

# 机场智慧跑道系统研究与应用

许隼（北京佳和建设工程有限公司）

**摘要：**机场跑道的结构安全、运行安全以及运营管理主要依赖于传统的人工检测和 Experience 分析，该方法存在程序繁琐、效率低、误差大等问题，无法及时发现跑道隐性病害，难以满足机场跑道高效运行和全时安全的要求。针对上述问题，文章提出智慧跑道概念，通过传感器对跑道的多维动态信息进行实时感知、动态评价、风险预警、智慧决策，可在跑道建设、运行、维护全生命周期中，采用在线感知与智慧运维手段融合，实现跑道状况实时感知、动态评价、风险预警、智慧决策，能够保障跑道高性能、高安全、高效率运行；首次将智慧跑道系统拓展至试飞机场，并打破道面智慧监测与运维管理信息孤立，实现试飞机场全飞行区道面智慧感知与管控信息一体化，并明确智慧跑道的层次架构与主要功能，阐述了智慧跑道各项功能的实现路径。机场智慧跑道技术是“四型机场”战略的具体表现，为我国机场建设提供了引领与示范。

**关键词：**机场智慧跑道；“四型机场”；机场建设

## 1 绪论

### 1.1 背景介绍

机场跑道是机场飞行区最重要的基础设施，其适用性和可靠性与机场运行安全息息相关，据国际民用航空组织统计，全球 36% 航空事故与跑道状况有关，传统机场跑道运维采取人工巡检，效率低下，繁忙的跑道运行进一步压缩养护时间，机场运行保障面临严峻的挑战，安全隐患也随之增多。

跑道高性能服役、高安全保障、高效率运行目标，要求科学高效、低干扰维护管理是现代机场发展的必然趋势，行业管理要求和标准不断提高，随着民用航空业务规模不断扩大，机场负荷日益增大。因此，必须依靠先进技术实现科学高效的管理，方能满足高效率、高安全的运营需要，实现智慧化管理。

传统跑道的维护无法满足日益复杂的跑道保障要求，主要从数据采集、诊断评价、维护决策、技术手段四个方面分析，数据采集非实时、频次低、抽样少、人工判断为主、误差大、精度低；诊断评价效率低、干扰飞行区运行、数据积累少、难以实现长期趋势预估与分析；维护决策以经验为主、事后维修、预防干扰难实现、影响因素难量化、病害风险误判率高；技术手段依赖人工作业，自动化程度低、信息化水平低、功能集成化程度低。

近几年智慧跑道的概念在国内各机

场不断应用与发展，已成功或正在应用于成都天府国际机场、北京首都国际机场、上海浦东国际机场、西安咸阳国际机场、西藏定日机场以及普兰机场，2019 年 9 月 25 日，习近平总书记在出席北京大兴国际机场投运仪式中要求建设以“平安、绿色、智慧、人文”为核心的四型机场，不仅为中国机场未来发展指明了方向，也为机场跑道未来的发展指明了方向，结合《中国民航四型机场建设行动纲要（2020-2035 年）》以及 MH/T 5049-2020《四型机场建设导则》的要求，机场智慧跑道系统必定将是未来民用以及军用机场的重要发展方向之一，针对传统跑道存在的各种问题，结合国家机场跑道的发展方向，为更好的解决机场风险隐患，智慧性跑道系统的引入十分必要。

### 1.2 研究的意义

研究智慧跑道系统，可以实时监测跑道状态，为运维提供决策支持。提高运维效率，保证跑道状态，减少事故风险，实现“安全、高效”运营目标。

## 2 智慧跑道系统介绍

### 2.1 智慧跑道概念

指采用各种感知设备和信息化手段对跑道进行全程监测管理的系统。

### 2.2 系统整体框架

由感知层、网络层、数据层、解析层、服务层构成。感知层安装各类传感器；网络层将采集信号传输到数据层；数据

层实现数据处理；解析层将数据进行融合、解析；服务层实现查询、展示（图 1）。

### 2.3 工作原理

传感器采集相关数据后通过光纤传输至数据中心，实现实时监测和智能分析应用（图 2）。

## 3 智慧跑道的优势

3.1 降低运行维护成本和提高机场吞吐能力

### 3.1.1 减少人工巡检次数和工作量

传感器可以 24 小时实时监测跑道状态，人工无需频繁现场巡查，大幅减少巡检次数。

监测数据通过系统输送，人工只需查看数据报告，无需重蹈巡检覆盖区域，大大减轻人工工作量。

### 3.1.2 提高巡检效率

系统根据数据自动识别问题区域，指导人工聚焦重点巡查，提高检修效率。

系统分析监测数据可以事前筛查潜在问题，优先安排检修，防范性工作效率更高。

### 3.1.3 减少养护窗口时间

成都天府机场使用智慧跑道后，年养护时间从原来的 60 天缩短到 40 天，增加 20 天正常飞行时间。

西藏定日机场使用智慧跑道后，年养护窗口从原来 90 天缩短到 60 天，延长 30 天运营时间。

### 3.1.4 提高跑道利用率

正常运行检测可以让跑道 24 小时

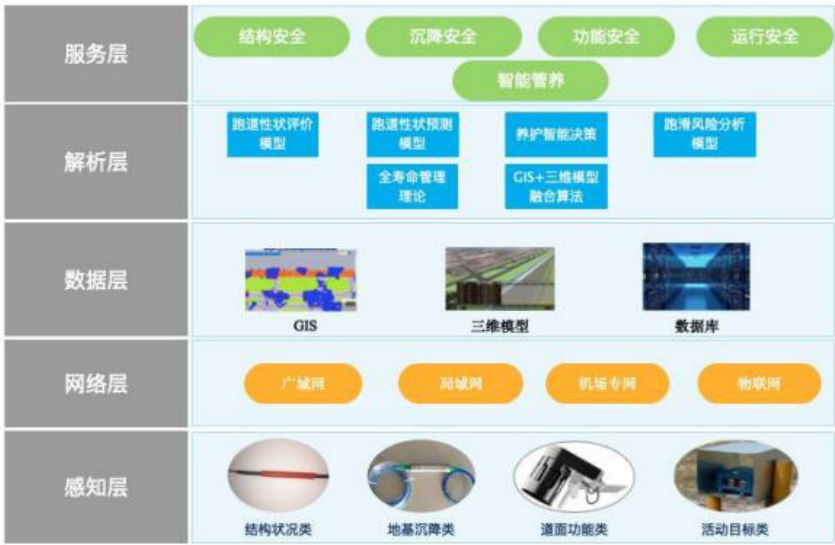


图1 系统框架图

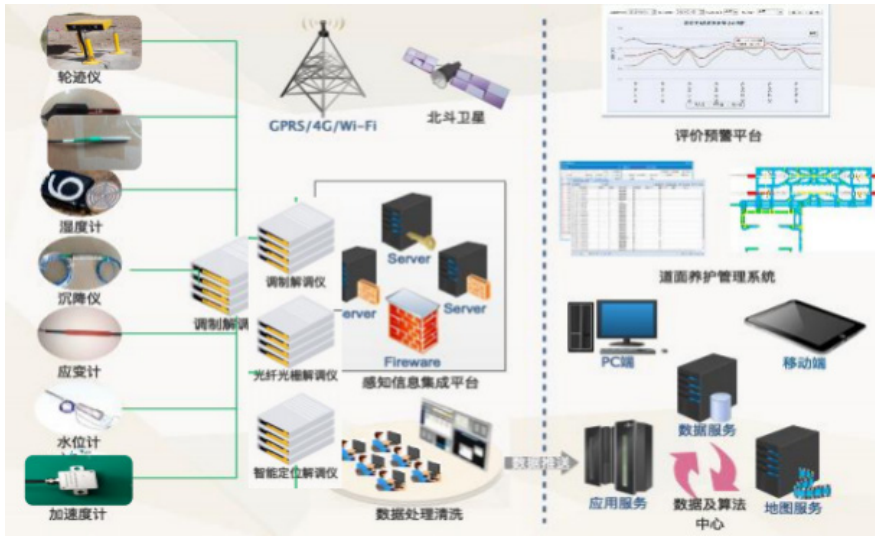


图2 应用原理图

工作，不需停业修缮，大幅提高了跑道年运行时间率。

实时掌握跑道状况可以有效调度飞行，优化跑道利用覆盖率和效率。所以，通过减少人工工作量和提高检修效率，智慧跑道系统明显降低了人工巡检成本；同时通过缩短养护时间和提高运行时间率，也有效提高了机场的吞吐能力。

### 3.2 环境影响和经济社会效益

#### 3.2.1 对环境的影响

(1) 传感器和通信设备的生产过程中可能产生一定的碳排放和环境污染。(2) 施工过程中使用机械设备也会产生较小量的碳排放。(3) 系统运营需要依靠电力供应，间接增加一定量

的电力消耗。

#### 3.2.2 智慧跑道系统也有以下环境益处

(1) 可通过实时监测优化跑道维护，减少不必要的维修，节约资源。(2) 通过预警功能提高跑道安全性，减少事故发生可能性，避免因事故产生的二次污染。(3) 数据分析可以支持跑道设计和施工优化，降低生命周期成本及资源消耗。

#### 3.2.3 在经济和社会效益上

(1) 可有效提高跑道利用率，增加机场吞吐能力。(2) 降低人工巡检成本，节省人力资源。(3) 通过数据支持做出更好的决策，提高机场运营效

率。(4) 提高飞行安全性，降低事故风险，带来巨大的经济效益。

综上，尽管智慧跑道系统在一定程度上增加了环境成本，但其带来的经济和社会效益能明显弥补这一成本，同时通过数据优化也给环境带来一定的益处。所以从全面综合考虑，它还是具有很好的可持续发展价值的。

### 4 传感器介绍

#### 4.1 地基沉降监测

考虑到机场季节性冻土存在不均匀沉降的风险，对跑道和滑行道上重点断面实时监测：

单点沉降计和合成孔径干涉雷达(InSAR)：监测重点断面的绝对沉降、差异沉降，获取道面的绝对沉降量、沉降速率、差异沉降等指标；沉降监测断面主要为不均匀填土分布区、填挖交界处、地基处理区域，最终设置3~4个监测区域安装单点沉降计；合成孔径干涉雷达(InSAR)技术主要基于雷达卫星通过略微不同的视角对目标区域进行多次观测，不涉及施工布设，监测周期为三年，每月得到1组监测图像。

#### 4.2 地基季节性冻胀监测

考虑到机场季节性冻土存在冻胀的风险，对跑道和滑行道上重点断面实时监测湿度与地下水位。

水位传感器和湿度传感器：根据飞行区地势分布和水流走向，重点在挖方区域布设地下水位与地基湿度感知元件，获取地下水位和地基土壤湿度等指标。

#### 4.3 道面结构监测

解决因机场特殊地质、温差大特点，导致道面结构存在脱空、断板等风险问题，本项目重点对跑道上起降带等关键位置进行结构性能监测。

##### 4.3.1 动态应变计、静态应变计

感知结构体单点应变状态，监测飞机起飞、降落、滑跑、转向过程中在道面板内产生的内应力作用，计算道面板在荷载和环境作用下的形变量。

##### 4.3.2 温度传感器

监测道面板、基层和土基各点温度变化，进而反映竖向温度梯度分析与翘





曲变形,为数据分析提供环境状态信息。

#### 4.3.3 加速度传感器

感知结构体单点的瞬时加速度大小,进而监测飞机荷载引起的道面瞬时弯沉。

#### 4.4 飞机荷载监测

考虑到道面结构对飞机荷载响应的作用,实现传感器激励信号源的捕捉。

激光轮迹仪:监测飞机轮迹,识别飞机荷载,捕捉传感器激励信号源,获取飞机滑行偏移规律。

### 5 传感器安装工艺

#### 5.1 传感器定位

(1)熟悉设计图纸,查看图纸中控制点的坐标;(2)用GPS在道面中定位出网格控制点,用钉子和自喷漆做标记,同时标记坐标数值;(3)根据控制点,用墨斗在道面中弹出网格线。

#### 5.2 振动光缆加工与固定

(1)熟悉设计图纸,图纸中找到每个传感器的定位线;(2)根据图纸中传感器定位线的尺寸,在网格内用钢尺测量出传感器的位置,保证测量的准确性,误差控制在要求范围内;(3)根据振动光纤大样图在地面放样,画出钢筋位置,焊接钢筋,绑扎钢筋马凳,高度为5cm;(4)根据设计图纸,以及振动光纤需要伸出道肩的长度,计算每片钢筋网片所需光缆的长度,裁剪光缆;(5)利用一个圆形模具按图纸要求将光缆盘绕成圈用扎带固定于钢筋网片上,钢筋网片埋设于道面混凝土内。

#### 5.3 配管及线缆敷设

(1)根据设计图纸中的大样图确定线槽的尺寸;切槽过程中实时监督切槽的宽度、深度并且保证线槽不能歪斜;(2)敷设线管,保证接头的质量;利用钢钉将线管压在槽内,防止浇筑混凝土过程中产生浮管现象;(3)根据道肩的施工情况,决定线槽出道面的长度以及出道面的线管头;根据线槽中各个进线口的位置,利用电钻在线槽中开孔;(4)进行沟槽混凝土回填,保证回填质量,按时进行养护。

#### 5.4 传感器预制件定位打孔与安装

(1)根据传感器的位置,定位预

制件的位置;(2)利用墨斗弹线,确保预制件的定位准确;(3)利用电钻在水稳层上钻孔,用于安装预制件,钻孔的直径与预制件的钢筋直径相同;(4)钻孔过程中,不断的检测钻孔的垂直度,保证预制件的安装质量。

#### 5.5 传感器的安装与测试

(1)根据场道浇筑混凝土的部位和时间,提前准备好各类传感器;(2)浇筑混凝土开始后,先绑扎模板附近的传感器,同时在仓外把其他传感器绑扎在预制件上;(3)在埋设传感器之前,对传感器做进一步的调平和固定,确保安装位置准确,传感器至道肩光缆,利用波纹管进行保护;(4)传感器的检测:在浇筑混凝土当天,应对传感器进行以下几次测试,在完成传感器绑扎后,混凝土浇筑前,对传感器进行第一次测试,在混凝土浇筑过程中,对传感器进行第二次测试,待混凝土全部浇筑完毕后,对传感器进行第三次测试。若发现问题立即更换;(5)混凝土终凝后,需要对传感器进行测试;(6)传感器测试应严格按照要求进行,同时做好测试数据记录。

#### 6 传感器安装控制重点

(1)预埋线管连接应牢固、包封应密实;(2)光缆敷设时应避免强力拉拽,敷设时弯曲半径不宜过小;(3)场道支模固定钢钉避免破坏预埋管;(4)传感器应轻拿轻放,避免碰撞及污染;(5)混凝土浇筑时避免直接卸料至传感器上,强力冲击易破坏传感器及光缆连接处;(6)混凝土振捣时避免传感器被施工机械及振动设备损坏;(7)传感器的延长光缆引入道肩后必须做好围挡等保护措施。

#### 7 协同管理

智慧跑道系统可以与其他机场管理系统进行集成,实现数据共享和协同管理。

主要有以下几点:

(1)智慧跑道系统采用开放的系统架构和接口标准,支持与其他系统进行数据交互。可以与机场运行管理系统(A-CDM)、航管管理系统(ATM)等系

统对接,实现资源统筹调度。(2)智慧跑道系统采集的实时监测数据,如跑道状态、结冰情况等,可以共享给其他系统参考,如天气预报系统可以利用水膜厚度传感器的数据进行滑跑道判断。

(3)智慧跑道系统收集的跑道维护保养数据,可导入机场资产管理系统中,统一记录跑道使用历史和保养信息。(4)通过数据中心等中间件,智慧跑道系统可以实现与其他机场子系统如PACS、BHS等的无缝对接,共享智慧资源。(5)future 气候变化趋势模拟预报等大数据分析也可以利用智慧跑道长期监测积累的数据进行,为机场运行决策提供参考。

所以总的来说,通过标准接口和中间件支持,智慧跑道系统完全可以实现与其他机场管理系统的深度集成,共享数据智慧资源,提升机场的运营效率。

### 8 发展与展望

智慧跑道系统在未来还可以与以下新技术和新领域深度融合,实现更深层次的创新和发展:(1)人工智能技术。利用深度学习等人工智能技术,对大量传感器监测数据进行学习分析,实现跑道状态自动检测和评判,进行预警判断。(2)大数据分析。将不同机场和不同时期的大量跑道监测数据进行集群分析,发现运维规律,提升管理决策水平。(3)多源数据集成。将智慧跑道系统数据与天气信息、飞机运行数据等多源信息实现有机融合,形成一个全方位、多维度的智慧飞行区管理平台。(4)物联网技术。利用物联网技术实现智慧跑道系统设备和组件之间的深度连接,形成跨空间和跨时间的分布式感知网络。(5)无人驾驶技术。将无人机等新型设备纳入智慧跑道体系,实现定期自主巡检检查,提升运维效率。(6)建筑信息模型。利用BIM技术构建智慧跑道数字孪生模型,实现智能运维和设备管理。(7)穿戴设备。利用AR/VR等穿戴设备为机场工作人员提供实景化运维支持,提升工作效率。

以上新技术将为智慧跑道系统提供强劲推动,助力其实现从点到面再到体的全面智能化运营管理。