

Development and Analysis of Information-based Collaborative Construction Management Strategies for Super-large Integrated Transportation Hubs

Yi Qin

Shanghai Construction Group Co., Ltd., Shanghai 200080

Abstract

Construction management of super-large integrated transportation hubs faces significant complexity, challenging traditional methods for efficient coordination. Based on a mega airport hub project, this paper analyzes prominent difficulties in process coordination, monitoring integration, material traceability, safety training, labor management, and traffic organization. An information-based collaborative construction management platform was developed, leveraging BIM, IoT, and other technologies. Hardware-wise, an integrated command center was established, unifying six functions: traffic, drainage, resource dispatching, emergency response, daily supervision, and aviation security control. Software-wise, innovative modules were implemented, including smart safety management and quality management. Practical application demonstrates that this strategy significantly enhances project management precision and intelligence, ensuring safety, quality, and schedule control, offering a valuable reference model for similar large-scale projects.

Keywords: *Information-Based Collaborative Construction Management, Smart Construction Site, Intelligent Personnel Safety Control, Concrete Material Tracing*

特大综合交通枢纽信息化协同施工管理策略构建与分析

秦毅

上海建工集团股份有限公司，上海 200080

摘要: 大型综合交通枢纽工程施工管理复杂度高，传统模式难以满足高效协同需求。本文以某特大型空港枢纽工程为研究背景，深入剖析了其在工序协调、监测统筹、材料追溯、安全教育、劳务管理及交通组织等方面面临的突出难题。针对性地构建了基于 BIM 与物联网等信息化技术的协同施工管理平台，通过硬件层面建立集成化指挥中心，以及软件层面开发安全管理和质量管理等创新应用模块。实践表明，该信息化协同策略有效提升了项目管理精细化、智能化水平，保障了工程安全、质量与进度，为同类大型工程提供了可借鉴的管理范式。

关键词: 信息化协同施工管理；智慧工地；人员安全智能化管控；混凝土物料追溯

1 引言

在全球化与城市化进程加速的当下，大型工程建设项目如机场、综合交通枢纽等特大型工程日益增多，这类工程规模宏大、技术复杂且参建方众多。其施工管理涵盖建筑、结构、机电安装、绿化等多专业领域，各专业施工在时间和空间上高度交叉，稍有不慎就会引发工期延误、成本超支、质量缺陷等风险^[1]。因此，

如何实现项目高效运作，激发项目潜能，降本增效，成为工程管理领域的关键课题^[2]。

近年来，随着 5G、物联网、大数据等前沿信息化技术的蓬勃发展，工程建设行业迎来了数字化转型的浪潮。将信息化手段深度融入建设工程项目，实现信息化与施工管理的协同发展，已成为行业发展的必然趋势。信息化技术为设备资源管控、质量监控、安全管理等多方面提供了强大技术支撑，例如通过 BIM 模型进行三维可视化进度模拟，借助物联网设备实时收集施工现场数据，利用大数据分析优化施工方案等，有效提升了施工管理的精细化、智能化水平，从而保障施工进度、降低施工成本、提升工程质量与安全性能^[2]。

本文以特大型枢纽建设项目为研究背景，深入探讨信息化技术在该项目中的应用实践，详细阐述信息化协同施工管理策略的构建与实施过程，旨在为今后大型项目建设提供有益的参考借鉴，同时为施工企业优化管理方式、提升核心竞争力提供理论依据和数据支持，助力工程建设行业迈向智能化、高效化、协同化的新阶段。

2 信息化协同施工管理需求分析

某特大空港综合枢纽工程集航站楼、轨道交通换乘枢纽、停车设施、道路等功能设施，一体化构型工程项目总占地面积约为 150 万 m²。地下工程建筑面积 64 万 m²，基坑面积近 40 万 m²，其中核心区基坑面积约 29 万 m²。轨交基坑面积 13 万 m²，普遍挖深 30m、端头井最深 37m；值机厅基坑面积 7 万 m²，挖深 20m。深基坑围护为地下连续墙，总长 6200 延米；外侧 TRD 止水帷幕，总长 4200 延米。浅层卸土放坡 3.5m，轨交基坑采用 6~8 道混凝土支撑，值机厅基坑采用 3 道混凝土支撑。车库以及深坑外地道、箱涵、共同沟等浅坑，采用排桩或工法桩围护，围护总长 8km。土方开挖共 800 多万方。

如此庞大且复杂的工程，带来了诸多技术难点和管理难点，对信息化协同施工管理提出了迫切需求：

（1）工艺工序难管理

项目涉及 17 种超深围护体系，不同围护体系的施工工艺和工序存在显著差异，且各工序之间相互关联、相互制约。传统管理模式下，各专业施工队伍往往按照自身经验和技术要求进行作业，缺乏有效的协调与沟通，容易导致工序衔接不畅、施工进度受阻等问题。例如，在深基坑围护施工中，地下连续墙的成槽、钢筋笼吊放、混凝土浇筑等工序，与 TRD 止水帷幕的施工在时间和空间上存在交叉，若不能进行精细化的工序管理，可能会引发止水帷幕破坏、墙体渗漏等质量问题，进而影响整个基坑的稳定性。

（2）监测数据难统筹

基坑工程作为特大型空港综合枢纽工程的关键环节，其安全性和稳定性至关重要。因此，在施工过程中设置了大量的基坑监测点和降水监测点，监测频次高，产生数据量庞大。然而，这些监测数据分散在不同的监测设备和系统中，数据格式不统一，缺乏有效的整合与分析手段。这使得项目管理人员难以实时掌握基坑的变形情况、地下水位变化等关键信息，无法及时准确地对基坑安全状况进行评估和预警，从而增加了基坑施工的风险。

（3）用料部位难追溯

混凝土作为工程施工的主要材料之一，其用量大、供应批次多。在特大型空港综合枢纽工程中，混凝土用料下料计划复杂，涉及多个浇筑部位和不同的强度等级要求。同时，泵车调度困难，由于施工现场空间有限、交通组织复杂，泵车的进场、就位和作业时间难以精确控制。此外，混凝土小票统计工作繁琐，传统的人工统计方式容易出现错漏，导致材料用量无法准确追溯到具体的施工部位，给材料成本控制和质量追溯带来极大挑战。

（4）安全教育难普及

特大型空港综合枢纽工程的施工环境复杂，存在软土地基、不停航施工等诸多高风险因素。这要求对施工人员进行系统全面且针对性强的安全教育培训，以提高其安全意识和操作技能。然而，在实际施工过程中，高峰期有 4800 人同时作业，人员流动性大、文化素质参差不齐，使得安全教育难以覆盖到每一个人，现场

安全管理难度剧增。部分施工人员可能因缺乏充分的安全培训，在面对复杂施工环境时，容易出现违规操作行为，从而引发安全事故。

（5）劳务人员难管理

高峰期 4800 人的同时作业，涉及多个劳务队伍的协调与管理。劳务人员的考勤管理、工资发放、技能培训、生活区管理等工作量巨大且复杂。传统劳务管理模式，信息传递不及时、不准确，容易引发劳务纠纷，影响施工进度和现场稳定。如考勤记录不清晰可能导致工资核算不准确，进而引发劳务人员的不满和投诉；不同劳务队伍之间的技能水平差异较大，若不能及时进行针对性培训和技能鉴定，可能会影响工程质量。

（6）交通组织难协调

特大型空港综合枢纽工程施工现场车流量大，且存在大量的交叉作业区域。不同类型的车辆，如混凝土运输车、渣土车、材料运输车等，在现场的行驶路线、停放位置和作业时间需要进行科学合理的规划与协调。然而，由于施工现场平面布置复杂、施工阶段不断变化，传统的交通组织方式难以满足实际需求，容易造成现场交通拥堵、车辆排队等待时间长等问题，不仅影响施工效率，还可能增加安全风险。

针对上述诸多难点，超级工程通常具有规模宏大、结构复杂、参与方众多以及施工周期长等特点，其蕴含的信息量呈现出指数级增长的态势。在这样的背景下，项目管理人员面临着前所未有的挑战，即如何有效地管理项目，确保项目质量达标、安全无虞并能够按计划顺利推进。传统的项目管理方式，主要依赖于管理人员的个人经验，通过亲临现场实地查看（即所谓的“脚步丈量现场”）以及依靠敏锐的观察力和听觉获取信息（即所谓的“眼观六路耳听八方”），这种方式在面对超级工程庞杂的信息需求时，其局限性和难度逐渐凸显，已经难以满足现代项目管理的高效性要求^[3-5]。

自桩基围护工程至基坑开挖工程以来，依托 BIM 与信息化技术，坚持数字化发展与自身管理要素深度融合的理念，积极探索地下工程标准化管理的新模式。精心策划、深入研发，成功构建了涵盖安全、质量、技术、工程、合约、综合等 6 大模块的信息化协同施工管理系统，共计 40 项信息化应用，并将其投入实际使用。经过实践验证，该系统有效解决了工程中的各项管理难题，形成了具有“总承包、总集成”管理特色的信息化建设成果，为特大型枢纽建设项目的高效施工管理提供了有力保障，也为同类型工程的信息化管理提供了宝贵的经验和借鉴。

3 信息化协同施工管理策略研究与应用

信息化协同施工管理策略可以从两个关键方面深入探讨现代项目的核心需求：其一，硬件建设：如何构建高效的信息获取机制，以全面、准确、及时地收集项目施工过程中的多维度信息，涵盖但不限于安全状况、质量控制指标、工程进度以及交通组织等关键领域；其二，软件建设：如何运用先进的信息处理技术，对收集到的庞大信息量进行科学筛选、整合与分析，从而高效地识别现场存在的问题，提前发现潜在风险并采取有效的规避措施，确保能够迅速、精准地解决问题，保障项目的顺利实施。这两个方面不仅是现代项目管理理论研究的重要课题，也是实践操作中亟待解决的关键问题，对于提升超级工程的管理水平具有至关重要的意义。

3.1 硬件提升信息化管理水平

在特大型空港综合枢纽工程的管理实践中，为突破传统管理模式在应对复杂多变现场情况时的局限性，创新性地构建了信息化集成监控中心—现场指挥中心，如图 1 所示。

指挥中心整合了视频监控系统、单兵作战系统（图 2）、基坑监测系统、降水监测系统等多元资源，成功实现了对该项目“六中心合一”的集成化管理模式。这种模式涵盖了从交通组织、排水管理到资源调配、应急抢险、日常施工监督以及空防安全控制的全方位管理，使得项目管理能够对现场各类信息提前感知、预判与应对，从而显著提升管理效能。



图1 智慧工地指挥中心



图2 单兵作战系统

（1）交通指挥中心

该模块聚焦于施工现场的交通流管控与优化。通过对泵车、土方车等大型施工车辆的实时调度，保障各出入口的顺畅通行，实时监测场内主干道与支路的交通流量。同时，对临时占道作业进行严格审批与动态监控，依据视频监控反馈的交通拥堵情况，及时调整车辆行驶路线与作业顺序，确保场内交通秩序井然，避免因交通拥堵导致的施工延误，为项目施工创造高效顺畅的运输环境。

（2）排水指挥中心

该模块重点针对施工现场的排水系统运行状况进行监控与管理。实时监测场地内的积水情况，一旦发现积水超标，立即启动抽排水设备并调度人员进行疏通作业。同时，对泥浆外漏情况进行严密监控，通过视频监控系统及时发现泥浆管道破损或泄漏点，迅速组织维修与清理工作，防止泥浆污染场地及周边环境，确保施工现场排水系统的稳定运行，维持场地干燥整洁的施工条件。

（3）资源调度指挥中心

该模块致力于施工现场资源的高效调配与管理。实时监控施工机械的运行状态与位置信息，依据施工进度计划与实际作业需求，精准调度各类机械设备至所需工位。同时，对材料临时堆场进行科学规划与动态管理，根据材料进场时间、用量及使用部位，合理安排堆场空间，避免材料积压与二次搬运，提高资源利用效率，为施工活动的连续性提供坚实保障。

（4）应急抢险指挥中心

该模块在应对突发险情时发挥着关键作用。当基坑出现变形超标、降水突增或结构渗漏等险情时，依据基坑监测系统与降水监测系统的实时数据，迅速启动应急预案，指挥抢险人员、物资与设备以最快速度抵达现场。根据现场实际情况，灵活调整抢险方案，如采用注浆加固、增加降水设备或封堵渗漏点等措施，有效控制险情发展，最大限度降低对工程主体结构安全与周边环境的影响，确保施工安全。

（5）日常施工监督管理中心

该模块是项目施工过程中的核心管理枢纽。通过对施工进度的实时跟踪，将实际进度与计划进度进行对比分析，及时发现偏差并采取针对性措施，如调整施工顺序、增加人力或设备资源等，确保工程按计划推进。同时，运用视频监控系统与现场巡查相结合的方式，对施工安全与质量进行全方位监督。一旦发现安全隐患或质量问题，立即下达整改通知，要求责任单位限期整改并进行复查，直至问题彻底解决，保障项目施工的

安全性与质量可靠性。

（6）空防管理中心

该模块专注于施工现场的空防安全管理。借助高精度定位系统与视频监控，实时监测施工机械与人员的活动范围，防止超高作业或人员误入禁区。严格限制施工机械的高度与活动范围，确保其符合空防安全要求，避免因施工活动对机场运行造成干扰与安全隐患。

3.2 软件提升信息化管理水平

3.2.1 安全管理信息化创新实践

安全管理是工程建设项目中的核心任务，其本质在于对人员、机械设备以及临时用电等方面的有效管控。通过引入先进的信息化技术，构建了全方位、数字化的安全管理体系，以实现各类安全风险的精准预判与有效防控。

（1）人员安全管控智能化

关键区域摄像头已集成 AI 识别模块，如图 3 所示，具备对人员不安全行为的智能识别功能。系统可精准识别施工现场人员是否佩戴安全帽、人员是否倒地不起、是否存在违规玩手机、人员异常聚集以及剧烈运动等场景，并及时发出预警信号。一旦发现上述行为，系统会立即向管理人员的移动终端发送警报通知，管理人员可迅速通过视频回传画面核实情况，并采取相应的干预措施，如远程喊话提醒违规人员或派遣最近的安全员前往现场处理，从而将安全隐患遏制在萌芽状态。



图 3 监控 AI 识别

（2）机械设备管理数字化

项目实施工程中大型机械设备种类繁多，涵盖了铣槽机、成槽机、各型号履带吊汽车吊、TRD、桩架、CSM、插板机等，这对设备管理提出了极高要求。为此，将设备管理数字化，基于智慧工地平台开发并集成了设备电子地图功能模块，如图 4 所示。该模块全面整合了各设备的基本信息、操作说明书、文件资料、精确定位信息以及进退场管理记录等多维度数据，为每台设备构建了详细的电子档案。管理人员通过智慧工地平台，能够实时查看设备的分布情况、运行状态与使用记录，实现对设备全生命周期的精细化管理。



图 4 设备数字化管理

（3）临电管理信息化

首次研发并应用了基于智慧工地信息化的临电验收及后期巡检系统。该系统实现了电箱管理的全流程信息化管控，如图 5 所示。在电箱进场前，施工班组需在移动端提交电箱进场申请，详细填写电箱的基本信息、安装位置、用途等关键数据。项目管理人员在智慧工地平台上收到申请后，对电箱的合规性、安全性进行严格审核。审核通过后，系统自动生成唯一的电箱二维码，并建立实名制链路，将电箱与安装位置、操作人员、维护人员等信息关联绑定。电箱安装完成后，管理人员进行现场验收，验收合格后方可正式投入使用。在后期巡检过程中，管理人员只需通过移动端扫描电箱二维码，即可快速获取电箱的完整信息，并记录巡检日期、巡检人员、巡检结果等巡检数据。若发现电箱存在安全隐患，管理人员可立即在系统中下达整改通知，要求相关责任班组限时整改，并对整改情况进行复查，形成闭环管理，确保临电系统安全可靠运行。

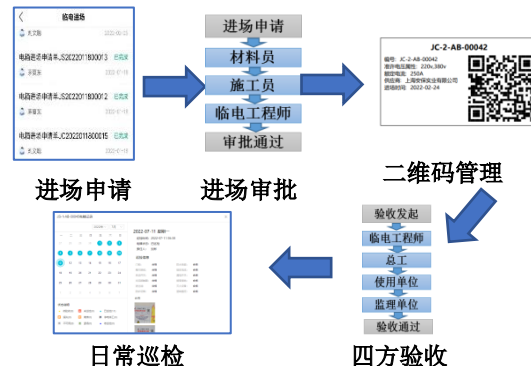


图 5 临电管理流程

（4）临边安全防护系统化

为确保基坑临边安全，项目在基坑围栏上创新性地安装了智能报警装置，如图 6 所示。该系统充分利用现有的围栏设施进行功能升级，通过在围栏上安装传感器与数据采集设备，能够精准识别围栏的拆除位置及拆除数量。一旦围栏被擅自拆除或受到外力破坏，传感器立即触发警报，报警信息实时传输至监控中心与管理人员的移动终端。同时，报警装置上配备了数据可视化系统，管理人员与现场人员可通过可视化界面直观了解围栏的实时状态，包括围栏完整性、拆除位置分布等关键信息。系统可根据监测数据进行智能分析，当围栏状态出现异常时，及时发出报警提示，提醒管理人员迅速采取措施，修复围栏或设置临时警示标识，防止人员不慎坠落基坑，实现对基坑临边安全的全过程、动态化管理，将安全隐患消除于未然，真正做到化大为小、化小险为无险。



图 6 基坑智能围栏

3.2.2 质量管理信息化创新实践

在大型复杂工程建设项目中，质量资料管理与质量整改工作往往滞后于现场施工进度，导致后期面临巨

大的工作压力与数据整理难题。针对“超级工程”的特殊性和复杂性，积极研发并实施了一系列信息化质量管理工具，以提升质量管控效能，确保工程质量的可靠性和可追溯性。

(1) 质量跟踪管理系统

工序质量跟踪管理系统实现了对桩基和地下连续墙施工全过程的质量监控与数据管理,如图 7 和 8 所示。该系统将桩基和地下连续墙的 BIM 模型与施工工序紧密关联,施工人员可在现场实时录入每道工序的过程参数,如桩基的垂直度、混凝土浇筑量、地墙的成槽时间与深度等关键数据。这些实时数据不仅能够即时反映施工质量状况,而且为项目管理团队提供了准确的质量评估依据,确保施工质量符合设计和规范要求。



图 7 桩基工序质量跟踪

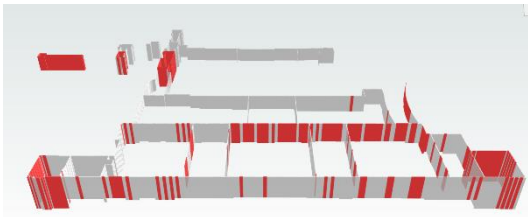


图 8 地下连续墙施工跟踪

系统为每道工序设计了对应的电子质量表单,现场施工人员可通过移动终端设备实时填报,实现了质量数据的无纸化采集与传输。系统自动对录入的数据进行校验和分析,一旦发现数据异常或超出允许范围,立即向管理人员发出警报,以便及时采取纠正措施。填报完成的数据自动整合生成“一桩一档”和“一墙一档”的电子档案,这些档案详细记录了每根桩和每幅地墙从施工准备到完成的全过程质量信息,包括施工日期、施工班组、材料使用、质量检验结果等,为工程质量追溯提供了完整的数据链条。

(2) 混凝土物料管理系统

本项目桩基、地下连续墙以及后续结构浇筑涉及众多混凝土型号且体量庞大,专门研发了基于本项目的混凝土物料管理系统,如图 9 所示。该系统以实现“混凝土不打错、下料信息可追溯”为核心目标,将信息化工序管理向前延伸,与材料供应商的混凝土生产管理系统和地磅称重系统实现无缝对接。通过这种集成化管理,构建了一条从混凝土生产源头到施工现场的全过程“外卖式”跟踪链条。

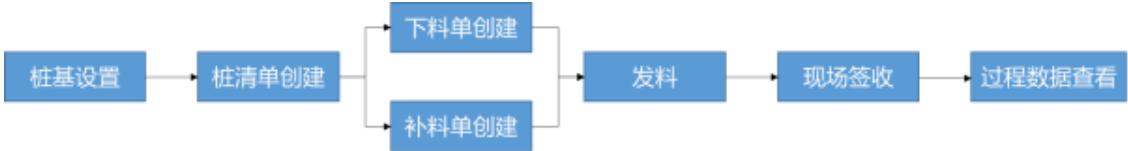


图 9 混凝土物料管理系统流程

在混凝土生产阶段,系统实时采集生产数据,包括混凝土的配合比、生产时间、生产批次等信息,并为每车混凝土生成唯一的电子标签。运输过程中,车辆的行驶路线和预计到达时间通过 GPS 定位系统实时反馈至项目管理平台,管理人员可随时掌握混凝土的运输状态。当混凝土运输车辆到达施工现场后,地磅系统自动读取车辆重量信息,并与电子标签进行关联,确保混凝土的实际入场量与生产量一致。以钻孔灌注桩为

例，2022 年 9 月和 10 月混凝土用量偏差在 0.6%和 1.5%。

在混凝土浇筑过程中，施工人员通过扫描电子标签，将混凝土的使用部位、浇筑时间、浇筑量等信息录入系统，实现了混凝土从生产到使用全过程的精准追溯。这一系统不仅有效避免了混凝土错用的风险，而且为质量管控提供了详实的数据支持。一旦某批次混凝土出现质量问题，管理人员能够迅速通过系统追溯其使用部位，及时采取相应的处理措施，最大限度地降低质量风险对工程整体的影响，确保混凝土结构的质量可靠性。

4 结语

本研究聚焦特大型综合交通枢纽工程在施工管理上面临的工序交叉复杂、监测数据庞杂、材料追溯困难、安全风险突出、劳务管理繁重及交通组织协调难度大等核心挑战。通过深度融合 BIM、物联网、大数据等现代信息技术与项目管理实践，成功构建了一套具有针对性的信息化协同施工管理体系。

该体系的核心在于“软硬结合”：在硬件层面，创新性地建立了集交通指挥、排水监控、资源调度、应急抢险、日常施工监督及空防安全管理于一体的多功能指挥中心，实现了对施工现场多维度信息的实时感知、集成展示与快速响应。在软件层面，研发并应用了多项创新性管理模块：安全管理方面，实现了人员不安全行为的 AI 智能识别预警、大型机械设备的全生命周期数字化管理、临时用电的流程化信息管控以及基坑临边的智能防护报警；质量管理方面，开发了基于 BIM 的工序质量跟踪系统和覆盖混凝土生产、运输、浇筑全过程的精准物料追溯系统，有效解决了“混凝土不打错、下料信息可追溯”的难题。

在该特大型枢纽工程中的成功应用表明，所构建的信息化协同施工管理策略显著提升了项目管理的精细化、智能化与协同化水平。它不仅有效克服了传统管理模式的局限，保障了工程安全、质量和进度目标的顺利实现，降低了各类风险，更形成了具有“总承包、总集成”特色的信息化建设成果。本研究成果为特大型复杂工程项目的施工管理提供了切实可行的信息化解决方案和实践经验，对推动工程建设行业向数字化、智能化转型升级，优化企业管理模式，提升核心竞争力具有重要的示范意义和参考价值。

参考文献

- [1] 郑磊,赵盈皓.基于多专业协同的大型工程施工管理系统设计[J].广州建筑,2022,50(6):69-76.
- [2] 崔满.西湖大学项目智慧工地信息化探索和实践[J].建筑施工,2020,42(09):1814-1816.
- [3] 李万权,焦启兵.大型工程施工机械设备管理及其信息技术探讨[J].中国设备工程,2022,07(02):45-47.
- [4] 萧浩.浅谈信息化建设在建筑施工企业安全管理中心的应用[J].建筑安全,2023,38(1):92-95.
- [5] 基坑施工全过程安全信息化管控策略[J].建筑施工,2022,44(4):819-822.

【作者简介】

秦毅（1975—），男，汉族，上海人，在职本科，研究方向为公共管理。