拱部位来说,随着上部基坑深度的增加,其存在拉应力区的部位逐渐变小,逐渐转为受压状态。由于混凝土抗压能力较好,所以上部基坑开挖对车站二次衬砌仰拱部位的影响较小。

从上文的分析中可以看出,基坑开挖深度的增大会导致地铁车站初期支护和二次衬砌的拱部及边墙区域产生局部受拉区,进而产生拉裂缝,且基坑开挖对下部地铁车站初期支护结构的影响一般大于对二



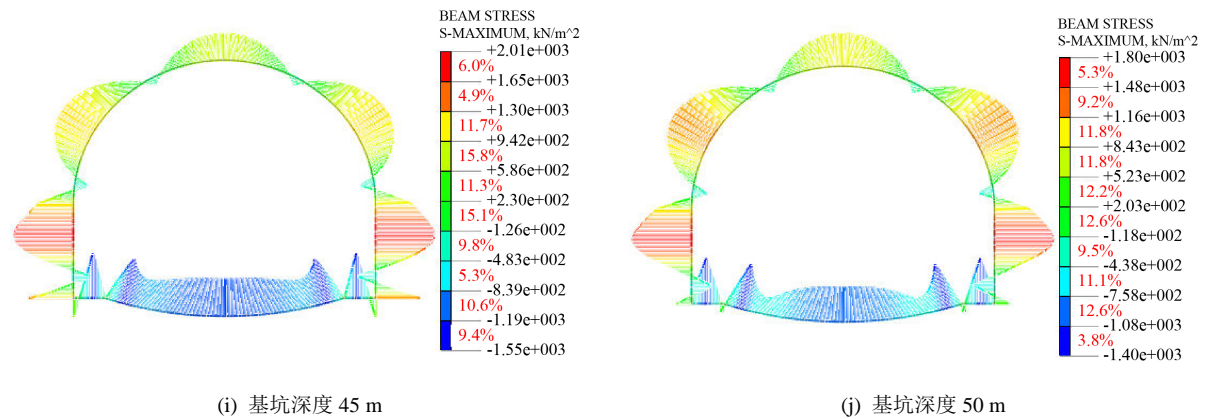


Figure 6. Maximum stress change diagram of secondary lining of subway station
图 6. 地铁车站二次衬砌最大应力变化图

次衬砌结构的影响。产生以上现象的主要原因为，上覆基坑未开挖时，地铁车站及围岩处于受力平衡状态，基坑开挖后，打破了原有的应力平衡，引起应力重新分布。此时，由于隧道正上方的岩层自重荷载减小，承受上方岩层自重荷载的边墙和拱部部分区域便会由受压状态变为受拉，产生拉应力区。随着基坑开挖深度的增加，拉应力大小和范围也不断增加，当拉应力超过支护结构的最大抗拉强度时，支护结构便出现开裂、破坏等现象。同时，由于初期支护最直接的作用于地铁车站围岩，因此，基坑开挖对下部地铁车站初期支护结构的影响大于二次衬砌。

4. 结论

通过有限元二维数值模拟分析，发现上部基坑的开挖深度对下部地铁车站支护结构的受力有较大影响。基坑开挖深度的增加会导致初期支护和二次衬砌的拱部及边墙区域产生受拉区，进而产生拉裂缝。对于仰拱区域而言，上部基坑开挖会减小仰拱拱脚部位的受力并使仰拱底部的压应力增大，由于混凝土抗压性能较好，地铁车站仰拱部位所受影响较小。另外，基坑开挖对下部地铁车站初期支护结构的影响一般大于对二次衬砌结构的影响。

参考文献

- [1] 李平, 杨挺, 刘汉龙, 王义, 陈育民. 基坑开挖中既有下穿地铁隧道隆起变形分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2011, 12(5): 480-485.
- [2] 孟祥箴. 基坑开挖对邻近地铁区间影响的数值模拟分析[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(5): 44-47.
- [3] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 岑仰润, 刘恒新. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [4] 徐腾飞. 基坑开挖对近接地铁车站影响的数值分析[J]. 土工基础, 2019, 33(4): 418-423.
- [5] 张治国, 张孟喜, 王卫东. 基坑开挖对邻近地铁隧道影响的两阶段分析方法[J]. 岩土力学, 2011, 32(7): 2085-2092.