

地形偏压连拱隧道衬砌内力研究

董昌周, 曲 晨

(浙江科技学院 建筑工程学院, 杭州 310023)

摘 要: 通过1:20尺寸比例的模型试验和数值模拟结果表明,左右洞室有被压扁的趋势,左洞最大弯矩分布于左、右拱腰和拱底,右洞最大弯矩分布于左拱腰;连拱隧道整体向浅埋侧移位,浅埋侧和深埋侧的围岩出现被动压力和主动压力作用,浅埋侧隧道的拱顶竖向应力小于深埋侧。物理模型与数值模拟内力图对比分析表明,偏压条件下衬砌结构的内力变化规律基本一致。

关键词: 地形偏压;连拱隧道;模型试验;有限元

中图分类号: U451.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2011)03-0216-04

Study on lining force of multi-arch tunnels in topographical uneven pressure

DONG Chang-zhou, QU Chen

(School of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang University of Science and Technology,
Hangzhou 310023, China)

Abstract: By using the model test with scale of 1:20 and numerical simulation, we get the results that: 1) the left and right hole have the trend of press during the experiment. 2) The maximum moment of the left hole is located at left and right hance and arch bottom, while the maximum moment of the right hole is located at the left hance. 3) Under the partial pressure, the multiple-arch tunnel moves to the shallow side. The surrounding rock mass of the shallow and deep side appears to be in passive and active pressure. The result of numerical simulation is in good agreement with that of one model test.

Key words: topographical uneven pressure; multi-arch tunnel; model test; FEM

由于连拱隧道的结构特殊性,在设计和施工中出现新的技术问题。调查发现^[1-7],连拱隧道出现结构病害主要是隧道裂缝和渗漏水,衬砌病害在隧道洞口段比隧道洞身段严重,中墙比边墙严重,而且问题最多的是中墙顶部与拱部的连接处。其主要原因除了施工因素外,还与连拱隧道的偏压状态有着显著相关

收稿日期: 2011-01-05

基金项目: 浙江省科技计划重点项目(2007C23064)

作者简介: 董昌周(1976—),男,浙江省上虞人,工程师,硕士,主要从事实验教学和实验技术研究。

性,往往是洞口段的偏压比洞身段严重,中墙结构作为连拱隧道受力的薄弱部位,在偏压作用下容易开裂。

在地形偏压条件下连拱隧道衬砌内力和围岩稳定性方面,许多学者采用数值模拟手段对其进行了研究,通过比较衬砌内力和围岩稳定性研究 2 个主洞的合理开挖顺序,以及中导洞、三导洞 2 种开挖方案的适应性。夏才初、刘金磊^[8]采用有限元程序和荷载-结构模式对福泉高速公路相思岭双连拱隧道结构进行了二维分析,得出结构的内力大小与弹性抗力系数的取值大小密切相关的结论。杨建民^[9]采用 ARCZ 有限元程序将万梁高速公路金竹林双连拱隧道结构简化成直杆杆系结构,用矩阵位移法进行了二维分析,得出了结构的内力、位移和安全度。然而,地形偏压作用下连拱隧道结构的受力机理和围岩稳定性还不是十分清楚,有待进一步深入研究。本研究在前人工作的基础上,以偏压连拱隧道为研究对象,进行室内相似模型试验和数值模拟,对偏压连拱隧道的衬砌内力及变化趋势进行了分析与验证。

1 模型试验

1 : 20 尺寸比例的模型试验具体过程参见文献[10],从表 1 可以看出,连拱隧道对应特征部位存在明显的受力不对称。左右洞室衬砌都受压力,轴力随着隧道上覆荷载的增加而增大,左洞最大轴力值分布于仰拱和边墙的结合部位;右洞最大轴力值分布于靠近中墙的左拱腰,见图 1。从弯矩图可以看出,左右洞室有明显的被压扁的趋势,左洞最大弯矩分布于左、右拱腰和拱底,只是左、右拱腰外侧受拉,而拱底是洞室内侧受拉;右洞最大弯矩分布于左拱腰,左、右拱腰外侧受拉,而拱顶和拱底都是洞室内侧受拉,见图 2。

表 1 不同荷载下衬砌内力

Table 1 Lining force under different loads

隧道布置	荷载/kN	衬砌内力							
		轴力/N				弯矩/(kN·m ⁻¹)			
		拱顶	左拱腰	右拱腰	拱底	拱顶	左拱腰	右拱腰	拱底
左洞室	50	-60.0	-55.5	-46.8	-106.0	-1.8	31.1	-47.2	-30.4
	100	-98.5	-78.7	-48.4	-160.2	-11.8	37.9	-41.0	-40.4
	150	-112.2	-82.0	-49.7	-208.2	-14.9	51.5	-33.5	-46.0
	200	-144.9	-98.1	-53.8	-265.0	-24.2	68.3	-18.1	-72.0
	250	-165.2	-115.1	-67.5	-309.3	-27.3	76.4	-14.9	-85.1
	300	-170.6	-117.2	-75.3	-330.8	-25.5	83.8	-10.6	-94.4
右洞室	50	-106.4	-117.2	-79.5	-68.3	-22.4	66.5	17.4	-10.6
	100	-170.6	-197.9	-122.5	-70.4	-77.0	94.4	34.8	-14.9
	150	-210.7	-267.4	-139.5	-74.5	-131.0	124.2	59.0	-27.3
	200	-247.6	-337.4	-151.5	-97.3	-245.9	180.7	62.1	-59.0
	250	-283.6	-404.5	-167.3	-123.8	-319.6	221.7	75.8	-82.6
	300	-294.4	-424.4	-168.1	-139.1	-350.2	230.4	78.2	-96.9

注:弯矩洞室外侧受拉为正,内侧受拉为负;轴力拉为正,压为负。

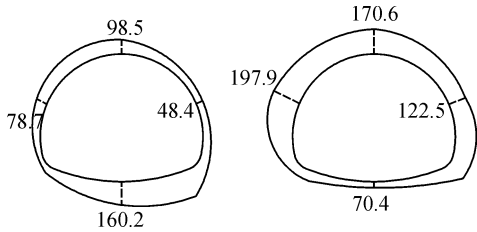


图 1 100 kN 时衬砌压力分布

Fig. 1 Axis force of lining at 100 kN load

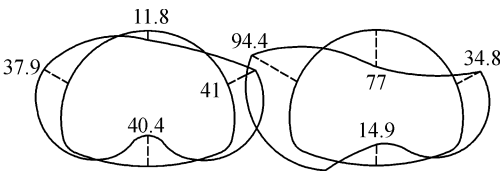


图 2 100 kN 时模型衬砌弯矩分布

Fig. 2 Moment of lining at 100 kN load

2 数值模拟

使用二维 ANSYS 软件进行模拟。根据隧道的结构形式和地质条件,对模型进行适当简化,计算中采

用理想弹塑性材料,屈服准则采用 Drucker-Prager 屈服准则,隧道围岩材料的力学参数采用实测值,见表 2。在计算过程中,围岩采用 PLANE42 实体单元,衬砌采用 BEAM3 单元。模型左、右边界水平方向约束,底面加固定支座以约束所有自由度,地表为自由面。模型尺寸按照物理模型实验,隧道位于原始应力场见图 3,其网格划分情况如图 4 所示。

表 2 材料物理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of material					
材料类型	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)
V 级围岩	22	0.1	0.3	50	37
衬砌	12	2.5	0.34	—	—



图 3 原始应力场

Fig. 3 Original stress field

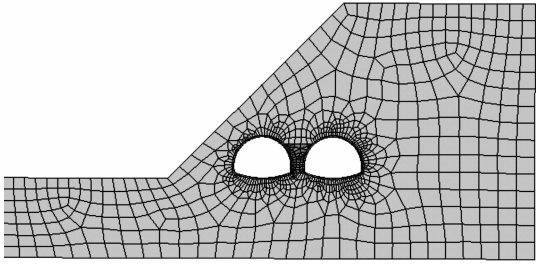


图 4 网格划分

Fig. 4 Mesh generation

2.1 衬砌内力分布规律分析

图 5 是 2 种方法在加竖向荷载 150 kN 时得到的衬砌内力分布图。从内力图可看出,模型试验与数值模拟结果存在一定程度的偏差,但衬砌的轴力和弯矩变化规律基本一致。

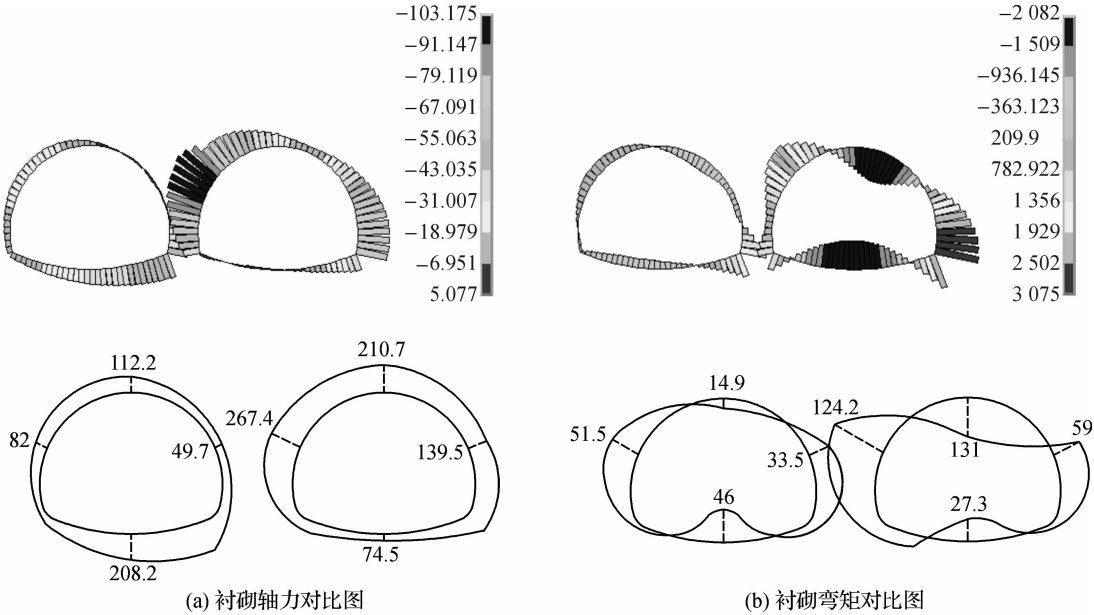


图 5 衬砌内力对比图

Fig. 5 Comparison of lining internal force

2.2 模型试验破坏现象数值分析

从偏压连拱隧道模型试验的破坏过程看,两洞拱顶处出现较多的裂缝,裂缝的扩展继而引起整个围岩体的开裂,如图 6 所示。岩体的开裂从图 7 最大荷载下应力矢量图可以看出,洞室周围围岩体的开裂处出现较多的拉压应力。图 8 是围岩体坡度面上岩体出现鱼鳞状的破碎,这主要是整个连拱隧道向坡度方向外滑移所引起的,因此,在设计与施工时要考虑边坡的稳定性,如图 9 所示。

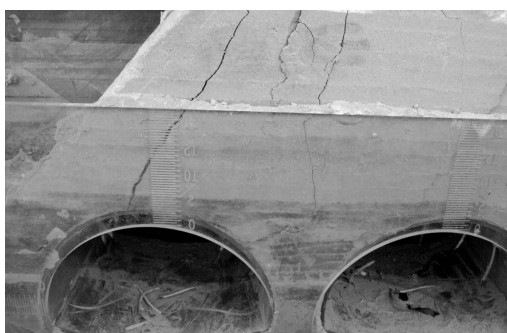


图6 围岩破坏图

Fig. 6 Surrounding rock failure



图7 围岩破坏时应力矢量图

Fig. 7 Stress vector under surrounding rock failure



图8 最大荷载下斜坡破坏

Fig. 8 Slope failure at maximum load

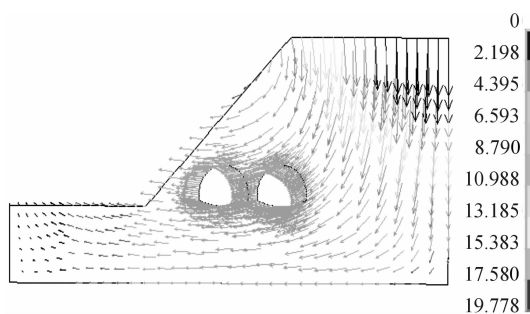


图9 围岩破坏位移矢量图

Fig. 9 Displacement vector under surrounding rock failure

3 结 语

通过1:20尺寸比例的模型试验和有限元数值分析,可以得到以下几点:

1) 在不同荷载下,左、右洞室衬砌都受压力,而且压力随着隧道上覆荷载的增大而增大,左洞最大轴力值分布于仰拱和边墙的结合部位;右洞最大轴力值分布于靠近中墙的左拱腰。实验过程中,左右洞室有被压扁的趋势,左洞最大弯矩分布于左、右拱腰和拱底;右洞最大弯矩分布于左拱腰。随着荷载的增加,左洞洞顶竖向位移变化不大,右洞洞顶竖向位移成线性增大。

2) 在地形偏压作用下,连拱隧道整体向浅埋侧移位,浅埋侧和深埋侧的围岩出现被动压力和主动压力作用,浅埋侧隧道的拱顶竖向应力小于深埋侧。

3) 模型试验与数值计算结果可能存在一定程度的偏差,但从内力对比图上可以看出,衬砌的轴力和弯矩变化规律基本一致。

参考文献:

- [1] 李仲奎,卢达溶,中山元,等. 三维模型试验新技术及其在大型地下洞群研究中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003,22(9):1430-1426.
- [2] 徐发俊. 洋务公路隧道病害分析与整治[J]. 隧道及地下工程, 1995,16(3):48-52.
- [3] 王文广,代高飞,朱合华. 某公路隧道病害成因与治理[J]. 重庆大学学报, 2005,28(12):101-103,111.
- [4] 赖金星,谢永利,赵严峰. 公路隧道衬砌裂缝病害检测与治理对策[J]. 沈阳建筑大学学报, 2007,23(1):37-40.
- [5] 刘彤,李宁军,李华. 连拱隧道衬砌裂缝成因分析与处治[J]. 四川建筑科学研究, 2007,33(1):96-97.
- [6] 张伟,李夕兵,宫凤强,等. 公路隧道衬砌裂缝成因分析及数值模拟研究[J]. 工程建设, 2007,39(1):26-29.
- [7] 王建秀,朱合华,唐益群,等. 双连拱公路隧道裂缝成因及防治措施[J]. 岩石力学与工程学报, 2005,24(2):195-202.
- [8] 夏才初,刘金磊. 相思岭连拱隧道中墙应力研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000(S1):1115-1119.
- [9] 杨建民. 金竹林双连拱公路隧道设计[J]. 世界隧道, 1999(1):16-20.
- [10] 董昌周,曲晨,杨建辉,等. 地质力学模型试验台的研制与应用[J]. 实验室研究与探索, 2010,29(3):14-16,20.