# 大体积混凝土施工裂缝成因与防控技术实践分析

王政林

甘肃第六建设集团股份有限公司　甘肃　兰州　730000

**摘　要：**大体积混凝土裂缝常由水化热温差、收缩变形、原材料波动、施工偏差与约束作用触发。内部温升与表层散热失衡产生拉应力，收缩受限后薄弱部位易开裂。防控需优选低热胶凝材料与连续级配骨料，精细设计配合比，配合分层浇筑、动态温控、保温保湿、二次抹压，并用合理配筋、后浇带和滑动层减弱约束。参数标准化、全过程核查与技术复盘可提升抗裂稳定性与耐久性。

**关键词：**大体积混凝土；裂缝成因；温度应力；施工控制；抗裂技术

**引言：**大体积混凝土浇筑后水化放热集中，内部与表层冷却速度不一致，温度应力与收缩应力叠加，结构薄弱处常出现裂缝。原材料性能、配合比、施工节奏、振捣质量及边界约束均会改变应力分布。裂缝扩展会削弱耐久性与服役安全。围绕成因识别，将温控、材料优选、工艺细化和构造补强纳入同一链条，并借助参数校核与过程核查稳定抗裂效果，成为施工质量提升的重要路径。

## 1 大体积混凝土施工裂缝成因分析

### 1.1 温度应力作用成因

大体积混凝土内部水泥水化热积聚，导致内外温差显著（内部最高温度可达 60℃-65℃），当温差超过安全限值时产生拉应力，一旦超过混凝土抗拉强度即形成裂缝。混凝土浇筑后水泥水化反应会持续释放热量，导致结构内部温度显著升高，而结构表面直接与外界接触热量散失较快，从而在构件内部与表层之间形成较为明显的温度梯度。这个温度梯度使内部膨胀受到表层约束，进而产生压应力与拉应力的复杂分布。进入降温阶段时，内部热量逐渐向外传递，结构整体趋于冷却收缩，但内外降温速率不一致使得应力状态发生反转，此时表层拉应力迅速增大。构件厚度越大，内部热量散发路径越长，温差梯度往往更为突出，结构形制中的拐角或断面突变部位则容易成为应力集中区域。当这种拉应力累积超过混凝土自身的极限抗拉强度时，裂缝便在薄弱部位萌生并扩展。

### 1.2 收缩变形作用成因

混凝土中约水分在硬化过程中蒸发，引起体积收缩；若收缩受到外部约束（如地基、模板）或内部约束（各质点间约束），将产生收缩应力导致开裂。塑性收缩出现在浇筑后初期，此时混凝土尚未建立足够强度，表面水分蒸发速率高于内部水分析出速率，导致表层出现体积缩减。干燥收缩伴随整个养护和使用阶段，取决于环境湿度变化和混凝土内部孔隙水的迁移，湿度越低则收缩越明显。自生收缩则源于水泥水化过程中内部孔隙液消耗引起的毛细管压力下降，与外部湿交换无关。原材料配比直接影响收缩量值，水胶比偏大或胶凝材料用量过高都会加剧收缩程度，结构密实度较差时收缩离散性增大，养护环境温湿度的波动也会改变收缩发展速率。结构受到内部钢筋或外部相邻构件的约束时，自由收缩无法充分实现，约束部位产生拉伸附加应力，当这种应力累积超出混凝土承受能力时收缩裂缝即会出现。

### 1.3 原材料性能缺陷成因

胶凝材料的矿物组成与细度直接影响水化反应速率和放热特征，若其水化热过高则加剧早期温升幅度，增大温度裂缝风险。水泥品种、矿物掺合料种类、水胶比、骨料级配等直接影响水化热释放速率和收缩性能。骨料的颗粒级配不合理会使骨架堆积密度下降，形成较多的空隙率，削弱混凝土的整体密实性和体积稳定性，同时骨料含泥量超标会吸附大量拌合水和外加剂，干扰水泥浆与骨料之间的粘结界面，降低界面过渡区的抗拉强度。外加剂与胶凝材料之间适配性差时，减水效果无法充分发挥或引入过多气泡，影响混凝土工作性和均匀性[1]。拌合水中杂质含量偏高也可能延缓水泥水化进程或产生有害膨胀产物。

### 1.4 施工工艺不当成因

浇筑温度控制、分层浇筑、养护条件等对裂缝防控至关重要。混凝土拌合阶段若投料顺序不当或拌合时间不足，会造成各组分分散不均匀，浆体均质性变

差，直接影响硬化后的整体性。运输过程中因路途颠簸或等待时间过长导致混凝土离析分层，粗骨料下沉而浆体上浮，浇筑后难以形成均匀受力断面。浇筑速度偏快时，下层混凝土尚未完成初步沉缩上层便已覆盖，沉缩变形叠加形成内部薄弱带。振捣操作不均衡时，过振引起骨料下沉和浆体上浮，欠振则使气泡无法排除形成孔洞缺陷。拆模时机过早时混凝土尚未具备足够强度来抵抗温度变化和收缩引起的自平衡应力，表面容易产生微裂纹。施工间歇时间控制不当会形成冷接缝，前后浇筑层之间粘结强度不足，在后续应力作用下沿接缝部位开裂。

1.5 结构约束与变形成因

混凝土结构内部约束主要来源于配置的钢筋骨架，钢筋与混凝土之间的粘结作用限制了混凝土自由变形，当温度或收缩引起体积变化时，钢筋周围产生拉应力集中区域。外部约束则来自相邻构件、基础或边界条件，例如底板与地基之间的摩擦或嵌固作用会限制结构的整体位移。外部约束（基础、模板）和内部约束共同作用，限制混凝土自由变形，加剧应力集中。约束条件下混凝土的自由变形受到阻碍，体积变化无法完全释放，由此在约束端或约束面附近产生附加应力场。配筋布局方式决定了约束分布特征，钢筋直径偏大或间距过密均会增强约束程度，构件之间的连接形式如刚性节点比柔性节点传递更大的约束力矩。基础约束状态较强时结构底部变形受限，而上部自由变形相对充分，上下变形差导致附加弯曲应力，促使裂缝从约束端向自由端扩展延伸。

## 2 大体积混凝土施工裂缝防控技术

2.1 原材料优化适配技术

大体积混凝土裂缝防治的根本，须从原材料筛选与性能调控起步。胶凝材料选用低水化热水泥（矿渣水泥、粉煤灰水泥）；复配矿物掺合料（粉煤灰）通过调整水泥矿物组成压低早期放热速率，进而削减绝热温升峰值。某工程采用低热水泥浇筑大体积混凝土，该材料水化热低且需水量少，温度应力造成的开裂问题得到有效控制。骨料方面，强调级配连续性和合理搭配，借助粗细骨料比例优化实现堆积密度最大化，同时降低浆体用量，干缩变形随之减小。骨料含泥量和有害杂质必须严格把关，否则界面粘结强度会明显下降。外加剂选择需与胶凝材料做适配性检验，保证减水率和凝结时间符合现场施工要求。矿物掺合料复配可替代部分水泥，减少总水化热量。针对桥梁大体积承台开展的双掺试验显示，粉煤灰与矿渣粉各掺 15%时，胶凝材料水化热降到最低，抗开裂性能和抗碳化能力均达到最优状态[2]。

2.2 配合比精细化设计技术

抗裂性能应当主导配合比设计，精细化调控是基本路线。水胶比选定，强度等级和温升控制两方面都要照顾。满足设计强度前提下，用水量尽量压低，干燥收缩的来源自然减少。砂率取值要兼顾粘聚性和流动性，砂率过高会加大收缩，过低则容易离析泌水。骨料用量优化，重点在于让粗骨料骨架作用充分发挥。粗骨料比例适当增加，浆骨比下降，水泥浆体积占比对收缩的不利影响随之减轻。某工程施工中，项目团队采用低胶凝材料和低水泥用量，配合适宜水胶比及抗裂功能材料，水化热峰值成功降低 20%以上。基于抗裂性能的设计，绝热温升、收缩变形、抗拉韧性三项指标必须统一权衡。

2.3 温度控制防控技术

大体积混凝土裂缝控制，温度管理是核心环节。智能温控系统；分层浇筑；动态温度监测，保温保湿养护入模温度必须预先设定范围，浇筑前对骨料、拌合水等采取降温或加热措施，保证拌合物入模时满足设计限值。内部温升过快的问题，靠分层分段浇筑解决，每一层厚度和间隔时间都要控制，层面散热可拉长放热周期，避免内部温度陡升。表面防护同样关键，模板外侧和暴露面覆盖保温材料，内外温差自然缩小，表面水分蒸发速度也降下来。丰满水电站重建工程把低热胶凝材料优化、循环水管主动降温、分布式光纤测温反馈三项措施整合到一起，温度场管控贯穿全周期，坝体核心温升峰值没超过 47℃[3]。

2.4 施工工艺优化防控技术

施工工艺抓得细，裂缝就能压得住。控制浇筑温度；二次抹压；即时水养护；避免失水。拌合阶段，投料顺序和搅拌时间必须严格把控，各组分才能分散均匀，浆体结构稳定下来。缩短运输周转时间，搅拌不能停，避免发生离析分层和流动性衰减问题。分层浇筑，每层厚度均匀可控，下层初凝前把上层覆盖住，冷缝就不会出现。振捣作业，快插慢拔，布点均匀，密实度各处一致。某超高层综合体大体积混凝土基础底板施工采用跳仓法，配合胶凝材料优化，绝热温降最终降到 48.3℃，温度峰值推迟到 66 至 68 小时才出现，裂缝发生率压到每 100 平方米 0.2 条[4]。浇筑节奏要安排合理，间歇时间不能随意。拆模时机看现场实测强度，强度够了再拆，侧模约束解除太早，裂缝容易冒出来。表面二次压面这道工序别省，早期塑性收缩产生的微细纹路，一压就闭合了。

2.5 结构抗裂强化技术

结构设计里的抗裂措施，从根源上给裂缝防控搭起骨架。针对温度应力集中部位优化配筋，适度提高配筋率，大直径钢筋换成小直径密排，分散裂缝宽度。有限元计算表明，配筋率取 0.2%时温度应力降到最低点。在结构转角、断面突变处、孔洞周边，布置附加斜向钢筋或抗裂网片时，局部补强能阻断应力向裂缝转化的路径。狮子洋通道明挖隧道侧墙大体积混凝土施工，通过水平钢筋加密搭配抗裂剂，将最大裂缝宽度稳定在 0.15 毫米设计限值以内。在基础与上部结构之间设置滑动层或变形缓冲层，外部约束被弱化，混凝土自由变形受限程度减小。超长结构靠施工缝和后浇带合理布置，划分成若干独立区段，累积收缩变形一段一段释放掉。

**3 大体积混凝土施工质量提升与裂缝长效防控策略**

3.1 施工参数标准化管控

大体积混凝土裂缝防控的效果取决于施工过程中各类核心参数的稳定控制。明确原材料的品种规格与性能指标允许波动范围，对配合比中的水胶比、砂率及单位用水量等关键变量设定基准值与容许偏差上限。温控方面需明确入模温度、内外温差限值及降温速率，养护温湿度与养护时长也应纳入标准化清单。这些参数确立应严格执行，同时需建立动态校核机制，在施工进程中定时实测运行值并与标准值进行比对，发现偏差及时回调。通过参数标准化与实时校核双重约束，使每一施工环节都有明确的数据依据，避免因参数失控造成抗裂性能波动，夯实抗裂施工的技术基础。

3.2 施工全过程质量管控

构建覆盖施工全周期的质量管控体系是消除裂缝隐患的系统性保障。从原材料进场检验开始就要严把质量关口，每批次胶凝材料、骨料和外加剂均需进行性能复验，杜绝不合格材料进入拌合环节。现场施工阶段重点关注易产生裂缝的关键工序，例如浇筑分层厚度控制、振捣点布置均匀性以及施工间歇时间管理等环节均需安排专人核查，对结构转角、断面突变等薄弱部位强化监测[5]。养护阶段需保证保温保湿措施连续有效，避免养护中断或覆盖不严。全流程建立信息反馈渠道，实现工序质量数据的及时反馈，形成异常快速处置机制，消除各类潜在的致裂隐患。

3.3 抗裂技术迭代优化

抗裂技术体系依靠工程实践持续完善。项目完工后复盘原材料适配效果，配合比设计合理性，温控措施执行情况，结构优化构造实际表现，识别现存短板。针对外加剂组合适应性差，养护方案温控效果不达标的问题及时调整方案。配合比设计多纳入几个影响因子重新平衡，温控养护策略拿实测数据修正温降速率控制区间，结构优化措施按照裂缝监测结果调整配筋密度或构造形式。反复这么调，各项核心技术的参数取值和工艺方法一步步逼近最优值，裂缝防控精度随之提升。结构抗裂稳定性在长期使用中持续增强，大体积混凝土服役寿命和安全裕度都有了可靠保证。

**结束语：**裂缝防控贯穿材料、设计、施工与养护各环节。低热胶凝材料、连续级配骨料和适配外加剂降低放热与收缩基础；分层浇筑、实时测温、保温保湿和二次抹压控制温度梯度与失水；合理配筋、滑动层和后浇带缓解约束集中。施工参数标准化、关键工序专人核查以及完工后技术复盘，使措施随工程反馈持续修正。坚持过程数据与现场状态相互印证，可让抗裂性能稳定提升，保障大体积混凝土结构长期安全服役。

**参考文献**

[1] 张亚鹏. 大体积混凝土水利结构施工裂缝防控技术 [J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 B,2026,(6):037-040.

[2] 程险峰, 刘燕歌. 桥梁大体积承台用粉煤灰/矿渣粉双掺配比优化研究 [J]. 粘接,2025,52(9):61-64.

[3] 肖洪. 大体积混凝土施工中温控与裂缝控制一体化技术研究 [J]. 水泥杂志,2025,0(12):83-88.

[4] 郑满才. 基于跳仓法大体积混凝土施工及温控探析 [J]. 砖瓦,2025,(11):162-164.

[5] 张强, 张力. 大体积混凝土施工期温度及裂缝风险防控技术 [J]. 山西建筑,2026,52(16):90-93.