

文章编号:1003-1995(2005)04-0033-03

湿喷聚丙烯纤维网混凝土在东巨寺沟隧道中的应用

贺彬

(中铁五局二公司赣龙工程指挥部,江西赣州 341000)

摘要:结合宝兰二线宝天段东巨寺沟隧道施工实例,介绍在隧道施工中采用湿喷塑料纤维网混凝土作为永久性衬砌的施工技术,为今后类似隧道施工提供一些经验。

关键词:隧道 湿喷 聚丙烯纤维网混凝土 试验 量测

中图分类号:U455.48⁺1 **文献标识码:**B

1 湿喷纤维混凝土衬砌简介

湿喷纤维混凝土同普通混凝土相比不仅具有较高的抗拉、抗弯、抗剪、抗冲击强度,而且具有较好的延性、良好的变形能力、较高的密实度和良好的防水性能,能明显减少普通混凝土由于水泥收缩而产生的微裂缝。因此,湿喷纤维混凝土作为隧道永久衬砌,同模筑混凝土衬砌相比,由于其变形性能较强,能充分利用围岩自身承载能力,减少围岩对支护结构的压力,即使围岩破坏,由于纤维混凝土具有较高的残余强度,仍能在相当长的时间内维持围岩的稳定性。良好的变形性可以有效地吸收地震时所传递的能量,较高的密实度使得纤维混凝土具有良好的防水性能和气密性。目前国内用湿喷纤维混凝土作为隧道永久喷锚衬砌仍处于试验阶段,还没有大规模应用。

2 试验段的布置和材料的选用

2.1 试验段的布置

东巨寺沟隧道位于渭河右岸山中,起讫里程为DK1 334 + 955 ~ DK1 335 + 716,全长为761 m,隧道最大埋深为213 m。试验段里程为DK1 335 + 510 ~ DK1 335 + 570,长60 m,分为3个连续的试验段,其中分段1(DK1 335 + 510 ~ DK1 335 + 530)长20 m,喷层厚度为10 cm,纤维网掺量为1.35 kg/m³;分段2(DK1 335 + 530 ~ DK1 335 + 550)长20 m,喷层厚度为10 cm,纤维网掺量为1.8 kg/m³;分段3(DK1 335 + 550 ~ DK1 335 + 570)长20 m,喷层厚度为15 cm,纤维网掺量为0.9 kg/m³。隧道围岩设计为Ⅲ级。试验段采用喷射C20素混凝土初步找平后,再喷厚15 cm或10 cm的湿喷纤维网混凝土作为永久性衬砌,并预留3 cm的变形空间和15 cm的补强空间(见图1)。试验中选择DK1 335 + 500、DK1 335 + 520、DK1 335 + 540和

DK1 335 + 560处的4个监控量测断面,其中DK1 335 + 500断面为对比断面。对该区段的施工全过程分别进行了围岩地质及支护状态观察、隧道周边收敛、拱顶下沉、围岩压力、混凝土应力的监控量测。

2.2 原材料的选用

纤维网选用美国Fibermesh公司生产的长度为19 mm聚丙烯纤维网,减水剂选用UFN-5高效减水剂,速凝剂采用液态速凝剂。粗骨料为最大粒径 \geq 15 mm的坚固、干净的卵石或碎石,细骨料采用坚硬、干净的中砂或细砂,细度模数 $>$ 2.5,含水率宜控制在5%~7%,骨料砂率约为55%。

3 施工工艺

3.1 设备的选型

湿喷机选择河南焦作生产的ESP-6型混凝土湿喷机,其生产能力6 m³/h,耗风量8~10 m³/h,工作风压0.3~0.6 MPa,适用混凝土水灰比0.55~0.65。

混凝土搅拌机宜采用自落式或双轴卧式强制式搅拌机,以后者为先,搅拌容量350~500 L。

3.2 投料、搅拌工艺

先投入石子、水泥、纤维、砂子搅拌30~60 s,再加入减水剂和水搅拌60~90 s,量测出料口处的纤维网混凝土拌合物的坍落度,观察纤维状况。随机抽取约5 L的混凝土拌合物,若聚丙烯纤维在混凝土中分布不均,应均匀投料和搅拌。

3.3 喷射工艺

聚丙烯纤维喷射混凝土可采用干喷或湿喷的不同施工工艺。以下介绍湿喷混凝土工艺:

1) 开机前检查风压、电源系统。

2) 首先将湿喷机空载运转,检查管路是否畅通和工作状态,以及进料口防超径钢质栅网是否安设妥当。喷射前,用高压风吹净受喷面上的粉尘并洒水清除已

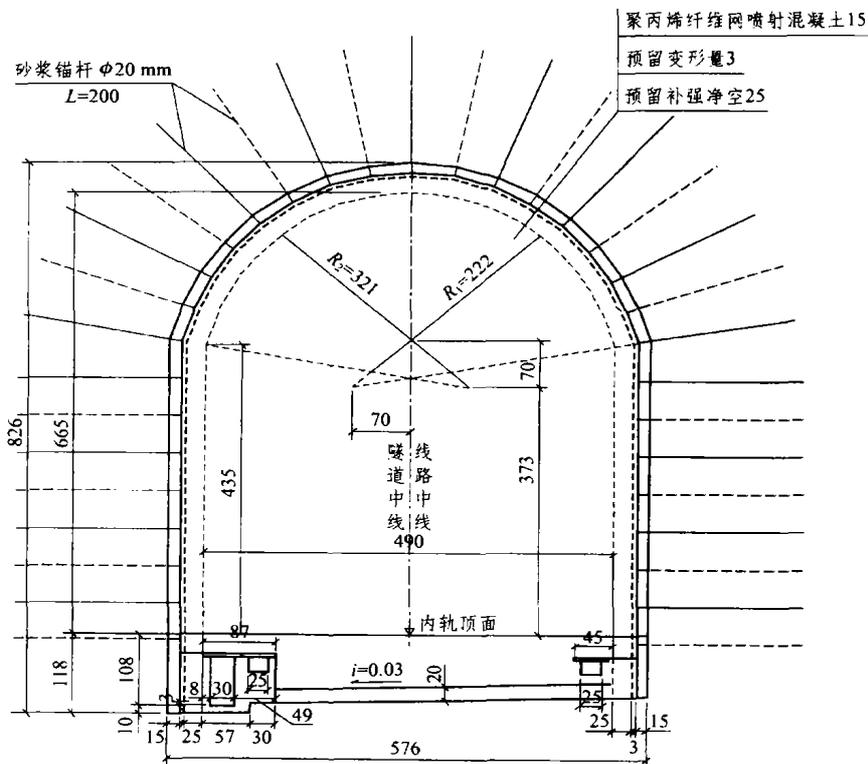


图1 隧道试验段衬砌断面示意图(单位:cm)

松动围岩。

3) 遵循先进料后湿喷的原则,并使受料口处混凝土拌合物始终高于搅拌翅。

4) 用硬质聚乙烯管(长1 000~1 200 mm)替代原钢质喷嘴。

5) 分两层喷射,第一层厚约 50 mm,待强度达到 5~8 MPa 后,再喷第二层厚约 100 mm。

6) 喷嘴至工作面的距离一般为 0.8~1.0 m;喷射角度控制在 80°~90°,若受喷面被格栅和钢筋网覆盖,喷嘴应稍加倾斜,但 α70°。喷嘴处的风压一般控制在 0.3~0.5 MPa;喷嘴应按螺旋形轨迹移动。每 2 000~3 000 mm 为一喷射区,采用由下向上的喷射方式施喷;喷嘴与岩面的间距控制在 700~1 200 mm 内进行适当调整。喷射第一层时,以扫描式为主,并对突出岩石的根部进行填充式喷射;喷射第二层时以划圈喷射为主,即自下而上以 300 mm 直径划圈喷射,做到一次喷射达到所需厚度。

(7) 喷射作业分片进行,一般每片长为 2 m、宽为 1.5 m。

3.4 质量控制

1) 喷射厚度及线形控制

在围岩具有代表性的部位,用速凝剂和水泥配成速凝水泥浆埋设带座钢筋棍(长约 200 mm,间距为 1.0 m × 1.0 m)。在喷射区域内用铁丝挂设轮廓线,以控

制施喷混凝土范围内的大面平整度。

2) 喷射混凝土质量试验

抗压强度和抗弯(折)强度试件采用脱底钢模直喷法,经捣实抹平后,在标养室中进行标准养护。其中抗压强度每种纤维掺量制作 6 组计 18 块(3 组做抗压,3 组做劈裂抗拉);抗弯(折)强度制作 3 组。经检测站试验,混凝土强度见表 1,强度明显高于不掺纤维的素喷混凝土。现场取样试件的不同龄期强度见表 2。

3) 通过对回弹量的测量,调整喷射工艺参数。

4 现场量测

4.1 衬砌水平收敛量测

在 DK1 335 + 500、DK1 335 + 520、DK1 335 + 540、DK1 335 + 560 处的 4 个断面各布置两条收敛量测测线。洞室收敛随时间的变化关系见图 2。图中正值表示位移向洞内,负值表示位移向外。

表 1 喷射试模混凝土强度试验表 MPa

批 次	试件抗压强度						试件抗折强度				
	1"	2"	3"	4"	5"	6"	平均	7"	8"	9"	平均
1	43.9	44.4	43.6	44.2	43.2	43.2	43.8	5.6	5.7	5.7	5.7
2	45.3	42.9	43.6	43.1	44.2	43.5	43.8	6.0	5.9	5.8	5.9
3	44.4	44.7	45.4	43.7	44.3	43.5	44.3	5.6	5.9	6.2	5.9

注:抗压试件尺寸 150 mm × 150 mm × 150 mm。

表2 喷射C20纤维混凝土现场取样试验强度 MPa

试件编号	抗压强度			抗折强度		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
1 [#]	14.7	30.0	44.0	1.8	4.2	5.9
2 [#]	13.9	28.0	42.7	2.0	4.4	5.8
3 [#]	14.2	29.0	44.4	1.7	4.3	6.0
平均	14.3	29.0	43.7	1.8	4.3	5.9

注:抗折试件尺寸 100 mm × 100 mm × 400 mm。

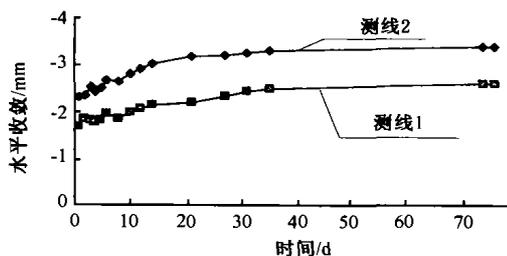


图2 DK1 335 + 520 断面水平收敛与时间关系图

4.2 拱顶下沉的量测

在DK1 335 + 500、DK1 335 + 520、DK1 335 + 540、DK1 335 + 560处的4个断面各布置一个拱顶下沉测点。拱顶下沉随时间的变化关系见图3。图中负值表示下沉。

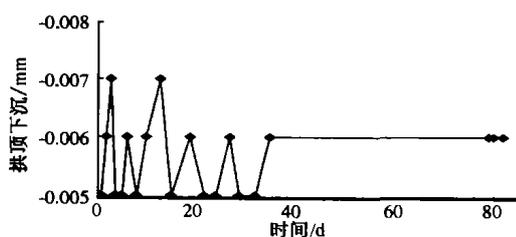


图3 DK1 335 + 520 断面拱顶下沉与时间关系图

4.3 量测结果分析

1) 周边收敛及拱顶下沉

实测各断面的周边收敛和拱顶下沉值均较小,其数值不到 1.0 mm。由于硬岩地层全断面形式开挖,测点埋设后第一次量测时间内洞室绝大部分变形已完成,因而所测值很小,这也与硬岩稳定地层中洞室本身变形很小的规律相一致。

2) 围岩地质及支护状态观察

东巨寺沟隧道所穿越围岩类型单一,均为燕山期花岗岩。试验3个分段内聚丙烯纤维网湿喷混凝土衬砌,厚度均匀,均达到或超过设计厚度,未出现任何混凝土开裂或破损现象,表面平整,粗糙度相对较低。

5 聚丙烯纤维湿喷掺量的确定

针对湿喷混凝土的特点要求,选择粗骨料最大粒径分别为 10 mm、31.5 mm 两种系列,选择聚丙烯纤维体积掺量分别为 0.0 %、0.1 %、0.15 %、0.2 %、0.25 % 的混凝土做性能试验,获得主要力学性能结果为:

5.1 抗压强度

随着掺量的增加,混凝土抗压强度增大,当掺入量为 0.2 % 时,混凝土抗压强度最大;掺入量继续增大后,抗压强度增加不再明显。

5.2 抗拉和抗弯强度

两系列不同粒径粗骨料混凝土试验结果表明,混凝土劈裂抗拉强度随纤维掺量增加而增加,特别是少量掺入后效果更明显,如掺入体积为 0.1 % 时,两系列试验强度分别增加了 51 % 和 37 %,掺入体积为 0.25 % 时,两组试验强度分别增加了 57 % 和 39 %。同样混凝土抗弯强度随纤维掺量增加而增加。

5.3 抗渗透性

掺入聚丙烯纤维的混凝土,由于大大减少了因塑性收缩、干燥收缩而引起的原生裂纹和次生裂纹的数量而提高了抗渗透能力。随着纤维掺入量的增加,混凝土抗渗透能力增加明显,特别是掺量为 0.1 % ~ 0.2 % 时,效果明显,当掺量达 0.2 % 时,其抗渗能力成倍地增长。

5.4 弯曲疲劳性能

在等应力比的条件下,随着纤维量的增加,循环应变增值和疲劳损伤均有较明显的改善。考虑纤维掺量与混凝土力学性能关系及价格与性能比,较为合理的聚丙烯纤维体积掺量应为 0.1 % ~ 0.2 %。

6 结语

东巨寺沟隧道主体工程已全部完工,在施工过程中重点加强对试验段 DK1 335 + 560、DK1 335 + 540、DK1 335 + 520 的监测,经历了前后两年至今未发现洞内衬砌有开裂、漏水现象。监测数据表明,隧道洞室已趋于稳定,设计中预留的 25 cm 模筑补强衬砌也无需施工。喷塑料纤维网混凝土作为永久性衬砌,充分利用了围岩的自承能力,减薄了模筑衬砌厚度,既保证了施工安全,又降低了施工成本。

修回日期:2005-01-10

(责任审编 白敏华)