

文章编号: 0451-0712(2006)04-0032-08

中图分类号: U214.18; TU528.042

文献标识码: A

公路工程水泥混凝土泵送剂应用技术

张子华¹, 李红², 傅智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: 随着公路水泥混凝土结构工程中机械化程度的提高, 泵送剂的使用越来越普遍, 用量越来越多, 就此介绍了交通部2006年颁布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》中泵送剂的应用技术, 目的是为用好泵送剂, 并防止使用中不应有的质量问题。

关键词: 公路工程; 水泥混凝土; 泵送剂; 应用技术

目前, 水泥混凝土施工的机械化程度越来越高, 对于大跨、高耸、管壁、大体积公路工程水泥混凝土结构, 水泥混凝土的浇筑一般采用泵送工艺, 利用压力泵通过管道将水泥混凝土拌和物浆体直接输送到模板中。它不仅能够加快施工进度、缩短工期, 而且对于改善施工条件、保护环境、提高施工质量匀质性都具有非常重要的作用。尤其对于公路工程中一些特殊的结构, 水泥混凝土的泵送工艺更是不可或缺, 如钢管混凝土拱桥, 要使钢管内的水泥混凝土充填密实, 必须使用水泥混凝土的泵送工艺。

由于水泥混凝土在泵送过程中必须保持良好的流动性, 不堵塞管路, 同时还要具有良好的粘聚性和抗离析性, 普通水泥混凝土拌和物很难满足这些要求, 因此必须掺入一定的助泵外加剂。水泥混凝土泵送剂就是使水泥混凝土拌和物具有顺利通过输送管道、不堵塞、不离析、保持良好粘聚性的一种外加剂, 它是为了适应快速、文明施工的水泥混凝土泵送工艺而开发使用的一种专用外加剂。国外泵送剂的使用已经有很长时间, 国内泵送剂在水利、建筑等行业也已经广泛应用。随着公路工程建设规模的增大和机械化施工程度的提高, 泵送剂在公路水泥混凝土工程中也必将得到更广泛的使用。

在公路水泥混凝土结构中使用泵送水泥混凝土, 最大和最经常出现的问题: 一是堵管, 或泵送压力过大, 泵送不到所需要的结构部位; 二是公路工程水泥混凝土结构与其他行业不同的是绝大多数是薄壁结构, 例如箱梁、T梁、薄壁桥墩、薄壁挡土墙、水

泥混凝土路面等均为薄壁结构, 而泵送水泥混凝土若掌握不好, 这些薄壁结构经常会产生开裂现象, 影响结构的使用寿命或根本就不能使用。因此, 在公路行业中普及使用泵送剂和泵送水泥混凝土的技术, 必须在《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》(简称指南)的指导下正确地使用, 以防止出现泵送水泥混凝土时泵不动或开裂等问题。

在公路工程中, 泵送水泥混凝土主要应通过正确使用泵送剂, 解决泵不动要求拌和物流动性更大、砂浆总量更多与防止薄壁结构开裂要求砂浆总量更小的工艺矛盾。首先是调整水泥用量及砂浆总量, 再加上泵送剂, 将相互矛盾的技术要求综合协调到既能顺畅地泵送、又不导致薄壁结构开裂的适宜水平。

为便于广大公路工程技术人员掌握泵送剂的技术内容和使用要求, 规范泵送剂在公路工程中的合理应用, 提高工程质量, 本文结合交通部公路司2006年新发布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》中有关泵送剂的内容, 对应用于公路工程的泵送剂有关技术控制指标进行简要介绍。

1 常用泵送剂种类、性能

泵送剂首要的是应具备良好的可泵性, 所谓可泵性, 就是水泥混凝土拌和物具有顺利通过输送管道、不堵塞、不离析、粘聚性良好的性能。泵送剂必须在较长的时间内保持拌和物具有较高的坍落度, 具备足够的缓凝时间、优良的粘聚性和抗离析性, 以利于顺畅泵送施工。

1.1 公路水泥混凝土结构工程常用泵送剂种类

(1)保水增稠剂:①水溶性树脂类,如聚乙烯醇、纤维素醚、水溶性淀粉等;②聚合物电解质类,如碱性聚乙烯吡啶等;③丙烯酸类,如酸性聚甲基丙烯酸盐、聚丙烯酸盐;④纤维素类,如羧甲基羟乙基纤维素、羧甲基纤维素等;⑤蛋白质类,如两性水解蛋白质、明胶等。

(2)助泵剂:高细度矿物掺合料,如硅灰、磨细粉煤灰和磨细矿粉等。

(3)(高效)减水剂、引气剂、缓凝剂。

(4)上述保水增稠剂、助泵剂、(高效)减水剂、缓凝剂、引气剂复配的泵送剂。

1.2 泵送剂的性能要求

(1)掺泵送剂水泥混凝土的技术指标应符合表1的规定,泵送剂检验项目及所需数量应符合表2的规定。在《混凝土泵送剂》(JC 473—2001)中,泵送剂质量有一等品和合格品之分,指南规定公路工程只能使用一等品,表2中仅有一等品的数据,这与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100—1999)规定相同。

表1 掺泵送剂水泥混凝土的技术指标

项目	坍落度增加值 mm	常压泌水率比 %	压力泌水率比 %	含气量 %	坍落度保留值 mm		抗压强度比 %			收缩率比 %
					30 min	60 min	3 d	7 d	28 d	28 d
性能指标	≥100	≤90	≤90	≤4.5	≥150	≥120	≥90	≥90	≥90	≤120

注:(1)应说明对钢筋无锈蚀作用,并给出碱含量测定值,以便计算水泥混凝土总碱量;(2)无引气剂时冻融循环次数为100次,有引气剂时冻融循环次数为200次。

表2 泵送剂全面质量检验的试验项目及所需数量

试验项目	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
坍落度增加值	水泥混凝土拌和物	3	1次	3次	3次
常压泌水率比					
压力泌水率比					
含气量					
坍落度保留值	硬化水泥混凝土	3	9块	27块	27块
抗压强度比					
收缩率比					
抗冻等级					
钢筋锈蚀	新拌或硬化砂浆		1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)冻融循环次数在有抗冻要求时检验,工程使用场合无抗冻要求时可不检验。

(2)泵送剂产品的匀质性检验项目及技术指标 应满足表3的要求。

表3 泵送剂的匀质性检验项目及技术指标

项次	试验项目	匀质性指标
1	含固量	对液体外加剂,应在生产厂控制值相对量的±3%之内。
2	含水量	对粉状固体外加剂,应在生产厂控制值相对量的±5%之内。
3	密度	液体外加剂,应在厂家所控制值的±0.02 g/ml之内。
4	细度	粉状外加剂,全部通过0.315 mm筛孔。
5	氯离子含量	应在厂家所控制值相对量的5%之内。
6	总碱量(Na ₂ O+0.658K ₂ O)	应在生产厂控制值相对量的5%之内。
7	水泥净浆流动度	不应小于生产控制值的95%。

2 泵送剂的工程应用

2.1 适用范围

泵送剂适用于使用水泥混凝土泵输送的下述公路工程水泥混凝土：(1)商品水泥混凝土、现场搅拌水泥混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土；(2)挡土墙水泥混凝土、桥涵结构水泥混凝土、钢管混凝土、隧道衬砌水泥混凝土；(3)公路工程中的特种水泥混凝土，如膨胀水泥混凝土、护筋水泥混凝土、补偿收缩水泥混凝土等。

泵送剂是为适应快速、文明施工的水泥混凝土泵送工艺而使用的一种专用外加剂类型。由于水泥混凝土泵送工艺使用越来越普遍，所以泵送剂的使用量也越来越大。只要是使用水泥混凝土泵送工艺施工的公路工程桥梁、路面、隧道、交通工程设施的水泥混凝土，钢管混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土结构及构件，水下灌注桩水泥混凝土等，都可以使用泵送剂。

其中公路钢管拱桥的压力泵送，是一种特殊情况，钢管既是泵送管又是永久结构，要使大型拱桥钢管内水泥混凝土灌满灌实，除了应使用泵送剂外，还需同时掺用减水剂、(超)缓凝剂、膨胀剂或粉煤灰等。所以，钢管混凝土的泵送除了满足本章规定外，一般还需要通过专门的试验论证。

泵送轻骨料水泥混凝土时，由于轻骨料的上浮离析，较难于泵送，因此，指南所规定的泵送剂条款，原本并不包括轻骨料水泥混凝土。但桥梁工程上泵送轻骨料水泥混凝土的实践证明，只要不是超轻骨料，一般轻骨料水泥混凝土的泵送，本文所列泵送水泥混凝土施工要求也适用，只是轻骨料密度与强度要求不同，轻骨料与普通砂的组合级配相同。

由于泵送水泥混凝土流动性要求很大，坍落度高，难于压低水灰比，一般仅适用于C60强度等级以下的水泥混凝土。C60以上的高强水泥混凝土泵送，需要超塑化剂及优质掺合料等配合使用。

2.2 泵送水泥混凝土原材料和配合比

泵送水泥混凝土的原材料要求和配合比设计是泵送水泥混凝土的关键技术，水泥混凝土可否顺利地被泵送成功，将取决于原材料选择和配合比设计。水泥混凝土能够被成功顺畅地泵送的核心问题，是对拌和物在泵内工作原理及管道内输送机理的正确理解和认识。水泥混凝土泵的工作是间歇式往复压力推进方式，由逆止阀在开启时压送水泥混凝土、关闭时阻止水泥混凝土回流。逆止阀在泵送水泥混凝土

时，在不断开闭往复的运动当中，需保证逆止阀的开启、闭合运动不能被水泥混凝土骨料所卡住。水泥混凝土拌和物在泵管中被压力输送时，是中心无相对运动的水泥混凝土核心，为周壁被水泥浆或砂浆润滑层包裹着的柱塞流动体。

2.2.1 原材料

(1)水泥混凝土的凝结时间。水泥混凝土的凝结时间应符合相关国标的规定。泵送水泥混凝土必须是缓凝的水泥混凝土，水泥混凝土绝不可硬化在泵及管道内，所以能够使水泥混凝土促凝和闪凝的硬石膏、半水石膏、脱水石膏、氟石膏、萤石膏、工业废渣石膏等不可作为调凝剂，至少应保证水泥混凝土具有正常的凝结时间。在较高气温施工时，一般应在泵送水泥混凝土中掺用缓凝剂。

(2)粗集料。粗集料的质量应符合《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001)的规定，并应采用连续级配，某些间断级配有堵管的可能。泵送水泥混凝土管径必须与粗集料最大粒径相适应，特别是在弯管处及逆止阀内，不能卡管或卡泵。即应严格控制泵送水泥混凝土最大粒径与管径之比，防止泵送水泥混凝土时管道被堵塞。针片状颗粒直接影响逆止阀的运动，对可泵性影响很大，故需控制其含量不宜大于10%。

①泵送高度、粗集料最大粒径(方孔筛)及其与输送管管径之比应符合表4的规定。

表4 泵送水泥混凝土泵送高度、粗集料最大粒径及其与输送管管径之比

泵送高度/m	最大粒径与输送管管径之比	最大粒径/mm
<50	碎石不宜大于1:3	不得大于31.5
	卵石不宜大于1:2.5	不得大于37.5
50~100	碎石不宜大于1:4	不得大于26.5
	卵石不宜大于1:3	不得大于31.5
>100	碎石不宜大于1:5	不得大于19.0
	卵石不宜大于1:4	不得大于26.5

②不同最大粒径的最佳级配可按图1~图4选用。

③泵送水泥混凝土输送管管径与粗集料最大粒径(方孔筛)的关系见表5。

(3)细集料。细集料应符合《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)的规定，并应采用中砂。通过0.30 mm筛孔砂含量不宜少于15%，且不大于30%；通过0.15 mm筛孔砂含量不宜少于5%。泵送水泥混凝土要保证在泵管内流动起来，必须提供可润滑管内壁

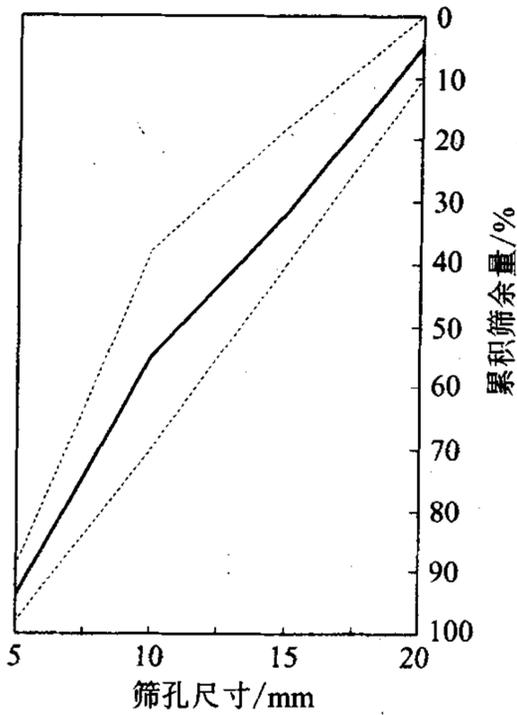


图1 5~20 mm 粗骨料最佳级配

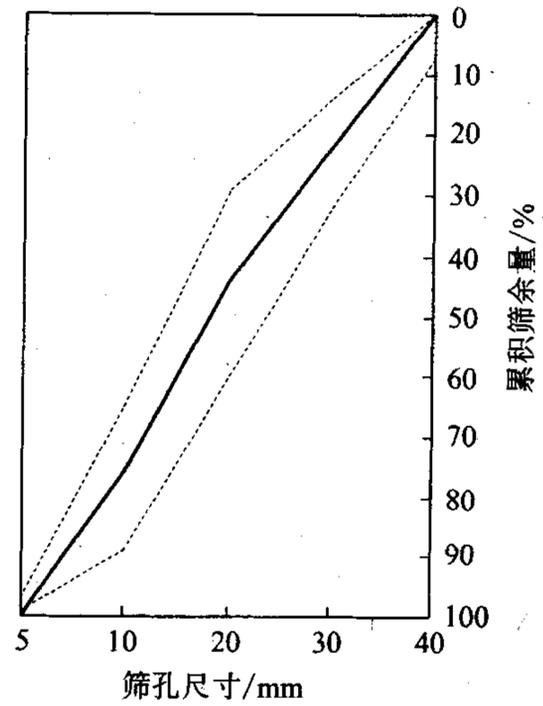


图4 5~40 mm 粗骨料最佳级配

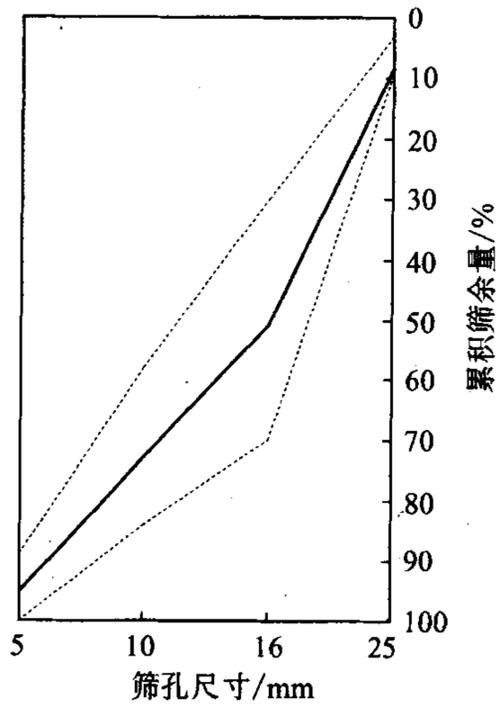


图2 5~25 mm 粗骨料最佳级配

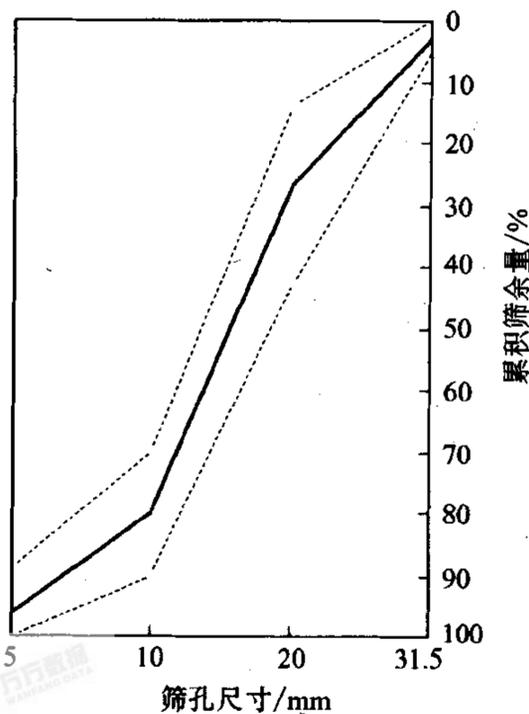


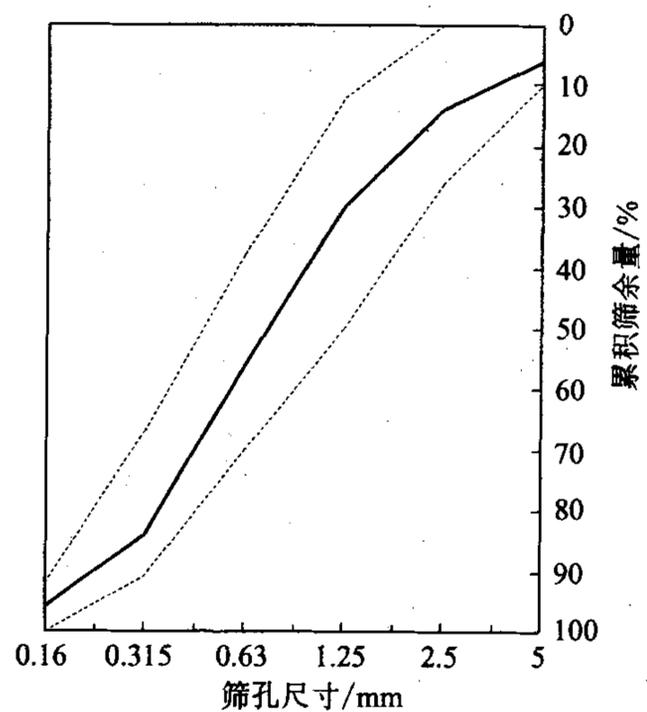
图3 5~31.5 mm 粗骨料最佳级配

表5 水泥混凝土输送管管径与粗骨料最大粒径的关系

粗骨料最大粒径/mm		输送管最小管径/mm
卵石	碎石	
26.5	19	100
31.5	26.5	125
37.5	31.5	150

的砂浆,细集料宜采用最适宜泵送的中砂,通过0.30 mm筛孔的粉细砂份量不可缺少,故规定不应少于15%;细集料的级配要好。

泵送水泥混凝土所用的细集料最佳级配曲线应符合图5的要求。



注:(1)粗实线为最佳级配线;(2)2条虚线之间区域为适宜泵送区;(3)细骨料最佳级配区宜尽可能接近2条虚线之间范围的中间区域。

图5 细骨料最佳级配

(4) 泵送水泥混凝土宜掺适量粉煤灰。粉煤灰的品质应符合 I、II 级灰的技术要求, 粉煤灰掺量应通过泵送水泥混凝土试拌和试泵试验确定。如需使泵送水泥混凝土流动起来, 就需要足够数量的水泥浆提供润滑性, 人们又不希望因泵送水泥混凝土工艺而使用过大的水泥用量, 一种便捷而有效的解决办法是掺适量的粉煤灰。I、II 级粉煤灰具有较多的微珠玻璃球, 被规定使用; III 级灰含碳量过高, 吸水量大, 坍落度损失快, 不利于泵送, 一般不得使用。泵送水泥混凝土使用“双掺”技术, 不仅有利于泵送, 而且能通过掺粉煤灰节省水泥。粉煤灰掺量应通过泵送水泥混凝土试拌、泵送、力学及耐久性能试验最终确定。

2.2.2 配合比

(1) 保证泵送水泥混凝土的可泵性。配合比除应满足水泥混凝土设计强度和耐久性要求外, 必须满足可泵性要求。泵送水泥混凝土是有压流体, 其配合比必须满足水泥混凝土可泵性工艺要求。这是泵送水泥混凝土配合比与其他水泥混凝土的显著区别。保证泵送水泥混凝土的可泵性, 就是应保证其在压力输送下不离析、不泌水。压力泌水率必须测量, 可泵性的控制应采用压力泌水试验结合泵送经验进行, 一般 10 s 时的相对压力泌水率不宜超过 40%。

(2) 泵送剂品种及掺量的优选。泵送剂品种及掺量的优选应根据试拌试泵确定。泵送水泥混凝土坍落度和可泵性应根据运输距离、泵送机械、输送管径、泵送距离、气温等现场试泵确定。泵送水泥混凝土配合比可泵与否与泵机选择、管道配置关系重大, 虽可通过计算确定, 但现场试泵是水泥混凝土配合比最终可泵性的评判依据。因此, 应通过工程施工现场实地试泵, 最终确定满足泵送要求的水泥混凝土配合比。

(3) 泵送坍落度。泵送坍落度应按不同的泵送高度参照表 6 选用。最小坍落度不宜小于 100 mm。掺粉煤灰和木质素磺酸钙减水剂的坍落度经时损失值宜参照表 7 确定。入泵时过低的坍落度及其过快的损失, 都将使拌和物流动性劣化, 造成泵送的困难, 并有堵塞泵管的风险, 最终导致无法泵送。因此, 必须规定不同的泵送高度与入泵输送时的最小坍落度, 且不宜小于 100 mm (这是使用普通泵的规定, 目前开发的高性能泵, 有的可泵送坍落度仅 50 mm 的水泥混凝土)。按不同气温, 表 7 规定了泵送水泥混凝土坍落度最大经时损失值。

表 6 不同泵送高度入泵时水泥混凝土坍落度选用值

泵送高度/m	30 以下	30~60	60~100	100 以上
坍落度/mm	100~140	140~160	160~180	180~200

表 7 泵送水泥混凝土坍落度经时损失值

大气温度/℃	10~20	20~30	30~35
1 h 坍落度损失值 (掺粉煤灰和木质素磺酸钙)/mm	5~25	25~35	35~50

注: 掺粉煤灰与其他外加剂时, 坍落度经时损失值应通过试验确定, 但不宜大于表 7 的规定值。

(4) 最小胶材总量。泵送水泥混凝土最小胶材总量不宜小于 300 kg/m³, 有抗(盐)冻性要求的水泥混凝土结构不宜小于 320 kg/m³。过小的胶材总量, 粗细集料表面包裹不住, 则拌和物过于粗涩, 用于润滑管壁的浆体不足, 也流动不畅, 难于泵送。若因工程结构的强度要求, 泵送胶材总量很低的水泥混凝土时必须仔细研究其配合比和泵送工艺。根据目前国内外的泵送工程实践, 250 kg/m³ 是极限最小胶材总量。

(5) 水灰(胶)比。实践证明: 适宜泵送的水泥混凝土水灰(胶)比经验值在 0.45~0.60 之间, 小于 0.45 时泵送压力将急剧上升, 大于 0.60 时水泥混凝土易离析、可泵性差。有抗(盐)冻性要求时, 水灰(胶)比一般不宜大于 0.50。从泵送水泥混凝土原理上讲, 适宜泵送的水泥混凝土流动度只有合适稠度的水泥浆才能提供。最小 0.45 的水灰(胶)比, 对高性能水泥混凝土而言是偏大的。这是在使用普通缓凝型减水剂基础上得出的结论, 若使用缓凝型高效减水剂或缓凝型引气高效减水剂时, 满足泵送流动性的水灰(胶)比可以再压低, 按目前高性能水泥混凝土的工程实践, 水灰(胶)比为 0.35 基本是现有外加剂所要求的极限最小值。

(6) 砂率。砂率宜为 36%~46%。公路工程薄壁结构的水泥混凝土宜取保证泵送性能的偏低砂率。泵送水泥混凝土配合比最显著的特征是满足泵送流动性时必须使用高砂率, 按泵机和输送管道的工作原理, 是靠饱和水泥浆和足够数量的砂浆提供粘聚性和管壁润滑, 因此, 砂率宜为 36%~46%。保持足够高的砂率, 特别是砂中粒径小于 0.30 mm 颗粒的含量, 是保证顺利泵送的重要措施。但是, 高砂率的水泥混凝土, 尽管满足了泵送的需要, 其材料结构必定是粗集料的悬浮密实结构, 这种结构的水泥混凝土防水抗渗性很高, 但是其抗压强度偏低, 特别是收

缩性加大,抗裂性严重不足,在公路工程大量使用的薄壁结构当中,保湿养生略为疏忽,则结构开裂的机率很高。所以,在保证正常泵送条件下公路薄壁结构尽可能取偏低砂率,才能有效克服泵送水泥混凝土收缩大、结构易开裂的缺点。这是公路工程薄壁结构必须高度重视的问题。

(7)低温、负温泵送的水泥混凝土。低温、负温泵送的水泥混凝土应选用R型水泥或硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥,水泥强度等级不应低于32.5级,除使用泵送剂外,宜同时掺引气剂、早强剂、防冻剂,其掺量应根据当时气温下的试泵优选确定。这是尽快满足抗冻临界强度的要求。

2.3 泵送水泥混凝土施工

2.3.1 拌和及供应

(1)拌和。泵送水泥混凝土可采用预拌商品水泥混凝土,现场自拌和要求及搅拌设备应符合指南相应条款的规定。

(2)泵送水泥混凝土的供应。应根据施工进度编制供应计划,并加强通讯联络和生产调度,确保连续均匀供料。低温和负温施工时,应采取有效的保温措施。

(3)泵送剂的使用。液体泵送剂可直接掺入水泥混凝土或以稀释溶液加入,水溶性粉状泵送剂宜用水溶解均匀后掺入,溶液中的水量应从拌和水量中扣除,不溶于水的粉状泵送剂可直接掺入水泥混凝土中,但均应将搅拌时间延长20~30s。

(4)拌和时间。搅拌楼拌和泵送水泥混凝土的最短纯拌和时间,应根据拌和物的匀质性和可泵性确定。

泵送水泥混凝土的拌制和供应最重要的是不能停顿,应确保连续均匀供料,必须使用产量配套、质量优良的计算机自动控制的强制式搅拌机(楼)。加水量应准确计量,搅拌时间应足够。泵送水泥混凝土拌和物的搅拌,仅满足均匀性还不够,一定要达到足够的熟度,即要搅拌出优良的拌和物粘聚性。料虽均匀,但偏松散,是不利于泵送水泥混凝土施工的。指南里规定的泵送剂干粉应延长搅拌时间30s,最短纯搅拌时间不少于60s,其目的就在于此。

使用各种泵送剂或外加剂时,可按实际配合比和施工气温测定水泥混凝土的初凝时间,运输允许延续时间不宜超过所实测水泥混凝土初凝时间的1/2。

2.3.2 泵送水泥混凝土运输

(1)车型。泵送水泥混凝土应采用罐车运送,不应使用翻斗车运输。

(2)车辆数。当水泥混凝土泵连续作业时,每台泵所需配备的车辆数,可按式(1)计算确定:

$$N = \frac{Q(60 \frac{L}{S} + T)}{60V} \quad (1)$$

式中: N 为水泥混凝土搅拌运输车台数,台; Q 为每台水泥混凝土泵的实际平均输出量, m^3/h ; L 为水泥混凝土搅拌运输车往返距离, km ; S 为水泥混凝土搅拌运输车平均行车速度, km/h ; T 为每台水泥混凝土搅拌运输车总计停歇时间, min ; V 为每台水泥混凝土搅拌运输车容量, m^3 。

(3)运输延续时间。运输延续时间应符合表8的规定。高温施工时,泵送水泥混凝土的温度不应高于 $35^\circ C$,并应加缓凝剂或缓凝型减水剂。低温、负温施工时,泵送水泥混凝土的温度不应低于 $10^\circ C$,并应掺早强剂或防冻剂。

表8 泵送水泥混凝土运输延续时间

水泥混凝土出机温度/ $^\circ C$	5~25	25~35
运输延续时间/ min	60~90	50~60

2.3.3 泵送设备及管道设计

泵送管道布置及其组配应符合《混凝土泵送施工技术规程》(JGJ/T 10—1995)的规定,并应通过计算确定。

(1)水泥混凝土泵最大水平输送距离。水泥混凝土泵最大水平输送距离可按式(2)计算,也可参照泵的性能表确定。钢管混凝土结构中的钢管应视同泵送配管。每台泵的实际平均输出量,可根据泵的最大输出量、配管情况和作业效率经试泵确定。配管整体水平换算长度,不应超过水泥混凝土泵实际最大水平输送距离,超过时应选择压力更大的泵或在管路中增设接力泵。

$$Q = Q_m \cdot \alpha \cdot \eta \quad (2)$$

式中: Q 为每台水泥混凝土泵的实际平均输出量, m^3/h ; Q_m 为每台水泥混凝土泵的最大输出量, m^3/h ; α 为配管条件系数,可取0.8~0.9; η 为作业效率,一般为0.5~0.7,可根据车辆向水泥混凝土泵供料的间隔时间、拆装输送管和浇筑间歇等情况选取。

(2)常用水泥混凝土输送管规格。常用水泥混凝土输送管规格,可参照表9选取。

(3)水泥混凝土输送管的水平换算长度。水泥混凝土输送管的水平换算长度,可按表10换算。

表 9 常用水泥混凝土输送管规格

水泥混凝土输送管种类		管径/mm		
		100	125	150
有缝直管	外径	109.0	135.0	159.2
	内径	105.0	131.0	155.2
	壁厚	2.0	2.0	2.0
高压直管	外径	114.3	139.8	165.2
	内径	105.3	130.8	155.2
	壁厚	4.5	4.5	5.0

表 10 水泥混凝土输送管的水平换算长度

类别	单位	规格	水平换算长度/m
向上垂直管	每米	100 mm	3
		125 mm	4
		150 mm	5
锥形管	每根	175~150 mm	4
		150~125 mm	8
		125~100 mm	16
90°弯管	每根	R=0.5 m	12
		R=1.0 m	9
软管	每 5~8 m 长的 1 根		20

注：(1)R 为弯管的曲率半径，当弯曲角度小于 90°时，需将表中数值乘以该角度与 90°角的比值；(2)向下垂直管水平换算长度等于自身长度，斜向配管按其水平及垂直投影长度，分别按水平、垂直配管计算。

(4)水泥混凝土泵送的换算压力损失。水泥混凝土泵送的换算压力损失，可查表 11 确定。换算的总压力损失，应小于水泥混凝土泵正常工作时的最大出口压力。重要工程所需的水泥混凝土泵台数，除满足计算要求外，宜有 1 台备用。

表 11 水泥混凝土泵送的换算压力损失

管件名称	换算量	换算压力损失/MPa
水平管	每 20 m	0.10
垂直管	每 5 m	0.10
45°弯管	每只	0.05
90°弯管	每只	0.10
管道接环(管卡)	每只	0.10
管路截止阀	每个	0.80
3.5m 橡皮软管	每根	0.20

注：附属于泵体的换算压力损失，Y 形管(175~125 mm)为 0.05 MPa，每个分配阀为 0.80 MPa，每台水泥混凝土泵起动机内耗为 2.80 MPa。

2.3.4 泵送与浇筑

(1)模板侧压力计算。用于大跨径桥梁、大自重

等结构的模板和支架应具有足够的强度、刚度和稳定性，模板侧压力可按式(3)和式(4)计算，并取 2 式计算结果中的较小值。泵送水泥混凝土常使用缓凝剂，塑性保持的时间较长，拌和物对模板作用的侧压力大，应通过计算以确保安全。

$$F = 0.22 \cdot \gamma t_0 \beta_1 \beta_2 V^{1/2} \quad (3)$$

$$F = 2.50 H \quad (4)$$

式中：F 为新浇筑水泥混凝土对模板的最大侧压力，kN/m²；γ 为水泥混凝土重力密度，kN/m³；t₀ 为新浇筑水泥混凝土的初凝时间，可按实测确定，当缺乏试验资料时，可采用 $t_0 = \frac{200}{T+15}$ 计算(T 为水泥混凝土的温度，℃)，h；V 为水泥混凝土的浇筑速度，m/h；H 为水泥混凝土侧压力计算位置处至新浇水泥混凝土顶面的总高度，m；β₁ 为外加剂影响修正系数，不掺外加剂时取 1.0，掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；β₂ 为水泥混凝土坍落度修正系数，当坍落度小于 100 mm 时取 1.10，不小于 100 mm 时取 1.15。

(2)润泵管。泵与泵管接通后，应进行全面检查。泵送前，泵应先用水湿润，再泵送水泥净浆或砂浆润管。

(3)泵送要求。开始泵送时，水泥混凝土泵送速度应先慢后快，待运转正常后，方可使用正常速度泵送水泥混凝土。活塞应保持最大行程运转，稳定泵送。

(4)防堵泵技术措施。当水泥混凝土泵出现压力升高且不稳定、输送管出现明显振动等现象而泵送困难时，不得强行泵送，应立即查明原因，采取措施排除。检查时可先用木槌敲击弯管、锥形管等部位，并进行慢速泵送或反泵，防止堵塞。

(5)输送管被堵塞时的处理办法。当输送管被堵塞时，应正反泵吸出水泥混凝土，并采用敲击法松动水泥混凝土，查明堵塞位置，卸压拆除堵塞泵管，排除堵塞物后，再接管重新泵送。中断泵送时间不宜超过 1 h。

(6)浇筑要求。浇筑顺序应先远后近、先竖向后水平、先低后高。分层连续浇筑时，分层厚度宜为 300~500 mm，超过时可按 1:6~1:10 的斜坡浇筑。管口与侧模间的距离不宜小于 200 mm，且不得直冲侧模和钢筋。水平浇筑时，应在 2~3 m 内移动管口，不得在一处连续浇筑。浇筑区域之间或上下层之间的浇筑间歇时间，不得超过水泥混凝土的初凝

时间。

(7)泵送水泥混凝土的振捣。振捣棒移动间距宜为400 mm左右,振捣时间应视振捣棒的振动频率大小和水泥混凝土振捣密实状况控制在10~30 s之间,隔20~30 min应进行第二次复振,以确保钢筋过密部位振捣密实。表面抹压饰面应进行2遍以上。这是泵送水泥混凝土振捣的规定。泵送水泥混凝土由于泵送工艺的要求,胶材总量和砂率很大,配制成了悬浮密实材料结构,在薄壁结构上易出现施工裂缝。二次复振和多次抹压表面均为有效的施工防裂措施。

(8)加强保湿养生。泵送水泥混凝土应加强保湿养生,不同气温条件下的湿养生天数应比指南中第4.2.3条第6款的规定适当延长。

3 泵送水泥混凝土的质量控制

泵送水泥混凝土的质量控制除了满足普通水泥混凝土的要求外,以下3点需要特别引起注意。

3.1 严格控制泵送剂的称量精确度及坍落度

泵送剂的称量应准确并及时标定,泵送剂称量允许偏差不应大于±1%。泵送水泥混凝土入泵时的坍落度不应小于100 mm,误差不宜大于±20 mm。

3.2 泵送剂可采用现场后加法

采用罐车时,泵送剂可后添加,操作时必须快速旋罐搅拌均匀,且测定坍落度满足泵送要求后,方可使用。后添加的泵送剂数量应预先试验确定,并应在

加水量中扣除后加溶液的水量,严禁往罐内水泥混凝土中随意加水。

3.3 及时处理泵送中出现的问题

当出现可泵性差、泌水、离析且难以泵送时,应立即对配合比、泵送剂、水泥混凝土泵、配管、泵送工艺进行检查,并采取有效的改进措施。

4 结语

泵送水泥混凝土使用泵送剂不仅能改善水泥混凝土的施工性能,而且有利于密筋结构少振捣或免振捣施工,并能减少收缩、防止裂缝、提高抗渗性、改善耐久性。但是某些工程表明,泵送水泥混凝土强度不足、凝结异常等现象时有发生,特别是裂缝普遍存在,在一定程度上影响结构的抗渗性和耐久性,值得引起足够的重视。在公路工程中,尤其要通过正确使用泵送剂,解决好泵送要求流动性更大、砂浆总量更多与防止薄壁结构开裂要求砂浆总量更小的工艺矛盾,努力满足既能顺畅地泵送、又不导致薄壁结构开裂的要求。

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] DL/T 5100-1999, 水工混凝土外加剂技术规程[S].
- [3] JC 473-2001, 混凝土泵送剂[S].
- [4] JGJ/T 10-1995, 混凝土泵送施工技术规程[S].

Application Technology of Pumping Aid Admixture for Cement Concrete in Highway Engineering

ZHANG Zi-hua¹, LI Hong², FU Zhi¹, 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: Along with the improvement of mechanization in highway concrete structure engineering, more and more pumping aid admixture are used. In order to apply pumping aid admixture properly and avoid the quality problems, the application technology of pumping aid admixture 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 is introduced.

Key words: highway engineering; cement concrete; pumping aid admixture; application technology