

装配式钢结构住宅工程质量缺陷致结构安全风险演化机理与全寿命管控体系

■ 中建科工集团有限公司华中大区 杨 杰

摘 要：为解决装配式钢结构住宅推广中暴露的质量缺陷与结构安全风险关联不清、管控制裂等问题，本文基于中建科工多个项目实践，识别了高强螺栓连接缺陷、焊缝缺陷、构件几何偏差、防腐防火涂装缺陷四类典型质量缺陷，揭示了其向安全风险演化的累积型、时变型、触发型三种路径及临界特征，构建了涵盖设计、生产运输、安装施工、运维四阶段的全寿命管控体系。工程应用表明，该体系使质量缺陷率下降35.7%，结构安全隐患减少50.2%。研究成果可为装配式钢结构住宅的质量安全集成管理提供参考。

关键词：装配式钢结构住宅；质量缺陷；结构安全风险；演化机理；全寿命周期管控

1 引言

装配式钢结构住宅因工业化程度高、抗震性能好、绿色环保等优势，已成为我国住宅产业化的重要方向。中建科工先后承建了湖北、江西、河南、四川、广东等地20余个装配式钢结构住宅项目，总建筑面积逾100万平方米。然而，随着工程规模扩大，质量缺陷问题逐渐暴露：高强螺栓预紧力离散

性大、焊缝内部缺陷超标、构件几何偏差超限、防腐防火涂装不达标等。这些缺陷若未及时发现与处置，将逐步演化为结构安全隐患，甚至引发节点失效、构件失稳或整体倒塌。

当前工程管理中，质量管理与质量监督分属不同部门，存在“质量管合规、安全管事故”的割裂现象，缺乏对“质量缺陷何时、以何种条件转化

4.2 管理创新价值提炼

（1）方法论创新：首次在大型会展EPC项目中系统构建并验证了“数据驱动、三域融合（设计-商务-施工）”的BIM全过程集成管理体系，提炼出“设计参数优化—四算动态对比—数模联动管控—数字竣工交付”四步法。

（2）工具与机制创新：开发了基于盈建科-Revit-广联达的数据互通插件流程，建立了“深化增量系数”“四算偏差预警阈值”等可量化管理指标，便于行业复制推广。

（3）交付模式创新：开创了“物理+数字”双交付模式，提升了工程产品全生命周期价值，顺应

了建筑业向数字化、智能化转型的国家战略方向

5 结语

江汉平原产业交流中心项目的实践表明：EPC模式下以BIM为统一数据底座的“设计-商务-施工”一体化智能建造管理体系，通过组织前置、标准统一、数据贯通、动态管控、价值延伸五大举措，能够有效破解设计、商务、施工之间的信息孤岛问题，实现设计主导下的价值工程最优、全过程成本可控与数字化资产交付。本研究成果可为同类型大型公建EPC项目提供可复制、可推广的管理范式，对推动建筑业数字化、智能化转型具有积极示范意义。

为安全隐患”的系统研究。本文立足中建科工一线实践,旨在揭示质量缺陷向安全风险演化的内在机制,并提出全寿命周期的系统化管控策略。

2 典型质量缺陷及其引发的结构安全风险

2.1 高强螺栓连接缺陷

根据中建科工对15个项目2142个节点的检查,主要缺陷包括:终拧扭矩不达标(预紧力偏差达 $\pm 30\%$,部分螺栓松弛)、螺栓孔错位与强行安装(导致螺杆受剪而非受拉)、垫圈漏放或倒置(降低摩擦连接的滑移荷载)。这些缺陷使节点转动刚度下降,在风荷载或小震下发生异常滑移,在设防地震下可能发生螺栓剪断,引发节点失效或连续倒塌。

2.2 焊缝质量缺陷

对13个项目5500余条焊缝的超声波检测显示:未焊透与未熔合削弱截面承载能力;内部缺陷(气孔、夹渣、微裂纹)在仰焊位置尤为密集;角焊缝焊脚尺寸不足(降低抗剪承载力)。焊缝缺陷导致节点塑性转动能力丧失,疲劳寿命显著降低,在罕遇地震下可能发生脆性断裂,使“强节点弱构件”设计原则失效。

2.3 构件几何尺寸偏差

常见偏差包括:钢柱弯曲矢高超限(达 $L/800\sim L/1000$,规范 $\leq L/1500$)、端部切割面垂直度偏差 $> 3\text{mm}$ 、安装垂直度与水平度偏差累积。几何偏差放大二阶效应($P-\Delta$ 效应),降低构件稳定承载力,安装偏差导致的强制组对会引入附加内力,使构件处于不利受力状态。

2.4 防腐防火涂装缺陷

主要问题:现场切割焊接部位未补涂底漆导致钢材裸露锈蚀;防火涂层厚度不足、空鼓、龟裂或脱落;低温高湿环境下强行施工。涂装缺陷具有滞后性,5~10年后钢材截面锈蚀减薄,防火涂层失效后耐火极限大幅降低。

3 质量缺陷向结构安全风险的演化机制

质量缺陷并不等同于结构安全隐患,两者之间存在一个渐变演化的过程。

3.1 三种演化路径

(1)累积型:多个同类型缺陷或不同缺陷耦合(如几何偏差+焊缝缺陷),使安全裕度逐步下降。

(2)时变型:缺陷随服役时间恶化(如螺栓预紧力松弛、钢材锈蚀),竣工时合格而后期风险显现。

(3)触发型:缺陷在偶遇荷载(地震、大风、火灾)作用下被瞬间激活,引发脆性破坏。

3.2 临界条件与分级管控

基于足尺试验与有限元分析,可量化临界条件,作为预警与干预的实操依据:螺栓预紧力损失率 $\geq 15\%$ 时节点进入滑移临界状态;钢柱垂直度偏差 $\geq H/300$ 时二阶效应使柱底弯矩增大 $12\%\sim 20\%$;焊缝内部缺陷当量 $\geq \phi 1.5\text{mm}$ 或线状缺陷长度 $> 10\text{mm}$ 时疲劳寿命降低 60% 以上。上述指标可进一步划分为预警阈值(临界值的 $60\%\sim 70\%$)、干预阈值(临界值)和极限阈值(临界值的 $1.2\sim 1.5$ 倍),实现分级管控。

3.3 安全裕度的侵蚀方式

结构安全裕度是指结构实际承载力与设计荷载效应的比值。质量缺陷通过四种途径侵蚀结构安全裕度:降低承载力(焊缝未焊透、螺栓预紧力不足)、增大荷载效应(几何偏差产生的附加内力)、削弱材料性能(锈蚀)、改变破坏模式(延性 $\rightarrow$ 脆性)。

4 全寿命周期管控体系

针对上述演化机制,中建科工构建了覆盖四个阶段的全寿命周期管控体系,核心逻辑为“源头预防—过程拦截—末端验证”。

4.1 设计阶段:源头管控

(1)可建造性审查(DFMA):避免过密螺栓群、受限空间仰焊等难以保证质量的构造。

(2)节点冗余设计:关键节点采用“螺栓+焊缝”双传力路径,增加安全冗余。

(3)明确容差匹配:防止“零公差”设计导致现场强行组对。

4.2 生产运输阶段:过程管控

(1)构件数字身份证(二维码/RFID):记录钢材炉批号、几何尺寸、焊缝检测、涂装数据,实现全过程追溯。

(2)出厂前“五方联检”:制造厂质检员、驻厂监造、项目部质量工程师、监理、业主代表共同验收,不合格构件严禁出厂。

(3) 运输方案专项论证：制定专用运输胎架方案、吊点位置有限元验算、途中每200km检查一次构件状态。

4.3 安装施工阶段：动态管控

(1) BIM虚拟预拼装：提前发现复杂节点的螺栓孔冲突与构件干涉。

(2) “四检制”质量验收：自检、互检、专检基础上增加安全复核检验（安全工程师按20%~30%比例抽检已验收节点）。

(3) 关键工序双旁站：质量员与安全员共同旁站高强度螺栓终拧、全熔透焊缝施焊、柱脚灌浆。

(4) 缺陷分级处置：一般缺陷（不影响安全）→限期整改；重要缺陷（可能影响安全）→暂停施工、专项方案；严重缺陷（已构成安全隐患）→返工并追溯同批次。

4.4 运维阶段：延续管控

(1) 数字化竣工交付：BIM运维模型集成全部检测数据、隐蔽影像、变更记录。

(2) 关键节点长期监测：在首层角柱、大跨度梁端、转换层等关键部位布设长期监测传感器，监测数据接入智慧运维平台。

(3) 定期安全评估：交付后第2、5、10年委托专业机构复查隐蔽节点与涂装的完好性。

5 工程实践效果

上述全寿命周期管控体系在中建科工武汉某装配式钢结构住宅项目（建筑面积10.2万m²，最高27层，用钢量约8000吨）全面应用。与同类型未实施该体系的项目对比，效果如下：

指标	对照项目	本项目	变化
构件进场一次合格率	88.2%	96.3%	↑ 8.1%
高强螺栓终拧一次达标率	84.3%	94.7%	↑ 10.4%

指标	对照项目	本项目	变化
焊缝一次返修率	10.8%	4.1%	↓ 6.7%
安装阶段安全预警次数（每万平方米）	2.7次	1.1次	↓ 59.3%
质量缺陷率	基准值	下降35.7%	—
结构安全隐患数量	基准值	下降50.2%	—

项目实施“四检制”与安全复核期间，共发现并处置12处质量合格但存在潜在安全风险的关键节点，避免了后期运营阶段的安全隐患累积。项目荣获“湖北省建筑结构优质工程”和“湖北省建筑工程安全文明施工现场”称号。

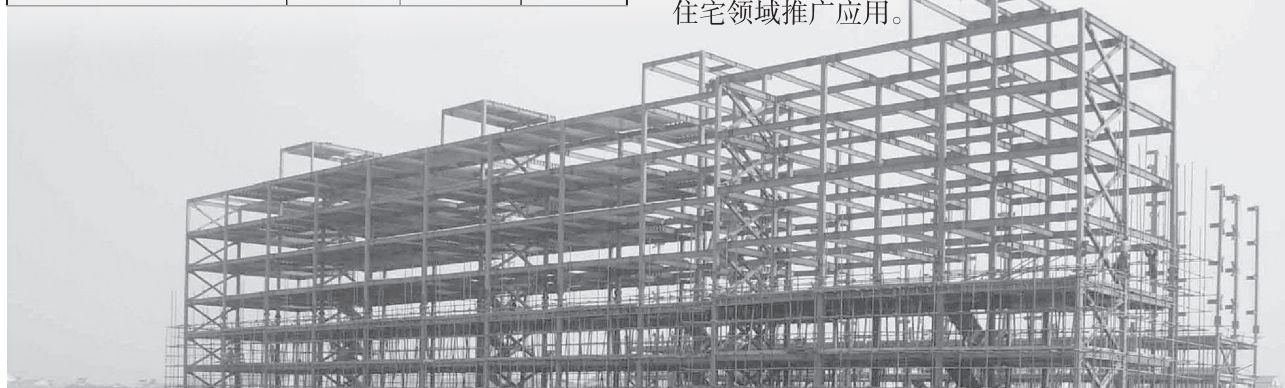
6 结论

(1) 装配式钢结构住宅工程中，连接节点缺陷、构件几何偏差、防腐防火涂装缺陷是引发结构安全风险的三大主要质量缺陷类型，分别通过降低承载力、增大初始缺陷、削弱耐久性等影响结构安全。

(2) 质量缺陷向安全风险的演化存在累积型、时变型、触发型三条路径，其本质是侵蚀结构安全裕度。量化临界条件（螺栓预紧力损失率 $\geq 15\%$ 、垂直度偏差 $\geq H/300$ 、焊缝缺陷当量 $\geq \phi 1.5\text{mm}$ ）可实现分级预警与干预。

(3) 全寿命周期管控体系涵盖设计（可建造性审查、冗余设计）、生产运输（五方联检、追溯）、安装（四检制、双旁站、分级处置）、运维（数字化交付、长期监测、定期评估）四阶段，形成“源头预防—过程拦截—末端验证”闭环。

(4) 工程实践表明，该管控体系能显著降低质量缺陷率与结构安全隐患发生率，质量缺陷率下降约36%，结构安全隐患减少逾50%，实现了从“被动整改”向“主动管控”的转变，可在装配式钢结构住宅领域推广应用。



边教边练边看！湖北住建系统开展“安全生产月”活动

■ 彭 慧

今年6月是第25个全国“安全生产月”，湖北省各级住建部门认真贯彻落实党中央、国务院关于安全生产的决策部署和湖北省委、省政府工作安排，围绕安全生产月“人人讲安全、个个会应急——排查整治风险隐患”主题，组织开展“安全生产月”系列活动，深入抓好安全生产工作。

武汉市

6月2日上午，武汉市住新系统2026年“安全生产月”活动启动仪式在通顺大道南延线项目现场举行。全体参会人员共同观看了“安全生产月”主题宣传片，进一步强化安全警示教育。随后，现场举办安全知识竞赛，参赛人员围绕安全生产法律法规、操作规程、应急处置等内容展开激烈比拼，在比学赶超中巩固安全知识。在溺水

应急救援演练环节，演练模拟施工人员不慎落水的突发情景，救援小组迅速响应，规范完成抛绳救援、下水施救、心肺复苏等操作，全面检验了应急预案的可行性和队伍的协同应急处置能力。活动最后，与会人员共同观摩通顺大道南延线项目施工现场，并就安全防护设施、智慧工地建设等经验做法进行交流。



宜昌市

6月4日，宜昌市住新系统2026年“安全生产月”启动仪式暨防坍塌事故应急演练在伍家岗区共同南路项目现场举行。演练模拟高边坡施工因违规堆载导致坍塌、一名测量员被掩埋的突发险情，治安警戒、技术监测、抢险救援等5支应急队伍迅速响应，全流程对标真实事故处置规范。同步举办“安全生产月”专题培



训，强调要严守安全红线，聚焦深基坑、高边坡等危大工程及汛期风险，强化科技赋能与全员安全意识，以高水平安全护航宜昌城建高质量发展。活动邀请路桥专家结合国内外20余起典型事故案例，围绕设计优化、施工管控、隐患排查等全周期安全管理要点，进行了专题安全辅导。



襄阳市

6月2日上午，襄阳市住新系统2026年“安全生产月”启动仪式暨省级安全文明施工现场观摩活动在联投滨江樾府项目举行。活动宣读了《2026年湖北省“安全生产月”活动实施方案》，明确了总体要求与重点任务。与会人员现场观摩了5G塔吊、智能施工升降机等智慧设



备，其远程操控与实时监控功能有效提升了施工安全水平；高精度传感器对基坑、建筑物、卸料平台及悬挑脚手架的变形沉降进行实时监测，实现异常自动报警。同时，项目采用自动启停智能造雾喷淋系统，并与围挡雾化装置联动，形成立体化降尘屏障，实现了扬尘的精细管控。



黄石市

6月10日，黄石市资建系统举办2026年“安全生产月”专题培训。培训紧扣“人人讲安全、个个会应急——排查整治风险隐患”主题，采取“三会合一”形式，将警示教育、工作部署、安全培训一体贯通。会上，全体人员集中观看警示教育片，强化底线思维。结合治本攻坚三年行动及“利剑行动”，明确提出安

全生产“七个必须”要求，部署危大工程、起重机械、极端天气防范及扬尘治理“红黄绿”挂牌管理等重点工作。围绕有限空间作业、重大事故隐患判定标准（2024版）及危大工程现场管控等监管要点开展专题辅导，着力提升参训人员的风险识别与现场管控能力。



十堰市

6月8日上午，十堰市住新系统2026年“安全生产月”启动仪式暨安全质量观摩与应急演练活动在紫霄大道连接线工程现场举行。启动仪式上，针对第三方施工破坏燃气管道的典型风险，开展了实景演练。演练采取错误演示、规范处置、事故复盘、以案教学相结合的方式，助力一线人员的识险、避险、抢险能力提

升。与会人员实地观摩了紫霄大道连接线工程项目现场，重点了解智能喷淋降尘、AI视频巡检、数字化管控平台等安全标准化与智能建造领域建设成果，以及“安全啄木鸟”小程序、岗位安全生产明白卡、安全体验馆和标准化施工作业流程等内容，并与现场讲解人员进行了深入交流。



荆州市

6月5日上午，荆州市资建系统2026年“安全生产月”暨扬尘治理观摩会在荆州经开区老机场片区保障房项目现场举行。活动聚焦实战演练与科技展示，有力推动全市建筑业向安全、绿色、智能方向加速转型。现场首先开展模拟脚手架坍塌应急救援演练：警报响起后，



救援、医疗、警戒等小组迅速响应，科学高效完成人员解救与现场管控，充分检验了应急预案的实战效能。在智慧工地展示区，AI视频监控、5G塔吊、建筑机器人等前沿技术成为焦点，展现了建筑业智能化发展的新成果。



荆门市

6月11日上午，荆门资建系统2026年全市建设系统“安全生产月”启动仪式暨质量安全观摩活动在创鸿·翠光屿项目现场举行。活动紧扣“人人讲安全、个个会应急——排查整治风险隐患”主题，聚焦建筑行业安全重点领域和薄弱环节，统筹推进宣传教育、隐患整治、现场观摩等系列工作，切实压实安全生产责



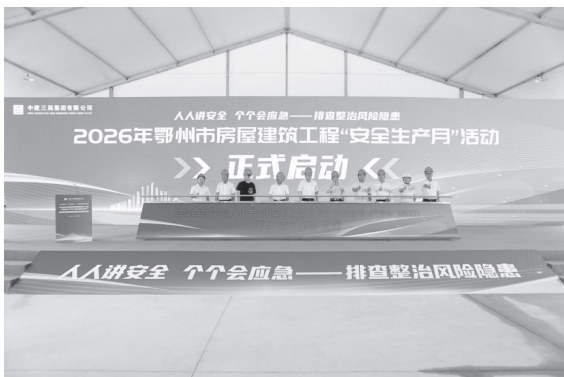
任，筑牢城乡建设安全根基。启动仪式上，全体参会人员集中观看了安全生产警示教育片，并围绕主体责任落实、现场风险管控、标准化施工等内容进行了经验交流。仪式结束后，与会人员实地观摩了工程质量安全标准化建设、文明施工精细化管控以及高品质住宅建造等工作成效。



鄂州市

6月3日，鄂州市资建系统2026年“安全生产月”活动启动仪式在璟华府项目现场举行。活动紧扣“人人讲安全、个个会应急——排查整治风险隐患”主题，集中展示了5G智能塔吊、巡检机器人、无人机自动巡检、AI隐患识别系统、智能无人施工电梯等“黑科技”，打

造出一场沉浸式的“智慧安全秀”。项目推行的“一站式入场服务中心”将新入场工人的实名登记、健康体检、安全教育等流程压缩至20分钟内完成，体现了标准化与人性化管理的融合。



孝感市

6月13日，孝感市工程建设领域“安全生产月”启动仪式暨工程质量安全文明施工现场观摩活动举行。会议通报了全市建筑施工领域安全生产有关情况，与会人员集中观看了安全警示教育片，实地观摩了湖北职业技术学院奥体校区项目工程质量安全文明施工现场。孝感

市住新局、市城管委主要负责同志，市应急管理局、市消防救援支队分管负责同志，各县（市、区）人民政府、市直“三区”管委会分管负责同志及各地住建（建设）部门主要负责同志，建筑施工、监理企业负责人代表等共计180余人参加了本次观摩活动。



科技兴安强根基 智能建造促发展

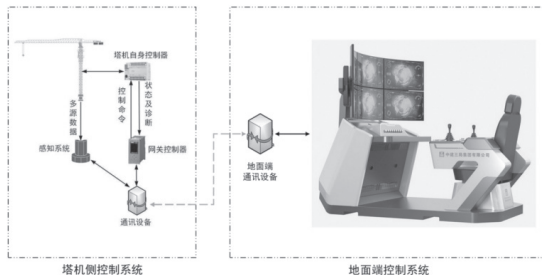
——湖北大力推广塔机智能集控系统，特种设备安全管理提质增效

曹天书 熊丰干

为提升安全生产治理能力信息化水平，省住建厅持续深化科技兴安战略，加快推动建筑施工领域数字化、智能化转型。依托省内骨干建筑企业，立足施工现场实际开展技术攻关，积极推动塔机智能集控系统的自主研发与落地应用。截至目前，该系统已在全省工程项目中投用70余台（套），标志着我省建筑起重特种设备安全管理迈入以技防为主导、以数字化赋能的新阶段。

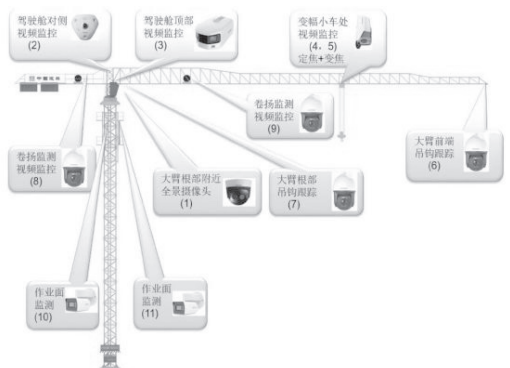


塔式起重机作为房屋市政工程中的高危设备，传统作业模式存在视野盲区大、人为操作风险高、群塔防碰撞难度大等问题，制约着施工现场本质安全水平的提升。为此，依托5G、物联网、数字孪生、智能传感等新一代信息技术，组织创新打造塔机智能集控系统，构建全方位、立体化的智能安全防护体系，精准破解传统管理难题。



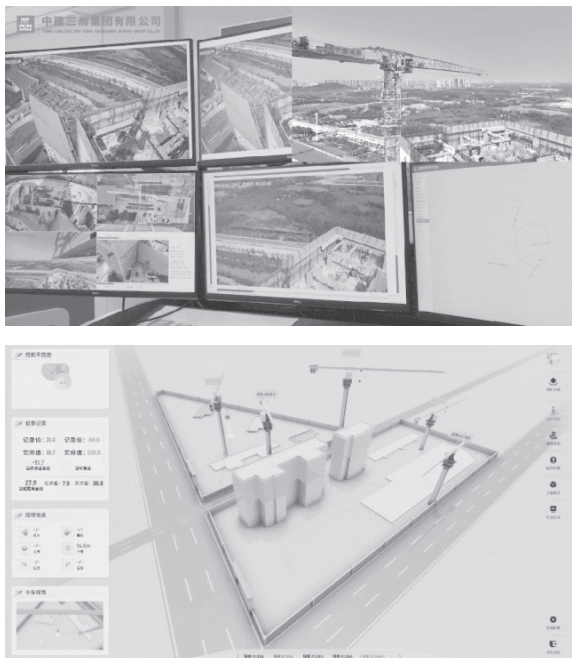
该系统构建起看得清、控得准、防得住三道智能安全防线，从感知、操控到预警实现全链条安全闭环：

全域感知，消除视觉盲区。搭载多维传感器与高精度雷达，动态建立施工现场三维数字孪生场景，实现塔机作业360°全景无死角实时可视化，从源头规避因视野受限引发的安全隐患。



低延时传输，保障操作精准。依托5G高速通信技术，实现操控指令毫秒级同步传输，有效避免信号延迟与复杂工况干扰，显著降低人为操作失误概率。

智能干预，主动规避风险。集成三维防碰撞与自动紧急制动（AEB）功能，实时测算多塔作业安全间距、动态预判碰撞风险。一旦触及安全阈值，系统即分级启动声光预警、减速缓行、紧急停机等处置动作，将安全管控关口前移至风险萌芽阶段，实现从被动防范向主动避险的转变。



除现场安全防护外，该系统同步实现塔机全生命周期的数字化集中管控。项目配套建设地面智能集控中心，将操作人员从高空驾驶室转移至地面标准化值守区域，从根本上降低高空坠落、疲劳作业等职业安全风险。设备运行、吊装作业、操作记录等数据全程自动留存、可查可溯，为行业监管、隐患溯源、责任认定提供坚实数据支撑。



经测算，应用该系统后，塔机操作人员劳动强度下降30%，综合吊装作业效率提升15%—30%，既优化了作业环境、提升了施工效能，也推动了建筑产业工人作业模式的迭代升级。目前，该系统已在武汉汉韵公馆、武汉汉江实验室、荆州李埠长江大桥、宜昌三峡展馆等一批省级重点工程中落地应用，其安全管控模式展现出了良好的示范引领和复制推广价值。

（上接第47页）

六、全域排查闭环整治，筑牢施工现场安全根基

结合《安全生产治本攻坚三年行动（2024—2026年）》工作部署，集团以安全生产月为契机，全面铺开在建项目拉网式、全覆盖安全隐患专项排查整治工作，建立“项目自查自纠、子公司复核检查、集团随机督查”三级排查治理机制，实现隐患排查无盲区、整治无死角。排查工作重点聚焦深基坑支护、高支模体系、起重机械、临边洞口防护、临时用电、消防设施、高温施工防护、扬尘治理等关键环节与高危点位并全部落实整改，有力地推动了安全管理提升，为公司安全平稳发展提供了良好的现

场环境。

2026年安全生产月系列活动的圆满落地，有效夯实了集团安全生产管理基础，全面提升了全员安全素养、应急处置能力和项目标准化管理水平。汉阳市政将坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的工作方针，坚决落实“以月促年、久久为功”的管理思路，将安全月期间形成的标准化管控体系、实战化应急机制、常态化培训模式、数字化监管手段全面转化为日常安全管理长效举措，不断筑牢安全生产防线，全力打造平安工地、精品工程，持续为全省房屋市政工程安全高质量发展贡献汉阳市政力量。



灰犀牛与黑天鹅： 建筑施工安全管理中的确定性与不确定性

■ 贾 凯 宋泽政

建筑施工安全事故中，两类风险始终贯穿管理全过程：2021 年珠海石景山隧道透水事故，是典型的灰犀牛风险——地质复杂、地下水丰富等隐患早已显现，却因侥幸心理被漠视；2022 年长沙自建房整体坍塌事故，则属于黑天鹅事件，以超低概率、超强破坏力打破常规认知。两类风险分别对应安全管理里的确定性隐患与不确定性危机，厘清二者特征、演化规律，并构建适配的管理体系，是当前建筑施工安全管控的核心任务。

一、灰犀牛与黑天鹅的核心差异

（一）灰犀牛：可预见的大概率危机

“灰犀牛”指代长期存在、辨识度高、发生概率大、可提前防控的安全隐患，因管理松懈、侥幸心理、逐利赶工等原因，小隐患逐步演变为重特重大事故，也是建筑施工事故的主要诱因。

施工现场脚手架违规搭设、基坑支护失效、临边洞口防护缺失、设备维保滞后等，均为常态化灰犀牛风险。2021 年成都地铁 17 号线相关坍塌事故极具代表性，项目长期存在钢支撑架设不及时、边坡超挖、监测数据异常等问题，十余次巡检预警均未落实整改，最终造成 4 死 14 伤。近年来多起事故也印证了这一规律：2025 年深圳某项目高处坠落事故，源于作业人员不系安全带、现场监护缺位等常规隐患叠加；郑州钢结构屋面坍塌、山西高速拌

合站挡墙坍塌事故，背后都是专项方案缺失、无证作业、现场管理混乱等长期存在的问题。据行业统计，高处坠落、物体打击等高频事故，绝大多数都由可预判、可整改的灰犀牛隐患引发。

（二）黑天鹅：难预判的小概率剧变

“黑天鹅”是发生概率极低、突发性极强、后果极具颠覆性的极端事件，突破现有施工经验与常规防控体系，隐蔽性和破坏力难以预估。这类风险多由多重复杂因素交织形成，常规检查、制度管控难以完全覆盖。

2020 年福建泉州欣佳酒店整体坍塌，因建筑多次违规改扩建、结构荷载超标，多重隐患非线性叠加，短时间内轰然倒塌，造成 29 人遇难；2025 年渝昆高铁隧道突水突泥事故，在围岩破碎、渗流水等异常已被发现、停工指令下达的前提下，仍因复杂地质与强降雨叠加突发险情，7 人遇难。此外，多地塔吊拆卸坍塌、极端天气引发的起重设备倾覆等事故，也都属于典型黑天鹅事件。随着超高层建筑、深大基坑、城市地下工程等复杂项目增多，叠加极端天气频发，建筑领域黑天鹅风险的触发条件持续增多，防控难度不断加大。

（三）两类风险的动态转化关系

灰犀牛与黑天鹅并非相互孤立，而是存在双向转化的关联。

一方面，灰犀牛会逐步演变为黑天鹅。多个长期隐患在外部因素触发下突破安全临界点，是事故升级的主要路径。2025 年长沙道路建设淹溺事故，短时强降雨属于突发外部因素，而作业人员不佩戴防护用具、现场监护脱岗、应急施救不规范等灰犀牛隐患，最终让局部险情扩大为人员伤亡事故；多地有限空间中毒窒息事故共性突出，未通风检测、防护装备缺失、应急能力不足等常态隐患，在气体泄漏突发后，因人员盲目施救造成伤亡翻倍，可控隐患彻底转化为灾难性事件。

另一方面，黑天鹅易滋生次生灰犀牛。极端突发事件发生后，若排水、消防、临时防护等配套设施短板未及时补齐，应急管理漏洞长期留存，临时性风险就会转变为新的常态化隐患，持续威胁施工现场安全。

二、建筑施工典型灰犀牛风险四大类别

结合现场管理实际，施工领域高频灰犀牛风险可归纳为四大类，也是安全管控的重中之重。

第一，人的不安全行为。这是最普遍的隐患，包括作业人员无证上岗、违章操作、冒险作业，管理人员违章指挥等。安全教育流于形式、培训造假、现场监督缺位，是此类问题反复出现的根源。

第二，物的不安全状态。涵盖施工机械老化、安全防护设施缺损、模板支撑体系不达标、临时用电不规范等，隐患隐蔽且持续时间长，设备、结构体系的微小缺陷，极易在施工荷载作用下引发坍塌、倾覆事故。

第三，环境的不安全因素。基坑周边堆载超标、消防通道堵塞、恶劣天气下强行作业等问题常被忽视。如东莞某项目在气象部门发布雷雨大风预警后，仍组织高空起重作业，最终起重臂折断致人死亡，便是漠视环境风险的典型教训。

第四，管理的缺陷。这是根源性隐患，表现为安全技术交底走过场、隐患排查流于形式、危大工程专项方案缺失、分包单位管控失效、应急管理缺位等。管理体系失能，会直接导致所有安全制度无法落地，成为事故发生的底层诱因。

三、黑天鹅风险的不确定性来源

建筑施工黑天鹅风险的不确定性，主要来自三个维度。其一为外部环境突变，突发暴雨、台风、

地质塌陷等极端自然现象，超出常规预案的应对范围，是当前黑天鹅事件最主要的诱因。其二为技术认知盲区，深隧道、大跨度结构、新型建材应用等新工艺、新工程缺乏成熟经验，地下有毒气体聚集、复杂地质变化等规律难以精准预判，技术短板放大了风险不可控性。其三为系统性风险耦合，施工现场多工序、多专业交叉作业，单一险情会快速形成连锁反应，如大风引发围挡倾倒、进而造成电路起火、人员坠落等复合型灾害，风险传导速度快、影响范围广。

四、构建“确定性防控 + 不确定性韧性”双轨管理模式

针对两类不同属性的风险，施工单位需建立双轨并行的安全管理体系，兼顾常规隐患治理与极端事件应对。

（一）强化确定性防控，全面整治灰犀牛隐患

一是落地双重预防机制。严格落实风险分级管控与隐患排查治理制度，对危险源实行红、橙、黄、蓝四级管控，建立标准化隐患清单，坚持“隐患即事故”原则，做到排查、整改、复查闭环管理，杜绝制度“纸上化”。二是推行本质安全管理。从人、物、环境、管理多维度优化：强化实操化安全教育与应急培训，打造规范作业人员队伍；采用装配式施工、智能监测设备减少高危环节；层层压实安全责任，杜绝先施工后补方案、交底造假等违规行为。三是深化事故致因分析，结合专业理论工具复盘事故，从建设、施工、监理、监管全链条追溯问题，针对性补齐管理短板。

（二）提升系统韧性，从容应对黑天鹅事件

首先，预留工程安全冗余。在深基坑、高支模、大型起重设备等关键部位，设计与施工阶段提高安全标准，充分考虑极端工况，为突发险情预留缓冲空间。其次，运用数字化技术赋能预警。依托 BIM、物联网、AI 智能识别等技术搭建动态风险监测平台，打通气象、地质、现场监测数据链路，实现风险自动预警、指令快速下达，打破传统信息传递壁垒。最后，培育组织应急韧性。建立扁平化应急指挥体系，常态化开展复合型险情实战演练，摒弃单一场景演练模式；树立科学安全文化，杜绝盲目施救等行为，提升全员应急处置（下转第71页）

加强对建筑企业安全生产风险排查整治 夯实安全管理根基

■ 朱德祥

安全生产是建筑业高质量发展的底线与红线，是保障人民群众生命财产安全、维护社会稳定大局的基础性工作。当前，我国建筑业正处于转型升级关键期，项目规模持续扩大、施工工艺不断更新、作业场景日趋复杂，高处坠落、物体打击、坍塌、起重伤害、有限空间作业风险等隐患交织叠加，安全生产形势依然严峻复杂。

2026年5月，习近平对山西长治市沁源县一煤矿瓦斯爆炸事故作出的重要指示：各地区各部门要汲取事故教训，时刻绷紧安全生产这根弦，深入排查整治各类风险隐患，坚决防范遏制重特大事故发生。我们建筑施工企业要深入学习贯彻习近平总书记重要指示批示精神，进一步增强做好安全生产工作的责任感、使命感、紧迫感，深刻汲取教训，将“时时放心不下”的责任感，转化为“事事心中有底”的行动力。

2026年6月是第25个全国“安全生产月”，主题为“人人讲安全、个个会应急——排查整治风险隐患”，这一主题精准锚定了安全生产工作的核心要义，也为建筑业筑牢安全防线、补齐管理短板提供了重要指引。

一、当前建筑业安全生产形势与风险隐患特征

（一）建筑行业安全生产总体态势

近年来，在国家安全生产法律法规体系不断完善、住建领域治本攻坚三年行动深入推进、安全监管力度持续加大的背景下，建筑业安全生产事故总量、较大及以上事故数量呈稳步下降趋势，安全生产形势总体保持稳定向好。但与此同时，建筑业点多、线长、面广的行业特性未变，施工人员流动性大、一线作业人员安全素养参差不齐、分包管理链



条长、危大工程管控难度大等问题依然突出，零星事故、重复性事故仍时有发生，安全生产“稳中有险、稳中有忧”的格局尚未根本改变。

从事故类型来看，高处坠落、坍塌、起重伤害、物体打击、有限空间作业事故仍占建筑施工生产安全事故的90%以上，是行业防控的重中之重；从事故诱因来看，违规作业、违章指挥、隐患排查不到位、安全交底不彻底、应急处置不规范是主要原因；从管理短板来看，企业主体责任落实不到位、隐患排查流于形式、危大工程全周期管控缺失、安全投入不足、教育培训走过场等问题，成为制约安全生产水平提升的关键瓶颈。

2025年10月30日，重庆某建筑公司外墙保温项目作业人员周某某，未经培训擅自操作吊篮，违规从悬空吊篮攀爬至作业层，不慎从45米高处坠落身亡，直接经济损失197.68万元。事故原因，一直接原因：作业人员未经吊篮操作专项培训，擅自操作设备，违规翻越悬空吊篮，违反安全操作规程。二间接原因：企业未落实全员安全生产责任制，未与普通工人签订安全责任书、开展安全考核；未严

格督促作业人员遵守操作规程，安全管理、教育培训、现场监护缺失；项目负责人、安全管理人员未及时制止违规行为，履职不到位。

（二）建筑施工领域主要风险隐患特征

1. 隐患分布广，覆盖全流程全环节。建筑施工从基坑开挖、主体结构、装饰装修到竣工验收，涉及土方作业、模板支撑、脚手架搭设、起重机械安拆、临时用电、动火作业、有限空间作业等数十个环节，每个环节均存在不同类型的安全隐患，呈现“全域覆盖、全程伴随”的特点。

2. 患风险极高，易引发群死群伤。深基坑、高支模、起重机械、附着式升降脚手架、拆除工程等危险性较大的分部分项工程，是隐患集中爆发的“重灾区”。专项方案编制不规范、专家论证走过场、现场施工不按方案执行、验收环节缺失、动态监测不到位等问题，极易引发坍塌、倾覆等重特大事故。

3. 人的不安全行为高，隐患随意反复性强。一线作业人员安全意识淡薄、违规操作、不按规定佩戴劳动防护用品、特种作业人员无证上岗、违章指挥等“人因隐患”，是导致事故发生的最直接因素。此类隐患具有隐蔽性、随意性、反复性，难以通过单次排查彻底根治。

4. 物的不安全隐患多，状态与管理缺陷交织。施工设备老化、安全防护设施缺失或损坏、临时用电不规范、材料堆放超标、警示标识缺失等“物因隐患”，与安全管理制度不健全、责任落实不到位、隐患排查闭环缺失、监理履职不严等“管理缺陷”相互叠加，形成风险传导链条，放大事故发生概率。

5. 天气季节性因素多，阶段性隐患较为突出。汛期暴雨、高温酷暑、冬季冰冻、大风天气等特殊气象条件，会加剧基坑坍塌、触电、中暑、高处坠落等风险；项目赶工期、抢进度阶段，易出现简化安全流程、压缩安全投入、违规作业等问题，隐患风险急剧上升。

二、安全生产月对隐患排查整治的赋能作用

全国安全生产月作为安全生产宣传教育与实践推进的重要载体，为建筑业风险隐患排查整治提供了全方位赋能。一是强化思想引领，推动“人民至上、生命至上”理念入脑入心，破除“重效益、轻安全”的错误认知；二是聚焦核心任务，以“排查

整治风险隐患”为抓手，推动企业开展全覆盖、拉网式隐患排查，实现隐患见底、措施到底、整治彻底；三是提升应急能力，通过应急演练、技能培训、宣传咨询等活动，推动“人人会应急”落地，提升一线人员风险辨识、隐患处置、应急逃生能力；四是构建全员格局，打破“安全是安全员的事”的误区，形成“人人讲安全、个个查隐患、岗岗守底线”的全员安全氛围。



三、建筑业风险隐患整治与安全管理提升对策建议

针对当前建筑业安全生产形势、隐患特征及事故根源，结合安全生产月实践要求，建筑施工企业要以“排查整治风险隐患，夯实安全管理根基”为核心，从责任落实、隐患防控、危大工程管控、本质安全、应急能力、长效机制六个方面，构建起“源头防控、过程管控、闭环治理、全员参与”的隐患整治体系。

（一）压实全员责任，构建闭环责任体系

1. 强化企业主要负责人第一责任。建筑施工企业要严格按照《安全生产法》《房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准（2024版）》要求，严格落实企业主要负责人安全生产法定职责，督促其亲自部署隐患排查整治、亲自带队检查、亲自督办重大隐患整改，确保安全投入、安全培训、基础管理、应急救援“四到位”。

2. 推行安全总监委派制与垂直管理。建筑施工企业要全面推行项目安全总监企业委派制度，安全总监不受项目经理单方面考核，独立行使安全监督、隐患叫停、整改督办职权，解决“安全管理依附生产管理”“隐患整改执行力不足”的问题，确保隐患整治指令直达一线、快速落地。