T/CECS G：Dxx-00-2026

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

路用风积沙混凝土技术规程

Technical Specification of Aeolian Sand Concrete for Road Engineering

征询意见稿

中国工程建设标准化协会　发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中 国 工 程 建 设 协 会 标 准

路用风积沙混凝土技术规程

Technical Specification of Aeolian Sand Concrete for Road Engineering

T/CECS G：Dxx-00-2026

主编单位：新疆交通建设集团股份有限公司
新疆大学

批准部门：中国工程建设标准化协会
实施日期：202×年×月×日

征询意见稿

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2020 年第一批工程建设协会标准（CECS G）制修订项目编制工作〉的通知》（中建标公路〔2020〕69 号）要求，由新疆交通建设集团股份有限公司承担《路用风积沙混凝土技术规程》（以下简称 “本规程”）的制定工作。

编写组在总结近年来风积沙混凝土在道路工程中的应用经验和相关科研成果的基础上，以规范风积沙作为细骨料及全风积沙混凝土的制备、性能要求和质量控制为核心，完成了本规程的编写工作。编写组结合完成的风积沙（沙漠沙）混凝土配合比优化、级配优化、纤维增强及抗硫酸盐耐久性系列试验研究成果，为本规程相关条文的制定提供了依据。

本规程分为 8 章，主要内容包括总则、术语、原材料、配合比设计、性能要求、试验方法、检验规则及包装、运输与贮存。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由新疆交通建设集团股份有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或新疆交通建设集团股份有限公司（地址：新疆乌鲁木齐新市区乌昌辅道 840 号，邮编：830000）。

主 编 单 位：新疆交通建设集团股份有限公司

新疆大学

参 编 单 位：

主　　编：

主要参编人员：

主　　审：

参与审查人员：

目　次

1　总则 1
2 术语和定义 2
2.1　风积沙 2
2.2　风积沙混凝土 2
2.3　风积沙细骨料混凝土 2
2.4　全风积沙混凝土 2
2.5　激发改性剂 2
2.6　高效减水剂 2
3　原材料 3
3.1 水泥 3
3.2 风积沙 3
3.3 矿物掺合料 5
3.4 外加剂 6
3.5 纤维 7
3.7 水 9
4 配合比 9
4.1 一般规定 9
4.2 配合比设计 9
5　性能要求 14
5.1 抗弯拉性能 14
5.2 抗压性能 14
5.3 耐久性 14
5.4 收缩性能 16
5.5 塌落度和扩展度性能 16
6 试验方法 16
6.1 试件制备 16
6.2 试验龄期 17
6.3 拌合物性能测定 17

征询意见稿

6.4 力学性能测定 17
6.5 耐久性测定 18
6.6 收缩测定 19
7 检测规则 19
7.1 检验项目 19
7.2 检验频率 20
7.3 判定规则 20
8 包装、运输和贮存 20
8.1 包装 20
8.2 运输 21
8.3 贮存 21
本规程用词用语说明 22

征询意见稿

1 总则

1.0.1 为适应我国道路建设需求，规范风积沙混凝土的产品质量，便于工程应用，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建和改扩建公路及城市道路的风积沙细骨料混凝土路面及附属工程，以及沙漠腹地等粗骨料极度匮乏工况下的全风积沙混凝土工程。其他构筑物可参照本规程执行。

1.0.3 风积沙混凝土所用原材料及成品应按本规程规定进行质量检测，不合格不得使用。

1.0.4 风积沙混凝土的配合比设计应满足设计要求的强度等级、施工工作性及环境耐久性，并应遵循技术先进、经济合理、资源节约的原则。

1.0.5 在符合国家环境保护和绿色道路建设规定的前提下，应积极利用风积沙资源，推广风积沙混凝土在道路工程中的应用。

1.0.6 路用风积沙混凝土除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

1.0.7 风积沙料源区域性差异较大，不同料源风积沙进场时应进行材料特性检验，并应按本规程进行配合比验证试验，确认满足设计要求后方可使用。

1.0.8 位于盐渍土地区，或存在电气化铁路、城市轨道交通等杂散电流泄漏风险的工程，风积沙混凝土宜按本规程第 6.5 节规定的电场-硫酸盐耦合加速试验方法进行抗侵蚀性能快速评价。

征询意见稿

2 术语和定义

2.0.1 风积沙 wind deposited sand，aeolian sand

在自然条件下形成的细小沙粒，经风力作用堆积而成。（亦称沙漠砂、沙漠沙；颗粒粒径一般分布于 0.075mm～2.36mm，按细度模数可分为特细砂、细砂和中砂。）

2.0.2 风积沙混凝土 aeolian sand concrete

以风积沙作为细骨料或主要集料，风积沙取代率不低于 30%，由水泥、矿物掺合料、纤维、外加剂和水等原材料制成的具有一定强度和耐久性的混凝土。

2.0.3 风积沙细骨料混凝土 aeolian sand fine aggregate concrete

以风积沙作为细骨料，与人工或天然粗骨料按一定比例配制的混凝土。

2.0.4 全风积沙混凝土 full aeolian sand concrete

在粗骨料极度匮乏的特殊工况下，全部使用风积沙作为集料，不掺加粗骨料，通过配合比优化和添加剂技术制备的混凝土。

2.0.5 激发改性剂 excitation modifier

由多种无机物经络合反应及复配而成的复合材料，主要成分为金属氧化物和氢氧化物等，能够有效消除风积沙中微小颗粒物对混凝土性能的不利影响。

2.0.6 高效减水剂 superplasticizer

在风积沙混凝土拌合过程中，坍落度基本相同的条件下能大幅度减少拌合用水量的外加剂。

2.0.7 级配优化风积沙混凝土 gradation-optimized aeolian sand concrete

按紧密堆积理论（如 Dinger-Funk 方程）对风积沙颗粒级配进行优化配制的混凝土。

2.0.8 纤维增强风积沙混凝土 fiber-reinforced aeolian sand concrete

掺加钢纤维、玄武岩纤维、聚乙烯醇纤维、聚丙烯纤维等一种或多种纤维的风积沙混凝土。

2.0.9 碱激发风积沙胶凝材料 alkali-activated aeolian sand cementitious material

以水玻璃、氢氧化钠等碱激发剂激发矿渣粉、粉煤灰（含高钙粉煤灰）等胶凝材料，以风积沙为集料形成的胶凝材料。

2.0.10 劈裂抗拉强度 splitting tensile strength

混凝土立方体试件劈裂破坏时的抗拉强度。

2.0.11 抗压耐腐蚀系数 compressive corrosion resistance coefficient

受硫酸盐侵蚀试件与同龄期对比试件抗压强度之比，按 Kf=fcn/fc0×100%计算，其中 fcn 为 N 次循环后试件抗压强度，fc0 为同龄期对比试件抗压强度。

2.0.12 损伤度与归一化电阻 damage degree and normalized resistance

基于电化学阻抗谱测试电荷转移电阻 Rct 定义的混凝土微观损伤量化指标，分别按损伤度 D 和归一化电阻 Rn 表征。

2.0.13 电场-硫酸盐耦合侵蚀 electric field-sulfate coupled erosion

外加电场与硫酸盐介质共同作用引起的混凝土侵蚀。

3 原材料

3.1 水泥

3.1.1 水泥宜选用 42.5 级及以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定，比表面积宜为 300m²/kg～450m²/kg。

3.1.2 采用碱激发工艺配制全风积沙混凝土时，水泥宜与磨细粒化高炉矿渣粉、粉煤灰复合使用，并应通过试验确定碱激发剂参数。

3.1.3 当采用其他种类的水泥时，应通过试验验证，满足风积沙混凝土设计性能要求时方可使用。

3.2 风积沙

3.2.1 风积沙的质量应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 风积沙技术要求

注：1 SiO_2 含量、伊利石含量、绿泥石含量等矿物组成指标宜采用 X 射线衍射法测定，作为料源评定及碱激发混凝土用风积沙的选检项目，SiO_2 含量宜大于 40%，伊利石、绿泥石含量宜分别不大于 10.0%；

2　风积沙应按产地、按批次检验，不同料源风积沙应分别检验。

项目	技术要求	试验方法
细度模数	1.0～3.2	GB/T 14684
颗粒级配	粒径宜分布在 0.075mm～2.36mm，其中 0.6mm 以上颗粒含量不宜大于 90%，0.075mm 以下颗粒含量不宜大于 10%	GB/T 14684
含泥量（按质量计，%）	≤1.0	GB/T 14684
泥块含量（按质量计，%）	≤1.0	GB/T 14684
氯离子含量（%）	≤0.06	GB/T 14684
硫化物及硫酸盐含量（折算成 SO_3 ，按质量计，%）	≤1.0	GB/T 14685、JTG E42 T0341
云母含量（按质量计，%）	≤2.0	JTG E42 T0337
坚固性（%）	≤10.0	JTG E42 T0314、T0340
有机物含量（比色法）	合格	JTG E42 T0313、T0336
表观密度（kg/m^3）	≥2500	GB/T 14684

3.2.2　风积沙的颗粒级配应符合表 3.2.1 的规定。天然级配不良（不均匀系数 Cu 小于 5）的风积沙，宜按本规程第 3.2.5 条的规定进行颗粒级配优化后使用。

3.2.3　风积沙细骨料混凝土所用粗骨料的质量应符合《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 等相关标准的规定。

3.2.4　全风积沙混凝土适用于沙漠腹地等粗骨料极度匮乏的特殊工况，其配合比设计应符合本规程第 4.2.3 条的规定。全风积沙混凝土经级配优化并采用低水胶比、高胶凝材料用量技术路线，28d 抗压强度可实现 C35～C60；采用碱激发体系时可达 C80 及以上。

3.2.5　全风积沙混凝土用风积沙宜按 Dinger-Funk 紧密堆积理论进行颗粒级配优化，分布模数宜取 0.3，优化后各粒径区间颗粒含量宜符合表 3.2.5 的规定。风积沙细骨料混凝土宜结合粗骨料进行复合级配校核。

表 3.2.5　风积沙优化级配各粒径区间颗粒含量（分布模数 n=0.3）

粒径范围（mm）	理论含量（%）	推荐控制范围（%）
0.3～0.6	26.98	25～28
0.6～1.18	32.33	31～34
1.18～2.36	40.69	39～42

注：粒径小于 0.3mm 及大于 2.36mm 的颗粒含量较少（分别约为 2.6%和 1%），可不计入优化级配计算；风积沙天然级配与表列数值差异较大时，宜通过掺配或筛分调整后使用。

3.2.6 采用特细砂（细度模数小于 1.0）配制风积沙混凝土时，应通过增加胶凝材料用量、优化减水剂掺量或掺配中粗砂等措施改善拌合物工作性，并经试验验证满足设计要求。

3.3 矿物掺合料

3.3.1 风积沙混凝土可单独或复配掺用粉煤灰、矿渣粉、硅灰等矿物掺合料，不得掺用结块或潮湿的粉煤灰、矿渣粉、硅灰和石英粉。粉煤灰掺量宜为胶凝材料质量的 10%～20%，硅灰掺量宜为胶凝材料质量的 5%～15%，具体掺量应通过配合比试验确定。

3.3.2 粉煤灰宜使用低钙粉煤灰，质量等级不应低于III级，其技术指标应符合表 3.3.1 的规定。采用碱激发工艺配制全风积沙混凝土时，可掺用高钙粉煤灰，其技术指标应符合表 3.3.2 的规定，并应进行体积安定性检验。

表 3.3.1 低钙粉煤灰技术要求

粉煤灰等级	细度（%）	烧失量（%）	需水量（%）	含水率（%）	f-CaO（%）	SO_3（%）
I	≤12.0	≤5.0	≤95.0	≤1.0	＜1.0	≤3.0
II	≤25.0	≤8.0	≤105.0	≤1.0	＜1.0	≤3.0
III	≤45.0	≤15.0	≤115.0	≤1.0	＜1.0	≤3.0
试验方法	GB/T 1596	GB/T 176	GB/T 1596	GB/T 1596	GB/T 176	GB/T 176

表 3.3.2 高钙粉煤灰技术要求

项目	技术要求	试验方法
CaO 含量（%）	≥10.0	GB/T 176
细度（45μm 方孔筛筛余，%）	≤25.0	GB/T 1596
烧失量（%）	≤8.0	GB/T 176
需水量比（%）	≤105.0	GB/T 1596

含水率（%）	≤1.0	GB/T 1596
f-CaO（%）	≤4.0	GB/T 176
SO_3 （%）	≤3.0	GB/T 176
安定性（沸煮法或压蒸法）	合格	GB/T 1596

3.3.3 掺于风积沙混凝土中的矿渣粉、硅灰质量应符合表 3.3.3 的规定。高温施工时，硅灰掺量宜根据工艺需求经试验确定，不宜大于胶凝材料质量的 15%。

表 3.3.3 矿渣粉、硅灰质量控制指标

控制指标		比表面积（m^2/kg）	密度（g/cm^3）	烧失量（%）	流动度比（%）	含水率（%）	氯离子含量（%）	SiO_2（%）	f-CaO（%）	SO_3（%）
种类	等级									
矿渣粉	S105	≥500	≥2.80	≤3.0	≥95.0	≤1.0	<0.06	≥85.0	<1.0	≤4.0
	S95	≥400								
硅灰		≥15000	≥2.10	≤6.0	—	≤3.0	<0.06	≥90.0	<1.0	—
试验方法		GB/T 8074	GB/T 208	GB/T 18046	GB/T 18046	GB/T 18046	GB/T 176	GB/T 18046	GB/T 176	GB/T 176

注：当风积沙混凝土中有钢筋和钢纤维时，氯离子含量为必测项目，素风积沙混凝土氯离子含量为选测项目。

3.3.4 各掺合料在使用前，应进行风积沙混凝土配合比试验检测与掺量优化试验，确认风积沙混凝土抗压强度、弯拉强度、工作性、抗冰冻性、抗盐冻性满足设计要求。

3.3.5 当采用其他矿物掺合料时，矿物掺合材料性应符合国家现行标准的有关规定，且应通过试验验证，满足风积沙混凝土设计性能要求时方可使用。

3.3.6 采用碱激发工艺配制全风积沙混凝土时，宜采用磨细粒化高炉矿渣粉与粉煤灰复合胶凝材料，矿渣粉与粉煤灰质量比宜为 80:20；矿渣粉质量等级不宜低于 S95 级，并应符合表 3.3.3 的规定，粉煤灰应分别符合表 3.3.1 或表 3.3.2 的规定。碱激发剂宜由水玻璃与氢氧化钠复合配制，水玻璃模数宜为 1.2（宜控制在 1.0～1.5），碱当量宜为 6%～8%；采用低钙粉煤灰时碱当量宜取 8%，采用高钙粉煤灰时碱当量宜取 6%且不应大于 6%。按上述参数配制的碱激发全风积沙混凝土，28d 抗压强度可达 52.8MPa～83.2MPa。

3.4 外加剂

3.4.1 风积沙混凝土用高效减水剂应符合《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，宜选用聚羧酸系高性能减水剂，减水

率不宜小于 25%；配制高强度风积沙混凝土时，减水率不宜小于 30%。风积沙含泥量较高或细颗粒含量较大时，宜选用减水抗泥型聚羧酸系减水剂。减水剂掺量宜为胶凝材料质量的 0.4%～1.6%，最佳掺量应通过水泥净浆流动度经时试验确定。

3.4.2　风积沙混凝土用其他外加剂应符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30—2014 中表 3.6.1 的规定，与水泥和矿物掺合料应具有良好的适应性，并应通过试验验证，满足风积沙混凝土设计性能要求时方可使用。

3.4.3　风积沙混凝土中各种可溶外加剂均应充分溶解为均匀水溶液，按配比计算的剂量加入。采用非水溶的粉状外加剂时，应保证其分散均匀、搅拌充分，且不得结块。

3.4.4　风积沙混凝土宜掺加适量消泡剂，以降低拌合物含气量、减小气泡孔径。消泡剂掺量宜为胶凝材料质量的 0.2%～0.3%，并应经试验确定。

3.4.5　有抗冰冻、抗盐冻要求的风积沙混凝土宜掺加引气剂，掺引气剂后拌合物含气量宜控制在 3.5%～5.5%，并应与消泡剂用量统筹协调。引气剂与减水剂复合使用前，应进行相容性试验。

3.5　纤维

3.5.1　风积沙混凝土中钢纤维抗拉强度等级应不低于 600 级，并应做防锈蚀处理，其选用及检验应按《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221 中的规定执行，并应满足表 3.5.1 的要求。

表 3.5.1　钢纤维控制指标要求

控制指标	技术要求	试验方法
长度（mm）	6～25①	JGJ/T 221
	25～50②	
直径（mm）	0.10～0.30①	
	0.30～0.90②	
长度合格率（%）	＞90	
形状合格率（%）	＞90	
弯折合格率（%）	＞90	

杂质含量（%）	＜1.0	
平均根数与标称根数偏差（%）	±10	

注：①当风积沙混凝土强度在C40以上，钢纤维长度宜为6～25，直径宜为0.10～0.30；

②当风积沙混凝土强度在C40以下，钢纤维长度宜为25～50，直径宜为0.30～0.90。

③钢纤维体积掺量宜为0.4%～1.6%；掺加12mm短纤维宜按抗压强度优先控制（体积掺量1.2%左右效果最佳），掺加20mm以上长纤维宜按弯拉、劈裂性能优先控制。

3.5.2 风积沙混凝土中的玄武岩纤维外观应为金褐色，均质、表面无污染，二氧化硅含量应在48%～60%之间，表面浸润剂应为亲水型，质量应满足《公路水泥混凝土路面施工技术细则》（JTG/T F30-2014）中的要求。玄武岩纤维长度宜为12mm～30mm，体积掺量宜为0.1%～0.5%；长度18mm、体积掺量0.3%时抗压强度提升效果最优，长度30mm、体积掺量0.4%时劈裂与抗折强度提升效果最优。

3.5.3 风积沙混凝土中掺加的合成纤维单丝抗拉强度应不小于450MPa，并应符合《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》GB/T 21120的规定。聚乙烯醇（PVA）纤维长度宜为12mm、直径宜为40μm、抗拉强度不宜小于1600MPa、弹性模量不宜小于40GPa，体积掺量宜为0.2%～0.6%；聚丙烯（PP）纤维长度宜为6mm～12mm、直径宜为15μm～50μm，体积掺量宜为0.1%～0.4%，最佳掺量宜通过试验确定。

3.5.4 硫酸盐侵蚀环境或对弯拉、抗裂性能要求较高时，宜采用玄武岩纤维与聚丙烯纤维（或聚乙烯醇纤维）混杂掺加，纤维总掺量宜为0.2%～0.6%，复掺比例宜通过试验确定。

3.5.5 硫酸盐侵蚀严重或存在电场-硫酸盐耦合侵蚀风险的工程，宜采用硅烷偶联剂（如KH550）对聚丙烯纤维、玄武岩纤维进行表面改性处理，以改善纤维与水泥基体的界面结合性能，提高抗侵蚀能力。

3.6 激发改性剂

3.6.1 激发改性剂物理化学指标应符合表3.6.1的规定，掺量宜为水泥质量的1%～5%。

3.6.2 采用碱激发工艺时，碱激发剂宜由水玻璃与氢氧化钠复合配制，水玻璃模数宜为1.2（宜控制在1.0～1.5），碱当量宜为6%～8%。碱激发剂与激发改性

剂（见本规程第 2.0.5 条）为两类不同材料，应分别控制和验收，不得相互替代。

表 3.6.1 激发改性剂物理化学指标

检测项目	指标	试验方法	检测项目	指标	试验方法
MgO	≤10%	GB/T176	氯离子	≤1.0%	JC/T420
f-CaO	≤1.5%	GB/T176	密度	1.2-2.4g/cm^3	JTG E30 T0503
SO_3	≤10%	GB/T176	外观	红褐色或黑灰色粉末	–

3.7 水

3.7.1 拌合用水的质量和检验方法应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。配制碱激发剂溶液时，应控制拌合水及激发剂溶液中的氯离子含量。

4 配合比设计

4.1 一般规定

4.1.1 风积沙混凝土配合比设计应遵循技术先进、安全可靠、经济合理、资源节约的原则。

4.1.2 风积沙混凝土配合比设计应满足设计要求的强度等级、施工要求的拌合物工作性，以及工程所处环境所要求的耐久性。

4.1.3 风积沙混凝土的配合比设计，除应符合本章规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.4 全风积沙混凝土宜采用低水胶比（0.29～0.39）、高胶凝材料用量、较大灰砂比（1:1.5～1:3）的技术路线，并宜按本规程第 3.2.5 条进行颗粒级配优化。

4.1.5 位于盐渍土等硫酸盐侵蚀环境或存在杂散电流风险的工程，配合比设计应增加抗硫酸盐侵蚀性能验证；位于电气化交通区域时，宜按本规程第 6.5 节规定的方法进行电化学加速快速评价。

4.2 配合比设计

4.2.1 风积沙混凝土配合比设计应根据工程要求、资源条件和结构部位，按 A（风积沙细骨料混凝土）、B（全风积沙混凝土）两种模式进行，设计方法应按下列规定选用：

1　A 模式配合比设计可按现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 规定的质量法或体积法进行计算，并按表 4.2.1 对风积沙取代率、砂率、单位用水量、胶凝材料用量等参数进行调整；

2　B 模式因不含粗骨料，现行《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中粗骨料相关参数及回归系数不再适用，不宜直接采用普通混凝土配合比设计方法进行计算，应按本规程第 4.2.3 条的规定确定；

3　现行《砌筑砂浆配合比设计规程》JGJ/T 98 规定的砂浆配合比设计方法，不适用于路用风积沙混凝土的强度设计；B 模式的灰砂比参数可参照砂浆配合比设计方法中的胶砂比关系，经试验确定。

4.2.2　风积沙细骨料混凝土（A 模式）配合比设计应符合下列规定：

a）风积沙替代天然砂的比率应根据技术经济比较确定，替代率宜为 30%～50%，且不应大于 100%；

b）配合比设计应在普通混凝土配合比设计方法的基础上进行，并按表 4.2.1 调整相关参数。

注：试验结果表明，风积沙替代率为 30%时，混凝土拌合物工作性与力学性能较优；替代率达 50%时，力学性能明显下降。

4.2.3　全风积沙混凝土（B 模式）配合比设计应符合下列规定：

a）本模式适用于本规程第 3.2.4 条规定的特殊工况；

b）应采用低水胶比、高胶凝材料用量的技术路线；

c）应采用高效减水剂，宜掺加激发改性剂，并宜掺加纤维；

d）风积沙用量应根据紧密堆积试验结果确定，水胶比宜为 0.29～0.39，灰砂比宜为 1:1.5～1:2，并应按表 4.2.1 调整相关参数；

e）基准配合比宜控制在：风积沙用量 1350kg/m³ ～1450kg/m³ 、水泥 400kg/m³ ～600kg/m³ 、粉煤灰 100kg/m³ ～200kg/m³ 、水胶比 0.29～0.39、减水剂掺量 0.8%～1.0%，并应通过试配试验优化。

4.2.4　风积沙混凝土配合比应经试配调整后确定，并应符合下列规定：

a）初步配合比宜按表 4.2.1 的推荐值选用，经试拌后测定拌合物的坍落度或扩展度、经时损失，以及 28d 抗压强度和弯拉强度；

b）试拌结果不满足设计要求时，宜按下列方向调整：拌合物工作性不足时，

提高减水剂掺量或降低灰砂比；强度不足时，降低水胶比或提高胶凝材料用量；弯拉强度不足时，掺加纤维或调整纤维品种、长度与掺量；

c）有抗冰冻、抗盐冻及抗硫酸盐侵蚀要求的工程，应按本规程第 5.3 节的规定进行耐久性校核，并调整水胶比与胶凝材料用量；

d）配合比参数较多或缺少经验时，宜采用正交试验法优化，试验因素宜从水胶比、灰砂比、粉煤灰掺量、硅灰掺量、减水剂掺量、纤维掺量中选取 4 个～5 个，每个因素不宜少于 4 个水平，可选用 L16（4^4 ）正交表，并宜采用极差分析和方差分析确定各因素影响的主次顺序。

注：研究结果表明，影响风积沙混凝土 28d 抗压强度的因素主次顺序为粉煤灰掺量＞灰砂比＞硅灰掺量＞水胶比，灰砂比对强度影响显著，配合比设计应重点控制灰砂比。

表 4.2.1　风积沙混凝土配合比设计参数

设计参数	取值范围	推荐值	说明
风积沙取代率（占细骨料总质量）	30%～100%	A 模式：30%～50%；B 模式：100%	应通过试验确定最佳值
胶凝材料用量	较基准混凝土增加 5%～15%	A 模式：380～480kg/m³；B 模式：500～800kg/m³	基准混凝土指未掺风积沙的对比混凝土，增加量随风积沙取代率提高而增大
水胶比	按耐久性要求确定，且不宜大于 0.50	A 模式：0.40～0.50；B 模式：0.29～0.39	风积沙混凝土对水胶比变化敏感，宜取较低值
砂率	较基准混凝土降低 2%～8%	A 模式：32%～38%	风积沙细颗粒填充效应显著，应降低砂率以保证粗骨料骨架作用
灰砂比（砂胶比）	1:1.5～1:3	B 模式：1:1.5～1:2	B 模式灰砂比对强度影响显著，应重点控制
单位用水量	较基准混凝土增加 5～25kg/m³	A 模式：155～175kg/m³；B 模式：150～190kg/m³	增加量取决于风积沙的需水性、取代率及外加剂性能
粉煤灰掺量（占胶凝材料质量）	0～30%	A 模式：10%～20%；B 模式：20%	应通过试验确定最佳掺量
硅灰掺量（占胶凝材料质量）	0～15%	A 模式：5%～10%；B 模式：8%～10%	掺量超过 15%后强度提升率下降，且坍落度显著降低
减水剂掺量（占胶凝	0.4%～1.6%	0.8%～1.0%	应通过水泥净浆流

材料质量）			动度经时试验确定饱和掺量
纤维体积掺量	钢纤维 0.4%～1.6%；玄武岩纤维 0.1%～0.5%；合成纤维 0.1%～0.6%	按性能控制目标选用	按纤维品种分别确定，宜通过试验优化
初始坍落度或扩展度	按施工要求确定	掺纤维时坍落度不宜小于 120mm；扩展度不宜小于 340mm	应重点监控流动性和粘聚性
经时损失	30min 坍落度损失≤30mm 或扩展度损失≤10%	—	应通过调整外加剂性能与掺量进行控制

注：表中 A 模式指风积沙细骨料混凝土，B 模式指全风积沙混凝土；推荐值为常用工况下的经验取值，实际工程应经试配验证后确定。

征询意见稿

4.2.5　风积沙混凝土的配合比，应在试验的基础上按表 4.2.2 进行控制。

表 4.2.2　风积沙混凝土配合比要求

强度等级	抗压强度（MPa）	C40	C30	≤C20
	抗折强度（MPa）	5.0	4.5	4.0
最大水灰（胶）比		0.55	0.60	0.65
有抗冰冻要求时最大水灰（胶）比		0.46	0.48	0.48
有抗盐冻要求时最大水灰（胶）比		0.44	0.46	0.46
最小单位水泥用量（kg/m^3）		350	280	230
有抗冰冻、抗盐冻要求时最小单位水泥用量（kg/m^3）		340	300	260
有抗硫酸盐侵蚀要求时最大水灰（胶）比		0.44	0.46	0.46

4.2.6　高强度风积沙混凝土配合比指标应符合表 4.2.3 的规定。高强度全风积沙混凝土可采用碱激发工艺（矿渣粉与粉煤灰质量比 80:20、碱当量 6%～8%）或掺加硅灰与纤维的普通硅酸盐水泥体系配制。

表 4.2.3　高强度风积沙混凝土配合比要求

强度等级	抗压强度（MPa）	≥C80	C60
	抗折强度（MPa）	10.0	8.0
最大水灰（胶）比		0.30	0.35
有抗冰冻要求时最大水灰（胶）比		0.28	0.32
有抗盐冻要求时最大水灰（胶）比		0.25	0.30
最小单位水泥用量（kg/m^3）		500	450
有抗冰冻、抗盐冻要求时最小单位水泥用量（kg/m^3）		550	480

4.2.7　全风积沙混凝土配合比设计前，宜先按本规程第 3.2.5 条对风积沙进行颗粒级配优化（分布模数 n=0.3），再按优化后级配确定配合比参数。

5 性能要求

5.1 抗弯拉性能

5.1.1 风积沙混凝土路面应以 28d 弯拉强度进行控制，并进行配合比设计。各等级的风积沙混凝土路面弯拉强度标准应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 风积沙混凝土路面弯拉强度

道路等级	高速、一级公路（城市快速路、主干道）	二级、三级公路（城市次干道）	四级公路（城市支路）
弯拉强度（MPa）	≥5.0	≥4.5	≥4.0

注：①交通荷载有极重、特重或重载交通时，可加入纤维提高弯拉强度。

②小交通量农村公路可参照四级公路标准执行。

③掺加聚乙烯醇纤维 0.6%时抗折强度提升 32.1%，玄武岩纤维与聚丙烯纤维复掺 0.6%时提升 28.6%；掺加钢纤维 1.2%时抗折强度提升 12.9%；风积沙级配优化（分布模数 n=0.3）可使抗折强度较天然级配提升 11.1%。

5.1.2 风积沙混凝土 28d 劈裂抗拉强度宜符合下列参考值：素风积沙混凝土为 4.0MPa～4.5MPa，掺纤维风积沙混凝土为 4.4MPa～6.1MPa（对应拉压比 0.08～0.12），具体以设计验算和试验结果为准。

5.2 抗压性能

5.2.1 风积沙混凝土强度等级可分为 C20 及以下、C30、C40、C60、C80 及以上。

注：①C40 及以下风积沙混凝土适用于公路和城市道路，以及附属、临时设施、构件物等；

②C40 以上混凝土为高强度风积沙混凝土，可用于对混凝土有特殊要求的部位。

③全风积沙混凝土经级配优化与配合比优化，28d 抗压强度可实现 C35～C60；采用碱激发工艺时可达 C80 及以上。

5.3 耐久性

5.3.1 风积沙混凝土耐久性指标应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 风积沙混凝土耐久性

道路等级	高速、一级公路（城市快速路、主干道）	二级及二级以下公路（城市次干道、支路）	试验方法

强度等级		C40	C30	＜C30	
抗冻等级F（快冻法）	严寒地区①	≥250次		≥200次	JTG 3420 T0565
	寒冷地区②	≥200次		≥150次	
磨损量（kg/m²）		≤3.0		≤3.5	JTG 3420 T0567
抗盐冻性		冻融循环30次后质量损失不大于1.0kg/m²			JTG/T F30 附录C
氯离子扩散系数（×10⁻¹²m²/s）		≤0.4			JTG 3420 T0579/T0580
抗硫酸盐侵蚀（抗压耐腐蚀系数，%）	盐渍土及杂散电流环境	≥80		≥75	GB/T 50082（硫酸盐侵蚀试验）
①严寒指当地最冷月平均气温低于-8℃的地区。 ②寒冷指当地最冷月平均气温低于-8℃～-3℃的地区。					

5.3.2　高强度风积沙混凝土耐久性指标应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 高强度风积沙混凝土耐久性

强度等级		C60	≥C80	试验方法
抗冻等级F（快冻法）	严寒地区①	≥350次	≥600次	JTG 3420 T0565
	寒冷地区②	≥300次	≥400次	
抗盐冻性		冻融循环30次后质量损失不大于1.0kg/m²		JTG/T F30 附录C
氯离子扩散系数（×10⁻¹²m²/s）		≤0.4		JTG 3420 T0579/T0580
①严寒指当地最冷月平均气温低于-8℃的地区。 ②寒冷指当地最冷月平均气温低于-8℃～-3℃的地区。				

5.3.3 盐渍土地区路用风积沙混凝土应进行抗硫酸盐侵蚀试验。采用硫酸盐-干湿循环法（按本规程第 6.5.2 条），经 150 次循环后，抗压耐腐蚀系数不宜低于 75%；掺加硅灰或纤维的风积沙混凝土不宜低于 80%。

5.3.4 存在电场-硫酸盐耦合侵蚀风险（盐渍土地区电气化铁路、城市轨道交通杂散电流影响区）的工程，宜按本规程第 6.5.3 条规定的方法进行电化学加速试验，以损伤度 D 和归一化电阻 Rn 评价抗侵蚀性能；电化学加速 42d 的劣化程度与自然浸泡 150d 具有对应关系。

5.4 收缩性能

5.4.1 对收缩有要求时，风积沙混凝土在自然养护条件下的干燥收缩、早龄期自收缩宜符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 路用风积沙混凝土收缩要求

项目	技术要求	试验方法
干燥收缩/$\times10^{-6}$	≤300	JTG 3420/ T 0574
早龄期自收缩/$\times10^{-6}$	≤1000	JTG 3420/ T 0575

5.5 坍落度和扩展度性能

5.5.1 风积沙混凝土拌合物的坍落度应符合《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定。掺纤维风积沙混凝土初始坍落度宜不小于 120mm；纤维会显著降低拌合物工作性，配制时应通过调整减水剂掺量、灰砂比等措施补偿。

5.5.2 在风积沙混凝土坍落度大于 160mm 时，以扩展度进行控制，并符合表 5.5.2 的要求。

表 5.5.2 风积沙混凝土扩展度性能要求

项目	扩展度（mm）	扩展度经时损失（mm）	扩展时间（s）
技术要求	≥340	≤100	30～40
试验方法	JTG 3420/ T0532	JTG 3420/ T0532	JTG 3420/ T0532

6 试验方法

6.1 试件制备

6.1.1 搅拌：风积沙混凝土应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌时宜将水泥、矿物掺合料、骨料、粉剂外加剂等干料预先干拌 1min～2min，然后加入水和其他液体原材料湿拌，湿拌时间不宜低于 3min，至拌合物接近目标流动性；然后缓慢加

入纤维，待纤维全部加完后继续搅拌不少于 2min，至纤维在拌合物中分散均匀。

6.1.2 成型：风积沙混凝土试件的成型应符合下列规定。

a）风积沙混凝土宜从试模的一侧开始浇筑，一次浇筑完毕，浇筑后可用橡胶锤轻敲侧模 排除气泡。

b）对于扩展度小于 340mm 的风积沙混凝土拌合物，浇筑完成后，可根据需要将试模置于振动 台上振动以排除气泡，振动时间宜为 10s~15s。

c）成型过程中不得进行插捣。

6.1.3 养护：风积沙混凝土试件的养护应符合下列规定。

a）试件成型后，应立即在试模表面覆盖塑料薄膜，避免水分散失。

b）自然养护类路用风积沙混凝土试件应按 GB/T 50081 的规定进行标准养护。

6.2 试验龄期

6.2.1 自然养护类风积沙混凝土试件，无特殊情况下，试验龄期应为 28d。

6.2.2 路用风积沙混凝土干燥收缩和早龄期自收缩试件的试验龄期，应符合本规程第 6.6.1 条和第 6.6.2 条的规定。

6.3 拌合物性能测定

6.3.1 扩展度及扩展度经时损失：风积沙混凝土拌合物的扩展度及扩展度经时损失应按 JTG 3420 的有关规定进行测定，应测试风积沙混凝土拌合物不再扩散或扩散持续时间达到 90s 时的扩展度。扩展度经时损失无特殊要 求情况下应测试 1h 扩展度经时损失。

6.3.2 扩展时间：风积沙混凝土拌合物的扩展时间应按 JTG 3420 的有关规定进行测定，应测试自坍落度筒提离地面时开始，至扩展开的风积沙混凝土拌合物外缘初触平板上所绘直径 500mm 圆周的时间。

6.4 力学性能测定

6.4.1 抗压强度：风积沙混凝土的抗压强度应按 GB/T 50081 的有关规定进行测定，并应符合下列规定。

a）应采用 100mm×100mm×100mm 的立方体试件，每组 6 个试件。

b）加载速率宜按强度等级确定：强度等级≤C30 时为 0.5MPa/s～0.8MPa/s，

C40～C60 时为 0.8MPa/s～1.0MPa/s，≥C80 时为 1.2MPa/s～1.4MPa/s。

c）取与平均值偏差小于 10%的试件强度平均值作为测定值。当 6 个测值中有 1 个或 2 个与平均值的差值超过平均值的 10%时,将超出平均值 10%的测值舍除，取剩余测值的平均值作为该组试件的抗压强度值；当有 3 个或 3 个以上试件强度值与平均值偏差大于 10%时，则该组试件试验结果无效。

d）采用 70.7mm 非标准立方体试件时，抗压强度值应乘以 0.95 的换算系数。

6.4.2 抗弯强度：风积沙混凝土的抗弯强度应按 GB/T 50081 中抗折强度试验方法的有关规定进行测定，并应符合下列规定：

a）应采用 100mm×100mm×400mm 的棱柱体试件，每组 3 个试件；

b）应采用四点加载方式，试件支座间的跨度为 300mm,双点加荷应使两个相等的荷载同时垂直 作用在试件跨度的两个三分点处；

c）应对试件进行连续均匀加载，初裂前的加载速率为 0.12MPa/s~0.14MPa/s,初裂后取位移控制，加载速率为 0.1mm/min，初裂后应继续加载至荷载低于最大荷载的 30%；

d）以试验过程中的最大荷载计算抗弯强度，并应记录初裂荷载。

6.4.3 劈裂抗拉强度：风积沙混凝土的劈裂抗拉强度应按 GB/T 50081 的有关规定测定，宜采用 100mm×100mm×100mm 立方体试件（也可采用 70.7mm 非标准试件并换算），加载速率宜为 0.05MPa/s，每组试件不应少于 3 个。

6.5 耐久性测定

6.5.1 风积沙混凝土的耐久性应按表 5.3.1 的方法进行。

6.5.2 抗硫酸盐侵蚀：风积沙混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能宜按 GB/T 50082 的有关规定进行硫酸盐侵蚀-干湿循环试验，采用 5%硫酸钠（Na2SO4）溶液，循环次数不宜少于 120 次（宜为 150 次），测定各循环次数下试件的质量损失率、相对动弹性模量及抗压耐腐蚀系数 Kf（Kf=fcn/fc0×100%，其中 fcn 为 N 次循环后试件抗压强度，fc0 为同龄期对比试件抗压强度）。

6.5.3 电场-硫酸盐耦合加速试验：风积沙混凝土的电场-硫酸盐耦合加速试验应符合下列规定：a）采用直流稳压电源恒压 60V 供电，以 2%硫酸钠溶液为侵蚀介质，阳极采用铱钽钛板电极、阴极采用钛板电极，电极与试件平行间距宜为 70mm；b）试件宜采用 70.7mm×70.7mm×70.7mm 立方体试件，置于两电极之

间，试验全程恒温水浴控制温度 20℃±2℃；c）劣化周期宜为 42d，并同期设置不施加电压的自然浸泡组（150d）作为对照；d）采用电化学阻抗谱（EIS）监测，频率扫描范围宜为 0.05Hz～100kHz、交流振幅 0.01V，按损伤度 D 和归一化电阻 Rn 评价微观损伤程度。

6.6 收缩测定

6.6.1 干燥收缩：风积沙混凝土的干燥收缩应按 JTG 3420 中 T 0574 的有关规定进行测定。自然养护类风积沙混凝土干燥收缩测试的开始时间为 3d 龄期，测试时长为 28d。

6.6.2 早龄期自收缩：自然养护类风积沙混凝土的早龄期自收缩应按 JTG 3420 中 T 0575 的有关规定进行测定，应测试从初凝开始至初凝后 72h 的收缩值。风积沙混凝土的凝结时间应按 JTG 3420 中 T 0527 的有关规定进行测定，应采用不含纤维和粗骨料的风积沙混凝土拌合物。

7 检验规则

7.1 检验项目

7.1.1 型式检验、出厂检验和交货检验的检验项目应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 路用风积沙混凝土检验项目

项目	型式检验	出厂检验	交货检验
扩展度	√	√	√
扩展度经时损失	√	×	O
扩展时间	√	×	O
抗压强度	√	√	√
抗弯强度	√	√	O
氯离子扩散系数	√	×	O
干燥收缩	√	×	O
早龄期自收缩	√	×	O
劈裂抗拉强度	√	×	O
抗压耐腐蚀系数	√	×	O
质量损失率、相对	√	×	O

电化学损伤度 D、	O	×	×
注：“√”为必检项目，“×”为无需检验项目，“O”可选检验项目，根据实际情况协商确定。			

7.2 检验频率

7.2.1 风积沙混凝土拌合物应在施工现场从运输车卸料量 1/4～3/4 之间取样，且应从同一运输车中采取。扩展度和抗压强度检验的试样，每浇筑 200m^3 相同配合比的路用风积沙混凝土取样不应少于 1 次。

7.2.2 风积沙混凝土预混料应以 500t 为 1 批，扩展度和抗压强度的检验每 1 批取样不应少于 1 次。

7.2.3 风积沙料源变化、级配优化方案变更或配合比调整时，应重新进行配合比验证试验，并按型式检验项目进行检验。

7.3 判定规则

7.3.1 对于型式检验的判定，若全部检验项目符合本标准要求，则判定该产品合格。若有 2 项或 2 项以上检验项目不符合本标准要求时，则判定该产品不合格。若仅有一项检验项目不符合本标准要求时，可重新加倍取样对不符合项目进行二次检验，如符合要求，则判定该产品合格，如不符合要求，则判定该产品为不合格。

7.3.2 对于出厂检验和交货检验的判定，若全部检验项目符合本标准要求，则判定该产品的检验项目合格；若有检验项目不符合本标准要求，则判定该检验项目不合格。

7.3.3 抗压耐腐蚀系数低于本规程规定值，或电场-硫酸盐耦合加速试验中损伤度 D 超过设计限值（或归一化电阻 Rn 低于 0.5）时，判定该批产品不合格。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

8.1.1 风积沙混凝土以预混料形式供应时，可采用小袋或吨袋包装。化学外加剂、纤维可预拌于干混料中一同供应，也可单独包装供应。纤维单独供应时，应按品种、长度、体积掺量分别包装并清晰标识；碱激发剂（水玻璃、氢氧化钠等）应

单独包装、密封贮存，不得与水泥、掺合料预混；经表面改性的纤维应防潮包装。

8.1.2 袋装风积沙混凝土预混料包装袋上应有标志标明产品名称、标记、商标、加水量、化学外加剂掺量（如需）、纤维掺量（如需）、净含量、使用说明、贮存条件及保质期、生产日期或批号、生产单位、地址和电话等。

8.2 运输

8.2.1 风积沙混凝土预混料运输时，应有防扬尘措施，不应污染环境。

8.2.2 风积沙混凝土预混料运输过程中，不得混入杂物，并应有防雨、防潮和防扬尘措施。

8.2.3 当以风积沙混凝土拌合物的形式运输时，应采用搅拌运输车运输。运输车装料前，装料口应保持清洁，筒体内不应有积水、积浆及杂物。

8.3 贮存

8.3.1 风积沙混凝土预混料在贮存过程中不应受潮和混入杂物。不同品种、型号规格的路用风积沙混凝土预混料应分别贮存，不应混杂。

8.3.2 袋装风积沙混凝土预混料应贮存在干燥环境中，应有防雨、防潮、防扬尘措施。贮存过程中包装袋不应破损。

8.3.3 袋装风积沙混凝土预混料的保质期自生产日起为 6 个月。超过 6 个月时应进行复检，复检合格方后可继续使用。

征询意见稿

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，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做的用词，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做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。

征询意见稿

附　条文说明

说明：本条文说明为配合《路用风积沙混凝土技术规程》的使用而编制，主要收录条文技术参数的试验依据与参考数据，不具有与规程正文同等的效力。

3.2.5　级配优化参数依据：按Dinger-Funk紧密堆积理论对风积沙进行颗粒级配优化，分布模数n=0.3时表观密度最大（2745.90kg/m³，较天然级配提高5.43%）、堆积空隙率最小（36.89%），细度模数由2.89提高到3.14，由中砂优化为粗砂；相应混凝土7d、28d抗压强度分别为35.46MPa和45.47MPa，较天然级配提高12.89%和13.14%，28d劈裂抗拉强度4.05MPa（提高15.71%）、抗折强度7.12MPa（提高11.08%）。

3.3.3　硅灰掺量优化试验表明：硅灰掺量为胶凝材料质量的10%时，28d抗压强度较不掺硅灰提高9.5%、劈裂抗拉强度提高11.4%；掺量超过15%后强度提升率下降，且拌合物坍落度显著降低。据此，正文规定硅灰掺量不宜大于胶凝材料质量的15%。

3.3.6　碱激发体系试验依据：碱激发矿渣粉—粉煤灰（GGBS/FA）复合胶凝材料在水玻璃模数1.2、碱当量8%、粉煤灰掺量20%时28d抗压强度达83.2MPa，较4%碱当量提高72.9%、较1.6模数提高26.9%；模数1.2、碱当量6%时28d抗折强度最优，为8.6MPa。碱激发矿渣粉—高钙粉煤灰（GGBS/HCFA）体系在水玻璃模数1.2、碱当量6%时28d抗压强度52.8MPa、抗折强度9.5MPa；碱当量增至8%时出现速凝、泛碱并发生强度倒缩，故规定高钙粉煤灰体系碱当量宜取6%且不应大于6%。

3.5.1　钢纤维增强试验依据：12mm钢纤维体积掺量1.2%时，全风积沙混凝土28d抗压强度达54.9MPa，较不掺提高36.6%；20mm钢纤维体积掺量1.6%时劈裂抗拉强度7.95MPa、抗折强度8.04MPa，分别提高127.1%和25.4%。据此，掺加12mm短纤维宜按抗压强度优先控制，掺加20mm以上长纤维宜按弯拉、劈裂性能优先控制。

3.5.2　玄武岩纤维增强试验依据：18mm玄武岩纤维体积掺量0.3%时抗压强度最优（天然级配50.9MPa、最优级配52.1MPa）；30mm纤维体积掺量0.4%时劈裂抗拉强度4.61MPa、抗折强度7.44MPa最优。掺量超过0.4%后纤维易结团、分散不均，增强效果回落。

4.2.2　风积沙替代率试验依据：风积沙替代率为30%时，混凝土28d抗压强度较未替代混凝土提高3.64%、28d抗折强度提高6.3%，拌合物坍落度最大（113mm）、保水性良好；替代率达50%时坍落度降至89mm，力学性能明显下降。冻融试验表明，150次冻融循环后未掺纤维及粉煤灰的对照组质量损失率3.5%、相对动弹性模量65.77%；掺1%纤维并复掺20%粉煤灰时，质量损失率降至1.27%、相对动弹性模量升至78.78%。

4.2.3　全风积沙混凝土配合比参数依据：采用风积沙1400kg/m³、水泥600kg/m³、粉煤灰150kg/m³、水胶比0.39、减水剂1%的基准配合比，经级配优化（n=0.3）后28d抗压强度45.4MPa，可满足C35要求；叠加12mm钢纤维（体积掺量1.2%）后达55.7MPa、劈裂抗拉强度6.52MPa，较天然级配素混凝土累计提升38.56%和86.29%。

4.2.6　高强度风积沙混凝土参考参数：风积沙UHPC最优配合比为钢纤维2.5%、玄武岩纤维1.5%、硅灰10%、消泡剂0.28%，水胶比0.21～0.23、砂胶比0.9～1.1、减水剂掺量2.0%；蒸汽养护（70℃、48h）条件下7d抗压强度121.6MPa、抗折强度22.5MPa，仅较石英砂UHPC低约5%；500次冻融循环后质量损失率0.78%、相对动弹性模量99.2%，抗冻等级超过F500。

5.1.1　弯拉强度依据：天然级配风积沙混凝土28d抗折强度约6.41MPa，经级配优化后达7.12MPa，再叠加钢纤维后达8.04MPa，均高于各等级公路路面设计弯拉强度要求。掺加聚乙烯醇纤维0.6%时抗折强度提升32.1%，玄武岩纤维与聚丙烯纤维复掺0.6%时提升28.6%，掺加钢纤维1.2%时提升12.9%。

5.3.3　抗硫酸盐侵蚀依据：5%Na_2SO_4溶液干湿循环90次后，经级配优化（n=0.3）的风积沙混凝土表观损毁最轻、质量波动最小，相对动弹性模量较天然级配高1.78%；掺加硅灰、纤维可进一步提高抗侵蚀性能，故规定掺硅灰或纤维的风积沙混凝土抗压耐腐蚀系数不宜低于80%。

6.5.3　电场-硫酸盐耦合加速试验参数依据：直流稳压电源恒压60V、2%Na_2SO_4溶液、铱钽钛板阳极与钛板阴极、电极与试件间距70mm条件下，电化学加速42d的劣化程度与自然浸泡150d具有对应关系，可用于抗侵蚀性能的快速评价。