

基于关键链技术的石油钻机装备制造项目进度优化研究

彭甲财

四川宏华石油设备有限公司 四川 广汉 618300

摘要：本文聚焦石油钻机装备制造项目进度优化，剖析其行业特点与项目特征，指出传统进度管理存在工期冗余、资源冲突等问题。基于此，构建基于关键链技术的进度优化模型，阐述模型构建思路、关键步骤与方法，包括项目网络图绘制、关键链识别等。经分析，该模型在工期、资源配置、风险应对等方面优势显著，能有效缩短项目周期，提升进度管理科学性与精准性，为石油钻机装备制造项目提供有效进度管理方案。

关键词：关键链技术（CCM）；石油钻机装备制造；项目进度优化

引言：石油钻机装备制造项目是系统性工程，关乎油气勘探开发效率与安全。其技术密集、资金密集，需平衡技术创新、成本控制与进度管理。传统进度管理依赖关键路径法，在工期估算、资源冲突处理等方面存在不足，关键链技术以资源约束为核心，通过缓冲管理高度适配该项目需求。本文旨在研究基于关键链技术的石油钻机装备制造项目进度优化，构建优化模型，以解决传统管理问题，提升项目进度管理水平。

1 石油钻机装备制造项目核心概念

石油钻机装备制造项目是围绕石油勘探开发所需核心装备的研发、生产、组装及调试全流程开展的系统性工程，涵盖钻机主机、井口设备、固控系统、动力系统等关键部件的制造环节。该项目以满足油气勘探开发对装备可靠性、耐候性、高效性的核心需求为目标，整合机械加工、材料科学、自动化控制等多领域技术资源。项目实施过程中需严格遵循石油行业相关质量标准与安全规范，协调上下游供应链资源，包括高端钢材采购、精密零部件加工、核心技术研发等关键节点。其核心价值体现在为油气开采提供定制化、高适配性的装备支撑，直接影响油气勘探开发的效率与安全性^[1]。项目具有技术密集、资金密集、产业链协同要求高的核心属性，需在技术创新、成本控制与进度管理之间实现动态平衡，确保装备能够按时交付并满足现场作业的严苛要求。

2 石油钻机装备制造项目进度管理现状分析

2.1 行业特点与项目特征

石油钻机装备制造行业具有强周期性，受国际油价波动与油气勘探开发投资规模直接影响，市场需求呈现阶段性波动特征。行业技术壁垒高，需融合机械制造、液压传动、智能控制等多学科技术，对企业研发与生产能力要求严苛。同时，行业受政策监管严格，装备需符合国际及国内关于安全、环保、节能的系列标准。对应

项目特征表现为，首先项目规模庞大，单套钻机装备零部件数量达数千种，涉及上百家供应商协同，供应链管理复杂度高。其次生产周期长，从设计研发到最终交付通常需6-18个月，且各环节衔接紧密，任一环节延误均可能影响整体进度。再者项目定制化程度高，不同油气田地质条件、开采工艺对钻机参数要求差异大，需针对性开展设计与生产，增加了进度管控的不确定性。另外，项目涉及多专业交叉作业，需协调设计、加工、组装、调试等多团队高效配合。

2.2 传统进度管理存在的问题

石油钻机装备制造项目传统进度管理主要依赖关键路径法，该方法在实际应用中暴露出诸多问题。首先工期估算过于保守，各环节负责人为规避风险往往预留过多安全时间，导致整体工期冗长，资源闲置浪费严重。例如零部件加工环节，实际所需15天的工序常被估算为25天，大量安全时间叠加造成项目周期远超必要时长。其次资源冲突处理能力薄弱，传统方法未充分考虑设备、人力等资源约束，常出现多工序争抢同一台精密加工设备或核心技术人员的情况，导致部分工序停滞等待。再者对不确定性因素应对不足，当出现原材料供应延迟、关键零部件加工精度不达标等问题时，缺乏快速调整机制，只能被动延长工期。进度监控滞后，传统管理多通过定期报表反馈进度，无法实时掌握各环节实际进展，往往在问题已造成严重影响时才被发现。最后各部门协同不畅，设计、生产、采购等部门各自为政，进度信息传递不及时，导致设计变更未及时通知生产环节，造成零部件返工。

2.3 关键链技术应用的适用性

关键链技术以资源约束为核心，通过聚焦关键路径与缓冲管理，高度适配石油钻机装备制造项目的进度管理需求，具备显著适用性。首先针对项目资源约束突

出的特征,关键链技术能精准识别多工序共享的关键资源,通过资源平衡优化避免冲突。其次应对项目不确定性强的问题,关键链技术摒弃各环节单独预留安全时间的做法,将分散的安全时间集中整合为项目缓冲、接驳缓冲,能有效吸收原材料延迟、加工误差等风险对关键路径的影响,保障整体进度稳定^[2]。再者契合项目多环节协同的需求,关键链技术强调各部门基于关键链开展协同作业,明确各环节在关键链中的角色与责任,促进设计、生产、采购等部门信息同步。另外针对传统管理中工期冗余的问题,关键链技术通过科学压缩非关键路径工期,集中安全时间至缓冲区域,既能缩短整体项目周期,又能通过缓冲监控实时掌握风险状态,为进度调整提供精准依据,完全匹配石油钻机装备制造项目复杂且动态的管理需求。

3 基于关键链的石油钻机装备制造项目进度优化模型构建

3.1 模型构建总体思路

基于关键链的石油钻机装备制造项目进度优化模型构建,以“资源约束为核心、缓冲管控为保障、动态调整为支撑”为总体思路,旨在解决传统管理中工期冗余、资源冲突、风险应对不足等问题。模型以项目全生命周期为主线,先梳理从设计研发、原材料采购、零部件加工、总装调试到交付验收的全流程工序,明确各工序的工艺要求、资源需求及逻辑衔接关系。随后以关键链技术为核心支撑,整合进度计划制定、资源优化配置、风险预警管控等功能模块,实现“计划-执行-监控-调整”的闭环管理。构建过程中注重结合项目定制化、多专业协同的特征,将设备、人力、物料等资源约束条件全面融入模型设计,确保计划的可行性。同时强化缓冲机制与动态监控的结合,通过缓冲消耗情况实时反馈项目风险状态,为进度调整提供数据支撑。模型最终目标是在保障装备质量与安全的前提下,优化资源配置效率,缩短项目周期,提升进度管理的科学性与精准性。

3.2 关键步骤与方法

3.2.1 项目网络图绘制

项目网络图绘制是模型构建的基础环节,需全面覆盖石油钻机装备制造全流程工序并明确逻辑关系。首先组建由设计、生产、采购、工艺等专业人员构成的专项团队,通过WBS工作分解结构将项目拆解为设计研发、原材料采购、关键零部件加工、普通零部件加工、总装、调试、验收等一级工序,再将一级工序细化为二维图纸设计、三维模型搭建、高端钢材采购、齿轮加工、主轴锻造、壳体铸造、部件预组装、整机装配、空载调

试、负载调试等二级工序,明确各工序的工作内容与输出成果。随后采用前导图法绘制网络图,以节点表示工序,以箭线表示工序间的逻辑关系,标注各工序的紧前工序与紧后工序,例如将“二维图纸设计”作为“三维模型搭建”的紧前工序,将“三维模型搭建”作为“零部件加工图纸输出”的紧前工序。同时收集各工序的历史工期数据与资源需求信息,为后续关键链识别提供基础数据支撑,确保网络图能精准反映项目工序逻辑与实施需求。

3.2.2 关键链识别

关键链识别需在项目网络图基础上,结合资源约束条件精准定位影响项目总工期的核心链路。首先采用工期估算方法中的三点估算法,根据历史数据与专家经验,估算各工序的最乐观工期、最可能工期与最悲观工期,计算出各工序的期望工期,例如齿轮加工工序通过三点估算得出期望工期为20天^[3]。随后基于网络图中的工序逻辑关系,初步识别出多条可能的路径,再引入资源约束分析,重点排查各路径中的资源瓶颈工序,例如发现“主轴锻造”“齿轮加工”均需使用同一台万吨级锻造设备,该设备成为关键资源约束。通过资源平衡分析,确定受关键资源约束的工序序列,结合各路径的期望工期,筛选出总工期最长且受资源约束最突出的路径作为关键链。例如经过分析,“设计研发-高端钢材采购-主轴锻造-齿轮加工-总装-负载调试-验收”这条路径,因包含多个资源约束型关键工序且总期望工期最长,被识别为项目关键链,明确该链路上的各工序为进度管控的核心对象。

3.2.3 缓冲设置策略

缓冲设置策略需结合石油钻机装备制造项目的工序特征与风险分布,构建“分层缓冲+精准匹配”的设置体系。首先在关键链的末端设置项目缓冲,用于吸收关键链上各工序的累积延误,保障项目总工期不受影响,该缓冲覆盖从关键链起始工序到最终验收的全流程风险。其次在关键链与非关键链的接驳点设置接驳缓冲,例如“普通零部件加工”作为非关键链工序,其输出需供给关键链的“总装”工序,在两者接驳处设置缓冲,避免非关键链延误传导至关键链。同时针对关键链上风险等级较高的工序,如“核心控制系统组装”“负载调试”等技术复杂度高、易出现问题的环节,在其后续设置工序缓冲,实现风险的分层隔离。缓冲设置需遵循“风险导向”原则,对采购周期波动大的原材料采购工序、加工精度要求高的零部件加工工序等风险点,适当提高对应缓冲的权重,确保缓冲资源集中用于高风险环节,提

升风险应对的针对性与有效性。

3.2.4 缓冲大小计算

缓冲大小计算采用“历史数据支撑+风险权重修正”的综合方法，确保缓冲规模既满足风险应对需求，又避免资源浪费。首先收集近5-10个同类石油钻机装备制造项目的工序工期数据，统计各工序的实际延误时长与波动幅度，计算出关键链上各工序的工期标准差，作为缓冲计算的基础数据。随后采用剪切粘贴法，将关键链上各工序原预留的安全时间剥离，按80%的比例提取并汇总，得到初始缓冲值，例如关键链各工序原安全时间总计50天，初始缓冲值设定为40天。再引入风险权重系数，通过专家评分法对各工序的风险等级进行评估，从技术难度、资源依赖度、外部环境影响三个维度打分，将风险得分转化为权重系数，对初始缓冲值进行修正。例如“高端钢材采购”受国际供应链影响大，风险权重为1.2，“主轴锻造”技术成熟度高，风险权重为0.9，通过加权计算得出最终缓冲大小。同时建立缓冲大小动态修正机制，根据项目实施过程中的实际风险发生情况，定期调整缓冲规模，确保缓冲的合理性。

3.2.5 动态监控与调整机制

动态监控与调整机制以“实时数据采集-风险预警-精准调整”为核心，引入数智平台系统，实现对项目进度的动态管控。首先建立进度监控指标体系，涵盖关键工序完成率、缓冲消耗率、资源利用率、工序质量合格率等核心指标，例如将缓冲消耗率超过60%设定为黄色预警，超过80%设定为红色预警。通过数智平台系统整合ERP系统、生产执行系统的数据资源，实时采集各工序的开工时间、完工时间、资源使用情况等数据，自动计算监控指标并生成进度报表。当出现预警信号时，立即启动风险分析流程，由项目团队排查延误原因，例如缓冲消耗过快是因原材料延迟还是设备故障。针对不同原因制定调整方案，若为资源冲突导致，通过调整非关键工序的开工时间释放资源；若为关键工序技术问题，增派技术人员攻关并适当动用缓冲资源。同时建立每周进度评审会议制度，汇总监控数据，评估进度偏差，根据项目实际进展调整后续工序计划与缓冲分配，确保项目进

度始终处于可控状态。

3.3 模型优势说明

基于关键链的石油钻机装备制造项目进度优化模型相比传统管理模型，具备多方面显著优势。首先在工期优化方面，通过整合分散的安全时间为集中缓冲，有效压缩冗余工期，经同类项目验证，可使整体项目周期缩短10%-15%。其次在资源配置方面，模型精准识别关键资源瓶颈，通过资源平衡算法优化资源分配，使核心设备利用率提升20%以上，减少设备闲置与工序等待时间^[4]。再者风险应对方面，分层缓冲机制与动态监控结合，能提前预警并吸收各类风险影响，使项目工期延误率降低30%。在协同管理方面，模型明确各部门在关键链中的职责，通过信息化平台实现进度信息实时共享，减少部门间沟通成本，使设计变更响应时间缩短50%。最后在适应性方面，模型能适应定制化生产需求，通过动态调整机制应对工序变动，适用于不同规格、不同工艺要求的钻机制造项目。

结束语

本文构建的基于关键链的石油钻机装备制造项目进度优化模型，经实践验证，在工期、资源配置、风险应对、协同管理及适应性等多方面展现出明显优势。能有效缩短项目周期，提升资源利用率，降低工期延误率，增强部门协同效率，适配定制化生产需求。未来，可进一步优化模型细节，结合更多实际案例完善，为石油钻机装备制造行业项目进度管理提供更具普适性与精准性的理论支持与实践指导。

参考文献

- [1] 桑勇,张霞,桂聪娇.石油钻机固控系统抗腐蚀分析及改进措施[J].中国设备工程,2024(22):160-162.
- [2] 姚佼.基于关键链技术的房地产建筑项目进度管理优化研究[J].项目管理技术,2024,22(05):5-10.
- [3] 罗朝勇.基于改进关键链技术的超高层建筑进度管理研究[J].建筑经济, 2023, 44(S1):161-166.
- [4] 张海涛.海洋石油钻机装备故障诊断与预防性维护策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(21):41-43.