上海市工程建设规范

粒化高炉矿渣微粉在水泥混凝土中应用技术规程

Practice code for application of concrete with grond granulated blast furnace slag

DG/TJ08－501－1999

主编单位：上海市建筑科学研究院
上海市散装水泥办公室
批准部门：上海市建设委员会
施行日期：1999 年 12 月 1 日

1999 上海

上海市建设委员会

沪建建(99)第0695号

关于批准《粒化高炉矿渣微粉在水泥混凝土中应用技术规程》为上海市工程建设规范的通知

各有关单位：

根据沪建建(97)第0413号文下达的上海市工程建设规范编制计划的要求，由上海市建筑科学研究院、上海市散装水泥办公室共同主编的《粒化高炉矿渣微粉在水泥混凝土中应用技术规程》，经有关专家审查和我委审核，现批准为上海市工程建设推荐性规范，统一编号为DG/TJ08－501－1999，自1999年12月1日起实施。

该推荐性规范由上海市工程建设标准化办公室负责组织实施，上海市建筑科学研究院负责解释。

上海市建设委员会

一九九九年九月二十八日

目　次

1　总则……（1）
2　粒化高炉矿渣微粉的技术条件……（2）
2.1　质量要求……（2）
2.2　矿渣微粉品质试验方法……（3）
2.3　验收要求……（3）
3　矿渣微粉混凝土的工程应用……（5）
3.1　性能特点……（5）
3.2　应用范围……（5）
4　C50 以下矿渣微粉混凝土的配制……（7）
4.1　原材料要求……（7）
4.2　矿渣微粉混凝土配合比设计……（7）
5　C50 及 C50 以上高强矿渣微粉混凝土的配制　……（11）
5.1　原材料要求……（11）
5.2　配合比设计原则……（11）
6　矿渣微粉混凝土施工要求及质量检验评定……（13）

附录 A　名词解释　……（15）
附录 B　矿渣微粉产品合格证　……（16）
附录 C　本规程用词说明　……（17）
附加说明　……（18）

1　总则

1.0.1　为了进一步开发利用上海地区粒化高炉矿渣资源，积极稳妥地推广粒化高炉矿渣微粉混凝土技术，充分发挥其技术性能和特点，确保工程质量，特制订本规程。

1.0.2　本规程适用于掺用粒化高炉矿渣微粉的各类预拌混凝土、现场搅拌混凝土以及混凝土制品和构件。

1.0.3　本规程仅对粒化高炉矿渣微粉混凝土的生产和应用技术条件作出规定。对本规程未涉及的技术内容，均按照现行有关标准规范执行。

2　粒化高炉矿渣微粉的技术条件

2.1　质量要求

2.1.1　粒化高炉矿渣微粉(简称矿渣微粉)是粒化高炉矿渣经干燥、粉磨达到规定细度的粉体。粉磨时也可以添加适量的石膏和助磨剂。

2.1.2　用于生产矿渣微粉的粒化高炉矿渣、石膏、助磨剂等原材料应符合《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 规定。

2.1.3　矿渣微粉质量要求必须符合《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 规定,各规格产品的技术要求规定列于表 2.1.3。

表 2.1.3　矿渣微粉技术要求

品质指标		S115	S105	S95
活性指数(%)	7d	≥95	≥80	≥70
	28d	≥115	≥105	≥95
流动度比(%)		>90	>95	>95
密度(g/cm^3)		>2.8	>2.8	>2.8
比表面积(m^2/kg)		>580	>480	>380
氧化镁(%)		<13.0		
三氧化硫(%)		<4.0		
烧失量(%)		<3.0		
氯离子(%)		<0.02		

注:若矿渣微粉粉磨过程中未掺加助磨剂,且所掺石膏为天然石膏时,可免检氯离子项目。

2.2 矿渣微粉品质试验方法

2.2.1 密度应按《水泥密度测定方法》GB/T208 检验。

2.2.2 比表面积应按《水泥比表面积测定方法(勃氏法)》GB8074 检验。

2.2.3 活性指数应按《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 附录 A 检验。

2.2.4 流动度比应按《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 附录 B 检验。

2.2.5 氧化镁、三氧化硫、烧失量应按《水泥化学分析方法》GB/T176 检验。

2.2.6 氯离子应按《水泥原材料中氯离子的测定方法》JC/T420 检验。

2.3 验收要求

2.3.1 矿渣微粉验收批量应按《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 的规定确定。

2.3.2 矿渣微粉生产单位应按批向应用单位提供产品合格证。产品合格证中应标明工厂名称、地址、规格、重量、生产日期、储存有效期、出厂编号以及本规程表 2.1.3 中的所有技术条件。产品合格证样式参照附录 B 印制。

2.3.3 用户应按《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 规定验收矿渣微粉,并复验活性指数和流动度比二项指标。

2.3.4 取样应有代表性,方法按《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 规定进行,可连续取样,也可以在 20 个以上不同部位取等量样品,总量至少 20kg。试样混匀后,按四分法缩取出比试验所需量大一倍的试样。

2.3.5 矿渣微粉在运输和储存时不得受潮和混入杂物。储存期

超过三个月应重新检验矿渣微粉的活性指数和流动度比二项指标。

3　矿渣微粉混凝土的工程应用

3.1　性能特点

3.1.1　矿渣微粉混凝土的抗压强度、弹性模量等基本力学性能与普通混凝土一致。

3.1.2　与普通混凝土相比，矿渣微粉混凝土后期强度增长率较高、干燥收缩和徐变值较低。

3.1.3　矿渣微粉能优化混凝土孔结构，提高抗渗性能，降低氯离子扩散速度，减少体系内 $Ca(OH)_2$，抑制碱集料反应，提高抗硫酸盐腐蚀能力，使混凝土耐久性得到较大改善。

3.1.4　大掺量矿渣微粉混凝土可降低水化热峰值，延迟峰温发生时间。

3.1.5　新拌矿渣微粉混凝土工作度良好，坍落度经时损失有所减少，易振捣，泌水性小。

3.1.6　矿渣微粉混凝土 7d 前的早期强度有所降低。矿渣微粉比表面积越小，掺量越大，养护温度越低，早期强度增长越慢。

3.1.7　矿渣微粉对混凝土有一定的缓凝作用，低温时影响更为明显。因此，冬季施工时，矿渣微粉混凝土宜选用非缓凝型的减水剂。

3.2　应用范围

3.2.1　矿渣微粉混凝土可用作一般建设工程的钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土和素混凝土。

3.2.2　大掺量矿渣微粉混凝土适宜于大体积工程混凝土、地下工程混凝土、水下工程混凝土和海水工程混凝土等方面应用。

3.2.3　矿渣微粉适宜于配制高强度、高性能和道路桥梁等混凝

土。

3.2.4 矿渣微粉可以配制泵送、塑性和干硬性等各种流动度的混凝土。

3.2.5 矿渣微粉用于预应力钢筋混凝土时，放松或张拉预应力前，矿渣微粉混凝土的强度必须达到设计规定的强度要求。如设计无具体要求，其强度应达到设计标准值的80%。

4　C50 以下矿渣微粉混凝土的配制

4.1　原材料要求

4.1.1　矿渣微粉技术要求应符合本规程表 2.1.3 的规定。

4.1.2　水泥应选用 525 或 525 以上标号的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其性能应符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB175 的规定。

4.1.3　砂的技术要求应符合《建筑用砂》GB/T14684 的规定，其细度模数宜大于 2.3。

4.1.4　碎石的技术要求应符合《建筑用卵石、碎石》GB/T14685 的规定。

4.1.5　水应符合《混凝土拌合用水标准》JGJ63 的规定。

4.1.6　粉煤灰的质量指标应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596 规定的Ⅰ级灰或Ⅱ级灰的要求。高钙粉煤灰应符合《高钙粉煤灰混凝土应用技术规程》DBJ08－230 的规定。

4.1.7　外加剂应符合《混凝土外加剂》GB8076 和《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB8077 的有关规定。

4.2　矿渣微粉混凝土配合比设计

4.2.1　矿渣微粉混凝土的设计强度等级、强度保证率等指标应与普通混凝土相同，其取值应按《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204 和《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55 的有关规定执行。

4.2.2　矿渣微粉混凝土设计强度一般取 28d 强度。在满足工程技术要求和充分保湿养护的条件下，设计可选用 60d 或 90d 强度。

4.2.3 矿渣微粉根据不同等级和不同用途，其掺量($\frac{S}{S+C}$)应符合表 4.2.3 的规定。

括号中： S——矿渣微粉在混凝土中的用量 kg/m^3；

C——矿渣微粉混凝土中水泥用量 kg/m^3。

表 4.2.3 矿渣微粉掺量(%)

矿渣微粉规格	S115	S105	S95
上部结构混凝土	≤50	≤50	≤50
大体积混凝土	—	50～70	50～70
地下、水下混凝土	30～70	30～70	≤50
隧道混凝土	30～70	30～70	≤50
抑制碱骨料反应	40～70	40～60	40～50
道路、桥梁混凝土	≤50	≤50	≤50
素混凝土	≤70	≤70	≤70

注：①当矿渣微粉掺量大于 50%时，应根据实际所用的水泥和矿渣微粉掺量，进行胶凝材料强度和凝结时间试验，确认其能满足设计、施工要求；

②当采用普通硅酸盐水泥时，矿渣微粉最大掺量应≤60%。

4.2.4 矿渣微粉混凝土的胶凝材料用量、水泥用量和水胶比应满足表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4　矿渣微粉混凝土胶凝材料用量、水泥用量、水胶比

用　途	胶凝材料(kg/m³)	水泥用量(kg/m³)	水胶比
上部结构	≥300	≥200	<0.55
大体积	≥270	≥110	<0.60
地下、水下	≥300	≥150	<0.55
隧道	≥300	≥180	<0.55
抑制碱骨料反应	≥300	≥150	<0.55
素混凝土	≥250	≥100	≤0.70
道路、桥梁、海水工程	≥300	≥200	<0.50
有冻害、潮湿环境中的结构	≥300	≥200	<0.50

注：上部结构中如采用纯硅酸盐水泥，最低水泥用量应为 180kg/m³。

4.2.5　各种等级矿渣微粉的胶凝效率(K)可根据实际使用的水泥和矿渣微粉掺量，按照活性指数试验方法实测确定。当无条件实测时，可根据其掺量按表 4.2.5 选择采用。

表 4.2.5　矿渣微粉胶凝效率(K)

掺量(%)	S115	S105	S95
≤30	1.15	1.05	1.00
31～50	1.15	1.05	0.95
51～70	1.10	1.00	0.90

4.2.6　矿渣微粉混土中允许掺用粉煤灰代替部分胶凝材料，但粉煤灰掺量不能大于矿渣微粉。粉煤灰的应用应按《粉煤灰混凝土应用技术规范》GBJ146、《粉煤灰渣在混凝土和砂浆中应用技术规程》DBJ08－27 和《高钙粉煤灰混凝应用技术规程》DBJ08－230 的规定执行。

4.2.7　矿渣微粉混凝土的强度规律依然符合水灰比定则，可按胶

凝效率将矿渣微粉折算入胶凝材料用量。矿渣微粉混凝土配合比设计采用绝对体积法计算，其水胶比计算方法以及用水量、砂率等参数的选择应按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55 的规定执行。

4.2.8 矿渣微粉混凝土中外加剂掺量以胶凝材料用量为基数计算；外加剂掺量及对水泥的适应性应符合《混凝土外加剂应用技术规范》GBJ119 的有关规定。

4.2.9 矿渣微粉混凝土设计配合比应按照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55 规定的方法进行试配调整，经确认合格后投入生产应用。

5　C50 及 C50 以上高强矿渣微粉混凝土的配制

5.1　原材料要求

5.1.1　配制 C50～C60 级矿渣微粉混凝土，宜采用 S105 或 S115 级矿渣微粉。配制 C60 以上的矿渣微粉混凝土，宜采用流动度比大于 105% 的 S115 级矿渣微粉。

5.1.2　砂细度模数应大于 2.6，含泥量应小于 2%，配制 C70 以上混凝土时，含泥量应小于 1%。其它性能应符合《建筑用砂》GB/T14684 的规定。

5.1.3　碎石的石材强度应大于混凝土配制强度 1.5 倍，压碎指标值小于 6%，针片状含量小于 5%，含泥量小于 1%，其它性能应符合《建筑用卵石、碎石》GB/T14685 的规定。

5.1.4　混凝土外加剂应采用高效减水剂。配制 C50～C60 级矿渣微粉混凝土，减水剂减水率宜大于 15%；配制 C60 以上矿渣微粉混凝土，减水剂减水率宜大于 20%。

减水剂其它性能应符合《混凝土外加剂》GB8076 和《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB8077 的有关规定。

5.1.5　水泥、粉煤灰和水等其他配制材料应符合本规程 4.1 的规定。

5.2　配合比设计原则

5.2.1　高强矿渣微粉混凝土配合比应根据设计要求的结构强度、耐久性、施工工艺和环境温度等条件进行试配，经确认合格后才能投入生产应用。

5.2.2 高强矿渣微粉混凝土的配制强度应符合《高强混凝土结构设计规程》DBJ08－77 的要求。

5.2.3 高强矿渣微粉混凝土中矿渣微粉的掺量不宜超过 30%。

5.2.4 高强矿渣微粉混凝土中，胶凝材料用量应小于 600kg/m^3。

5.2.5 矿渣微粉在高强矿渣微粉混凝土中的胶凝效率 K 应通过试验确定，其适宜范围在 1.10～1.15。

5.2.6 矿渣微粉高强混凝土的水胶比宜控制在 0.24～0.38 范围内，强度较高，水胶比越小。

6　矿渣微粉混凝土施工要求及质量检验评定

6.0.1　矿渣微粉的计量采用重量法，单盘称量误差不得超过±2%。累计计量胶凝材料总称量误差不得超过±1%。

6.0.2　矿渣微粉混凝土的搅拌顺序与普通混凝土相同，矿渣微粉宜与水泥和粉煤灰同时加入。搅拌时间由搅拌机类型决定，可适当延长10～20s，以确保搅拌均匀。

6.0.3　采用混凝土搅拌车运送新拌混凝土时，出搅拌车时混凝土的和易性和坍落度，应能满足现场施工浇筑的需要。当施工环境温度较高或混凝土搅拌至浇筑的间隔时间较长时，应通过试验确定矿渣微粉混凝土的坍落度经时损失。

6.0.4　新拌矿渣微粉混凝土的和易性一般优于普通混凝土，在浇筑过程中应避免过振或漏振，以确保混凝土浇筑密实、不离析。混凝土终饰抹面作业应在泌水结束、终凝之前进行。

6.0.5　矿渣微粉混凝土浇筑表面在养护期间应作遮盖并保持湿润，养护时间不少于7d；低温施工时应作保温保湿措施，养护时间不少于21d。

大体积混凝土浇筑表面应采取保温保湿措施，养护期间应保持混凝土内外温差小于25℃。

6.0.6　低温施工的矿渣微粉混凝土，宜加强早期强度检验，并预留长期试件备查。

6.0.7　蒸养矿渣微粉混凝土的养护制度可按照《粉煤灰混凝土应用技术规范》GBJ146的规定执行。

6.0.8　矿渣微粉混凝土的质量检验评定，按《混凝土强度检验评

定标准》GBJ107 和《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204 执行。

附录A　名词解释

本规程所用名词	解释
矿渣微粉混凝土	以矿渣微粉为主要掺合料配制的混凝土。
活性指数	矿渣微粉按规定比例等量取代水泥后的胶砂强度与基准水泥胶砂强度之比。
流动度比	矿渣微粉按规定比例等量取代水泥后的胶砂流动度与基准水泥胶砂流动度之比。流动度比越大，表示矿渣微粉需水性越小。
胶凝材料	混凝土中水泥、矿渣微粉和粉煤灰的总和。
水胶比	混凝土中的总用水量与胶凝材料总量之比。
胶凝效率(K)	单位重量矿渣微粉的强度贡献与单位重量水泥强度贡献之比。
坍落度经时损失	新拌混凝土出搅拌站时坍落度随时间变化而产生的坍落度之差。
低温施工	施工期间连续5d日平均气温在5℃以下。

附录B　矿渣微粉产品合格证

产品规格：　　生产日期：

出厂规格：　　有 效 期：

重　　量：　　添加材料：

产品性能		标准值	实测值
活性指数(%)	7d		
	28d		
流动度比(%)			
比表面积(m^2/kg)			
密度(g/cm^3)			
氧化镁(%)			
三氧化硫(%)			
烧失量(%)			
氯离子(%)			

生产单位：　　复核：　　测试：

地　　址：　　电话：

附录C　本规程用词说明

B.0.1　执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格，非这样作不可的用词：

正面词采用“必须”，

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格，在正常情况下均应这样作的用词：

正面词采用“应”，

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样的用词：

正面采用“宜”或“可”，

反面词采用“不宜”。

B.0.2　条文中指明应按其它有关标准和规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。

编 制 说 明

根据上海市建设委员会沪建建(97)第0413号文下达的上海市工程建设地方标准编制计划,由上海市建筑科学研究院、上海市散装水泥办公室为主编单位,同济大学、上海市建筑构件制品公司、上海市建筑工程材料公司为参编单位,共同编制了本规程。

上海目前每年高炉矿渣排放量为300万吨,生产矿渣微粉的企业已有近十家,年产矿渣微粉数十万吨。采用矿渣微粉作掺合料,已成为改善混凝土性能、降低混凝土生产成本的一项重要技术措施。因此,迫切需要编制矿渣微粉混凝土的生产应用规程,以保证工程质量,使该项技术的推广应用健康发展。

本规程以矿渣微粉混凝土配置技术为重点,对矿渣微粉混凝土的原材料、配合比设计方法和矿渣微粉混凝土性能特点及应用范围等作了必要的规定和说明,具有可操作性。

编制组从98年下半年开始编制工作。在有关方面的积极配合支持下,汇集了上海矿渣微粉混凝土的科研成果和应用实践经验,并参考了国外有关技术资料和规范,经专家多次讨论修改和必要的验证试验,完成了本规程的编制。

各单位在执行本规程过程中,注意积累资料,随时总结经验,对需要修改和补充之处,请将意见函告上海市建筑科学研究院(宛平南路75号,邮政编码200032),以便修改时参考。

上海市工程建设标准化办公室

一九九九年六月

目　次

1　总则……（1）
2　粒化高炉矿渣微粉的技术条件……（2）
2.1　质量要求……（2）
2.2　矿渣微粉品质试验方法……（3）
2.3　验收要求……（3）
3　矿渣微粉混凝土的工程应用……（4）
3.1　性能特点……（4）
3.2　应用范围……（11）
4　C50 以下矿渣微粉混凝土的配制……（13）
4.1　原材料要求……（13）
4.2　矿渣微粉混凝土配合比设计……（13）
5　C50 及 C50 以上高强矿渣微粉混凝土的配制……（17）
5.1　原材料要求……（17）
5.2　配合比设计原则……（17）
6　矿渣微粉混凝土施工要求及质量检验评定……（18）

1 总 则

1.0.1 上海目前每年高炉矿渣排放量为300万吨,生产矿渣微粉的企业已有近十家,年产矿渣微粉数十万吨,其中极大部分用作混凝土掺合料以改善混凝土性能、降低混凝土成本。为了使矿渣微粉混凝土在上海的工程建设中得到更好的应用,依据上海市建委组织上海市散装水泥办公室和上海市建筑科学研究院负责的攻关项目"高炉矿渣微粉生产及开发应用技术研究"的科研成果和工程应用经验,特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各类工程建设中掺用高炉矿渣微粉的混凝土和混凝土制品。

1.0.3 由于矿渣微粉混凝土属于普通混凝土范畴,应用范围很广,本规程仅对矿渣微粉的一些特殊要求作出规定。在进行工程应用时,还应与相应工程类别的现行有关规范配套使用。

2　粒化高炉矿渣微粉的技术条件

2.1　质量要求

2.1.1　矿渣微粉中掺入适量的石膏，不仅可增进混凝土早期强度，而且可改善与耐久性有关的性能。掺加助磨剂是为了降低矿渣微粉的粉磨能耗，提高粉磨效率。故本规程规定：粉磨时可添加适量石膏和助磨剂。

2.1.2　矿渣微粉的活性在化学成分上主要取决于粒化高炉矿渣 CaO、MgO 和 Al_2O_3 的含量，其碱度应符合《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 的规定。

石膏允许掺加的量以 SO_3 为控制指标，应小于 4.0%。

助磨剂应确保对矿渣微粉及其配制的混凝土品质无不良影响，且符合《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 的规定。

2.1.3　矿渣微粉技术要求须符合《混凝土和砂浆用粒化高炉矿渣微粉》DB31/T35 的规定，其中活性指数和流动度比是最重要的品质指标。活性指数反映了矿渣微粉对硬化混凝土力学性能的影响；流动度比则反映矿渣微粉对新拌混凝土工作性的影响。

矿渣微粉的密度一般大于 2.9g/cm^3，本规程规定不小于 2.8g/cm^3 是考虑到允许掺加适量石膏和助磨剂。

矿渣微粉的活性在物理意义上主要由比表面积决定。比表面积也是不同规格矿渣微粉的主要生产控制指标。根据上海地区矿渣微粉的生产和应用情况。规定了三种不同规格矿渣微粉的比表面积控制范围。

高炉矿渣中 MgO 存在于玻璃相，而不是以方镁石的形态存在。因此在一定限度内 MgO 不会引起体积膨胀，且能提高矿渣

微粉活性。上海地区矿渣中 MgO 的含量在 8～12%之间，经试验安定性均合格，故规定 MgO＜13%。

SO_3 指标是为了控制矿渣微粉中石膏的掺量，规定 SO_3＜4.0%是参照我国矿渣水泥标准中 SO_3 规定含量制定的。

烧失量指标是为了控制石膏和助磨剂的掺入量，参照日本标准《混凝土用矿渣微粉》JIS A6206 规定矿渣微粉烧失量＜3%。

CI^{-1}含量过高会导致混凝土中钢筋锈蚀。根据《混凝土用矿渣微粉》JIS A6206 规定，矿渣微粉中 CI^{-1}＜0.02%。由于高炉矿渣和天然石膏中 CI^{-1}含量甚微，因此本规程规定若矿渣微粉粉磨过程未掺加助磨剂，且所掺石膏为天然石膏时，可免检 CI^{-1}项目。

2.2 品质试验方法

本规程的试验方法均采用我国现行的测试方法，以便于操作。

2.3 验收要求

2.3.1、2.3.2、2.3.4 矿渣微粉的批号、产品合格证和取样方法等是根据矿渣微粉的实际情况，同时参照我国水泥标准而制定的。

2.3.3 活性指数和流动度比是表明矿渣微粉对硬化混凝土和新拌混凝土性能影响程度的重要指标。故本规程规定用户应复验该二项指标。

2.3.5 试验资料表明，高炉矿渣微粉的活性指数随储存时间推移而降低，本规程规定储存期超过三个月应重新检验矿渣微粉的活性指数和流动度比。

3　矿渣微粉混凝土工程应用

3.1　性能特点

3.1.1　矿渣微粉混凝土硬化后的力学性能属普通混凝土范畴(见表3.1.1)。有关设计参数可按照《混凝土结构设计规范》GBJ10规定取值。

表3.1.1　矿渣微粉混凝土力学性能(MPa)

编号	抗压强度	抗折强度	劈拉强度	轴心抗压	弹性模量($\times 10^4$)
D-7	36.9	6.16	3.25	28.5	3.56
D-8	53.6	7.99	4.51	43.6	4.02
X-1	73.0	7.56	5.54	60.5	4.34

3.1.2　在标准养护条件下,水泥硬化28天后,矿渣微粉仍继续水化,发挥强度效应,其强度增长幅度在14%～38%,并与矿渣微粉的比表面积呈负相关(见表3.1.2-1)。

表 3.1.2－1　矿渣微粉水泥胶砂强度发展

编号	比表面积 (m^2/kg)	掺量 (%)	抗压强度(MPa)/强度增长率(%)					
			3d	7d	28d	90d	180d	360d
B1	625	50	26.0	46.9	74.6	81.6	83.3	85.4
			34.9	62.9	100	109.4	111.7	114.5
B2	444	50	21.9	40.3	71.1	83.9	85.9	88.5
			30.8	56.7	100	118.0	120.8	124.5
B3	376	50	19.8	36.1	67.6	83.0	84.3	87.7
			29.3	53.4	100	122.8	124.7	129.7
Ws_1	438	50	23.5	38.3	65.3	73.1	71.7	79.9
			36.0	58.7	100	111.9	109.8	122.4
Ws_2	376	50	18.9	31.2	59.7	70.7	77.5	82.4
			31.7	52.3	100	118.4	129.8	138.0

国外资料以及上海市的验证亦表明，矿渣微粉混凝土的收缩徐变值比普通混凝土低(见表 3.1.2－2)。

表 3.1.2-2 矿渣微粉混凝土收缩与徐变

混凝土品种	试验项目	龄期 (d)							
		3	7	14	28	45	60	90	120
C40泵送粉煤灰混凝土	收缩 $\varepsilon \times 10^{-6}$	98.0	146.7	240.0	323.4	390.0	436.7	473.4	497.7
	徐变度 $C_1 \times 10^{-6}$ (mm^2/N)	11.375	15.797	18.750	22.219	28.391	31.427	34.292	36.026
	徐变系数 Ψ	0.392	0.545	0.647	0.766	0.979	1.084	1.183	1.243
C40泵送矿渣微粉混凝土	收缩 $\varepsilon \times 10^{-6}$	64.66	125.34	198.66	257.34	280.66	300.0	324.40	344.66
	徐变度 $C_1 \times 10^{-6}$ (mm^2/N)	7.70	11.05	14.84	19.75	23.10	26.36	27.99	29.62
	徐变系数 Ψ	0.283	0.407	0.546	0.727	0.850	0.970	1.030	1.090

混凝土品种	试验项目	龄期 (d)							
		150	180	210	240	270	300	330	360
C40泵送粉煤灰混凝土	收缩 $\varepsilon \times 10^{-6}$	520.0	540.0	560.0	580.0	600	620.0	640.0	654.0
	徐变度 $C_1 \times 10^{-6}$ (mm^2/N)	37.589	38.719	39.844	40.974	41.844	42.714	43.578	44.443
	徐变系数 Ψ	1.296	1.335	1.374	1.413	1.443	1.473	1.503	1.533
C40泵送矿渣微粉混凝土	收缩 $\varepsilon \times 10^{-6}$	364.00	380.66	394.66	408.66	426.66	426.66	430.66	434.66
	徐变度 $C_1 \times 10^{-6}$ (mm^2/N)	31.25	32.34	33.42	34.51	35.51	36.14	36.50	36.87
	徐变系数 Ψ	1.150	1.190	1.230	1.270	1.307	1.330	1.343	1.357

3.1.3 矿渣微粉的微集料效应和二次水化反应使混凝土进一步致密，孔径细化，连通孔减少，水渗透系数和离子渗透速度均有明显降低(见表 3.1.3－1、3.1.3－2)，钢筋保护功能提高(见表 3.1.3－3)。

矿渣微粉混凝土中由于水泥用量降低和矿渣微粉本身对碱的吸收，使整个混凝土中 $Ca(OH)_2$ 减少，再加上密实度提高所带来的物理效应，使其抗硫酸盐性能和抑制碱集料反应的能力亦明显提高(见表 3.1.3－4 和图 3.1.3)。

表 3.1.3－1 微粉混凝土水渗透系数试验结果

混凝土品种	C40 泵送粉煤灰混凝土		C40 泵送矿渣微粉混凝土	
试件号	F40－1	F40－2	S40－1	S40－2
水渗透系数 $K\times10^{-11}$(cm/s)	1.7	2.1	1.0	1.2
平均(cm/s)	1.9×10^{-11}		1.1×10^{-11}	

* 普通混凝土的水渗透系数一般为 10^{-9}cm/s

表 3.1.3－2 水泥浆体中离子扩散系数

扩散离子	硬化时间(d)	W/C	矿渣微粉含量(%)	扩散系数 $Dm10^{-8}(cm^2/s)$	
				普通水泥	矿粉水泥
Na^+	28	0.55	60	1.47	0.05
	28	0.60	60	3.18	0.05
	28	0.65	60	4.73	0.06
Cl^{-1}	28	0.55	60	3.57	0.12
	28	0.60	60	6.21	0.23
	28	0.65	60	8.53	0.41
	60	0.50	65	4.47	0.41

表 3.1.3－3　混凝土钢筋锈蚀快速试验

编号	试块品种	28 天强度(MPa)	破坏时间(d)	平均电阻(Ω)
G－42 G－43	525 普硅水泥	64.2	15 15	833
G－21 G－22	525 普硅水泥 掺 30％粉煤灰	60.1	20 21	1364
G－32 G－33	525 普硅水泥 掺 50％矿渣粉	66.8	33 35	1200
D7－1 D7－3	525 普硅水泥 掺 70％矿渣粉	46.4	39 54	1235
D8－2 D8－3	525 普硅水泥掺 50％矿渣粉用于大体积混凝土	57.5	52 52	1176

表 3.1.3－4　矿渣微粉水泥抗硫酸盐 (3％Na_2SO_4 溶液)试验

试件编号	试块品种	1 个月抗蚀系数 K1
P	硅酸盐水泥 100％	1.05
F	硅酸盐水泥 70％＋粉煤灰(一级)30％	1.16
S－1	硅酸盐水泥 50％＋矿渣微粉 50％	1.09
S－2	硅酸盐水泥 30％＋矿渣微粉 70％	1.14
S－3	硅酸盐水泥 35％＋矿渣微粉 50％＋粉煤灰(一级)15％	1.24

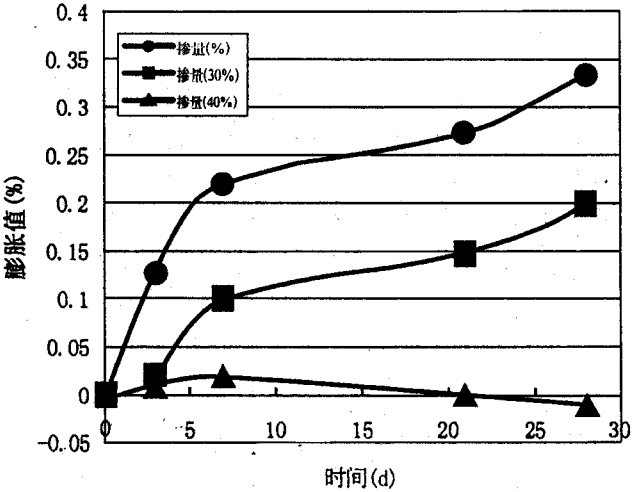

图 3.1.3　矿渣微粉对碱集料反应的抑制

3.1.4　根据《高炉矿渣微粉生产技术及开发应用研究》资料中实测数据，矿渣微粉能降低水泥水化热峰温值 3～4℃，延迟峰温出现的时间。当矿渣微粉掺量大于 50% 以上时，还可降低水化热（见表 3.1.4）。

表 3.1.4　S95 级矿渣微粉对水泥水化热的影响

序号	水泥		胶结料配比		水化热 Q (KJ/Kg)(%)		峰温 (℃)	峰温出现时间(h)
	品种	生产厂	水泥	矿渣微粉 W	3d	7d		
1	525PI	江南	100	0	243 (100)	272 (100)	33	11
2	525PI	江南	50	50	226 (93)	280 (103)	29.3	21
3	525PI	江南	30	70	209 (86)	243 (89)	28.7	25

3.1.5　矿渣微粉加入混凝土以后，延缓胶凝材料的水化速率，降低了新拌混凝土的屈服应力，而矿渣微粉较高的比表面积对改善保水性能亦有帮助，所以施工现场反映矿渣微粉混凝土的工作度良好。根据编制组所掌握的调查材料，矿渣微粉混凝土坍落度经时损失一般在 2～7cm。

3.1.6　矿渣微粉混凝土的早期强度主要取决于胶凝材料的水化速度。因此，矿渣微粉的品质和掺量均会明显地影响胶凝材料的早期强度(见表3.1.6)。

表3.1.6　矿渣微粉品种、掺量对胶砂强度影响(%)

品种	龄期(d)	高炉矿渣微粉掺量(%)						
		0	20	30	40	50	60	70
S95	3	100	83.7	74.1	65.1	53.2	47.8	45.2
	7	100	90.1	82.1	75.6	75.2	63.9	62.5
	28	100	106.6	105.9	103.6	99.5	96.9	87.5
S105	3	100	89.2	83.4	77.1	71.9	66.3	58.0
	7	100	98.5	95.4	91.1	88.8	88.4	82.4
	28	100	106.9	106.9	108.9	110.9	108.0	100.5
S115	3	100	–	–	–	92.1	–	82.2
	7	100	–	–	–	97.3	–	95.9
	28	100	–	–	–	117.6	–	110.6

3.1.7　凝结时间的影响因素和规律与早期强度基本类似，主要与水化速度有关。表3.1.7中的数据反映了矿渣微粉品质、掺量对凝结时间的影响。

表 3.1.7　矿渣微粉对水泥浆体稠度、安定性、凝结时间的影响

比表面积 (m^2/Kg)	50/50 重量(%)				70/30 重量(%)			
	稠度(%)	安定性	初凝(时-分)	终凝(时-分)	稠度(%)	安定性	初凝(时-分)	终凝(时-分)
380	28.0	合格	3-11	4-16	30.2	合格	3-40	4-42
514	25.2	合格	2-58	4-03	25.8	合格	2-38	4-05
469	25.4	合格	2-49	3-54	25.6	合格	2-50	4-17
394	26.2	合格	2-56	4-01	27.0	合格	2-32	4-20
430	26.6	合格	2-45	4-05	27.0	合格	2-57	4-15
598	23.8	合格	2-23	3-27	24.0	合格	2-32	3-40
P525	26.4	合格	2-19	3-39	-	-	-	-

3.2　应用范围

3.2.1　矿渣微粉混凝土的基本力学性能与普通混凝土一致。所以普通混凝土所能适用的一般用途，矿渣微粉混凝土均能适用。

3.2.2　大掺量矿渣微粉混凝土可以减少水化热、降低峰温、延迟峰温出现的时间，有利于避免或减少温差裂缝，而且抗硫酸盐性能亦有明显提高。因此，用作大体积混凝土和海水工程混凝土正是充分发挥了矿渣微粉混凝土的性能特点。大掺量矿渣微粉混凝土的强度发挥对养护条件比较敏感，早期的保温、保湿尤为重要。而在地下工程和水下工程中，养护措施一般较易实施，采用大掺量矿渣微粉混凝土，养护条件能够得到保证。

3.2.3　矿渣微粉的微粉效应和二次水化作用可以优化混凝土的孔结构、提高密实度、降低水渗透和离子扩散速度，抗冻、钢筋保护、抗硫酸盐腐蚀、抑制碱集反应等耐久性指标均有明显改善。掺加矿渣微粉已成为配制高强、高性能混凝土的主要技术措施之一。

3.2.4 矿渣微粉自身的物理效应和化学效应均有利于新拌混凝土工作度的改善,配合化学外加剂的应用,可配制各种流动度的矿渣微粉混凝土。

3.2.5 矿渣微粉混凝土的早期强度相对偏低,尤其是在冬季。因此,强调放张预应力前,矿渣微粉混凝土强度必须达规定要求,以免发生预应力损失过大或混凝土结构损伤等问题。

4　C50 以下矿渣微粉混凝土的配制

4.1　原材料要求

4.1.2　矿渣微粉的活性发挥有赖于水泥提供的碱性环境，而矿渣水泥由于已掺合了相当一部分的矿渣，碱度相对较低。因此，本规程规定选用硅酸盐或普通硅酸盐水泥。考虑到目前市场上 425 普通硅酸盐水泥中的混合材比较杂，不利于矿渣微粉性能特点的稳定发挥。因此，水泥标号选用 525 或 525 以上。

4.2　矿渣微粉混凝土配合比设计

4.2.1　矿渣微粉混凝土力学性能属普通混凝土范畴。因此其设计强度、强度保证率等指标亦参照普通混凝土的相关标准规范的规定取值。

4.2.2　在充分保湿保温养护条件下，矿渣微粉混凝土可以获得较高的后期强度。因此，当能确保充分养护时，可以选用 60 天或 90 天强度为设计值，以发挥矿渣微粉的技术特点。

4.2.3　矿渣微粉的掺量主要根据矿渣微粉的品质和混凝土的用途来确定。矿渣微粉活性指数较高，养护条件好，掺量可取上限，反之则取下限。

上部结构混凝土和道路桥梁混凝土在施工中养护措施一般难以到位，养护条件相对较差，且重要的受力部位较多。所以矿渣微粉掺量限制在 50%。大体积混凝土主要考虑温差裂缝问题，矿渣微粉掺量太少，降低温升、减少水化热的作用不明显。因此掺量应在 50～70%。地下、水下工程混凝土养护条件较易保证，矿渣微粉根据品质不同，掺量分别控制在 70%和 50%。对于有碱集料反应的场合，矿渣微粉掺量达到 40%以上，才能基本抑制碱集料反

应所产生的体积膨胀。所以其掺量必须达到40%，上限则根据品质不同分别控制在70%、60%、50%。素混凝土一般用于非主要部位，且无钢筋锈蚀问题，故掺量可放大至70%。

矿渣微粉品质检验时，掺量规定为50%。因此，实际应用中，当掺量大于50%时，应根据实际所用的水泥和掺量，进行强度和凝结时间试验。

由于普通硅酸盐水泥中已经掺入部分掺合材料，因此矿渣微粉的最大掺量不应超过60%。

4.2.4 矿渣微粉混凝土的最低胶凝材料用量、水泥用量和最大水胶比是确保混凝土耐久性的重要技术参数。本规程参考《混凝土结构施工及验收规范》GB50204、《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55和《日本高炉矿渣微粉混凝土设计施工指南》，根据混凝土不同的用途，确定相应的最低胶凝材料用量、水泥用量和最大水胶比。

4.2.5 矿渣微粉的胶凝效率(K)是表征其替代水泥能力的参数，当掺量取为50%时，其数值等于活性指数。由于矿渣微粉与不同种类、牌号的水泥配合时，其胶凝效率有一定差异(见表4.2.5)，因此用户有条件时，应尽量通过实测来确定矿渣微粉的胶凝效率(K)。

表 4.2.5　不同基准水泥对矿渣微粉活性指数的影响

基准水泥品种	水泥生产厂	抗压强度(MPa)		活性数 SAI	
		7d	28d	7d	28d
P525Ⅱ	江南小野田	58.9	74.3	–	–
P525Ⅱ	江南小野田	42.5	70.0	72.2	94.2
525PO	联合水泥厂	55.1	70.6	–	–
525PO	联合水泥厂	40.2	67.6	73.0	95.8
P525	红旗水泥厂	50.7	60.7	–	–
P525	红旗水泥厂	31.2	59.7	62	98.4
525PO	吴淞水泥厂	32.7	57.5	75.2	99.5

4.2.6　矿渣混凝土中可以掺加部分品质符合规定要求的粉煤灰和高钙粉煤灰。限制粉煤灰掺量低于矿渣微粉是从矿渣微粉混凝土定义出发，以便操作。

4.2.7　矿渣微粉混凝土配合比按照《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55 规定的方法计算，水胶比公式作如下变换：

$$\frac{W}{C+K\cdot S+K_f\cdot F}=\frac{A\cdot f_{ce}}{f_{cu}+A\cdot B\cdot f_{ce}}$$

式中　A、B——回归系数

fce——水泥强度(MPa)

fcu——配制强度(MPa)

C——水泥用量(kg/m^3)

S——矿渣微粉用量(kg/m^3)

K——矿渣微粉胶凝效率

F——粉煤灰用量(kg/m^3)

K_f——粉煤灰胶凝效率

W——用水量(kg/m^3)

由表 4.2.7 可见，水胶比计算公式对矿渣微粉混凝土是适用的。

表 4.2.7　矿渣微粉混凝土计算强度与实测强度

矿渣微粉			粉煤灰		水泥用量 (kg/m³)	外加剂 (kg/m³)	计算强度 (MPa)	实测强度 (MPa)	偏差 (%)
品种	掺量 (%)	K	掺量 (%)	K_f					
S95	70	0.9	–	–	127	–	33.6	38.4	+12.6
S95	70	0.9	–	–	126	1.47 (P621)	34.7	41.5	+16.4
S95	40	0.95	13.0	0.6	239	6.0 (ZK904)	41.9	56.9	+36.6
S95	50	0.95	13.6	0.6	191	1.54 (P621)	41.5	53.6	+22.5
S105	70	1.0	–	–	130	–	41.3	42.9	+3.8
S105	70	1.0	–	–	129	–	45.5	43.8	-3.9
S105	70	1.0	14.0	0.6	129	1.50 (P621)	43.6	45.6	+4.3
S105	70	1.0	–	–	122	6.09 (SP406)	45.7	54.5	+16.3

5 C50及C50以上高强矿渣微粉混凝土的配制

5.1 原料料要求

5.1.1 S105、S115级矿渣微粉活性指数较高，适宜于配制高强混凝土。为了控制水胶比，在配制C60以上混凝土时，建议采用流动度比大于105%，即有减水效应的S115级矿渣微粉。

5.1.2～5.1.5 高强混凝土其他原材料要求是参考上海市标准《高强混凝土结构设计规程》DBJ08－97和《高强混凝土结构施工指南》HSCC93－2的有关条文确定的。

5.2 高强矿渣微粉混凝土设计原则

5.2.1 高强混凝土的配合比设计受原材料影响较大，目前尚无成熟的统一计算方法。高强矿渣微粉混凝土亦不例外，配合比主要根据设计要求，施工工艺和环境条件等，通过试配确定。

5.2.3 根据日本资料，当矿渣微粉比表面积在600m^2/Kg以上，配制高强混凝土时，掺量过高，有可能产生自身收缩裂缝。因此，建议矿渣微粉掺量不超过30%。

5.2.4 在一定范围内，混凝土强度与胶凝材料用量呈正相关。但是胶凝材料用量过高将会导致收缩过大，耐久性劣化等问题。因此，胶凝材料用量控制在600kg/m^3以下。

5.2.5 高强混凝土要求采用活性较高的S105和S115级矿渣微粉。因此，其胶凝效率可在1.05～1.15之间选择。

5.2.6 水胶比是混凝土达到设计强度的关键参数，将其控制在0.24～0.38范围内，并保持一定的流动度，就要求外加剂要达到相应的减水率，而矿渣微粉的需水量要小。

6　矿渣微粉混凝土施工要求及质量检验要求

6.0.1　矿渣微粉混凝土的计量同一般商品混凝土一样，要求采用重量法，累计称量误差应小于±1%，以保证混凝土配合比的精度。

6.0.2　矿渣微粉混凝土的搅拌工艺与普通混凝土一样，并无特殊要求。但为保证搅拌均匀，可根据搅拌机的机型，适当延长搅拌时间10～20s。

6.0.3　新拌矿渣微粉混凝土的流动度随时间、温度的变化而变化，而且不同外加剂、水泥的影响规律也有所差异。因此，当环境温度较高或搅拌至浇筑的间隔时间较长时，应试验测定混凝土的坍落度经时损失，制定相应的工艺措施和技术措施。

6.0.4　新拌矿渣微粉混凝土的屈服应力较小，容易振捣。施工中既要防止漏振，也要避免过振导致分层。由于矿渣微粉有一定的缓凝作用，混凝土终饰抹面作业要把握恰当的时机。

6.0.5　养护是矿渣微粉混凝土强度发展的必要条件，必须予以足够的重视。一般情况养护期不少于7d，低温施工时，养护期不少于21d。

大体积混凝土施工时应加强混凝土表面保温措施，控制混凝土内外温差，避免温差裂缝。

6.0.6　矿渣微粉混凝土早期强度相对较低，而后期强度增长较大，在低温条件下更为敏感。建议进行早期强度检测，并预留长期试件备查。

6.0.8　矿渣微粉混凝土的质量检验评定方法与普通混凝土一致，按照现行标准规范执行。

附录C　本规程用词说明

B.0.1　执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格，非这样作不可的用词：

正面词采用“必须”，

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格，在正常情况下均应这样作的用词：

正面词采用“应”，

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样的用词：

正面采用“宜”或“可”，

反面词采用“不宜”。

B.0.2　条文中指明应按其它有关标准和规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位和主要起草人名单

主 编 单 位: 上海市建筑科学研究院
上海市散装水泥办公室

参 加 单 位: 同济大学
上海市建筑构件制品公司
上海市建筑工程材料公司

主要起草人: 徐　强　张荫济　施钟毅　张　雄
陆善后　吴科如　俞家范　朱稚石
江　靖　陶培森

上海市工程建设规范

粒化高炉矿渣微粉在水泥混凝土中应用技术规程

DG/TJ08－501－1999

条 文 说 明

1999 上海