桥梁工程施工中混凝土裂缝产生原因及控制措施

何科滨

中铁十局集团第八工程有限公司　天津　300450

摘　要：混凝土裂缝是桥梁工程施工阶段最常见的结构性缺陷，会直接影响桥梁结构整体性、耐久性与受力稳定性。本文从材料特性、施工工艺、环境因素及结构设计多维度，系统剖析桥梁混凝土裂缝的核心成因，结合桥梁施工工况特点，针对性提出精细化、全过程的裂缝防控技术措施，为提升桥梁混凝土施工质量、降低裂缝病害发生率提供专业技术参考。

关键词：桥梁工程；混凝土；裂缝成因；施工工艺；质量控制

引言：混凝土具备成本合理、性能稳定、成型灵活的特点，是现阶段桥梁建设的主要用材；材料自身的收缩、温度变化特性，搭配施工管控疏漏、外界环境影响，容易滋生各类结构裂缝。裂缝会损坏桥梁外观，也会诱发钢筋锈蚀、承载力降低等问题，会缩短桥梁使用周期，因此，梳理裂缝成因、落实全程防控，是桥梁质量管控的重点内容。

1 桥梁混凝土裂缝的危害

混凝土裂缝对桥梁工程的危害具备渐进性、隐蔽性和持续性特征，细微裂缝初期不会直接影响桥梁通行功能，但随着服役时间延长，裂缝会持续扩张、延伸，逐步破坏结构整体受力体系。从结构性能来看，裂缝会割裂混凝土整体性，改变构件原有受力传递路径，导致局部应力集中，降低桥梁梁板、墩柱等核心构件的承载能力与刚度，削弱结构抗变形性能。从耐久性角度分析，裂缝会成为水汽、盐分、腐蚀性介质的渗透通道，引发内部钢筋氧化锈蚀，钢筋锈蚀膨胀会进一步加剧裂缝开展，形成恶性循环，加速结构老化破损。同时，裂缝会降低混凝土抗渗、抗冻、抗碳化性能，在温差变化、干湿交替的工况下，结构损伤持续累积，不仅大幅缩减桥梁正常服役周期，还会埋下结构性安全隐患，提升后期运维修缮成本，严重时会影响桥梁通行安全性与稳定性[1]。

2 桥梁工程混凝土裂缝核心产生原因

2.1 材料自身性能缺陷

混凝土是多组分复合建材，原材料品质不达标、配比设计不合理，是裂缝产生的内在根源。水泥作为核心胶凝材料，若选用水化热过高的普通硅酸盐水泥，大体积混凝土构件水化过程中会释放大量热量，形成显著内外温差，引发温度应力裂缝。骨料含泥量、粒径级配不达标，杂质会削弱骨料与水泥浆的粘结强度，降低混凝土密实度，成型后易出现收缩裂缝。同时，砂石骨料含粉量过高、外加剂掺量失衡，会改变混凝土凝结硬化速度，造成局部收缩不均匀，诱发表面裂缝。此外，混凝土配合比设计缺乏针对性，水胶比过大、砂率不合理，会大幅提升混凝土硬化过程中的干缩变形量，是表层细微裂缝频发的主要诱因。

2.2 施工工艺管控偏差

施工工艺的不规范操作是裂缝产生的人为核心因素，全过程施工管控疏漏都会引发结构性缺陷。混凝土搅拌阶段，搅拌时长不足、原材料投料顺序混乱，会造成混合料拌合不均匀，构件内部强度分布不均，硬化后产生应力差引发裂缝。运输与浇筑阶段，混凝土运输过程离析、浇筑速度过快、分层浇筑厚度超标，会导致混凝土振捣不密实，内部留存空隙、气泡，成型后结构整体性不足，受力后易产生裂缝。振捣作业中，过振会造成骨料下沉、水泥浆上浮，形成表层砂浆过厚的薄弱层，引发干缩裂缝；漏振则会导致局部密实度不足，形成结构性疏松裂缝。同时，拆模时间把控不当、拆模力度不均，会造成构件表层受力突变，产生外力型裂缝[2]。

2.3 外部环境因素干扰

桥梁工程多为露天施工，温湿度、风力等自然环境条件直接影响混凝土硬化成型质量。混凝土初凝至终凝阶段，环境温度骤升骤降会引发构件内外温差，产生温度应力，超出混凝土抗拉强度时便会形成温度裂缝。高温大风天气下，混凝土表层水分蒸发速度远大于内部水分迁移速度，表层快速收缩固化，内部持续收缩变形，

内外变形不协调诱发干缩裂缝。低温环境中，混凝土内部游离水分结冰膨胀，破坏内部结构粘结体系，形成冻胀裂缝。此外，空气湿度长期偏低、昼夜温差过大等持续环境影响，会不断加剧混凝土变形差异，推动细微裂缝持续扩展延伸。

2.4 结构设计与受力因素影响

结构设计的合理性直接决定构件受力状态，设计缺陷会造成应力集中，诱发结构性裂缝。桥梁梁板、墩柱、承台等构件尺寸设计不合理，局部截面突变会导致受力传递不顺畅，荷载作用下产生局部应力集中，超出混凝土抗拉极限后产生裂缝。钢筋布置间距、数量、位置设计不合理，钢筋保护层厚度把控不当，会削弱构件局部抗裂性能，无法有效约束混凝土收缩变形。同时，大体积混凝土构件、超长连续结构未设置合理变形缝、伸缩缝，混凝土硬化收缩与温度变形无释放空间，变形应力累积后必然引发规律性结构裂缝。

3 桥梁工程混凝土裂缝精细化控制措施

3.1 严格把控原材料质量，优化材料性能

混凝土的抗裂基础由原材料质量直接决定，桥梁工程施工过程中，需要建立原材料进场抽检与分类管控的标准化机制，以此从源头规避材料缺陷造成的混凝土裂缝问题。水泥品种需要结合桥梁构件尺寸、施工季节及现场环境条件进行合理选择，大体积墩柱、承台等构件的施工，可优先选用低水化热类型的水泥，这类水泥能够有效减少水化热的释放总量，缓解构件内外的温差应力，以此预防温度裂缝的产生。施工过程中需要严格管控粗细骨料的整体品质，碎石粗骨料需满足质地坚硬、级配连续、含泥量较小的标准，同时严控针片状颗粒占比，保障骨料骨架的整体支撑稳定性；中粗砂为细骨料的首选材料，施工中禁止使用细砂与粉砂，严格把控砂石材料的含泥量和含粉量，避免杂质降低混凝土的粘结性能。外加剂与矿物掺合料需要结合现场施工工况确定型号与掺量，可根据环境温度、混凝土浇筑速度调整减水剂、缓凝剂的使用比例，以此改善混凝土和易性、保水性，降低整体水胶比，缓解混凝土硬化阶段的收缩变形。粉煤灰、矿粉等活性掺合料可适量掺入混凝土中，替代部分水泥材料，能够有效降低水泥水化热，改良混凝土内部孔隙结构，提升结构密实度与抗变形能力，所有进场原材料均需完成前期性能检测，不合格材料禁止投入施工使用[3]。

3.2 优化混凝土配合比设计，适配施工工况

混凝土抗裂性能的提升，离不开科学合理的配合比设计，桥梁工程施工需摒弃固定化的配比参数，结合现场施工环境、构件类型及施工工艺，对混凝土配合比进行动态优化调整。配合比优化的主要目标，是减小混凝土硬化后的收缩变形，降低水泥水化热，同时提升混凝土的抗拉强度与整体密实度。施工设计阶段需要严格控制水胶比，在保障混凝土施工和易性达标的基础上，尽可能减少拌合用水量，弱化混凝土内部游离水分蒸发带来的干缩变形问题。砂率参数需要进行合理调控，砂率过高会造成构件表层砂浆过厚，增大收缩变形量，砂率过低则会影响混凝土和易性，导致振捣不密实等质量缺陷。针对大体积混凝土构件，配合比设计需要重点控制水化热指标，可通过活性掺合料替代部分水泥的方式，降低水化热峰值，放缓水化热释放速度，避免构件内外出现过大温差。露天环境、干湿交替工况下的桥梁构件，需要通过配比优化提升混凝土的抗渗、抗冻能力，减少环境侵蚀引发的结构损伤与裂缝扩展。正式施工前需开展混凝土试配试验，检测坍落度、凝结时间、收缩率、强度增长规律等关键指标，根据试验结果微调配比参数，确定适配现场工况的最优施工配合比。

3.3 规范精细化施工工艺，规避人为施工缺陷

标准化、精细化的施工工艺管控，是减少混凝土裂缝产生的关键环节，桥梁工程需针对混凝土搅拌、运输、浇筑、振捣、拆模的全施工流程，建立完整的标准化作业规范，降低施工工艺偏差引发的裂缝隐患。混凝土搅拌阶段，需要按照最优配合比参数精准计量各类原材料，合理控制投料顺序与整体搅拌时长，保障拌合混合料均匀一致、性能稳定，避免拌合不均匀造成的混凝土强度不均、变形差异等问题。混凝土运输阶段，需要采用密闭式运输设备，合理控制运输时长与行驶速度，全程做好防晒、防雨、保温防护工作，有效防止混凝土出现离析、泌水问题，存在轻微离析的混凝土，需经过二次均匀搅拌后，方可投入浇筑作业。混凝土浇筑作业需要遵循分层、分段、对称、连续的施工原则，严控分层浇筑厚度与浇筑速率，禁止厚层一次性浇筑、快速浇筑等违规操作，避免构件内部热量堆积、振捣不密实等缺陷。振捣作业需采用定点、循序渐进的施工方式，合理控制振捣深度与振捣时长，做到不漏振、不过振，保证混凝土内部填充密实，彻底消除内部气泡与空隙，同时规避过振导致的骨料下沉、砂浆上浮问题。梁板、支座、墩柱等关键构件的节点部位，需要重点把控振捣质量，消除局部结构薄弱区域；浇筑完成后需及时开展表面收面作业，通过二次压面工艺闭合表层初期细微裂缝，提升构件表层密实度。拆模时间需要根据混凝土实

际强度发展情况确定，杜绝过早拆模引发的构件变形、表层开裂问题，拆模操作需平稳均匀，防止外力撞击、拉扯构件产生机械裂缝，施工全程需精准固定钢筋位置，严控保护层厚度，保障钢筋与混凝土协同受力[4]。

3.4 适配环境条件，落实全过程养护管控

养护作业是混凝土成型后期抗裂管控的核心工序，养护质量直接影响混凝土强度增长效果与收缩变形状态，桥梁施工需要结合现场环境温湿度条件，制定差异化的养护方案，实现混凝土全周期精准养护管控。混凝土浇筑收面作业完成后，需要及时铺设保湿防护材料，防止构件表层水分快速蒸发，初凝至终凝的养护初期，需要重点维持表层湿度稳定，从源头抑制干缩裂缝的产生。常规常温施工环境中，可采用土工布、防水薄膜对构件进行全覆盖保湿养护，持续保持混凝土表层湿润，适当延长养护周期，保障混凝土强度稳步增长，减缓结构收缩变形的速度。高温、大风天气施工时，需要增设遮阳、挡风防护设施，降低表层水分蒸发速率，适当增加洒水养护频次，严格控制构件内外温差，避免温差应力与干缩应力叠加引发裂缝病害。低温施工环境中，需要停止常规洒水养护，更换保温棉被、保温膜进行全覆盖保温养护，防止混凝土受冻胀开裂，同时稳定养护环境温度，规避温度骤变产生的应力裂缝。大体积混凝土构件需要增设专项测温管控，实时监测构件内外温度变化，通过内部降温、外部保温的组合方式，将构件内外温差控制在规范允许范围，养护作业需要保持全程连续，杜绝养护中断、干湿交替的情况，保障混凝土硬化过程稳定有序，最大限度降低结构收缩变形与裂缝发生概率。

3.5 优化结构设计，改善构件受力状态

桥梁结构的精细化设计调整，是根除混凝土结构性裂缝的重要手段，桥梁工程的设计阶段，可依据结构受力特点与构件变形规律，开展针对性的优化设计作业。构件截面样式可做合理改良，能够有效改善截面突变、局部应力集中的病害问题，能够让梁板、墩柱、承台等主要构件的受力传导更为均衡，能够有效规避局部应力堆积而产生的结构裂缝。钢筋排布的相关参数可结合构件实际受力情况进行调整，能够精准确定钢筋间距、配筋比例以及保护层厚度，成型的钢筋骨架可对混凝土温度、收缩形变形成约束，能够增强构件整体的抗拉和抗裂能力，能够有效抑制细微裂缝的持续扩张。大体积、超长连贯的混凝土桥梁结构，可通过布设伸缩缝、变形缝、后浇带的方式，为结构形变预留释放空间，能够避免应力堆积形成规律性裂缝；荷载传递路径的优化，可减轻集中荷载对构件的拉扯与挤压，能够提升结构整体稳定性，针对性强化节点、边角等薄弱部位的配筋设计，可有效提升结构抗裂储备，从设计源头降低结构性裂缝的发生几率[5]。

结束语：桥梁工程混凝土裂缝的产生是材料、施工、环境与设计多因素协同作用的结果，裂缝防控核心在于全过程、精细化的系统管控。本文系统梳理各类裂缝形成机理，针对性提出材料、配比、施工、养护、设计多维度防控措施。唯有摒弃单一管控模式，落实源头优化、过程严控、后期养护的全流程管控体系，才能有效降低裂缝发生率，保障桥梁混凝土结构质量与服役稳定性，为桥梁工程长效安全运行筑牢基础。

参考文献

[1] 章凡荣, 王海钰, 傅攀峰. 桥梁工程施工中混凝土裂缝产生原因及控制措施 [J]. 中国水泥,2026,(3):125-127.

[2] 俞晓东, 张旭, 曹正. 探析水利施工中混凝土裂缝产生的原因及防治措施 [J]. 价值工程,2026,45(9):15-18.

[3] 陈鹏. 道路桥梁施工中大体积混凝土裂缝控制措施优化探究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术,2026,(4):017-020.

[4] 高小帅. 水利施工中混凝土裂缝的产生原因及防治措施分析 [J]. 安家,2026,(5):0079-0081.

[5] 郭柱. 建筑工程施工中混凝土浇筑工艺及裂缝控制的措施研究 [J]. 中国地名,2026,(1):0205-0207.