

文章编号: 0451-0712(2006)04-0014-09

中图分类号: U214.18; TU528.042

文献标识码: A

公路工程水泥混凝土常用外加剂应用技术

傅 智¹, 李 红², 夏玲玲¹, 张子华¹, 张劲泉¹

(1. 交通部公路科学研究院 北京市 100088; 2. 北京建筑工程学院 北京市 100044)

摘 要: 主要介绍了《公路工程混凝土外加剂》(JT/T 523-2004)和2006年交通部新颁布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》中减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂的品种、适用范围、性能要求等,及其在公路水泥混凝土路面工程中的应用技术。

关键词: 公路工程;水泥混凝土;减水剂;引气剂;缓凝剂;早强剂

近代水泥混凝土外加剂的发展有 60 多年的发展历史。美国、英国、日本等在 20 世纪 30 年代初,开始在公路、隧道、地下工程中使用外加剂。我国研究和使用水泥混凝土外加剂的工作始于 20 世纪 50 年代。进入 20 世纪 80 年代,随着改革开放、经济发展,外加剂的生产和应用发展迅速。当今,水泥混凝土外加剂已成为水泥混凝土的第五组分,其广泛应用被视为水泥混凝土技术发展史上的第三次重大技术进步。

我国公路水泥混凝土工程建设规模很大,外加剂的使用也非常广泛,尤其在一些技术难度大、质量要求高的桥、涵、隧道和路面工程的结构水泥混凝土中。外加剂的加入是为了改善水泥混凝土的性能,然而,由于外加剂的使用不当而导致水泥混凝土路面及桥涵结构的质量事故屡有发生,严重影响了公路工程的建设质量。在公路水泥混凝土结构工程建设中,广大工程技术人员对于力学及结构问题很清楚,但遇到如水泥混凝土化学外加剂问题,往往感到力不从心,使用外加剂后,心中没底,不踏实,不放心。而随着公路建设技术的不断进步,对水泥混凝土的要求也越来越高,不仅要求水泥混凝土可调凝、早强、高强、低水化热、大流动性、轻质、高密实和高耐久性,而且要求制备成本低、成型容易、养护简便,等等。

一般而言,当水泥混凝土抗压强度大于 30 MPa、抗折强度大于 5.0 MPa 时,不使用外加剂制作就有困难了。例如,滑模摊铺水泥混凝土路面要求施工抗折强度达到 ≥ 5.5 MPa,非使用外加剂不可。桥梁工程的大跨度结构,如预应力梁、板、柱等,不使用掺加

化学外加剂的水泥混凝土,就无法达到预应力结构所要求的较高强度等级、较轻质量和长期耐久性;桥梁工程的下部大体积水泥混凝土结构,不同时使用外加剂和掺合料,就无法实现对温度裂缝的有效控制,也无法达到所要求的(泵送)工作性。又譬如,特大型桥梁工程或钢管混凝土拱桥中经常使用的泵送水泥混凝土,如果没有外加剂也根本无法实现泵送施工工艺。箱形、梯形预应力梁板浇筑和涵管等制品的预制生产,也离不开外加剂。在我国“三北”地区的水泥混凝土路面和桥涵工程,均要求具有抗冻性和抗盐冻性,没有引气剂、阻锈剂和防冻剂等的使用,公路水泥混凝土结构抵抗冰冻和盐冻的耐久性技术要求根本无法满足。

为达到这些目的,作为水泥混凝土中的第五组分——水泥混凝土外加剂起着不可或缺的作用。使用外加剂的普及程度是衡量一个国家水泥混凝土技术水平高低的重要标志。水泥混凝土工程中使用外加剂与掺合料的“双掺技术”是现代高性能水泥混凝土工程中的“高新技术”。因此,必须根据公路工程水泥混凝土的使用要求,合理选择和正确使用各类外加剂,使之在掺入水泥混凝土中能改善其性能,制定一部公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料的应用技术指南是十分必要的、必不可少的,这能使水泥混凝土工程在设计、施工、监理、监督各环节均有章可循,目的在于有效地提高和保障公路水泥混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土结构工程的质量。关于掺合料的应用技术,将在其他文章中专门介绍。

本文主要是介绍《公路工程混凝土外加剂》(JT/T 523—2004)及交通部新发布的中华人民共和国行业标准《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》(以下简称指南)中减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂等常用外加剂,在公路水泥混凝土工程中的应用技术,目的是满足广大科技人员对指南的内容、实质及其技术依据尽快了解,尽量避免因外加剂的使用不当而造成损失,提高公路工程建设质量。

1 外加剂的主要品种、适用范围及其性能指标

1.1 主要品种

目前,由于我国外加剂厂家以保护知识产权为名,其外加剂的主要化学成份和配方保密,为工程上的使用带来了极大的混乱和困难,造成了不应有的工程事故和返工。为了避免此类事件的发生,规定:配方可以保密,但使用者必需知道外加剂的主导化学成份。本文主要介绍了减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂等几种常用的外加剂,主要品种见表1。

表1 常用外加剂的品种及参考掺量

外加剂品种		主要成份及参考掺量
减水剂	普通减水剂	木质素磺酸盐类(0.15%~0.3%):木质素磺酸钠、木质素磺酸镁、木质素磺酸钙及丹宁。
		糖蜜类(0.1%~0.3%):糖蜜、糖钙、糖钠。
	高效减水剂	多环芳香族磺酸盐(0.3%~1.5%):萘和萘的同系磺化物与甲醛缩合物盐类、氨基磺酸盐。
		水溶性树脂磺酸盐类(0.2%~1.5%):磺化三聚氰胺树脂、磺化古玛隆树脂。
		脂肪族类(0.2%~1.2%):聚羧酸盐类、聚丙烯酸盐类、脂肪族羟甲基磺酸盐高缩聚物。
		其他(0.3%~1.5%):改性木质素磺酸钙、改性丹宁、改性栲胶。
	复合减水剂	普通减水剂和高效减水剂的复配产品。
引气剂	引气剂	松香树脂类(0.003%~0.015%):松香热聚物、文松树脂、松脂皂类。
		烷基和烷基芳烃磺酸盐类(0.005%~0.02%):十二烷基磺酸盐、烷基苯磺酸盐、烷基苯酚聚氧乙烯醚。
		脂肪醇磺酸盐类(0.005%~0.02%):脂肪醇聚氧乙烯醚、脂肪醇聚氧乙烯磺酸钠、脂肪醇硫酸钠。
		皂甙类(0.1%~0.25%):皂角素、三萜皂甙。
		其他(0.2%~0.4%):甜菜碱、蛋白质盐、石油磺酸盐。
	引气型外加剂	由各类引气剂与普通减水剂和高效减水剂复配制得的引气型减水剂和引气型高效减水剂。
		由引气剂、缓凝剂和高效减水剂复配制得的引气早强型高效减水剂。
缓凝剂	缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝型减水剂	糖类缓凝剂:葡萄糖、糖蜜、蔗糖、糖钙、糖钠、糖镁等。
		羟基羧酸类高温缓凝剂:酒石酸、柠檬酸、乳酸、酒石酸钾钠、水杨酸、醋酸等。
		无机盐类高温缓凝剂:硼酸盐、磷酸盐、氟硅酸盐、亚硫酸钠、硫酸亚铁、锌盐等。
		木质素磺酸盐类缓凝减水剂:木质素磺酸钙、木质素磺酸钠、木质素磺酸镁等。
		其他:多元醇、胺盐及其衍生物、纤维素、纤维素醚等缓凝剂。
	采用糖类、羟基羧酸类缓凝剂,与减水剂、高效减水剂复配制成的复合缓凝型减水剂、缓凝型高效减水剂。	
早强剂	早强剂	强电解质无机盐类:各种硫酸盐及硫酸复盐、硝酸盐及亚硝酸盐、碳酸盐、硅酸盐、氯盐等。
		水溶性有机物:三乙醇胺、甲酸盐、乙酸盐、丙酸盐等。
		其他:有机化合物、无机盐复合物等。
	采用各类早强剂与普通减水剂、高效减水剂复配制得的早强型减水剂和早强型高效减水剂。	

注:表中未提到的减水剂品种,需经过充分试验研究或专家论证后才可使用。

公路水泥混凝土工程所选定的各种外加剂品种和主要化合物应符合表1的规定,表1中没有规定的外加剂品种需经过充分试验研究或专家论证后才可使用。

1.2 适用范围

减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂在公路水泥混

凝土工程中的适用范围见表2。

1.3 性能指标

由于实际工程中发现不少外加剂的合格品实际上是不合格品,损害了公路水泥混凝土动载结构工程质量和长期使用特性,因此,《公路工程混凝土外

表 2 常用外加剂的品种及适用范围

品 种		适用范围
减水剂	普通减水剂	<p>(1)考虑到公路水泥混凝土本身的结构特点,结合《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003),由于普通减水剂的化合物均为不耐高温的有机物,在蒸养高温的条件下会分解焦化或分解失效,对强度、耐久性等性能产生不利影响。因此规定:普通减水剂不得用于蒸养水泥混凝土构件,可用于日最低气温在5℃以上时施工的水泥混凝土构件。</p> <p>(2)高效减水剂宜用于日最低气温在0℃以上时施工的水泥混凝土构件,适用于制备大流动性水泥混凝土、高强水泥混凝土、高弯拉强度水泥混凝土、高性能水泥混凝土及蒸养水泥混凝土构件。</p>
	高效减水剂	
	复合减水剂	
引气剂	引气剂	<p>(1)在有抗冰冻、抗盐冻、防渗、防泌水要求的素水泥混凝土、钢筋混凝土结构中必须使用引气型外加剂。</p> <p>(2)对于有饰面要求的公路工程水泥混凝土,不宜使用与早强剂、防冻剂复配的引气型外加剂,原因是早强剂、防冻剂对清水混凝土表面的色泽有影响。</p> <p>(3)在严寒和寒冷地区,有抗冰(盐)冻要求且强度要求较高的预应力混凝土、钢筋混凝土的结构和构件中宜选用引气高效减水剂。</p> <p>(4)预应力结构或构件使用引气剂及引气型外加剂时,一般引气剂应考虑弹性模量的下降(折减系数约为0.9~0.95)。当使用高品质的引气剂使弹性模量与抗压强度不降低时,可不予考虑。</p>
	引气型外加剂	
缓凝剂	缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝型减水剂	<p>(1)缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝型减水剂、缓凝型(引气)高效减水剂,于公路水泥混凝土工程在炎热气候条件下使用,当需较长时间或较长距离运输时,是减少和控制坍落度损失的措施;可用于大体积水泥混凝土中缓解水化热、减少施工缝的水泥混凝土;可用于连续浇筑避免出现冷缝的水泥混凝土结构、大跨水泥混凝土桥梁构件;也可用于流态(免振)水泥混凝土、泵送水泥混凝土、预拌商品水泥混凝土、预填骨料水泥混凝土、滑模水泥混凝土及其他需要延缓凝结时间的水泥混凝土。</p> <p>(2)缓凝型外加剂不宜用于日最低气温5℃(日平均气温10℃)以下,有早强要求的公路工程水泥混凝土;不宜单独用于公路工程水泥混凝土、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土及蒸养水泥混凝土构件。</p> <p>(3)羟基羧酸类缓凝剂不宜单独用于公路工程水泥用量很低、水灰比较大的贫水泥混凝土。</p>
	采用糖类、羟基羧酸类缓凝剂与减水剂、高效减水剂复配制成的复合缓凝型减水剂、缓凝型高效减水剂	
早强剂	早强剂	<p>(1)早强剂、早强型减水剂和早强型高效减水剂(通称为早强型外加剂)主要用于公路工程常温施工时有快通早强要求和低温施工的水泥混凝土与钢筋混凝土结构、加快生产效率和模板周转的蒸养水泥混凝土构件、需要提前张拉和放张的预应力混凝土结构和构件。</p> <p>(2)氯盐类早强型减水剂不得用于下列公路工程水泥混凝土结构:预应力钢筋混凝土结构和构件;相对湿度大于80%环境中使用的露天、水淋、水冲刷、水位变动区及暴露在海水中、处于海风环境范围的钢筋混凝土结构和构件;大体积和薄壁钢筋混凝土结构和构件;直接接触酸、碱或其他腐蚀性介质的水泥混凝土和钢筋混凝土结构;有装饰要求的彩色水泥混凝土或有金属装饰表面的水泥混凝土结构;桥梁上部主梁钢筋混凝土结构,承受中、重、超重动载桥梁下部钢筋混凝土结构;集料有碱活性的公路水泥混凝土结构。</p> <p>(3)含有强电解质无机盐类的早强型减水剂不得用于下列公路工程水泥混凝土结构中:有照明和排风设施的隧道钢筋混凝土衬砌;埋置照明线路的桥梁钢筋混凝土结构,使用直流电源以及距离直流电源1 m以内的钢筋混凝土结构;有镀锌钢材或铝铁相接触部位的结构,以及有外露钢筋预埋铁件而无防护措施的结构;海水、卤水及地下水含有酸、碱腐蚀介质中桥墩钢筋混凝土结构。</p> <p>(4)含钾、钠离子的早强剂及其复合早强剂不得用于含有碱活性集料的公路工程水泥混凝土结构。</p> <p>(5)含乙醇胺类的早强型减水剂不宜用于蒸汽养生或干热养生的水泥混凝土构件。</p>
	采用各类早强剂与普通减水剂、高效减水剂复配制得的早强型减水剂和早强型高效减水剂	

加剂》(JT/T 523—2004)规定,用于所有等级公路水泥混凝土结构工程的减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂质量必须满足《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)一等品的各项技术指标。具体指标见“《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》编制介绍”文章中表3。该文章中表3还将高效减水剂的减水率由12%提高到15%,引气型减水剂的减水率由10%提高到12%。

针对公路水泥混凝土结构特点,薄壁结构水泥混凝土的抗裂问题始终是困扰公路行业的一大难

题。《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)中规定的135%的28 d收缩率比对于公路薄壁结构过大,正所谓不用外加剂不裂、一用就裂。因此,针对这项技术指标,指南规定凡掺有引气剂与引气型减水剂的28 d收缩率比 $\leq 120\%$;早强剂与早强型减水剂的28 d收缩率比 $\leq 130\%$ (早强型外加剂实测的28 d收缩率比做不到125%);其他外加剂的28 d收缩率比 $\leq 125\%$ 。在实际工程中,我们使用最好的外加剂仅有108%的28 d收缩率比,一般为115%左右,最大的不大于120%,只有这样才能有效地保证薄壁水泥

混凝土结构在施工期间不干缩开裂。应当指出的是,尽管外加剂有增大干缩导致水泥混凝土开裂的趋势,但其仅仅是结构开裂的众多原因之一,并非所有的薄壁结构开裂都是由外加剂引起的。外加剂的有利方面很多,只要外加剂造成的收缩足够小,再加上抗裂的水泥混凝土配合比设计、积极有效的保湿养生措施等,就能够防治和控制薄壁水泥混凝土结构在施工期间的早期开裂。

鉴于公路水泥混凝土结构抗冻问题的重要性,规定引气剂和复合引气剂的外加剂冻融循环次数不小于200次,其他外加剂的冻融循环次数不小于100次。《公路工程混凝土外加剂》(JT/T 523—2004)此项规定比《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)中的规定要严格,与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100—1999)规定相同。

2 施工应用技术

2.1 原材料技术要求

掺入外加剂的公路工程各种水泥混凝土结构所用原材料,即水泥、砂、石、水,除有特殊要求以外,均应符合现行国家和行业的公路工程水泥混凝土结构原材料标准、规范和规程的相应规定。

2.2 产品准入条件

各类外加剂产品供应商除应向建设、施工和监理单位的(中心)实验室提供足够水泥混凝土室内配合比、性能检验的试验样品及质量复检样品外,还应提供下述文件:

(1)各产品质量说明书,说明产品主要的化合物、厂家自检的水泥混凝土基本物理力学性能、推荐掺量的范围等;

(2)省部、地厅级质检单位或外加剂检验机构提供的产品准入证明,或掺外加剂水泥混凝土的性能报告;

(3)省部、地厅级提供的新产品鉴定证书或国家、省专利局提供的新产品专利证书;

(4)省部、地厅级质检单位或外加剂检验机构提供的产品匀质性检测报告;

(5)产品工程应用实例(必要时);

(6)产品供货保证性文件(大型工程)。

高速公路、一级公路、二级公路的路面、桥面,各等级公路中的特大、大、中型桥梁,以及隧道主体结构,在使用外加剂时,必须提供检验及复检样品,并具备上述所有文件,方可使用。

2.3 适应性检验

各种公路水泥混凝土结构工程使用的外加剂品种,必须首先进行外加剂与水泥的适应性检验,不适应的外加剂不得使用,否则需调换为适应的外加剂品种或使用与外加剂相适应的水泥。其检测方法见指南附录D。当工程所用水泥混凝土中水泥的品种、强度、等级、生产厂变动,或水泥混凝土性能出现变化时,应重新检验外加剂对水泥的适应性。

2.4 技术经济优选

工程在确定使用某种外加剂产品时,应在满足外加剂使用的主要目的前提下,使用施工原材料制作试件,通过不少于3种外加剂产品的性能对比试验,在技术指标满足指南相应品种外加剂的规定后,选用最优或较优者。经济性应选择价格(单位水泥用量 \times 实际掺量 \times 单价=外加剂价格)最低者或较低者。经技术经济综合比较,按性能价格比最优的原则选用外加剂产品,并通过招投标确定一种为使用产品,一种为备用产品。

2.5 溶液配制

可溶解的外加剂应提前1d配制成均匀一致的溶液(特殊外加剂允许以粉剂掺入,但应适当延长搅拌时间),通过搅拌机(楼)的计量装置掺入水泥混凝土中。不同剂种的外加剂复合使用时,应检验其可共溶性及其对水泥混凝土性能的影响,满足要求后,方可使用。

2.6 取样及质检

(1)批量和取样要求:运到工地的外加剂产品,每20t为一批,总量不足20t亦为一批;每一批应于16个不同点取样,每点取样250g,共4000g。将试样充分混合均匀,用4分法分为4等份,其中一份做试验检验;一份密封保存3年,以备有疑问时,交国家规定的检验机构进行复检或仲裁。

(2)全面质量和性能检验:全面性能检验的试验项目及所需数量见表3的规定,试验结果应符合该种外加剂的性能要求,达到外加剂一等品质量指标。使用外加剂的水泥混凝土路面、贫水泥混凝土基层每单位工程(5~10km)或每标段,使用外加剂的特大、大、中型桥梁、互通立交和隧道工程每一分项工程,使用外加剂的每一处大、中型水泥混凝土挡土墙,使用外加剂的每座小桥涵、通道,均不得少于一次全面质量和性能检验。

2.7 施工过程中的质量检验

(1)入库检验:同厂家同品种批量5t或一车为

表 3 外加剂全面质量检验的试验项目及所需数量

试验项目	外加剂类别	试验类别	试验所需数量			
			水泥混凝土 拌和批数	每批取样数目	掺外加剂水泥 混凝土总取样数目	基准水泥混凝土 总取样数目
减水率	除早强剂、缓凝剂、 速凝剂和防水剂外	水泥混凝土 拌和物	3	1 次	3 次	3 次
坍落度	各种外加剂		3	1 次	3 次	3 次
含气量			3	1 个	3 个	3 个
凝结时间差			3	1 个	3 个	3 个
泌水率比			3	1 个	3 个	3 个
抗压强度比	各种外加剂	硬化水泥 混凝土	3	9 或 12 块	27 或 36 块	27 或 36(9 块)
收缩率比			3	1 块	3 块	3 块
钢筋锈蚀			3	1 块	3 块	3 块
抗冻等级	除缓凝剂与高温 缓凝剂外		3	1(6 块)	3(6 块)	3(6 块)

注:(1)试验时,检验一种外加剂的 2 批水泥混凝土应在同一天内完成;(2)试验龄期参照指南中表 4.1.2 试验项目栏;(3)抗冻等级栏中(6 块)仅用于检验防冻剂,抗压强度比栏中(9 块)仅用于防冻剂。

一批;应检验项目包括粉状外加剂的细度和含水量、液体外加剂的密度和 pH 值,外观检验包括色泽均匀性、有无沉淀、表面结皮或内部结块;并应有外加剂质量一等品检验合格证书、厂家和生产日期等。外加剂满足要求后方可入库。

(2)储存:外加剂应分类存放在专用仓库或固定的场所妥善保管,并设明显标志,以便于检查和提货为原则。

(3)施工单位自检验:批量 5 t 或一车为一批;检验项目包括粉状外加剂不溶物含量或含水量、烘干法检测液体外加剂含固量、外加剂加入搅拌机时溶液浓度的 pH 值、水泥净浆流动度和砂浆减水率的其中一项、粉状外加剂每 500 kg 一批检验细度、每一桶或 100 kg 液体外加剂应使用比重计测浓度;检测结果应符合厂家提供的该产品检验合格证书中的数据。

(4)监理抽检:每 20 t 为一批,或水泥混凝土路面每一单位工程和其他公路水泥混凝土结构每一分项工程中,应按施工单位自检要求频率的 25% 抽检,并至少抽检一次。

2.8 外加剂使用单位拒绝验收和退货的依据

(1)在规定的存放条件和有效期限内,经抽检或复验发现外加剂的性能或匀质性指标不满足出厂文件要求。

(2)包装不合格,质量、体积差异大于 2%(粉状

外加剂随机称取 10 包,液体外加剂随机量取 5 桶,称、量取平均值)。

(3)无出厂合格证等技术文件或文件不全,或实物品质与出厂文件不符。

3 常用外加剂施工应用技术

3.1 减水剂

(1)普通减水剂、高效减水剂在施工应用之前应检验 pH 值、密度(或细度)、减水率,符合要求后方可使用。

(2)外加剂的最佳掺量是获得最好的技术效果和经济效果的重要因素。普通减水剂、高效减水剂最佳掺量的确定,必须满足工程环境条件的设计强度、工作性、耐久性及经济性等性能要求,根据供货商提供的推荐掺量,通过试配得到一个合理掺量。如高效减水剂掺量过大,虽然不会引起强度下降,但会造成水泥混凝土严重泌水、水泥浆大量流失,导致密实度不足从而影响强度。

(3)减水剂应配制均匀的溶液。外加剂沉淀的有害作用与外加剂掺量超大是相同的,在实际工程中曾出现搅拌楼外加剂吸管直接吸取了含有高效缓凝型减水剂溶液的事故,造成了水泥混凝土结构 3 d 以上不凝结、28 d 强度严重不足的情况发生。因此,必须每天清除溶液中未能溶解的固体沉淀物。

(4)根据工程的需要,普通减水剂和高效减水剂

可与其他外加剂复配使用。但是,必须注意2种单独可溶解的外加剂,可否混溶在一起不发生絮凝、沉淀、挥发等现象,否则,各自功能将削弱或抵消。所以,不能共混的外加剂不能强行复配在同一溶液中使用,如非使用不可,应单独配制溶液分别加入水泥混凝土中搅拌。

(5)为了解决热天(温度 $\geq 25^{\circ}\text{C}$)施工时掺入高效减水剂水泥混凝土的坍落度损失问题,可采取以下措施:在高效减水剂中掺入与水泥相适应的缓凝剂、高温缓凝剂、保塑剂或缓凝型减水剂以减少坍落度损失,这是应用较广泛、也是最有效的方法;用搅拌车或罐车运输水泥混凝土时,在浇筑现场可二次加入高效减水剂,经快速搅拌均匀后出料,不得多加水,并快速完成浇筑、振捣、饰面等;使用缓凝型的高效减水剂。

(6)养生环节是保证水泥混凝土结构不产生开裂和微裂缝的关键环节,因此,掺普通减水剂、高效减水剂的公路工程水泥混凝土结构,应加强并尽早进行保温保湿养生。不同气温养生时间应符合表4的规定。

表 4 掺普通减水剂、高效减水剂的公路工程水泥混凝土结构不同气温的养生天数

气温/ $^{\circ}\text{C}$	0~10	10~15	15~20	20~25	25 以上
养生天数/d	28	21	14	10	7

(7)掺普通减水剂的水泥混凝土构件不适宜用于蒸养;掺缓凝型减水剂的水泥混凝土构件必须保证静停一段时间后,使水泥混凝土形成一定的结构强度才可蒸养。否则,蒸养后的水泥混凝土很容易产生微裂缝、表面疏松、起鼓、肿胀等现象。掺高效减水剂的水泥混凝土可用蒸养养护。对于公路工程水泥混凝土而言,使用温度不大于 100°C 的常压养护已足够。

(8)对于公路桥梁等工程的预应力混凝土结构或构件而言,其设计强度和等级较高,几乎没有不采用外加剂的,高效减水剂使用得很普遍。由于其放张后应力集中最大的梁端会产生开裂现象,因此,无论

采用先张法、后张法或预应力与非预应力的组合结构,其张拉、放张和孔道灌浆技术等施工细节都应处理好;后张法的孔道浆体灌不满或不密实是目前造成预应力结构返工和浪费最多、最大的原因。掺高效减水剂的公路工程预应力钢筋混凝土结构或构件在张拉、放张时,其工艺必须通过试验来确定。

3.2 引气剂

(1)引气剂应选用表面张力降低值大、水泥稀浆中起泡容量多而细密、泡沫稳定时间长、不溶残渣少的产品。摇泡试验宜在水泥稀浆中进行,原因是在水泥稀浆中的气泡特性与水泥混凝土中的比较相近。

(2)路面、桥面引气水泥混凝土含气量及其允许误差,根据粗集料最大粒径、有无抗冻性要求、有无抗盐冻性要求等情况,应满足表5的推荐值。

表 5 路面和桥面水泥混凝土适宜含气量推荐值 %

最大粒径 mm	水泥混凝土路面 无抗冻性要求	水泥混凝土路面 有抗冰冻性要求	水泥混凝土路面 有抗盐冻要求
16	5.0 \pm 1	6.0 \pm 0.5	7.0 \pm 0.5
19	4.5 \pm 1	5.5 \pm 0.5	6.5 \pm 0.5
26.5	4.0 \pm 1	5.0 \pm 0.5	6.0 \pm 0.5
31.5	3.5 \pm 1	4.5 \pm 0.5	5.5 \pm 0.5

(3)使用引气剂可以有效提高水泥混凝土的弯拉强度及抗拉强度,减少干缩和温度收缩变形量,改善结构抗裂性,同时提高了水泥混凝土的抗渗性。因此规定:淡水、海水、盐碱水位变动区,严寒和寒冷地区处在淡水、地下水冻区内,地处海水、海风环境(离海岸线10 km 范围内)、盐碱水水位变动区,冬季需洒除冰盐、有高抗(盐)冻性要求的公路工程水泥混凝土结构,应在水泥混凝土中掺用引气型复合高效减水剂。其掺量应根据水泥混凝土的含气量要求、通过试验确定,引气剂的掺量通过搅拌机口含气量检测结果反向控制。含气量及其允许误差,应满足表6的规定。当其为60 d 以上龄期方遭遇冰冻或盐冻的,在掺引气型(高效)减水剂的同时,宜加入符合要求的粉煤灰、硅灰、磨细矿渣和膨胀剂,可提高水泥混凝土的密实度和抗渗性。

表 6 掺引气剂、引气型减水剂、引气型高效减水剂和引气缓凝型高效减水剂水泥混凝土的含气量

最大粒径/mm	16	19	26.5	31.5	37.5	45	63
抗冰冻要求的含气量/%	6.0 \pm 0.5	5.5 \pm 0.5	5.0 \pm 0.5	4.5 \pm 0.5	4.5 \pm 0.5	4.0 \pm 0.5	3.5 \pm 0.5
抗盐冻、抗海水冻含气量/%	7.0 \pm 0.5	6.5 \pm 0.5	6.0 \pm 0.5	5.5 \pm 0.5	5.0 \pm 0.5	4.5 \pm 0.5	4.0 \pm 0.5

(4) 针对负温水泥混凝土施工时改善早期抗冻性措施可以从 2 个方面着手:一是加快早期水泥水化,使水泥混凝土尽快达到早期临界强度,如可使用早强剂、减水剂、防冻剂;二是掺入引气剂,缓解冻胀所产生的压力。综合考虑,冬季日平均气温低于 -5°C 或极限最低气温低于 -10°C 地区施工的公路水泥混凝土及钢筋混凝土结构和构件,宜掺用引气剂或引气型减水剂、引气型高效减水剂、引气型(早强、防冻)高效减水剂。其掺量应根据水泥混凝土的含气量要求,通过试验确定。含气量应按表 6 中抗冰冻要求的含气量控制。

(5) 公路工程水泥混凝土配合比计算时,应计入所掺引气剂产生含气量占的体积,或考虑含气量对容重的影响,但水泥用量不得减少;其砂率可比不掺引气剂时降低 $2\%\sim 3\%$ 。

(6) 引气剂的掺量与其他外加剂相比非常小,如松香类和烷基芳烃磺酸盐类的引气剂掺量仅有 $1/10\,000$ 左右;皂角类或甜菜碱类的引气剂掺量也不超过 $0.3\%\sim 0.4\%$ 。因此,引气型外加剂应以溶液稀释掺入水泥混凝土中,溶液中的水量应从拌和水量中扣除。低温下不易溶解的引气剂可使用温水充分溶解后使用。

(7) 引气剂、引气型减水剂、引气型高效减水剂可根据公路工程要求及环境气温与(高温)缓凝剂、早强剂、防冻剂等复合使用,配制溶液时,如产生絮凝或沉淀现象,不得混溶,应分别配制溶液,并分别加入搅拌机内。

(8) 当原材料、配合比、搅拌时间、运输距离、气温等条件变化时,应微调引气剂、引气型减水剂、引气型高效减水剂和引气缓凝型高效减水剂的掺量,保证水泥混凝土结构含气量基本不变化。不得大幅度调整掺量,严禁掺量出错,始终应保持新拌水泥混凝土具备良好的施工可操作性能,达到所要求的密实度及外观质量。

(9) 新拌水泥混凝土的含气量,应在搅拌机(楼)口取样进行现场检测,并应考虑在运输和振捣过程中的损失。对水泥混凝土路面工程应每半天测 2 次,其他公路水泥混凝土结构或构件应每 20 m^3 检测一次。

(10) 引气水泥混凝土结构抗冻性的评价应采用钻芯取一定深度的切片,用气孔显微镜测定硬化水泥混凝土的上下 2 个表面的平均气泡间距系数,其最大值不宜超过表 7 给定的数值。

表 7 公路水泥混凝土结构最大平均气泡间距系数(μm)及钻芯测定深度

环境		高速公路、一级公路		其他公路	
		路面、桥面	桥墩、桥台、桥柱	路面、桥面	桥墩、桥台、桥柱
严寒地区	冰冻	250	275	300	325
	盐冻	200	225	250	275
寒冷地区	冰冻	300	325	350	375
	盐冻	250	275	300	325
测定深度/mm		路面: 0~50	桥面:0~30	桥柱: 0~80	桥墩、桥台: 0~100

注:(1)最大平均气泡间距系数为钻芯测定深度范围内用气孔显微镜测定的上下 2 个表面的平均值;(2)现场取芯法测定水泥混凝土抗冻性的试验方法见《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)附录 F。

(11) 掺用引气剂、引气型减水剂、引气型高效减水剂和引气缓凝型高效减水剂的水泥混凝土,必须采用机械搅拌,装料量均不宜超过额定容量的 85% ;搅拌时间宜比普通水泥混凝土延长 $10\sim 20\text{ s}$ 。运输和浇筑时间不宜过长。采用插入式振捣时,振捣时间不宜超过 $20\sim 30\text{ s}$ 。对桥梁、涵洞、隧道复杂形状或钢筋密布的水泥混凝土结构和构件,保证密实度的振捣时间可适当延长,但不宜超过 45 s 。

3.3 缓凝剂

(1) 热天施工、连续浇筑、泵送等特殊机械工艺下的施工中必须使用缓凝型外加剂,在施工前应检验与所用水泥在该气温下的适应性,优选其适用品种。适应性检测方法见指南中附录 D。当水泥品种、强度、等级、生产厂变动或水泥混凝土性能出现变化时,应重新检验缓凝剂对水泥的适应性。

(2) 缓凝型外加剂的最佳掺量应根据施工要求的水泥混凝土凝结时间、气温、强度等通过试验确定。施工中,当气温变化、运距和运输时间变动时,可微调其掺量,应始终保持拌和物具备良好的施工可操作性,并能达到密实度及外观质量要求。

(3) 缓凝型外加剂应以溶液与拌和水同时掺入拌和物中,粉剂应提前 1 d 在现场配好溶液,并使其充分溶解,搅拌均匀后使用。溶液中的缓凝型外加剂固体沉淀物,必须每天清除一次。严禁使用分层或沉淀的缓凝型外加剂溶液拌制水泥混凝土。外加剂溶液中水量应从拌和加水量中扣除。

(4) 缓凝剂、缓凝型减水剂可与其他外加剂如引气剂、泵送剂、高效减水剂、防水剂等外加剂复合使

用。若复配在一种溶液中,2 种化合物在混合溶液中发生了离子交换反应,产生絮凝或沉淀现象,导致了 2 种或其中一种外加剂功能削弱乃至完全失效,此时,宜采用可混溶的外加剂品种。因条件限制,非掺用不能混溶缓凝剂或其他外加剂不可时,应分别配制溶液,并分别加入搅拌机内。

(5)掺缓凝型外加剂的水泥混凝土保持在塑性的时间较长,表面水蒸发时间较长,当气候炎热及风力较大时,应在触干或变色时立即喷雾或喷洒养生剂保湿养生,并应在终凝以后立即开始浇水养生。当气温较低时,在保湿养生的同时,应加强保温养生,可覆盖深色塑料薄膜和吸热保温材料。不同气温时的养生天数要求应比表4 的规定延长3~5 d,气温在 20℃以上时最少养生天数不应少于 14 d。

3.4 早强剂

(1)公路水泥混凝土工程常用早强剂掺量应符合表8 的规定。表8 中的早强剂为使用了多年,并积累了一定使用经验的种类,掺量为建议掺量,最佳掺量应根据厂家推荐掺量并由试验最终确定。

(2)当掺入的早强剂的掺量大(达5%)或使用的早强剂的溶解度很小时,全部拌和用水都不能将其溶解,允许使用粉剂干掺。为了保持早强剂粉剂在水

表 8 常用早强组分限值

水泥混凝土种类及使用环境		早强组分	掺量/%
预应力混凝土	干燥环境	硫酸钠	≤1.0
		三乙醇胺	≤0.05
钢筋混凝土	干燥环境	氯离子(Cl ⁻)	≤0.6
		硫酸钠	≤2.0
		与缓凝剂减水剂 复合的硫酸钠	≤3.0
		三乙醇胺	≤0.05
	潮湿无氯 环境	硫酸钠	≤1.5
		三乙醇胺	≤0.05
有饰面要求的水泥混凝土		硫酸钠	≤0.8
无筋水泥混凝土		氯离子(Cl ⁻)	≤1.8

泥混凝土中均匀分布,规定在早强剂粉剂掺入水泥混凝土干料中时,应先与水泥、骨料干拌,基本均匀后再加水,并延长加水后搅拌时间 20~30 s。

(3)各类早强剂中的含碱量折算为(Na₂O+0.658K₂O)氧化钠当量,由早强剂带入每 m³ 水泥混凝土中的含碱量,可参照表 9 给出的常用无机盐类早强剂每 kg 含碱量乘以其每 m³ 水泥混凝土外加剂用量(kg)计算确定。

表 9 常用无机盐类早强剂及防冻剂的含碱量

类 别	名 称	化学式	每 kg 物质的含碱量/kg	备 注
早强剂	硫酸钠	Na ₂ SO ₄	0.436	
早强剂、防冻剂	亚硝酸钠	NaNO ₂	0.449	
早强剂、防冻剂	碳酸钾	K ₂ CO ₃	0.448	
早强剂、防冻剂	硝酸钠	NaNO ₃	0.365	
早强剂	硫代硫酸钠	Na ₂ S ₂ O ₃	0.291	
早强剂、防冻剂	氯化钠+硫酸钠	NaCl+Na ₂ SO ₄	0.464	质量比 1:1
早强剂、防冻剂	氯化钠+亚硝酸钠	NaCl+NaNO ₂	0.486	质量比 1:1

(4)公路工程预应力钢筋混凝土结构或构件在使用早强剂时,其张拉、放张时间及程序等,应按同时浇筑相同水泥混凝土制作和养生的试件抗压强度确定。

(5)使用早强剂的水泥混凝土结构应加强保温保湿养生,终凝后立即浇水养生,应使用塑料薄膜覆盖或喷洒养生剂,低温时应使用保温材料覆盖。相同气温时的养生天数可比表4 规定缩短3~5 d;但低温施工时,最少养生天数不应少于 5 d。

(6)使用早强剂、早强型减水剂和早强型高效减

水剂,并有饰面要求的现浇水泥混凝土和蒸养水泥混凝土构件,其养生要求应根据外加剂、水泥品种、浇筑温度等条件通过试验确定。硫酸钠是早强剂的主要原料,掺有硫酸钠早强剂的水泥混凝土在蒸养及失水量较大时,由于溶解于水泥混凝土水中的硫酸钠随水分蒸发向外扩散,在水泥混凝土结构表面析晶,表面会泛白,这层白霜会影响表面装饰层与底层的粘结。因此,有饰面要求和蒸养的水泥混凝土构件应注意表面覆盖,避免水分大量蒸发,且要限制硫酸钠掺量在 1%以内。

4 结语

通过对减水剂、引气剂、缓凝剂、早强剂的品种、适用范围,以及在施工中的应用技术及其储存、包装和退货时应注意问题的介绍,希望广大从事掺外加剂水泥混凝土施工的技术人员及实验检测人员,在施工过程中能依据指南中相关的技术要求,尽量避免由于外加剂的使用失误而给公路工程带来损失,

为提高公路水泥混凝土路面的建设质量共同努力。

参考文献:

- [1] 交通部公路科学研究院. 公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南[S].
- [2] GB 8076—1997, 混凝土外加剂[S].
- [3] JT/T 523—2004, 公路工程混凝土外加剂[S].
- [4] GB 50119—2003, 混凝土外加剂应用技术规范[S].

Application Technology of Ordinary Admixtures for Cement Concrete in Highway Engineering

FU Zhi¹, LI Hong², XIA Ling-ling¹, ZHANG Zi-hua¹, ZHANG Jin-quan¹

(1. Research Institute of Highway of Ministry of Communications, Beijing 100088, China;

2. Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: The category, using range and performance of some ordinary admixtures, such as water reducing admixture, air entraining admixture, set retarder and hardening accelerating admixture are introduced. These admixtures are compiled in “Concrete Admixtures for Highway Engineering (JT/T 523—2004)” and “Technical Guidelines for Applications of Chemical and Mineral Admixtures on Cement Concrete in Highway Engineering” so as to guide the properly use in practical engineering.

Key words: highway engineering; cement concrete; water reducing admixture; air entraining admixture; set retarder; hardening accelerating admixture

钢桥梁电弧喷涂层纳米改性封闭剂研制成功

由浙江省舟山连岛工程建设指挥部与中国矿业大学江苏中矿大正表面工程技术有限公司联合承担的“钢桥梁电弧喷涂层纳米改性封闭剂研制及工艺性能研究”课题,在舟山通过了由浙江省交通厅组织的专家鉴定。鉴定委员会根据项目取得的成果及资讯最新报告,认为该课题研究在国内外具有创新性,其成果总体上达到了国际先进水平,其中将纳米材料用于改性热喷涂封闭涂料技术属国际领先。

舟山大陆连岛工程,是我国公路交通发展史上又一重大建设项目,由五座特大跨径的跨海桥梁及其连接线组成。由于工程所处地理环境恶劣、腐蚀问题尤其突出,对桥梁进行全面的防腐蚀控制是必要的。课题组根据国内外钢桥梁现有防腐涂层体系的特点,将纳米技术与封闭涂料的组合,通过近两年反复的试验研究,终于成功地研制了新型电弧喷涂层纳米改性封闭涂料。经国家认可机构检测,该涂料性能显著优于国内外目前所用的环氧封闭漆。该涂料与环氧中间漆和聚氨酯面漆的配套性好,结合力显著增强,而且有较好的耐久性。课题组设计的“电弧喷铝+纳米改性封闭剂+丙烯酸聚氨酯面漆”涂层体系,综合考虑了涂层综合力、耐腐蚀寿命、装饰性和经济性。经实验数据测算,满足了跨海大桥上部结构长达50年以上的防腐蚀寿命的要求,具有推广应用前景。