

55-57

# 聚丙烯纤维与集料级配对于干式喷射砼性能的影响

[加拿大]安·拉蒙塔涅 米歇尔·皮金

拉蒙, 安 周正行

## 1 前言

以往有关于干式或湿式喷射砼性能的许多论文,其数据资料一般都取自于对若干试验混合料或施工期间浇筑的试验模板的试验结果。由于各个研究项目所用的装置不同、暴露情况各异,砼养护制度也不等等,因此很难通过对这些论文得出的结果进行对比,来了解某些参数的实际影响。

人们往往不主张在干式喷射砼中添加聚丙烯纤维,因为据说这样做后有相当大的一部分纤维不会喷在受喷面上。但是也有人要求使用掺有聚丙烯纤维的干式喷射砼,只是在技术文献中找不到有关其性能的专门资料。本文叙述的研究旨在弄清添加这种纤维以及细集料级配和粗、细集料配比对于干式喷射砼的强度和耐久性的影响。

## 2 原材料、混合料以及试验方法

为了评估添加聚丙烯纤维对于干式喷射砼性能的影响,拌制出两组共6种不同的喷射砼混合料。一组使用加拿大30型水泥(美国 ASTM 标准 II 型),另一组使用掺入7%硅粉的加拿大10型水泥(美国 ASTM 标准 I 型)。两组喷射砼中,各有1种未添加纤维,各有1种按2kg/m<sup>3</sup>掺入纤维,又各有一种按4kg/m<sup>3</sup>掺入纤维。表1列出了两种水泥的成分和细度。粗集料是硬白云岩石子,额定粒径为10mm,24小时吸水率为1.76%,细集料是花岗岩砂子,细度模量为2.37。在加拿大标准 A23.1中对这个模量有详细说明:它是将过筛后留在标准筛子(5mm、2.5mm、1.25mm、630μm、315μm 和160μm)上的砂子的累计百分数除以100而得出的。因此这个模量的值小就表明砂子细,较大则表明砂子较粗。6种喷射混凝土混合料的组分如表2所列。在该表中,水泥、硅粉和粗、细集料的用量均用占干燥原材料总量的百分比来表示。纤维的掺量(单位

为 kg/m<sup>3</sup>)是一种额定量,由掺入于干燥原材料中的纤维量计算出的。

表1 水泥特性

	10型	30型
勃氏值(m <sup>2</sup> /kg)	378	517
C <sub>3</sub> S(%)	42	58
C <sub>2</sub> S(%)	28	16
C <sub>3</sub> A(%)	9.2	8.9
C <sub>4</sub> AF(%)	8.5	4.7
烧失量(%)	1.4	1.3

为了评估细集料级配以及粗、细集料配比对于干式喷射砼性能的影响,用掺入硅粉的10型水泥另外拌制出7种喷射砼混合料。其中有3种混合料中的细集料与上述混合料用的相同,粗集料也相同,但用量不一(分别占干燥原材料总量的0~30%)。另有2种混合料用的砂子较细(粗集料用量分别为0%和10%),剩下2种混合料中用的砂子较粗(粗集料用量同样分别为0%和10%)。这些混合料的组分也如表2所列。这3种细集料的级配如表3所列。

在表2和试验结果表4中,所有混合料均用下列方法表示,第1个字母表示水泥类型(C为30型,S为掺入硅粉的10型),第2个字母表示砂子的粗细(F为较细,M为中等粗细,G为较粗);两个字母后的第1个数字表示粗集料的用量(0为0%、1为10%、2为20%、3为30%);掺有聚丙烯纤维的4种混合料中,-2f表示纤维掺量为2kg/m<sup>3</sup>,-4f表示纤维掺量为4kg/m<sup>3</sup>。

所有干燥原材料均为袋装品。引气剂的掺量为20ml/l喷射用水。该掺量是根据先前的试验选定的。引气剂掺入喷射用水中,水盛于一个桶中,在一定压力下工作。喷射试验采用普通的砼喷射机具。测定现场喷层中纤维含量的试验以及对新拌喷射砼的试验,其详细过程另文介绍。

表2 喷射砼混合料组分

混合料	水泥类型	砂子细度模量	水泥含量 (%)	硅粉掺量 (%)	细集料含量 (%)	粗集料含量 (%)	聚丙烯纤维掺量 (kg/m <sup>3</sup> )
CM1	30	2.37	22	—	67	11	—
CM1-2f	30	2.37	22	—	68	10	2
CM1-4f	30	2.37	22	—	68	10	4
SM1	10	2.37	23	7	68	11	—
SM1-2f	10	2.37	23	7	66	12	2
SM1-4f	10	2.37	23	7	69	10	4
SM0	10	2.37	22	8	80	—	—
SM1	10	2.37	23	7	68	11	—
SM2	10	2.37	23	7	58	20	—
SM3	10	2.37	23	7	49	30	—
SF0	10	2.23	23	7	79	—	—
SF1	10	2.23	20	7	62	14	—
SG0	10	3.17	22	7	79	—	—
SG1	10	3.17	22	7	67	13	—

注:1. 各种混合料中均掺入引气剂,掺量为20ml/l 喷射用水;2. 水泥类型,30—加拿大30型、10—加拿大10型;3. 水泥和粗、细集料含量均为占干燥原材料总量的百分比;4. 硅粉掺量为占水泥与硅粉总量的百分比。

表3 3种细集料的级配

筛眼尺寸 (美国标准,方形筛孔)	过筛(%)		
	F	M	G
3/8"(9.52mm)	—	100	100
4(4.76mm)	100	96.5	87
8(2.38mm)	99	89.5	73
16(1.19mm)	84	77.5	57
30(0.59mm)	57	55	36
50(0.297mm)	23	21.5	14
100(0.149mm)	7	7	6
200(0.074mm)	1	1	1
细度模量	2.23	2.37	3.17

试验前,用每一种混合料至少制成3块试验模板,表面要进行抗盐剥落试验的模板用木制抹子抹平。所有的试验模板均覆盖湿麻袋养护7天。

从试验模板上取下芯样和样件,分别进行抗压强度试验(根据美国标准 ASTM C42)、干缩试验(根据美国标准 ASTM C157)、氯盐离子渗透试验(根据

美国标准 AASHTOT277-831)、气孔特性试验(根据美国标准 ASTM C457)、孔隙率测定(根据美国标准 ASTM C642)以及抗盐剥落试验(根据美国标准 ASTM C672)。进行抗压强度试验的芯样直径75mm、长125mm。这些芯样是在养护结束几天后钻取的,并在实验室条件下存放,到养护结束21天后用来做试验。测定孔隙率和氯盐离子渗透率用的样件是在养护结束1个多月后从试验模板上锯取的。测定干缩量用的样件是在养护期间就锯取的。进行盐剥落试验用的平板则是在养护结束大约21天后从试验模板上锯取的,并再在实验室条件下存放3周。

### 3 试验结果

各种喷射砼混合料的试验结果见表4。表中提供的盐剥落量(kg/m<sup>2</sup>)是在有除冰剂盐溶液的情况下进行50次冻融循环后取得的。另外还用掺有聚丙烯纤维的干式喷射砼进行了若干次抗弯强度和韧性试验(根据美国标准 ASTM C1018)。正如原先的预料,聚丙烯纤维并不能使干式喷射砼的韧性有丝毫增强。

表4 硬化喷射砼试验结果

混合料	孔隙率 (%)	干缩量 ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	氯盐离子渗透率(C)	含气量 (仅气泡) (%)	总含气量 (%)	气泡间距 ( $\mu\text{m}$ )	抗压强度 (MPa)	盐剥落量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
CM1	34	761	4775	3.5	8.5	259	14.3	0.4
CM1-2f	32	928	12750	2.8	5.2	243	17.6	0.2
CM1-4f	30	810	8109	2.9	5.6	246	18.2	0.1
SM1	30	1147	1956	3.2	6.3	178	18.0	1.2
SM1-2f	39	821	963	3.7	6.4	235	16.7	2.5
SM1-4f	30	782	1220	2.8	5.3	235	19.7	2.2
SM0	37	878	2051	3.5	6.9	180	17.4	4.1
SM1	30	1147	1956	3.2	6.3	178	18.0	1.2
SM2	32	841	967	2.7	6.7	170	15.3	1.1
SM3	31	782	926	3.6	7.1	251	14.0	1.0
SF0	28	722	1423	2.7	9.0	204	17.4	3.5
SF1	33	798	1209	2.8	3.4	225	17.6	2.2
SG0	34	938	1043	3.1	5.6	221	13.2	0.5
SG1	30	689	810	3.1	4.4	190	15.6	1.0

注:1.干缩量系指喷射砼干燥181天后的干缩量;2.球形气泡分别根据压实后空隙(形状不规则)计算出。

用掺有硅粉的10型水泥拌制成10种混合料,它们的孔隙率值为13.2%~19.7%,平均16.5%。混合料中的粗、细集料和添加聚丙烯纤维对孔隙率值没有任何明显影响。孔隙率数据分布相对分散。这可部分地归因于这些喷射砼中含气量高,而试验期间部分气泡会被水填充(这当然会影响到孔隙率的计算值)。3种用30型水泥拌制的混合料,其孔隙率的平均值为16.7%,与上面的平均值大致相同。这表明,水泥类型对这个试验的结果影响不大。

所有混合料的抗压强度均在20~39MPa之间。这些值显得很低,特别是大多数混合料中都掺有硅粉。孔隙率尽管差异很大,但对这种喷射砼而言,仍视为正常。这些很低的抗压强度值似乎不会随着各种试验过的参数(纤维掺量、集料级配和水泥类型)而发生变化。因此,它们更大的可能性是与气泡结构(特别是压实后的空隙量,这往往相对较高)有关,而不是与水泥浆体的质量有关。

表4所列试验结果表明,各种试验过的参数(纤维掺量、集料级配和水泥类型)对干缩量的影响都不大。这是因为各种混合料中水泥用量基本恒定(见表2),而硅粉对干缩的影响一般很小。干缩量数据分布相对分散,这可能是混合料中添加水的量有变化的缘故。对于这种喷射砼来说,这种变化也是正常的。

在掺有硅粉的水泥浆体中,孔隙水溶液中的碱含量减少。而掺有硅粉的10种混合料与其他3种混合料相比,前者的氯盐离子渗透率低得多,肯定在很大

程度上与这有关,因为这样就增大了水溶液的电阻率。总的来看,这个试验的结果表明掺入聚丙烯纤维对混合料的氯盐离子渗透率没有显著的影响。但是这种渗透率都随着粗集料用量的增大而趋于减小。这个试验的结果,数据分布很分散。这也部分地是与这种喷射砼的水灰比的正常变化有关。但是,另外3种用30型水泥拌制的混合料,这种渗透率变化也很大,则未得到解释。

本项研究中所有的喷射砼混合料都添加了引气剂。这些混合料的气泡间距值平均为218 $\mu\text{m}$ ,并且都低于加拿大标准中限定的260 $\mu\text{m}$ 。因此,这些试验证实了,在干式喷射砼中添加引气剂可以形成良好的气泡结构。从表4可以看出,所有混合料的球形气泡量非常大(2.7%~3.6%)。

3种用30型水泥拌制的混合料,其盐剥落量在各种条件下均很低,并且纤维对它也没有多大影响。而添加了硅粉的另外10种混合料,其盐剥落量一般要大得多。这些混合料对盐剥落的阻抗随着粗集料配比的提高而趋于增大,并且还可能随着细集料的细度模量提高而趋于增大。对掺有硅粉的混合料来说,即使其气泡间距满足要求,对盐剥落的阻抗还是很低,这也可能与硅粉颗粒散布不均匀有关。含有硅粉的纤维增强混合料,其盐剥落量较大(相对于参照混合料而言)。这可能与它们的气泡间距大有关。

(《Cement and Concrete Research》,1995,№2,

293~297 周正行节译 仲 雍校)