

一种新型水泥工艺外加剂的开发及多元应用

——山东龙飞助剂有限公司

一、企业介绍

山东龙飞助剂有限公司坐落于美丽的黄河北岸，阿胶故里、喜鹊之乡-山东省东阿县经济开发区，地理位置优越、交通极为便利。山东龙飞助剂有限公司产品有粉体水泥增强剂、液体水泥矿化剂、液体水泥助磨剂、矿渣微粉助磨剂、超细粉助磨剂、水泥缓凝剂、高效助磨剂母液十大系列 30 多个品种，公司现有先进的液体复合灌装设备和粉体微机控制自动化生产线，年综合生产能力达到了 25 万吨。同时，公司具备完整的化验室，研发检测设备齐全，下设水泥物检室、分析室、合成室。配备有气相色谱仪、火焰光度计、水泥颗粒分析仪等先进仪器。对原材料及生产成品检测率达到百分之百，质量控制严格按照 GB/T26748-2011 和 ISO9001 质量体系标准要求。公司产品性能优越，质量稳定可靠，产品现已经销往内蒙、新疆、湖北、河北、河南、山东、山西、安徽、江苏、浙江、四川等地区，深受广大用户信赖。公司拥有一支专业的水泥助磨剂销售和技术服务团队，可以为客户提供优质的售前、售中和售后跟踪服务。重质量、守信用、创品牌、争一流，山东龙飞助剂愿与社会同仁精诚合作，共谋发展！

二、开发背景及意义

水泥作为重要的建筑材料，在全球基础设施建设中发挥着关键作用。然而，水泥生产过程中的高能耗和低效率问题日益突出，尤其是水泥粉磨环节，其电耗占水泥生产总电耗的 60% - 70%，成为制约水泥行业可持续发展的瓶颈。在我国，目前水泥行业面临着严峻的挑战，尤其国家房地产政策的调控，水泥市场需求持续下滑。根据国家统计局数据显示，2024 年全国水泥产量 18.25 亿吨，同比下降 9.5%，行业产能过剩加剧，需

求持续萎缩，面临长周期结构性调整。传统的水泥粉磨工艺效率较低，大量的能量被浪费，这不仅增加了生产成本，也对环境造成了较大的压力。水泥助磨剂是一种在水泥粉磨过程中加入的少量化学添加剂，能够显著提高粉磨效率、降低能耗，同时改善水泥的性能。

河北工业发达，产生了大量工业废渣，如钢铁行业的矿渣、电力行业的粉煤灰等。这些废渣具有潜在的胶凝活性，但成分和性质因产地、生产工艺不同而存在差异。例如，唐山地区的矿渣，其化学成分中氧化钙、二氧化硅等含量较高，具有较好的潜在活性；而石家庄周边电厂产生的粉煤灰，在细度、需水量比等物理性质上有所不同。充分利用这些本地工业废渣资源，开发与之适配的外加剂，是降低新型低碳胶凝材料成本、提高其性能的关键。

河北作为建筑大省，近年来基础设施建设、房地产开发等领域持续活跃。随着“双碳”目标的推进，建筑行业对低碳环保材料的需求日益迫切。传统水泥基胶凝材料在生产过程中碳排放量大，新型低碳胶凝材料应运而生。新型低碳胶凝材料如矿渣基、粉煤灰基等，具有潜在的低碳优势，但往往存在早期强度低、凝结时间长、工作性能不稳定等问题。外加剂能够有效改善这些性能缺陷，通过调节胶凝材料的水化进程、颗粒分散状态等，提升其综合性能。水泥助磨剂作为调控胶凝材料性能的关键组分，开发适配河北市场的新型低碳胶凝材料外加剂具有重要现实意义。它不仅能满足本地建筑市场对高性能、低碳材料的需求，可推动新型低碳胶凝材料的广泛应用，减少水泥生产带来的碳排放，促进建筑产业链的绿色可持续发展，还能助力河北建筑行业实现绿色转型。

本课题针对目前现状，开发出系列新型水泥工艺外加剂，除了具有普通水泥助磨剂的助磨作用外，还可以加速水泥的水化反应，进一步提高早期强度，使混凝土在较短时间内达到一定的强度，从而保证施工进度和工程质量。另外还兼具绿色固废基低碳胶凝材料外加剂的多重作用，既能提高早期强度，又能调节凝结时间，还能改善工作性能。因此，该类型水泥工艺外加剂的开发与应用研究具有重要的现实意义和广阔的市场前景，对推动水泥行业的绿色、高效发展具有深远影响。

三、新型水泥工艺外加剂的开发

3.1 外加剂配方设计

3.1.1 功能成分筛选

针对新型低碳胶凝材料的性能缺陷，筛选合适的功能成分。为提高早期强度，选择有机胺类、无机盐类等早强成分以及多羟基类调凝材料，如三乙醇胺、二乙醇单异丙醇胺、甲酸钙等，适当添加一些具有螯合或分散作用的成分，如有机膦酸盐等，以优化水泥生产过程和产品性能。

它们能加速胶凝材料的水化反应。对于改善工作性能，采用聚羧酸系减水剂等分散成分，其分子结构中的羧基等官能团能够吸附在胶凝材料颗粒表面，提供静电斥力和空间位阻，使颗粒分散均匀，降低体系的需水量。同时，考虑到河北本地工业废渣和天然矿物的特性，添加一些具有活化作用的成分，如氟化物等，可激发矿渣、粉煤灰等的潜在活性。

3.1.2 配方优化实验

通过大量实验，采用正交试验设计方法，系统研究不同功能成分的比例对外加剂性能的影响。以新型低碳胶凝材料的早期强度（3 天、7 天抗压强度）、工作性能（坍落度、扩展度保持性）、凝结时间等为主要考核指标。例如，在一组实验中，固定聚羧酸系减水剂的含量，逐步改变三乙醇胺和甲酸钙的比例，观察胶凝材料性能的变化。经过多轮实验优化，确定适用于河北市场的新型水泥工艺外加剂的最佳配方。

3.2 制备工艺研究

3.2.1 合成反应条件控制

对于一些需要合成的外加剂成分，如某些具有特殊结构的聚羧酸系减水剂，严格控制合成反应条件。在聚合反应过程中，精确控制反应温度、反应时间、引发剂用量等参数。反应温度一般控制在 60 - 80℃，既能保证聚合反应的顺利进行，又能避免因温度过高导致聚合物分子量分布过宽，影响减水效果。反应时间根据单体种类和聚合工艺确定，通过实时监测反

应体系的粘度、转化率等指标，确定最佳反应时间。引发剂用量则根据单体的反应活性进行调整，以保证聚合反应的速率和产物的性能。

3.2.2 混合与复配工艺

将筛选出的各种功能成分进行混合与复配。首先，在搅拌釜中按照一定顺序加入各成分，先加入主要成分进行初步搅拌混合，然后缓慢加入辅助成分，继续搅拌一定时间，使各成分充分混合均匀。为保证混合效果，采用高速搅拌设备，并控制搅拌速度在一定范围内（如 800 - 1200r/min）。之后，通过充分搅拌混合过滤等，使外加剂形成稳定的均匀体系。复配后的外加剂进行质量检测，确保各项性能指标符合标准要求，包括密度、pH 值、有效成分含量等。

四、新工艺外加剂的性能研究

4.1 对胶凝材料工作性能的影响

4.1.1 减水效果与流动性保持

在实验室和实际生产过程中测试外加剂的减水效果和流动性保持能力。在实验室采用净浆流动度实验，对比添加外加剂前后新型低碳胶凝材料净浆的流动度。结果表明，添加外加剂后，净浆流动度显著增加，减水率可达 20 - 30%。在实际工程应用中，观察混凝土拌合物的坍落度和扩展度，发现外加剂能够有效保持混凝土的流动性，在 1 - 2 小时内坍落度损失较小，满足施工过程中的泵送、浇筑等工艺要求。

4.1.2 对凝结时间的调控

研究外加剂对新型低碳胶凝材料凝结时间的影响。通过凝结时间测定仪测试初凝和终凝时间，结果显示，外加剂能够根据实际需求对凝结时间进行调控。适量添加外加剂后，初凝时间可延长或缩短 2 - 3 小时，终凝时间也相应变化，既能满足大体积混凝土施工中对缓凝的要求，防止混凝土在浇筑过程中过早凝结，又能满足一些抢修工程对早凝早强的需求。

4.2 对胶凝材料力学性能的影响

4.2.1 早期强度提升效果

通过对添加外加剂的新型低碳胶凝材料进行不同龄期的强度测试，评估早期强度提升效果。在 3 天龄期时，抗压强度相比未添加外加剂的胶凝材料提高了 10 - 20%；7 天龄期时，强度提升幅度仍保持在 20 - 30%。分析其原因，外加剂中的早强成分加速了胶凝材料中活性矿物的水化反应，生成更多的水化产物，从而快速提高了胶凝材料的结构强度。

4.2.2 长期强度发展

跟踪研究添加外加剂的新型低碳胶凝材料的长期强度发展情况。测试 28 天、90 天等长期龄期的抗压强度，结果表明，外加剂在提高早期强度的同时，对长期强度发展无不利影响。相反，由于外加剂改善了胶凝材料的颗粒分散状态和水化环境，使水化反应更加充分、均匀，长期强度仍能保持稳定增长，满足建筑结构对材料长期性能的要求。

4.3 对胶凝材料耐久性的影响

4.3.1 抗渗性改善

采用抗渗仪测试添加外加剂的新型低碳胶凝材料硬化体的抗渗性能。结果显示，外加剂能够细化胶凝材料内部的孔隙结构，降低孔隙率，使抗渗等级提高 1 - 2 级。这是因为外加剂的分散作用使胶凝材料颗粒更加均匀分布，水化产物填充孔隙更加密实，有效阻止了水分和有害离子的侵入，提高了胶凝材料的抗渗性能。

4.3.2 抗冻性增强

通过快冻法测试胶凝材料硬化体的抗冻性能。添加外加剂后，胶凝材料的抗冻融循环次数显著增加，可提高 30 - 50 次。外加剂中的某些成分能够在胶凝材料内部形成一定的微观结构，缓冲冻融过程中产生的应力，减少内部裂缝的产生和扩展，从而增强了胶凝材料的抗冻性，延长了其在寒冷地区的使用寿命。

五、新工艺外加剂应用案例

5.1 水泥粉磨站应用案例

客户磨机参数：3.5*14 磨机配套 3.6*4 球破磨，开路粉磨系统，磨机台时产量 80 吨，使用新型水泥助磨剂后，磨机台时产量提高到 90 吨，出磨水泥 3 天强度月平均增加值 5.2 兆帕，28 天增加值 5.8 兆帕，年节约成本 300 万元。

客户名称		HZHH						
设备配置	磨机规格、台时		开路或闭路系统					
	Φ3.5×14m		磨前预破碎		3.6*4		磨尾	
入磨物料配比	品种	熟料	石膏	粉煤灰	石子	炉渣	矿粉	液体助磨剂
	P.C42.5	66	4	11	4	5	10	千分之一
现用助磨剂名称掺加量效果			本地产助磨剂 掺加量 1/千					
企业内控指标	出磨细度 R45		3 天强度 MPa		28 天强度 MPa		比表	SO ₃
	5-7		27		55			2.0—2.5
现场试验情况		掺加量	时间	台时 t	fCaO	细度	CaO	SO ₃
现用助剂	1/千		1:00	80	1.20	5.0	56.13	2.06
			2:00	80		4.7		
			3:00	80	1.09	5.3	54.96	2.14
			4:00	80		5.1		
			5:00	80	1.16	5.1	53.21	2.24
			6:00	80		4.9		
			7:00	80	1.05	5.4	54.68	2.29
			8:00	80		5.2		
龙飞助剂	1/千		9:00	90	1.04	5.4	53.90	2.34
			10:00	90		6.0		
			11:00	90	1.10	5.4	52.54	2.21
			12:00	90		5.6		
			13:00	90	1.21	5.8	54.57	2.23
			14:00	90		5.6		
			15:00	90	1.15	6.1	54.32	2.02
			16:00	90		4.6		

5.2 水泥粉磨站液体+液体双掺试验案例：

客户目前水泥磨机 4.2*13 两台，常年使用液体助磨剂，经多次考察，决定使用液体+液体双掺试验。经试验，在原来万分之三基础上，另外掺加万分之五液体增效剂，又提高水泥三天强度 2.5 兆帕以上，达到了节能

降耗目的，年节约成本 500 万元。

客户名称		HFJC						
设备配置	磨机规格、台时		开路或闭路系统					
	Φ 4.2×13m		磨前		HFCG160×140		磨尾	开路
入磨物料配比	品种	熟料	石膏	粉煤灰	石子	磷+脱	矿粉（外）	液体助磨剂
	P.C42.5	75	2	9.5	10	3.5	30	3/万+1/千
现用助磨剂名称掺加量效果			江苏助磨剂					
企业内控指标	出磨细度 R45		三天强度 MPa		二十八天强度 MPa		比表	SO ₃
	≤13.0						350±10	
现场试验情况		掺加量	时间	台时 t	比表	细度	CaO	SO ₃
原助磨剂		3/万 +1/千	1:00	195	371	13.7	57.21	2.64
			2:00	195	374	13.0	55.11	2.67
龙飞助剂		3/万 +5/万	3:00	195	364	12.8	54.84	2.67
			4:00	195	372	12.5	55.51	2.66
			5:00	195	381	11.7	55.49	2.68
			6:00	195	379	11.9	56.99	2.65
			7:00	195	378	11.4	54.74	2.66
			8:00	195	381	11.1	55.43	2.62

5.3 低碳胶凝材料生产商应用案例

一水泥集团下属企业计划配套生产超细混合粉，一部分集团内部配套自用，另外出售给社会搅拌站，经大磨试验，结果非常理想。达到了内部指标要求。

客户地址		CJHBKJ					
设备配置	磨机规格、台时		开路				
	Φ 3.2×13m		三仓磨				开路
入磨物料配比	品种	矿粉	粉煤灰	石膏			其它
	超细粉	48%	48%	4%			
现用助磨剂名称掺加量效果							
企业内控指标	出磨细度 45μm					细度	细度
现场试验情况		掺加量	时间	台时	比表	R45	R30
现用助磨剂 3月19日	5/万 掺加到 1/千		12:00	32	703	0.30	1.21
			13:00	34	677	0.47	2.83
			14:00	33	678	0.70	1.45
			15:00	33	645	0.62	1.26
			16:00	33	640	0.58	0.85
			17:00	28	654	0.75	1.01
现用助磨剂 3月20日	1/千		9:00	30	689	0.24	0.93
			10:00	31	676	0.25	0.83
龙飞助磨剂 3月21日	Y8E 1/千		9:00	30	764	0.34	1.00
			10:00	30	733	0.35	1.02
			11:00	30	748	0.25	0.81
			12:00	31	768	0.28	1.10
			13:00	32	745	0.42	1.16
			14:00	33	758	0.38	1.11
			15:00	34	766	0.39	1.34
			16:00	34	780	0.27	1.26
龙飞助磨剂 3月22日	Y8D 1/千		9:00	28	763	0.18	0.87
			10:00	30	734	0.24	1.16
			11:00	31	768	0.44	1.24
			12:00	32	710	0.45	1.40
			13:00	32	725	0.54	1.46

5.4 低碳胶凝材料生产商试验案例：

应河北保定一客户要求，我们在其公司立磨和管磨上分别做新型助剂试用，经充分讨论，达成共识，首先在立磨上试用，取得成功，达到客户满意。M32.5 水泥三天强度超过 16 兆帕。

客户地址		HBWD						
设备配置	磨机规格、台时		125 吨/小时					
	Φ4.6 立磨							
入磨物料配比	品种	矿渣	熟料	石膏+矿化剂	钢渣	石粉	炉渣	液体助磨剂
	M32.5	45%	15%	8%	12	10	10	万分之五
现用助磨剂名称掺加量效果			LF-KF46 万分之五					
企业内控指标	出磨细度 45μm					细度		
	比表面积					>480		1.5-2.0
现场试验情况		掺加量	时间	台时	比表		R45	
现用助磨剂 3 月 1 日		5/万	12:00	125	480		1.7	
			13:00	125	487		1.6	
			14:00	125	498		1.6	
			15:00	125	495		1.5	
			16:00	125	490		1.4	
			17:00	125	500		1.5	

六、结论与展望

6.1 研究成果总结

本研究针对河北市场特点，成功开发出新型水泥工艺外加剂。通过对本地建筑材料资源的分析，设计了合理的外加剂配方，并优化了制备工艺。该外加剂在改善新型低碳胶凝材料的工作性能、力学性能和耐久性方面表现

出色，应用客户均取得了良好的效果，为河北建筑行业的低碳发展提供了有效的技术支持。

6.2 未来发展展望

随着 “双碳” 目标的深入推进和建筑行业技术的不断进步，未来新型低碳胶凝材料外加剂的研究与开发应进一步加强。一方面，持续探索更加环保、高效的外加剂成分和制备工艺，降低外加剂生产过程中的能耗和碳排放。另一方面，结合人工智能、大数据等新技术，实现外加剂性能的精准调控和智能化应用。此外，加强与上下游企业的合作，推动新型低碳胶凝材料外加剂在更大范围内的应用，助力河北建筑行业实现绿色低碳高质量发展。

山东龙飞助剂产品系列介绍

产品类别	掺加量	型号	产品性能	适用范围
水泥增强	0.3%	LF-FQ 系列	3 天增强>2.5 兆帕；28 天增强>3 兆帕	各品种水泥适用
	0.5%	LF-FZ 系列	3 天增强>2.5 兆帕；28 天增强>3 兆帕	各品种水泥适用

剂	1%	LF-FZ 系列	3 天增强>2.5 兆帕；28 天不降低	各品种水泥适用
	2.5-3%	LF-SG	3 天增强>3 兆帕；28 天增强>3 兆帕	代替石膏专用
水泥助磨剂	0.03%	LF-Y3 系列	3 天增强>3 兆帕；28 天增强>3 兆帕；提产>10%	各品种水泥通用
	0.05%	LF-Y5 系列	3 天增强>3 兆帕；28 天增强>3 兆帕；提产>10%	各品种水泥通用
	0.1%	LF-Y10 系列	3 天增强>3 兆帕；28 天增强>3 兆帕；提产>10%	各品种水泥通用
水泥缓凝剂	0.05%-0.08%	LF-HN06	延长凝结时间>180 分钟	高效增强专用
	0.1%	LF-HN10 系列	延长凝结时间>120 分钟	针对 32.5 水泥
矿粉助磨剂	0.05%	LF-KF 系列	活性增加值 5%-10%	立磨专用
	0.1%	LF-KF66	活性增加值 5%-10%	管磨专用
超细粉助磨剂	0.05%	LF-CX05 系列	活性增加 5%-10%	
	0.1%	LF-CX10 系列	活性增加 5%-10%	
石粉专用助剂	0.03%	LF-SF701	提产>15%	
液体水泥增效剂	0.04%-0.05%	LF-KH 系列	3 天增强>2.5 兆帕；28 天增强>4 兆帕；提产>8%	液体双掺专用
水泥助磨剂母液	个性化定制	LF-YM 系列	3 天增强>3 兆帕；28 天增强>3 兆帕；提产>10%	
水泥增强剂母料	个性化定制	LF-FML 系列	3 天增强>2.5 兆帕；28 天增强>3 兆帕；提产>5%	母料+母液
多熟料高强度水泥高效助磨剂	0.05%	LF-S 系列	3 天增强>4 兆帕；28 天>5 兆帕；提产>10%	42.5 水泥专用
	0.1%	LF-H 系列	3 天增强>4 兆帕；28 天>6 兆帕；提产>10%	42.5 水泥专用