

精细化工工程总承包项目全过程动态成本监控的 分析与优化

刘 骊 (中国中轻国际工程有限公司, 北京 100026)

摘要:本文针对精细化工 EPC 项目高度复杂、多接口协作的特点,剖析设计、采购、施工、变更管理四个阶段动态成本监控的典型风险,提出融合数字化监控技术与精细化流程再造的优化路径。基于 EPC 总承包精细化管理理论构建全过程成本风险防控体系。

关键词:工程总承包 (EPC); 项目全过程成本控制; 动态成本监控

中图分类号: F284 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 033-0055-03

Analysis and Optimization of Whole-Process Dynamic Cost Monitoring for Fine Chemical Engineering General Contracting Projects

Liu Xiao (China Light Industry International Engineering Co., Ltd., Beijing 100026, China)

Abstract: Focusing on the characteristics of high complexity and multi-interface collaboration in fine chemical EPC (Engineering, Procurement, Construction) projects, this paper analyzes the typical risks of dynamic cost monitoring in the four stages of design, procurement, construction, and change management, and proposes an optimization path that integrates digital monitoring technology with refined process reengineering. Based on the refined management theory of EPC general contracting, a whole-process cost risk prevention and control system is constructed.

Keywords: Engineering General Contracting (EPC); Whole-Process Project Cost Control; Dynamic Cost Monitoring

1 动态成本监控的核心风险与难点

1.1 设计阶段成本失控风险

①设计深度不足。在化工工艺包的设计过程中,为满足项目总进度的要求,招标时的图纸往往只达到了能够开展招标工作的基本条件,如固定总价合同中设置了部分固定单价部分,此时的图纸深度远远不够,后续需要不断的细化和完善,导致在合同执行期间发生成本增量;同时由于设计对工艺流程和设备性能的理解不足,方案和设备选型与最终使用需求存在偏差。这种偏差直接影响采购工作,在采购阶段即频繁出现参数改动,进而引发成本增加和项目进度延误等问题。另外,设计图纸在审核阶段由于合理性不够,审核不严谨,导致安装过程中发生变更、签证等工程量增加也是导致成本增加的一个原因。例如,在某界面剂原料生产项目的实施过程中,由于图纸审核不严谨,造成同一根管路上出现了不同材质的管道选型,施工阶段发现后需重新购买相同的材料,这一设计调整直接导致项目成本超支,给整体预算带来了极大的压力。如遇到材质价格波动,成本超支情况将极易发生。

②标准化认知程度不同。在化工项目中,非标设备占比非常高,设计参数与实际采购获得的数据匹配度较低,难以形成统一标准规范。这一问题往往体现在设备厂家与设计对标准规范的使用深度和认知不一致。在这种情况下,设计阶段提供的技术参数往往无法完全覆盖

采购需求,导致采购清单与实际要求脱节。又或者按照设计要求,厂家往往忽视,仅按行业默认进行技术澄清,导致最终采购的设备无法满足使用需求。这种问题不仅增加人力的沟通成本,还会引发预算误差的扩大,从而对项目的经济性和可控性造成不利影响。

③设计方案成本评估机制不健全。当前项目在做方案比选时,往往侧重于技术可行性论证,对不同设计方案的全周期成本测算缺乏系统性方法,未能将设备成本、能耗差异、货期等隐性支出做出设计优化。例如项目中,为追求更有保障的设计参数,设计人员初期选择进口喷射配件,虽满足了更高的使用效果,但配件采购周期是国产产品的 2 倍,同时备件采购成本较国产高出 30%,由于数量较多,最终导致项目全周期成本显著增加。此外,设计与成本控制存在断层管理,由于设计阶段缺乏有经验的现场专业安装工程师、业主方工艺人员深度参与,导致技术方案在确定材料选型、管道路线及生产操作便捷性时未能同步开展成本适配性分析。例如某项目设计人员在考虑设计优化时,过度追求成本压缩,采用了多芯电缆与接线箱组合的电缆敷设方案,设计虽然通过此方式节约了部分电缆采购成本,但桥架与穿管路径影响设备安装和后期操作维护,最终更改了敷设路径和方式,导致材料和施工成本超出预算 20%,反映出设计阶段各方沟通不足导致后期成本不降反增。

设计阶段的技术参数余量过大也是导致成本增加的因素之一。部分设计人员在确定各专业材料参数时，习惯采用加乘“放大系数”的保守设计思路，并未充分结合三维模型和项目实际工况进行深入核算。例如在非标设备设计阶段，在基础参数计算中同时叠加的操作波动系数和安全余量系数，导致设备壁厚超出实际需求，不仅增加了采购成本，而且导致业主后期运行能耗上升。

不同设计团队设计标准化程度不足也会加剧成本风险，不同设计团队在同类装置设计中缺乏统一的材料选型标准、不同规格参数库和工艺模块，不仅延长了设计周期，还因采购批量小、生产工艺特殊而推高了设备及材料的综合成本。如推翻更改，还会导致出图内容不一致、三维碰撞，重复设计的人力成本大幅增加。比如两个性质相似的装置车间分别由不同设计小组完成，核心分离设备选型、非标管道配件种类都有所不同，采购过程中因规格繁杂导致供应商报价分散、议价能力减弱，最终采购成本超出。

1.2 采购与施工之间的成本影响

①长周期设备价格波动的影响。精细化工项目中，反应器这类关键设备，其采购周期往往超过6个月。在此如此漫长的采购时间段内，原材料价格的波动受市场影响很大，如对项目安装周期没有预判，采购未提前锁定原材料价格，就会给项目的成本控制带来了极大的挑战和风险。

②各专业关键线路的管理冲突。在项目实施过程中，如项目关键线路管理不当，极易发生采购设备到货与设备安装的进度错位。这类冲突将会引发窝工费或变更，从而增加项目的整体成本。例如因设备未能按时到达现场，导致了设备安装工作无法按计划进行，而此时大量的设备安装人员已进场，造成了大量的工人闲置。设计各专业间相互提资不完善，也会导致施工过程中发生设备安装位置错位的情况，从而导致返工费的发生，增加项目整体成本，例如由于土建图纸中遗漏了预埋件，导致桥架无法固定，不仅增加了重新加装固定支撑的材料与人工成本，为避免和已完成的工艺管道发生碰撞，更改了施工路径后又增加了材料和人工成本。另外消防专业与电仪专业接线箱位置未经过沟通，导致安装位置重叠，现场需重新调整安装位置，也会导致材料和安装成本的增加。这两个案例充分说明了各专业关键线路的管理冲突可能带来的经济损失。

③信息共享不及时加剧协同难度。采购部门与施工单位在信息传递过程中缺乏实时共享，当施工进度计划调整后，如采购未能及时调整设备到场时间就会发生人员及仓储成本增加。例如，某精细化工项目中，

施工单位根据现场实际情况调整了反应器安装顺序，但未及时通知采购部门，使得原本应优先到场的设备被延迟采购，而先行到场的主设备因缺乏配套的管道或辅助设备，造成设备闲置和工期延误，导致仓储成本增加和违约金的风险加大。此外，如由于沟通及时导致无法准确预判设备交付时间、材料数量和到厂时间无法及时调整，施工单位只能通过增加安全余量来应对不确定性，这不仅占用了大量流动资金，还可能因库存积压导致部分设备和材料因长期存放而出现锈蚀、功能退化、材料采购超量等问题，进一步增加维护成本和质量风险。

1.3 变更管理动态响应滞后

①业主需求发生变更时，这种变更的传导存在明显的延迟现象。在工艺路线进行调整之后，相关的成本模型却未能实现同步更新，这就导致在对变更所引发的成本进行统计时，出现了严重的遗漏情况，这种情况往往会被管理不积极或资料传递不及时拖累，当最终累计起来的变更成本统计后，漏计率会很高，甚至导致成本超支。

②在整个项目管理过程中，风险预警机制严重缺失。没有建立起一套完善的、当成本偏差达到一定阈值时能够自动触发预警的机制。这就使得很多问题一直被隐藏着，直到最终暴露出来的时候，已经超出了可以控制和处理的范围，给项目的顺利推进带来了极大的风险和挑战。

③材料管理响应滞后。因为对材料市场价格波动不敏锐，诸多材料在采购时处在价格高点，致使项目总体成本上升。例如在电缆、管材购买阶段，由于市场原材料价格波动超出预期，但因缺少实时的跟踪和预警，导致电缆或管材上涨成本被忽视，直到电缆材料需要购买或进场时才被察觉，此时已无法通过改变购买策略降低成本，只能承受额外增加的购买开支，直接冲击了项目的总体利润空间。

④变更审批流程冗长和多头管理，加剧了响应滞后。变更申请发起后，经设计、采购、施工等部门逐级审核，流程环节多、耗时长，使原本可以及时调整的成本控制措施错过最佳实施时机。尤其在跨专业协同的复杂变更中，各环节沟通协调成本增加，若出现驳回或增加变更导致信息传递遗漏，会降低变更方案与成本预算的匹配度。这种迟缓的响应机制，既影响项目成本动态可控性，又可能使变更方案与现场实际条件冲突，引发二次变更或额外调整成本，形成恶性循环。如安装阶段，业主提出增加混合原料工艺路线变更需求，因审批流程过长，获批采购时关键设备及材料价格上涨20%，施工周期也因设备到货延迟压缩，

增加赶工成本和质量风险。

2 优化解决方案与实施路径

2.1 构建全过程穿透式监控体系

工序级成本分解：通过运用 WBS-RBS 矩阵的方式，可以细致地将整体成本目标逐步拆解，直至具体到每一个设备单元之中。例如，在反应器安装这一环节，能够将其成本细化到诸如螺栓这样微小的组成部分，从而实现对成本精确到极小单位的掌控与管理。与此同时，要将这种细致的成本管理与工程的进度计划相互关联起来。通过这样的关联，就能够借助特定的工具达成 BIM 5D 的动态模拟效果。在 3D 建筑信息模型的基础上，加入时间和成本维度，对成本控制、工程量计算、招投标以及工程建设的全过程都有所涉及，从而以动态模拟的形式直观地展示整个项目在不同时间点上的进度、资源分配以及成本消耗等情况，有助于项目管理者更好地进行决策和调整项目规划。它的应用前景也是肉眼可见地变得更好，进一步实现建筑信息化。

在具体实施中，需结合精细化工项目的工艺特性，建立“设备单元-安装工序-材料规格”三级分解体系。以典型的精细化工反应装置为例，先按核心设备（如反应釜、尾气处理装置、换热器）划分为一级成本单元，再将每个设备的安装过程拆解为基础浇筑、设备就位、管道连接、电气仪表安装等二级工序，最后针对每个工序细化到具体材料（如反应釜地脚螺栓的型号规格、管道的材质等级与壁厚、阀门的公称压力等）的三级成本项。同时，引入作业成本法（ABC）原理，为每个分解单元匹配对应的资源消耗定额，包括人工工时、机械台班、材料损耗率等指标，并结合历史项目数据库进行动态修正。例如，管道焊接工序中，根据管径、焊接方式、材质设定单位长度焊接成本基准，关联焊工技能等级系数，确保成本分解精准可追溯。同时，分解过程嵌入工艺风险因子，如防爆区设备安装工序计取防爆工具使用、氮气置换等特殊作业成本，避免成本漏项。通过多层级、精细化分解模式，实现成本数据与物理实体、施工工序精准映射，为后续动态监控提供基础数据支撑。

2.2 采购风险对冲与智能预警技术

风险类型	优化措施	实施工具
价格波动	约定价格波动系数上下限	大宗商品价格指数平台
变更响应滞后	建立变更成本影响因子库，设置预备池	具有实时数据监控和分析界面的软件

2.3 组织流程再造

推行管理团队共享成本数据库：项目团队可建立

设计团队、管理团队的成本决策联席会议机制，每周召开由设计团队、总包方管理团队、施工单位共同参与的成本分析会，针对设计变更、采购偏差等关键事项进行联合讨论，必要时可组织更高级别的专家列席参会。例如在某精细化工项目的换热器选型阶段，通过联合评审发现原设计方案中不锈钢 316L 材质的换热管在实际工况下存在性能冗余，经工艺专家验证后调整为 304 材质，同时优化管束排列间距，在满足工艺要求的前提下降低材料成本。此外，可开发权限分级的协同管理平台，设置业主方对工艺参数变更的审批权限、总包方对施工方案优化的执行权限，实现设计图纸、采购订单、施工记录等关键数据的实时交互。如当设计院上传新的管道布置图时，系统自动推送至采购部门核查材料规格匹配性，并同步触发施工单位对安装空间的合规性校验，通过三方数据穿透式共享将传统串行流程转化为并行协同模式，平均缩短设计变更响应周期。

2.4 优化仓储管理

仓储材料管理需通过明确职责分工、规范全流程操作（入库-存储-出库-回收）及优化库存控制实现高效管理。①仓储部门：负责材料日常出入库、存储环境维护，定期盘点核销材料用量，及时统计更新施工单位提交的材料用量。②采购部门：依据库存信息采购，确保材料质量与供应稳定性，配合仓储部门编制标准一致供货清单台账。③使用部门：提交领用计划、规范使用并及时归还完好材料。

通过标准化流程与跨部门协作，实现材料“安存、高转、控本”，保障生产连续并降低资金占用。

3 结论

精细化工 EPC 项目的成本监控需以工序级穿透管理为基础，通过数字化平台实时归集数据、风险因子库预判趋势、矩阵式组织保障执行三位一体实现动态控制。

参考文献：

- [1] 张宏亮, 陈伟. 化工 EPC 项目采购成本超支风险及控制策略研究 [J]. 化工进展, 2021, 40(4):2281-2288.
- [2] 刘华, 王磊. 基于 BIM 的化工工程项目全过程成本控制研究 [J]. 现代化工, 2020, 40(7):14-18.
- [3] 孙志强, 李娜. 精细化工项目设计阶段成本控制的关键因素与对策分析 [J]. 化学工程, 2019, 47(8):69-72.
- [4] 赵辉, 郭敏. 化工工程总承包 (EPC) 模式下的界面管理与成本协调 [J]. 工程管理学报, 2023, 37(1):115-120.
- [5] 周涛. 数字化转型驱动下化工建设项目成本监控新模式探索 [J]. 石油化工建设, 2022, 44(5):25-29.