

聚羧酸减水剂对原材料波动的敏感性研究

张学治, 张全林

(中交一航局第五工程有限公司, 河北 秦皇岛 066002)

摘要: 随着聚羧酸减水剂应用领域的不断扩大和研究领域的不断深入, 在使用过程发现聚羧酸减水剂对使用环境和原材料表现出了较高的敏感性, 但目前对于聚羧酸减水剂敏感性规律研究较少。为了更好地指导聚羧酸减水剂在施工中的应用, 文章分析了温度、搅拌时间、减水剂掺量、单方用水量、水泥、粉煤灰、矿渣粉、集料含泥量、机制砂石粉含量对聚羧酸减水剂敏感性能的影响, 通过进行水泥净浆、砂浆流动度和混凝土坍落度等试验, 探讨了聚羧酸减水剂对上述因素敏感性的影响规律。研究结果表明: 聚羧酸减水剂对含泥量敏感性最高, 对不同品种水泥、掺合料掺量和石粉含量均具有较高的敏感性; 在 30~150 s 范围内, 对搅拌时间敏感性程度最低; 聚羧酸减水剂对掺量和单方用水量敏感性均高于萘系减水剂。

关键词: 聚羧酸减水剂; 敏感性; 含泥量; 水泥; 掺合料

中图分类号: U654

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2023)09-0095-08

doi: 10.7640/zggwjs202309019

Sensitivity study of polycarboxylate water reducing agent to raw material fluctuation

ZHANG Xue-zhi, ZHANG Quan-lin

(No.5 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei 066002, China)

Abstract: With the continuous expansion of the application field and deepening of research fields of polycarboxylate water reducing agents, it has been found that polycarboxylate water reducing agents exhibit high sensitivity to the usage environment and raw materials during the use process. However, there is currently little research on the sensitivity law of polycarboxylate water reducing agents. In order to better guide the application of polycarboxylate water reducing agents in construction, this paper analyzes the effects of temperature, mixing time, water reducing agent dosage, water consumption per cubic meter, cement, fly ash, slag powder, aggregate mud content, and machine-made sand and stone powder content on the sensitivity performance of polycarboxylate water reducing agents. Through experiments on cement paste, mortar fluidity, and concrete slump, the influence of polycarboxylate water reducing agents on the sensitivity of the above factors was explored. The research results indicate that polycarboxylate water reducing agents have the highest sensitivity to mud content, and have high sensitivity to different types of cement, admixtures, and stone powder content; Within the range of 30–150 seconds, the sensitivity to stirring time is the lowest; Polycarboxylate water reducing agents have higher sensitivity to dosage and unit water consumption than nano type water reducing agents.

Key words: polycarboxylate water reducing agent; sensitivity; sediment percentage; cement; admixture

0 引言

随着聚羧酸减水剂在工程中应用的深入, 发现聚羧酸减水剂对外界环境和混凝土原材料敏感

性较高, 导致新拌混凝土坍落度损失很快, 难以保证及时的运输、泵送和施工。这不仅加大了使用聚羧酸减水剂混凝土的施工控制难度, 而且也

收稿日期: 2023-06-22 修回日期: 2023-07-09

作者简介: 张学治 (1986—), 男, 河北沧州人, 高级工程师, 无机非金属材料工程专业。E-mail: 316528119@qq.com

大大增加了混凝土中使用聚羧酸减水剂的成本,这样必然限制了聚羧酸减水剂在实际工程中的推广应用。为了使聚羧酸减水剂在工程应用中发挥出最佳的性能,大量推广聚羧酸减水剂在工程中的应用,保证混凝土施工质量和结构安全,必须深入研究聚羧酸减水剂对外界环境和混凝土原材料的敏感性,找出外界环境和混凝土原材料对聚羧酸减水剂的敏感性影响规律。

1 聚羧酸减水剂对温度和搅拌时间敏感性研究

1.1 试验方法

为研究聚羧酸减水剂对温度和搅拌时间的敏感性,分别测定搅拌时间为30 s、60 s、90 s、120 s、150 s和混凝土拌合物温度为5℃、10℃、20℃、30℃、40℃时的混凝土拌合物的流动性,以此来评价聚羧酸减水剂的敏感性程度。试验所用C30配合比数据和试验结果见表1和表2。

表1 试验用配合比

Table 1 Test mix ratio data

材料	水泥	砂子	碎石	水	聚羧酸减水剂
用量	342	801	1 106	178	4.44

表2 不同温度和搅拌时间混凝土坍落度试验结果

Table 2 Concrete slump test results at different temperatures and mixing time

温度	搅拌时间				
	30 s	60 s	90 s	120 s	150 s
5℃	150	160	155	150	150
10℃	120	130	125	135	140
20℃	105	105	105	100	105
30℃	85	95	95	85	90
40℃	75	65	70	65	60

1.2 结果分析

由表2可知,当混凝土拌合物的搅拌时间在30~150 s的范围内,混凝土拌合物的坍落度变化幅度很小,当温度为10℃时,坍落度的差值最大仅为20 mm,因此可认为在表2搅拌时间范围内,聚羧酸减水剂对搅拌时间不敏感。

在不同搅拌时间下,混凝土拌合物坍落度均表现出随温度升高而逐渐降低的现象,温度越低聚羧酸减水剂表现出较高的减水效果,原因是随着温度的降低,水泥的水化速度明显下降,水泥水化消耗水量的速度降低。虽然由于温度降低会使得聚羧酸减水剂在水泥体系中的吸附性能和分

散性能下降,但其影响程度远不如对水泥水化的影响程度大,因此随着温度的降低,混凝土拌合物表现出较高的流动性。

2 聚羧酸减水剂对掺量和单方用水量敏感性研究

2.1 聚羧酸减水剂对掺量敏感性研究

掺量敏感性评价方法:保持混凝土配合比不变,在环境温度25℃下,通过调整外加剂掺量,测量混凝土扩展度的变化,规定混凝土扩展度在400 mm时的掺量为起点掺量 A_0 ,混凝土初始扩展度在550 mm时的掺量为终点掺量 A_1 ,以外加剂的终点掺量 A_1 与起点掺量 A_0 的比值(该比值即为外加剂掺量宽度 $\gamma=A_1/A_0$)来表征外加剂对掺量的敏感性, γ 值越大,表示该聚羧酸减水剂对掺量越不敏感^[1]。

试验时以C50配合比作为基准配合比(配合比数据见表3),选用RH-1、CC-AI、KTPCA三种聚羧酸减水剂和RH-5奈系减水剂进行对比,按上述掺量敏感性评价方法,分别改变4种减水剂的掺量,测量其混凝土扩展度,并采用线性内插法计算起点掺量和终点掺量。试验数据见表4和图1。

表3 混凝土基准配合比

Table 3 Concrete reference mix ratio data

材料	水泥	砂子	碎石	水
用量	494	676	1 102	168

表4 不同减水剂掺量宽度

Table 4 Width of different water reducing agent dosages

项目	RH-1	CC-AI	KTPCA	RH-5
起点掺量/%	1.07	0.70	0.49	1.30
终点掺量/%	1.18	0.99	0.71	2.60
掺量宽度	1.10	1.41	1.45	2.00

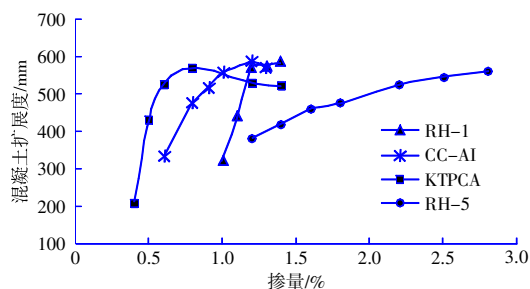


图1 不同减水剂掺量-扩展度曲线

Fig. 1 Different water reducing agent dosage and expansion curve

由表 4 可以看出, 不同聚羧酸减水剂的掺量敏感性不同, 3 种聚羧酸减水剂的敏感性程度 $RH-1 > CC-AI > KTPCA$, 同时 3 种聚羧酸减水剂的掺量敏感性程度均大于萘系减水剂。由图 1 可知, 3 种聚羧酸减水剂的曲线斜率均大于萘系减水剂, 这也说明了聚羧酸减水剂的掺量敏感性程度要大于萘系减水剂。同时还可以看出, 对于聚羧酸减水剂, 在一定掺量范围内混凝土扩展度随着掺量的增加而迅速增大, 当达到临界掺量后, 混凝土扩展度基本不增加, $KTPCA$ 聚羧酸减水剂在达到临界掺量后, 随着掺量的增加, 混凝土扩展度还出现了轻微降低的现象。

2.2 聚羧酸减水剂对单方用水量敏感性研究

单方用水量敏感性评价方法: 基准混凝土配合比参照 GB 8076—2008《混凝土外加剂》的有关要求, 以初始坍落度控制在 (80 ± 10) mm 来确定外加剂基准掺量。保持外加剂掺量和混凝土配合比不变, 调整混凝土配合比用水量, 将单方用水量增加 5 kg、10 kg、15 kg、20 kg。计算出不同用水量下混凝土坍落度与初始坍落度的差值, 差值越小表示对用水量越不敏感^[1]。试验结果见图 2。

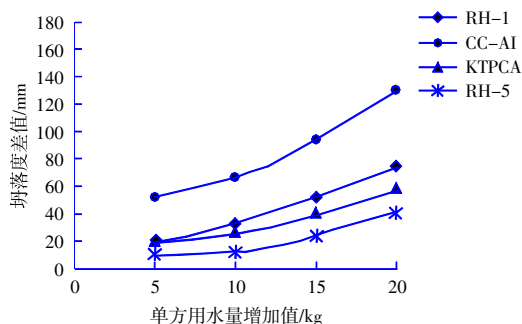


图 2 坍落度差值-用水量增加值曲线

Fig. 2 Slump difference and water consumption increase curve

由图 2 可以看出, 4 种减水剂对单方用水量的敏感性程度 $CC-AI > RH-1 > KTPCA > RH-5$, 不同聚羧酸减水剂对单方用水量的敏感性程度不同, 且其敏感性程度均大于萘系减水剂。

3 聚羧酸减水剂对混凝土原材料敏感性研究

3.1 聚羧酸减水剂对不同品种水泥敏感性研究

为研究聚羧酸减水剂对不同矿物组成水泥的敏感性, 选定普通硅酸盐水泥、早强硅酸盐水泥和低热硅酸盐水泥 3 种水泥进行试验, 3 种水泥的矿物成分如表 5 所示。

表 5 不同种类水泥矿物含量

Table 5 Mineral content of different types of cement %

编号	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
C1	42.6	28.2	8.9	9.4
C2	57.6	14.2	11.5	9.9
C3	28.2	52.1	3.4	7.6

注: C1 为普通硅酸盐水泥, C2 为早强硅酸盐水泥, C3 为低热硅酸盐水泥。

水泥净浆流动度按 GB/T 8077—2012《混凝土外加剂匀质性试验方法》的相关规定进行测定^[2], 流动度损失试验从开始至 120 min 的时间范围内, 每 30 min 进行 1 次。掺加 3 种聚羧酸减水剂后水泥净浆流动度结果见图 3、图 4、图 5。

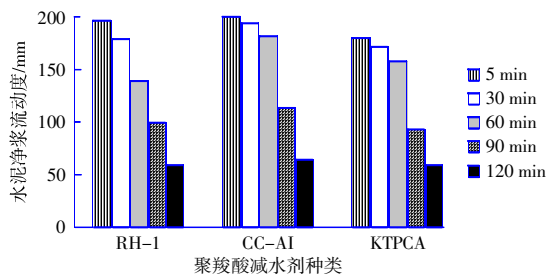


图 3 不同聚羧酸减水剂 C1 水泥净浆流动度

Fig. 3 Flowability of cement slurry with different polycarboxylate water reducing agents C1

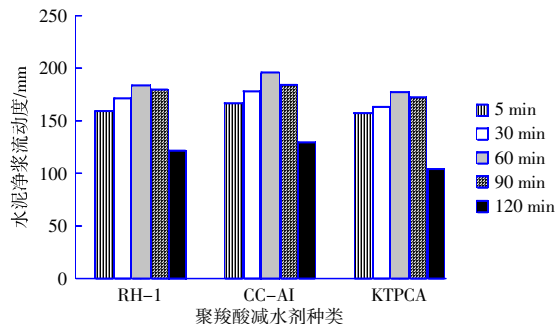


图 4 不同聚羧酸减水剂 C2 水泥净浆流动度

Fig. 4 Flowability of cement slurry with different polycarboxylate water reducing agents C2

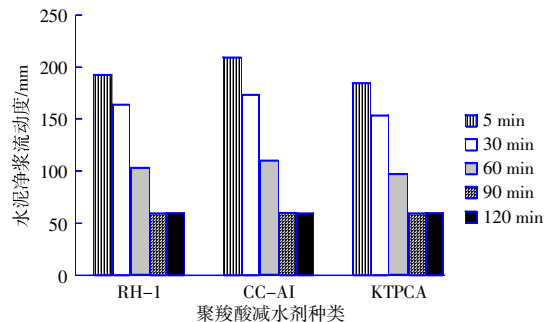


图 5 不同聚羧酸减水剂 C3 水泥净浆流动度

Fig. 5 Flowability of cement slurry with different polycarboxylate water reducing agents C3

由图3—图5可知：在同等掺量下，同一种聚羧酸减水剂对于不同品种水泥浆体的流动性和流动性保持能力情况都不相同；不同聚羧酸减水剂应用于同一品种水泥时，对水泥浆拌合物的流动性和流动性保持能力也有一定差异。3种聚羧酸减水剂对C2水泥净浆初始流动度都不大，但是随时间推移流动度表现出先增大后减小的现象，聚羧酸减水剂体现出强烈缓释效果；同时相反的现象是，各种聚羧酸减水剂应用于C1和C3水泥时，水泥浆体初始流动度比较大，但流动度经时损失较快，尤其是C3水泥的情况较严重，90 min后拌合水泥浆体已没有流动性。说明聚羧酸减水剂发挥出来的分散作用的大小除与本身分子结构有关，还与水泥的矿物成分有很大关联。水泥中不同矿物成分对聚羧酸减水剂分子的吸附能力不同， $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$ [3]。当水泥中 C_3A 和 C_4AF 含量较多时，能吸附较多的聚羧酸减水剂分子，使水泥浆体体系中的有效减水剂含量偏少，其分散性能不好，导致水泥净浆流动度降低。

3.2 聚羧酸减水剂对矿物掺合料敏感性研究

试验选定Ⅱ级粉煤灰和S95矿渣粉作为掺合料进行试验，选定粉煤灰和矿渣粉的掺量为0、10%、15%、20%、25%。按GB/T 2419—2005《水泥胶砂流动度测定方法》进行试验，分别测定在不同掺合料种类及掺量的胶砂流动度，试验结果见图6和图7。

由图6、图7可知：

1) 在不同粉煤灰掺量下，随着矿渣粉掺量的增加，胶砂流动度均表现出先升高后降低再升高

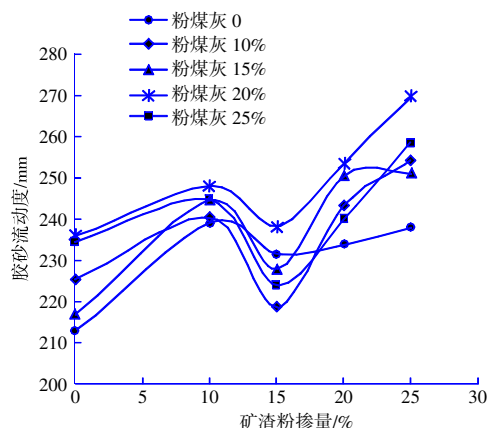


图6 不同矿渣粉掺量-胶砂流动度曲线

Fig. 6 Curve of different slag powder dosage and mortar fluidity

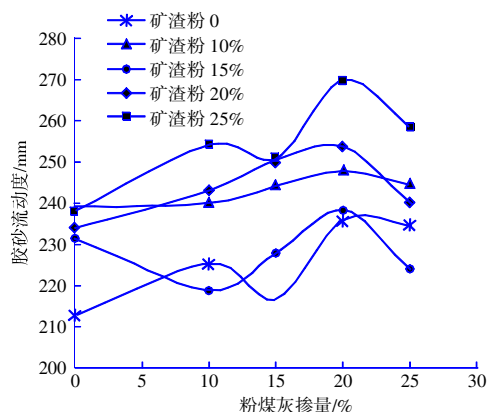


图7 不同粉煤灰掺量-胶砂流动度曲线

Fig. 7 Curve of different fly ash dosage and mortar fluidity

的现象。由单掺矿渣粉的曲线可知，在掺量为0~10%的范围内，胶砂流动度随着矿渣粉掺量的增加而逐渐增大；在10%~15%范围内，随着矿渣粉掺量的增加胶砂流动度略微降低；在矿渣粉掺量大于15%时，随着矿渣粉掺量的增加胶砂流动度逐渐增大，但增长幅度不大。同时还可以看出，掺矿渣粉的试验结果均大于未掺矿渣粉的试验结果，因此掺入矿渣粉有利于提高胶砂的流动性能。

2) 在不同矿渣粉掺量下，随着粉煤灰掺量的增加，胶砂流动度曲线表现出了不同规律。在矿渣粉掺量为0和25%时，随着粉煤灰掺量的增加，胶砂流动度曲线呈倒W形；在矿渣粉掺量为10%和20%时，随粉煤灰掺量的增加，胶砂流动度逐渐增大，当粉煤灰掺量为大于20%后，逐渐降低；在矿渣粉掺量为15%时，随粉煤灰掺量的增加，胶砂流动度表现出先降低后升高再降低的现象。

3) 由图6、图7可以看出，粉煤灰掺量为20%时胶砂流动度最好，矿渣粉掺量为25%时胶砂流动度最好，同时双掺粉煤灰和矿渣粉的试验结果均要优于掺单一掺合料的试验结果，说明粉煤灰和矿渣粉之间存在复合叠加作用，同时掺加2种掺合料能够大幅提高胶砂的流动性。

结果分析：

粉煤灰中的玻璃微珠是一种表面光滑的球形颗粒，由于玻璃微珠的滚珠轴承作用，有利于提高混凝土拌合物的流动性[4]；而粉煤灰中的未燃碳成分，能够强烈的吸附减水剂分子，从而使减水剂的分子失去分散作用，降低减水效果。因此混凝土拌合物中，粉煤灰的玻璃微珠形态效应发挥主要作用时，混凝土的流动性提高，粉煤灰中未

燃碳成分吸附作用发挥主要作用时,混凝土的流动性降低。

矿渣粉对聚羧酸减水剂分子的吸附能力小于水泥颗粒,随着矿粉掺量的增加,水泥用量相对的减少,而浆体中的减水剂分子数量没变,这样就会使水泥颗粒表面吸附的减水剂分子数量增加,使得混凝土拌合物的流动性提高。同时矿渣颗粒可填充于水泥颗粒间,置换填充水,使浆体表面含水量相应增加,提高浆体流动度^[5]。

3.3 聚羧酸减水剂对含泥量敏感性研究

为研究集料含泥量对聚羧酸减水剂的敏感性,设计 6 种不同含泥量的水泥胶砂试验,按《水泥胶砂流动度测定方法》进行试验,测定不同含泥量的胶砂流动度,配合比如表 6 所示。

表 6 不同含泥量水泥胶砂配比

Table 6 Proportions of cement mortar with different mud content

编号	水泥/g	砂子/g	黏土/g	黏土含量/%	水/g	减水剂/g
1	450	1 350	0	0	170	5.4
2	450	1 337	13	1	170	5.4
3	450	1 311	39	3	170	5.4
4	450	1 286	64	5	170	5.4
5	450	1 262	88	7	170	5.4
6	450	1 239	111	9	170	5.4

通过试验测得基准水泥砂浆、1%、3%、5%、7%、9%含泥量时的水泥胶砂流动度,并每隔 30 min 测定 1 次,观察胶砂流动度的损失情况,结果如图 8 所示。

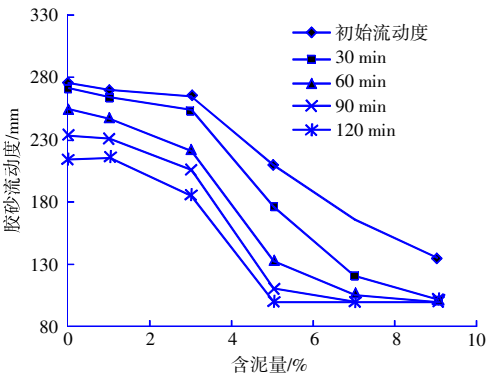


图 8 砂子不同含泥量水泥胶砂流动度曲线

Fig. 8 Fluidity curve of cement mortar with different mud content in sand

由图 8 可知:

1) 随着砂子含泥量的增加,水泥胶砂的流动性逐渐降低,当砂子含泥量在 0~3%时,胶砂流动性降低幅度不大;当含泥量大于 3%时,水泥胶砂

的流动性急剧降低;当含泥量达到 9%时,水泥胶砂流动性很低,几乎没有流动性。

2) 不同含泥量的水泥胶砂流动性均随时间的延长而逐渐降低,含泥量越高,水泥胶砂流动性的损失越大。在含泥量为 0~3%时,经过 120 min,水泥胶砂仍具有较高的流动性;当含泥量为 5%时,经过 120 min 后水泥胶砂已经失去了流动性。

结果分析:黏土的内部结构多为多孔层状结构,导致黏土对聚羧酸减水剂的吸附性能要远远地大于水泥颗粒^[6],而黏土的层状结构和多孔结构可容纳吸附较多的减水剂分子,使水泥颗粒表面的聚羧酸减水剂浓度很低,因此严重影响了聚羧酸系减水剂分子的分散性,导致使用高含泥量砂石的砂浆流动性很差,损失过快。

3.4 聚羧酸减水剂对机制砂石粉含量敏感性研究

为研究机制砂石粉含量对聚羧酸减水剂的敏感性,设计 6 种不同石粉含量的水泥胶砂试验,按《水泥胶砂流动度测定方法》进行试验,分别测定不同石粉含量的胶砂流动度,配合比见表 7。

表 7 不同石粉含量水泥胶砂配比

Table 7 Cement mortar proportions with different stone powder content

编号	水泥/g	砂子/g	石粉/g	石粉含量/%	水/g	减水剂/g
1	450	1 350	0	0	170	5.4
2	450	1 337	13	1	170	5.4
3	450	1 311	39	3	170	5.4
4	450	1 286	64	5	170	5.4
5	450	1 262	88	7	170	5.4
6	450	1 239	111	9	170	5.4

通过试验测得基准水泥砂浆、1%、3%、5%、7%、9%石粉含量时的水泥胶砂流动度,并每隔 30 min 测定 1 次,观察胶砂流动度的损失情况,结果如图 9、图 10 所示。

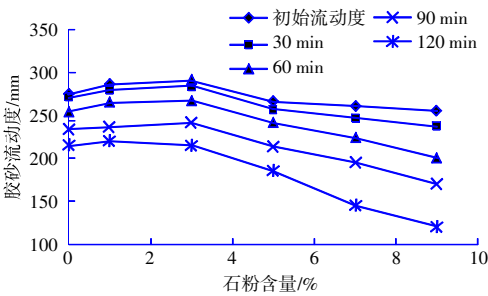


图 9 不同石粉含量水泥胶砂流动度曲线

Fig. 9 Fluidity curve of cement mortar with different stone powder content

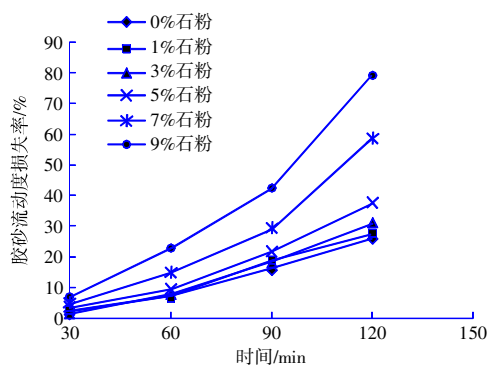


图 10 不同石粉含量流动度经时损失曲线

Fig. 10 Time loss curve of fluidity for different stone powder contents

由图 9、图 10 曲线可知：

1) 随着石粉含量的增加，水泥胶砂的初始流动度表现出先增大后减小的规律。当石粉含量在 0~3% 时，胶砂流动性随着石粉含量的增加胶砂流动度增大；当石粉含量 $\geq 5\%$ 时，水泥胶砂的流动性随石粉含量的增加而逐渐降低。

2) 不同石粉含量的水泥胶砂流动性均随着时间的延长而逐渐降低。当石粉含量在 0~3% 时，水泥胶砂流动度损失率随石粉含量变化不大，经过 120 min，胶砂流动度损失率约为 30%；当石粉含量 $\geq 5\%$ 时，胶砂流动度损失率随石粉含量的增加而增大，石粉含量越高，水泥胶砂流动性的损失率越大；当石粉含量为 9% 时，经过 120 min 水泥胶砂流动度损失率达到 80% 左右。

结果分析：石粉颗粒的粒径与水泥接近，大大提高了细颗粒的比表面积，从而使水泥胶砂的保水性和黏聚性提高，改善了水泥胶砂的流动性。在较低石粉含量情况下，浆体中的聚羧酸减水剂分子绝大部分都吸附在水泥颗粒分子上，因此不会造成聚羧酸减水剂分子对水泥分散作用的降低。随着石粉含量逐渐增大，石粉在浆体中所占的比例逐渐增大，石粉要消耗掉聚羧酸减水剂分子，使聚羧酸减水剂分子对水泥颗粒的分散作用降低，同时石粉在浆体中要吸收砂浆内一部分的水分，这样在用水量不变的条件下会造成砂浆胶砂流动性降低^[7]。

4 各种因素综合作用下聚羧酸减水剂敏感性研究

4.1 试验方法

为研究多种因素综合作用下聚羧酸减水剂的敏感性规律，选择温度、搅拌时间、粉煤灰掺量、矿渣粉掺量、含泥量 5 个因素作为研究对象，混

凝土选定 C50，水胶比为 0.34，胶凝材料用量为 494 kg/m^3 。采取正交试验的方法，选取有代表性的因素水平组合，并对正交试验结果进行分析，以判定不同因素水平对聚羧酸敏感性的影响程度。不同因素组合的配合比及坍落度试验结果如表 8 所示。

表 8 C50 配合比正交试验表

Table 8 C50 mix ratio orthogonal test table

序号	搅拌时间/s	温度/℃	含泥量/%	粉煤灰掺量/%	矿渣粉掺量/%	空白	坍落度/mm
1	30	5	0.6	0	0	1	80
2	30	10	3.0	10	10	2	190
3	30	20	5.0	15	15	3	170
4	30	30	7.0	20	20	4	95
5	30	40	9.0	25	25	5	30
6	60	5	3.0	15	20	5	210
7	60	10	5.0	20	25	1	210
8	60	20	7.0	25	0	2	10
9	60	30	9.0	0	10	3	10
10	60	40	0.6	10	15	4	170
11	90	5	5.0	25	10	4	170
12	90	10	7.0	0	15	5	10
13	90	20	9.0	10	20	1	70
14	90	30	0.6	15	25	2	180
15	90	40	3.0	20	0	3	140
16	120	5	7.0	10	25	3	180
17	120	10	9.0	15	0	4	10
18	120	20	0.6	20	10	5	190
19	120	30	3.0	25	15	1	105
20	120	40	5.0	0	20	2	60
21	150	5	9.0	20	15	2	160
22	150	10	0.6	25	20	3	215
23	150	20	3.0	0	25	4	180
24	150	30	5.0	10	0	5	10
25	150	40	7.0	15	10	1	0

4.2 结果分析

由表 8 结果可知，在不同因素综合作用下混凝土的流动性表现出了巨大的差异，混凝土坍落度最大的为 22 号组合 215 mm，最低的为 25 号组合 0 mm。

为了判别上述各因素对聚羧酸敏感性能的影响程度，对表 8 数据进行方差分析，结果如表 9 所示。

表 9 正交试验方差分析表

Table 9 Analysis of variance in orthogonal experiments

名称	搅拌时间/s	温度/℃	含泥量/%	粉煤灰掺量/%	矿渣粉掺量/%	误差列
K_1	565	800	835	340	250	465
K_2	610	635	825	620	560	600
K_3	570	620	620	570	615	715
K_4	545	400	295	795	650	625
K_5	565	400	280	530	780	450
S	454	23 484	59 494	21 524	31 004	10 074

注: K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为各因素同水平试验结果和值, S 为各因素的离差平方和。

由表 9 可以看出搅拌时间的离差平方和小于误差列的离差平方和, 说明搅拌时间在 30~150 s 的范围内对聚羧酸性能的影响很小, 因此将搅拌时间列归入误差列, 计算其他各因素的 F 值, 结果如表 10 所示。

表 10 不同因素主体间效应检验

Table 10 Test of inter subject effects of different factors

源	III 类平方和	自由度	均方	F
修正模型	135 506.000	16	8 469.125	6.436
截距	326 041.000	1	326 041.000	247.752
温度	23 484.000	4	5 871.000	4.461
含泥量	59 494.000	4	14 873.500	11.302
粉煤灰掺量	21 524.000	4	5 381.000	4.089
矿渣粉掺量	31 004.000	4	7 751.000	5.890
误差	10 528.000	8	1 316.000	
总计	472 075.000	25		
修正后总计	146 034.000	24		

注: 一般常用的显著水平(危险率)为 $\alpha=0.05$ 或 $\alpha=0.01$ 。用 F 值与 $F_{0.01}$ 、 $F_{0.05}$ 进行比较, 通常有以下 3 种情况: 1) $F>F_{0.01}$, 试验因素对试验指标的影响特别显著; 2) $F_{0.05}<F\leq F_{0.01}$, 试验因素对试验指标的影响显著; 3) $F\leq F_{0.05}$, 试验因素对试验指标的影响不显著^[9]。

由文献[8]可知 $F_{0.01}(4,8)=7.01$, $F_{0.05}(4,8)=3.84$; 根据表 10 各因素的 F 值可知, 温度、粉煤灰掺量、矿渣粉掺量对聚羧酸性能的影响显著, 含泥量对聚羧酸性能的影响特别显著。聚羧酸减水剂对各因素敏感性程度: 含泥量>矿渣粉掺量>温度>粉煤灰掺量>搅拌时间。

各因素的影响趋势图见图 11—图 14。

由图 11—图 14 可知, 在不同影响因素综合作用下, 各因素对聚羧酸减水剂敏感性程度均表现出了与单一因素作用下相似的趋势规律:

1) 在混凝土搅拌时间为 30~150 s 时, 搅拌

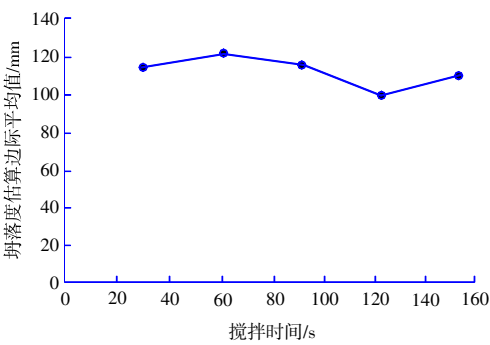


图 11 不同搅拌时间-坍落度曲线

Fig. 11 Different mixing time and slump curve

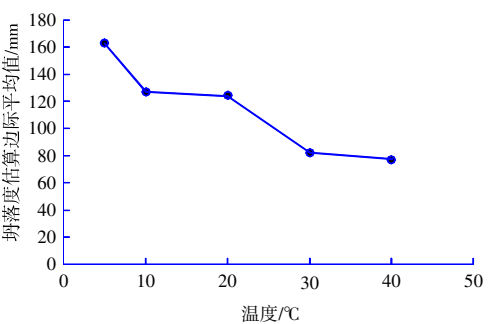


图 12 不同温度-坍落度曲线

Fig. 12 Different temperature and slump curve

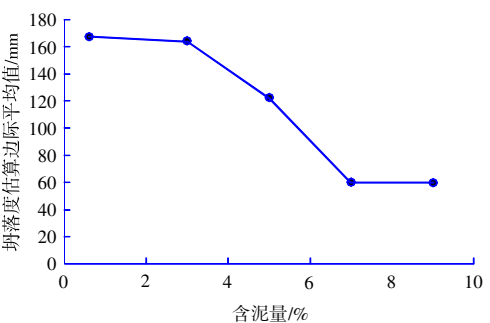


图 13 不同含泥量-坍落度曲线

Fig. 13 Different mud content and slump curve

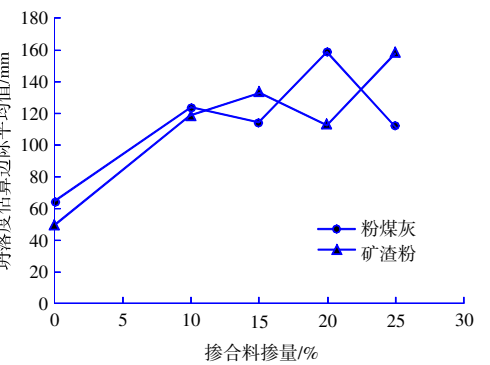


图 14 不同掺合料掺量-坍落度曲线

Fig. 14 Different admixture dosage and slump curve

时间对混凝土拌合物的流动性影响不大。

2) 随着混凝土拌合物温度的提高,拌合物坍落度逐渐降低,即温度越高聚羧酸减水性能越低。

3) 当砂子含泥量在 0~3% 时,混凝土拌合物坍落度略有降低但幅度不大。当砂子含泥量 >3% 时,混凝土拌合物坍落度大幅降低,即聚羧酸减水剂对含泥量的变化十分敏感;特别是砂子含泥量 >3% 时,随着含泥量的增加,聚羧酸减水剂的减水性能急剧降低。

4) 聚羧酸减水剂对粉煤灰的掺量较敏感,但敏感程度与粉煤灰掺量并不成正比关系,而是存在一个最佳掺量点,最佳掺量为 20%。

5) 聚羧酸减水剂对矿渣粉的掺量较敏感,随着矿渣粉掺量的增加有利于聚羧酸减水剂减水性能的提高,不同的是在胶砂流动度试验中,矿渣粉掺量为 15% 时,流动度出现了下降,而在混凝土拌合物中矿渣粉掺量为 20% 时,拌合物流动性出现了下降。

5 结语

1) 在搅拌时间 30~150 s 时,聚羧酸减水剂对混凝土流动性能影响不大,即对搅拌时间不敏感;在拌合物温度 5~40 ℃ 时,聚羧酸减水剂对温度表现出了较高的敏感性,即温度越低混凝土流动性越好,温度越高混凝土流动性越差。

2) 不同聚羧酸减水剂对掺量和单方用水量的敏感性程度不同,但敏感性均大于萘系减水剂,当达到临界掺量后,混凝土扩展度增大很小基本不增加。

3) 聚羧酸减水剂对水泥的敏感性主要与水泥的矿物成分有关,水泥中不同矿物成分对聚羧酸减水剂分子的吸附能力不同 $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$, C_3A 和 C_4AF 含量高会影响拌合物的初始流动性,但是在后期会表现出一定的缓释性。

4) 聚羧酸减水剂对 II 级粉煤灰和 S95 矿渣粉掺量表现出较高的敏感性,但敏感程度与掺量并不成正比关系,拌合物流动性均表现出了随掺量先升高后降低再升高的现象。总体趋势是掺合料的加入有利于拌合物流动性的提高。

5) 聚羧酸减水剂对集料的含泥量非常敏感。当砂子含泥量小于 3% 时,不会影响聚羧酸减水剂减水性能的发挥;当超过 3% 以后,拌合物的流动性急剧降低,流动性经时损失加大。

6) 聚羧酸减水剂对机制砂石粉含量表现出一定的敏感性,在较低石粉含量条件下,石粉的存在有利于拌合物的流动性的提高,但石粉含量过大,会消耗掉一部分聚羧酸减水剂分子,使聚羧酸减水剂分子对水泥颗粒的分散作用降低,拌合物流动性降低。

7) 通过 F 值检验定量分析了不同因素的敏感性程度,含泥量对聚羧酸减水剂的敏感性程度最高。在 30~150 s 时,搅拌时间对聚羧酸减水剂的敏感性程度最低,各因素敏感性程度分别为含泥量 > 矿渣粉掺量 > 温度 > 粉煤灰掺量 > 搅拌时间。

参考文献:

- [1] 黄忠. 聚羧酸减水剂对混凝土敏感性的试验研究[J]. 广东建材, 2017(9): 33-35.
HUANG Zhong. Experimental study on the sensitivity of polycarboxylate water reducing agents to concrete[J]. Guangdong Building Materials, 2017(9): 33-35.
- [2] GB/T 8077—2012, 混凝土外加剂匀质性试验方法[S].
GB/T 8077—2012, Methods for testing uniformity of concrete admixtures[S].
- [3] 程勋. 混凝土原材料对聚羧酸减水剂应用性能的影响[D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
CHENG Xun. Effect of raw material on application performances of superplasticizer[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2010.
- [4] 李志坤, 彭家惠, 杨再富. 矿物掺合料对聚羧酸减水剂与水泥相容性的影响[J]. 材料导报, 2017, 31(6): 115-120.
LI Zhi-kun, PENG Jia-hui, YANG Zai-fu. Effect of mineral admixtures on the compatibility of polycarboxylate superplasticizer and cement[J]. Materials Review, 2017, 31(6): 115-120.
- [5] BUROS-MONTES O, PALACIOS M, RIVILLA P, et al. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions[J]. Construction and Building Materials, 2012, 31: 300-309.
- [6] 马保国, 杨虎, 谭洪波, 等. 黏土和石粉含量对聚羧酸减水剂的影响研究[J]. 混凝土, 2012(5): 60-63.
MA Bao-guo, YANG Hu, TAN Hong-bo, et al. Research in the effect of the content of clay and aggregate micro-fine on polycarboxylic superplasticizer[J]. Concrete, 2012(5): 60-63.
- [7] 孙胜伟. 石粉含量对 C30 和 C50 机制砂混凝土性能的影响[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, 17(3): 160-163.
SUN Sheng-wei. Effects of stone powder content on properties of C30 and C50 machine-made sand concrete[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2019, 17(3): 160-163.
- [8] 侯化国, 王玉民. 正交试验法[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1985: 45-47.
HOU Hua-guo, WANG Yu-min. Orthogonal experiment design[M]. Changchun: Jilin People's Press, 1985: 45-47.