

# 4E级国际机场跑道与滑行道工程建设关键技术研究

雷政锋

中国电建市政建设集团有限公司 天津 300392

**摘要:** 针对4E级机场跑道与滑行道的复杂地质适应性、高承载力结构施工与运营管理等关键问题,以提高4E级机场的运营品质和运营安全为目标,采用现场调查、数值模拟和实际案例研究等手段开展研究。通过对勘察设计、施工工艺和质量与安全保证的研究,研究适用于复杂地质条件的“三维勘探+动态评估”勘察方法,形成“分层承载+性能最优”的构造设计方法,研究“精确铺筑+智能控制”的施工工艺,并形成“全程监测+风险预警”的保障机制。研究结果显示,该方法能显著提高路面的平整度、基层的密实度和对恶劣的气候条件的适应能力,能够完全满足大吨位车辆的运营需求。

**关键词:** 4E级国际机场;跑道;滑道;施工技术

4E机场是航空运输网络的重要组成部分,其机场跑道和滑行道建设的好坏,将影响到机场的运营级别、安全冗余程度和服役年限。面对日益增长的大飞机起飞和降落要求,该项目在复杂地质环境下的承载稳定性不足,高荷载与耐久性之间的矛盾突出,极端环境和建设的协调容易引起质量和安全隐患。目前,已有的测量方法普遍面临着勘测精度不足、与结构设计匹配程度差、施工管控效率低下等问题,很难适应实际需要。以4E级机场为对象,围绕“勘察设计—施工过程—质量安全”三个核心问题,对其关键技术进行深入研究,以期建立一套适应4E级机场施工要求的技术方法,为我国航空航天领域的发展与应用奠定理论基础。

## 一、4E级机场跑道与滑行道工程核心技术与工程特点

4E级机场是我国重要的机场干线和国际交通运输中心,其跑道和滑行道设计的设计水平将直接影响到机场的运营水平和安全性,而在其建设特色上,突出了重大基础设施建设与民航特殊需要的紧密结合。在技术需求方面,首先要达到E级飞机的操作规范,其次要符合飞机起飞和降落包线,而其关键的技术指标则是围绕着双层沥青混凝土路面的整体性能展开<sup>[1]</sup>。路面为“承重层+功能性层”的双层构造,其底层为密级配的沥青稳定碎石承重层,具有良好的马歇尔稳定性和动力稳定性,并符合飞机跑道的特殊要求。上层是以抗滑动耐磨、高温抗车辙和低温开裂为主的改性沥青混凝土的功能性层,其结构厚度和摩擦系数均满足飞机起飞和降落的安全要求。为

了保证各层之间的协调受力,需要在层间配置特殊的粘接层来保证各层之间的协调工作,从而避免出现推移和分层等不良现象。对机场跑道末端和侧面的障碍进行了严密的限定,并与精确的进近设备相结合,达到了较高的降落规范。

## 二、工程勘察与设计关键技术

### (一) 复杂地质条件下的勘察与评价技术

4E级机场多位于城市郊区,易遭遇软粘土、岩溶和液化砂层等复杂的地质环境,需要建立“三维勘探+动态评估”的技术系统。通过“钻井+地球物理勘探+现场试验”的联合勘探方式,通过控制钻孔和通用的井网布置,以反映岩层的岩石属性和承载能力的空间分布;在地球物理探测中,利用高精度的地震探测技术和地质雷达技术,精确地确定了喀斯特地区和隐蔽断裂;在现场检测方面,进行了标准桩和静压桩的测定,定量地确定了砂性土的液化程度和压缩性<sup>[2]</sup>。以工程适应性为核心,构建软粘土“沉陷预报—承载力提高”双重目标评估模式,通过分层加总方法与数值仿真相结合的方法,实现变形不超过30mm。对岩溶区进行危险等级划分,根据充填灌浆的可行性评价,确定加固措施的适用区域,为加固措施的制定提供精确的参数支持。

### (二) 跑道与滑行道结构体系优化设计

针对E级飞机(例如B747-400)的最大起飞重量396t的载荷特点,充分发挥其在双层沥青砼路面中的优异性能,提出承重层+功能性层的协同优化思想,建立兼顾高强度和高使用寿命的结构体系。增强材料的内摩

擦角和内聚力,提高其抗疲劳性和传荷能力,使其满足长期反复加载的要求。以高分子材料为基础,引入抗车辙剂和纤维稳定剂,结合动力稳定性和低温抗弯实验,对其进行高温抗车辙、低温抗裂和抗滑动磨损等综合性能的同时提高,保证飞机在起飞和降落过程中的抓地力和表面平整。为提高层间粘结性能,防止层间推移和分层等不良现象,采用新型的水泥稳定层-同步压密封层。在此基础上,将数值仿真方法应用于道面轨道结构的受力计算,研究其在各种受力状态下的受力情况,并对其进行合理的分层厚度配比和底层刚度等,以达到兼顾安全性和经济性的目的。

### (三) 基于运行效率的平面布局设计技术

平面布局以“减少冲突+缩短滑行距离”为核心,根据风速资料,确定“单道+滑行道”的布局方案,该方案以180米为基准,符合E型飞机的机翼顶距;创新性地距离机场1200m的地方,设计了与机场夹角30度、距离机场1200m的“快速出站滑行道”,这样可以将降落后起飞的时间减少到90s以内,提高了机场的利用率。滑行道为“绕路+直行”相结合的设计,设有两个并行的滑道,以实现两个方向的通道,降低了航班的相互碰撞;在机场跑道上使用“卫星式”的跑道,将跑道最长的跑道长度限制在2km之内。建立滑行道交叉路口的交通流量数学建模方法,实现滑行道高峰时间内的交通容量提高20%。

## 三、核心施工工艺与技术创新

### (一) 高平整度与耐久性面层施工技术

以“精确温度控制+层间协调+精细化压实”为关键技术,建立路面平整和耐久性能保证系统。在铺设之前,必须将底层的路面清理干净,然后上面喷洒乳化沥青粘层(每平方米 $0.3\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^2$ ),以保证基层的粘合力<sup>[3]</sup>。为了防止因温度变化引起的分凝,利用沥青摊铺机进行分层施工,并对其进行分层施工。压实采取“一次压+二次压实三个阶段”的施工方法,第一次压力选择了两次钢轮压路机进行两次的静态压力加固,第二次是胶轮压路机四次(压实率达到97%),最后一次的两次钢轮压路机两次,以达到去除车辙的目的。创新性地利用红外线体温计对路面和碾压过程进行实时监控,并配合3m尺对路面的平整度进行动态测量(偏差在2mm以内),并适时地调节摊铺机的振动频率和压路机的行进速率,以保证上层的抗滑结构厚度达到 $0.8\sim 1.2\text{mm}$ 。

### (二) 大厚度基层稳定施工与质量控制

为保证路基稳定性,提出“精确配合+分层夯实+界面改性”的施工方法。本项目以水泥-粉煤灰(水泥用量3-5%,粉煤灰用量8-12%)为基础,利用连续式混合器精确地调控含水量( $\pm 1\%$ ),并在输送时用篷布进行遮盖以避免水份流失。本工程采用双层(18-20cm)铺设,一次铺设完毕后,由重式震动压路机进行压实,直到压实率达到98%以上,并通过平整度检验,方可开始二次填筑。在施工结束后,应立即进行7天的浇水养护,养护期间严禁机动车行驶,以免破坏路面的结构。在“原料检查+工艺监控+产品验收”的整个过程中,对原材料进行严格的粒度和强度检查,在施工期间使用核密仪实时检测压实度,每 $2000\text{m}^2$ 钻芯取样1组验证基层完整性与强度。为加强和底层的结合,防止发生层间滑动,在基础顶部做表面拉皮,去除表面疏松,撒上透水( $1.0\sim 1.2\text{kg}/\text{m}^2$ )。

### (三) 施工工序协同与智能化施工技术

基于“温度连接+空间划分”的工艺协调机制,建立适应沥青结构特征的协调系统。按照“基础施工、透层油/粘层施工、下层摊铺和上层摊铺”的工作程序,利用BIM对各个过程进行仿真,保证路面养护结束后48h之内进行透层,而沥青路面的铺设周期则控制在粘帖后2个小时以内。在整个建筑过程中应用了智能化的科技:拌和料的生产使用了智能化的配料体系,能够对配料进行及时的调节(偏差不超过0.1%),并且能够及时的将产品的生产参数录入到计算机中;在摊铺过程中安装了沥青路面的温度、高程和车速等参数实时采集,形成沥青路面的品质曲线;在压实过程中,使用了智能化的压实装置,利用传感器对压实过程中的压实强度和运动轨迹进行及时的回馈,从而实现对压实度的控制。采用携带红外热成像的无人机,实现对路面温度分布不均匀和局部离析的实时监测,实现对路面温度分布不均匀和局部离析的实时检测,并利用大数据对施工工艺进行优化。

## 四、质量控制与安全保障关键技术

### (一) 全周期质量检测与评定技术体系

建立“事先预判-事中管控-后确认”的全程品质管理系统,以达到检验结果和评价准则的精确匹配。在前期研究中,重点研究原料的质量管理,构建改性沥青和矿料的条码追溯体系,利用针入仪、延度仪等仪器对改性沥青进行高温稳定和低温开裂性能测试,并结合筛分实验,将其粒度变化控制在5%以内;在此基础

上,研究改性沥青在不同温度下的力学性能。为了保证其稳定性和流值达到规定的要求,对其进行了马歇尔强度测试。施工过程中采取“在线监控+抽查”的联动方式,在摊铺过程中,利用红外线热像仪对沥青面层(面层 $\geq 135^{\circ}\text{C}$ ,面层 $\geq 155^{\circ}\text{C}$ )进行实时检测,并通过压实度进行实时监控,并对其进行压实效果进行实时检测,并以 $500\text{m}^2$ 抽检1组芯样验证层间粘结强度;对层间结合进行24h以内的拉伸测试,拉伸强度大于 $1.2\text{MPa}$ 即为合格。在此基础上,创新性地提出“3D激光扫描+核心耦合”的评价方式,实现对路面平面度和结构层厚度的精确测量,并对其进行密度和空隙率的检测,并对其进行定量评价,以保证整个道路的综合质量。

### (二) 施工安全风险防控与应急处置技术

建立“风险识别—动态监控—紧急处置”的技术系统。针对高温摊铺、大型机械协同作业等8个关键过程,运用LEC评估方法,对8种关键过程(例如改质沥青摊铺)实施危险等级划分,制定相应的应急预案,并配置相应的防灼设备。基于物联网的动态监控,对混合料进行精确控制。摊铺机和压路机配备北斗导航和撞击警告装置,当工作范围不超过 $5\text{m}$ 时,会发出声音和声音警告,降低工作速度。采取“情景式预案+物料先行”的应对方式,针对沥青烧伤、机械碰撞等常见情况,建立相应的处理程序,在作业区域 $300\text{m}$ 以内建立紧急储备仓库,储备降温毯、液压顶撑等特殊物品。每月进行一次实际操作演习,利用录像追踪技术对处理过程进行优化,使紧急处理过程 $8\text{min}$ 以内,对机器故障处理 $15\text{min}$ 以内。

### (三) 极端环境下的工程质量保障技术

针对极端气候条件下的高温、低温、暴雨等极端条件,构建“环境预测—过程调控—维修增强”适配技术系统<sup>[4]</sup>。在高温( $>35^{\circ}\text{C}$ )条件下( $>35^{\circ}\text{C}$ ),通过对集料进行预冷却(将其冷却到低于 $25^{\circ}\text{C}$ ),并掺入 $0.3\%$ 的防车辙剂,使沥青混凝土的出厂温度在 $175^{\circ}\text{C}$ 以下;将施工时

间改为早上10点到早上10点,第一次压力应在30分钟之内结束。在寒冷地区( $\leq -5^{\circ}\text{C}$ )采用“原料预热+隔热夯实”方案,将沥青和矿料通过蒸汽加热到 $15^{\circ}\text{C}$ ,然后在摊铺后马上盖上电热保温被,保证碾压的温度不小于 $120^{\circ}\text{C}$ ,并加入 $0.05\%$ 的纤维抗裂剂提高其低温性能。在大雨来临之前,根据气象警告,提前4个小时停车,对已经铺设好的路面进行苫盖和夯实;在降雨结束后,对底层进行水分测试,超过 $12\%$ 时,需用风扇将其烘干,并在粘结层上再喷上一遍,以保证层间的粘结力。

### 结束语

文章以4E级机场跑道和滑行道为研究对象,建立“勘测设计—建造过程—质量—安全性”的完整产业链研究体系,解决复杂地质条件下的地质适应性、高等级承载力构造和全生命周期风险控制等一系列关键技术瓶颈。所获得的关键研究结果,不是单个技术的简单叠加,而是通过多个技术手段的相互配合,使其成为一个有机体,即:复杂地质勘探的动力评估,能够为结构的设计提供精确的地质数据;具有多层次受力的结构设计,能够确定施工过程中的控制对象,能够保证施工过程的智能建造过程,为项目的整个生命过程提供技术保护。

### 参考文献

- [1]伊良帮.智能化施工监控系统在机场场道建设中的应用[J].中国信息界,2025,(02):234-236.
- [2]刘雨星,方学东.智慧技术在现代机场跑道建设中的应用[J].电子技术,2024,53(02):92-93.
- [3]任立平.智慧机场跑道放行指示灯系统建设研究[J].照明工程学报,2023,34(03):46-51.
- [4]杨艺洋,周建,叶新强,等.试论复杂地质条件下机场跑道地基处理技术[J].四川建筑,2022,42(S1):55-57.