

基于施工过程数据的危大工程安全验收体系构建 ——以高支模与外脚手架工程为例

崔业棠

广东隽源建设有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i8.21653

[摘要] 危大工程安全验收偏重工程完成后的静态核查,存在过程数据利用不足的问题。为解决该困境,本文以某科技园高支模与外脚手架工程为回溯案例,构建了“规范阈值-计算书基线-现场实测”三段映射式的验收体系。该体系嵌入扭矩抽检、垂直度跟踪与沉降监测等环节,并引入基于沉降斜率的动态预警阈值调整机制。案例应用表明,该体系使分段式验收一次合格率获得显著提升。

[关键词] 危大工程; 施工过程数据; 安全验收; 高支模; 外脚手架

中图分类号: X9 文献标识码: A

Construction of Safety Acceptance System for Hazardous Engineering Based on Construction Process Data: A Case Study of High Formwork and External Scaffolding Engineering

Yetang Cui

Guangdong Junyuan Construction Co., Ltd

[Abstract] Conventional safety acceptance of major hazardous projects often occurs after completion and emphasizes static verification, so data from the construction process are underused. Based on a retrospective review of a high-support formwork and external scaffolding project in a science park, a three-stage acceptance workflow was developed around regulatory thresholds, calculation and document baselines, and field measurements. On site, torque spot checks, verticality tracking, and settlement monitoring were used, and warning thresholds were revised as settlement slopes changed. Application of this workflow raised the first-time pass rate in phased acceptance.

[Key words] Major hazardous projects; Construction process data; Safety acceptance; High formwork support; Scaffolding

引言

危大工程坍塌事故在混凝土浇筑阶段尤为多发,追根溯源,往往是施工过程中的缺陷没有被及时发现。加之现行的验收方式,偏重于工程完成后的静态核查,施工过程中的动态数据很少被纳入验收依据。便造成了验收标准和计算书基线对不上,超差之后也没有硬性的处置约束。针对这些短板,本文以高支模和外脚手架工程为例,建立了一套三段映射式的安全验收体系,可系统性地解决了过程数据利用不足的问题。

1 危大工程安全验收现状分析

1.1 行业普遍现状

房屋市政工程中,高大模板支撑体系与外脚手架属于典型危大工程。此类结构的失稳通常源于搭设过程中,各类长期积累的缺陷。例如:立杆倾斜、扭矩不足、节点虚扣、基础沉降等,

这些缺陷在浇筑阶段集中释放。虽然行业政策已明确了专家论证与验收责任,但综合多个行业研究成果表明,当前危大工程安全验收普遍存在多种不足。例如:方案编制模板化,计算书多直接套用规范公式。对节点半刚性、构配件初始缺陷等考虑不足。研究表明,扣件转动刚度对承载力的影响大于管径与壁厚,双因素耦合下承载力降幅可达16%以上^[1]。若计算书假定节点理想刚性,理论基线偏乐观。在验收节点存在静态化,规范要求每搭不大于6m进行一次过程检查^[2]。但现场常简化为“搭完整体签字”,过程数据未形成闭环记录。

1.2 关键问题识别

综合上述现状,可提炼出三个核心问题:①过程数据采集缺乏系统性、②验收标准与计算书脱钩、③超差处置缺乏硬约束。这三点共同指向一个方向,亟须构建一套新的验收体系。

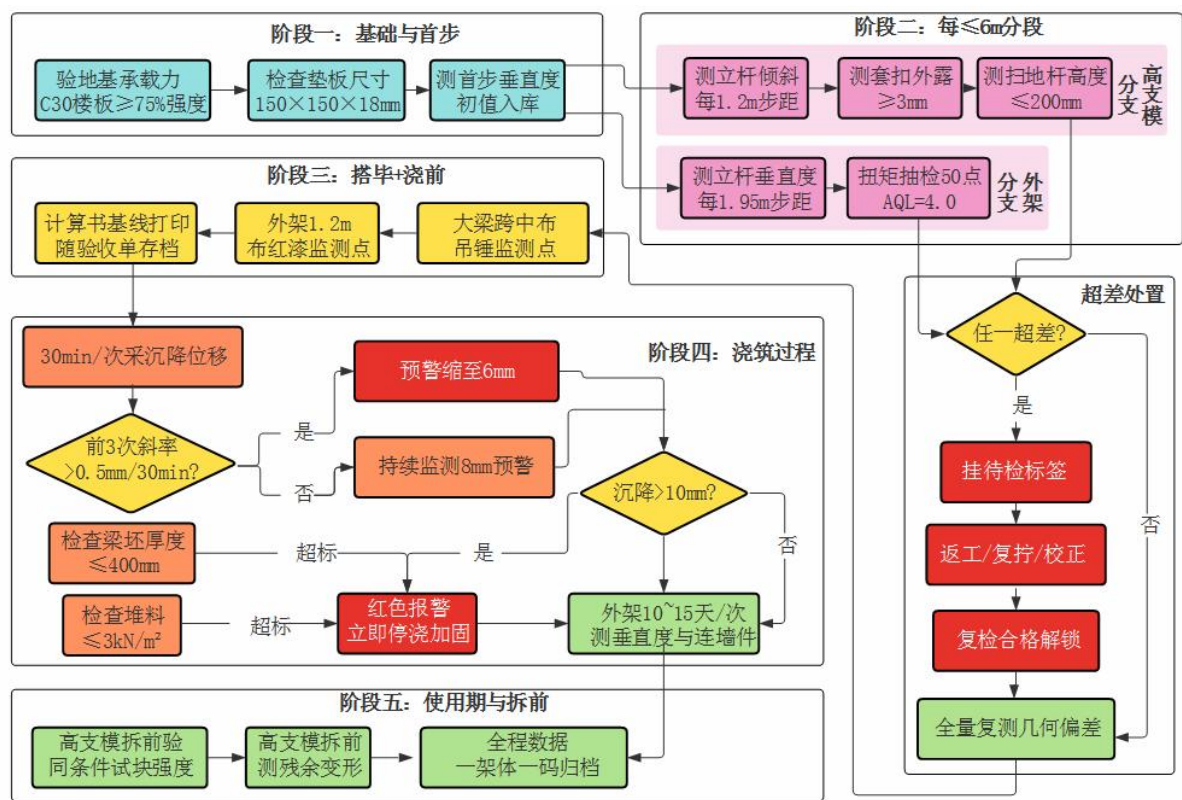


图1 五阶段闭环验收流程示意

2 案例分析

以下选取典型的危大工程作为案例,通过剖析各维度的数据情况,论证危大工程过程数据验收体系构建的重要性。

2.1 工程概况

佛山市某科技园1、3号楼,框架结构。高支模最大搭设高度7.8m,最大梁截面400mm×1300mm,采用套扣式脚手架。外围扣件式外脚手架搭设高度48.3m,底部12m为双立杆,于23.5m、37.4m标高各设一道钢丝绳卸荷。

2.2 工程数据分析

该工程专项方案计算书输出以下基线值:高支模立杆 $\lambda=212$ 、 $\sigma=174.91\text{N/mm}^2$ (无风)/ 179.06N/mm^2 (有风),均小于 $f=205\text{N/mm}^2$;外架钢丝绳破断109.55kN、允许13.30kN。监测方案设定高支模沉降预警8mm/控制10mm,外架立杆垂直度预警80mm。三组数据对应了“节点质量-连接紧固-响应控制”这三类过程数据,但原管理未将其提炼为可复用的验收体系。施工记录中保留了以下三组关键过程数据(表1):

3 理论基础与研究缺口

近年来,学术界从不同角度对危大工程安全问题展开了研究。在结构稳定性层面,盘扣架足尺试验证实了节点半刚性退化,会显著削弱整体稳定^[3]。在监测阈值层面,视觉监测与有限元更

新的预警阈值动态迭代方法已被提出,其竖向阈值量级与本文案例接近^[4]。在验收指标层面,既有研究已给出涵盖立杆垂直度、步距、扣件扭矩的量化清单^[5],并有研究建立了LEC风险分级框架^[6]。此外,扣件式缺陷耦合效应中“双因素耦合下承载力降幅可达16%”的研究结论^[1],直接解释了本文案例中扭矩不足比垂直度偏差更危险的机理。

表1 案例工程三组关键过程数据

数据组	类别	实测节点	实测值	方案/规范要求	触发预警	反映的问题
一	套扣节点外露	首层分段验收	发现2处仅2mm(返工后3.4mm)	≥3mm	是	节点“虚扣”隐患,计算书刚性假定不充分
二	扣件扭矩	扭矩抽检50点	6点<40N·m(占12%,复拧后3%)	40~65N·m	否(垂直度72mm<80mm预警)	扭矩不足隐蔽性强,缺陷耦合效应放大风险
三	浇筑沉降	拆模后	最大7.2mm/位移5.4mm	预警8mm/控制10mm	否(无裂缝)	计算书安全余量与监测预警联动

在更广阔背景下,数据驱动的施工质量管理已成为行业趋势。既有研究分别解决了稳定判据、阈值调节、响应时效、风险分级等问题。但均未将“规范值-计算书-实测值”三者打

通, 本文正是基于这一缺口开展研究。

4 三段映射的验收体系构建

基于上述案例暴露出的“节点质量、连接紧固、响应控制”三类过程数据问题, 以下有针对性地构建了一套验收体系。该体系通过五阶段闭环流程, 解决过程数据采集的系统性问题; 通过三段映射核心表, 解决验收标准与计算书脱钩的问题; 通过“挂待检-返工-复检-解锁”的硬性流程, 解决超差处置缺乏约束的问题。

4.1 体系定位

本体系以现行规范GB 55023-2022^[2]和JGJ 130-2011^[7]为规则锚点, 面向项目部构建轻量化工作体系, 包含规则集、数据采集卡、五阶段闭环流程与岗位职责四部分。

4.2 三段映射: 规范阈值→计算书基线→现场实测

本体系的核心逻辑是将规范阈值、计算书基线、现场实测值三者打通。形成双层映射关系, 规范值定底线, 计算书值定预警线。如三段映射核心表(表2)所示, 将规范允许值、计算书基线值和现场实测点一一对应, 并明确超差动作。

表2 三段映射数据映射核心表

数据维度	规范允许值	方案计算书基线	现场过程实测点	超差动作
高支模立杆稳定	$\lambda \leq 150$ (扣件式构造要求, 供参考)	$\sigma = 174.91\text{N/mm}^2$	垂直度引算等效 λ	>150 判定不合格, 调整立杆; >212 预警, 加密监测
高支模沉降	-	隐式 $L/250$	8mm 预警/10mm 控	停浇加固
套扣节点外露	$\geq 3\text{mm}$ (地方规程)	抗拔 $\geq 3\text{kN}$	钢尺3.2mm	$<3\text{mm}$ 虚扣返工
外架垂直度	$\pm 96\text{mm}$ ($48\text{m} \times H/200$)	-	80mm 预警(内控)	校正或卸载
外架扣件扭矩	$40 \sim 65\text{N} \cdot \text{m}$	反力3.30kN	抽检均值52N·m	抽检不合格率 $>5\%$ 时, 整段复拧
外架卸荷钢丝绳	-	破断109.55kN	卡尺量磨损	断丝即换

注: ①“隐式 $L/250$ ”指计算书中隐含的挠度限值为 $L/250$; ②“垂直度引算等效 λ ”指由立杆实测垂直度偏差推算出的等效长细比, 具体换算方法参照JGJ 130-2011附录A相关公式^[7]; ③规范允许值 $\lambda \leq 150$, 为扣件式钢管脚手架长细比的构造要求。而本工程高支模采用套扣式脚手架, 其节点特性与扣件式存在差异。计算书输出的 $\lambda=212$, 是基于实际荷载和立杆布置的计算结果。并非直接违反规范构造要求, 而是反映了套扣式脚手架在受力特性上的不同。套扣式脚手架暂无明确的 λ 限值规定, 故借用扣件式规范 $\lambda \leq 150$ 作为参考基准。本体系将计算书输出的 $\lambda=212$ 作为预警参考线, 当实测垂直度引算的等效 λ 接近该值时启动加密监测。④外架垂直度规范允许值按JGJ 130-2011^[7], 取 $H/200=\pm 96\text{mm}$ ($H=48\text{m}$)。现场预警值80mm为内控标准, 较规范值留有16mm的安全余量。

4.3 五阶段闭环: 从数据采集到处置归档

五阶段闭环流程将三段映射逻辑落实到具体操作时序中, 分为五个阶段(图1)。图中蓝色为基础操作节点、紫色为过程巡

检节点、黄色为判断/决策节点、红色为异常处置节点、橙色为高风险动态监测节点、绿色为收尾完成节点。

下面按五个阶段说明现场操作。

阶段一先做基础与首步检查: 楼板强度不低于75%, 核对垫板尺寸。并把首步垂直度初值记录下来, 后面各阶段偏差都拿这组数比对。

阶段二按不超过6m分段检查。高支模逐步看立杆倾斜、套扣外露和扫地杆高度; 外架查垂直度, 并抽检约50个扣件扭矩。这里不追求现场零缺陷, 而是把不合格率压到可接受低区间。扭矩按GB/T 2828.1-2012^[8]控制, AQL=4.0时不合格率理论上可到10%; 考虑到多个缺陷可能叠加影响, 现场实际按5%控制, 超出就整段重新拧紧。这一步主要把明显不合格项挡在后续搭设和浇筑前。

阶段三在搭完、浇前全量复测几何和连接指标: 大梁跨中挂吊锤监测点, 外架在1.2m高度做红漆监测点。计算书和基线数据打印后随验收单一起存档, 后续可按验收单回溯方案要求和实测标准。

阶段四浇筑时, 高支模沉降位移按30分钟间隔记录。

阶段五使用期和拆前, 外架垂直度、连墙件10~15天查一次; 高支模拆前先确认同条件试块强度, 再测残余变形。所有数据按“一架体一码”存档。

4.4 案例回溯验证

案例回溯时, 把上述案例中的三组实测数据放回该体系比对, 结果见表3。它们分别属于节点质量、连接紧固、响应控制三类过程数据, 每组都能找到对应阶段和处置措施。和该项目以往同类工程相比, 一次合格率从约82%提高到96%, 浇筑阶段未出现因异常停工的情况。

表3 案例数据与体系对照验证

案例数据组	对应阶段	体系触发条件	实际处置	体系预期动作	闭合
套扣外露2mm	阶段二	$<3\text{mm}$ 虚扣返工	返工复测3.4mm	挂待检→返工→复检→解锁	是
扭矩12% $<40\text{N} \cdot \text{m}$	阶段二	不合格率 $>5\%$ (内控)/ $>10\%$ (规范)时整段复拧	整段复拧后3%不合格	抽检50点→不合格率 $>5\%$ 启动内控复拧, $>10\%$ 按规范处理	是
浇筑沉降7.2mm	阶段四	8mm 预警/10mm 控制	未触发预警	斜率 $<0.5\text{mm}/30\text{min}$, 持续监测	是

注: 扭矩不合格率超过5%时, 启动内控复拧程序。超过10%时, 按GB/T 2828.1-2012^[8]规范要求处理。本案例不合格率为12%, 同时触发了内控标准和规范标准。

5 应用前景与局限

该体系仅需扭力扳手、吊线和水准尺即可实施。向前可对视觉监测与BIM物联网做阈值动态刷新, 向后可将LEC风险评价参数改为由过程数据反算。局限在于仍依赖人工填卡, 需配合监理云台账防造假。且套扣节点抗拔检具尚未普及。体系仅基

于单项目回溯,仍需交叉校验。此外,本体系面临两类失效风险,例如数据造假风险。可通过拍照留痕防范,减少进度压力下的“补记录”现象。阈值误报风险,则可通过引入温度补偿或地质修正系数缓解。

虽然上述局限仍然存在,但从本案例的回溯验证来看,该体系已有实际效果。以阶段二为例,检查中发现了套扣外露和扭矩不足这两类典型问题,并做了相应处理。相较而言,扭矩不足更难直接发现。其涉及位置也更多,处理复杂度和关注优先级都高于套扣外露。

6 结语

本研究构建的过程数据验收体系,通过五阶段闭环流程和三段映射核心表,系统性地解决了过程数据利用不足的问题。案例应用表明,该体系可使分段验收一次合格率提升至96%。此外,基于沉降斜率的动态预警阈值调整机制。将固定预警值与实时沉降速率挂钩,可为应急处置预留黄金窗口期。后续研究可扩大样本量,探索该体系在深基坑、起重吊装等危大工程中的适用性。

[参考文献]

[1]陆征然,于珈郢,路林翰,等.基于拉丁超立方抽样的高大

模板支撑体系承载力有限元分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2024,40(3):461-469.

[2]GB 55023-2022施工脚手架通用规范[S].

[3]白万民,李文坡,张凌博,等.盘扣式模板支架安全承载试验及数值模拟研究[J].安全与环境学报,2024,24(7):2528-2535.

[4]李强,王佩璇,马海鹏,等.融合数据与模型的高大模板支撑结构监测预警阈值确定及更新方法[J].施工技术(中英文),2025,54(2):136-143.

[5]田楠.建筑施工中高支模工程施工技术应用与安全管理策略[J].工程技术研究,2024,9(4):158-160.

[6]屈建军.高大模板支撑体系工程关键安全技术控制[J].中国建筑金属结构,2024,23(1):187-189.

[7]JGJ 130-2011建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].

[8]GB/T 2828.1-2012计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划[S].

作者简介:

崔业棠(1993--),男,汉族,广东省佛山市人,本科,工程师,研究方向:建筑施工技术与创新。