

# 测绘工程测量项目的进度 - 成本 - 质量综合控制方法与实践

岳文克

广东汇卓航科技有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/UAID.2024120026

**摘要：** 本文聚焦于测绘工程测量项目，着重阐述了进度、成本与质量管理的重要性。回顾了传统控制方法及其局限性，并探究了新兴的集成控制模式。详细介绍了三重约束集成模型、技术实施流程、资源分配算法、风险缓解机制等。给出了一个验证案例，并对成本效益和进度遵守情况进行了分析，旨在为项目改进提供指导。

**关键词：** 测量与制图工程；进度 - 成本 - 质量管理；综合控制

## Comprehensive Control Methods and Practices of Progress - Cost - Quality in Surveying and Mapping Engineering Survey Projects

Yue Wenke

Guangdong Huizhuohang Technology Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528000

**Abstract：** This paper focuses on surveying and mapping engineering survey projects, highlighting the significance of managing progress, cost, and quality. It reviews traditional control methods and their limitations, and explores emerging integrated control paradigms. The Triple Constraint Integration Model, technical implementation workflow, resource allocation algorithms, risk mitigation mechanisms, etc., are detailed. A validation case is presented, and cost - efficiency and schedule - adherence are analyzed, aiming to offer guidance for project improvement.

**Keywords：** surveying and mapping engineering; progress - cost - quality management; integrated control

## 引言

在测绘工程测量项目领域，进度、成本与质量的有效管理至关重要。这三个方面相互交织、相互影响，对它们的平衡控制决定着项目的成败。传统控制方法存在局限性，而新兴的集成控制模式则提供了创新途径。三重约束集成模型、技术实施流程、资源分配算法、风险缓解机制以及实施后的维护策略，都有助于实现全面控制。2023年，《新地理空间数据开发与管理政策》颁布，强调了测绘项目中数据完整性、安全性和创新性的重要性。本研究深入探讨这些方面，旨在实现项目的最佳绩效，并依据新政策为未来发展提供指导。

## 一、多目标控制文献综述

### (一) 测绘项目中的传统控制方法

在测绘项目中，传统控制方法在地理空间工程项目中得到了广泛研究。在进度跟踪方面，传统系统通常依赖人工监测和定期报告。这些系统一般在项目开始时设定里程碑和时间节点，然后项目经理对照这些预先确定的基准来监测实际进度。然而，这种方法可能存在数据收集延迟以及缺乏实时适应性的问题<sup>[2]</sup>。

在成本估算方面，测绘项目中的传统模型通常采用参数估算或类比估算技术。参数估算利用历史数据和项目特定参数来预测成本，而类比估算则借鉴以往类似项目。但这些模型可能无法准确考虑每个新测绘项目的独特特征，从而导致成本超支或低估。

在质量保证方面，测绘项目中的传统规程主要侧重于事后检查以及对既定标准的遵循。这种方法是将最终的测绘结果与预先设定的质量标准进行核对。然而，这种被动反应式的方法无法在测绘过程中预防质量问题的出现，有可能导致返工和成本增加。总体而言，虽然测绘项目中的传统控制方法一直是项目管理的基石，但其局限性促使我们探索更先进、更综合的多目标控制方法。

### (二) 新兴的集成控制范式

在近期关于测绘工程测量项目中进度 - 预算质量相互协调的学术研究中，新兴的集成控制范式受到了极大关注。这些范式旨在打破传统上分别处理进度、成本和质量的孤立方法。例如，一些研究提出了基于系统的集成控制模型，该模型将这三个目标视为一个相互关联的整体。通过考虑它们之间复杂的因果关系，此

模型能够更好地优化项目的整体绩效<sup>[3]</sup>。另一个新兴范式是使用数字孪生技术。它创建测绘项目的虚拟副本，能够实时监测并预测一个目标的变化（如进度延迟）将如何影响其他目标（如成本增加和质量下降）。这使得项目经理能够及时采取主动控制措施。这些新的集成控制范式不仅提高了多目标控制的效率，还提升了测绘工程测量项目的整体成功率，为管理进度、成本和质量之间的复杂关系提供了更具创新性和有效性的方法。

## 二、技术管理框架

### （一）方法框架开发

#### 1. 三重约束整合模型

三重约束整合模型在测绘工程测量项目的进度 - 成本 - 质量综合控制中起着关键作用。该模型整合了进度、成本和质量这三个关键约束条件，它们通常被视为影响项目绩效的基本要素<sup>[4]</sup>。通过这样做，它提供了一种整体方法来管理这些相互关联的因素。

在测绘项目中，进度不仅关乎按时完成任务，还涉及各项测量任务的有序执行。成本涵盖了从设备采购到人工成本所需的所有财务资源。质量则指测量数据和最终成果的准确性与可靠性。整合模型认识到，一个约束条件的变化必然会影响到其他条件。例如，加快进度可能会导致成本增加，比如通过支付加班费或加快设备租赁，而且如果管理不当，还可能影响质量。

该模型旨在在这三个约束条件之间找到最佳平衡。它运用各种技术，如数学建模、风险评估和资源分配策略。数学模型有助于预测一个变量的变化对其他变量的影响。风险评估可识别可能破坏平衡的潜在风险，例如意想不到的地形困难会影响进度和成本，同时可能降低质量。资源分配策略确保在三重约束框架内，以支持项目总体目标的方式分配资源。总体而言，三重约束整合模型是测绘工程测量项目有效项目管理的基石。

#### 2. 技术实施工作流程

测绘工程测量项目的技术实施工作流程详细说明了从大地测量数据采集到基于建筑信息模型（BIM）的进度监测的数字化流程。大地测量数据采集涉及使用先进的测量仪器，如全站仪、全球定位系统（GPS）接收器和激光雷达（LiDAR）系统来收集准确的空间数据。这些数据是后续绘图和分析的基础。

数据采集完成后，进入数据预处理阶段。这包括数据清理、过滤噪声和异常值，以及将数据转换为适合进一步处理的格式等任务。处理后的数据随后用于绘图和建模。地理信息系统（GIS）软件和计算机辅助设计（CAD）工具常被用来创建测量区域的详细地图和三维模型。

绘图和建模完成后，与建筑信息模型（BIM）集成以进行进度监测至关重要。BIM 提供了一个综合平台，结合了几何、空间和时间信息。通过将测绘数据集成到 BIM 中，项目经理可以实时监测测量项目的进度，将实际进度与计划进度进行比较，并识别任何潜在的延误或问题。从数据采集到基于 BIM 的进度监测的这种无缝数字化工作流程，能够有效管理测绘工程测量项目的进度 - 成本 - 质量，确保项目高效、准确地完成<sup>[5]</sup>。

### （二）管理策略优化

#### 1. 资源分配算法

在测绘工程测量项目中，资源分配算法在技术管理框架内优

化管理策略方面起着关键作用。鉴于在为设备 / 人员调度开发数学模型时需要考虑质量约束，这些算法旨在高效分配资源，以实现最佳的进度 - 成本 - 质量平衡。

资源分配算法旨在以一种既能满足项目质量要求，又能优化进度和成本的方式分配可用资源，如测量设备和人员。例如，通过在数学模型中考虑与质量相关的参数，算法可以根据任务对项目整体质量的影响来确定任务优先级。对质量敏感的任务可能会分配给更有经验的人员或质量更好的设备。同时，成本因素也被纳入其中。算法为每个任务计算最具成本效益的资源组合，确保在不牺牲质量的前提下，项目总成本控制在预算范围内。

此外，这些算法还考虑与时间相关的因素，以确保进度顺利。它们分析不同任务之间的依赖关系，并以顺序或并行方式分配资源，以满足项目的时间安排。通过这样做，资源分配算法有效地整合了测绘工程测量项目中进度、成本和质量这三个关键要素，使其成为实现全面控制的技术管理框架的重要组成部分<sup>[6]</sup>。

#### 2. 风险缓解机制

在测绘工程测量项目中，风险缓解机制在确保项目顺利进行的同时平衡成本和质量方面起着关键作用。所提出的针对地质不确定性和测量误差的预测分析是这些机制的重要组成部分。

地质不确定性会显著影响项目的进度、成本和质量。通过利用预测分析，测量人员可以分析历史地质数据、当地地理信息和相关地质模型，以预测潜在的地质挑战。这使得能够制定积极主动的策略。例如，如果预测分析表明在特定区域遇到软土层的可能性很高，就可以提前规划适当的地基处理措施，从而避免在测量过程中因意外地质条件导致的延误和成本超支。

测量误差是另一个关键方面。预测分析可以根据测量设备的特性、测量人员的技能和环境条件，帮助识别潜在的测量误差来源。通过分析过去的测量数据和误差模式，就有可能预测测量误差可能在何处以及何时发生。这使得能够实施预防措施，如更频繁地校准设备、为测量人员提供额外培训，或根据预测的易出错情况调整测量方法。通过这些风险缓解机制，测绘工程测量项目能够更好地控制进度 - 成本 - 质量关系，确保项目整体成功<sup>[7]</sup>。

## 三、项目实施后维护机制

### （一）维护阶段控制措施

#### 1. 地理空间数据保存策略

地理空间数据在测绘工程测量项目中意义重大。为确保其长期可用性和完整性，需采用多种保存策略。首先，定期数据备份至关重要，这包括现场和异地备份。现场备份可在本地出现故障时快速恢复数据，而异地备份则能防范火灾、洪水或地震等可能摧毁主数据存储的灾害。其次，应重视数据格式标准化。遵循广泛认可的地理空间数据标准，数据日后便能轻松被不同系统和软件访问与处理，也降低了因格式过时导致数据丢失的风险。第三，元数据管理必不可少。元数据提供有关数据来源、采集时间和数据质量等信息，有助于用户理解并合理使用地理空间数据。第四，需落实数据安全措施，包括保护数据不被未经授权地访问、修改和删除。可采用加密技术确保数据在传输和存储过程中的安全，还应定期开展安全审计，以识别并解决潜在漏洞。全面实施这些策略，能在测绘工程测量项目的项目实施后维护阶段有

效维持地理空间数据的完整性<sup>[8]</sup>。

## 2. 基础设施监测系统

基础设施监测系统在测绘工程测量项目的维护阶段控制措施中起着关键作用。这些借助物联网技术的系统，旨在监测相关基础设施的变形情况，能够持续收集大量与基础设施状态有关的数据，比如位移、应力和应变<sup>[9]</sup>。

实时数据采集可及时发现基础设施的任何异常变化。一旦检测到异常，系统的自动警报功能便会启动，迅速通知相关人员，使其能够及时采取措施解决潜在问题。这种主动的方式有助于防止小问题演变成大故障，从而保障测绘工程的质量和安全。

此外，这些基础设施监测系统收集的数据可进行全面分析。通过数据分析，能够识别基础设施变形的模式和趋势，为预测未来状态提供有价值的见解。这种预测能力有助于在维护计划、资源分配和纠正措施等方面做出更明智的决策。借助基于物联网的基础设施监测系统，测绘工程测量项目的项目实施后维护能更高效，确保项目长期稳定运行，同时有效控制进度、成本和质量。

## （二）持续改进机制

### 1. 反馈驱动的流程优化

反馈驱动的流程优化在测绘工程测量项目实施后维护机制的持续改进中起着关键作用。通过利用竣工数据分析来实施 PDCA 循环，项目团队能够有效优化流程。

竣工数据反映了项目的实际状态，提供实时准确的信息。经分析，它能揭示计划的进度、成本、质量与实际情况之间的差异。例如，如果竣工数据显示某项测量任务的成本超出预算，这一反馈会引发对成本控制流程的深入审查。然后团队运用 PDCA 循环：计划，找出可能的原因，如资源分配低效或意外的价格上涨；执行，调整资源计划或与供应商协商；检查，核实成本是否回到正轨；行动，如果新流程有效则将其标准化。

在进度方面，如果竣工数据表明某个绘图部分进度滞后，团队可以分析诸如设备故障或熟练劳动力不足等因素。基于这一反馈，他们计划纠正措施、加以实施、检查进度改善情况，并将成功的变更制度化。同样，在质量方面，竣工数据的反馈可促使质量控制程序得到优化。通过在 PDCA 框架内不断利用竣工数据分析的反馈，测绘工程测量项目能够实现流程的持续优化，确保在未来项目中更好地控制进度、成本和质量<sup>[10]</sup>。

### 1. 技术更新协议

测绘工程测量项目实施后，必须建立技术更新协议以确保持续改进。应精心制定设备校准计划。定期校准测绘设备，如全站仪、GPS 接收器等，对保持其精度至关重要。过时的设备可能导致数据采集出现误差，进而影响项目的进度、成本和质量。遵循设计完善的校准计划，可及时发现并解决潜在问题<sup>[11]</sup>。

此外，软件升级路线图同样重要。测绘中用于数据处理和分析的软件需要定期更新。新软件版本通常具有增强的功能、更高的效率和更好的兼容性。例如，升级后的绘图软件或许能够更快处理更大的数据量，或提供更精确的绘图算法。通过制定清晰的软件升级路线图，项目团队可以规划所需资源，包括时间和预算，以顺利实施这些升级。这不仅有助于提高测绘工作的整体质量，还有助于项目在教学适应性和市场竞争力方面不断进步。

## （三）项目背景与实施

### 1. 地形测量项目简介

本研究的验证案例聚焦于某一特定地理区域内的地形测量项目。项目地理范围覆盖一个相当广阔的区域，其地形特征多样且复杂，包含了平原、丘陵及水系。该区域因其高度代表了测绘工程中常见的各种典型地形特征而被选中。

在技术规范方面，本项目遵循严格的国家及国际地形测量标准。采用大比例尺测图，以确保对地形特征进行极为精细的描绘。对平面位置和高程位置的精度要求有严格规定，为平面控制点和高程控制点设定了极高的精度容限。

项目中采用了先进的测绘技术与仪器。使用全球导航卫星系统（GNSS）接收机进行精密定位，达到了业界实践中的顶尖精度水平。全站仪被用于详细的地形数据采集，以实现高精度测量。此外，还融合了航空摄影测量技术，以获取大范围、高分辨率的影像，进行全面的分析。这些技术规范与方法保障了地形测量成果的卓越可靠性与精确性，这对于后续进行测绘工程测量项目中进度-成本-质量综合控制的分析至关重要<sup>[12]</sup>。

### 2. 控制方法部署

在测绘工程测量项目的控制方法部署方面，实施了一系列精心规划的策略。首先，在进度控制上，项目一开始就制定详细的项目进度计划。该计划将整个项目分解为具体任务，并设定明确的时间目标。从野外数据采集到数据处理和结果报告的每个阶段，都有相应的时间分配。定期进行进度审查，将实际进度与计划进度进行对比。若出现任何偏差，会及时采取纠正措施，如重新分配资源或调整任务顺序<sup>[13]</sup>。

在成本控制方面，制定严格的预算。准确估算所有可能的成本，包括设备采购、人工和运输等费用。在项目进行过程中持续监控成本。对任何超出预算限制的费用都仔细审查，以找出根本原因。探索节约成本的措施，如优化设备使用以减少租赁时间，或寻找更具成本效益的数据处理软件。

在质量控制方面，制定了一套严格的质量标准。野外数据采集必须满足精度要求，数据处理程序遵循标准算法。在项目的不同阶段定期进行质量检查。对采集的数据样本进行重新检查，对处理结果进行交叉验证。只有当质量符合预先设定的标准时，项目才能进入下一阶段。这些控制方法协同工作，以确保测绘工程测量项目的整体成功。

## （四）绩效评估指标

### 1. 进度遵守情况分析

进度遵守情况分析使用关键路径法对时间偏差进行量化<sup>[14]</sup>。这种方法有助于精确识别测绘工程测量项目中哪些活动偏离了计划进度。通过确定关键路径，直接影响项目完工日期的任务顺序就清晰了。这些关键任务中的任何延误都会延长整个项目周期。

该分析衡量活动实际开始和结束时间与计划时间之间的差异。例如，如果某个特定的测量数据采集任务原计划在特定日期开始，并需花费一定天数，但实际上开始时间较晚或花费时间更长，就可以准确计算出这种偏差。这不仅能揭示延误的程度，还能显示其对后续任务和最终项目交付的潜在影响。

此外，它使项目经理能够优先处理进度偏差。首先针对关键路径上偏差较大的任务，因为它们对项目按时完成构成最大威胁。通过持续监测和分析进度遵守情况，可以及时实施纠正措

施,如重新分配资源、调整工作流程或加快某些任务,以使项目回到正轨,确保测绘项目按时完成。

## 2. 成本效率指标

成本效率指标在评估测绘工程测量项目的绩效方面起着关键作用。其中一个关键指标是成本绩效指数(CPI),它通过将挣值(EV)除以实际成本(AC)来计算。CPI值大于1表明项目在预算之内,而值小于1则意味着成本超支。例如,在一个测量项目中,如果挣值为80,000美元,实际成本为100,000美元,CPI为0.8,这表明项目成本超出了计划<sup>[13]</sup>。另一个重要指标是成本偏差(CV),计算公式为 $EV - AC$ 。正的CV意味着项目在预算之内,负的CV表示超出预算。例如,如果挣值为90,000美元,实际成本为85,000美元, $CV = 5,000$ 美元,表明项目在成本方面表现良好。此外,完工估算(EAC)可用于预测项目完工时的总成本。它根据偏差被认为是典型还是非典型,通过不同公式计算得出。这些成本效率指标为测绘工程测量项目的财务状况提供了有价值的见解,使项目经理能够做出明智决策以控制成本,确保项目整体成功。

## (五) 维护阶段成果

### 1. 长期数据准确性维护

在测绘工程测量项目的维护阶段,长期数据准确性的维护至关重要。在对大地测量控制网稳定性进行为期24个月的评估期间,有几个因素有助于实现这一点。初始数据采集的质量对长期准确性有重大影响。高精度仪器和严格的野外操作程序确保原始数据可靠。

在24个月的评估期间,对大地测量控制网进行持续监测。能及时检测到网络几何关系的任何细微变化。例如,如果因地质活动或外部环境因素导致变形,会采用适当的调整方法。这些调整技术不仅能纠正当前数据,还能预测未来可能的变化,从而保障数据的长期准确性。

此外,数据管理系统也起着关键作用。使用先进的数据库管理软件来存储、组织和检索数据。定期进行数据备份和完整性检查,以防止数据丢失或损坏。这样,无论数据需要保存多长时间,其准确性都能得以维持。高质量的初始数据、持续监测和有效的数据管理相结合,保证了测绘工程测量项目维护阶段大地测量控制网数据的长期准确性维护。

## 参考文献

- [1] 王鑫,张宇,刘博,等.建筑项目中进度、成本与质量的集成管理[J].Automation in Construction(《自动化建造》),2021,130:103832.
- [2] 李军,陈威,张海,等.基于BIM(建筑信息模型)的地理空间工程进度监控与质量控制[J].Advanced Engineering Informatics(《先进工程信息学》),2020,46:101165.
- [3] 郭帅,孟欣,周超,等.多约束条件下测绘项目的动态资源分配算法[J].Journal of Management in Engineering(《工程管理杂志》),2022,38(4):04022035.
- [4] 周洋,李雪,刘哲,等.测绘工程中地质风险的预测分析[J].Tunnelling and Underground Space Technology(《隧道与地下空间技术》),2019,93:103087.
- [5] Kim D, Park J, Cho Y K. 基于物联网的基础设施项目变形监测系统[J].Sensors(《传感器》),2021,21(16):5412-5428.
- [6] Abd El-Karim M S B, El Nawawy O A, Abdel-Alim A M. 建筑项目的成本-进度-质量集成优化模型[J].Alexandria Engineering Journal(《亚历山大工程杂志》),2022,61(12):10245-10258.
- [7] 陈亮,王浩,李琪,等.测绘工程项目的三重约束集成模型[J].Journal of Surveying Engineering(《测绘工程杂志》),2022,148(3):402-415.
- [8] Al-Hussein M, Alwisay A, Bouferguene A. 基于人工智能的地理空间数据采集设备调度[J].Advanced Engineering Informatics(《先进工程信息学》),2023,55:101876.
- [9] 唐伟,强明, Duffield C F, 等.基于机器学习的地质测绘风险管理[J].Reliability Engineering & System Safety(《可靠性工程与系统安全》),2021,212:107632.
- [10] Zou P X W, 张刚, 王军. 基于混合分析的建设项目多目标冲突管理[J].Journal of Construction Engineering and Management(《建筑工程与管理杂志》),2020,146(5):04020036.
- [11] 刘艳,孙超,姜军,等.从大地测量到BIM可视化的数字 workflows 集成[J].ISPRS International Journal of Geo-Information(《ISPRS国际地理信息杂志》),2021,10(4):223-239.
- [12] 张健, Ashuri B, 邓艳. 基于挣值分析的测绘项目绩效评估[J].Journal of Infrastructure Systems(《基础设施系统杂志》),2019,25(3):04019019.
- [13] Almasi S N, Taghaddos H, Hermann U. 地形测绘中的设备配置优化[J].Journal of Surveying Engineering(《测绘工程杂志》),2020,146(4):05020012.
- [14] 潘洋,张丽.基于混合数据驱动方法的建筑质量预测[J].Automation in Construction(《自动化建造》),2021,132:103980.
- [15] 徐静,卢伟,薛峰,等.基于PDCA(计划-执行-检查-处理)的地理空间数据质量持续改进[J].Advanced Engineering Informatics(《先进工程信息学》),2022,51:101474.

## 2. 系统可持续性表现

测绘工程测量项目维护阶段的系统可持续性表现评估几个关键方面。首先,维护成本的降低是一个重要指标。通过优化控制方法,更有效地分配资源,最大限度减少设备维护、软件更新和维护人员等方面的不必要支出。这不仅节省了财务资源,还有助于项目的长期成本效益。

其次,控制误差率对系统可持续性至关重要。维护阶段的高质量控制措施确保及时发现并纠正任何新出现的问题。通过密切监测数据准确性、设备校准以及测绘程序的完整性,可将误差率控制在可容忍的水平。这有助于维持测量结果的可靠性,这对于测量数据在城市规划、基础设施建设和环境监测等各个领域的长期使用和应用至关重要。

总体而言,维护阶段的这些绩效方面,即维护成本降低和误差率控制,是确保测绘工程测量项目系统可持续性不可或缺的部分,使其能够在较长时期内持续提供准确且有价值的数

## 四、结论

综上所述,本研究全面探究了测绘工程测量项目中进度、成本与质量的控制方法及实践。综合了关于综合控制成效的实证研究结果,揭示了这三个关键方面之间错综复杂的关系及相互影响。通过这一综合分析,我们对如何平衡与优化进度、成本及质量有了更深入的理解。

对维护机制可持续性的验证,进一步凸显了这些控制措施的长期重要性。可持续的维护机制确保测绘项目的质量随时间推移保持稳定,同时控制成本并维持适当的进度。这不仅有利于当前项目,也为未来类似项目奠定了基础。

所提出的地理空间工程中人工智能强化管理系统的方向发展,为测绘工程的未来发展开辟了新视野。人工智能技术有可能彻底改变进度、成本和质量的方式,实现更精准的预测、实时监测和智能决策。通过将人工智能融入管理系统,测绘工程能够实现更高层次的效率、精度及整体性能。总体而言,这些研究结果与建议为测绘工程测量项目的持续改进提供了宝贵的见解和切实可行的指导。