

文章编号:0451-0712(2006)04-0027-05

中图分类号:U214.18:TU528.042

文献标识码:A

公路工程水泥混凝土速凝剂应用技术

罗 翥^{1,3}, 李 红², 傅 智³

(1. 东南大学 南京市 210096; 2. 北京建筑工程学院 北京市 100044; 3. 交通部公路科学研究院 北京市 100088)

摘 要: 结合交通部2006年新颁布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》,介绍了水泥混凝土速凝剂的品种分类、性能指标,并对掺速凝剂喷射水泥混凝土的配合比、施工方法、质量控制及安全措施等进行了深入的分析。

关键词: 公路工程; 喷射水泥混凝土; 配合比; 速凝剂

速凝剂是专门为喷射水泥混凝土施工特制的一种超快硬早强的水泥混凝土外加剂,掺配后水泥混凝土的初凝时间不超过3 min,初凝后就具备了抵抗水泥混凝土自重脱落的能力。速凝剂的这些优异特性,使其广泛应用于公路隧道支护、边坡防护、地下洞室、边坡防护、水池、薄壳、修复加固等喷射或喷锚水泥混凝土结构,也可用于需要速凝堵漏的水泥混凝土或砂浆中。

在公路工程中,使用速凝剂的喷射或喷锚水泥混凝土与使用其他外加剂的水泥混凝土最显著的不同点是:无论喷射水泥混凝土工艺使用干法或湿法,喷射水泥混凝土都是在喷口处将速凝剂或水分掺进水泥混凝土的,不是拌和进入的,所以,其强度等力学性能的试件制作也是使用喷射法制成的,也非拌和加振动台制作成形的。试件制作方法详见《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)附录K,喷射水泥混凝土及其试验方法。

按物质形态分,速凝剂有粉状和液状2种。粉状速凝剂是以铝酸盐、碳酸盐、硫铝酸盐等无机盐为主要成份。液体速凝剂以偏硅酸钠、硫酸铝胶、水玻璃等为主要成份,或与重铬酸钾、亚硝酸钠、三乙醇胺等其他无机盐复合而成。

1 速凝剂性能指标

用于公路工程的速凝剂必须满足国标一等品的各项性能指标(表1)及匀质性要求(表2),否则不得使用。

表1 掺速凝剂净浆及硬化砂浆的性能要求

净浆		砂浆	
初凝时间 min	终凝时间 min	1 d 抗压强度 MPa	28 d 抗压强度比 %
≤3	≤8	≥7.0	≥75

注:(1)28 d 抗压强度比为掺与不掺速凝剂砂浆的抗压强度比;
(2)速凝剂抗压强度试验方法参见指南附录K,速凝剂的凝结时间试验方法也参见指南附录K。

表2 速凝剂匀质性指标

试验项目	指 标	
	液剂	粉剂
密度	应在生产厂所控制值的 ±0.02 g/cm ³ 之内	—
氯离子含量	应小于生产厂最大控制值	应小于生产厂最大控制值
总碱量	应小于生产厂最大控制值	应小于生产厂最大控制值
pH 值	应在生产厂控制值±1 之内	—
细度	—	80 μm 筛余应小于15%
含水量	—	≤2.0%
含固量	应大于生产厂最小控制值	—

速凝剂进场除应附有质量证明书外,还应具有质量检验报告,其性能检验批量为每20 t 一批。速凝剂施工过程中的检验项目包括凝结时间、细度、含水率、1 d 抗压强度,按每5 t 为一批检验,不足5 t 按一批计。

2 喷射水泥混凝土原材料与配合比

2.1 喷射水泥混凝土原材料要求

喷射水泥混凝土应采用符合质量要求的外加剂,选用与水泥适应性好、凝结硬化快、28 d 强度损

失少、较低掺量的速凝剂。使用前,应对速凝剂与水泥的适应性、水泥净浆凝结效果进行检验。当与其他类型的外加剂复配使用时,也应做相应的性能检测试验。常用粉状速凝剂极易吸湿变质,在运输和储存中应保持干燥,不得损坏包装,防止受潮、结块、变质。

为保证喷射水泥混凝土快速凝结,提高 1 d 强度,应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。实际工程也可采用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥,有防腐或其他特殊要求时,亦可采用相应的特种水泥。水泥强度等级应不低于 32.5 级。

表 3 喷射水泥混凝土粗、细集料通过各筛孔的累计质量百分数

筛孔尺寸/mm	0.15	0.30	0.60	1.20	2.50	5.00	10.00	15.00
优	5~7	10~15	17~22	23~31	34~43	50~60	78~82	100
良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

注:表 3 中采用圆孔筛。

喷射水泥混凝土用水应符合《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63—89)的规定。水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质,不得使用污水、pH 值小于 5 的酸性水、硫酸盐含量大于 1% 的水。

2.2 喷射水泥混凝土配合比要求

强度应符合设计要求;湿法喷射水泥混凝土坍落度宜控制在 80~120 mm 之间;能满足工程的抗冻、抗渗耐久性要求;尽量节约水泥。配合比应通过试喷试验或根据经验确定。

干法喷射中,水泥与砂石材料的质量比宜为 1:4.0~1:4.5;水灰比宜为 0.40~0.45;砂率宜控制在 45%~55% 的范围。水灰比一般由喷射手凭经验控制,很难做到均匀一致,要求在喷射时粉尘和脱落较少,喷射水泥混凝土表面基本平整,呈水亮光泽,无干斑和滑移流淌现象。

湿法喷射水泥与砂石材料的质量比宜为 1:3.5~1:4.0;水灰比宜为 0.42~0.50;砂率宜控制在 50%~60% 的范围。

喷射水泥混凝土在刚喷射到附着体上时,主要依靠水泥浆和砂浆本身提供的粘聚性,因此,水泥用量不可偏少,砂率要求很大。一般水泥用量宜为 400 kg/m³ 左右。砂率宜控制在 45%~60% 之间。但过高砂率在大风、干热、曝晒环境下,喷射水泥混凝土极易开裂。因此,在喷射水泥混凝土施工时,要考虑环境条件,同时兼顾回弹率和防裂的要求,在不增大回弹率的前提下,选用较偏低的砂率。

喷射水泥混凝土应采用坚硬耐久的卵石或碎石,粗集料最大粒径不宜大于 15 mm。使用纤维喷射水泥混凝土时,粗集料最大粒径不宜大于 10 mm。由于速凝剂中往往具有高碱性,当使用碱性速凝剂时,严禁使用碱活性集料。

喷射水泥混凝土细集料应采用坚硬耐久的中粗砂,细度模数宜控制在 2.5~3.5 之间。干法喷射时,砂的含水率宜控制在 5%~7% 的范围;当采用防粘料喷射机时,砂含水率可为 7%~10%。粗、细集料组合级配应符合表 3 的规定。

速凝剂掺量宜为水泥质量的 2%~8%,最优掺量视其种类不同,通过试验确定。

当喷射水泥混凝土掺入纤维时,除钢纤维具有提高抗拉强度作用外,一般有机纤维仅具有防裂作用,因此,其掺量配合比应通过试配试喷确定。

3 喷射水泥混凝土的施工

3.1 喷射方法选择

喷射水泥混凝土有干喷和湿喷 2 种工艺和施工设备。湿喷粉尘少,回弹量少,水泥混凝土强度高,质量更稳定,在公路隧道和封闭洞室喷锚支护中,应优先采用。但干喷法发展较早,技术较为成熟,设备投资较省,可在露天边坡工程中使用。

3.2 机械设备选择

选择喷射机要注意减少喷射中的回弹率,降低作业面空气中的粉尘浓度,提高喷射作业效率,保证工程质量,降低造价。一般要求喷射机密封性良好、输料连续均匀。干法生产能力为 3~5 m³/h;输料水平距离不小于 100 m,垂直距离不小于 30 m。湿法喷射机生产率大于 5 m³/h;水平距离不小于 30 m,垂直距离不小于 20 m;机旁粉尘小于 10 mg/m³。当施工现场的喷射距离不足时,应搭建工作台架,以满足喷射输送距离的要求。

拌制喷射混合料宜优先采用强制式搅拌机,可采用自落式或滚筒式搅拌机,严禁使用手工拌和。这是保证干拌和料匀质性,减少粉尘飞扬、水泥散失和

减少脱落的重要环节。采用容量小于400 L的强制式搅拌机时,搅拌时间不得少于60 s;采用自落式或滚筒式搅拌机时,搅拌时间不得少于120 s;当掺有外加剂掺合料或纤维时,搅拌时间应适当延长。

喷射中需配备专用空压机,其排风量不应小于 $9\text{ m}^3/\text{min}$,风压应稳定,波动值不宜大于0.01 MPa;风压和风量不足,易产生堵管,削弱喷射时的冲击捣实力,影响密实度;风压波动过大,既影响料流速度,也造成喷口水灰比难于控制,使喷射水泥混凝土干湿不匀、质量低劣。

空压机至喷射机送风管的耐压强度不应小于0.8 MPa,送风管接头应牢固、耐磨、可靠。

采用干法喷射时,喷头处的水压力宜为0.15~0.20 MPa,这是保证干混合料与水均匀混合的重要条件。喷头料流的压力一般在0.1 MPa左右,混合水的最低压力应比喷口处料流压力大0.05 MPa左右,才能保证压力水穿透料流与混合料均匀掺合。

3.3 水泥混凝土的拌制与运输

水泥和速凝剂的称量误差为 $\pm 2\%$,砂石料的称量误差为 $\pm 3\%$ 。

为防止喷射前产生水化反应,混合料均应随拌随用。不掺速凝剂时,存放时间不宜超过2 h。掺速凝剂的干混合料,存放时间不应超过20 min。在运输和存放过程中,应严防雨淋、滴水或混杂大块石。装进喷射机之前应过筛,防止堵管。

3.4 喷射作业

为利于控制喷层厚度、减少回弹、提高水泥混凝土强度,喷射作业应分段、分片进行;为了避免松散的回弹物料粘结在尚未喷射的壁面上,影响密实度与强度,喷射必须自下而上依次进行,这样既能使下部已经喷射的喷层对上部喷层起支托作用,又能减少回弹率,防止喷层的拉裂与坠落。水平喷射时,水泥混凝土的回弹率应不大于15%,垂直喷射时不大于25%。喷射中若发现干燥松散、下坠滑移或拉裂时,应及时清除,并进行补喷。

工程实践表明:只有当壁面上形成10 mm左右厚度的塑性层后,粗集料方可嵌入。因此,一次喷射的厚度不宜过薄;喷层过厚,会因自重太大而拉裂或脱落。所以,在分层喷射时,单次喷射最大厚度不宜大于表4规定值,后一层喷射必须在前一层水泥混凝土终凝后进行,若终凝后1 h再喷射,应先用水湿润喷层表面,以减少表面灰尘污染,增强层间粘结力。施工实践表明,喷射水泥混凝土终凝后3 h,水泥混凝土粘聚力

及其与壁面的粘结强度达到了1.0 MPa左右,紧临喷射作业面放炮时,足以抵抗爆破力振动,不会出现水泥混凝土离鼓、开裂或脱落现象。

表4 素喷水泥混凝土一次喷射厚度 mm

喷射方式	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干法	边墙	70~100	50~70
	拱部	50~60	30~40
湿法	边墙	80~150	—
	拱部	60~100	—

喷射机喷头处的工作风压应保持在0.1 MPa左右。垂直向上输料时,每增高10 m,工作风压应比水平输料时增大0.02~0.03 MPa。

喷射作业开始前,喷射手应对喷射机、风/水管路、输料管路、电缆线路进行全面检查,检查喷头与输料管的连接是否紧密,防止连接处漏水,并试运转。作业开始,应先送风,后开机,再给料;结束时,应待料喷完后,再关风。

坚硬岩面喷射前应使用高压风、高压水冲洗,遇水易潮解、风化的岩层应使用高压风清扫岩面,但土层表面不得用高压风清扫。喷射作业时,向喷射机供料应连续均匀,正常运转时,料斗内应保持足够的存料。料流出口与受喷表面宜垂直,并应保持0.6~1.0 m的距离。喷头应按直径为30 mm的螺旋形轨迹一圈压半圈地移动。喷射的水泥混凝土表面应呈潮湿光泽,无干斑或滑移流淌现象。这样就能使粗集料能够嵌入塑性喷层之中,料流的冲击力适宜,回弹降低,粉尘减少,喷层表面平整。

因堵管、停风、输料中断或喷射作业完毕后,应立即关闭喷头水阀,必须将喷射机和输料管内的积料清除干净,并将喷头朝下放置,严防水分倒流进输料管中,同时将喷头内的水环清洗干净。

3.5 喷射钢筋网水泥混凝土

喷射钢筋网水泥混凝土前,应清除钢筋网污锈,增强钢筋与水泥混凝土的粘接。钢筋网宜在岩面喷射一层水泥混凝土后铺设,钢筋网与壁面的距离宜为30 mm,网格尺寸不宜小于150 mm×150 mm,距离过大,网格过密,钢筋背面形成空洞的机率增大。采用双层钢筋网时,第二层钢筋网应在第一层钢筋网被水泥混凝土覆盖后再铺设。钢筋网应与锚杆或其他锚固装置联结牢靠,喷射时不得晃动,以免造成施工缺陷,易于脱落。

开始喷射时,将喷头与受喷面的距离缩短至60

~80 cm,并调节喷射角度,以保证钢筋与壁面之间水泥混凝土的密实性;提高料流的冲击力,迫使水泥混凝土嵌入钢筋背面,保证钢筋被水泥混凝土包裹,提高水泥混凝土喷层的密实性。钢筋网的反弹往往导致回弹脱落量增大,应及时清除喷射中脱落的水泥混凝土。

3.6 喷射钢纤维水泥混凝土

喷射钢纤维水泥混凝土时,钢纤维长度偏差不应超过公称值的 $\pm 5\%$ 范围。因为过长的钢纤维易成团,钢纤维过短则影响抗裂能力和抗拉强度。喷射水泥混凝土对钢纤维长度偏差的要求比其他钢纤维水泥混凝土结构要高1倍。

钢纤维不得有明显锈蚀、油迹及其他妨碍钢纤维粘接的杂质,钢纤维内的粘接片、铁屑及杂质总量不应超过钢纤维质量的1%。

钢纤维在喷射水泥混凝土中的分布应均匀,不得成团。推荐采用播料机将钢纤维均匀投入水泥混凝土中,且搅拌时间不宜小于180 s。

在钢纤维喷射水泥混凝土表面宜再喷射一层厚度为10 mm的水泥砂浆,其强度等级不应低于钢纤维喷射水泥混凝土的强度等级,以减少钢纤维在表面裸露锈蚀,提高耐久性。

3.7 喷射水泥混凝土低温施工

低温施工时,喷射水泥混凝土的温度不应低于5℃,否则,应停止施工,并不得喷水养护。

在普通硅酸盐水泥配制的喷射水泥混凝土强度低于设计强度的30%时,矿渣硅酸盐水泥配制的喷射水泥混凝土强度低于设计强度的40%时,水泥混凝土不得受冻。

3.8 喷射水泥混凝土养生

喷射水泥混凝土的水泥用量和砂率都很大,表面蒸发率较大时,应加强养生,防止开裂。一般喷射水泥混凝土在终凝后2 h,即应开始喷水养生。一般工程的养生时间不得少于7 d,重要工程不得少于14 d。每天喷水养生的次数,以保持表面90%相对湿度为准。湿度较好的隧道、洞室或地下、地上封闭环境中的喷射水泥混凝土,可酌情减少喷水养生次数。

4 喷射水泥混凝土质量控制

4.1 强度控制

喷射水泥混凝土的密实性与抗压强度变异要比普通水泥混凝土大,而隧道喷锚支护结构的可靠性要求也相当高。因此,此类重要工程的喷射水泥混凝土

施工,宜根据喷射水泥混凝土现场28 d龄期抗压强度的试验结果,绘制抗压强度质量图,按强度质量控制图进行强度控制。

4.2 匀质性控制

喷射水泥混凝土的匀质性,可以现场28 d龄期喷射水泥混凝土抗压强度的标准差和变异系数,按表5的水平控制。

表5 喷射水泥混凝土的匀质性指标

	施工控制水平	优	良	及格	差
标准差 MPa	母体的离散	<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	>6.5
	一次试验的离散	<2.2	2.2~2.7	2.7~3.2	>3.2
变异系数 MPa	母体的离散	<15	15~20	20~25	>25
	一次试验的离散	<7	7~9	9~11	>11

5 喷射水泥混凝土安全施工与防尘

5.1 安全施工主要措施

施工前,应认真检查并处理锚喷支护作业区的危石,施工机具应布置在安全地带。在Ⅳ、Ⅴ级围岩中进行锚喷支护施工时,应遵守下列规定。

(1)在围岩稳定性较差的情况下进行锚喷施工时,由于隧道开挖后自稳时间很短,易发生安全事故,开挖后应及时支护。利用支撑效应,减少对开挖工作面附近围岩的扰动,锚喷支护必须紧跟开挖工作面。施工中应先喷后锚,喷射水泥混凝土厚度不应小于50 mm。喷射作业中,应有人随时观察围岩变化情况,保证作业区的安全。

(2)锚杆施工宜在喷射水泥混凝土终凝3 h后进行。因为,此时抗压强度达到1.0 MPa左右,可保证锚杆施工安全。向锚杆孔注浆时,注浆罐内应保持一定数量的砂浆,以防罐体放空,砂浆喷出伤人。处理管路堵塞前,应卸除罐内压力。

(3)施工中,应定期检查电源线路和设备的电器部件,确保用电安全。处理机械故障时,必须使设备断电、停风。向施工设备送电、送风前,应通知有关人员。

(4)喷射机、水箱、风包、注浆罐等都是承压设备,应进行密封性能和耐压试验,合格后方可使用。喷射水泥混凝土施工作业中,要经常检查出料弯头、输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象,发现问题,及时处理,防止出现安全事故。

(5)喷射中出现堵管时,应将输料管顺直,必须紧按喷头,应尽可能采取敲击法疏通。疏通管路的工

作风压不得超过0.4 MPa,防止爆管。

(6)喷射水泥混凝土施工用的工作台架应牢固可靠,并应设置安全栏杆。

(7)非操作人员不得进入正进行施工的作业区。施工中,喷头和注浆管前方严禁站人。

(8)速凝剂和树脂具有较强的碱性,对人体皮肤具有腐蚀作用,易烧伤皮肤,应避免直接接触。树脂是可燃物质,应严禁接触明火。

(9)喷射钢纤维水泥混凝土施工中,应采取措施防止钢纤维扎伤操作人员。

5.2 防尘

采用干法喷射施工时,宜采取综合防尘措施。在保证顺利喷射的条件下,增加骨料含水率;在距喷头3~4 m处增加一个水环,用双水环加水;在喷射机或混合料搅拌处,设置集尘器或除尘器;在粉尘浓度较高地段,设置除尘水幕;加强作业区的局部通风;采用增粘剂等外加剂。

喷射作业区的粉尘主要是飞散的水泥粉,其浓度不应大于10 mg/m³。每半个月至少测定一次粉尘浓度。喷射水泥混凝土作业区人员,应采用防尘用具。

6 结语

速凝剂主要用于隧道、边坡等结构表面防护的喷射水泥混凝土,与普通水泥混凝土相比有其特殊性。如能参照规范合理选择喷射水泥混凝土的原材料,进行精确的配合比设计,正确选择喷射机械和工艺流程,严格控制喷射施工质量,就能达到设计的效果,保证喷射水泥混凝土的施工质量。

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] JC 477-2005, 喷射混凝土用速凝剂[S].
- [3] DL/T 5100-1999, 水工混凝土外加剂技术规程[S].
- [4] JGJ 63-89, 混凝土拌合用水标准[S].
- [5] YB/T 151-1999, 混凝土用钢纤维[S].
- [6] 张金刚. 隧道湿喷钢纤维混凝土施工技术的探讨[J]. 铁道勘测与设计, 2004, (2).
- [7] 徐永杰, 等. 喷射混凝土在隧道支护中的应用[J]. 路面机械与施工技术, 2005, (8).

Application Technology of Flash Setting Admixture for Cement Concrete in Highway Engineering

LUO Zhu^{1,3}, LI Hong², FU Zhi³

(1. Southeast University, Nanjing 210096, Chian; 2. Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, Chian;
3. Research Institute of Highway of Ministry of Communications, Beijing 100088, Chian)

Abstract: In the light of "Technical Guidelines for Applications of Chemical and Mineral Admixtures on Cement Concrete in Highway Engineering" issued by the Ministry of Communications in 2006, the ingredient, category and performance of flash setting admixture are introduced. The proportioning, construction method, quality control and safety measures of shotcrete mixed with flash setting admixture are analyzed to guide the practical engineering.

Key words: highway engineering; shotcrete; proportioning; flash setting admixture