

# 混凝土外加剂在水利工程中的应用

王玉梅

(景泰川电力提灌工程管理局,甘肃 景泰 730400)

**摘要** 结合水利工程混凝土外加剂的应用实践和试验研究,探讨水利工程中恰当地选择适用的外加剂,以及使用混凝土外加剂应注意的事项.对混凝土外加剂应用中的关键性问题提出见解和建议,以期其在水利工程中应用能够达到良好的技术经济效果.

**关键词** 混凝土外加剂;水利工程;应用经验

中图分类号:TU528.042

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2005)S1-0098-04

混凝土外加剂是指在拌制混凝土过程中掺入的用以改善混凝土性能的物质,其问世已有半个世纪的历史.最初,人们只是从提高早期强度和满足冬季施工的要求出发,发展了以氯盐为原料的早强抗冻剂.到 20 世纪三四十年代,开始出现为改善混凝土工作性状而以木质素磺酸盐为主要成分的塑化剂和为提高耐久性而以松树脂为原料的引气剂等.20 世纪六十年代后,随着混凝土结构日趋复杂,混凝土构件品种日益增多,以及构筑物的大型化发展,为了满足许多特殊工程的需要,迅速出现了以萘磺酸盐甲醛缩合物和磺化三聚氰胺甲醛树脂等为原料的高效减水剂.由于高效减水剂对混凝土改性方面的重要作用,使混凝土外加剂成为继钢筋混凝土和预应力混凝土发展史中的又一次重大技术突破.目前我国在混凝土工程中对外加剂的大量推广应用,标志着我国对于外加剂在混凝土改性、节约水泥、混凝土施工技术及工程质量的提高等方面所取的作用有了较普遍的认识.

但是,由于对应用技术的不了解,在一些混凝土工程中外加剂的使用存在误区,即不分工程材料及现场施工条件任意选用外加剂,对其掺量以及水泥品种的适应性不加考虑,以致使用结果达不到预期的效果,有时还可能产生有害的影响.笔者就此结合工程应用实践进行试验研究与探讨,目的在于引起混凝土工程技术人员注意应用理论和应用技术,以达到良好的技术经济效果.

## 1 现场应用与试验研究

甘肃省景泰川电力提灌二期工程延伸向民勤调

水工程,是利用景电二期工程总干渠泵站的灌溉间隙,从总干渠道末端分水新建 99.64 km 渠道向民勤县输水灌溉保护生态环境,防止民勤成为第二个罗布泊的沙漠绿洲工程,是我国第一项穿越大沙漠的跨流域调水工程.该工程总投资 2.46 亿元,于 1995 年 11 月开工,2000 年 10 月全部建成.其中有渡槽、铁路涵、泄水闸、公路桥涵等大小建筑物共 53 座.除防渗衬砌的明渠外,其余均采用 C20 箱型混凝土暗渠穿越腾格里沙漠.暗渠施工工艺采用较为先进的钢模台车,每 12 m 一次性浇筑成型.由于工期、自然条件等原因,开工初期施工单位为了抢进度购买早强剂及早强减水剂,并自行较大量地添加.结果成型的暗渠混凝土强度与不掺外加剂的相比,后期强度显著降低,大掺量氯盐对钢筋的破坏作用明显,另外由于配合比设计、施工工艺及气温条件等因素使得混凝土表面出现早期干缩裂纹.

针对这些实际问题,试验室通过试验确定外加剂品种和最佳掺量,在保证强度、坍落度基本相同的条件下调整配合比.选用景电管理局水泥厂生产的标号为 425R 的普通硅酸盐水泥,其实测抗压强度为 44.8 MPa,密度为 3.0 g/cm<sup>3</sup>.选用古浪永丰滩砂石料场洗砂,细度模数 2.0,表观密度为 2670 kg/m<sup>3</sup>,堆积密度为 1470 kg/m<sup>3</sup>,含泥量为 1.6%.选用古浪永丰滩砂石料场卵石,采用二级配,其中 5~20 mm 粒级占 45%,20~40 mm 粒级占 55%.引气减水剂在对兰州鸿州外加剂厂、水电四局外加剂厂、西萍乡外加剂厂生产的外加剂进行对比后优选.不掺外加剂与掺相同质量不同型号外加剂的对比试验结果见表 1.

表 1 掺加引气减水剂的混凝土试件强度试验结果

试件编号	水灰比	水 /kg	水泥 /kg	砂子 /kg	石子 /kg	掺外加剂 /%	减水 /%	减水泥 /%	坍落度 /cm	试验结果					
										抗压强度 /MPa		抗渗 $S_4$	抗冻 $D_{150}$	含气量 /%	外加剂厂家
										$R_7$	$R_{28}$				
99-0	0.50	148	296	650	1340	—	—	—	2	26.0	34.3	$> S_4$	$D_{150}$	1	
99-1	0.50	148	296	650	1340	0.65	—	—	5	29.8	36.6	$> S_{10}$		4.5	鸿州
99-2	0.50	148	296	650	1340	0.65	—	—	5.5	23.3	32.2	$> S_{10}$		5.6	四局
99-3	0.50	148	296	650	1340	0.65	—	—	8	18.3	25.6	$> S_{10}$		8	萍乡
99-4	0.56	148	266	650	1340	0.65	—	10	3	23.6	32.2			4	鸿州
99-5	0.56	148	266	650	1340	0.65	—	10	3	19.4	27.2			5.8	四局
99-6	0.56	148	266	650	1340	0.65	—	10	6	14.8	20.5			6.7	萍乡
99-7	0.50	133	266	650	1340	0.65	10	10	2	26.8	35.8			4.5	鸿州
99-8	0.50	133	266	650	1340	0.65	10	10	5	23.8	32.5			5.6	四局
99-9	0.50	133	266	650	1340	0.65	10	10	5	18.4	28.5			6.7	萍乡
99-10	0.50	148	280	650	1340	0.65	—	5	2	28.7	30.4			4.5	鸿州
99-11	0.50	133	266	650	1340	0.65	10	10	2	20.9	34.3			4.3	鸿州
99-12	0.50	133	266	650	1340	0.65	10	10	4.8	16.3	25.7			5.1	四局

注 99-11 和 99-12 试件采用喷涂养护剂室外露天方法养护,其余试件均按规范要求标准养护。

根据表 1 中试验成果,减少水泥 5%~10%,减水 10%,引气剂的引气量控制在 3%~5% 范围内,混凝土强度与编号为 99-0 基准试件接近。将满足设计要求的编号为 99-10 的试件的配合比确定为生产配合比,并在施工现场严格控制,取得了较理想的效果。该调水工程建设中共生产混凝土 21.63 万  $m^3$ ,抽取混凝土抗冻试件 43 组,抗渗试件 565 组,抗压强度试件 7852 组,根据标准强度离差系数对混凝土工程质量进行评价,结果是使用混凝土外加剂后的混凝土试件保证概率均在 95% 以上。经现场实体回弹检测,其结果均达到设计与施工规范的标准,认为这批检测数据值能够反映或代表混凝土结构实体的实际强度,混凝土外加剂对保证工程质量以及结构安全、工程进度均起到了很好的作用。

试验证明,掺早强减水剂可以显著地改善混凝土和易性,提高坍落度。由图 1 可以看出,混凝土坍落度随减水剂掺量的增加而增大。掺量在 0.5% 以内时,坍落度增幅较大;掺量超过 0.5% 以上,增加幅度明显减小。但是普通减水剂的常用掺量为 0.2%~0.3%,超量会延缓水泥的凝结硬化,而高效减水剂通常的掺量是 0.5%~0.75%。所以在常用掺量下两者的坍落度(和易性)会有很大差别,与不掺早强减水剂的混凝土相比,掺普通减水剂的混凝土坍落度一般可增加 2 倍,掺高效能减水剂(引气型)混凝土坍落度将增加 3 倍以上。

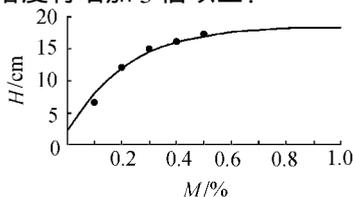


图 1 早强减水剂掺量与混凝土坍落度关系曲线

混凝土掺减水剂,尤其是掺引气型的减水剂时,减少了混凝土的单位用水量,可显著降低其泌水性。从试验所得曲线(图 2)可见,在水泥用量、坍落度相同的条件下,掺 0.25% 的普通减水剂比不掺减水剂的混凝土的泌水性约减 30%。试验数值还表明,减水剂与混凝土抗压强度、抗渗性、抗冻融性、不同温度下碳化的增强效果是明显相关的,因为在混凝土中掺入早强减水剂后,其水泥石结构中充满微细气泡,用水量减少,同时结构明显致密,抗渗、抗冻融、抗钢筋锈蚀、抗化学腐蚀、中性化均得到一定改善,但要根据不同的施工地点和环境温度,针对混凝土构筑物、所用材料等通过试验优选外加剂才能达到良好的技术经济效果。

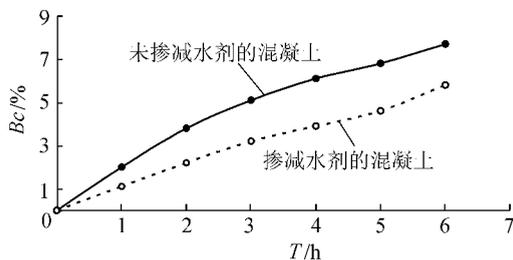


图 2 减水剂与泌水率关系曲线

## 2 外加剂应用注意事项及关键问题见解

根据景电二期延伸向民勤调水工程及景电一期更新改造工程多年来应用与试验的经验,笔者认为掺入外加剂能确保一定效果,可是未必能达到最佳的技术经济效果,有时甚至会产生一些不良影响。因此建议在使用外加剂前,首先注意外加剂生产厂所提供的技术资料和应用说明。在评定和选择某种外加剂时,除考虑水泥品种、矿物组成、细度、骨料特性、混凝土配合比、施工中的温度和湿度,以及养护条件和施工条件等因素外,还应根据工程具体特点,

特别注意如下应用事项及关键问题。

## 2.1 应用早强剂的施工注意事项

应用早强剂应注意所含氯盐对钢筋的腐蚀作用,并按技术规范的规定严格控制其在钢筋混凝土和预应力混凝土中的掺量,尤其对水工结构、桥梁及有特殊抗渗、抗冻要求的混凝土工程,最好根据试验确定早强剂的品种及掺量,也可参考下列数据(早强剂占水泥用量的百分数)选用:氯化钙或氯化钠 1%~2%,硫酸钠 0.5%~2%,三乙醇胺 0.03%~0.05%,氯盐 0.15%~0.5%。早强剂应配制成溶液,在搅拌过程中掺入混凝土中。溶解硫酸时需要将水加热,以提高硫酸钠溶解度;早强剂溶液所增加的水量应从混凝土拌和用水量中扣除。施工中必须严格按照规范规定的适用范围及施工质量控制要求去做。

## 2.2 应用引气剂的施工注意事项

引气剂是依靠引入许多微细气泡改善骨料间的润滑作用来提高和易性的。对于小水灰比混凝土,水泥含量小的减水效果要大于水泥含量较大的。由此可见,引气剂的减水和增强效果与混凝土的配合比相关。在施工过程中为了保证引气混凝土的含气量均匀,并在工程所要求的范围内,尽可能使混凝土原材料、配合比、施工工艺等参数保持不变,在施工过程中若改变混凝土原材料、施工工艺时,应先重新进行引气剂混凝土配合比试验。引气剂掺量微小,通常为水泥质量的 0.005%~0.05%,并以溶液的形式在搅拌过程中加入拌和物,因此施工时必须按引气剂及引气减水剂的应用技术规范严格控制引气剂溶液的配制浓度和掺加量。在使用细度大的水泥、含碱量高的水泥或掺混合材料的水泥时,引气剂的掺量要大些;引气剂与减水剂复合使用时,达到相同的含气量所需引气剂的掺量可减少 1/3;引气剂与氯盐或三乙醇胺复合使用时,其引气量略有增大,且在同配合比同掺量条件下混凝土拌和物的含气量随温度增高而减少。因此,引气混凝土含气量过大会降低其强度,而且其耐久性也得不到改善,过少又不能达到所要求的耐久性,所以在施工中应规范检测新拌混凝土的含气量,引气混凝土的有效含气量是成型后混凝土中存有的含气量,因此其含气量测定宜在浇注成型时进行。如果施工过程中检测的混凝土含气量大于或小于工程要求,应及时进行调整。

## 2.3 应用减水剂的施工注意事项

应用减水剂应当注意减水剂会破坏水泥浆体的凝聚结构,使水泥颗粒分散释放出游离水。当水灰比小时,原始黏度大,分散和减水效果显著;反之,若水灰比大,部分水泥颗粒或集团已被水所分散,原始黏度小,分散和减水效果就差。因此,应结合混凝土配

合比确定减水剂的掺量。使用中,减水剂应配制成溶液,在搅拌过程中计量加入。溶液浓度的测定和控制宜采用比重计法,检测时应记录温度。盛溶液的容器应该容易辨认,并防止污染、吸水和蒸发。减水剂溶液浓度较高或气温较低时会变得比较黏稠,这样可能会发生阀门堵塞、管道堵塞,或造成其他困难,因此,在施工过程中应注意区分是普通减水剂还是高效减水剂,还应注意气温及施工条件。

## 2.4 同时应用多种外加剂时的施工注意事项

当工程需要掺用两种或两种以上不同种类的外加剂时,应注意它们之间是否相溶,例如:引气剂可与减水剂、早强剂、缓凝剂、防冻剂等复合使用,配制溶液时如产生絮凝或沉淀现象,应分别配制溶液并分别加入搅拌机内,加入方法(先掺、后掺、滞后时间)和顺序不同,所得结果也可能不同,最好能在施工前通过试验查明。

## 2.5 减水剂品种的影响问题

我国目前大量生产应用的减水剂主要是木质素磺酸盐和磺酸盐甲醛缩合物,其中以木质素磺酸盐系用量最大,而萘磺酸盐甲醛缩合物高效减水剂品种最多。笔者曾用其中 7 种萘系减水剂进行试验,每种减水剂掺量分别为 0.3%、0.5% 和 1.0%,水泥浆体采用固定用水量 0.275 L,测定了它们的流动度,以平行比较试验各种减水剂和掺量对混凝土的影响。结果表明,掺量为 0.3% 时,掺 NNO 剂的混凝土流动度为 90mm,掺 FDN 剂和掺 SM 剂时混凝土的流动度增大 2 倍。同时可以看出,试验用的 7 种减水剂以 FDN 剂和 SM 剂对增大流动度的影响最为显著。由此可以说明优选减水剂品种的必要性。

## 2.6 硅酸盐系水泥矿物组成 $C_3S$ 和 $C_3A$ 的影响问题

试验采用了 3 种硅酸盐系水泥,仍用几种不同的减水剂,在 3 种掺量、固定水量的条件下进行,包括流动性、凝结时间、强度等试验内容。试验结果表明,水泥矿物  $C_3S$  和  $C_3A$  与掺减水剂水泥浆体、混凝土减水率有一定的相关性,当  $C_3S$  或  $C_3A$  的含量百分比越大,其掺减水剂的流动性和减水效果也越明显。矿物组成对掺减水剂的增强效果也同流动、减水效果相似,但其相关性不像流动性和减水效果那样明显。

## 2.7 外加剂最佳掺量的选定问题

各种混凝土外加剂产品介绍都有其推荐的掺量范围,例如普通减水剂为 0.15%~0.30%,高效减水剂为 0.3%~0.7%。现有的试验资料证明,减水剂的最佳掺量不是定值,而是取决于水泥熟料的矿物组成、石膏品种和掺量、混合材料品种和掺量、水泥细度、硬化温度等因素。由此可见,厂家给出的最佳掺

量的依据是试验条件(原材料、标准养护),其只能作为工程应用的参考,不能作为工程应用的依据.工程应用中选择最佳掺量应根据工程所用原材料(水泥、砂子、石子、水)、施工工艺(蒸养、自然养护)、施工季节(夏、冬)、建筑物工作条件等通过试验确定.

## 2.8 钢筋混凝土中氯离子含量控制问题

混凝土工程中使用最为广泛的早强抗冻剂和早强剂是氯盐,但它对钢筋锈蚀有促进作用.我国钢筋混凝土工程施工及验收规范规定,在钢筋混凝土中,氯盐(按无水状态计算)的掺量不得超过水泥质量的3%,亦不得超过 $6\text{kg}/\text{m}^3$ .对于高湿度空气环境中的混凝土结构、处于水位升降区的混凝土结构、露天或经受水淋湿的混凝土结构、预应力混凝土结构,不得在钢筋混凝土结构中掺氯化物.另外,氯化物对钢筋的影响与氯化物的含量、水泥品种、熟料矿物组成、混凝土配合比和密实性、保护层厚度、养护条件等因素有关,试验还表明含氯( $\text{Cl}^-$ )量限制在0.03%~0.04%、含氯化物量限制在0.5%~1.0%时,硬化水泥砂浆中(养护7~14d)钢筋的阳极极化电位上升,钢筋钝化膜未被破坏,超过上述含量,阳极极化电位迅速下降,钢筋钝化膜破坏,呈活化状态.

## 3 结 语

添加外加剂是混凝土施工工艺中的一项新技

术,由于外加剂的作用随工程使用材料及现场施工条件的不同而异,因此选用外加剂品种和掺量时应根据工程使用的材料及现场施工条件来确定.

本文根据笔者多年从事混凝土外加剂——早强剂、引气剂、减水剂、防冻剂及复合剂等方面的应用研究,对于减水剂品种与水泥品种的关系及最佳掺量、混凝土中钢筋锈蚀及氯离子含量的限值以及外加剂对混凝土性能的影响、机理、允许掺量等提出一些实用性的建议,供有关人员参考.

由于外加剂在我国尚处于推广应用阶段,一些理论上的问题还需要进一步探索,某些应用技术,特别是对掺加各种混合材料的水泥中掺加混凝土外加剂适应性等问题尚待积累更多的经验.

## 参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院混凝土研究所. 混凝土实用手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [2] GB 50119—2003 混凝土外加剂应用技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 岳延文, 王玉梅. 混凝土外加剂在水利工程中应用研究报告 [R]. 甘肃省景电工程试验室, 2004.
- [4] 黄绪通. 碾压混凝土对外加剂性能的要求 [J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(2): 31-34.

(收稿日期: 2005-02-25 编辑: 高建群)

(上接第97页)

- [2] 蒋正武. 混凝土结构的表面防护技术 [J]. 新型建筑材料, 2004(2): 12—14.
- [3] 黄国兴, 陈改新. 水工混凝土建筑物修补技术及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [4] 杨宇润, 杨万泰. 100% 固含量聚氨酯弹性体高速反应喷涂技术 [J]. 化工新型材料, 1997(9): 16—21.
- [5] 徐培林, 张淑琴. 聚氨酯材料手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] OHAMA Y, DEMURA K, HAMATSU M, et al. Properties of polymer-modified mortars using styrene-butyl acetate latexes with various monomer ratios [J]. ACI Materials Journal, 1991, 88: 56—61.
- [7] OHAMA Y. Polymer-based Admixtures [J]. Cement and Concrete Composites, 1998, 20: 189—212.
- [8] LAY I, GUPTA A P, BISWAS M. Effect of latex and superplasticizer on Portland Cement mortar in the fresh state [J]. Cement and Concrete Composites, 1994, 16: 309—316.
- [9] OHAMA Y. Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience [J]. Construction and Building

Materials, 1996, 10(1): 77—82.

- [10] BASHEER P A, BASHEER L, CLELAND D J, et al. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance [J]. Concrete and Building Materials, 1997, 11(7): 413.
- [11] 买淑芳. 混凝土聚合物复合材料及应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996.
- [12] 刘志勇. 低掺量乳胶粉与矿粉复合改性聚合物水泥砂浆的性能 [J]. 新型建筑材料, 1999(3): 20—23.
- [13] 李庚英, 熊光晶, 陈晓虎, 等. 抗酸腐蚀复合改性水泥砂浆的研制及性能 [J]. 混凝土, 2000(6): 39—41.
- [14] 徐扬, 李大华. 一种新型的建筑物修复或抗震加固方法 [J]. 山西地震, 2000(3): 13—14.
- [15] 朱炳喜. 高性能修补砂浆的研制与应用 [J]. 新型建筑材料, 2004(4): 13—15.
- [16] 龚洛书, 柳春圃. 混凝土的耐久性及其防护修补 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [17] 蒋元騄, 韩素芳. 混凝土工程病害与修补加固 [M]. 北京: 海洋出版社, 1996.

(收稿日期: 2005-05-27 编辑: 骆超)