

基于蠕变模型隧道开挖的数值模拟研究

程 锦 中¹, 刘 吉 鹏², 陈 行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:依据西藏某隧道工程,参考该隧道的地形、岩性条件,使用有限元差分软件 FLAC 3D 建立数值模型。采用 BURGERS 黏弹塑性模型(Model Mechanical CVISC),通过正交实验,研究了 Maxwell 动力黏度、Kelvin 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量和 Maxwell 弹性剪切模量对应力和位移值大小的影响;分析了蠕变作用下围岩总位移和残余应力在不同初始应力条件下随时间的变化情况。结果表明:Maxwell 动力黏度和 Kelvin 弹性剪切模量对位移值具有很大的影响;Maxwell 弹性剪切模量、Kelvin 动力黏度对位移值的影响微乎其微;对应力大小产生影响的主要因素是 Maxwell 动力黏度。所取得的研究成果为现场的实际施工提供了有力的理论支撑。

关键词:数值分析;BURGERS 黏弹塑性模型;蠕变;正交试验;研究

中图分类号:TV22;TV554;TV51 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)01-0066-04

Numerical Simulation Study of Tunnel Excavation Based on Creep Model

CHEN Jinzhong¹, LIU Jipeng², CHEN Hang¹

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

Abstract: According to a tunnel project in Tibet, referring to the terrain and lithology conditions of the tunnel, the finite element difference software FLAC3D is used to establish the numerical model. The influence of Maxwell dynamic viscosity, Kelvin dynamic viscosity, Kelvin elastic shear modulus and Maxwell elastic shear modulus on stress and displacement value was studied by orthogonal experiment by using the URGERS Visco—Elastic—Plasticity Mechanical Model, and the change of total displacement and residual stress of surrounding rock with time under different initial stress conditions was analyzed. The results show that the Maxwell dynamic viscosity and the Kelvin elastic shear modulus have a great influence on the displacement value, the Maxwell elastic shear modulus and the Kelvin dynamic viscosity have little influence on the displacement value, and the main factor affecting the stress is the Maxwell dynamic viscosity. The research results provide a strong theoretical support for the actual construction on site.

Key words: numerical analysis; URGERS Visco—Elastic—Plasticity Mechanical Model; creep; orthogonal experiment; study

1 概 述

中国是世界上隧道和地下工程最多、最复杂、发展最快的国家。随着基础设施的大规模建设,我国将于未来几十年内在铁路、公路交通、水利水电、能源矿山、市政工程以及其他领域修建大量的隧道工程。隧道建设的重点也逐渐向地形地质条件复杂的西部山区延伸转移,长大深埋隧道工程将大量涌现。开挖这些大型地下隧道工程,对施工工期、施工安全、经济效益和生态环境等方面都有着极高的要求。然而,受山区地形条件影响,

掘进工作面常常受到很大的限制,面对工期、安全、效益、环保等问题,使用全断面掘进机(TBM)无疑是很好的选择。但在 TBM 法施工过程中,围岩蠕变对隧道开挖的影响越来越大,已经成为不可忽视的因素。近年来,许多学者研究了围岩蠕变对隧道开挖的影响^[1,2],蔡燕燕,等^[3]考虑围岩蠕变的全过程,推导出了深埋隧洞非线性位移解;侯公羽等^[4]在支护反力变化条件下提出了被动支护反力连续变化下的迭代算法,并结合工程实例对围岩的蠕变变形进行了分析。林文凯,等^[5]基于 Burgers 的蠕变模型对圆形隧道的内

收稿日期:2020-01-16

力进行了研究,对比分析了地层结构模型与荷载结构模型两种分析方法,得出了地层结构模型分析更为有效的结论。同时,也有不少学者对蠕变位移方面进行了研究,余东明,等^[6]为了描述深埋圆形隧道的开挖支护,基于 Burgers 与 Drucker—parger 组合的黏弹塑性模型,推导出了深埋圆形隧道考虑剪胀性能的围岩蠕变位移解析解,结合实际算例,分析了围岩剪胀力与支护反力对深埋圆形围岩蠕变位移的影响规律。笔者通过确定隧道开挖面形状、开挖深度以及开挖半径,基于 Burgers 本构模型,以隧道开挖模拟的结果为基础,分析了在蠕变作用下围岩的位移和应力变化。

2 建立数值模型

2.1 隧道模型的建立

对于隧道横断面形状,将模型整体分为长方体和圆柱体两种,并将二者视为 Mohr—Coulomb 弹塑性材料,对模型半径分别取 8 m、10 m、15 m、20 m,开挖长度保持采用 70 m,采用一般模型的静力分析。结果表明:随着横断面的半径越来越大,两种数值模型洞壁上的应力越来越接近,因此,不管取什么形状的横断面,对于应力的影响都不大。但是圆形横断面的应力随半径的变化起伏较大,故最终采用圆形横断面。

按照 8 m、10 m、15 m、20 m、25 m、30 m、31.5 m、35 m 这 8 组不同的模型半径并根据它们最终稳定下来的应力,以这 8 个稳定的应力随半径大小变化的趋势(图 1)进行判断并进行半径的选取。

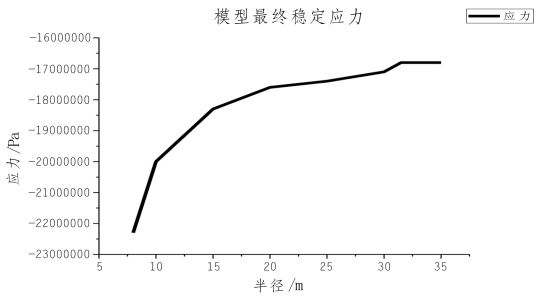


图 1 模型半径对应力影响趋势图

从图 1 可以看出:数值模型的应力大小随半径的增大而变小。随着半径的增大,应力趋于稳定,尤其值得注意的是:在半径为 31.5 m 之后,所对应的应力大小与 35 m 对应的应力大小基本一

致。基于模型半径对应力影响的趋势图的变化,最终采用 31.5 m 作为模型的半径。

2.2 本构模型的选取

采用 BURGERS 黏弹塑性模型(模型中的黏弹、黏性和塑性蠕变体以串联的方式发生作用),其中黏弹、黏塑性蠕变体的组合定义服从 BURGERS 黏弹性模型是由 Kelvin 体和 Maxwell 体串联构成的本构定律,从而实现了岩土体瞬态变形和时效变形的综合描述,而塑性体的力学行为采用 Mohr—Coulomb 模型加以表征。

笔者结合以上分析以及西藏某隧道岩石物理性质参数,将源模型设计如下:开挖洞口半径为 4.5 m,开挖长度设置为 12 m,围岩半径为 31.5 m,对圆柱体数值模型施加环向压应力 27.2 MPa。

3 围岩变形量与残余应力的计算求解

3.1 试验因素对围岩变形量的影响

采用正交试验确定了试验因素及水平数。试验因素为 Kelvin 弹性剪切模量、Kelvin 动力黏度、Maxwell 动力黏度、Maxwell 弹性剪切模量。水平数采用 4 种:(1)105;(2)107;(3)109;(4)1 011,只改变参数后面的次方(表 1)。

对主要试验因素(Maxwell 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量)一起进行调试,最终再与次要试验因素(Maxwell 弹性剪切模量、Kelvin 动力黏度)进行微调,最终得出的结果见表 2,使得开挖面的位移值达到 20 cm 左右。

根据表 2,采用 Maxwell 动力黏度(8.5×10^{12})、Kelvin 弹性剪切模量(7.7×10^{12})、Maxwell 弹性剪切模量(8.5×10^9)、Kelvin 动力黏度(5.5×10^{11})计算得知,监测点的位移达到 10 cm 左右,满足现场数据要求:即要使开挖面的径向总位移值达到 20 cm 左右。取 16 个监测点,其分布形式为开挖孔一周平均分布。

在蠕变模型正交设计试验分析的结果中,根据对监测点位移变化进行的分析,可以得出对位移值影响从大到小的因素依次为 Maxwell 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量、Maxwell 弹性剪切模量、Kelvin 动力黏度。

3.2 试验因素对残余应力的影响

对位移值调试的 4 个确定的参数再进行残余应力值的计算,得出应力值为 1.373×10^6 ,使残余

表 1 试验参数取值表

试验组	Kelvin 弹性剪切模量	Kelvin 动力黏度	Maxwell 弹性剪切模量	Maxwell 动力黏度
1	770 000	550 000	850 000	385 000
2	77 000 000	55 000 000	85 000 000	38 500 000
3	7 700 000 000	5 500 000 000	8 500 000 000	3 850 000 000
4	770 000 000 000	550 000 000 000	850 000 000 000	385 000 000 000

表 2 多个试验因素对位移影响程度大小表

试验组	Kelvin 弹性剪切模量	Kelvin 动力黏度	Maxwell 弹性剪切模量	Maxwell 动力黏度	监测点位移 /m
1	7.7×10^{11}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	3.85×10^{11}	0.023 5
2	7.7×10^{13}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	3.85×10^{13}	0.021 43
3	7.7×10^{13}	5.5×10^{13}	8.5×10^9	3.85×10^{13}	0.021
4	7.7×10^{12}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	7.7×10^{12}	0.114 43
5	7.7×10^{13}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	7.7×10^{12}	0.105 8
6	7.7×10^{11}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	8.5×10^{12}	0.105 1
7	7.7×10^{13}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	8.5×10^{12}	0.095 8
8	7.7×10^{12}	5.5×10^{11}	8.5×10^9	8.5×10^{12}	0.103 5

应力值符合要求(小于 3 MPa),所以,采用以上四个试验因素可以确定围岩壁开挖后围岩面的残余应力值,即 Maxwell 黏度(8.5×10^{12})、Kelvin 弹性剪切模量(7.7×10^{12})、Maxwell 弹性剪切模量(8.5×10^9)、Kelvin 动力黏度(5.5×10^{11})。

在蠕变模型正交设计试验分析的结果中,根据对监测点位移变化进行的分析,可以得出对应力大小影响从大到小的因素依次为 Maxwell 动力黏度、Kelvin 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量或者 Maxwell 弹性剪切模量。

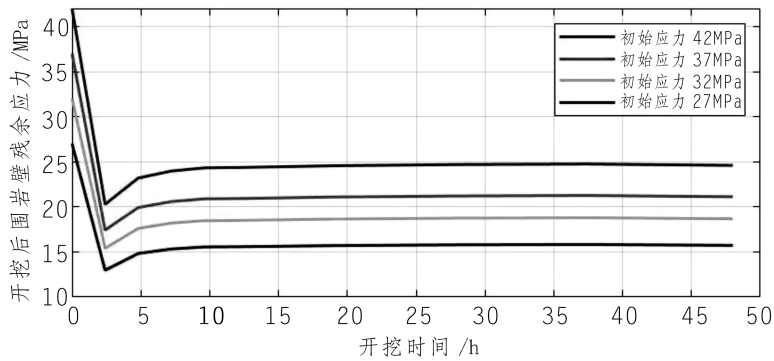


图 2 开挖后围岩总位移随时间变化情况图

3.3 试验结果分析

西藏某隧道现场返回的结果表明:高地应力范围大约为 27~42 MPa,开挖直径为 9 m,因此,在这一范围内均布选取应力值(42/37/32/27 MPa),分别计算不同应力条件下隧道开挖过程中围岩总位移和残余应力随时间的变化情况,其结果见图 2、3。开挖后围岩应力变化的总趋势为:开挖后,围岩壁上的应力迅速下降,然后缓慢上升,10 h 左右维持在稳定水平。初始应力为 42 MPa 的围岩壁开挖后围岩面的残余应力值维持

在 25 MPa 左右,初始应力为 37 MPa 的围岩壁开挖后围岩面的残余应力值维持在 21 MPa 左右,初始应力为 32 MPa 的围岩壁开挖后围岩面的残余应力值维持在 19 MPa 左右,初始应力为 27 MPa 的围岩壁开挖后围岩面的残余应力值维持在 16 MPa 左右。围岩位移总量趋势为周围围岩缓慢向开挖方向位移,在 17 h 左右达到稳定值;初始应力为 42 MPa 的围岩壁开挖后开挖面的最终总位移维持在 18 cm 左右,初始应力为 37 MPa 的围岩壁开挖后开挖面的最终总位移维持在 16

cm 左右,初始应力为 32 MPa 的围岩壁开挖后开挖面的最终总位移维持在 14 cm 左右,初始应力为 27 MPa 的围岩壁开挖后开挖面的最终总位移维持在 12 cm 左右。

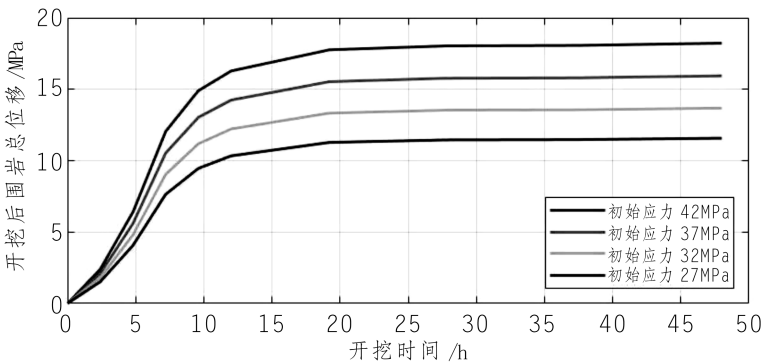


图 3 残余应力随时间变化情况图

4 结 语

笔者结合西藏多雄拉隧道地形条件和岩性条件拟合出蠕变参数,采用数值分析软件 FLAC 3D,建立了 BURGERS 黏弹塑性模型,分析了蠕变特性对围岩变形量和残余应力的影响规律,得出的主要结论如下:

(1)在比较不同模型的掌子面、开挖半径、开挖深度后,所建立的模型更能准确反映出现场的实际情况,使理论分析的数据、结果有力的支撑现场施工、有效预防现场的突发情况。

(2)结合现场实际数据确定蠕变模型的时间步长与时间步,根据蠕变模型正交设计试验分析的结果,可以得出对应力产生的影响从大到小的因素依次为 Maxwell 动力黏度、Kelvin 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量或者 Maxwell 弹性剪切模量;对位移值影响从大到小的因素依次为 Maxwell 动力黏度、Kelvin 弹性剪切模量、Maxwell 弹性剪切模量、Kelvin 动力黏度。

参考文献:

[1] 汪 涛,荣传新,王 彬.基于 Burgers 三维损伤蠕变模型的

巷道围岩流变特性分析[J].广西大学学报(自然科学版), 2017,42(1):205—213.
[2] 樊高臣,李瑞静.隧道围岩蠕变模型参数计算及变形数值分析[J].科技创新导报,2017,14(9):48—49.
[3] 蔡燕燕,张建智,俞 缙,等.考虑围岩蠕变全过程与扩容的深埋隧洞非线性位移解[J].岩土力学,2015,36(7):1831—1839.
[4] 侯公羽,李晶晶,杨 悦,等.支护反力变化条件下轴对称圆巷围岩蠕变变形计算方法[J].岩石力学与工程学报,2014,33(S1):3355—3360.
[5] 林文凯,晏启祥,刘羲睿,等.基于 Burgers 蠕变模型的圆形隧道内力分析方法对比研究[J].铁道标准设计,2016,60(12):104—109.
[6] 余东明,姚海林,段建新,等.考虑中主应力和剪胀的深埋圆形隧道黏弹塑性蠕变解[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S2):3586—3592.

作者简介:

程锦中(1963-),男,重庆垫江人,正高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
刘吉鹏(1995-),男,河南南阳人,在读硕士研究生,研究方向:地下空间;
陈 行(1985-),男,四川威远人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。
(责任编辑:李燕辉)



水电十局一分局通江县环高明湖项目纵四路经二路具备通车条件

2019 年 11 月 21 日至 11 月 23 日,一分局通江高明湖项目顺利完成纵四路、经二路沥青混凝土面层铺筑,标志着通江环高明湖项目又有两条市政道路具备通车条件,为后续其他道路沥青面层铺筑拉开了序幕。纵四路全长 376.545 m,道路宽度为 12 m,经二路全长 188.014 m,宽度为 18 m。为保质、保量完成任务,施工总承包部精心组织、合理安排,与时间赛跑,成立了质量安全管理小组,制定了质量安全保障措施,严格管控施工安全,按照设计及规范标准控制工程质量。在现场施工过程中,现场技术人员对沥青混合料的到场温度、摊铺温度及碾压质量等施工环节严格把关,确保了路面铺设平整及有序进行。截至目前,高明湖项目共完成沥青面层铺筑道路总长 1 891.693 m,为进一步加快项目工程建设进度,掀起新一轮大干热潮奠定了基础,也进一步助力通江顺利打赢这场脱贫攻坚战。

(水电十局一分局 供稿)