

# 公路工程水泥混凝土缓凝剂应用技术

杜天玲<sup>1</sup>, 李红<sup>2</sup>, 傅智<sup>1</sup>

(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:** 为配合交通部 2006 年发布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》的宣贯, 介绍了公路水泥混凝土结构工程中使用的缓凝剂与缓凝型减水剂的主要品种、适用范围和施工技术应用, 期待在公路水泥混凝土工程中正确使用缓凝剂与缓凝型减水剂, 以确保热天施工的水泥混凝土密实度和工程质量。

**关键词:** 公路工程; 水泥混凝土; 缓凝剂; 缓凝型减水剂

随着公路水泥混凝土工程的快速发展, 水泥混凝土外加剂的应用已成为高性能水泥混凝土不可缺少的第五组分, 通过不同的外加剂, 可以使水泥混凝土由新拌时的流变性能到硬化后的力学性能及耐久性得到根本改善和提高。在公路水泥混凝土工程中合理地选择和使用外加剂, 可以提高公路水泥混凝土结构工程质量, 尤其对于质量要求较高的桥梁、隧道、涵洞及路面等工程中的薄壁水泥混凝土结构, 外加剂的使用是非常必要的。

特别是在夏季热天施工的水泥混凝土工程中, 几乎没有不使用缓凝剂的。例如, 滑模摊铺水泥混凝土路面的热天施工, 如果不掺缓凝剂, 运到滑模摊铺机前方的新拌水泥混凝土很快硬化, 螺旋布料器已经输送不动了, 强行摊铺只会造成大面积麻面, 不得不返工、铲掉重铺。又譬如, 为了提高水泥混凝土的质量, 我国在高速公路工程水泥混凝土施工中推行使用搅拌站集中拌和, 用水泥混凝土罐车将新拌水泥混凝土运输到浇筑现场, 不少使用泵送水泥混凝土工艺、运距较远的集中拌和水泥混凝土, 特别是泵送水泥混凝土, 热天施工时, 必须使用缓凝剂、缓凝型减水剂或缓凝型高效减水剂, 否则, 该水泥混凝土将无法振捣密实, 更无法保证其强度等力学性能和耐久性。

缓凝剂是一种延缓新拌水泥混凝土凝结硬化的专用外加剂, 在水泥混凝土工程中的最大用途是延缓初凝时间, 保证新拌水泥混凝土在施工过程中始终处在便于振捣抹面等施工操作的塑性状态。高强水泥混凝土使用高效减水剂时, 不仅热天, 即使在一

般气温下, 坍落度损失也较大, 轻则水泥混凝土泵送不了, 重则水泥混凝土无法振捣密实, 因此, 一般气温下的泵送水泥混凝土, 也必须使用缓凝剂。

众所周知, 水泥是一种高碱性材料, 降低其碱性就可起到缓凝作用, 所以, 一般的酸类均可用作水泥混凝土的缓凝剂。某些普通减水剂, 如木钙、糖钙等, 既具有减水作用, 也具有缓凝作用, 这类缓凝型减水剂复配高效减水剂的效果比复配单纯缓凝剂更好。总而言之, 缓凝剂已经成为一种热天施工水泥混凝土必备的常规外加剂。本文仅对缓凝剂及缓凝型减水剂的主要品种、适用范围, 并结合公路工程水泥混凝土结构施工技术应用等注意事项做详细的介绍。

## 1 缓凝剂的主要品种和分类

缓凝剂主要是抑制水泥水化反应, 使新拌水泥混凝土较长时间保持塑性, 以便顺利完成泵送、浇筑、振捣与饰面等各种水泥混凝土施工工序, 并提高施工效率。从确保施工质量的角度看, 缓凝剂最主要的作用是在热天延长新拌水泥混凝土的初凝时间, 防止过大的坍落度损失。新拌水泥混凝土使用缓凝剂, 是热天确保其振捣密实度最重要的施工手段和技术措施之一。

缓凝剂主要分为有机和无机 2 大类, 具体品种和化学成份见表 1。

## 2 缓凝剂及缓凝型减水剂的适用范围

在公路水泥混凝土工程中, 缓凝剂主要用于水



表 1 缓凝剂的品种及其化学成份

种类	化学成份	
有机类	糖类	葡萄糖酸盐、糖蜜、蔗糖、糖钙、糖钠、糖镁等。
	羟基羧酸(盐)类	酒石酸、柠檬酸、乳酸、水杨酸、醋酸、酒石酸钾钠等。
	木质素磺酸盐类	木质素磺酸钙、木质素磺酸钠、木质素磺酸镁等。
	多元醇、胺盐及其衍生物、纤维素、纤维素醚等缓凝剂。	
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。	
复合缓凝 高效减水剂	缓凝剂与高效减水剂复配。	

混凝土结构工程热天施工控制坍落度损失,解决混凝土结构连续浇筑、降低混凝土水化热、泵送、滑模等特殊机械工艺下的施工质量难题。

(1)在炎热气候条件下,为减少和控制混凝土施工过程中的坍落度损失、延缓混凝土凝结时间,可掺入缓凝剂。依据水泥水化动力学,混凝土拌和物的温度由 20℃ 提高到 30℃ 时,温升值增大 10℃,水泥的水化反应将加快 1 倍,混凝土凝结硬化加速,从而影响到新拌混凝土各项可施工性能;加入缓凝剂后,延迟水泥的水化反应,施工中有充分的时间满足较长距离的运输或特殊机械工艺的施工,保证了混凝土的振捣密实度和施工质量。自流平免振混凝土、泵送混凝土、钢管混凝土、预拌商品混凝土、预填集料混凝土、滑模混凝土、拉模施工的混凝土及其他需要延缓凝结时间的混凝土都可掺入缓凝剂。在推荐掺量范围内,柠檬酸延缓混凝土凝结的时间一般约 8~19 h、氯化锌延缓约 10~12 h、糖蜜延缓约 2~4 h、木钙延缓约 2~3 h。

(2)为缓解水化热温度裂缝和减少温控费用,大体积混凝土中可掺入缓凝剂。缓凝剂的缓凝机理主要是抑制水泥中的  $C_3A$  和  $C_3S$  水化反应,从而使水泥的水化放热峰时间推迟,降低其早期水化热,从而可以缓解大体积混凝土工程施工时早期水化热较高引起的温度裂缝。但要注意:缓凝剂只能消减水泥水化放热的峰值,延长放热峰值出现的时间,使放热过程拉长、剧烈的放热温升过程线更加平缓,当混凝土达到相同强度时,即混凝土水化深度相同时,总放热量并不能减小。因此,大体积混凝土不可能仅靠使用缓凝剂来彻底解决水化热引起的开裂问题,必须辅助其他的降温措施。

(3)热天施工的隧道衬砌、桥(涵)面铺装、碾压

水泥混凝土、路面等薄壁混凝土应掺入缓凝剂。

(4)连续浇筑避免出现冷缝的混凝土结构、大跨径桥梁构件中的混凝土应掺入缓凝剂。

(5)缓凝型高效减水剂可制备高性能混凝土以及高性能混凝土路面。仅掺减水剂的混凝土,虽然可得到低的水灰比、较高的抗压强度和弯拉强度,但其坍落度的损失也较大;复配缓凝剂后可延缓坍落度的损失速率,使混凝土在施工所需的时间内具有良好的流动性、可泵性和可浇筑性,提高了浇筑、泵送或摊铺混凝土结构的密实性、平整度及外观质量。同时,缓凝型减水剂可延长混凝土凝结时间,降低硬化过程中水泥水化时的放热速度,一定程度上避免了温度应力引发的混凝土裂缝,具有较好的抗裂性,从而具有较好的抵抗动载能力。

(6)缓凝型减水剂不宜用于日最低气温为 5℃ (日平均气温为 10℃) 以下的低温施工混凝土,不宜单独用于有早强要求的快通混凝土、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土及蒸养混凝土构件。

(7)羟基羧酸类缓凝剂不宜单独用于公路工程中水泥用量很低、水灰比较大的贫混凝土。羟基羧酸类缓凝剂(如柠檬酸、酒石酸钾钠等)用于水泥用量很低、水灰比较大的贫混凝土时,除了缓凝作用外,同时也增大贫混凝土泌水、离析现象,和易性、粘聚性降低,水泥浆的流失较严重,导致其密实度不足、抗渗性和强度下降。因此,在贫混凝土中不宜单独使用羟基羧酸类缓凝剂。

### 3 缓凝剂及缓凝型减水剂的施工应用技术

#### 3.1 外加剂的适应性检验

公路混凝土工程选用外加剂时应首先做适应性检验。掺用含有糖类及木质素磺酸盐类物质的缓凝型减水剂的混凝土施工前,应检验与所用水泥在该气温下的适应性,合格后方可采用。缓凝型减水剂与水泥的化学定性不适应,主要来自作为水泥调凝剂的石膏种类。当使用二水石膏做调凝剂时,其凝结正常。当所使用的水泥调凝剂为除二水石膏以外的各种石膏变种,如硬石膏、半水石膏、脱水石膏、氟石膏、萤石膏、磷石膏、工业废渣石膏等,会产生假凝现象。采用标准稠度的水泥净浆即可定性检验外加剂与所用水泥的化学适应性,其检验方法参见《公路工程混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》附录 D。



缓凝型减水剂除了水泥调凝剂所用的变种石膏带来的定性不适应问题外,在大多数情况下,还有定量不适应问题。定量不适应是指缓凝型减水剂所带来的缓凝时间和减水率远不及基准水泥制作的缓凝水泥混凝土,其主要原因来自于所用水泥中的铝酸三钙含量偏高。铝酸三钙具有对外加剂强烈的吸附作用。定量的不适应性可以通过提高缓凝型减水剂掺量来解决,解决不了,再更换外加剂或水泥。定量的不适应性应通过所用的水泥与基准水泥所配制的水泥混凝土初凝时间和减水率试验来进行检验和甄别,也可通过外加剂厂家用基准水泥混凝土试验所提供的产品减水率与现场水泥混凝土的减水率差值来发现。一般,减水率差值超过3%,即表明该缓凝型减水剂与所用水泥存在定量不适应问题。如果这个差值影响到了水泥混凝土强度及其他力学性能,就应该采取相应的技术措施解决之。

3.2 缓凝剂的掺法和最佳掺量

缓凝型外加剂应以溶液与拌和水同时掺入拌和物中,溶液中的水量应从拌和水中扣除;粉剂在现场配制溶液时,应提前1 d配好,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,必须及时清除。严禁使用分层或已沉淀的缓凝型外加剂溶液拌制水泥混凝土。难溶、不溶物含量较多或常温溶解度较低的缓凝剂可采用干掺法,并延长搅拌时间30 s。缓凝型外加剂可与其他外加剂,如引气剂、泵送剂、防水剂等,复合使用。若复配溶液产生絮

凝或沉淀现象,应分别配制,分别加入。

使用缓凝型外加剂施工时,应根据现场气温或水泥混凝土拌和物温度、凝结时间、运距、停放时间、强度等选择适宜的品种,并确定最佳掺量。最佳掺量为通过各项性能试验优选出的满足具体工程全部使用要求的掺量,一般不大于该外加剂的饱和掺量。最佳掺量是在厂家推荐掺量的范围内,按照本工程结构的具体要求,通过不同掺量的对比试验得出的适合本工程施工环境、工艺、原材料、配合比和结构类型等条件的掺量。当条件改变时,最佳掺量应另行试验优选。常用的缓凝剂和缓凝型减水剂的掺量(按水泥重量的百分数计):密糖类掺量为0.1%~0.3%;木质素磺酸盐类为0.2%~0.3%;羟基羧酸及其盐类为0.03%~0.1%;无机缓凝剂为0.1%~0.2%

3.3 掺缓凝剂和缓凝型减水剂水泥混凝土的性能要求

公路水泥混凝土结构工程中掺缓凝剂和缓凝型减水剂水泥混凝土的性能要求应符合表2的规定,具体试验方法参见《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》。使用缓凝型外加剂的计量必须正确。缓凝剂和缓凝型减水剂的掺量差别较大,一定不可将掺量数量级搞错,施工中已经出现多起由于缓凝型减水剂掺量差一个数量级(10倍)而水泥混凝土几天或1周都不凝固的事故。尽管该水泥混凝土最终会凝结硬化,但由于缓凝剂掺量超过太多,缓凝时间过长,水泥混凝土即使有强度,其最终强度已经无法满足结构的设计强度要求,不得不返工重做。

表2 掺缓凝剂水泥混凝土的性能要求

缓凝剂种类		缓凝剂	高温缓凝剂	缓凝型减水剂	缓凝型高效减水剂	引气缓凝型高效减水剂
减水率/%		—	≥6	≥8	≥15	≥18
泌水率比/%		≤100	≤95	≤100	≤100	≤70
含气量/%		—	≤2.5	≤4.5	≤5.5	≥3.0
凝结时间差/min	初凝	>+90	+300~+480	>+90	>+90	>+90
	终凝	—	≤+720	—	—	—
抗压强度比/%	1 d	—	—	—	—	—
	3 d	≥90	—	≥100	≥125	≥115
	7 d	≥95	≥90	≥110	≥125	≥110
	28 d	≥100	≥100	≥110	≥120	≥105
弯拉强度比/%	7 d	—	—	—	—	—
	28 d	≥100	≥100	≥105	≥115	≥115
收缩率比/%	28 d	≤125	≤125	≤125	≤125	≤120
磨耗量/(kg/m <sup>3</sup> )	28 d	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
冻融循环次数/次		—	—	—	≥100	≥200
碱含量/%		测定值(以水泥混凝土总碱量不超过3.0 kg/m <sup>3</sup> 控制)				
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀危害				

注:(1)表2所列减水率、泌水率比、凝结时间差、抗压强度比、弯拉强度比、收缩率比的数据为掺外加剂受检水泥混凝土与基准水泥混凝土差值或比值;(2)冻融循环次数应满足相对动弹性模量值≥80%时的最大循环次数,有抗冻要求时应检验冻融循环次数,无抗冻性要求时此项免检;(3)凝结时间指标的“—”表示提前,“+”表示延缓;(4)弯拉强度比、磨耗量为路面水泥混凝土要求的检项。



施工中当气温变化、运距和运输时间变动时,可微调其掺量,应始终保持水泥混凝土拌和物具备良好的施工操作性,并能达到规定的密实度及外观质量等要求。

### 3.4 掺缓凝型外加剂水泥混凝土的养生

当气候炎热及风力较大时,掺缓凝型外加剂的水泥混凝土保持在塑性状态的时间较长,表面水分蒸发时间也加长,在气候炎热、风力较大或蒸发率较大时,更容易产生塑性收缩开裂,低水胶比的高性能水泥混凝土还易产生自身体积收缩裂缝。因此,在水泥混凝土浇筑、振捣后应及时多遍抹压,并应在水泥混凝土表面硬化或变色前立即喷雾或喷洒养生剂保湿养生,水泥混凝土终凝后应立即开始浇水养生;当气温较低时,在保湿养生的同时,应加强保温养生,可覆盖保温保湿养生膜、深(黑)色塑料薄膜和吸(蓄)热保温材料。不同气温时的养生天数要求应比掺普通减水剂或高效减水剂的公路工程水泥混凝土的养生天数(见表3)延长3~5 d,气温在20℃以上时最少养生天数不应少于14 d。

表3 不同气温时的保温保湿养生时间

气温/℃	0~10	10~15	15~20	20~25	25以上
养生天数/d	28	21	14	10	7

### 4 结语

在现代水泥混凝土工程施工中,缓凝剂和缓凝型减水剂的使用越来越普遍,其在水泥混凝土中掺量虽很少,但对热天施工的水泥混凝土工作性能影响很大。缓凝剂是配合滑模摊铺、连续浇筑、泵送、大体积水泥混凝土施工等先进施工工艺必不可少的一类外加剂品种,缓凝剂的过量使用会造成水泥混凝土的严重缓凝,还会降低水泥混凝土后期强度,造成工程质量事故。本文的目的是指导公路工程技术人员合理地选择和使用缓凝剂和缓凝型外加剂,达到其预期的使用效果:改善热天浇筑水泥混凝土的工作性能,从而确保水泥混凝土结构的密实度、强度等力学性能,确保平整度等表观质量及耐久性。

### 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] JTG F30—2003, 公路水泥混凝土路面施工技术规范[S].
- [3] JT/T 523—2004, 公路工程混凝土外加剂[S].
- [4] GB 8076—1997, 混凝土外加剂[S].
- [5] DL/T 5100—1999, 水工混凝土外加剂技术规程[S].
- [6] JC 473—2001, 混凝土泵送剂[S].
- [7] JC 477—2005, 喷射混凝土用速凝剂[S].
- [8] GB 50119—2003, 混凝土外加剂应用技术规范[S].

## Application Technology of Set Retarder Admixture for Cement Concrete in Highway Engineering

DU Tian-ling<sup>1</sup>, LI Hong<sup>2</sup>, FU Zhi<sup>1</sup>

(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, application technology of set retarder admixture and retarding and water-reducing admixture are mainly introduced. These admixtures are compiled in “Technical Guidelines for Applications of Chemical and Mineral Admixtures on Cement Concrete in Highway Engineering” issued by the Ministry of Communications in 2006 so as to guide the properly use in hot weather construction and guarantee the density of concrete and engineering quality.

**Key words:** highway engineering; cement concrete; set retarder; retarding and water-reducing admixture