

DB51

四川省地方标准

DB51/T 2424—2017

高钛重矿渣桥梁高性能混凝土技术规程

2017 - 09 - 19 发布

2017 - 10 - 01 实施

四川省质量技术监督局

发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 总则 1

4 术语 2

5 基本规定 4

6 原材料 6

7 配合比设计 9

8 施工 14

9 质量检查与验收 16

附录A（资料性附录） 铁颗粒含量检测方法 18

前 言

根据四川省质量技术监督局川质监函[2016]146号文件的要求，以交通运输部和四川省交通运输厅联合攻关科技项目“高钛重矿渣集料的桥梁高性能混凝土制备与应用技术研究”的成果为支撑，制订了《高钛重矿渣桥梁高性能混凝土技术规程》。

本规程主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、原材料、配合比设计、施工、质量检查与验收等内容。

本规程由四川省质量技术监督局审查批准，四川省交通运输厅负责管理，四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院（地址：成都市武侯横街1号，邮编：610041）。

主编单位：四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

参编单位：武汉理工大学

攀枝花环业冶金渣开发有限责任公司

西华大学

四川交通职业技术学院

四川川交路桥有限责任公司

主要起草人：牟廷敏 丁庆军 杨胜利 周孝军 杨志远 宋瑞年 范碧琨

康 玲 孙才志 赵艺程 汪碧云 文 凯

高钛重矿渣桥梁高性能混凝土技术规程

1 范围

本规程包括高钛重矿渣桥梁高性能混凝土术语、基本规定、原材料、配合比设计、施工、质量检查与验收等内容。

本规程适用于高钛重矿渣桥梁高性能混凝土设计、制备、施工、养护、质量检查与验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范

GB 50164 混凝土质量控制标准

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准

GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准

GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范

JTG D62 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG E30 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

JGJ 63 混凝土用水标准

JGJ/T 10 泵送混凝土施工技术规范

YB/T 4178 混凝土用高炉重矿渣碎石

DB51/T 1995 机制砂桥梁高性能混凝土技术规程

DBJT01-64 混凝土矿物掺合料应用技术规范

SCG F51 桥梁高性能混凝土制备与应用技术指南

3 总则

3.1.1 为促进和规范高钛重矿渣作为粗、细集料制备高性能混凝土在桥梁等结构工程领域的应用，保证所制备的高钛重矿渣高性能混凝土符合安全可靠、技术先进、经济合理的要求，制订本规程。

条文说明

本规程是依据交通运输部和四川省交通运输厅联合攻关科技项目“高钛重矿渣集料的桥梁高性能混凝土制备与应用技术研究”的成果以及工程应用实践制订而成。

3.1.2 本规程适用于桥梁等结构工程的高钛重矿渣高性能混凝土设计、制备、施工和检验，建筑工程、隧道工程和道路工程可参照使用。

条文说明

桥梁等结构工程指公路工程中的桥梁、涵洞、挡防结构；建筑工程指工业或民用房屋建筑；隧道工程指隧道衬砌和路面；道路工程指城市道路、机场道路（含机场跑道）。

利用高钛重矿渣轧制的砂、石集料制备的混凝土，已在民用建筑和市政道路工程使用近30年，安全性与耐久性好。将高钛重矿渣混凝土进行工作性能、力学性能、体积稳定性能与耐久性能提升，用于桥梁等结构工程建设，既解决了工程建设中砂石集料资源匮乏，又解决了高钛重矿渣堆放占用耕地、污染环境的问题。

3.1.3 高钛重矿渣高性能混凝土的配合比设计，应根据桥梁特点、服役环境的差异和施工要求，选择原材料的组成，设计混凝土性能，通过试配、调整确定。

条文说明

桥梁特点是指结构不同部位混凝土的使用特点，包括大体积混凝土、水下混凝土、薄壁箱型结构混凝土、桥面铺装混凝土等；服役环境的差异是指大风、干燥、低温、化学腐蚀等；施工要求是指运距的长短、是否泵送、浇筑温度等。

3.1.4 高钛重矿渣高性能混凝土的制备与施工，针对高钛重矿渣集料特点，应进行外加剂、水泥、矿物掺合料等原材料适应性试验，并保证高钛重矿渣砂、碎石集料的质量稳定性。

条文说明

高钛重矿渣集料表面多棱角、多孔，吸水量大，需要的浆体量多。因此，外加剂、水泥、矿物掺合料等原材料需要有良好的适应性；高钛重矿渣砂、碎石集料的级配、颗粒组成、含水率、渣粉含量、细度模数等影响混凝土的性能，因此，其质量应保持稳定。

3.1.5 高钛重矿渣轧制的砂、碎石集料可作为桥台台背、挡墙墙背、涵洞涵背等部位和路基工程的填充材料。

条文说明

化学成分与矿物组成分析、蒸压法与水浸法的物理稳定性试验、碱集料活性试验与放射性安全性试验等研究测试表明，高钛重矿渣轧制的砂、碎石集料性能稳定。

3.1.6 应提供高钛重矿渣集料产品化学成分、稳定性和放射性等指标的检验合格证书，应加强进场高钛重矿渣集料的抽检。

3.1.7 高钛重矿渣高性能混凝土的设计、制备、施工、养护与质量验收，除满足本规程外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

4 术语

4.1.1 高钛重矿渣

钒钛磁铁矿经高炉冶炼生铁时产生的、 TiO_2 含量大于15.0%的熔融矿渣，经空气自然冷却或热泼淋水冷却后的渣料。

4.1.2 高钛重矿渣集料

用高钛重矿渣按照一定的工艺要求轧制的砂、碎石集料。

4.1.3 天然碎石

天然岩石、卵石或矿山废石经机械破碎、筛分制成的，粒径大于4.75mm的岩石颗粒

4.1.4 高钛重矿渣碎石

经机械破碎、筛分得到公称粒径大于4.75mm的高钛重矿渣颗粒。

4.1.5 高钛重矿渣砂

经机械破碎、筛分得到公称粒径小于4.75mm的高钛重矿渣颗粒。

4.1.6 渣粉含量

高钛重矿渣砂中公称粒径小于0.075mm，且化学和矿物组成与被加工的高钛重矿渣相同的颗粒称为渣粉，渣粉占高钛重矿渣砂的质量百分比称为渣粉含量。

4.1.7 铁粒含量

高钛重矿渣砂和碎石中金属铁颗粒的含量。

4.1.8 高钛重矿渣高性能混凝土

采用水泥、高钛重矿渣砂、高钛重矿渣碎石（或天然碎石）、矿物掺合料、外加剂和水等材料和常规的生产工艺，制备的具有优异的工作性能、力学性能、耐久性能和体积稳定性能的混凝土。

4.1.9 高钛重矿渣桥梁高性能混凝土

应用于桩基、承台、拱座、锚碇、墩柱、索塔、主梁、桥面铺装等桥梁的各个部位，满足各构件特殊性能要求的高钛重矿渣高性能混凝土。

4.1.10 集料饱和含水量

高钛重矿渣集料饱水10h后、颗粒表面无积水状态下的含水量。

4.1.11 拌合用水量

高钛重矿渣高性能混凝土拌合时，扣除集料饱和含水量的用水量。

4.1.12 粉体材料

高钛重矿渣高性能混凝土组成材料中胶凝材料与渣粉的总称。

4.1.13 额定粉体材料用量

所制备的各强度等级混凝土达到良好的工作性能，同时满足设计要求的力学性能、体积稳定性能和耐久性能时，需要的粉体材料总体用量。

条文说明

以各强度等级混凝土的工作性能为基准,对粉体材料各组分用量进行设计时,各强度等级的混凝土要达到基本一致的工作性能,粉体材料总用量应为额定值,即额定粉体材料用量。由于原材料性质的变化、设计要求(强度等级、砂率等)和环境因素的差别等,额定粉体材料用量可在一定范围内取值。

当水泥用量低时,可适当提高矿物掺合料用量的限值和砂率;当水泥用量较高时,宜减少矿物掺合料的用量和降低砂率,避免导致混凝土过于黏稠或影响体积稳定性和耐久性。额定粉体材料相互间的物理意义,可用数学模型(4.0.13)表示。

$$\frac{1}{C} + \frac{1}{F} + \frac{1}{G} = 1 \quad (4.0.13)$$

式中: C —水泥;

F —粉煤灰、硅灰等矿物掺合料;

G —集料中的渣粉含量。

4.1.14 富裕浆体厚度

满足混凝土工作性能所需要的填满集料空隙后,并超量包裹集料表面的浆体厚度。

4.1.15 试配配合比

根据原材料性能和混凝土强度等级,结合施工工艺要求,开展混凝土配合比原材料组分选择与用量计算、反复试配、调整各组分用量,基于标准养护28d强度提供的试验室配合比。

4.1.16 施工配合比

以试配配合比的工作性能、力学性能为目标,根据实际集料含水量、砂的细度模数和拌合方式,现场调整拌合用水量、砂率、外加剂掺量等参数而确定的配合比。

5 基本规定

5.1 基本规定

5.1.1 高钛重矿渣桥梁高性能混凝土的强度等级宜为C10~C70。桥梁施工环境气温低于5℃时,不宜采用高钛重矿渣桥梁高性能混凝土。

5.1.2 高钛重矿渣高性能混凝土的粗集料可以选用高钛重矿渣碎石或天然碎石;采用泵送法输送高钛重矿渣高性能混凝土时,粗集料宜选用天然碎石。

条文说明

高钛重矿渣集料具有多棱角、多孔特性。利用其制备的混凝土在泵送压力作用下,胶凝浆体进入集料孔隙中,导致混凝土工作性能降低;当采用高钛重矿渣砂和高钛重矿渣碎石集料时,工作性能降低幅度较大,易堵管。

5.1.3 高钛重矿渣集料应采用均匀喷淋饱水,饱水时间宜大于10h。

5.1.4 高钛重矿渣高性能混凝土用于桥梁的上部结构时,其容重应根据设计要求确定。

5.2 工作性能

- 5.2.1 工作性能评价指标一般包括坍落度、扩展度、坍落度经时损失、凝结时间、压力泌水率等。
- 5.2.2 工作性能的评价指标宜满足表 5.2.2 的要求。

表5.2.2 工作性能评价指标

项目	技术要求		
	泵送	非泵送	
		非现场搅拌站	现场搅拌站
坍落度 (mm)	≥ 180	140~180	120~160
扩展度 (mm)	≥ 500	≥ 350	≥ 350
坍落度经时损失值 (mm/h)	≤ 20	≤ 30	≤ 30
凝结时间 (h)	满足工程施工时间和早期强度设计要求		
压力泌水率	10s时的相对压力泌水率 $S_{10} \leq 40\%$ ，且无分层、离析和粘底		

条文说明

商品搅拌站生产的非泵送高钛重矿渣高性能混凝土采用罐车运输时，为便于混凝土拌合物出罐，最低坍落度取140mm。对于现场搅拌站生产的混凝土，不存在混凝土拌合物出罐和远距离运输的问题，坍落度满足混凝土浇筑成型工艺要求即可。

5.3 力学性能

- 5.3.1 高钛重矿渣高性能混凝土的强度等级应满足设计要求，强度标准值、设计值应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定。
- 5.3.2 高钛重矿渣高性能混凝土的弹性模量应满足相应设计强度等级的要求，且应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定。

5.4 体积稳定性和耐久性能

- 5.4.1 高钛重矿渣高性能混凝土的干燥收缩率和徐变系数宜满足表 5.4.1 的要求

表5.4.1 干燥收缩率和徐变系数限值

混凝土强度等级	C10~C70
28d干燥收缩率 ($\times 10^{-4}$)	≤ 3.0
360d干燥收缩率 ($\times 10^{-4}$)	≤ 6.0
360d徐变系数 (28d加载)	≤ 2.0

条文说明

试验研究表明高钛重矿渣具有多孔、吸水特点，对硬化混凝土具有自养护作用，在相同水胶比和胶凝材料用量下，较普通混凝土的干燥收缩率和自收缩率低，具有很好的抗裂性能。

- 5.4.2 抗裂、碳化、抗硫酸盐、抗渗、抗冻和抗氯离子渗透等指标应符合表 5.4.2 的规定。

表5.4.2 耐久性能技术要求

耐久性项目	技术要求	
	≥C40	<C40
84d氯离子迁移系数（RCM法）（ $\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ）	≤3.0	≤5.0
早期抗裂等级	≥Ⅱ级	
28d碳化深度(mm)	≤10	
抗硫酸盐等级	≥KS120	≥KS90
抗渗等级	≥P12	≥P8
抗冻等级	≥F250	≥F100

条文说明

大桥和特大桥等重要工程设计基准期较长，要求混凝土具有优异的抗碳化性能，因此，碳化深度控制在小于10mm。试验研究表明，高钛重矿渣高性能混凝土的耐久性较好，C10强度等级以上混凝土的抗硫酸盐侵蚀等级高于KS90、抗渗等级大于P10、抗冻等级大于F100。

6 原材料

6.1 一般规定

6.1.1 用于轧制砂和碎石的高钛重矿渣的材料性能应符合下列要求：

- a) TiO_2 含量应大于 15.0%， CaO 含量应小于 28.5%。
- b) 矿物组成应以钙钛矿、钛辉石和富钛辉石为主，14d、30d、60d、90d 的膨胀率均小于 0.05%；
- c) 蒸压与水浸作用下的质量损失率应小于 1.0%，冻融作用、硫酸盐与碳酸盐等盐类侵蚀作用下的质量损失率小于 5.0%。
- d) 内照射指数（ I_{Ra} ）与外照射指数（ I_{r} ）均应小于 1.0。

条文说明

大量试验研究和工程应用结果表明，高钛重矿渣 TiO_2 含量大于15%、 CaO 含量小于28.5%时，集料体积稳定性好。矿物组成以钙钛矿、钛辉石和富钛辉石为主，不存在碱活性物质，14d、30d、60d、90d 的膨胀率小于0.05%，表明集料为非碱活性集料。限制高钛重矿渣在蒸压与水浸作用，冻融作用、硫酸盐与碳酸盐等盐类侵蚀作用下的质量损失率，是为了控制集料的物理与化学稳定性。内照射指数（ I_{Ra} ）与外照射指数（ I_{r} ）小于1.0，表明放射性水平均属A类建材，销售和使用不受限制。

6.1.2 配制 C40 以上强度等级的混凝土宜选择空气自然冷却的高钛重矿渣轧制的砂和碎石集料，其质量应按相关标准进行检验。

条文说明

热泼淋水冷却较自然冷却的高钛重矿渣强度低、孔隙率高、质量稳定性差，配制 C40 强度等级以上的混凝土性能波动较大，因此宜采用空气自然冷却的高钛重矿渣作为轧制原材料。

6.1.3 高钛重矿渣砂和碎石在轧制、运输、堆放过程中应采取保护措施，严禁泥土及杂物混入。

6.2 高钛重矿渣砂

6.2.1 砂的质量评价指标应包括级配、细度模数、渣粉含量、压碎值和有害物质含量等，试验方法应按《公路工程集料试验规程》（JTG E42）的规定执行。

6.2.2 砂的级配应符合以下规定：

1 砂的级配应符合表6.2.2的要求，I 区和 II 区表中除4.75mm和0.60mm筛孔外，其余各筛孔累计筛余允许超出分界线，但其总量不应大于5%。

表6.2.2 混凝土用高钛重矿渣砂级配

方孔筛筛孔 边长尺寸 (mm)		9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
累计筛余 (%)	I 区	0	10~0	35~5	65~35	85~71	95~80	100~90
	II 区	0	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90

2 配制C40及以上强度等级混凝土宜选用 II 区砂，C40以下混凝土可选用 I 区砂。

6.2.3 砂的细度模数宜控制在 2.3~3.5 范围之内，砂的渣粉含量（按质量计）宜小于 10.0%

条文说明

高钛重矿渣砂筒压强度较普通砂高，同时采用本规范要求的多功能外加剂，具有增稠效果，可以提高混凝土的工作性能。因此，砂的细度模数上限值由3.0提高到3.5。

6.2.4 砂的压碎值指标应符合表 6.2.4 的规定。

表6.2.4 压碎值指标

混凝土强度等级	<C40	≥C40
单级最大压碎指标 (%)	≤30	≤25

6.2.5 砂中有害物质应符合以下规定：

1 砂中不得含有钢渣、镁质耐火砖及有机物等杂物。硫化物及硫酸盐含量（按SO₃质量计）应小于 0.5%。

2 砂中如含有颗粒状硫酸盐或硫化物，则应进行混凝土耐久性试验，满足要求时方可使用。

6.2.6 砂的表观密度宜大于 2700kg/m³，松散堆积密度宜大于 1550kg/m³，空隙率宜小于 55%。

6.3 高钛重矿渣碎石

6.3.1 碎石的质量评价指标应包括级配、压碎值、针片状颗粒含量、坚固性等，试验方法应按《公路工程集料试验规程》（JTG E42）的规定执行。

6.3.2 碎石的级配应符合以下规定：

1 碎石的级配范围应符合表6.3.2的规定。

表6. 3. 2 高钛重矿渣粗集料级配范围

级配 情况	公称粒径mm	累计筛余，质量分数%							
		方孔筛筛孔尺寸/mm							
		2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
连续 粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0				
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0			
	5~20	95~100	90~100	40~80		0~10	0		
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0
单粒 粒级	10~20		95~100	85~100		0~15	0		—
	16~31.5		95~100		85~100			0~10	0

- 2 C40及以上强度等级的混凝土，宜采用两个粒级的碎石混合配制连续级配碎石。
6. 3. 3 碎石中不得含有钢渣、镁质耐火砖及有机物等杂物。硫化物及硫酸盐含量（按 SO3 质量计）应小于 0. 5%。
6. 3. 4 碎石用于桥梁高性能混凝土集料时，其针片状颗粒含量（按质量计）不应大于 10. 0%。碎石用作挡防工程和路基的填料时，其针片状颗粒含量（按质量计）不应大于 15. 0%。

条文说明

- 《混凝土用高炉重矿渣碎石》（YB/T 4178）对C30~C50强度等级混凝土的针片状颗粒含量上限确定为15. 0%，考虑到桥梁构件应力水平较高，针片状颗粒含量上限确定为10. 0%。
6. 3. 5 碎石的坚固性用硫酸钠溶液检验，经 5 次循环后的质量损失应小于 2. 0%。
6. 3. 6 碎石的压碎值指标不应大于 18. 0%，渣粉含量（按质量计）不应大于 2. 0%。
6. 3. 7 碎石最大粒径≤15mm 时，铁粒含量不应大于 1. 0%；碎石最大粒径≤25mm 时，铁粒含量不应大于 2. 0%；碎石最大粒径≤40mm 时，铁粒含量不应大于 3. 0%。
6. 3. 8 C40 以下强度等级混凝土用碎石，其玻璃体含量不应大于 20. 0%；C40 及以上强度等级混凝土用碎石，其玻璃体含量不应大于 10. 0%。
6. 3. 9 碎石的表观密度宜大于 2600kg/m3，松散堆积密度宜大于 1280kg/m3，空隙率宜小于 55%。

6. 4 外加剂

6. 4. 1 宜采用聚羧酸类减水剂，其减水率应大于 25%；减水剂不应含有早强组分。
6. 4. 2 高钛重矿渣高性能混凝土采用的外加剂，应具有高效减水、保塑、增粘、抑制泌水等功能。

条文说明

- 高钛重矿渣集料表面多棱角、多孔，易吸附外加剂和水泥浆体，混凝土和易性差，包裹能力低，易泌水离析，要求外加剂具有保塑、增粘、抑制泌水等功能，提高混凝土的工作性能。
6. 4. 3 外加剂与胶凝材料、集料的相容性应做专项试验。

6. 5 其它原材料

6.5.1 应选用品质稳定的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，对于大体积混凝土宜采用中低热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥。

6.5.2 矿物掺合料可选用硅灰、II级以上粉煤灰、S75级以上的粒化高炉矿渣粉和L70级以上的粒化电炉磷渣粉。

6.5.3 拌合和养护用水的pH值应大于7.0，氯离子含量应小于200mg/L。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土的配合比设计应满足桥梁结构混凝土的力学性能、工作性能、体积稳定性和耐久性能要求。

条文说明

工作性能是指混凝土拌合物满足不同运输、浇筑方法要求的坍落度、扩展度、坍落度经时损失等性能；体积稳定性是指在各种恶劣环境条件下，控制混凝土收缩、膨胀的性能满足规范要求；耐久性是指抗裂、抗渗、抗冻、抗碳化等指标满足规范要求。

7.1.2 C20及以上强度等级混凝土构件，配合比设计的主要指标应符合下列规定：

- 1 混凝土拌合用水量不宜大于 $175\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 2 胶凝材料总量不宜大于 $550\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 3 水胶比不宜大于0.50；
- 4 砂率宜选用38%~48%；
- 5 混凝土中可溶性碱总含量不应大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 6 普通钢筋混凝土中氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的0.15%，预应力混凝土中氯离子总含量不应超过胶凝材料总量的0.06%。

条文说明

水胶比是指拌合用水量与胶凝材料用量的比值。氯离子总含量指水泥、矿物掺合料、粗集料、细集料、水、外加剂等所含氯离子含量之和。

7.1.3 试配混凝土配合比的综合平衡设计法应满足以下原则：

- 1 采用密实骨架堆积法，对集料组成进行初步设计；
- 2 基于富裕浆体厚度理论，一般取浆体富裕系数为1.2~1.3；
- 3 根据不同强度等级混凝土的额定粉体材料用量法，确定砂率和各种胶凝材料的用量；
- 4 试配确定外加剂的最佳掺量、最小用水量，通过反复试配和调整确定配合比。

7.1.4 原材料进场后，根据试配配合比应进行现场调整，调整应符合以下要求：

- 1 根据集料含水量的变化调整拌合用水量；
- 2 根据砂的细度模数变化适当调整砂率；
- 3 调整后的施工配合比，其工作性能、力学性能应与试配配合比相符。

7.2 配合比设计

7.2.1 高钛重矿渣高性能混凝土配合比设计时的试配强度应按式(7.2.1)确定。

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (7.2.1)$$

式中： $f_{cu,0}$ —混凝土试配强度，MPa；
 $f_{cu,k}$ —混凝土强度标准值，MPa；
 σ —混凝土强度标准差，MPa；当无统计数据时，可按表7.2.1取值。

表7.2.1 混凝土强度标准差 σ 值

混凝土强度标准值	$\leq C20$	C25~C45	C50~C70
σ (MPa)	4.0	5.0	6.0

7.2.2 集料用量计算时应采用重量法，以饱和面干状态为基准。

条文说明

高钛重矿渣砂、碎石饱和面干状态是指集料经饱水后集料孔隙内水分饱和、表面无积水的状态；天然碎石饱和面干状态是指集料经风干而呈现的表面干燥状态。

7.2.3 矿物掺合料掺量宜满足下列要求：

- 1 矿物掺合料掺量宜依据额定粉体材料用量法进行调整。
- 2 钢筋混凝土及预应力混凝土构件，矿物掺合料的掺量应符合表7.2.3的规定。

表7.2.3 矿物掺合料掺量

矿物掺合料种类	最大掺量 (kg/m ³)	
	P·II硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰 (F类I级或II级)	≤ 100	≤ 80
磨细粒化高炉矿渣粉	≤ 120	≤ 100
硅 灰	≤ 50	≤ 50
复合矿物掺合料	≤ 120	≤ 100

- 3 采用复合掺合料时，各组分的掺量不宜超过相应组分单掺时的最大掺量。
- 4 无碳化深度和耐磨要求的桥梁构件，如大体积混凝土等，粉煤灰和矿渣粉掺量不受表7.2.3的限制，其掺量应依据额定粉体材料用量法通过试验确定。
- 5 水泥混凝土作为桥面铺装面层时，其粉煤灰掺量不宜超过40kg/m³。

条文说明

额定粉体材料用量法是通过在水泥、矿物掺合料、渣粉进行浆体流变性能影响规律研究，包括浆体的塑性粘度、屈服应力等指标，建立不同水胶比下的流变性能曲线，分析粉体材料对粘度等指标的影响，确定混凝土达到最佳工作性能时的额定粉体材料用量和粉体材料各组分的相对用量。然后，依据设计的强度、体积稳定性和耐久性要求，确定粉体材料用量。

当采用相同原材料进行混凝土配合比设计时，各强度等级混凝土的粉体材料用量应为额定值。水泥用量较低时，可适当增加矿物掺合料用量；水泥用量较高时，可减少矿物掺合料，符合额定粉体材料用量要求，满足高钛重矿渣高性能混凝土的粘聚性、包裹性和耐久性能的要求。

7.2.4 高钛重矿渣高性能混凝土配合比的计算应符合下列规定：

- 1 粉煤灰（代表矿物掺合料）填充砂时，最大比例堆积因子 α 应按式（7.2.4-1）计算：

$$\alpha = w_f / (w_f + w_s) \quad (7.2.4-1)$$

式中： w_f —粉煤灰的单位用量， kg/m^3 ；

w_s —砂的单位用量， kg/m^3 。

2 以 α 比例的粉煤灰与砂填塞碎石时，最大比例堆积因子 β 应按式（7.2.4-2）计算：

$$\beta = (w_f + w_s) / (w_f + w_s + w_a) \quad (7.2.4-2)$$

式中： w_a —碎石的单位用量， kg/m^3 。

3 最大单位重 U_w 应按式（7.2.4-3）计算：

$$U_w = w_f + w_s + w_a \quad (7.2.4-3)$$

4 最大单位重中的碎石重 G 应按式（7.2.4-4）计算：

$$G = U_w(1 - \beta) \quad (7.2.4-4)$$

5 最大单位重中的砂重 S 应按式（7.2.4-5）计算：

$$S = U_w\beta(1 - \alpha) \quad (7.2.4-5)$$

6 最大单位重中的粉煤灰重 F 应按式（7.2.4-6）计算：

$$F = U_w\beta\alpha \quad (7.2.4-6)$$

7 最小空隙率 V_v 应按式（7.2.4-7）计算：

$$V_v = 1 - (F / \gamma_f + S / \gamma_s + G / \gamma_a) \quad (7.2.4-7)$$

式中： γ_f —粉煤灰的密度， kg/m^3 ；

γ_s —砂的密度， kg/m^3 ；

γ_a —碎石的密度， kg/m^3 。

8 混凝土中所需填塞和润滑的水泥浆量 V_p 应按式（7.2.4-8）计算：

$$V_p = V_v + s \times t = N \times V_v \quad (7.2.4-8)$$

式中： s —骨料表面积， m^2 ；

t —包裹于骨料表面的浆体厚度， m ；

N —水泥浆量的放大倍数，应经过多次试验满足工作性能、力学性能，保证耐久性和经济性后确定，一般取1.2~1.3。

9 骨料的用量 V_G 应按式（7.2.4-9）计算：

$$V_G = 1 - V_p \quad (7.2.4-9)$$

10 骨料用量调整应按式（7.2.4-10）~（7.2.4-12）计算：

$$W_s = \frac{V_G}{1 / \gamma_s + (1 - \beta) / [\gamma_a\beta(1 - \alpha)] + \alpha / [\gamma_f(1 - \alpha)]} \quad (7.2.4-10)$$

$$W_a = (1 - \beta)W_s / [\beta(1 - \alpha)] \quad (7.2.4-11)$$

$$W_f = \alpha W_s / (1 - \alpha)$$

(7.2.4-12)

式中： W_s —调整后砂的单位用量， kg/m^3 ；
 W_g —调整后碎石的单位用量， kg/m^3 ；
 W_r —调整后粉煤灰的单位用量， kg/m^3 。

11 应依据强度和耐久性设定水胶比 λ ，其取值宜符合表7.2.4的规定。

表7.2.4 配合比设计参数表

强度等级	水胶比 λ	外加剂掺量(%)
C10~C20	0.55~0.38	试验最佳掺量
C30	0.42~0.35	
C40	0.38~0.31	
C50	0.36~0.29	
C55	0.35~0.27	
C60	0.33~0.25	
C70	0.30~0.24	

12 水泥用量 W_c 应按式(7.2.4-13)~(7.2.4-15)计算：

$$V_p = W_w / \gamma_w + W_c / \gamma_c + W_f / \gamma_f$$

(7.2.4-13)

$$W_w = \lambda(W_c + W_f)$$

(7.2.4-14)

$$W_c = \frac{V_p - (\lambda / \gamma_w + 1 / \gamma_f) W_f}{\lambda / \gamma_w + 1 / \gamma_c}$$

(7.2.4-15)

式中： W_w —水的单位用量， kg/m^3 ；
 W_c —水泥的单位用量， kg/m^3 ；
 γ_w —水的密度， kg/m^3 ；
 γ_c —水泥的密度， kg/m^3 。

13 水用量 W_w 应按式(7.2.4-16)计算：

$$W_w = \lambda W_c + \lambda W_f$$

(7.2.4-16)

条文说明

水胶比宜采用0.24~0.55，并随强度等级的提高而降低；降低水胶比时，必须限制水泥用量，不足的胶凝材料量用矿物掺合料补充。

7.2.5 高钛重矿渣高性能混凝土的高效减水、保塑、增粘、泌水抑制等复合功能外加剂的最佳掺量应根据工作性能要求确定。

7.2.6 同一配合比用砂的细度模数变化范围不宜超过±0.2，渣粉含量变化范围不宜超过±1.0%，否则应重新进行混凝土配合比的设计、试配和调整。

7.3 试配与调整

7.3.1 采用高钛重矿渣集料进行混凝土配合比设计时，提高混凝土工作性能宜采取下列一项或多项技术路线：

- 1 在外加剂中复配泌水抑制和粘度调节等组分；
- 2 适当提高砂率，但不得降低力学指标和增加收缩量；
- 3 提高矿物掺合料掺量或水泥用量。

条文说明

高钛重矿渣集料渣粉含量低，表面多孔、多棱角，导致混凝土包裹性差、需水量大、易泌水离析。因此，基于聚羧酸减水剂分子结构的可设计性，以C-C链为主链，侧链为可溶剂化的聚乙二醇醚、聚丙烯酸酯等聚合物链，调整侧链共聚物的官能团组成、长度与分布位置，使其长短比例搭配，调控浆体稠度、含气量与孔结构，增加插层反应难度、降低减水剂消耗，实现高减水、低含气、高保塑等复合功能。

泌水抑制剂是通过分子链氢键保水作用、聚合物间相互缠绕与聚合物-胶凝材料间的桥接作用等机理，改善浆体稳定性，提高拌合物抗离析、泌水性能，降低聚羧酸减水剂对用水量敏感性，改善混凝土的和易性。

复配羟丙基甲基纤维素醚增粘组分，可增加混凝土粘聚性，当采用高分子量的纤维素醚时，其增粘效果明显，掺量较低，当采用低分子量的纤维素醚时，其增粘效果较差，宜适当提高掺量；增粘组分的合理掺量均应根据试验确定。

提高砂率、矿物掺合料掺量或水泥用量，可提高混凝土的粘聚性和包裹性。

7.3.2 试配应采用工程实际使用的原材料；每盘混凝土试配量不应小于 20L。

7.3.3 试配与调整的步骤宜符合下列要求：

- 1 根据设计要求的混凝土强度等级，按表7.3.3对应给出的参数计算的配合比进行混凝土拌合物性能调试，使拌合物工作性能满足表5.2.2工作性能要求，初步调出相应合适的砂率、外加剂掺量。

表7.3.3 拌合物调试设计参数表

强度等级	水胶比	胶凝材料用量(kg/m³)	矿物掺合料掺量(%)	砂率(%)	高效减水剂掺量(%)
C10~C20	0.55	330~400	25~50	按1%的幅度逐步调整	根据推荐掺量逐步试配确定
C30	0.40	380~420	25~50		
C40	0.35	400~460	20~40		
C50	0.33	420~500	10~30		
C60	0.30	480~550	10~30		
C70	0.28	500~550	10~25		

- 2 根据拌合物调试确定的砂率和外加剂掺量进行试配组合调整，对水胶比与胶凝材料用量不同组合进行工作性能与力学性能的评价。

- 3 兼顾试配的混凝土拌合物性能、力学性能、耐久性能及经济性等指标的均衡性，确定基准配合比。

- 4 对于基准配合比按每 m^3 原材料用量按公式 (7.3.3) 计算校正系数 δ 。

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad (7.3.3)$$

式中: $\rho_{c,t}$ ——混凝土表观密度实测值;

$\rho_{c,c}$ ——混凝土表观密度计算值, $\rho_{c,c} = m_c + m_b + m_s + m_g + m_w$ 。

- 5 将配合比中每项原材料用量均乘以 δ , 作为试配配合比。

6 采用试配配合比配制3盘混凝土, 每盘制作3组混凝土试件, 28d抗压强度平均值应大于试配强度, 最低值应大于0.95倍试配强度。

7 同强度等级的混凝土用量超过5000 m^3 或C40及以上强度等级混凝土, 宜进行混凝土体积稳定性能和耐久性能试验。

7.3.4 经反复试配混凝土配合比, 外加剂的减水率、增粘效果、保坍时间等工作性能指标不能满足设计要求时, 宜更换外加剂。

7.4 施工配合比确定

7.4.1 施工配合比的最终确定应结合搅拌站的拌合能力、运输能力与运输距离、原材料实际性能和试生产适应性, 通过现场试验确认。

条文说明

施工配合比最终确定并用于施工, 是由试验室到搅拌站生产线的放大过程, 差异较大, 需进行试验调整。

7.4.2 在混凝土生产过程中, 根据外加剂等原材料和气候环境的变化, 应以试配配合比为基准及时进行调整, 重新确定施工配合比。

7.4.3 混凝土生产过程中, 每个施工配合比应对搅拌站前三盘(至少)拌合的混凝土工作性能进行检验。当搅拌站生产的混凝土工作性能与施工配合比不一致时, 应以试配配合比为基准再次进行调整, 重新确定施工配合比。

8 施工

8.1.1 高钛重矿渣桥梁高性能混凝土施工前, 应编制详细的施工组织设计, 主要内容包括原材料来源、数量、质量、运输方式、堆放场地、拌合控制、浇筑、振捣、养护和过程调配等系列技术内容。

8.1.2 搅拌站高钛重矿渣集料堆场应设置淋水预湿装置和遮阳棚, 并设置地下排水沟和过滤层。应每工作班抽测2次集料的饱和含水量, 集料测定的饱和含水量应满足混凝土配合比试配设计要求。

8.1.3 拌合计量设备应提前标定, 标定误差应满足相关标准要求。

8.1.4 拌合设备、运输罐车内不得有积水, 装料前应清洗干净。

8.1.5 混凝土配合比应设置交底牌, 标牌内容由专业技术人员负责填写和调整, 不得随意涂改。

8.1.6 拌合、运输、浇筑过程中应对混凝土的工作性能进行随机抽检。

8.1.7 混凝土浇筑时, 第三方监督见证取样制作试件, 应与浇筑工程部位同条件养护, 并进行强度试验, 作为混凝土交接质量的依据。

8.1.8 高钛重矿渣高性能混凝土的拌制宜采用强制式搅拌机, 拌合时间宜控制在90~150s。采用非强制式搅拌机时, 拌合时间宜控制在150~240s。

条文说明

高钛重矿渣集料孔隙多，易吸附浆体，适当延长搅拌时间，保证拌合物性能均衡与稳定。高性能混凝土，水胶比较低，外加剂掺量高，需采用强制式拌合机。

8.1.9 高钛重矿渣高性能混凝土的外加剂质量应满足下列要求：

- 1 对批量进场的外加剂，应通过试拌验证其与原材料的相容性；
- 2 现场验证外加剂的减水率、保塑增粘效果、泌水抑制性能等指标与混凝土试拌效果一致后，才能开展混凝土的生产；
- 3 外加剂长时间存放时能保持稳定，不得出现分层、气泡溢出等现象；
- 4 每桶外加剂使用前应搅拌均匀。

8.1.10 拌合时原材料的投放顺序宜为：粗集料→细集料→水泥→矿物掺合料→拌合水及外加剂。

8.1.11 原材料称量最大允许偏差（按重量计）应符合：胶凝材料（水泥、掺合料等） $\pm 1.0\%$ ；外加剂 $\pm 0.8\%$ ；粗、细集料 $\pm 2.0\%$ ；拌合用水 $\pm 1.0\%$ 。

条文说明

高钛重矿渣桥梁高性能混凝土采用的外加剂具有减水率高、保塑、增粘、抑制泌水等多功能，外加剂称量的误差对拌合物性能影响敏感，因此，应准确称量外加剂用量。

8.1.12 拌制第一盘混凝土时，保持水灰比不变，可增加水泥和砂子用量 10%。

条文说明

增加水泥和砂子用量 10%，是为了使搅拌机挂浆，保证混凝土拌合物工作性能。

8.1.13 高钛重矿渣高性能混凝土长距离运输时，宜采用专用混凝土搅拌罐车，运输时间不宜大于 75min。

8.1.14 应对运输设备采取保温隔热措施，防止混凝土温度升高（夏季）或受冻（冬季）。

8.1.15 混凝土搅拌罐车到达浇筑现场时应高速旋转 20~30s，再将混凝土拌合物卸出；如果混凝土拌合物工作性能损失较大，可适当加入外加剂（应对加入外加剂的情况做好记录）后使搅拌罐车高速旋转 90s，再将混凝土拌合物卸出。严禁向混凝土拌合物中加水。

8.1.16 当运至现场的混凝土发生离析时，浇筑前应在混凝土中掺加增粘组分并进行第二次拌合。

条文说明

增粘组分是指提高混凝土黏稠度的材料，如甲基纤维素醚、三聚氰胺等。将称量准确的增粘组分材料投入到 50~100ml 水中，搅拌均匀，加入混凝土中进行第二次拌合。

8.1.17 高钛重矿渣高性能混凝土的泵送工艺应满足下列要求：

- 1 高钛重矿渣级配、饱水率、渣粉含量应稳定；
- 2 多功能复合外加剂的减水率、保塑增粘性能、泌水抑制性能应均衡稳定；
- 3 应采用强制式自动计量搅拌站，拌合时间宜控制在 120~150s；
- 4 应根据最大泵送距离和高程、最大浇筑量 and 环境条件等选用高功率的泵送设备；
- 5 当气温高于 20℃ 和泵管直接暴晒时，应采用草垫或土工布包裹泵管；
- 6 混凝土初凝时间不得小于开始拌合至完成浇筑时间的 1.5 倍；
- 7 应保证拌合设备、泵送设备运转正常，并应有突然停电的应急预案；
- 8 混凝土运输车辆数量应满足连续泵送浇筑需要；
- 9 原材料应具有足够的储备和持续供应保证。

条文说明

高钛重矿渣集料和外加剂性能稳定是保证混凝土泵送施工性能稳定性的前提条件。足够的拌合时间既可保证混凝土拌合充分，浆体充填集料孔隙和包裹表面厚度更加均匀，也能使集料孔隙内先期充填的细集料拌合均匀，使集料孔隙充填材料与表面包裹材料性能一致，保证混凝土拌合物在高泵压作用下的性能稳定。

8.1.18 高钛重矿渣高性能混凝土外露面一般应采用保湿养护，或者覆盖保水性较好的厚型塑料薄膜覆盖养护，拆模后应采用喷淋、均匀洒水养护，养护时间应大于 7 天。

8.1.19 养护期内喷淋养护水温与混凝土表面温度相差不宜超过 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

8.1.20 当环境温度低于 5°C 时，宜采用蒸汽进行保温保湿养护。

9 质量检查与验收

9.1.1 用于轧制砂和碎石的高钛重矿渣， TiO_2 含量不应小于 15%。

9.1.2 高钛重矿渣碎石的针片状含量、压碎值指标应满足本规程要求。

9.1.3 拌合站用于混凝土拌合的外加剂的减水率等性能应稳定。

9.1.4 高钛重矿渣高性能混凝土到达施工现场后，应逐车检测坍落度、扩展度，不得发生离析、泌水现象，并应制订专门的表格进行检验和记录。

9.1.5 高钛重矿渣高性能混凝土质量检查与验收应满足表 9.0.5 的要求，表中纤维素醚指高分子量的类型，当采用低分子量的纤维素醚时，其掺量变化的容许值应根据试验确定。

表9.0.5 质量检查和验收指标要求

序号	检验项目	检验内容		抽检频率	容许值	检验方法
1	集料	细度模数		每批	±0.2	筛分法
2		级 配		每批	满足级配范围	筛分法
3		渣粉含量（%）		每批	±1.0	水洗法
4	外加剂	减水率（%）		每批	±1.0	委托有资质的单位完成
5		纤维素醚（‰）		每批	±0.05	
6		降粘组分（%）		每批	±1.0	
7		泌水抑制组分（‰）		每批	±0.05	
8	工作性能	初始坍落度 （mm）	泵送	每班	≥180	坍落度筒检测
			非泵送		≥140	
初始扩展度 （mm）		泵送	每班	≥450		
		非泵送		≥350		
10		坍落度经时损失 （mm/h）	泵送	每班	≤20	
			非泵送	每班	≤30	
11	力学性能	抗压强度（MPa）		每班	不小于 设计强度等级	抽取试件法和 钻芯取样法
12		抗折强度（MPa）				抽取试件法
13		弹性模量（MPa）		同一构件	大于设计 弹性模量的0.95	抽取试件法
14	成品外观	裂缝（mm）		每构件	无	裂缝监测仪
15		表观质量		每构件	无砂线、漏浆 色泽均匀等	观察

高钛重矿渣高性能混凝土的验收资料与程序应符合相关规范的规定。

附 录 A
(资料性附录)
铁颗粒含量检测方法

A.1 试样

A.1.1.1 取样方法、试样处理按JTG E42。

A.1.1.2 最小取样数量为12kg。

A.2 铁粒含量检测

A.2.1.1 仪器设备

本试验用仪器设备如下：

- a) 工业天平或台秤：称量 10000g，感量 5g；
- b) 托盘天平：称量 1000g，感量 1g；
- c) 鼓风干燥箱：能使温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；
- d) 球磨机；
- e) 瓷盘、塑料盘、毛刷等；
- f) 磁铁：磁场强度为 1000 奥斯特~1200 奥斯特。

A.2.1.2 试验步骤

1) 随机取试样适量于瓷盘中，在温度 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干至恒重，冷却至室温，称取 2000g 的样品（记为 g_1 ）进行测试。

2) 使用球磨机将试验磨至大于 $75\mu\text{m}$ 颗粒不超过 10%，混合均匀后称取 1000g，平摊在塑料盘至 1mm~2mm 厚，用薄纸包裹的磁铁在试样上反复吸附，直至薄纸上无吸附物为止。

3) 将 2) 吸附的铁粒放入第二个塑料盘中，尽可能摊薄，再次用薄纸包裹的磁铁在试样上反复吸附，直至薄纸上无任何吸附物为止。吸附过程中磁铁不能接触铁粒。

4) 将 3) 吸附的铁粒放入第三个塑料盘中，进行第三次吸附，直至薄纸上无任何吸附物为止。吸附过程中磁铁不能接触铁粒。

5) 称量第三次吸出的全部铁粒的质量 g_2 。

A.2.1.3 试验结果计算

矿渣砂中的铁粒含量按A.2.3式计算（精确到0.1%）：

$$F = \frac{g_2}{g_1} \times 100\% \quad (\text{A.2.1.3})$$

式中：

F —铁粒含量，单位为百分比（%）；

g_2 —试样中所含铁粒的质量，单位为克（g）；

g_1 —试样质量，单位为克（g）。