

聚羧酸系减水剂在客运专线工程中的应用研究

黄直久

(中铁十二局集团有限公司,太原 030024)

[摘要] 介绍聚羧酸系减水剂在满足铁路客运专线高性能混凝土综合性能方面的能力和特点,分析了工程应用中使用聚羧酸系减水剂存在的一些问题。提出解决聚羧酸系减水剂与水泥的相容性问题以及保持聚羧酸系减水剂本身质量稳定性是目前该减水剂应用的关键。

[关键词] 聚羧酸系减水剂;水泥的相容性;质量稳定性;高性能混凝土

[中图分类号] TU528.042 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)01-0075-06

1 前言

铁路客运专线工程主体结构设计使用寿命为100 a。为满足工程结构耐久性的要求,铁道部颁布了《客运专线高性能混凝土暂行技术条件》(铁科技[2005]101号),对混凝土的高性能化提出了具体的技术要求。为达到这一要求,除采取掺加优质的矿物掺合料及控制相关原材料质量外,在很大程度上还必须依赖减水剂性能的大幅度提高,而第三代聚羧酸系减水剂的性能更优越、更接近于高性能混凝土对于减水剂功能的要求^[1],因此,不断研究和总结聚羧酸系减水剂在推广应用过程中的经验具有重要的意义。

2005年以来,中铁十二局集团有限公司在建的客运专线工程有武广客运专线SDⅢ标和XXTJⅥ标、郑西客运专线ZXZQ3标和ZXZQ8标、合武客运专线Ⅱ标、温福铁路(浙江段)Ⅱ标和(福建段)Ⅳ标、武汉天兴洲长江特大桥正桥Ⅱ标和新广州站陈村特大桥等近20个标段,高性能混凝土工程数量约 $900 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。截至2007年12月为止,完成混凝土数量约 $650 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中使用聚羧酸系减水剂配制的混凝土约 $460 \times 10^4 \text{ m}^3$,占71%。在此之后,混

凝土工程中使用聚羧酸系减水剂的比例逐月增长。

2 客运专线高性能混凝土的技术要求

2.1 混凝土的主要耐久性指标

与普通混凝土相比,客运专线高性能混凝土增加的耐久性检测项目有:混凝土电通量,抗碱骨料反应,抗裂性,混凝土实体结构质量核查项目——钢筋混凝土保护层厚度,冻融环境混凝土的抗冻性,腐蚀环境混凝土的耐腐蚀性等。主要工程结构混凝土的耐久性指标规定为:

1)设计使用寿命100 a的主体结构及构件C30级以上混凝土:普通环境56 d龄期混凝土电通量 $< 1\ 000 \sim 1\ 500 \text{ C}$,氯盐环境56 d龄期混凝土电通量 $< 8\ 00 \sim 1\ 000 \text{ C}$;化学侵蚀环境56 d龄期混凝土电通量 $< 1\ 000 \sim 1\ 200 \text{ C}$;抗碱骨料反应合格;抗裂性合格;冻融破坏环境56 d龄期混凝土抗冻融循环次数 $\geq F300$;硫酸盐侵蚀环境混凝土的胶凝材料抗蚀系数 $K \geq 0.8$ 。具体指标应按照《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》(铁科技[2005]157号)及《客运专线高性能混凝土暂行技术条件》(铁科技[2005]101号)的要求,根据工程结构所处的环境类别及作用等级来确定。

[收稿日期] 2008-11-03

[作者简介] 黄直久(1955-),男,四川成都市人,中铁十二局集团有限公司高级工程师,研究方向为建筑材料与岩土工程测试技术;E-mail:huangzj@126.com

2) 预应力混凝土梁:56 d 龄期混凝土电通量 < 1 000 C; 抗碱骨料反应合格; 抗裂性合格; 抗冻融循环次数 \geq F200, 抗渗性 \geq P20。

2.2 客运专线高性能混凝土用外加剂的要求

1) 外加剂应采用减水率高、坍落度损失小、适量引气、能明显提高混凝土耐久性且质量稳定的产品。外加剂与水泥之间应有良好的相容性。外加剂性能应满足《客运专线高性能混凝土暂行技术条件》(铁科技[2005]101号)的要求,其匀质性指标应满足国家标准《混凝土外加剂》(GB8076)的规定。

2) 外加剂须经铁道部产品质量监督检验中心检验合格,供货企业应通过铁道部的质量保证能力认证。

2.3 铁路混凝土工程强度评定的龄期规定

混凝土的早期强度越高,其早期开裂的可能性就越大,不利于它的耐久性能。掺加矿物掺合料后,

混凝土的早期强度增长速度有所放慢,对保证它的耐久性能有利。所以,从评定混凝土强度指标是否合格的角度,最好按 56 d 龄期作为混凝土标准强度的验收龄期。但从现有混凝土的评定体系及施工管理方面看,全部按 56 d 龄期实行的条件还不很成熟。故客运专线铁路工程规定预应力混凝土、喷射混凝土、蒸汽养护混凝土的抗压强度标准条件养护试件的试验龄期为 28 d,其他混凝土抗压强度标准条件养护试件的试验龄期为 56 d^[2]。

3 聚羧酸系减水剂试验

中铁十二局集团公司在建设客运专线的过程中,通过大量的试验,从近百种外加剂产品中选出了 20 余种减水剂供前期工程建设使用,其中供先期开工使用的萘系与氨基磺酸盐复合外加剂占少数几家,其他近 20 种都是聚羧酸系减水剂。部分选用聚羧酸系减水剂试验检测结果见表 1。

表 1 选用聚羧酸系减水剂试验检测结果
Table 1 Experimental results of polycarboxylates water-reducing admixtures

检测项目	技术要求	检测结果					
		ADVA-152	SX-C	LEX-9H	NOF-AS	LQ-II	
水泥净浆流动度/mm	≥ 240	296	255	264	305	270	
硫酸钠含量/%	≤ 10	0.07	0.04	1.05	1.4	0.8	
氯离子含量/%	≤ 0.2	未检出	0.02	未检出	0.01	0.04	
碱含量($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$)/%	≤ 10.0	1.11	0.65	2.77	1.08	0.43	
减水率/%	≥ 20	33	26.9	29.4	32	26	
含气量/%	配制非抗冻混凝土		3.1		3.2		
	配制抗冻混凝土	≥ 3.0	5.2	7.0		4.9	
混凝土坍落度保留值/mm	30 min	≥ 180	218	195	210	200	180
	60 min	≥ 150	197	175	200	156	170
常压泌水率比/%	≤ 20	0	8.5	0	0	3.1	
压力泌水率比/%	≤ 90	42	18.6	75	43	15	
抗压强度比/%	3 d	≥ 130	148	189	136	152	145
	7 d	≥ 125	160	178	132	183	145
	28 d	≥ 120	138	157	121	163	132
对钢筋锈蚀作用	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀	
收缩率比/%	≤ 135	117	107	114	111	112	
相对耐久性指标/(200次)	≥ 80	92	86.5	89	95	86	

试验表明,第三代聚羧酸系减水剂在某些重要指标上(如减水率、坍落度经时损失、混凝土收缩率比、

氯离子和碱含量等指标)均比普通减水剂和传统的高效减水剂有较大的提高,其他各项技术指标也均满足

客运专线高性能混凝土对外加剂的技术要求。

术措施,通过大量的试验,从数千次配合比试验中选出了近百种配合比供前期工程建设使用。聚羧酸系减水剂配制高性能混凝土的部分配合比及主要性能试验结果见表 2 和表 3。

4 配制高性能混凝土试验研究

4.1 配制高性能混凝土试验结果

采用聚羧酸系减水剂和优选水泥、掺合料等技

表 2 桥梁混凝土配合比及主要性能试验结果

Table 2 Mix proportion of concrete and experimental results for box girder

编号	强度等级	配合比 C:S:G:W/ (kg·m ⁻³)	外加剂		掺合料内掺 /%		胶材 用量 /(kg·m ⁻³)	水胶比	坍落度 /mm	含气量 /%	28 d 抗压 强度/MPa	28 d 弹性 模量/GPa	56 d 电 通量/C
			型号	掺量/%	粉煤灰	矿渣粉							
TX-1	C50	258:749: 1079:140	LEX-9H	0.85	15	30	470	0.298	195	3.5	65.6	43.3	516
TX-2	C50	328:749: 1079:140	LEX-9H	0.90	15	15	470	0.298	190	3.3	67.1	44.1	544
HY-1	C50	310:684: 1116:150	SX-C	1.0	11.3	22.8	470	0.319	190	2.8	69.4	41.5	345
ZY-1	C50	300:694: 1086:150	LQ-II	1.0	18.1	18.1	470	0.319	200	3.7	62.0	46.6	471
FX-1	C50	288:710: 1066:144	LEX-9H	0.9	15	25	478	0.301	190	3.5	66.0	56.9	363
JY-1	C55	360:712: 1067:151	NOF-AS	1.3	12.5	12.5	480	0.315	190	3.2	66.9	40.2	327

注:1. HY-1 选用 P. II 42.5 水泥,其他选用 P. O 42.5 水泥,粉煤灰为 I 级灰,碎石为 5~25 mm,中砂细度模数为 2.6~3.0,所选原材料和矿渣粉技术指标均符合要求。2. 采用上述桥梁配合比配制混凝土的抗冻融循环性能均大于 F200,抗渗等级大于 P20,抗碱-骨料反应性能和抗裂性试验合格。

表 3 桥墩台及隧道衬砌混凝土配合比及主要性能试验结果

Table 3 The mixing proportion and experimental results of concrete for pier and tunnel liner

编号	强度等级	配合比 C:S:G:W/ (kg·m ⁻³)	外加剂		掺合料内掺 /%		胶材 用量/ (kg·m ⁻³)	水胶比	坍落度 /mm	含气量 /%	56 d 抗压 强度/MPa	56 d 电 通量/C
			型号	掺量/%	粉煤灰	矿渣粉						
HDQ-1	C35	276:686: 1190:150	SX-C	1.0	30	0	395	0.38	175	4.5	52.6	700
HWQ-2	C30	252:631: 1226:155	ADVA-152	0.7	35	0	388	0.40	165	4.4	48.5	875
ZXQ-1	C30	274:749: 1123:148	LQ-II	1.0	26	0	370	0.40	200	4.7	54.0	816
WGD-1	C30	248:714: 1118:165	ADVA-152	0.9	29	0	350	0.47	210	3.1	43.1	702
WGD-2	C30	252:718: 1122:157	LEX-9H	0.8	28	0	350	0.45	180	4.5	45.2	957

注:1. 试验选用 P. O 42.5 水泥,粉煤灰为 II 级灰,碎石为 5~31.5 mm,中砂细度模数为 2.5~2.9,所选原材料技术指标均符合要求。2. 采用上述配合比配制混凝土的胶凝材料抗蚀系数大于 0.9,抗渗等级大于 P16,抗碱-骨料反应性能和抗裂性试验合格,HDQ-1,HWQ-2,ZXQ-1 配合比配制混凝土的抗冻融循环性能均大于 F300。

由表2可知,在混凝土中采用性能优良的聚羧酸系减水剂,并复合掺加粉煤灰和矿渣粉配制的桥梁高性能混凝土的28 d强度和弹性模量较高,56 d电通量较低。工程实践证明:采用这些配制方案生产的混凝土桥梁,可满足客运专线桥梁高性能混凝土综合性能的要求,其内在质量和外形外观也明显好于其他配制方案生产的混凝土桥梁。

由表3可知,在混凝土中掺加性能优良的聚羧酸系减水剂和粉煤灰配制的高性能混凝土56 d强度较高,56 d电通量较低。工程实践证明:采用这一方案配制的混凝土具有良好的工作性,可满足客运专线桥梁墩台及隧道衬砌高性能混凝土综合性能的要求,浇注的混凝土结构内在质量和抗裂性要好于其他配制方案浇注的混凝土。表中所列配合比配制混凝土的56 d电通量和56 d强度的富余量都比较大,主要原因是由于有的混凝土处于抗冻融或化学腐蚀环境中,为同时满足耐久性(抗冻融和电通量)的指标,造成超强较多,有时甚至远远超过其设计强度。

4.2 满足工程使用性能要求的特点

4.2.1 混凝土的耐久性提高

传统外加剂由于受到生产工艺及原材料的影响,其氯离子及碱含量都相对较高,对混凝土的耐久性有较大影响,而聚羧酸系减水剂由于所用原材料和新型工艺,从根本上解决了氯离子、硫酸盐和碱含量偏高的问题;同时,由于聚羧酸系减水剂具有更高的减水率,能进一步降低水胶比,提高混凝土的密实性,抵御外界有害物质的侵袭,从而大幅度地提高混凝土的耐久性,减少维护费用,延长建筑物的使用寿命。对客运专线重点工程来说,这一点尤其重要。

4.2.2 较好的强度性能

与萘系减水剂相比,聚羧酸系减水剂配制的混凝土具有早期强度和后期强度均增长较快,尤其高强混凝土的后期增长更加明显。采用传统外加剂的预应力混凝土张拉需在混凝土浇筑5 d后进行,而采用聚羧酸系减水剂产品一般仅需3~4 d,从而加快施工进度,大大节约了工期,提高模板周转,创造良好的经济效益。

4.2.3 优秀的工作性能

聚羧酸系减水剂配制的混凝土在施工过程中具有优秀的和易性,在达到大坍落度的同时,混凝土无泌水、离析等现象出现,而传统外加剂由于受到其本身材料性能的约束,无法将高坍落度和高工作性完

美地统一起来。和传统外加剂相比,聚羧酸系减水剂能更出色的保持工作性能,混凝土坍落度损失较小,从而便于施工,利于泵送,增大车辆的运送距离,最大限度的为施工提供了便利。

5 施工过程中对聚羧酸系减水剂的再认识

5.1 聚羧酸系减水剂与水泥的相容性

一般来说,聚羧酸系减水剂与水泥的相容性比其他品种的减水剂要好一些。但在实际应用中,由于我国地域辽阔,水泥原料及生产工艺相差较大,加之水泥中掺合料成分复杂,水泥本身的性能会有很大的差异。当水泥和聚羧酸系减水剂共同作用时,也往往发生混凝土坍落度损失快及快硬等现象,仍存在聚羧酸系减水剂与水泥的相容性问题^[3]。

5.2 掺量敏感性问题

聚羧酸系减水剂具有掺量低的优点,与之相应的是混凝土拌合物的性能对掺量极其敏感。聚羧酸系减水剂过饱和和掺加,水泥浆或混凝土同样存在泌浆、沉底、和易性变差等问题^[4]。尤其是在高掺量范围,继续增加聚羧酸系减水剂用量,其减水和混凝土坍落度保持效果相对降低。

5.3 普遍适应性问题

与萘系减水剂相比,聚羧酸系减水剂具有高减水率、低收缩、高强度、低泌水和坍落度损失小等性能优点。但聚羧酸系减水剂不是万能的,它不能解决在混凝土施工中的所有问题,必须加强混凝土配制和施工过程中的质量控制,如果受水泥和掺合料质量稳定性或施工配料准确性的影响,施工现场的混凝土仍会出现严重泌水和坍落度损失大,甚至出现硬化混凝土结构开裂等问题。

6 可借鉴的问题及解决措施

6.1 要选用具有一定生产规模、质保体系健全,产品质量稳定的聚羧酸系减水剂产品

选用聚羧酸系减水剂时要注意生产厂的规模、资质和已有工程的应用实例,以及建设单位对外加剂产品“认证检验”和物资招标的有关要求。在审查外加剂厂家提供的报告时,要注意核对样品、实际供应产品与检验报告产品规格型号的一致性。

聚羧酸系减水剂的价格比萘系高效减水剂的价格相对高一些,但与好的萘系、氨基磺酸盐复合减水剂相差不多,其综合价格还可能会更低些。外加剂选购中,如果一味地追求低价,其供应产品的质量就

很难保证。

6.2 严格按进场检查、复验和日常检验 3 个阶段规定的检验频次进行抽检

为保证高性能混凝土施工质量,必须从外加剂质量这一源头抓起。在外加剂进场检查、复验和日常检验 3 个阶段抽检过程中,尤其要重视与水泥和掺合料的相容性试验,必要时(如重要结构或水泥、掺合料质量不稳定时)应对每批水泥和掺合料的相容性进行试验。

6.3 选用质量稳定的水泥,确保高性能混凝土拌合物具有良好的工作性

工程中遇到混凝土坍落度损失过快或工作性较差时,往往首先怀疑外加剂的相容性,但如经常出现这种现象,则可能是水泥的质量不稳定。因水泥的细度、石膏形态和数量、铝酸三钙的含量、水泥出厂温度等对水泥的流变性及与外加剂相容性的影响很大,这些因素对水泥与外加剂相容性的影响远比对水泥强度的影响大得多^[5]。因此,对这些影响产品稳定性的成分、状态及含量都应在合同条款中加以限制。在试验和工程使用中一旦发现这些问题,就应立即终止合同,否则就可能导致工程质量事故。工程中出现的类似事例屡见不鲜。

6.4 严格控制掺量,确保施工配合比的准确性

6.4.1 外加剂和水的计量装置采用质量称量的方式,确保计量精度

聚羧酸系减水剂的掺量大小对混凝土的性能影响很大。如果计量不准确,将导致减水剂掺量过多(超过饱和点)或加水量过多,使得混凝土产生严重的泌水,所以外加剂和水的计量一定要准确。

目前,各客运专线制梁场的搅拌站和部分大型项目的混凝土搅拌站配备了搅拌楼或具有自动计量功能的拌合设备,其计量精度均可满足要求。但如仍有使用普通拌合设备的,必须对其原有的水计量系统进行技术改造,采用配料秤的方式计量水的质量,并增加专用的液体外加剂计量装置,以保证满足计量误差不大于 1% 的要求,确保施工配合比的准确性。

6.4.2 定期对搅拌站(楼)的计量设备进行校核,确保配料计量准确

地方技术监督部门对搅拌站(楼)的计量检定周期是半年,而混凝土搅拌站(楼)的使用频率很高,各种机械设备运转和计量系统也受方方面面的影响,实际的计量准确性往往会发生变化,所以每月

进行一次实际称量范围的验证,每一工作班正式称量前检查设备的运行情况,并采用已知准确质量的材料或标准砝码进行校核。

6.5 严格控制砂石料含泥量,确保混凝土拌合物工作性相对稳定

聚羧酸系减水剂对砂石含泥量比较敏感,在进行外加剂相容性和配合比试验时,应选择砂石含泥量适中,且与实际工程中使用砂石的品质一致;砂石料进场时要控制其含泥量相对稳定,否则,容易影响混凝土拌合物的工作性能。

6.6 严格控制搅拌时间,确保混凝土拌合物的优良品质

高性能混凝土的掺合料较多、聚羧酸系减水剂也只有经过充分的搅拌才能发挥作用,所以搅拌时间一般宜为 2.5~3 min,最低不得少于 2 min。混凝土的搅拌时间偏少或混凝土的坍落度过大,都容易出现泌水,尤其是对某些特定的原材料更是如此。

6.7 大力加强现场施工作业层人员的技术培训

由于聚羧酸系减水剂是一种新型产品,施工应用人员还不熟悉其性能,在施工过程中要加强对现场施工作业层人员的技术培训,提高施工人员对使用聚羧酸系减水剂的认识,使其了解和掌握聚羧酸系减水剂与萘系减水剂的不同性能特点,尤其是这两类外加剂互不相容的特点,防止施工中误用或不合理使用外加剂造成质量事故。

7 对外加剂生产单位的建议

7.1 改进技术性能

一方面,聚羧酸系减水剂生产厂家应努力保证产品质量的稳定性,保持不同批次产品关键性能指标的稳定性;另一方面,应进一步地提高聚羧酸系减水剂与水泥和掺合料的广泛相容性,保证炎热夏天施工混凝土仍具有良好的工作性保持,降低低水胶比高性能混凝土拌合物的粘度。

7.2 售后服务

7.2.1 要保持通过铁道部质检中心进行质保能力和产品抽检审查时的能力和水平

已通过铁道部产品质量监督检验中心“质量保证能力审查和产品质量检验”合格的外加剂企业,要继续加强企业内部管理和生产质量控制,确保产品质量的稳定性。其他有实力的外加剂厂家也应尽快通过铁道部的“质量保证能力审查和产品质量检验”,为客运专线提供更多的可选产品。

7.2.2 要严格把质量关,提高技术服务人员的业务水平,及时解决施工现场遇到的问题

外加剂生产厂家一定要对自己的产品严格把关,进一步改进生产工艺,确保其产品的稳定性;售后服务技术服务人员的业务水平有待提高,并应本着共同解决问题的态度对待施工中遇到的问题,及时解决混凝土施工中出现的不良情况(如离析,泌浆,无粘聚性),保证混凝土的质量,使施工正常进行。

7.2.3 及时提供各种信息和主要技术参数

外加剂生产厂商应及时提供一些本企业产品主要技术参数及配制混凝土特点等各种信息,使施工单位免走弯路,及时调整配合比。

8 结语

推广应用聚羧酸系减水剂是混凝土质量向高性能化方向发展的必然要求。客运专线的大规模建设给发展聚羧酸系减水剂提供了宝贵的机遇,但目前我国聚羧酸系减水剂的生产和应用技术水平还亟待

快速提高,这就给外加剂生产和工程应用的技术人员提出了新的任务和要求。笔者希望各领域在共同努力下,关注和支持聚羧酸系减水剂的发展,扎实做好聚羧酸系减水剂的生产和工程应用工作,使这种新型的高效减水剂更好地满足客运专线重点工程建设的需要。

参考文献

- [1] 郭延辉,郭京育,赵霄龙,等.聚羧酸系高性能减水剂及其应用技术——现状、发展趋势和我们的任务[A].聚羧酸系高性能减水剂及其应用技术[M].北京:机械工业出版社,2005,8:3-10
- [2] 铁建设[2005]160号,铁路混凝土工程施工质量验收补充标准[S]
- [3] 蒋正武,孙振平,王培铭.我国聚羧酸系减水剂工艺发展现状与方向探讨[J].混凝土,2006,(4):19-20
- [4] 安同富,刘剑江,王永芳,等.聚羧酸系外加剂与水泥适应性试验研究[J].混凝土,2006,(4):34-39
- [5] 姚燕,王玲,田培.高性能混凝土[M].北京:化学工业出版社,2006

The application of polycarboxylates water-reducing admixture to passenger dedicated line engineering

Huang Zhijiu

(China Railway 12th Bureau Group Co., Ltd., Taiyuan 030024, China)

[Abstract] Polycarboxylates water-reducing admixture possesses the capability which could meet with the comprehensive performance of high performance concrete using in field of passenger dedicated line. Problems of engineering application of polycarboxylates water-reducing admixtures were analyzed. At present the key for polycarboxylates application is to settle the compatibility with cement and keep the quality retention of this admixtures.

[Key words] polycarboxylate water-reducing admixtures; compatibility of cement; quality retention; high performance concrete