

基于 FLAC3D 隧道超前孔卸压影响范围研究

徐 应 中¹， 文 俊²， 李 超¹， 陈 秉 政¹

(1.中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072;2.成都理工大学环境与土木工程学院,四川 成都 610059)

摘 要:针对西藏某隧道因花岗岩、片麻岩在高地应力条件下因围岩应力过大导致双护盾 TBM 开挖困难的实际情况,考虑采用超前钻孔卸压的方式使围岩应力减小以方便开挖,对超前钻孔影响的范围进行了研究。阐述了通过 FLAC3D 对超前钻孔进行数值模拟,对超前孔卸压影响范围进行分析的过程,得出超前孔对围岩压力影响的范围是其钻孔半径的 5~6 倍的结论。研究得出的超前孔卸压的影响范围,可为今后西藏高地应力条件下的 TBM 施工提供借鉴。

关键词:超前钻孔;双护盾 TBM;高地应力;FLAC3D;数值模拟

中图分类号:TV22;TV554;TV51 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)01-0063-03

Study on Influence Range of Pressure Relief of Advance Drilling in Tunnel Based on FLAC3D

XU Yingzhong¹, WEN Jun², CHENG Jinzhong¹

(1.Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd, Chengdu, Sichuan, 610072; 2. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059)

Abstract: In view of the fact that it is difficult to excavate by double shield TBM due to the high ground stress of granite and gneiss in a tunnel in Tibet, the way of pressure relief in advance drilling is considered to reduce the stress in the surrounding rock to facilitate the excavation, and the influence range of advance drilling is studied. This paper describes the process of numerical simulation of advance drilling by FLAC3D and analysis of the influence range of pressure relief of advance drilling, it is found that the influence range of the advance drilling on the surrounding rock pressure is 5—6 times of its drilling radius. The influence range of the pressure relief of the advance drilling can be used for reference for the TBM construction in Tibet or under the conditions of high ground stress in the future.

Key words: advance drilling; double shield TBM; high ground stress; FLAC3D; numerical simulation

1 概 述

西藏某隧道全长 24.794 km。全隧道共布置两台双护盾 TBM,一台从隧道中部向上游方向掘进,掘进长度约 11 km,另一台从隧道出口向隧道上游方向掘进,掘进长度约 13 km。该隧洞施工主要采用双护盾 TBM 独头逆坡掘进,开挖洞径为 9.13 m,衬砌采用“6+1”型四边形预制混凝土管片,管片厚 35 cm,衬砌后的隧洞直径为 8.1 m,隧洞为双车道隧洞,隧洞建筑限界净宽 7 m,净高 4.5 m。

该隧道进口高程为 3547 m,出口高程为 3566 m,最大埋深约 832 m。隧道围岩主要为混合片麻岩、花岗岩片麻岩(表 1),平均抗压强度为 75

~90 MPa,石英含量为 15%~30%,耐磨性指标为 4~5.5。

隧道区域新构造运动强烈,受构造挤压作用,构造地应力量级高,最大主应力实测值为 27.2 MPa。

由于高原地区的岩层地应力过大,将会给双护盾 TBM 开挖造成过大的挤压力,因此,我们采用超前钻孔的方式获得围岩应力超前预释放的效果^[1]。超前钻孔^[2]是指在工作面前方一定距离岩体内保持有足够数量的大直径钻孔,用以对前方围岩应力进行释放。在工作面前方通常有卸压带、集中应力带和正常压力带^[3]。对于西藏某输水隧道来说,开挖超前孔的目的是为了利用钻孔卸压的方式减少 TBM 盾构机开挖的围岩应力。

表 1 岩石(体)物理力学指标建议值表

岩 性	干密度 /g·cm ⁻³	岩石饱和 抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	软化 系数	抗剪断强度		弹性模量 /10 ³ MPa	泊松比 μ	单位弹性 抗力系数 k ₀ /MPa·cm ⁻¹
					Φ /°	C /MPa			
花岗闪长岩	2.7	130~150	10~15	0.95	55	1.5	27	0.20	60~70
安山岩	2.72	100~150	15	0.9	56	1.4	25	0.22	50~60
砂页岩	2.25	25~40	3	0.45	31	0.4	4	0.24~0.26	20~35
断层带	2.2	<10		0.3	22	0.1	<1	0.37	1.3~2

因此需要研究开挖超前孔卸压的范围^[4],即应力减小的范围。同时,数值模型采用圆柱体,本构模型采用蠕变模型(BURGERS 黏弹塑性模型),其材料参数见表 1。对数值模型施加的环向地应力为 27.2 MPa。

2 超前孔影响范围的数值模拟

2.1 超前孔数值模型

为了研究开挖超前孔卸压的范围,我们建立了开挖半径为 35 mm、外环圆半径为开挖半径 10 倍的数值模型,以便于监测点的设置,整个模型直径为 0.77 m,以此建立蠕变模型用以计算超前孔卸压影响的范围。

2.2 超前孔四周应力的对比

由于需要研究多个时间以及多个监测点的数据,为了减少监测点的个数,笔者对超前孔数值模型进行了四周应力的对比(图 1),然后选择一个应力较大的方向对超前孔卸压范围进行研究。

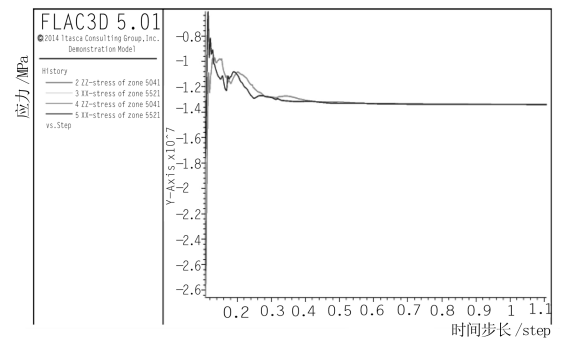


图 1 超前孔四周应力对比图

由图 1 可以看出:所开挖的超前孔的四周应力基本一致。因此,笔者选择正 Z 轴方向的应力进行开挖超前孔卸压范围的研究。根据现场数据及表 1,可以确立 FLAC3D 中蠕变模型的参数:Kelvin 弹性剪切模量为 7.7×10^{12} 、Kelvin 动力黏度为 5.5×10^{11} 、Maxwell 动力粘度为 3.85×10^{12} 、Maxwell 弹性剪切模量为 8.5×10^9 。在进行超前孔数值模型计算求解之前,虽然已经确定超前孔模型的重要参数^[2],但还需要确定该超前孔模型

的时间步长(step)与时间步(dt)两个参数,因此,还要对时间步长(step)与时间步(dt)这两个参数进行确立。

2.3 超前孔时间步长 step 的选取以及时间步 dt 的选取

关于如何选取时间步长 step 的问题^[4],应通过试验结果进行选取。先选取真实的时间为 0.75 d。一系列的真实时间组由于采用六套时间步长进行运算,必然会使结果变成两组,因此需对这些真实时间组采用同一个时间步进行运算。最终选取了 0.75 d 作为试验组,并对该试验组分三组进行试验:时间步长(step)选取了 10 000、50 000 步和 100 000 步,其中时间步(dt)为:

$$\frac{\text{真实的时间}}{\text{时间步长(step)}}=\text{时间步(dt)}$$

(1)

对该试验组进行模拟分析得知:对于该数值模型,所计算的真实时间为 18 h,从计算模型应力的结果可以看出:三个组中对应的时间步长 10 000 的围岩应力不能达到平衡,一直呈波动的态势,而时间步长 50 000 以及时间步长 100 000 计算得到的围岩应力都能达到平衡。但随后研究的时间为 3 d,甚至 5 d,时间较长,因此,可以取 step 为 100 000 步,dt 由式(1)确定,以此作为超前孔与未开挖超前孔应力对比试验的计算。

3 数值模拟结果分析

将超前孔与未开挖超前孔的应力进行对比,以此进行超前孔卸压范围的研究;因开挖半径为 35 mm,为方便数值模拟与监测,对于监测点将会采用开挖半径的倍数,如 35 mm、70 mm、105 mm、140 mm、175 mm、210 mm、245 mm、280 mm、315 mm、350 mm 与 385 mm。

由图 1 可知,四周应力基本一致。因此,开挖和未开挖的监测点采用沿正 Z 轴的方向,按上述开挖的倍数布置,以此对比出超前孔卸压的范围。以下为根据 2 组不同的时间:3 d、5 d,由现场数据得到的四个参数,以及上述确认的时间步长

(step)和由公式(1)所得到的时间步(dt)计算得出的结果见图 2~7。

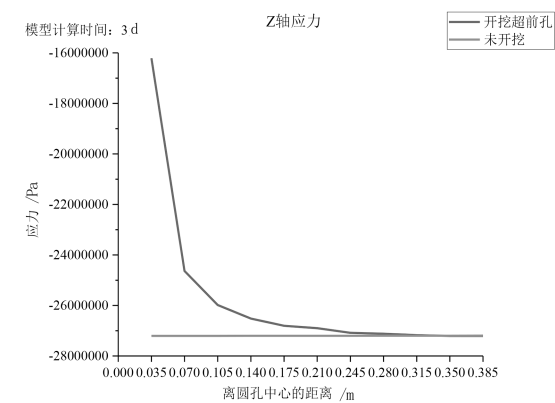


图 2 3 d 开挖超前孔与未开挖 Z 轴应力的对比图

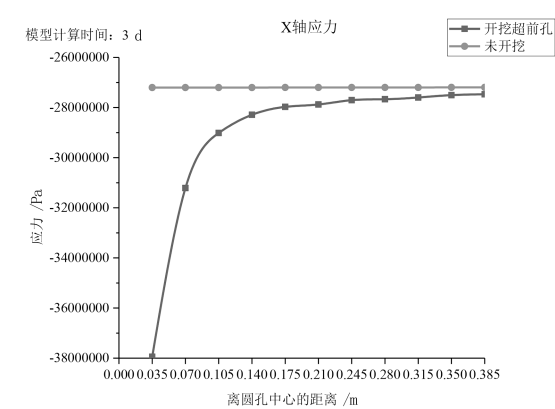


图 3 3 d 开挖超前孔与未开挖 X 轴应力的对比图

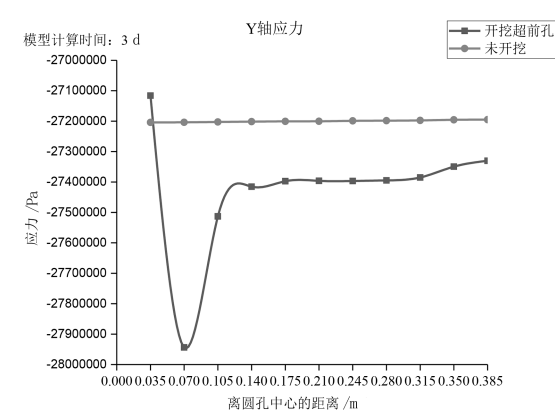


图 4 3 d 开挖超前孔与未开挖 Y 轴应力的对比图

由 2.2 可知:所开挖的超前孔的四周应力基本一致,因此,笔者选择正 Z 轴方向的应力研究开挖超前孔的卸压范围。根据 2 组、6 幅图可以看出:

(1)第一组(3 d)和第二组(5 d)的 Z 轴、X 轴、Y 轴方向上的应力变化趋势基本一致;

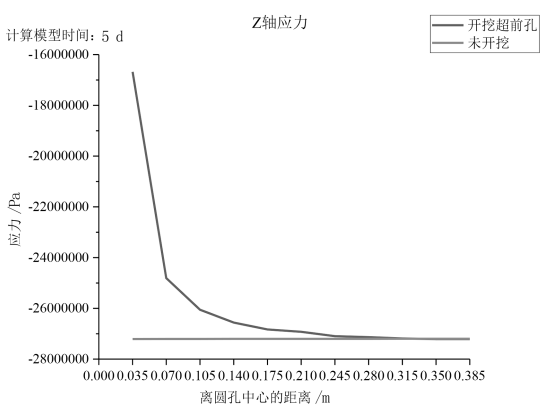


图 5 5 d 开挖超前孔与未开挖 Z 轴应力的对比图

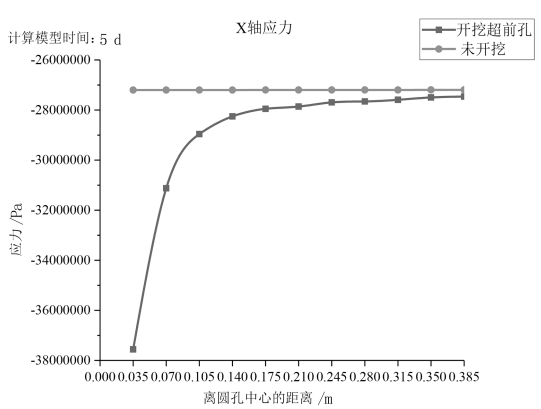


图 6 5 d 开挖超前孔与未开挖 X 轴应力的对比图

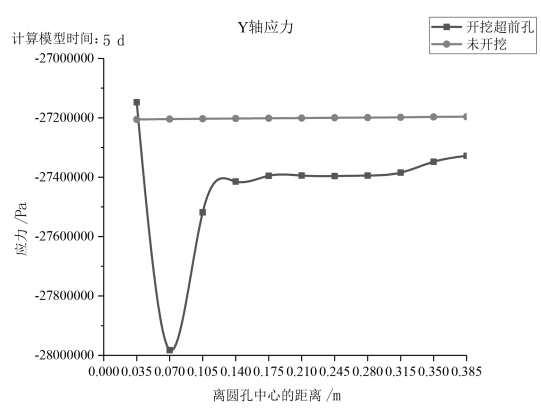


图 7 5 d 开挖超前孔与未开挖 Y 轴应力的对比图

(2)两组超前钻孔 Z 轴方向的应力随监测点变大而变大,表现为超前钻孔能够影响周围围岩的应力值;

(3)超前钻孔能够影响围岩应力的范围:其影响范围为超前钻孔半径的 5~6 倍左右,超过该范围,虽然超前钻孔对围岩应力有影响,但效果不明显。

(下转第 72 页)

(5)起爆。起爆工作由爆破队长指定的、经验丰富的爆破员担任。起爆前,对起爆器等器材再次进行详细检查,确保起爆的顺利实施。起爆实施人在接到警戒负责人口令并确认安全可靠后实施起爆。

(6)爆后检查。爆后检查工作由爆破队长与

经验丰富的爆破员负责,待起爆烟尘散尽后进行检查。

3 爆破前后的结果及对比

在爆破孔钻眼前,先用 XY-2 型回转钻机施作应力测试孔,深度为 5 m,安装空心包体进行应力测试,地应力测试计算成果见表 2。

表 2 爆破前地应力测试成果表

测试部位	岩性	地应力参数	最大主应力 σ_1	中间主应力 σ_2	最小主应力 σ_3
		量值 /MPa	30.7	20.8	17.7
里程 186+020.94	花岗岩	方向 /°	250	145	25
		倾角 /°	31	23	49

注:主应力方向为主应力的投影方向,以象限角表示;倾角“—”表示俯角,正角为仰角。

应力测试点采样抗压强度 σ_c 为 143.8 MPa,爆前判别系数 $\sigma_c/\sigma_1=4.68$,属于中等岩爆等级。经过卸压爆破后,爆前判别系数 $\sigma_c/\sigma_1=12.5$,属于低岩爆等级。

根据爆破试验设计的爆破参数及现场围岩情况,对于今后情况类似隧道的爆破卸压参数设计可以考虑为:炮孔直径 D 为 50~70 mm、炮孔长度为 5~8 m。炮孔间距最好为: $20\text{ cm}\leq d\leq 70\text{ cm}$ 。不耦合系数适宜取值区间为: $1<K<2.5$ 。

4 结 语

由上述对比参数可以得到以下结论:

(1)爆破前最大主应力为 30.7 MPa,爆破后最大主应力值为 11.5 MPa,最大应力降低幅度达 63%,爆破对最大主应力的降低起到了明显效果。

(2)爆破前测点最大主应力 σ_1 的方向为 250°,爆破后测点最大主应力 σ_1 的方向为 275°,说明爆破卸压对围岩最大主应力方向有所影响,

(上接第 65 页)

4 结 语

(1)超前钻孔对围岩应力的影响呈减小的趋势,从而使双护盾 TBM 开挖隧道时其高地应力对其影响能够减小。

(2)超前钻孔能够对围岩产生影响的范围为超前钻孔半径的 5~6 倍左右,超过该范围虽然超前钻孔对围岩应力有影响,但效果不明显。所取得的数据可为今后类似高应力、提前释放部分应力、降低高地应力参考。

参考文献:

[1] 张雷,超前钻探在隧道施工中的应用[J].科技传播,2012,4(1):58-59.

[2] 韦猛,赵桦.深埋隧道超前应力释放参数影响性研究[J].煤矿安全,2019,50(3):38-43.

[3] 高攀,张文新,邹翀.超前大钻孔应力释放方法在高地应力软岩隧道中的应用效果分析[J].隧道建设,2013,33

但影响较小。

参考文献:

[1] 王兰生,李天斌,徐进,徐林生,等.川藏公路二郎山隧道围岩变形破裂的调研与监测[C].四川省公路学会隧道专委会 98 年学术讨论会论文集,1998.

[2] 汪泽斌.岩爆实例、岩爆术语及分类的建议[J].工程地质,1988,(3):32-38.

[3] 谭以安.岩爆烈度分级问题[J].现代地质,1992,38(5):450-456.

[4] 左文智,张齐桂,等.地应力与地质灾害关系探讨[C].第五届全国工程地质大会文集.北京:地质出版社,1996,31~36.

作者简介:

苏小明(1969-),男,四川射洪人,正高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
方中杨(1992-),男,河南禹州人,硕士,专业:隧道与地下工程;研究方向:城市地铁盾构施工技术;
徐应中(1973-),男,四川巴中人,正高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
陈行(1985-),男,四川威远人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)

[10]:820-825.

[4] 雷学义,褚晓威.高应力巷道迎头超前钻孔卸压模拟分析[J].煤矿安全,2015,46(11):175-178.

[5] 韦善阳,陈学习,王磊,胡家立.瓦斯压力对超前钻孔有效排放半径影响数值模拟研究[J].煤炭技术,2015,34(4):137-139.

[6] Meng Wei, Ningxin Zhang, Yuan Tong. Analysis of Abnormal Use of Cement Paste in Perfusion during Tunnel Construction using TBM[J]. International Journal of Georesources and Environment,2018,Vol4,No(2).

作者简介:

徐应中(1973-),男,四川巴中人,正高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工
作;
文俊(1996-),男,四川成都人,在读硕士研究生,研究方向:地下空间;
李超(1986-),男,河南鹤壁人,高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工
作;
陈秉政(1968-),男,四川资阳人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)