

路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维
在混凝土中的性能研究

铁道科学研究院铁道建筑研究所

二〇〇五年五月

路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维 在混凝土中的性能研究

1 绪论	1
1.1 纤维混凝土的发展概况	1
1.2 纤维混凝土的分类	2
1.3 纤维混凝土的力学性能	3
1.4 纤维混凝土的耐久性	4
2 试验概况	5
2.1 试验目的	5
2.2 试验方案	6
2.3 试验材料	7
2.4 试验设备	8
3 试验结果	9
3.1 纤维混凝土的抗压强度	9
3.2 纤维混凝土的抗拉强度	10
3.3 纤维混凝土的抗裂性能	11
4 结论	12

铁道科学研究院



铁道科学研究院铁道建筑研究所

二〇〇五年五月

目 录

1 概述	1
2 原材料和试验方法	2
2.1 原材料及要求	2
2.2 试验方法	3
3 纤维混凝土的试验研究	3
3.1 混凝土配合比	3
3.2 混凝土的工作性能	4
3.3 混凝土的力学性能	4
3.4 混凝土的长期耐久性能	4
3.4.1 抗冻性能	5
3.4.2 抗氯离子渗透性能	7
3.4.3 抗渗性能	8
4 结论	9

路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维在混凝土中的性能研究

受深圳海川工程科技有限公司的委托,对路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维 C40 纤维混凝土的工作性能、力学性能(包括抗压强度、抗折强度和劈拉强度)和长期耐久性能(包括抗冻性能、抗渗性能和抗 Cl⁻ 渗透性能)的进行了试验,报告如下:

1 概述

纤维混凝土,又称纤维增强混凝土,以非连续的短纤维或连续的长纤维作为增强材料所形成的水泥基复合材料,在某种意义上,可以看作是纤维增强混凝土脆性基体的复合材料。由于纤维的乱向分布,形成网络结构,阻止裂纹扩展,提高混凝土的断裂能,从而使混凝土的延性增大,提高混凝土的韧性及抗裂性能。

目前美国、欧洲、加拿大和日本等国家的大量工程实践证明,解决混凝土因塑性收缩、干缩等内部应力作用产生的微裂缝这一缺陷的最有效的手段是采用纤维增强。最近几年,我国对纤维增强混凝土这方面的广泛研究,已在高速公路路面、桥面板、特殊结构中逐步获得推广应用。

本研究针对 C40 路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维的工作性能、力学性能和长期耐久性能开展了一系列的试验研究。研究表明:本试验研究配制的纤维混凝土具有如下性能:

- (1) 良好的工作性能
 - 满足施工的要求,具有良好的和易性
 - 拌合物坍落度损失小
- (2) 良好的力学性能
 - 抗压强度满足设计要求
 - 较高的拉折强度
 - 较高的折压强度
- (3) 优越的长期耐久性能
 - 抗冻性大于 F300
 - 氯离子渗透电量小于 1000 库仑
 - 抗渗性大于 P20

2 原材料和试验方法

2.1 原材料及要求

(1) 水泥

采用北京拉法基水泥股份有限公司生产的 42.5R 级低碱普硅水泥，主要性能指标见表 1。

表 1 水泥主要性能指标试验结果

细度, %	0.5	碱含量, %	0.50	
MgO, %	2.58	比表面积, m ² /kg	350	
SO ₃ , %	3.03	凝结时间, h: min	初凝	3:07
烧失量, %	3.83		终凝	3:07
安定性	合格	抗压强度, MPa	3d	26.5
K ₂ O, %	0.54		28d	53.0
Na ₂ O, %	0.14	抗折强度, MPa	3d	5.4
			28d	9.5

(2) 砂

采用中粗河砂，细度模数 2.6，具体品质指标见表 2。

表 2 砂品质指标试验结果

项目	表观密度, kg/m ³	堆积密度, kg/m ³	轻物质含量, %	氯离子含量, %	三氧化硫含量, %	云母含量, %	含泥量, %	坚固性, %
结果	2620	1680	0.05	无	0.02	0.4	1.0	1.48

(3) 石子

采用 5-16mm 碎石，品质指标见表 3。

表 3 碎石品质指标试验结果

项目	表观密度, kg/m ³	堆积密度, kg/m ³	空隙率, %	含泥量, %	针片状颗粒, %	吸水率, %	压碎指标, %	坚固性, %
结果	2630	1574	40	0.4	3.2	0.5	4.3	1.24

(4) 粉煤灰

选用赤峰东元电力发展有限责任公司生产的 I 级粉煤灰，试验依据 GB/T 1596-91 进行，活性指数和碱含量检验按照 GB/T18736-2002《高强高性能混凝土用矿物外加剂》中的试验方法进行，其性能指标见表 4。

表 4 粉煤灰性能检验结果

项 目	I 级灰指标	检测值
细度 (45 μm 方孔筛余量), %	≤12	9.0
烧失量, %	≤5	0.47
含水量, %	≤1.0	0.28
三氧化硫含量, %	≤3	0.32
需水量比, %	≤95	91.3
碱含量, %	/	0.94
活性指数, %	7d	71.2
	28d	88.6

(5) 外加剂: 奈系高效减水剂。

(6) 纤维: 深圳海川科技有限公司生产路威 2002 II 型聚丙烯腈单丝纤维, 其品质指标如下表 5。

表 5 路威 2002 II 型聚丙烯腈纤维的技术指标

纤维 牌号	纤度 , dtex	直径 , μm	长度 , mm	比重 , g/cm ³	抗拉强度 , MPa	弹性模量 , GPa	断裂伸 长率 (%)	纤维数 (根/kg)
II 型	1.5	12.7	6	1.18	500~600	7~9	20~26	11 亿

2.2 试验方法

主要试验方法:

- (1) GB/T50080—2002 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- (2) GB/T50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准
- (3) GBJ82—85 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法
- (4) ASTM C1202—97 混凝土 Cl⁻ 渗透电量快速测定方法

3 纤维混凝土的试验研究

3.1 混凝土配合比

混凝土配合比见表 6。

3.2 混凝土的工作性能

混凝土拌和物的工作性是指其稠度、可塑性、易修饰性、易填充性、稳定性和可泵送性的总称, 良好的工作性能便于施工操作而保证质量。本试验中混凝土拌和物坍落度控制在 70mm~90mm, 混凝土拌和物的工作性能良好, 坍落度损失小, 没有

泌水、分层离析等现象，具有良好的施工可操作性，见表 7。

表 6 混凝土配合比

编号	胶材总量 · kg/m ³	水泥 · kg/m ³	粉煤灰 · kg/m ³	水胶比	砂率 · %	纤维		备注
						规格	用量, kg/m ³	
PCY-1	450	360	90	0.36	48	6mm 单丝	0.3	
PCY-2	450	360	90	0.36	48	6mm 单丝	0.5	
PCY-3	450	360	90	0.36	48	6mm 单丝	1.0	

表 7 混凝土的工作性能

编号	纤维		坍落度 · mm	含气量 · %	备注
	规格	用量, kg/m ³			
PCY-1	6mm 单丝	0.3	90	2.1	
PCY-2	6mm 单丝	0.5	90	2.6	
PCY-3	6mm 单丝	1.0	90	3.7	

3.3 混凝土的力学性能

混凝土力学性能试验结果见表 8。从表中可以看出，所配制的纤维混凝土达到 C40 强度等级。

表 8 混凝土力学性能试验结果

编号	28d 强度, MPa		
	抗压强度	抗折强度	劈拉强度
PCY-1	49.4	6.55	4.35
PCY-2	48.7	6.73	4.34
PCY-3	48.0	6.90	4.45

3.4 混凝土的长期耐久性

长期以来，人们总是习惯以强度来评价混凝土的性能。但最近国内外研究结果表明，许多桥梁、道路、海上构筑物、化工构筑物等结构物的真正破坏原因，并不是强度问题，而是耐久性问题，即混凝土结构物在环境作用下逐渐裂化，失去原有的功能。耐久性的含义是有长久安全的使用寿命。事实上，强度高的混凝土并不一定能够保证具有足够的耐久性。现代的混凝土除应具有较高的强度、良好的工作性能外，还必须具有能够抵抗大气环境破坏、化学侵蚀、磨损以及其它劣化作用的能力。劣化是指混凝土的原有性能随时间延长而不断退化，其中既有物理作用，也有

化学作用，混凝土工程中最常见的劣化作用有钢筋锈蚀、冻融循环、硫酸盐侵蚀和碱-骨料反应等。本节对纤维混凝土的抗冻性能、抗氯离子渗透性能和抗渗性能进行了试验研究。

3.4.1 抗冻性能

混凝土的抗冻性是指混凝土在水饱和状态下能经受多次冻融循环作用而不被破坏的性能。在寒冷地区混凝土冻害是道路和桥梁混凝土过早破坏的最主要原因之一。我国幅原辽阔，气温变化范围大，大部分属于北温带地区，根据水科院的资料，我国不同区域可能出现的年平均冻融循环为东北地区 120 次/年，华北地区 84 次/年，西北地区 118 次/年，华北地区 84 次/年，华中地区 18 次/年，华东地区近于华北和华中地区，年冻融循环 18-84 次，可见，混凝土的抗冻融破坏在我国是一个非常普遍，非常突出的问题。

试验按照 GBJ82-85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中的方法进行，采用快冻法，试件尺寸为 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 的试件，试验龄期为 28d 和 56d，在标准条件下冻融，试件中心温度控制在 $-17 \pm 2^\circ\text{C}$ 和 $8 \pm 2^\circ\text{C}$ ，一次冻融循环时间为 3~4h。当相对动弹性模量降至 60% 或重量损失超过 5% 时，此时的冻融循环次数即为混凝土的抗冻标号。

混凝土抗冻性能试验结果见表 9 和图 1。从试验结果可以看出，当混凝土中分别掺加 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 的路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维（未同时掺加引气剂）后，PCY-1（掺加 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ ）混凝土试件在经历 100 次的快速冻融循环后混凝土试件溃散破坏，PCY-2（掺加 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ ）在经历 150 次的快速冻融循环后混凝土试件破坏，PCY-3（掺加 $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ ）在经历 300 次的快速冻融循环后混凝土试件的相对动弹性模量仍保持 80% 以上，能够达到 F300 的抗冻要求。结果表明单独掺用路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维（未同时掺加引气剂）配制混凝土达到一定的数量能够有效抵抗外界的冻融循环破坏。

聚丙烯腈单丝纤维对混凝土抗冻性能提高的主要原因有（1）聚丙烯腈纤维的直径非常细小，每公斤纤维的数量高达数亿根，纤维间距小，纤维在混凝土中形成乱向网络结构，结果使得混凝土的粘稠度增加，减少了混凝土的泌水，使混凝土变得更加匀质，提高了混凝土的质量，对后期耐久性能有利。（2）纤维的掺入提高了混凝土早期阻裂性能，减少了混凝土早期硬化的缺陷，降低了原生裂隙尺度，对后期抗冻性能有益。（3）大量纤维可以降低混凝土内部的裂隙宽度，有效减少混凝土早期产生的内部缺陷。因此，在混凝土受冻后，由于混凝土早期内部缺陷的改善，可

表9 混凝土冻融试验结果（相对动弹模量）

试验编号	冻融循环次数, 次												
	0	25		50		75		100		125		150	
	基频	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹
PCY-1	2482	2422	95.2	2350	89.6	2287	84.9	2056	68.6	1698	46.8		
PCY-2	2386	2350	97.0	2306	93.4	2276	90.9	2223	86.8	2187	84.0	1985	69.2
PCY-3	2324	2276	95.9	2270	95.4	2265	95	2253	94	2239	92.8	2229	92
试验编号	基频	175		200		225		250		275		300	
		频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹	频率	动弹
PCY-2	2386	1464	37.6										
PCY-3	2324	2213	90.7	2185	88.4	2138	84.6	2101	81.7	2041	77.1	2002	74.2

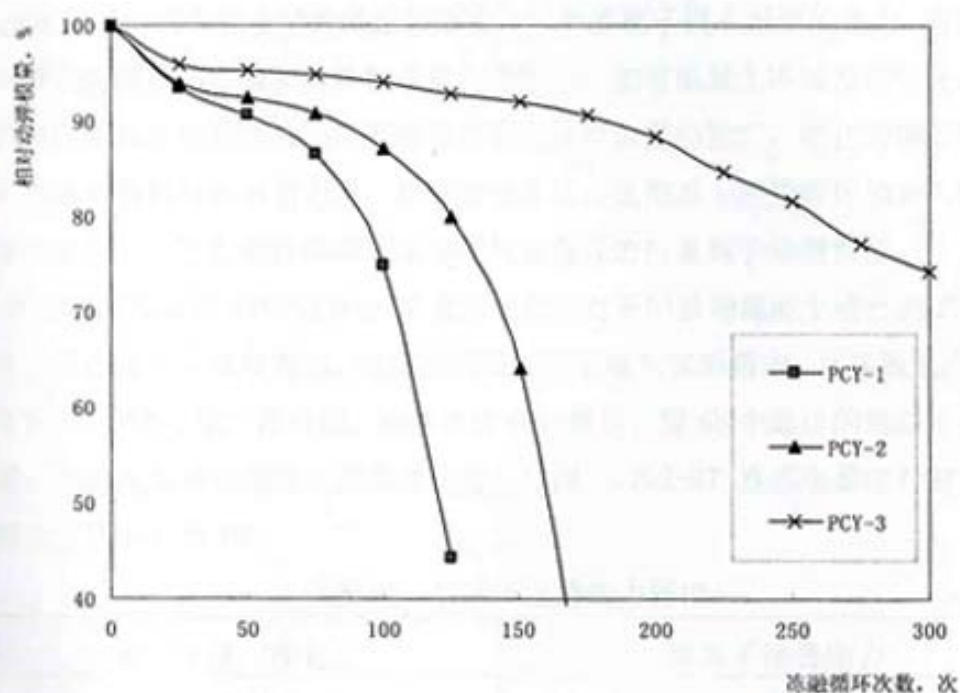


图1 混凝土冻融试验结果

提高混凝土的抗冻性能。(4) 纤维的掺入后有效提高了混凝土极限抗拉强度和韧性性能, 增加了混凝土冻融损伤过程中的能量损耗, 一方面有效阻止了裂缝的不断扩展, 另一方面还可以防止在冻融过程中外界水分的侵入, 从而有效降低混凝土的冻胀开裂, 提高混凝土的抗冻能力。(5) 纤维在混凝土拌和过程中容易互相搭连, 导致在混凝土内部产生少量的微小气泡。在混凝土硬化后, 这些微小气泡可隔断混凝土的毛细渗水通道, 改善混凝土的孔结构, 从而提高了混凝土的抗冻性能。(6) 纤

纤维的掺量对抗冻性能的影响十分重要,当掺量不足时不能够充分发挥作用,对抗冻性能提高不大,这可能是由于纤维掺量不足时不足以有效抵抗砂浆开裂产生的应力,只有达到一定掺量时,才能够更好的发挥以上各种作用的“复合叠加”,大幅度提高混凝土抗冻性能。

因此,聚丙烯腈单丝纤维同引气剂都可以作为提高混凝土抗冻性能的有效材料,二者的作用机理既有相同的地方也有不同的地方,如聚丙烯腈纤维和引气剂都可以改善混凝土拌合物的性能和减少混凝土早期内部的缺陷作用,都具有引气作用(引气剂为化学方法引气,纤维为物理方法引气);引气剂主要通过形成一定量微小气孔改善混凝土孔结构来提高混凝土的抗冻性能,聚丙烯腈纤维则主要依靠大量微细纤维阻止裂缝开展以及同时形成微小气孔改善混凝土孔结构等的协同作用来提高混凝土的抗冻性能。

3.4.2 抗氯离子渗透性能

抗氯离子渗透性能主要是考察混凝土抵抗外界离子侵入内部的能力。有害离子侵入混凝土内部结晶生成盐可导致混凝土受腐蚀、加速混凝土冻融循环劣化,而氯离子的侵入会加剧钢筋锈蚀。随着钢筋混凝土应用范围的推广,潜在的钢筋在使用环境中腐蚀失效的问题日益明显。钢筋锈蚀被认为是混凝土结构破坏和耐久性不足的重要因素之一。因而高性能混凝土必须具有很强的抗氯离子渗透性能。

本试验研究采用 ASTM C1202-97 直流电量法对不同龄期混凝土进行测试。试验前先将试件在真空环境中饱水,经过侧面密封后安装到试验槽中;从接通电流时起,试验每隔 30 分钟记录一次电流,持续试验 6h,最后计算 6h 中通过的混凝土试件的总电量,并以此来评定混凝土的渗透性能。ASTM C1202-97 直流电量法对混凝土的渗透性能评价如下表 10。

表 10 氯离子渗透能力评价

通过电量,库仑	氯离子渗透能力
>4000	高
2000~4000	中等
1000~2000	低
100~1000	很低
<100	可忽略

纤维混凝土的氯离子渗透试验结果见表 11。从试验结果可以看出,本研究配制的纤维混凝土 56d 氯离子渗透电量均低于 1000 库仑,具有较高的抗氯离子渗透能

力。

表 11 混凝土抗渗试验结果

序号	试验编号	通过电量, 库仑	氯离子渗透能力
1	PCY-1	890	很低
2	PCY-2	875	很低
3	PCY-3	925	很低

3.4.3 抗渗性能

混凝土的抗渗性,指混凝土抵抗压力水渗透的能力。抗渗性是混凝土的一项重要性质,除关系到混凝土防水作用外,还直接影响到混凝土的抗冻性和抗侵蚀性等。抗渗性差的混凝土,水分容易渗入其内部,在冰冻作用或环境水中含有侵蚀性物质时,混凝土容易受到冰冻或侵蚀破坏。

混凝土渗水的原因是由于内部的孔隙形成连通的渗水孔道,这些孔道除产生于施工振捣不密实及裂缝外,主要来源于水泥浆中多余水分蒸发而留下的毛细孔,以及水泥浆泌水所形成的孔道和骨料下部界面聚积的水隙。

混凝土抗渗试验参照GBJ82-85《混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中的试验方法进行。试件采用顶面直径175mm,底面直径185mm,高度150mm的圆台体。试件按前述方法成型、养护到合适时间拆模后,用钢丝刷刷去两端水泥浆膜,继续养护至规定龄期前一天取出。待表面干燥后在其侧面涂一层融化的密封材料,随后在压力试验机上将试件压入经烘箱预热过的试件套中,稍冷却后解除压力,连同试件套在抗渗仪上进行试验。

试验从水压力0.1MPa开始,以后每隔8h增加水压力0.1MPa,并且随时注意观察试件端面渗水情况,当6个试件中有3个试件端面呈现渗水现象时,即可停止试验,记录当时的水压。混凝土的抗渗等级以每组6个试件中的4个试件未出现渗水时的最大水压力计算,其计算式为: $P=10H-1$,式中P表示抗渗等级,H表示6个试件中3个渗水时的水压力。

纤维混凝土抗渗性能试验结果见表12,从试验结果可以看出,纤维混凝土具有良好的抗渗性能,能够达到P20抗渗等级。纤维混凝土具有良好的抗渗性能主要是由于掺入聚丙烯腈纤维后,纤维的阻裂效应消除或减轻了早期混凝土中原生裂隙的发生和发展,钝化了原生裂隙的尖端的应力集中,以及均匀分布于混凝土中的大量纤维对骨料起“承托”作用,降低了骨料的离析,对混凝土中存在的大毛细孔的体积有一定的隔断作用,大大降低了混凝土中微孔隙含量,使介质内的应力场更加连续

和均匀,从而纤维混凝土的抗渗透能力得到有效改善。

表 12 混凝土抗渗性能试验结果

序号	试验编号	渗透压力 MPa	渗水情况	抗渗等级
1	PCY-1	2.1	无	P20
2	PCY-2	2.1	无	P20
3	PCY-3	2.1	无	P20

4 结论

(1) 试验掺加路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维配制出具有良好工作性能、力学性能和长期耐久性能的 C40 纤维混凝土。

(2) 当混凝土中分别掺加 0.3kg/m^3 、 0.5kg/m^3 、 1.0kg/m^3 的路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维(未同时掺加引气剂)后, PCY-1(掺加 0.3kg/m^3) 混凝土试件在经历 100 次的快速冻融循环后混凝土试件溃散破坏, PCY-2(掺加 0.5kg/m^3) 在经历 150 次的快速冻融循环后混凝土试件破坏, PCY-3(掺加 1.0kg/m^3) 在经历 300 次的快速冻融循环后混凝土试件的相对动弹模量仍保持 80% 以上, 能够达到 F300 的抗冻要求。表明单独掺用一定数量的路威 2002 II 型水泥混凝土抗裂纤维配制混凝土具有良好的抗冻融循环破坏性能。

(3) 采用同时掺加纤维和粉煤灰的技术手段可使混凝土氯离子渗透值低于 1000 库仑, 混凝土具有很强的抵抗氯离子侵入的能力。

(4) 纤维混凝土良好的抗渗性能, 能够达到 P20 抗渗等级。