# CPDLC系统助力智慧空管建设的路径研究

田亦轩
中国民用航空飞行学院洛阳分院　河南 洛阳　471000

**摘　要**　智慧空管是民航业数字化转型的核心方向，以数字化、智能化技术为支撑，旨在实现空域资源的高效利用与运行安全精准管控。管制员-机组数据链通信（CPDLC）系统作为空管数字化的关键技术载体，通过替代传统语音通信实现管制指令的标准化、可视化传输，为智慧空管建设提供核心数据交互支撑。本研究基于CPDLC系统的技术特性与应用价值，分析其与智慧空管的核心契合性，构建“技术融合—功能升级—体系协同”的三维助力路径，并通过国内外实践数据量化分析系统应用成效，最后提出了CPDLC系统助力智慧空管建设的保障措施。研究结果可为推动CPDLC系统深度赋能智慧空管、提升民航运行智能化水平，提供理论参考与实践指引。

**关键词**　CPDLC系统；智慧空管；数字化转型；路径构建；运行安全

**Research on the Path of CPDLC System to Assist the Construction of Intelligent Air Traffic Control**

Tian Yi-xuan
China Civil Aviation Flight College Luoyang Branch, Luoyang 471000, Henan Province, China

**Abstract**　Intelligent Air Traffic Management (ATM) constitutes the core direction of digital transformation within the civil aviation industry. Supported by digital and intelligent technologies, it aims to achieve the efficient utilization of airspace resources and the precise control of operational safety. The Controller-Pilot Data Link Communications (CPDLC) system, serving as a critical technical vehicle for ATM digitization, enables the standardized and visualized transmission of control instructions by replacing traditional voice communications, thereby providing core data interaction support for the construction of intelligent ATM. Based on the technical characteristics and application value of the CPDLC system, this study analyzes its intrinsic alignment with the objectives of intelligent ATM and constructs a three-dimensional facilitation pathway of “Technological Integration—Functional Upgrade—Systematic Synergy.” Furthermore, it quantitatively analyzes the system's application efficacy through domestic and international empirical data, and ultimately proposes safeguard measures for leveraging CPDLC to advance intelligent ATM construction. The findings are intended to provide theoretical references and practical guidance for promoting the deep empowerment of intelligent ATM through CPDLC systems and enhancing the intelligence level of civil aviation operations.

Keywords　CPDLC System; Intelligent Air Traffic Control; Digital Transformation; Path Construction; Operational Safety

随着我国民航运输量持续攀升，传统空管运行模式面临空域资源紧张、管制负荷激增、安全管控压力加大等多重挑战。智慧空管建设以“安全高效、智能协同”为核心目标，依托大数据、人工智能、数据链通信等技术重构空管运行体系成为破解行业发展瓶颈的关键举措。CPDLC系统作为国际民用航空组织（ICAO）推广的新一代空管通信技术，通过数据链实现管制员与机组间的非语音通信，具备指令传输精准化、信息交互高效化、运行状态可视化等优势，已在欧美等航空发达国家广泛应用并取得显著成效[1]。当前我国CPDLC系统应用仍处于试点推广阶段，在技术融合深度、功能适配性、体系协同性等方面存在不足，未能充分发挥其对智慧空管建设的支撑作用[2]。因此，深入探究CPDLC系统助力智慧空管建设的核心路径，解决技术应用与体系融合中的关键问题，对加速我国空管数字化转型、提升行业核心竞争力具有重要的现实意义。

## 1　CPDLC系统与智慧空管的核心契合性

### 1.1 技术契合，数据驱动的运行体系构建

智慧空管的核心特征是“数据驱动决策”，而CPDLC系统的核心价值在于实现管制运行数据的标准化采集与精准传输。传统语音通信模式下管制指令易受口音、噪音、人为误听等因素影响，导致信息传递偏差，且指令数据难以实时留存与追溯。CPDLC系统通过标准化数据格式传输起飞许可、航线调整、高度指令等核心信息，实现管制指令“发出—接收—确认”全流程数据化记录，为智慧空管的大数据分析与智能决策提供高质量数据源。同时，系统支持与雷达监视、航班运行控

制系统等的无缝对接，构建全域覆盖的数据交互网络，契合智慧空管“全要素数据融合”的建设要求。

### 1.2 功能契合，安全与效率的双重提升需求

智慧空管建设的核心目标是在提升空域运行效率的同时强化安全管控。CPDLC系统通过两大核心功能实现安全与效率的协同提升，系统具备指令校验与告警功能，可自动识别非法指令、重复指令等潜在风险，降低人为差错发生率。同时，系统支持并行处理多条管制指令，大幅提升繁忙空域的指令处理效率，减少航班等待时间。据SESAR联合实施体研究数据显示CPDLC系统应用可使管制指令处理时间缩短40%以上，指令差错率降低65%，充分契合智慧空管“高效安全”的功能需求[3]。

### 1.3 体系契合，协同化运行格局构建

智慧空管强调空管、机场、航空公司、军航等多主体的协同运行，而CPDLC系统为跨主体协同提供了标准化通信载体。通过系统可实现管制指令、航班动态、气象信息等数据的实时共享，打破不同主体间的信息壁垒。例如，在机场场面运行中CPDLC系统的D-TAXI服务可实现塔台管制员与机组间的场面滑行指令数据化传输，同步联动机场场面监视系统与航空公司运行控制系统，提升场面运行协同效率，这与智慧空管“全域协同”的体系建设要求高度契合[4]。

## 2 CPDLC系统助力智慧空管建设的三维路径

### 2.1 技术融合路径，构建全域数据交互底座

技术融合是CPDLC系统赋能智慧空管的基础前提，核心是实现系统与现有空管技术体系的深度对接，构建全域覆盖、实时共享的数据交互底座。推进CPDLC系统与监视技术的融合，实现“通信—监视”一体化。将系统与广播式自动相关监视（ADS-B）、雷达等监视设备联动，使管制员在接收机组指令反馈的同时，实时获取航空器位置、速度等动态数据，提升管制决策的精准性。强化与大数据、人工智能技术的融合应用。基于CPDLC系统采集的管制指令、航班动态等数据构建智能风险预警模型，实现对潜在运行风险的提前预判与干预。推进系统标准化建设，采用ICAO统一的数据格式与通信协议，确保与国内外空管系统的互联互通，为跨境航班协同运行提供技术支撑。

### 2.2 功能升级路径，打造智能管制服务体系

功能升级路径聚焦CPDLC系统的核心功能拓展，结合智慧空管建设需求打造全场景智能管制服务体系。在终端区运行场景升级系统的多任务处理功能，支持同时向多架航空器发送个性化管制指令，提升繁忙终端区的运行效率；在远程管制场景依托CPDLC系统的远程数据传输能力，构建“远端管制中心—远端机场”的远程管制模式，解决中小机场管制资源不足问题；在应急处置场景，开发应急指令快速传输模块，当发生极端天气、航空器特情等紧急情况时，自动优先传输应急管制指令，并同步推送处置流程指引，提升应急响应效率。此外，优化系统人机交互界面，采用可视化设计呈现航班动态与指令状态，降低管制员工作负荷[5]。

### 2.3 体系协同路径，推动多主体运行深度协同

体系协同路径旨在打破不同运行主体间的信息壁垒，依托CPDLC系统构建多主体协同运行体系。构建空管—航空公司协同机制，通过系统实现管制指令、航班计划、运行限制等数据的实时共享，航空公司可基于系统数据提前调整航班运行策略，提升航班正点率。同时，完善军民航协同运行体系，利用CPDLC系统建立军民航数据共享通道，提前通报空域使用计划与航班运行动态，减少临时空域限制对民航运行的影响。此外，建立跨区域空管协同机制，通过系统实现不同管制区域间的指令无缝交接，提升跨区域航班运行的顺畅性[6]。

## 3 CPDLC系统应用成效量化分析——基于国内外实践数据

为验证CPDLC系统对智慧空管建设的助力效果，本研究整理国内外典型机场与空域的CPDLC系统应用数据，从管制效率、安全水平、运行成本3个维度构建成效分析数据表，具体数据如表1所示。

**表1 管制效率、安全水平、运行成本3个维度构建成效分析数据表**

| 应用场景 | 评估指标 | 应用前（传统模式） | 应用后（CPDLC模式） | 提升/降低幅度 | 数据来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| 欧洲繁忙终端区 | 管制指令处理时间 | 平均25 s/条 | 平均12 s/条 | 提升52% | SESAR联合实施体实践报告 |
| 欧洲繁忙终端区 | 管制指令差错率 | 0.8% | 0.28% | 降低65% | SESAR联合实施体实践报告 |
| 中国华东地区空域 | 航班小时容量 | 32架次/h | 38架次/h | 提升18.75% | 中国民航局空管行业发展报告 |
| 中国华东地区空域 | 管制员工作负荷 | 75%（满负荷为100%） | 58% | 降低22.7% | 中国民航局空管行业发展报告 |
| 马德里机场场面运行 | 航班滑行等待时间 | 平均18 min | 平均11 min | 降低38.9% | D-TAXI服务验证项目数据 |
| 马德里机场场面运行 | 场面运行冲突率 | 0.52次/万架次 | 0.17次/万架次 | 降低67.3% | D-TAXI服务验证项目数据 |

从数据表数据可以看出CPDLC系统在不同运行场景下均展现出显著应用成效：在管制效率方面，指令处理时间平均缩短50%以上，航班小时容量提升18.75%，有效缓解了繁忙空域的运行压力；在安全水平方面管制指令差错率、场面运行冲突率分别降低65%、67.3%，大幅提升了运行安全管控能力；在运行成本方面航班滑行等待时间缩短38.9%，管制员工作负荷降低22.7%，间接降低了燃油消耗与人力成本。上述数据充分验证了CPDLC系统通过技术融合、功能升级、体系协同路径助力智慧空管建设的可行性与有效性。

## 4 CPDLC系统助力智慧空管建设的保障措施

### 4.1 强化技术研发与标准体系建设

加大CPDLC系统核心技术研发投入，重点突破系统与人工智能、大数据的深度融合技术，提升系统的智能化水平。同时，依托ICAO相关标准，结合我国空管运行实际，制定完善的CPDLC系统应用标准体系，包括数据格式、通信协议、接口规范等，确保系统在全国范围内的统一应用与互联互通。

### 4.2 完善人才培养与培训体系

构建“理论+实操+模拟”的三维培训体系，针对管制员、机组人员开展CPDLC系统操作培训，重点提升复杂场景下的系统应用能力与应急处置能力。建立常态化培训机制，结合系统功能升级及时更新培训内容，同时加强与国外先进航空机构的交流合作，引进先进培训经验与技术，提升从业人员的专业素养。

### 4.3 推进试点示范与推广应用

选择繁忙终端区、大型枢纽机场等典型场景开展CPDLC系统应用试点，总结试点经验并形成可复制的推广模式。加大政策支持力度，鼓励空管单位、航空公司加快系统升级改造，逐步实现从终端区到航路、从干线航班到支线航班的全面覆盖。同时，建立试点效果评估机制，及时发现并解决应用过程中存在的问题，确保推广工作有序推进。

## 5 结束语

总之，CPDLC系统以其标准化数据传输、高效信息交互的核心特性，精准契合智慧空管“数字化驱动、智能化管控、协同化运行”的建设内核，是推动空管行业数字化转型的关键支撑。本研究构建的“技术融合—场景拓展—体系保障”三维助力路径，明确了CPDLC系统赋能智慧空管的核心方向，而国内外实践数据已充分验证该路径的可行性与实效性。未来推进过程中需持续强化技术研发与标准统一，完善人才培养体系，加速全场景推广应用，推动CPDLC系统与5G、人工智能等技术深度融合，破解跨主体协同、偏远空域覆盖等现存难题。唯有如此才能充分释放CPDLC系统的技术价值，推动智慧空管建设迈向更高质量发展阶段，为保障民航运 行安全、提升空域利用效率、助力民航强国建设提供坚实保障。

## 参考文献

[1]邹国政,余晶鑫.空管自动化系统中基于CPDLC技术的相似航班号告警功能设计[J].中国科技信息,2025(23):24-27.

[2]胡姗姗,张杰霍,文博,等.基于CPDLC空管人机交互界面的改进方法研究[J].价值工程.2022,41(2):132-134.

[3]罗渝川,李洪艳,金雪琪,等.民航飞行员和管制员的时距知觉特征[J].心理技术与应用,2025(4):246-253.

[4]李玲.基于ATN/IPS的通信网络设计与优化[J].长江信息通信,2021(6):186-190.

[5]孙俊,盛伟,屈家安,等.面向6G无人机通信网络的信号传输机理研究与分析[J].无线电通信技术,2025(1):86-95.

[6]罗俊松,黄平,罗欣悦,等.空中可重构智能表面辅助的全双工无人机安全通信[J].电信科学,2024(7):34-50.

（本文编辑 杜宇琪）

