

实验室施工中的项目风险管理与质量技术协同机制

黄永超

广州泛美实验室系统科技股份有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025100001

摘 要： 实验室施工项目因技术复杂性和高标准要求，面临风险管控与质量协同管理的双重挑战。本文剖析实验室施工风险特征与分类，阐述风险管理流程及方法，探讨质量技术管理的关键指标与工具。基于风险与质量的交互关系，构建协同管理机制，通过组织与技术层面的实施路径，实现风险预警与质量预控的有机统一。结合案例分析，提出政策优化、技术升级及未来研究方向，为提升实验室施工项目管理水平提供理论支撑与实践参考。

关 键 词： 实验室施工；风险管理；质量技术协同

Project Risk Management and Quality Technology Coordination Mechanism in Laboratory Construction

Huang Yongchao

Guangzhou Fanmei Laboratory System Technology Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Laboratory construction projects face dual challenges of risk management and quality coordination due to their technical complexity and high standards. This paper analyzes the characteristics and classification of laboratory construction risks, elaborates on the risk management process and methods, and explores key indicators and tools for quality and technical management. Based on the interactive relationship between risk and quality, a collaborative management mechanism is constructed. Through implementation paths at both organizational and technical levels, it achieves an organic unity of risk warning and quality pre-control. By combining case studies, policy optimization, technological upgrades, and future research directions are proposed, providing theoretical support and practical references for improving the management level of laboratory construction projects.

Keywords： laboratory construction; risk management; quality technology coordination

引言

实验室施工项目因其技术复杂性、功能特殊性和高标准要求，在风险管控与质量技术管理上面临严峻挑战。近年来，随着《建设工程质量管理条例》（2023年修订）和《“十四五”建筑业发展规划》（2021年）的深入推进，国家对施工项目的风险防控与质量协同管理提出了更高要求，强调通过技术创新和系统化管理提升工程效能。当前研究多聚焦单一领域，或侧重风险管理，或偏重质量控制，而忽视了两者的动态协同关系，导致实际施工中风险与质量脱节，影响项目整体效益。因此，构建风险与质量技术的协同机制，成为优化实验室施工管理的核心议题。本文结合政策导向与行业实践，探讨风险管理与质量技术的交互作用，并提出集成化解决方案，以期提升实验室施工项目的综合管理水平提供理论支撑和实践参考。

一、实验室施工项目风险管理的理论基础

（一）实验室施工风险的特征与分类

实验室施工风险具有多维度、高敏感性的特征，主要可分为技术风险、环境风险和管理风险三大类。技术风险源于实验室的特殊功能需求，如精密仪器的安装调试、通风系统的气密性控制等，若施工工艺不达标，可能导致设备运行异常或实验数据失真。环境风险包括场地条件限制（如振动、电磁干扰）及外部环境变化（如温湿度波动），尤其对生物安全实验室（BSL-3/4级）

的洁净度与负压维持构成挑战。管理风险则涉及跨专业协调不足、进度与成本失控等问题，例如施工方与设计方对特殊建材标准、施工工艺的理解偏差^[1]。此外，实验室的安全性要求（如防爆、防辐射、防泄露污染）进一步放大了风险后果，需通过精细化分类与动态管控降低潜在影响。

（二）风险管理流程与方法

实验室施工风险管理需遵循系统化流程，其核心环节包括风险识别与评估。风险识别阶段可采用 FMEA（失效模式与效应分析）方法，通过结构化分析潜在失效模式及其影响，特别适用于

实验室特殊设备安装等关键工序；德尔菲法则适用于专家意见收集，能有效识别隐蔽性风险。风险评估需采用定性与定量相结合的方法，定性分析通过风险矩阵评估风险等级，定量分析则运用蒙特卡洛模拟等方法计算风险发生概率及影响程度。这种综合评估方法能够全面把握实验室施工中的各类风险特征，为后续风险应对提供科学依据。

二、实验室施工质量管理核心要素

（一）质量技术管理的关键指标

实验室施工质量管理的关键指标体系包括材料标准、工艺规范和验收标准三个层级^[9]。材料标准需依据《科研建筑设计标准》（JGJ91-2019）等规范，重点控制建材的防火等级、耐腐蚀性等参数；工艺规范则针对实验室特殊需求，如洁净室施工的密封工艺、防微振基础处理等关键技术要求；验收标准需结合GB 50300系列规范制定，重点关注气密性、洁净度等核心指标。实验室功能性指标的量化要求尤为严格，通风系统需满足换气次数8-12次/小时，生物安全实验室的负压梯度应控制在-5Pa至-20Pa区间，抗震设计需达到重点设防类标准，这些量化指标直接决定了实验室的使用效能和安全性能。

（二）质量管理工具与技术

PDCA循环在实验室施工质量控制中具有系统性优势，通过计划阶段的质量目标设定、实施阶段的工艺参数监控、检查阶段的质量检测评估以及处理阶段的持续改进，实现质量管理闭环。统计过程控制（SPC）适用于关键工序的实时监控，如利用控制图分析洁净室施工的粒径浓度波动；六西格玛方法则通过DMAIC流程，可有效降低实验室通风系统的噪声超标率等质量缺陷。这些工具在实验室特殊环境施工中展现出独特的适用性，其中SPC更适用于参数化控制要求高的工序，六西格玛则更适合解决系统性质量问题，二者的协同应用能显著提升质量管理效能^[10]。

三、风险与质量协同机制的构建与实施

（一）协同机制的理论框架

1. 风险与质量的交互关系

风险事件与质量目标存在多维度的交互影响关系。施工过程中的风险事件可能通过直接或间接路径影响最终质量，例如材料供应风险可能导致替代材料的使用，进而影响实验室墙体的气密性指标；施工工艺风险可能造成洁净室焊接缝的密闭性不足，导致微粒浓度超标。风险传导机制研究表明，管理层面的风险往往最先显现，如进度压缩风险会引发工序跳步，最终转化为设备安装精度等质量问题^[11]。这种交互关系具有累积效应，单个风险事件可能触发连锁反应，使质量缺陷呈指数级增长，特别是在实验室这类对施工精度要求极高的项目中表现尤为明显。

2. 协同管理的必要性

某P3生物实验室建设项目案例显示，单一的风险管理或质量管理模式存在明显局限性。该项目初期采用传统的分段管理模式，

风险管理团队重点关注成本超支和进度延误，而质量团队仅关注最终验收指标，结果导致通风系统安装时发现管道尺寸与设计不符的重大质量缺陷，返工造成近30天的工期延误和200万元的经济损失^[12]。类似案例证明，风险与质量要素在实验室施工过程中具有不可分割性，材料选择风险可能转化为耐久性问题，施工组织风险可能演变为工艺质量问题。这种内在关联性决定了必须建立协同管理机制，通过信息共享和决策联动实现风险预警与质量预控的有机统一。

（二）协同机制的实施路径

1. 组织层面的协同

构建跨部门协同团队是实现风险与质量协同管理的组织保障。该团队应整合风险管理、质量控制和施工管理三个核心部门的专业力量，通过矩阵式组织结构打破部门壁垒。风险管理专员负责风险识别与预警，质量工程师主导标准制定与过程检验，施工管理人员统筹现场作业协调。关键是要建立联合决策机制，例如设立每日风险-质量联席会，将风险评估结果直接转化为质量控制要点^[13]。通过明确各岗位的协同职责和考核指标，形成从风险预判到质量管控的闭环管理体系，确保风险防控措施与质量验收标准在施工全过程保持动态一致。

2. 技术层面的协同

BIM技术与物联网的集成应用为风险与质量协同监控提供了技术支撑。BIM模型可模拟施工过程中的风险热点区域，并与质量验收标准进行智能比对，提前发现设计冲突或工艺缺陷。物联网传感器网络实时采集施工现场的温湿度、振动等环境参数，以及材料性能和设备运行数据，通过大数据分析预测潜在质量风险。特别在实验室洁净区域施工中，这种技术协同能实现微粒浓度的实时监测与预警，当检测值偏离标准时自动触发风险应对预案，形成从数据采集、风险分析到质量调控的智能化闭环管理^[14]。

四、案例分析与实践建议

（一）典型案例剖析

1. 案例背景

某生物安全二级实验室建设项目（建筑面积650平方米）包含2间核心实验区及配套辅助用房，采用模块化设计理念，要求空气洁净度达到ISO 14644-1标准8级，压力梯度实现-10Pa至-5Pa动态控制，围护结构泄漏率控制在1.5%以内（采用烟雾法检测）。该项目总工期5个月，投资1800万元，采用设计-施工总承包模式，重点控制彩钢板拼接密封工艺、直径150-300mm风管综合排布以及应急系统响应时间（≤1秒）等关键环节。施工过程中面临空间利用率高（达85%）、管线排布密集（走廊区域占用净空50%）等技术难点，通过建立24小时快速响应机制确保工程顺利推进。竣工检测数据显示，核心实验区压差控制合格率98.2%，气密性性能优于标准要求25%，为同类规模实验室建设提供了可借鉴的工程实践案例。

2. 协同机制的应用效果

实施风险与质量协同管理后，项目取得显著成效。风险预警

系统提前识别并规避了23项潜在风险，其中材料替代风险8项，工艺偏差风险15项，规避直接经济损失约680万元。质量指标方面，核心区域密闭性检测一次合格率从传统项目的82%提升至96%，送排风系统调试周期缩短40%，最终验收时的气溶胶泄漏率控制在0.18%以下，优于设计标准。通过对比同期未采用协同机制的项目数据，发现返工率降低55%，工期延误减少62%，证明协同管理在保障施工质量和控制项目风险方面具有显著优势。

（二）行业实践建议

1. 政策与标准优化

现行《建设工程项目管理规范》GB/T50326-2017需针对实验室特殊工程补充风险与质量协同管理的专项条款，建议在修订中增设“科研建筑风险质量一体化控制”章节。行业标准制定应建立风险等级与质量指标的对应矩阵，如将三级以上风险事件与关键质量控制点强制关联。参考FDA cGMP规范中的质量风险管理框架，构建适用于我国实验室建设的QRM标准体系，明确风险识别频率与质量验证节点的匹配要求。通过修订《实验室建设验收规范》，将风险评估报告列为竣工验收的必要文件，实现风险管理程序与质量验收流程的制度化衔接^[8]。

2. 技术升级方向

建议在实验室施工中部署基于机器学习的风险-质量预测系统，通过训练历史项目数据建立多参数关联模型。具体可开发三类智能模块：材料缺陷预测模块通过扫描进场材料的物联网检测数据，提前48小时预警潜在质量问题；工艺偏差预警模块利用BIM+AR技术实时比对施工状态与标准工艺的三维偏差；环境风险推演模块结合气象数据和洁净度监测值，模拟未来72小时环境参数变化对密闭性的影响。这类AI工具应具备持续学习能力，每完成一个项目自动更新算法参数，逐步提升对特殊实验室施工风险的预测准确率至90%以上。

（三）未来研究方向

1. 理论深化

动态风险评估与质量控制的耦合模型构建是理论深化的关键

方向。该模型需突破传统静态评估局限，建立风险传导与质量波动的数学映射关系^[9]。重点研究施工参数实时变化对最终质量指标的敏感性影响，开发基于贝叶斯网络的风险-质量关联算法。模型应能自动识别关键控制链，如材料含水率波动对生物实验室墙体气密性的递进式影响路径。通过引入施工过程数字孪生技术，实现风险概率分布与质量达标率的动态可视化呈现，为协同决策提供量化依据。理论突破点在于揭示风险事件与质量缺陷之间的非线性作用机制，建立多参数耦合作用下的预警阈值体系。

2. 实践拓展

针对化学、物理、生物三类实验室的差异化特征，需开发分类协同策略。化学实验室重点构建腐蚀性物质防护与通风系统的风险-质量联动机制，建立材料耐腐蚀等级与设备使用寿命的对应关系模型。物理实验室侧重振动敏感设备的微扰动控制策略，将地基沉降风险与仪器安装精度标准动态关联。生物实验室需完善生物污染防控的质量追溯体系，开发气溶胶泄漏风险与洁净度指标的实时反馈系统^[10]。各类实验室应制定特征参数数据库，如化学实验室的挥发性有机物浓度阈值、物理实验室的振动加速度限值等，为差异化协同提供数据支撑。

五、总结

实验室施工项目的风险管理与质量技术协同机制研究，从理论与实践层面为行业提供了有益的探索与借鉴。通过对实验室施工风险特征的深入剖析，结合风险管理流程与方法的系统阐述，明确了风险识别、评估及应对的科学路径。在质量技术管理方面，聚焦关键指标与管理工具，构建了精准的质量管控体系。协同机制的构建与实施，从组织架构与技术应用两个维度，实现了风险与质量的有机整合，通过案例分析进一步验证了协同管理的显著优势。未来，应持续深化理论研究，拓展实践应用，推动实验室施工项目管理水平迈向更高台阶。

参考文献

- [1] 夏为威. 香港科技大学声学测试实验室施工技术要点及质量控制 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(5): 56-58.
- [2] 谢仕丽. 实验室项目建设质量控制研究 [D]. 昆明理工大学, 2022.
- [3] 王学彦, 谭春腾. 新建实验室项目施工质量管控 [J]. 科技资讯, 2018, 16(33): 135+137.
- [4] 苏雪妮. 实验室基础设计以及施工过程控制浅析 [J]. 轻工科技, 2017, 33(09): 94-95.
- [5] 王志伟, 袁明利, 代超, 等. 临床实验室规划设计、建设施工的基本原则 [J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(07): 119-121+124.
- [6] 郭汉丁, 张印贤. 既有建筑节能改造项目风险共担与激励协同机理研究概况 [J]. 项目管理技术, 2020, 18(12): 9.
- [7] 李淑珍. 既有建筑抗震加固改造设计项目的风险管理研究 [D]. 中国科学院大学 (工程管理与信息技术学院), 2016.
- [8] 马新朝, 邢洋. 如何有效做好施工单位实验室的监督检查工作 [C]// 全国理化测试学术研讨会暨《理化检验》创刊50周年大会论文集. 2012: 195-198, 201.
- [9] 王学彦, 谭春腾. 新建实验室项目施工质量管控 [J]. 科技资讯, 2018, 16(33): 135, 137.
- [10] 叶世龙. 高标准实验室独立接地施工技术 [J]. 安装, 2023, (12): 32-35.