

文章编号: 0451—0712(2006)07—0001—04

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

# 路用高弯拉强度混凝土配制与施工技术要点

赵尚传, 傅 智, 罗 翥, 杜天玲

(交通部公路科学研究院 北京市 100088)

**摘 要:** 主要论述了高弯拉强度混凝土对水泥、集料、掺合料及外加剂等原材料的技术要求; 提出路用高弯拉强度混凝土配合比设计原则与方法, 并给出推荐的配合比范围; 论述了高弯拉强度混凝土拌和、运输、摊铺、切缝和养护等施工过程中的技术控制要点。

**关键词:** 道路工程; 水泥混凝土路面; 高弯拉强度混凝土; 配制; 施工

随着社会进步、经济发展, 交通流量越来越大, 车辆轴载越来越大, 加之大量超载车辆的违规运营, 普通水泥混凝土路面越来越难以承受如此之重负, 破损现象日益增多, 使用寿命日渐缩短。解决水泥混凝土路面由于车辆荷载导致的早期破损严重、耐久性不足的问题, 从路面结构设计方面而言, 可以使路面结构层加厚; 而从路面材料角度而言, 可以提高材料的韧性、强度, 提高材料的疲劳性能, 采用高弯拉强度混凝土是措施之一。

高弯拉强度混凝土的配制和路面施工技术与普通混凝土既有相同之处, 又有所区别。高弯拉强度混凝土对原材料的要求和施工过程中的控制比普通混凝土更加严格。结合交通部西部交通建设科技项目(2001 318 223 70), 对路用高弯拉强度混凝土的原材料、配合比和施工控制进行了研究。本文主要论述高弯拉强度混凝土在配制与施工过程中与普通混凝土有所区别的技术控制要点, 供广大工程技术人员参考。

## 1 对原材料的技术要求

### 1.1 水泥

高弯拉强度混凝土路面所用水泥须采用旋窑硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥, 有条件时优先采用旋窑道路硅酸盐水泥, 水泥强度等级不宜低于 42.5 级, 水泥中主要化学成分, 如铝酸三钙含量不得大于 7%, 铁铝酸四钙含量不得小于 15%, 氧化钙含量不得大于 1%, 其他化学成分满足相关规范要求。

配制高弯拉强度混凝土不宜使用矿渣水泥, 因为水泥中的矿渣含量大, 一般超过 60%, 不易达到混凝土高弯拉的强度要求。当使用粉煤灰水泥时, 不宜使用粉煤灰作为掺合料。由于粉煤灰水泥中的粉煤灰含量难以确定, 或者波动较大, 如果掺加粉煤灰, 在施工中混凝土总粉煤灰含量难以进行控制, 容易导致混凝土工作性以及强度等性能波动。一般情况下, 不宜在使用粉煤灰水泥的混凝土中掺加粉煤灰, 可以使用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥掺加粉煤灰。

### 1.2 集料

高弯拉强度混凝土对集料要求非常严格, 粗、细集料均按准 I 类集料进行控制, 即在满足 II 类集料技术参数的基础上, 比较重要的、容易损失弯拉强度的指标按高于 II 类集料指标, 或按 I 类集料指标进行控制。

对于粗集料而言, 配制高弯拉强度混凝土采用的粗集料应为碎石, 不应采用卵石或碎卵石, 碎石最大粒径控制在 26.5 mm。岩石抗压强度要求不低于 80 MPa, 压碎指标按 I 类集料控制, 针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量按高于 II 类、接近于 I 类指标控制。由于高弯拉强度混凝土水胶比较低, 对粗集料的吸水率提出了控制。粗集料技术指标满足表 1 的要求。

细集料应采用中砂, 细度模数控制在 2.5~2.9, 含泥量和泥块含量按 I 类细集料进行控制。细集料技术指标满足表 2 的要求。

### 1.3 掺合料



表 1 高弯拉强度混凝土粗集料技术指标

项目	控制范围
岩石抗压强度/MPa	$\geq 80$
压碎指标/%	$\leq 10$
针片状颗粒含量/%	$\leq 8$
最大粒径/mm	26.5
吸水率/%	$\leq 1.5$
含泥量/%	$\leq 0.8$
泥块含量/%	$\leq 0.1$
坚固性(按质量损失计)/%	在硫酸钠溶液中循环 5 次, $\leq 8$
SO <sub>3</sub> 含量/%	$\leq 1$
碱活性	经碱集料反应试验后, 试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 试验龄期内膨胀率小于 0.1%

配制高弯拉强度混凝土必须采用“双掺”技术,

表 2 高弯拉强度混凝土细集料技术指标

项目	控制范围
细度模数	2.6~2.9
坚固性/%	$\leq 8$
含泥量/%	$\leq 1$
泥块含量/%	$\leq 1$
云母含量/%	$< 2$
轻物质含量/%	$< 1$
硫化物及硫酸盐折算为 SO <sub>3</sub> /%	$< 1$
有机质含量(比色法)	颜色不深于标准色, 否则应进行水泥砂浆的抗压强度对比试验

即掺加掺合料及外加剂。

配制高弯拉强度混凝土采用的掺合料一般为粉煤灰和硅灰。采用的粉煤灰要求为 I 级灰, 技术指标见表 3; 硅灰技术指标见表 4。

表 3 I 级粉煤灰技术指标

粉煤灰等级	细度 (45 $\mu\text{m}$ 气流筛筛余量)/%	烧失量/%	需水量比/%	含水量/%	Cl <sup>-</sup> /%	SO <sub>3</sub> /%	混合砂浆活性指数/%	
							7 d	28 d
I	$\leq 12$	$\leq 5$	$\leq 95$	$\leq 1.0$	0.2	$\leq 3$	$\geq 75$	$\geq 85(75)$

表 4 硅灰的技术指标

物理性能			化学性能			混合砂浆性能
比表面积 m <sup>2</sup> /kg	细度 (45 $\mu\text{m}$ 筛余)/%	含水率/%	烧失量/%	SiO <sub>2</sub> /%	Cl <sup>-</sup> /%	28 d 活性指数/%
$\geq 150\,000$	$\leq 10$	$\leq 3$	$\leq 6$	$\geq 85$	$< 0.02$	$\geq 85$

#### 1.4 外加剂

外加剂要求具有较高的减水率、保塑性, 并具有满足施工要求的凝结时间。

在高弯拉强度混凝土施工过程中一般采用复配的缓凝高效减水剂, 根据高弯拉强度低水胶比要求, 减水率不小于 20%; 缓凝效果根据混凝土拌和物运距、气温、摊铺时间等满足施工工作性的要求, 缓凝时间不宜过长, 一般控制在 2~4 h, 否则会影响强度。

在有冻害地区或为改善混凝土的和易性, 外加剂可以复配引气剂等功能型外加剂。由于高弯拉强度混凝土一般掺加掺合料, 通常引气剂掺量需要成倍增加, 合理的复配量应根据混凝土性能要求, 通过配合比试验确定。复配在一起的外加剂必须具有良好的共溶性, 外加剂与水泥必须具有良好的适应性。

## 2 设计原则与配合比方法

### 2.1 设计原则

高弯拉强度水泥混凝土路面 28 d 弯拉强度标准值规定为 6.0 MPa, 与钢纤维混凝土路面弯拉强度标准值一致; 弹性模量根据试验确定, 若无条件, 可取为 33.0 GPa; 其他设计参数、环境条件的选取同普通水泥混凝土路面。

复掺粉煤灰、硅灰的混凝土路面, 若路面施工工期较长, 可采用混凝土的 56 d 弯拉强度标准值进行设计。若路面开放交通时间不足 56 d, 则仍使用混凝土的 28 d 弯拉强度进行设计。单掺硅灰的混凝土, 按 28 d 弯拉强度标准值进行设计。

高弯拉强度混凝土路面用于提高路面承载能力时, 不减小路面厚度。

高弯拉强度混凝土荷载疲劳应力和温度疲劳应力计算方法参照《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002) 中相关规定, 疲劳系数取普通混凝土的 0.97~1.0 倍。

### 2.2 配合比设计方法

高弯拉强度路面混凝土配合比设计在兼顾经济



性的同时,应满足下列 3 项技术要求。

2.2.1 弯拉强度

高弯拉强度混凝土适用于重、特重交通等级的高等级水泥混凝土路面,或有特殊用途的水泥混凝土路面。普通水泥混凝土路面的弯拉强度标准值为 5.0 MPa,而高弯拉强度水泥混凝土路面混凝土弯拉强度标准值不低于 6.0 MPa,施工配制弯拉强度要求不小于标准值的 1.15~1.2 倍。

2.2.2 工作性

根据水泥混凝土路面施工工艺和施工机械的要求,高弯拉强度混凝土的工作性应符合表 5 的规定。

表 5 高弯拉强度混凝土工作性要求

摊铺方法	滑模摊铺	三辊轴摊铺
出机坍落度/mm	50~70	40~60
摊铺坍落度/mm	30~50	20~40

2.2.3 耐久性

(1)根据当地路面有无抗(盐)冻要求,确定路面混凝土含气量和硬化后混凝土最大平均气泡间距系数,应分别满足表 6、表 7 的要求。

表 6 路面高弯拉强度混凝土含气量范围

环境条件	无抗冻要求	有抗冻要求	有抗盐冻要求
含气量范围/%	3~4	4~5	5~6

表 7 路面和桥面高弯拉强度混凝土最大平均气泡间距系数

环境条件		气泡间距系数/ $\mu\text{m}$
严寒地区	冰冻	300
	盐冻	250
寒冷地区	冰冻	250
	盐冻	200

(2)路面高弯拉强度混凝土磨耗量不应超过 1.5 kg/m<sup>2</sup>。

(3)严寒地区高弯拉强度混凝土抗冻标号不宜小于 300 号;寒冷地区高弯拉强度混凝土抗冻标号不宜小于 250 号。

2.3 高弯拉强度混凝土推荐配合比

(1)水泥可采用道路硅酸盐水泥、硅酸盐水泥(P I、P II)、普通硅酸盐水泥,水泥强度等级不低于 42.5 级。

(2)水灰比不大于 0.40,水灰比推荐范围为 0.32~0.38。

(3)胶凝材料总量不小于 350 kg/m<sup>3</sup>,推荐范围

为 370~500 kg/m<sup>3</sup>。

(4)复掺粉煤灰与硅灰时,粉煤灰绝对外掺量不超过 30%,推荐范围为 10%~25%,硅灰掺量推荐范围为 8%~10%;单掺硅灰,掺量推荐范围为 5%~10%。

(5)砂率推荐范围为 38%~42%。

(6)减水剂应采用高效减水剂,减水率不小于 20%;根据环境条件和工作性要求,可以复配缓凝剂、引气剂等其他功能型外加剂,复配在一起的外加剂应具有良好的共溶性;有引气要求时,必须掺加引气剂,引气剂的掺加量根据试验确定,较普通混凝土适当增加。

3 施工控制

3.1 拌和及运输

在拌和楼开始工作以前,应检查各工序的施工机械和工具,对于有问题的机械和工具立即进行修理或更换,使摊铺工序中的所有机械和工具都能够满足摊铺工艺要求,不至于导致摊铺工程的中间停顿。

高弯拉强度混凝土的初凝时间应不小于 2 h,以满足运输和摊铺要求。为保障拌和物的匀质性、不离析,运输时间不大于 1 h。运至现场的混凝土拌和物应尽快施工,不得延缓,争取在 1 h 内施工完毕。根据施工现场温度和湿度条件,适当调整缓凝剂和保塑剂的掺量,满足现场施工的工作性要求。

3.2 摊铺工艺

摊铺过程中,各道工序均应加快速度,在混凝土拌和物初凝以前完成;但是,摊铺速度宜适当放慢,控制在 0.5~1 m/s。

高弯拉强度混凝土胶凝材料含量多,尤其掺加硅灰以后,混凝土拌和物非常粘稠,在摊铺过程中需要适当提高振捣棒的振动频率,振捣频率一般控制在 150~200 Hz;在使用三辊轴机组施工时,尽量避免振捣棒组在混凝土拌和物中拖行,可以以 0.5~0.8 m 为单位距离进行移动,间歇式插入振动;若因摊铺速度过慢而导致拌和物干涩,可在拌和物上喷雾保塑,禁止洒水。

高弯拉强度混凝土的松铺系数通过铺筑试验段确定。

一天摊铺完成或摊铺过程因事故而停止,需留施工缝。

高弯拉强度混凝土容易开裂,施工时应避开高



温和大风时段,避免阳光直射;温度超过 35℃,则必须停止施工;风速超过 4 级,则应注意早期保湿养护,超过 6 级,则应考虑停止施工。

### 3.3 切缝

高弯拉强度混凝土需要及时切缝,切缝时间不超过 20 h,比普通混凝土路面宜提前,以不啃边为宜。分缝原则同普通混凝土,板块长度为 4~6 m,长宽比不宜超过 1.3,切缝深度为 1/4~1/5 板厚;利用高压水和铁钩清除缝间残留的碎屑;切缝完成以后立即恢复养生措施。

### 3.4 养护

高弯拉强度混凝土胶凝材料和细料多,早期易开裂,应加强早期养护措施;摊铺完毕或软做抗滑构造完成以后,立即喷洒养生剂,喷洒量应满足要求;在不压坏混凝土细观构造的前提下,立即覆盖塑料薄膜养生。复掺粉煤灰和硅灰的高弯拉强度混凝土,由于粉煤灰与水泥水化产物之间还需要进行反应,因此应适当延长养护时间,养生期限视混凝土弯拉强度增长情况而定,一般养生期限不小于 28 d。单掺硅灰的混凝土养生期限不少于 7 d。温度低于 10℃可

适当延长养生期限。

## 4 结语

由于高弯拉强度混凝土需要掺加大量的硅灰、粉煤灰等掺合料及外加剂,而且水胶比很小,在混凝土拌和物和易性、坍落度损失、凝结时间等方面与普通混凝土有所区别,施工过程更为不利。因此,在施工控制方面比普通混凝土更加严格,施工工序要求更加合理紧凑,而且对施工机械的可靠性要求也有所提高。

## 参考文献:

- [1] JTG F30—2003,公路水泥混凝土路面施工技术规范[S].
- [2] JTG D40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [3] 沈旦申. 粉煤灰混凝土[M]. 北京:中国电力出版社, 1992.
- [4] 公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南(报批稿)[Z]. 2003.

## Production and Construction of High Flexural Strength Concrete Used in Pavement

ZHAO Shang-chuan, FU Zhi, LUO Zhu, DU Tian-ling

(Research Institute of Highway, MOC, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Technical requirements of cement, aggregate, mineral admixture and additive are put forward to produce high flexural strength concrete(HFSC) used in pavement. Design rules and applicable method of HSFC proportion are proposed and proportion content is recommended. Key technique during admixing, transporting, spreading, cutting and curing of HFSC is discussed.

**Key words:** road engineering; cement concrete pavement; high flexural strength concrete; production; construction