高性能混凝土裂缝控制技术与工程应用研究

单光帅
中国二十二冶集团有限公司，河北 唐山 064000

[摘要]高性能混凝土凭借强度高、耐久性好、施工和易性佳的优势，现如今被广泛应用于大型桥梁、超高层建筑、交通水利等重大基建工程。但高性能混凝土的配比和普通混凝土不同，采用了低水胶比、高胶凝材料的设计，比普通混凝土更容易在施工阶段和投入使用初期出现裂缝，降低结构耐久性，直接影响工程质量。文章全面梳理了高性能混凝土的常见裂缝种类，以及工程施工中诱发裂缝的各类因素。同时从原材料优选优化、配合比精细化调整、施工全流程标准化管控、后期科学养护、新型抗裂材料应用等关键方面，总结出高性能混凝土裂缝控制核心技术。结合多项大型基建工程的实际案例，对比分析不同施工场景下各项抗裂技术的应用效果。大量工程实践证明，抗裂技术能有效降低高性能混凝土早期开裂的概率，彻底改善收缩裂缝、温度裂缝等常见病害问题，以供参考。

[关键词]高性能混凝土；裂缝控制；施工技术；配合比优化；工程应用
DOI：10.33142/ec.v9i11.20751　　中图分类号：TU528.31　　文献标识码：A

Research on Crack Control Technology and Engineering Application of High Performance Concrete

SHAN Guangshuai
China MCC22 Group Corporation Ltd., Tangshan, Hebei, 064000, China

Abstract: High performance concrete is widely used in major infrastructure projects such as large bridges, super high-rise buildings, transportation and water conservancy due to its advantages of high strength, good durability, and good construction and workability. However, the mix proportion of high-performance concrete is different from that of ordinary concrete. It adopts a design with low water cement ratio and high cementitious materials, which makes it easier for cracks to occur during the construction and initial use of ordinary concrete, reducing the durability of the structure and directly affecting the quality of the project. The article comprehensively summarizes the common types of cracks in high-performance concrete and the various factors that induce cracks in engineering construction. At the same time, key technologies for crack control in high-performance concrete have been summarized, including optimization of raw material selection, fine adjustment of mix proportions, standardized control of the entire construction process, scientific maintenance in the later stage, and application of new crack resistant materials. Combining practical cases of multiple large-scale infrastructure projects, compare and analyze the application effects of various crack resistance technologies in different construction scenarios. A large number of engineering practices have proven that crack resistance technology can effectively reduce the probability of early cracking in high-performance concrete, thoroughly improve common disease problems such as shrinkage cracks and temperature cracks, for reference.

Keywords: high performance concrete; crack control; construction technology; optimization of mix proportion; engineering application

引言

现如今，建筑工程朝着规模化、大型化、复杂化的方向不断发展，大跨度、大体积、高强度、高耐久性的施工场景越来越普遍[1]。高性能混凝土通过优化配比，采用低水胶比、优质粗细骨料以及高效复合外加剂，具备高强度、高韧性、高抗渗性等优势，力学性能和耐久性能优异，能够适应重载、复杂、恶劣的工程使用环境，应用场景和使用范围还在不断扩大[2]。但在实际施工过程中，受特殊配比和水化反应特性影响，高性能混凝土比普通混凝土更容易出现裂缝问题，情况严重时还会出现贯穿性裂缝了，破

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

坏建筑结构的完整性，降低构件的承载力和整体刚度，缩短建筑结构的使用寿命，还会显著增加后期运维和修补的成本。目前工程施工中重视混凝土强度达标，忽视抗裂质量管控。基于此，文章系统梳理高性能混凝土裂缝的主要成因，优化全过程抗裂施工工艺和管控措施，并通过工程实例验证技术的可行性与实用性，最终形成可落地、可推广的高性能混凝土裂缝控制施工方案。

1 高性能混凝土工程常见裂缝类型及诱因分析

1.1 主要裂缝类型及工程特征

通过统计多区域大型基建工程高性能混凝土裂缝检测数据，总结出工程中四类高频裂缝，如表 1 所示。

1.2 裂缝核心工程诱因

结合施工现场实际工况，从材料、施工、环境三个核心工程维度，梳理混凝土裂缝的现场主要成因，具体原因如下：（1）材料及配合比因素。高性能混凝土本身水胶比较小，胶凝材料、减水剂掺量偏高，浇筑后早期水化反应速度快、热量集中释放，导致混凝土内部和表面温差过大，极易产生温度裂缝。同时，低水胶比会让混凝土内部游离水分不足，硬化过程中自干燥现象显著，产生明显自收缩，进而形成早期细微裂缝[3]。除此之外，现场原材料管控不到位，骨料含泥量超标、颗粒级配不合理、粉料细度不达标等问题，会加大混凝土的收缩变形幅度，提升开裂风险。（2）施工工艺因素。现场浇筑作业中，浇筑速度过快、振捣过度或局部漏振，造成混凝土密实度不均匀、内部残留气泡，形成结构薄弱部位，最终诱发裂缝。浇筑完成后，表面抹面时机把控不当，大体积混凝土分层浇筑间隔时间不合理，施工缝清理、处理不规范，会导致结构应力集中，产生表面裂缝，严重时会形成贯通性裂缝。另外，现场常见的模板提前拆除、混凝土未达到规定强度就堆放材料、施加施工荷载等违规操作，造成混凝土受力变形，产生结构性开裂[4]。（3）环境及养护因素。高温、大风、干燥的露天施工环境，会快速带走混凝土表面水分，引发塑性收缩裂缝。同时，养护启动不及时、养护时长不够、洒水保湿不连续，无法有效抵消混凝土早期的收缩变形，极易出现大面积收缩裂缝，降低混凝土的整体耐久性和使用寿命。

2 高性能混凝土裂缝控制关键工程技术

2.1 原材料精细化优选（源头控裂）

原材料的性能直接影响混凝土的收缩变形效果，是控制混凝土开裂的关键源头。因此，需要结合现场工程实际，制定高性能混凝土的原材料选用标准，严格把控每一批进场材料的质量。水泥优先选用低水化热、低碱含量的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥，严格管控水泥细度和凝结时间。尽量不使用早强型水泥，这类水泥水化反应速度快、热量集中释放，很容易造成混凝土早期开裂。骨料选用级配完整、质地坚硬的碎石和中粗砂，严格把控杂质指标，含泥量≤1%、泥块含量≤0.5%。禁止使用风化石、针片状含量超标的骨料。搭配使用高效聚羧酸减水剂，既能改善混凝土泵送效果，又能降低水胶比，推迟水泥水化热的峰值出现时间。用粉煤灰、矿粉等矿物掺合料替代一部分水泥，能够整体降低混凝土水化热量，优化内部孔隙结构[5]。

2.2 配合比优化设计（核心控裂）

传统高强度配合比忽视体积稳定性，极易引发收缩裂缝，优化出兼顾强度、工作性与抗裂性的配合比设计方案，如表 2 所示。

表 1　高性能混凝土常见裂缝类型及工程特征统计表

裂缝类型	产生时段	形态特征	工程危害等级
塑性收缩裂缝	浇筑后 0.5～6h（塑性阶段）	表面不规则细微裂缝，长短不一、深浅较浅，多呈网状分布	轻微，仅影响外观，无结构损伤
自收缩裂缝	浇筑后 1～7d（硬化早期）	裂缝平直、细密，多平行分布，深度可达构件中层	中度，降低结构密实度与耐久性
温度裂缝	浇筑后 3～14d（水化热释放期）	多为纵向、横向规则裂缝，大体积构件易出现贯穿性裂缝	重度，破坏结构整体性，影响承载安全
干燥收缩裂缝	浇筑 14d 后（后期养护阶段）	表面宽窄不均裂缝，随环境干湿变化持续扩展	中度，诱发后期耐久性病害

表 2　高性能混凝土抗裂型配合比核心参数控制标准

配合比参数	控制范围	工程控裂作用
水胶比	0.30～0.38	兼顾强度与自收缩控制，过低会加剧自干燥收缩
胶凝材料总用量	380～450kg/m³	严控过高用量，降低水化热与收缩变形
粉煤灰+矿粉复配掺量	20%～35%（胶凝材料占比）	降低水化热，改善混凝土和易性，减小收缩
砂率	32%～36%	优化骨料级配，减少浆体占比，降低收缩量
聚羧酸减水剂掺量	1.8%～2.5%	提升流动性，减少拌合水，延缓水化放热

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

同时结合现场工程实际工况，针对性添加新型抗裂材料，做到主动防控开裂。大体积、厚板构件适当掺入膨胀抗裂剂，借助水化产生的膨胀作用，抵消混凝土硬化时发生的收缩变形；薄壁以及外露构件少量掺加 PVA 纤维或者钢纤维，依靠纤维约束混凝土微小变形，提高混凝土整体抗裂能力。部分工况使用预吸水 SAP 内养护技术，依靠材料内部持续释放水分补水，改善低水胶比混凝土自身失水收缩的问题。

2.3 施工全过程精细化管控（过程控裂）

浇筑施工时，严格控制浇筑速度和浇筑厚度，采用分层、分段连续浇筑的方式，单层浇筑厚度保持在 300～500mm。同时严控施工温度，保证混凝土入模温度稳定在 15～28℃；高温天气避开正午高温时段施工，低温天气提前对原材料进行预热处理。振捣间距保持均匀，坚决杜绝漏振、过振情况。振捣至混凝土表面出浆、无气泡冒出即可，防止振捣不到位造成结构疏松开裂，或是振捣过度导致表层砂浆过厚、后期收缩开裂。抹面采用二次抹面工艺，混凝土初凝前做粗抹处理，消除表面泌水和气泡；终凝前进行压光处理，闭合表面细微裂缝。遇到大风、干燥天气，施工完成后要立刻覆盖保湿，防止快速失水开裂。施工接缝处理时，把接缝位置彻底凿毛、充分洒水湿润，铺设专用结合层，避免接缝处应力集中，产生贯穿性裂缝。大体积混凝土采用分层浇筑、分层散热的施工方式，提前布置测温管道，将混凝土内外温差控制在 25℃以内，有效防范温度应力引发的开裂问题。

2.4 标准化养护管控（后期控裂）

后期养护是高性能混凝土防裂的关键，混凝土浇筑完成后，需在 6～12h 内，用土工布加塑料薄膜双层覆盖保湿，防止水分快速蒸发。常温环境下，持续洒水养护时长不得少于 14 天，通过延长养护周期，抵消混凝土后期干燥收缩带来的开裂风险。高温干燥环境要增加洒水次数，持续保湿；低温环境重点做好保温防护，同时兼顾防裂、防冻害。施工全过程中，严禁提前拆模、提前堆载施压，必须根据同条件养护试块的强度数据，确定合规的拆模时间。

3 工程应用实例及效果分析

3.1 大体积基础高性能混凝土工程应用

某大型公共建筑底板采用 2.2 米厚 C60 高性能大体积混凝土，因水化热过高，产生贯穿性温度裂缝。该工程前期采用传统施工方案，拆模后底板出现大量细密收缩裂缝，整体开裂面积率达到 8.2%。为解决裂缝问题，选用低水化热水泥，用 25%粉煤灰与矿粉复合掺合料替换部分水泥，同时掺入 2.0%聚羧酸减水剂和膨胀抗裂剂；控制水胶比为 0.35、胶凝材料总用量 420kg/m³ 、砂率 34%；采用分层浇筑、分层振捣的施工工艺，全程做好温度监测，严格把控混凝土入模温度在 22～26℃，施工完成后采用双层覆盖保湿养护，养护时长不少于 14 天。优化施工后混凝土水化热峰值降低 22%，底板混凝土内外最大温差控制在 22℃以内；整体开裂面积率降至 0.8%，彻底消除深层裂缝和贯穿性裂缝。同时，混凝土密实度、抗压强度、抗渗性能均优于设计标准，裂缝防控效果理想。见表 3。

3.2 薄壁箱梁高性能混凝土工程应用

某大型交通工程的薄壁箱梁壁厚只有 18cm，使用 C55 高性能混凝土。构件表面积大，水分挥发快，容易出现收缩裂缝。项目对混凝土配合比做了调整，掺入 0.1%的 PVA 纤维，水胶比设成 0.33、砂率取 33%，抑制细小裂缝继续往外发展。施工的时候坚持做二次抹面；刮大风就采取挡风保湿措施；浇筑完马上盖膜再加土工布保湿养护。完工之后构件没有出现收缩裂缝，对比老工艺裂缝减少 95%以上，全部指标都达到设计高标准。

3.3 高层框架结构高性能混凝土工程应用

某超高层框架结构使用 C50 高性能混凝土。针对大面积浇筑、通风大容易开裂的情况，调整矿物掺合料配比，减小水化带来的收缩；振捣、抹面工序按标准执行；养护时间拉长到 14 天，严格控制内外温差和失水变形。完工后的梁柱肉眼看不到裂缝，混凝土内部密实均匀，结构稳定，解决了裂缝问题。

表 3　大体积混凝土工程技术优化前后效果对比

检测指标	传统施工工艺	优化后控裂工艺	优化效果
水化热峰值（℃）	78.5	61.2	降低 22%
最大内外温差（℃）	33.6	21.8	满足规范≤25℃要求
表面开裂面积率（%）	8.2	0.8	大幅降低表面裂缝
28d 抗压强度（MPa）	62.3	65.8	强度稳定性提升

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4 工程常见问题及优化改进措施

4.1 高温施工早期失水开裂问题及改进方案

夏季高温、大风天气是混凝土开裂的高发时段。此时混凝土表层水分蒸发速度极快，远远超过内部水分渗出的速度，容易导致混凝土表面出现塑性收缩裂缝，是夏季施工最主要的质量通病。现场落地整改措施：一是优化施工时间，上午 11 点至下午 4 点的极端高温时段不开展混凝土浇筑作业；二是提前做好原材料降温，对砂石骨料全部搭设遮阳设施，同时采用冷水搅拌混凝土；三是压缩浇筑后裸露时间，混凝土浇筑、收面完成后，30min 内必须完成覆膜保湿覆盖，杜绝失水开裂。

4.2 低温施工温度裂缝问题及改进方案

低温环境下，混凝土内部水化反应速度变慢，构件内部和外部温差大、降温速度不均匀，会产生持续的温度应力，进而造成不可逆的温度裂缝。

现场落地整改措施：一是做好原材料保温防冻，防止砂石骨料结冰、拌合水温过低；二是根据现场低温环境，精准调整防冻、缓凝外加剂的掺量，适配低温施工条件；三是强化浇筑后保温养护，加厚棉被、土工布等保温覆盖材料，实时监测构件内外温差，严格把控温差限值。

4.3 现场养护不规范、不到位问题及改进方案

人工洒水养护是现场传统养护方式，普遍存在洒水不均匀、养护时间不够、养护断断续续等问题，导致混凝土保湿养护不达标，抗裂性能大幅下降。现场落地整改措施：全面替换传统人工洒水模式，推广全自动喷淋养护设备，实现全天候、全覆盖、均匀保湿养护；对施工区域进行细化分区，划分专属养护责任片区，安排专人定岗负责、责任到人；严格执行 14 天标准养护周期，全程记录现场温湿度、养护作业情况，留存施工台账。

4.4 混凝土配合比适配性不足问题及改进方案

固定不变的混凝土配合比，无法适配施工现场温湿度变化、原材料批次波动等复杂工况，容易造成混凝土和易性变差、抗裂性能不稳定，最终引发开裂问题。

现场落地整改措施：根据现场天气冷暖、干湿变化，以及每批次原材料的性能差异，实时微调砂率、外加剂掺量，稳定混凝土施工性能和抗裂性能。

5 结论

研究表明高性能混凝土裂缝大多是早期的非结构性收缩裂缝和温度裂缝，主要源于配合比、施工及养护问题，人为管控起决定性作用。建立“源头材料优选+配合比抗裂优化+施工全程管控+标准化养护”成套控裂体系，可抑制水化热与收缩变形。工程验证显示该体系能降低开裂率，同时保证混凝土的强度和耐久性能。

[参考文献]

[1]瞿克.房建工程混凝土施工缝裂缝控制技术优化[J].建材发展导向,2026,24(18):70-72.

[2]俞晓东.混凝土裂缝控制技术在建筑施工中的优化研究[J].中国新技术新产品,2026(18):121-123.

[3]赵发宝.复杂环境条件下混凝土裂缝控制技术的应用[J].中国水泥,2026(9):115-118.

[4]肖江波.建筑工程混凝土裂缝控制技术的研究与实践[J].现代工程科技,2025,4(8):121-124.

作者简介：单光帅（1985—），男，汉族，山东新泰人，中级工程师，本科，毕业于东北大学公司管理专业，研究方向为建筑工程、混凝土，项目工程经理。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.