

DOI: 10.11779/CJGE201702015

# 玄武岩纤维混凝土隧道衬砌承载特性模型试验研究

崔光耀<sup>1</sup>, 王道远<sup>2, 3, 4</sup>, 倪嵩陟<sup>1</sup>, 朱长安<sup>5</sup>, 袁金秀<sup>2</sup>, 周济民<sup>6</sup>

(1. 北方工业大学土木工程学院, 北京 100144; 2. 河北交通职业技术学院土木工程系, 河北 石家庄 050091; 3. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031; 4. 石家庄铁道大学土木工程学院, 河北 石家庄 050091; 5. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041; 6. 北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082)

**摘要:** 玄武岩纤维是一种环保高性能的无机材料。玄武岩纤维混凝土所具有的增强、增韧、阻裂等性能, 对于控制软弱围岩隧道的变形具有重要的力学优势。通过钢筋混凝土和玄武岩纤维混凝土衬砌力学行为室内模型试验, 对玄武岩纤维混凝土衬砌的承载特性进行研究。研究表明: 相比钢筋混凝土, 玄武岩纤维混凝土衬砌的初裂荷载提高了20%; 掺入玄武岩纤维后衬砌结构的韧性增强, 衬砌初裂后仍可承担较大的弯矩和变形。衬砌初裂前, 钢筋混凝土和玄武岩纤维混凝土衬砌支护特性曲线基本成线性变化; 衬砌初裂后, 钢筋混凝土衬砌支护特性曲线在缓慢上升后, 快速趋于收敛; 玄武岩纤维混凝土衬砌承载特性曲线缓慢上升, 至2倍初裂荷载时仍无收敛迹象。因此, 玄武岩纤维混凝土能较好地满足软弱围岩隧道尽早封闭岩面、尽快提供支护力并具有一定变形能力的要求。研究成果对于软岩大变形隧道的变形控制具有重要的意义。

**关键词:** 隧道工程; 玄武岩纤维混凝土; 承载特性; 模型试验

**中图分类号:** TU411

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2017)02-0311-08

**作者简介:** 崔光耀(1983-), 男, 山东莒南人, 博士, 副教授, 主要从事隧道与地下工程的教学与研究。E-mail: cyao456@163.com。

## Model tests on bearing characteristics of basalt fiber-reinforced concrete tunnel linings

CUI Guang-yao<sup>1</sup>, WANG Dao-yuan<sup>2, 3, 4</sup>, NI Song-zhi<sup>1</sup>, ZHU Chang-an<sup>5</sup>, YUAN Jin-xiu<sup>2</sup>, ZHOU Ji-min<sup>6</sup>

(1. School of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China; 2. Department of Civil Engineering, Hebei Jiaotong Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050091, China; 3. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 4. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China; 5. Highway Planning, Survey, Design and Research Institute, Sichuan Provincial Communications Department, Chengdu 610041, China; 6. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

**Abstract:** Basalt fiber is a kind of inorganic material, which is effective and environmentally friendly. Basalt fiber concrete has important mechanical advantages to control the deformation of soft rock tunnels because it has functions such as strengthening, toughening, crack resistance and so on. Through the indoor model tests on mechanical behaviors of reinforced concrete and basalt fiber-reinforced concrete, the bearing characteristics of linings of basalt fiber concrete linings are investigated. The test results show that compared with that of the reinforced concrete lining, the initial crack load of the basalt fiber concrete lining increases by 20 percent. The lining structure gets tougher after it is mixed with basalt fiber, moreover, after occurrence of the initial crack, the linings can also bear larger bending moment and deformation. The bearing characteristic curves of linings of the reinforced concrete and basalt fiber concrete exhibit linear change before the initial crack. After the initial crack, the curve of the reinforced concrete rises slowly before rapid convergence. The curve of the basalt fiber concrete increases to two times the value of the initial crack load and there is no convergence trend. Therefore, the basalt fiber concrete can satisfy both the requirements that the rock surface of the soft wall rock tunnel should be closed as soon as possible and the linings can provide supporting force with a certain

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(51408008、51478277); 国家十二五科技支撑项目(2012BAK09B06); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2010CB732105); 河北省自然科学基金项目(E201619002); 四川省应用基础研究计划项目(2014JY0090、2015JY0166); 四川省交通科技项目(2013A1-5); 河北省高等学校科学技术研究青年基金项目(QN2014161, QN2016240); 北方工业大学青年拔尖人才培养计划项目(XN070017)

**收稿日期:** 2015-12-08

**\*通讯作者** (E-mail: wtg-888@163.com)

deformation ability as soon as possible. The research results are extremely important to the control of large deformation of soft rock.

**Key words:** tunnel engineering; basalt fiber-reinforced concrete; bearing characteristic; model test

0 引言

随着中国基础建设的蓬勃发展,高海拔、高纬度、高地震烈度区交通隧道不断涌现,隧线比不断提高,隧址区地质情况复杂多变,对隧道支护结构的力学性能提出了更高要求。纤维混凝土具有增强、增韧的优异性能,对于要求尽早封闭岩面、尽快提供支护力并具有一定变形能力的软弱围岩隧道是一种有利的支护材料<sup>[1-3]</sup>。

玄武岩纤维是一种环保高性能的无机材料,其能有效提高混凝土的抗压强度(最大提高约 17%)<sup>[4]</sup>和早强强度<sup>[5]</sup>,改进了混凝土的脆性破坏特征并提高了阻裂能力<sup>[6-7]</sup>,同时也提高了混凝土的劈裂强度(最大提高约 27%)和抗折强度(最大提高约 25%)<sup>[8]</sup>。因此,玄武岩纤维混凝土支护结构对于控制软弱围岩隧道的变形具有重要的力学优势。

国内外有关专家、学者对纤维混凝土支护结构力学行为进行了一些研究,主要有钢纤维混凝土基本力学性能等<sup>[9-10]</sup>、喷射钢纤维混凝土支护结构力学行为数值模拟<sup>[11]</sup>、钢纤维混凝土单层衬砌支护模型试验<sup>[12]</sup>、钢纤维和玄武岩纤维混凝土管片基本力学性能及试验等<sup>[13-15]</sup>。本文依托广甘高速杜家山隧道洞身V级围岩段(绢云母千枚岩),对软弱围岩条件下玄武岩纤维混凝土支护结构的力学行为进行模型试验研究,这对软弱围岩隧道变形控制技术及玄武岩纤维混凝土衬砌的力学性能都具有重要的意义。

1 杜家山隧道洞身绢云母千枚岩段概况

广甘高速杜家山隧道位于广元市青川县境内,双洞两车道单向隧道,左洞长 1833 m,右洞长 1886 m。

1.1 地层岩性

隧址区地处四川盆地西北缘龙门山脉北端,紧邻摩天岭山系。隧址区基岩出露,场地地层由新至老为:第四系全新统坡、残积层,崩、坡积层,冲、洪积层与滑坡堆积层;以及古生界志留系黄坪组二段(砂质千枚岩)与一段(绢云千枚岩)岩层组成。

杜家山隧道部分洞身段穿越志留系绢云母千枚岩段(V级围岩)。绢云母千枚岩呈黄灰、褐灰、灰、深灰、绿灰色,鳞片变晶结构,千枚状构造,片理面极发育;质软,指甲可刻划;层间结合差,锤击易沿片理面破裂,抗压强度 4.6~6.3 MPa,遇水软化,为隧道洞身段开挖的主要岩层,如图 1 所示。



图 1 绢云母千枚岩

Fig. 1 Sericite phyllite

1.2 支护结构设计

杜家山隧道支护结构为马蹄形断面,跨度 12.82 m,高度 10.29 m。初期支护为 I20b 钢架@60、 $\phi$  8 钢筋网@20、 $\phi$  22 药卷锚杆 30 cm 厚 C25 喷砼;二衬为 45 cm 厚 C25 钢砼, $\phi$  22 钢筋网@25。拟采用 30 cm 厚 CF25 玄武岩纤维混凝土替代原初支结构设计。

2 玄武岩纤维混凝土基本力学性能试验

2.1 试验内容

试验内容及各试验所需试件的数量和尺寸见表 1 所示。

表 1 试验内容

Table 1 Test contents

项目	试件尺寸/mm	C25 素混凝土试件数量	CF25 玄武岩纤维混凝土(11.5 g/m <sup>3</sup> )试件数量
立方体抗压强度	100*100*100	3	3
抗折强度	100*100*400	3	3
弯曲韧性	100*100*400	0	3

注:玄武岩纤维长为 30 mm,直径为 18  $\mu$ m。

2.2 抗压强度和抗折强度试验结果

试验采用数显压力试验机(YES-2000)和抗折试验机(JES-300)进行,抗压强度和抗折强度试验结果见表 2,3 所示。

表 2 抗压强度试验结果

Table 2 Test results of compressive strength

类型	抗压强度平均值/MPa	尺寸换算系数	换算强/MPa	增长比例
素混凝土	27.182	0.95	25.823	1
玄武岩纤维混凝土	32.852	0.90	29.567	1.145

表 3 抗折强度试验结果  
Table 3 Test results of flexural strength

类型	抗折强度平 均值/MPa	尺寸换 算系数	换算强 度/MPa	增长比例
素混凝土	3.042	0.85	2.586	1
玄武岩纤维混凝土	3.571	0.85	3.035	1.174

由表 2, 3 可知, 玄武岩纤维有助于混凝土抗压强度和抗折强度的提高。在素混凝土中掺加玄武岩纤维后, 混凝土内形成一定的网状结构, 协同骨料受力, 当应力自基体传递给纤维时, 纤维因变形而消耗能量, 提高了混凝土韧性的同时提高了混凝土的强度。

2.3 弯曲韧性试验结果

试验采用三分点加载试验方法, 利用 Instron 25 t 力学实验机进行, 试验结果见表 4 所示。

表 4 弯曲韧性试验结果  
Table 4 Test results of flexural toughness

类别	试件编号			平均值
	JTH-1	JTH-2	JTH-3	
初裂强度/MPa	3.37	3.62	3.43	3.47
等效抗弯强度/MPa	2.38	2.27	2.14	2.26
弯曲初度比	0.59	0.48	0.52	0.53
韧性指数 $I_{10}$	8.7	9.9	10.3	9.63
韧性指数 $I_{30}$	31.75	29.77	27.54	29.69
韧度 $R_{30/10}$	115.25	99.35	86.2	100.27

由图 2 及表 4 可知, 玄武岩纤维有助于混凝土初裂强度和韧度的提高, 三试件韧度 ( $R_{30/10}$ ) 均超过 80, 韧度等级为优秀。

3 模型试验方案设计

3.1 相似关系

试验采用立式钢板模型试验平台 (图 2) 进行, 平台长 4.3 m, 宽 0.5 m, 高 3.7 m。考虑到试验平台的边界效应, 平台长度应大于隧道模型跨度 6 倍, 基于此几何相似比取为 20。



图 2 试验平台

Fig. 2 Test platform

隧道衬砌 (C25) 采用石膏混合材料模拟, 其弹

性模量为  $1.1 \sim 1.65 \times 10^3$  MPa, 而 CF25 玄武岩纤维混凝土弹性模量为  $2.45 \sim 3.2 \times 10^4$  MPa, 基于此弹性模量相似比取为 20。

依据相似准则推导相似关系, 其他主要物理量的相似比见表 5 所示。

表 5 主要物理量的相似比  
Table 5 Similarity ratios of main quantities

类型	物理量	相似比
材料特性	弹性模量	20
	抗压强度/抗拉强度	20
	应力	20
	应变	1
	泊松比	1
	内摩擦角	1
	密度	1
荷载	荷载	8000
几何特性	几何长度	20

3.2 相似试验材料

模型试验围岩相似材料采用重晶石粉、河砂、石英砂、机油及松香配置而成, 相似材料物理力学参数如表 6 所示。

表 6 围岩相似材料物理力学参数  
Table 6 Physico-mechanical parameters of similar materials of surrounding rock

材料名称	$E/\text{MPa}$	$\mu$	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$c/\text{kPa}$	$\phi/(\text{^\circ})$
围岩 (原型)	1210	0.41	18.0	120.0	23
围岩相似材料	58.5	0.42	18.5	6.1	25

衬砌原型钢筋混凝土强度等级为 C25, 试验采用石膏混合料 (水膏比为 0.686) 及 0.5 mm 成品钢丝网 (双层) 来模拟衬砌, 如图 3 所示。



图 3 双层钢丝网

Fig. 3 Double-wire mesh

原型玄武岩纤维混凝土强度等级为 CF25, 试验采用石膏混合料 (水膏比为 0.611), 试验用玄武岩纤维 (图 4) 及白乳胶 (用以提高石膏与玄武岩纤维间的黏结力) 来模拟衬砌。玄武岩纤维掺量根据弯曲韧性试验确定为  $11.5 \text{ kg/m}^3$ 。



图 4 玄武岩纤维

Fig. 4 Basalt fiber

钢筋混凝土和玄武岩纤维混凝土衬砌物理力学参数见表 7 所示。

表 7 衬砌物理力学参数

Table 7 Physico-mechanical parameters of linings

材料名称		$E/\text{MPa}$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$\mu$
钢筋混凝土	原型衬砌	29500	25.0	0.2
	相似材料	1382	24.3	0.2
玄武岩纤维混凝土	原型衬砌	29500	25.0	0.2
	相似材料	1409	24.4	0.2

3.3 试验设备

试验主要采用立式钢板模型试验平台(图 2)、微型压力盒(DYB-1 型,见图 5(a))、位移传感器(YHD 型,见图 5(b))及静态应变采集仪(图 6)等试验设备。



(a) 微型压力盒 (b) 位移传感器

图 5 测试传感器

Fig. 5 Test sensor



图 6 静态应变仪

Fig. 6 Static strain gauge

3.4 测点布置

试验分为钢筋混凝土衬砌和玄武岩纤维混凝土衬砌两组,每组 3 个试件。为研究玄武岩纤维混凝土衬砌的承载特性,考虑到衬砌为对称结构且承受对称荷载,测点仅设置于衬砌一半断面即可,共 5 个典型位置测点(拱顶、左拱脚、左边墙中及仰拱中),测点布置见图 7 所示。

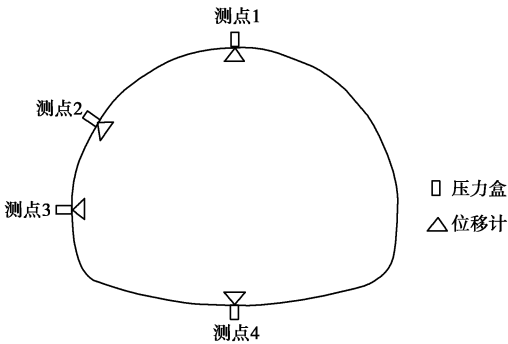


图 7 测点布置

Fig. 7 Arrangement of measuring points

3.5 试验过程

首先,在试验平台内填土,每填土 20 cm 进行夯实,填至试件仰拱底部高度为止;其次,埋设衬砌结构及布设测试传感器,填土至地表指定高度;最后,逐级加载(2 t/级),直至衬砌结构破坏(以衬砌贯通裂缝出现为标志)为止。

4 试验结果分析

4.1 试验现象

(1) 钢筋混凝土衬砌

在以竖向为主荷载作用下,钢筋混凝土衬砌首先在仰拱中部的内侧出现第一条裂缝(纵向),初裂荷载是 10 t,随着荷载的增加,裂缝的宽度和深度随之增加;接着在拱顶及左右边墙脚出现纵向裂缝;继续加载,裂缝逐渐出现在左右拱腰、边墙及仰拱部位;至结构破坏(荷载为 20 t,出现贯通裂缝)时,共产生 9 条裂缝。试验现象及裂缝分布见图 8, 9 所示。



(a) 第 1 条裂缝(仰拱) (b) 第 3 条裂缝(左墙脚)

图 8 钢筋混凝土衬砌裂缝

Fig. 8 Cracks in lining of reinforced concrete

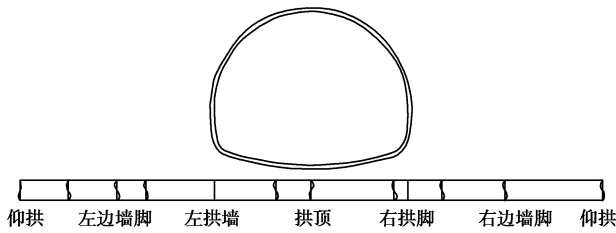
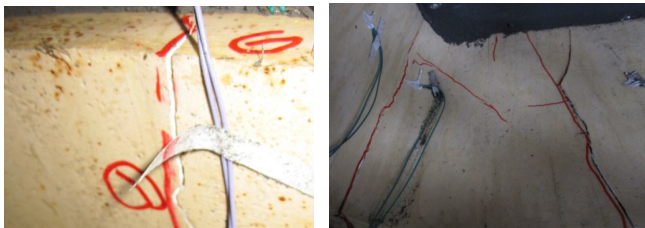


图9 钢筋混凝土衬砌裂缝分布图

Fig. 9 Distribution of cracks in lining of reinforced concrete

## (2) 玄武岩纤维混凝土衬砌

在以竖向为主荷载作用下, 玄武岩纤维混凝土衬砌首先在拱顶部位出现第一条裂缝(纵向), 初裂荷载是 12 t, 由于玄武岩纤维的抑制作用, 荷载继续增加, 裂缝的深度缓慢增加, 裂缝发展的路径曲折, 延缓了衬砌结构的破坏; 接着在仰拱、拱顶及边墙等部位出现裂缝; 继续加载, 其它部位也逐渐出现纵向裂缝; 最后, 荷载加载至 24 t 时, 衬砌结构仍没出现贯通裂缝, 裂缝数目为 13 条。试验现象及裂缝分布见图 10, 11 所示。



(a) 第1条裂缝(拱顶)

(b) 局部多点开裂(仰拱及边墙)

图10 玄武岩纤维混凝土衬砌裂缝

Fig. 10 Cracks in lining of basalt fiber-reinforced concrete

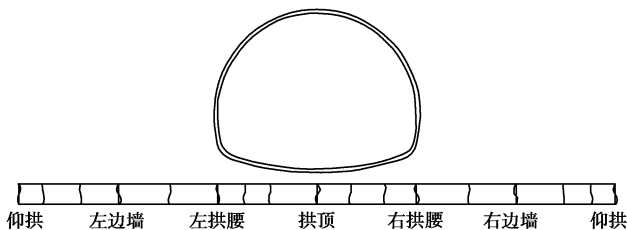


图11 玄武岩纤维混凝土衬砌裂缝分布图

Fig. 11 Distribution of cracks in lining of basalt fiber-reinforced concrete

## 4.2 径向压力

提取各级加载时各监测点围岩与衬砌间的接触压力(径向压力), 绘制径向压力与荷载关系曲线, 如图 12 所示。

由图 12 可知, 实际作用在衬砌结构上的径向压力比理论计算值小约 30%~40%, 这部分荷载主要围岩分担。

衬砌的径向压力随荷载的增加而增加, 当出现第一条裂缝(达到初裂荷载)后, 径向压力增长速率放

缓。玄武岩纤维混凝土衬砌受力较钢筋混凝土衬砌更加均匀, 这主要是因为玄武岩纤维混凝土所具有的良好抗裂性和变形控制能力。当玄武岩纤维混凝土衬砌承受 2 倍初裂荷载时结构仍未破坏(钢筋混凝土衬砌在 2 倍初裂荷载时结构破坏)。

图 12(c) 中, 钢筋混凝土衬砌边墙中部径向压力在荷载为 14 t 时急剧变大, 这主要因为衬砌出现初裂缝, 导致结构断面扁平率突然降低, 边墙部位急剧向围岩方向挤入, 造成此处径向压力急剧变大。

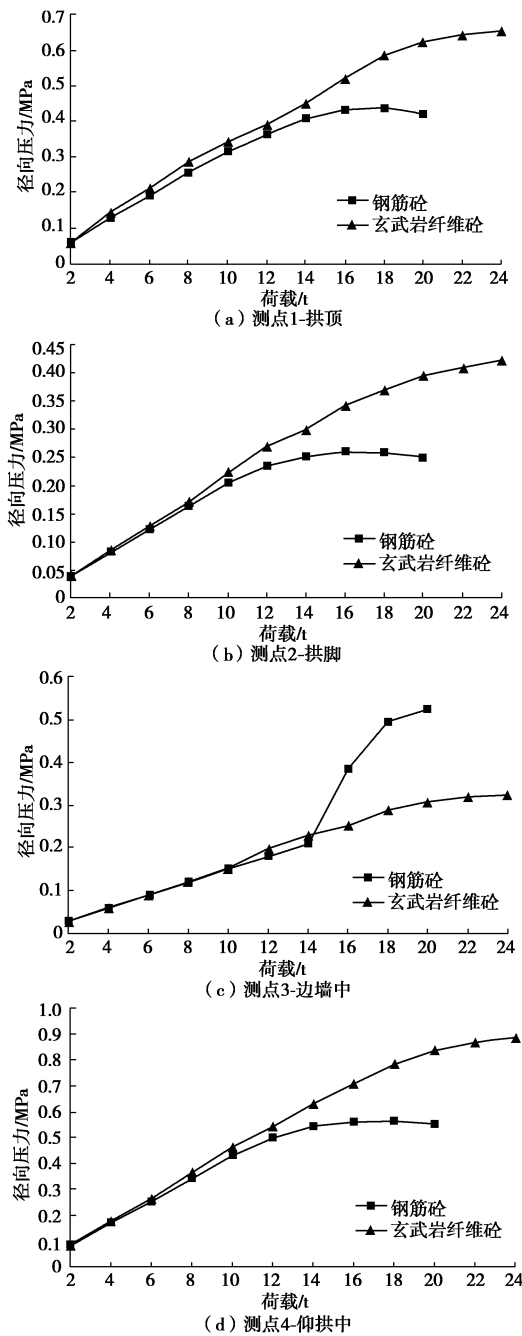


图12 径向压力与荷载的变化曲线

Fig. 12 Change curves of radial pressure and load

## 4.3 径向位移

提取各级加载时各监测点径向位移, 绘制径向位

移与荷载关系曲线，如图 13 所示。

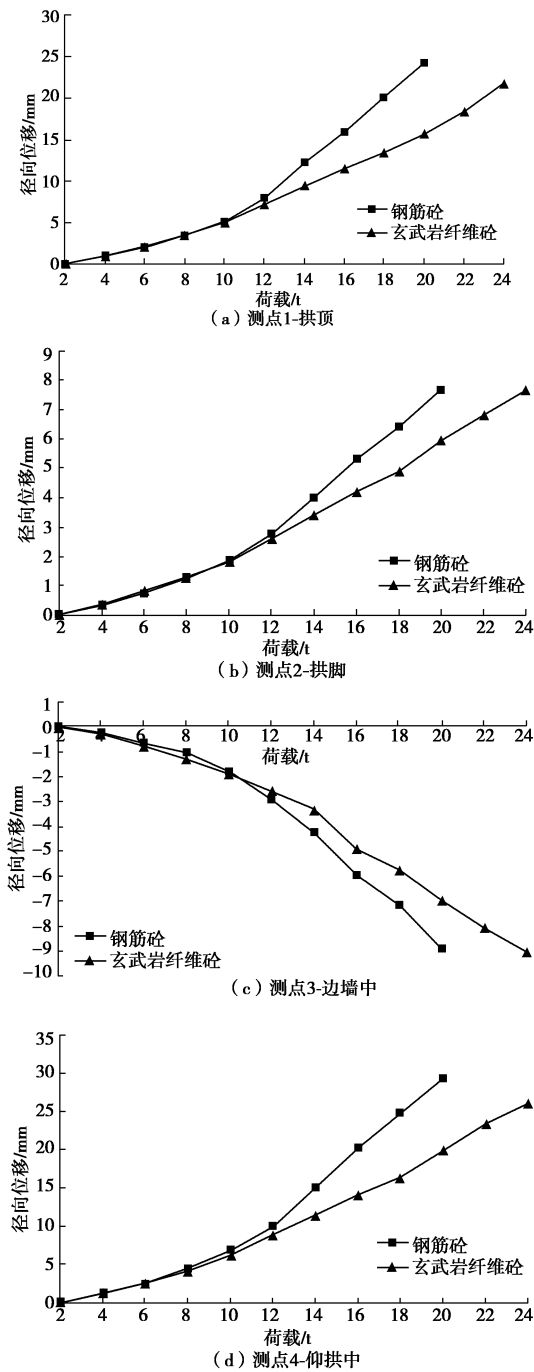


图 13 径向位移与荷载的变化曲线

Fig. 13 Change curves of radial displacement and load

由图 13 可知，衬砌结构径向位移随荷载的增加而增加。初裂荷载前，径向位移与荷载增加基本成线性关系；初裂荷载后，径向位移增长速率明显增大，钢筋混凝土衬砌大于玄武岩纤维混凝土衬砌。相同荷载作用下，钢筋混凝土衬砌径向位移大于玄武岩纤维混凝土衬砌。综上可知，玄武岩纤维混凝土衬砌的韧性、抗裂性以及变形控制能力均优于钢筋混凝土衬砌。

4.4 承载特性

提取各级加载时各监测点的径向压力与径向位

移，绘制衬砌结构承载特性曲线，如图 16 所示。

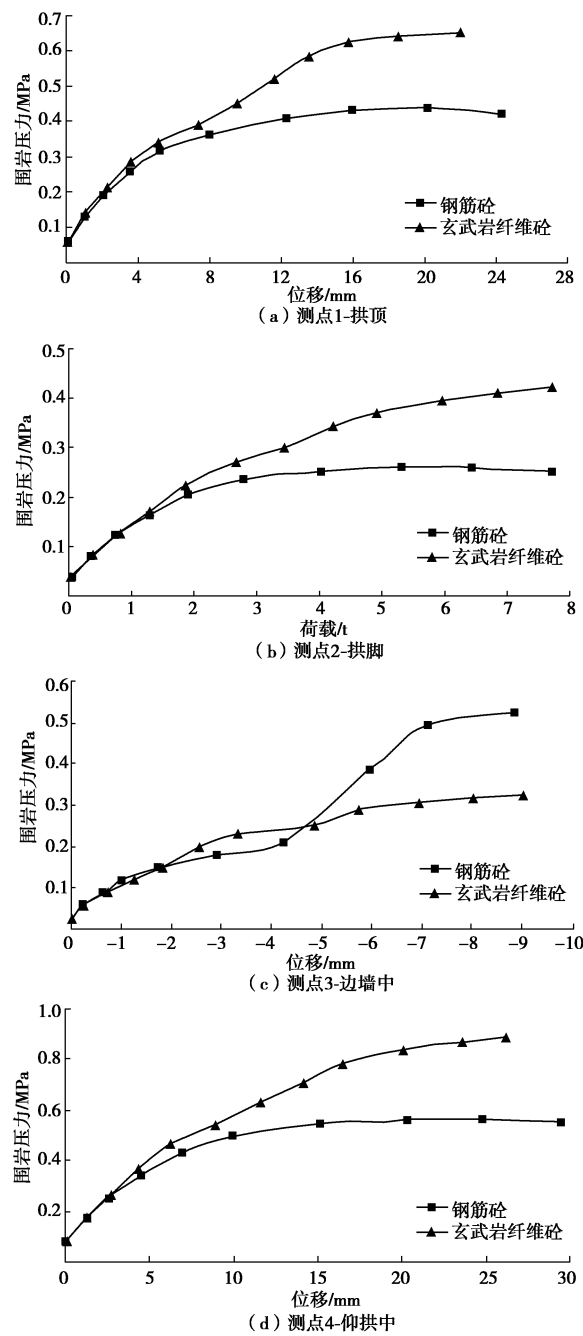


图 14 衬砌结构承载特性曲线

Fig. 14 Bearing characteristic curves of lining structure

由图 14 可知，在分级加载过程中，衬砌拱顶、拱脚及仰拱中部测点不断向隧道内部方向变形，三测点的承载特性曲线规律基本一致；边墙中部测点不断向围岩方向变形，其承载特性曲线不同于以上三测点。选取拱顶为结构内变形代表测点、边墙中部为结构外变形代表测点进行玄武岩纤维衬砌结构承载特性分析。

(1) 内变形测点（拱顶）

初裂荷载后，钢筋混凝土衬砌测点径向位移增长速率突增，径向荷载增长速率变缓。至结构破坏，钢

筋混凝土衬砌极限荷载增长了约 50% (相比初裂荷载)。

初裂荷载后,玄武岩纤维混凝土衬砌测点径向位移增长速率有所增加,径向荷载增长速率有变缓的趋势,结构承载能力仍较高。加载至 2 倍初裂荷载,衬砌结构仍具有一定的承载能力。相比钢筋混凝土衬砌,玄武岩纤维混凝土衬砌的承载能力和变形控制能力明显提高。

#### (2) 外变形测点(边墙中部)

分级加载过程中,边墙部位衬砌向围岩方向变形,在衬砌挤入围岩的过程中必将受到围岩的反作用,导致衬砌相关部位径向压力不断增大。

由于玄武岩纤维混凝土所具有的良好抗裂性和韧性,初裂荷载后相同荷载条件下,衬砌边墙中部的径向位移小于钢筋混凝土 10%~20%,玄武岩纤维混凝土衬砌初裂荷载后仍可承担较大的弯矩。由于玄武岩纤维混凝土衬砌边墙中部的径向位移偏小,导致其径向压力亦偏小(相比钢筋混凝土)。

## 5 结 论

(1) 竖向为主荷载作用下,钢筋混凝土和玄武岩纤维混凝土衬砌首先在仰拱中部或拱顶部位内侧出现第一条纵向裂缝,钢筋混凝土衬砌初裂荷载是 10 t,玄武岩纤维混凝土衬砌初裂荷载是 12 t。由于玄武岩纤维的抑制作用,继续加载,裂缝发展的路径曲折,延缓了衬砌结构的破坏。钢筋混凝土衬砌在加载至 2 倍初裂荷载时,结构破坏,共产生 9 条裂缝;玄武岩纤维混凝土衬砌在加载至 2 倍初裂荷载时,衬砌结构仍未出现贯通裂缝,裂缝数目已达 13 条。

(2) 实际作用在衬砌结构上的径向压力比理论计算值小约 30%~40%,这部分荷载主要围岩分担。由于玄武岩纤维混凝土所具有的良好抗裂性和变形控制能力,初裂荷载后,衬砌受力较钢筋混凝土衬砌更加均匀。

(3) 初裂荷载前,径向位移与荷载增加基本成线性关系;初裂荷载后,径向位移增长速率明显增大,钢筋混凝土衬砌大于玄武岩纤维混凝土衬砌。掺入玄武岩纤维后衬砌结构的韧性增强,衬砌初裂后仍可承担较大的弯矩,仍可承受一定变形,故玄武岩纤维混凝土衬砌可较大降低结构的变形速率。

(4) 衬砌初裂前,钢筋混凝土和玄武岩纤维混凝土衬砌承载特性曲线基本成线形变化。衬砌初裂后,钢筋混凝土衬砌承载特性曲线在缓慢上升后,快速趋于收敛;玄武岩纤维混凝土衬砌承载特性曲线缓慢上升,至 2 倍初裂荷载时仍无收敛迹象。

## 参考文献:

- [1] 李鹏飞,赵 勇,刘建友. 隧道软弱围岩变形特征与控制方法[J]. 中国铁道科学, 2014, 35(5): 55 - 61. (LI Peng-fei, ZHAO Yong, LIU Jian-you. Deformation characteristics and control method of tunnel with weak surrounding rock[J]. China Railway Science, 2014, 35(5): 55 - 61. (in Chinese))
- [2] 朱永全,李文江,赵 勇. 软弱围岩隧道稳定性变形控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2012. (ZHU Yong-quan, LI Wen-jiang, ZHAO Yong. Deformation mechanism and control technology of weak rock surrounding tunnel[M]. Beijing: China Communications Press, 2012. (in Chinese))
- [3] 徐前卫,马 静,朱合华,等. 软弱破碎隧道围岩开挖面稳定性的拟三维模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(增刊 1): 465 - 470. (XU Qian-wei, MA Jing, ZHU He-hua, et al. Pseudo-three-dimensional experimental study on tunnel face stability in weak and fractured rock mass[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(S1): 465 - 470. (in Chinese))
- [4] 王海良,袁 磊,宋 浩. 短切玄武岩纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 建筑结构, 2013, 43(增刊 2): 562 - 564. (WANG Hai-liang, YUAN Lei, SONG Hao. Experimental study on mechanical property of chopped basalt fiber reinforced concrete[J]. Building Structure, 2013, 43(S2): 562 - 564. (in Chinese))
- [5] 廉 杰,杨新勇,杨 萌,等. 短切玄武岩纤维增强混凝土力学性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2007, 37(6): 8 - 10. (LIAN Jie, YANG Yong-xin, YANG Meng, et al. Experimental research on the mechanical behavior of chopped basalt fiber reinforced concrete[J]. Industrial Construction, 2007, 37(6): 8 - 10. (in Chinese))
- [6] WANG H L, GUO H Y, YANG X L, et al. Experimental research on influences on mechanical property of C50 waterproof concrete by basalt fiber [J]. Advanced Materials Research, 2014, 834: 755 - 761.
- [7] ADHIKARI S. Mechanical properties and flexural applications of basalt fiber reinforced polymer (BFRP) bars[D]. Akron: University of Akron, 2009.
- [8] 彭 苗,黄浩雄,廖清河,等. 玄武岩纤维混凝土基本力学性能试验研究[J]. 混凝土, 2012, 33(1): 74 - 75. (PENG Miao, HUANG Hao-xiong, LIAO Qing-he, et al. Test study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete[J]. Concrete, 2012, 33(1): 74 - 75. (in Chinese))
- [9] PASSUELLO A, MORICONI G, SHAH S P. Cracking

- behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers[J]. Cement & Concrete Composites, 2009(39): 699 - 704.
- [10] BOGHOSIAN E, WEGNER L D. Use of flax fiber to reduce plastic shrinkage cracking in concrete[J]. Cement & Concrete Composites, 2008(30): 929 - 937.
- [11] 宋 艳, 朱珍德, 张慧慧. 深埋隧道喷射钢纤维混凝土支护的数值模拟[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(2): 204 - 208. (SONG Yan, ZHU Zhen-de, ZHANG Hui-hui. Numerical simulation for sprayed steel fiber concrete supporting in deep-buried tunnel[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2013, 11(2): 204 - 208.
- [12] 刘新荣, 祝云华, 李晓红, 等. 隧道钢纤维喷射混凝土单层衬砌试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 2319 - 2323. (LIU Xin-rong, ZHU Yun-hua, LI Xiao-hong, et al. Experimental research on single-layer tunnel lining of steel fiber shotcrete[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(8): 2319 - 2323. (in Chinese))
- [13] 刘赫凯, 丁一宁. 钢纤维自密实混凝土管片力学性能的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(1): 10 - 13, 21. (LIU He-kai, DING Yi-ning. Experimental study on performance of steel fiber reinforced self-compacting concrete(SCC) tunnel lining[J]. Journal of Building Materials, 2011, 14(1): 10 - 13, 21. (in Chinese))
- [14] 高 磊, 胡国辉, 徐 楠, 等. 玄武岩纤维工程性质研究进展[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(增刊 2): 1749 - 1754. (GAO Lei, HU Guo-hui, XU Nan, et al. Advances in research on engineering properties of basalt fiber[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2014, 10(S2): 1749 - 1754. (in Chinese))
- [15] 徐 源, 瞿家宝, 陈阳利, 等. 地铁管片用玄武岩纤维增强水泥混凝土性能试验研究[J]. 铁道建筑, 2014(5): 157 - 161. (XU Yuan, QU Jia-bao, CHEN Yang-li, et al. Performance of basalt fiber-reinforced cement-based concrete and its application in metro segmental liner[J]. Railway Engineering, 2014(5): 157 - 161. (in Chinese))

## 第八届港口工程技术交流大会暨第十届工程排水与加固技术研讨会 一号通知（征文）

“一带一路”国家战略的实施为交通、水利、市政等行业带来了新的机遇与挑战，“十三五”期间，我国沿海港口建设有序推进，内河水运加快发展，大型综合性港区布局逐步优化，一大批港口深水航道、防波堤、码头等基础设施正在建设，在技术创新和理论研究、工程经验等方面取得了丰硕的成果。为加强港工技术、工程排水与加固专业领域的学术交流，提供新理论、新技术、新材料的探讨平台，中国土木工程学会港口工程分会、工程排水与加固专业委员会将于2017年11月在浙江省宁波市联合举办第八届港口工程技术交流大会暨第十届工程排水与加固技术研讨会。

**主办单位：**中国土木工程学会港口工程分会；工程排水与加固专业委员会

**承办单位（待增补）：**浙江省围海建设集团股份有限公司

**协办单位（待增补）：**浙江大学宁波理工学院；中国电建集团华东勘测设计研究院；南京瑞迪建设科技有限公司

**会议议题与征文内容：**①港口工程领域：沿海、内河航道泥沙运动特性、波浪与建筑物相互作用理论；港口工程建设与维护新技术；水运工程建设新成果、新技术与新工艺；“一带一路”海外港口建设技术；人工岛礁建设关键技术；重大工程案例和港工技术应用。②工程排水与加固领域：软土工程特性与理论；地基处理新技术、新方法；超软土地基处理及围堤填筑技术；基坑、边坡等岩土工程加固技术；新型土工合成材料研制与应用；疏浚底泥处理与资源化利用技术；城市黑臭河道

及城市污染土处治技术；排水加固技术工程应用。

**会议论文与出版：**本次会议将对提交的论文组织专家评审，评审合格的论文录入会议论文集，由中国水利水电出版社正式出版，同时选取部分优秀论文推荐到《岩土工程学报》、《水利水运工程学报》、《中国港湾建设》等学术期刊发表。

**征文格式：**①投稿论文应符合科技论文写作惯例和基本要求，未公开发表过且不涉及保密内容，文责由作者自负。论文字数一般不超过8000字（包括图表和公式）。②论文格式参照《岩土工程学报》征稿启事，英文摘要暂不要求；③请务必注明作者详细通讯地址、邮编、联系电话及电子邮箱地址；④投稿论文需提供电子文档或打印稿一式两份。

**征文日期安排：**①提交全文截止日期：2017年6月30日投稿作者将论文电子版发送至邮箱psjgzwh@163.com。②论文录用通知日期：2017年7月31日，组织专家对投稿论文进行评审，录用通知及修改意见将在2017年7月31日前通知作者。③修改稿提交截止日期：2017年8月31日，作者根据修改意见和排版要求定稿，于2017年8月31日前将修改稿电子版发到会议组委会。

**会议联系方式：**学会总联系人，关云飞（13770938628）；论文投稿联系人，耿之周（15850597239），占鑫杰（18724008048）；技术展览联系人，郑澄锋（13851747826），徐锴（18516158019）。地址：南京市虎踞关34号南京水利科学研究院岩土工程研究所（210024）。E-mail: psjgzwh@163.com。（大会组委会 供稿）