

机场跑道道面材料性能对比与选型研究

朱强强

广西机场管理集团建设工程指挥部 广西 南宁 530048

摘要: 随着航空运输业的蓬勃发展,机场跑道道面材料选型对运行安全与效率至关重要。本文深入对比传统(水泥、沥青混凝土)及新型(复合、透水、智能等)道面材料特性,构建涵盖力学、功能、经济、环境等多维度的性能指标体系。经实验测试与数据分析,开展敏感性探究。随后构建选型决策模型,综合多因素分析,结合案例验证,最终提出选型流程与分级标准,为机场跑道合理选材提供科学指引。

关键词: 机场跑道;道面材料;性能对比;选型

引言:在全球化进程加速的当下,航空运输凭借其高效、便捷的优势,成为国际交流与贸易往来的关键纽带,机场作为航空运输的核心枢纽,其建设质量直接关系到运行安全与效率。而跑道道面材料作为机场基础设施的关键构成,其性能优劣对飞机的起降安全、运行舒适度以及机场的长期运营成本有着深远影响。不同材料在力学特性、功能表现、经济成本 and 环境影响等方面差异显著。因此,深入开展机场跑道道面材料性能对比与选型研究,具有重要的现实意义。

1 机场跑道道面材料类型与特性分析

1.1 传统道面材料

1.1.1 水泥混凝土道面

(1) 结构组成与力学特性:由水泥、粗骨料、细骨料和水按配比混合浇筑而成,常搭配基层、垫层形成多层结构;具有高抗压强度(通常 $\geq 40\text{MPa}$)和抗折强度,整体刚度大,能有效承受飞机荷载,变形量小,力学性能稳定。(2) 优缺点:优点是耐久性强,正常使用年限可达20-30年,抗磨损、抗冻融能力优异;缺点是维护成本高,局部损坏需切割修补,易产生裂缝,且施工周期长,需28天以上养护期,影响机场运营效率。

1.1.2 沥青混凝土道面

(1) 结构组成与力学特性:以沥青为胶结料,混合骨料、矿粉碾压成型,结构层兼具刚性与柔性;弹性好,能适应轻微地基沉降,抗冲击能力强,受力时变形均匀,可减少飞机起降时的冲击荷载。(2) 优缺点:优点是抗滑性优,表面纹理丰富,雨天能降低水膜效应,且施工速度快,养护周期短(7-10天);缺点是易老化,受高温易软化、低温易开裂,使用寿命较短(10-15年)^[1]。

1.2 新型道面材料

(1) 复合材料:如钢纤维增强混凝土,通过掺入钢纤维提升抗裂性和韧性,抗压强度提高15%-20%;聚合

物改性沥青则加入橡胶、树脂等,改善耐高温和抗老化性能,延长使用寿命3-5年。(2) 透水道面:采用多孔骨料和透水基层,孔隙率达15%-20%,能快速排除雨水,减少积水风险,同时可渗透地下水,降低热岛效应,符合环保要求。(3) 智能道面:在材料中嵌入光纤传感器、应变传感器,实时监测道面抗压、抗折性能及裂缝发展,实现结构健康预警,减少人工检测成本,提升维护及时性。

1.3 材料性能关键指标体系

(1) 力学性能:抗压强度决定道面承载能力,机场跑道要求 $\geq 45\text{MPa}$;抗折强度需 $\geq 5\text{MPa}$,防止弯曲开裂;疲劳寿命需满足100万次以上飞机起降荷载循环。(2) 功能性能:抗滑性以摩擦系数衡量,雨天需 ≥ 0.4 ;排水性要求1小时内排除20mm降雨量;抗冲击性需承受飞机起降时的瞬时荷载(20-30kN)。(3) 经济性能:初始成本中,水泥混凝土道面约300-400元/ m^2 ,沥青混凝土约200-300元/ m^2 ;维护成本方面,沥青道面年均约20元/ m^2 ,水泥道面约15元/ m^2 ;全生命周期成本(20年)水泥道面更低,约600-800元/ m^2 。^[2](4) 环境性能:水泥混凝土碳排放约80kg/ m^2 ,沥青混凝土约50kg/ m^2 ;资源消耗上,透水道面可回收骨料利用率达80%,智能道面传感器材料需考虑可降解性,降低环境影响。

2 机场跑道道面材料性能对比实验与数据分析

2.1 实验设计

(1) 样本制备:选取水泥混凝土(C50,水灰比0.42)、沥青混凝土(AC-13,沥青用量5.2%)、钢纤维增强混凝土(钢纤维掺量1.2%)三种材料;水泥混凝土采用振动压实成型(压力30kN,时间2min),沥青混凝土用轮碾机碾压(温度165°C,压力50kN),复合材料同水泥混凝土工艺,每组制备3个100mm \times 100mm \times 400mm试件。(2) 测试方法:室内加速加载试验模拟飞机起降(荷载50kN,循环10万次),测力学衰减率;现场实测选取机场跑道测

试段(各材料100m×5m),测摩擦系数、排水速率;环境影响测试通过材料生命周期评估(LCA)计算碳排放^[3]。
(3)实验设备:落锤式弯沉仪(FWD,分辨率0.01mm)测弯沉值,摩擦系数测试仪(摆式仪,精度±0.01)测抗

滑性,高温老化箱(温度范围-40~100℃)测耐高温性,电子万能试验机(量程0~300kN)测抗压强度。

2.2 性能对比结果

(1)力学性能对比(表1):

材料	初始抗压强度(MPa)	10万次加载后强度(MPa)	强度衰减率(%)
水泥混凝土	55.2	48.6	11.9
沥青混凝土	42.8	32.1	25.0
钢纤维混凝土	62.5	58.3	6.7

(2)功能性能对比:抗滑性(摩擦系数)水泥混凝土0.52、沥青混凝土0.61、复合材料0.58;排水性(mm/min)透水道面(沥青基)6.8,普通水泥路面2.3;耐高温性(60℃软化变形)沥青混凝土2.1mm,复合材料0.8mm。
(3)经济性对比(全生命周期20年,元/m²):水泥混凝土初始成本380、维护成本300、总成本680;沥青混凝土初始280、维护450、总成本730;复合材料初始450、维护220、总成本670。
(4)环境影响对比(图1):水泥混凝土碳排放82kg/m²、资源消耗(骨料)0.25m³/m²;沥青混凝土碳排放55kg/m²、资源消耗0.22m³/m²;复合材料碳排放70kg/m²、资源消耗(含钢纤维)0.28m³/m²。

2.3 敏感性分析

(1)气候条件影响:高温(60℃)下,沥青混凝土软化变形增加30%,水泥混凝土强度下降5%;低温(-20℃)下,沥青混凝土开裂率达15%,复合材料仅3%;冻融循环(50次)后,水泥混凝土强度衰减18%,透水道面因排水好,衰减仅9%。
(2)交通荷载影响:重载飞机(荷载80kN)作用下,沥青混凝土弯沉值达0.5mm(超限值0.3mm),复合材料弯沉0.2mm;高频起降(200次/天)时,沥青混凝土10年寿命缩短至8年,水泥混凝土仍保持18年寿命^[4]。

3 机场跑道道面材料选型决策模型构建

3.1 选型影响因素分析

(1)自然环境因素:气候方面,高温地区(年平均气

温≥25℃)需优先考虑材料耐高温性,避免沥青混凝土软化;低温多冻融地区(年冻融循环≥30次)应选择抗冻性强的水泥混凝土或复合材料;地质条件上,软土地基需兼顾材料柔韧性与承载性,减少沉降导致的开裂。
(2)交通量因素:航班频次高(日均起降≥150架次)的机场,需选择疲劳寿命长的材料(如钢纤维增强混凝土);机型以大型客机(如波音747)为主的机场,因荷载大(≥80kN),需提升材料抗压强度(≥50MPa);中小型客机为主的机场,可适当降低力学性能要求,平衡成本与性能。
(3)经济因素:预算充足(单位造价≥400元/m²)的机场,可选用智能道面或复合材料,降低长期维护成本;预算有限(单位造价≤300元/m²)的机场,沥青混凝土初始成本低,适合短期使用;维护能力弱(年均维护预算≤20元/m²)的机场,需优先选择耐久性强的水泥混凝土^[5]。
(4)政策与可持续性要求:环保法规严格地区(碳排放限值≤60kg/m²),应选用沥青混凝土或透水道面;碳减排目标高(减排率≥20%)的机场,可结合可回收骨料(利用率≥80%);绿色建筑认证项目,需满足环境性能全指标(抗滑、排水、可回收性)。

3.2 选型方法论

(1)多属性决策模型(AHP-TOPSIS综合评价法):先通过AHP确定权重(力学性能30%、经济性能25%、环境性能20%、功能性能25%),再用TOPSIS计算贴近度(表2),贴近度越高选型优先级越高。

材料	力学性能得分	经济性能得分	环境性能得分	功能性能得分	综合贴近度
水泥混凝土	85	78	65	72	0.76
沥青混凝土	68	82	80	85	0.79
钢纤维混凝土	92	65	70	80	0.83

(2)基于全生命周期成本(LCC)的优化模型:以20年为周期,构建LCC=初始成本+维护成本+处置成本模型,当LCC≤700元/m²时,钢纤维混凝土(670元/m²)最优;LCC≤750元/m²时,可扩展至沥青混凝土(730元/m²)。
(3)案例验证(某区域机场选型实例):该机场日均起降80架次(中小型客机为主),年冻融循环25次,预

算350元/m²,碳排放限值70kg/m²。通过AHP-TOPSIS计算,水泥混凝土综合贴近度0.76,沥青混凝土0.79,最终选择沥青混凝土,使用5年后维护成本仅18元/m²,符合预期。

4.3 选型流程与标准建议

4.3.1 选型流程图(图1):

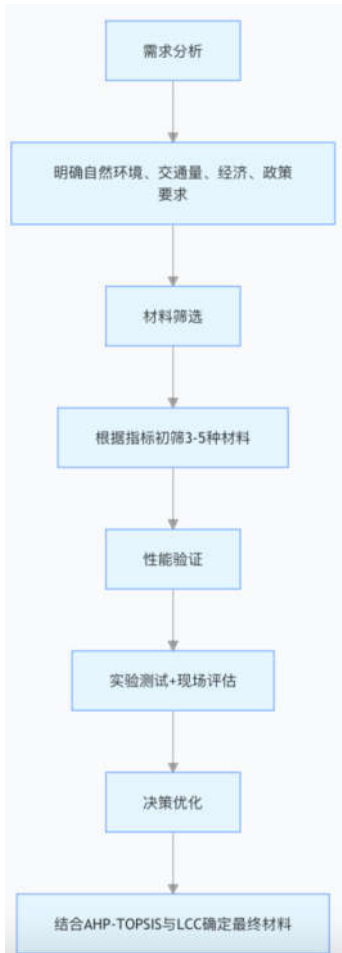


图1: 选型流程图

4.3.2 选型标准分级

(1) 特大型枢纽机场 (如北京大兴机场): 力学性能 (抗压 $\geq 50\text{MPa}$ 、疲劳寿命 ≥ 150 万次)、环境性能 (碳排放 $\leq 60\text{kg/m}^2$)、功能性能 (抗滑系数 ≥ 0.5 、排水速率 $\geq 5\text{mm/min}$)，优先选择复合材料+智能监测系统。

(2) 区域机场 (如杭州萧山机场): 力学性能 (抗压 $\geq 45\text{MPa}$ 、疲劳寿命 ≥ 100 万次)、经济性能 (LCC ≤ 750 元/ m^2)、环境性能 (碳排放 $\leq 70\text{kg/m}^2$)，可选用水泥混凝土或沥青混凝土。

(3) 通用机场 (如私人机场): 力学性能 (抗压 $\geq 40\text{MPa}$ 、疲劳寿命 ≥ 50 万次)、经济性能 (LCC ≤ 650 元/ m^2)，沥青混凝土或普通水泥混凝土即可满足需求。

结束语

机场跑道道面材料性能对比与选型研究，是保障航空运输安全高效运行的重要课题。通过系统剖析传统与新型道面材料的特性，构建全面且科学的性能指标体系，并借助严谨的实验与数据分析，精准把握各材料在不同条件下的性能表现。同时，构建的选型决策模型与流程标准，为实际选材提供了切实可行的指引。未来，随着航空业持续发展与技术不断创新，需进一步优化选型研究，以适应更高标准的机场建设需求，推动航空事业稳健前行。

参考文献

- [1]张靖科,史望.机场跑道加盖沥青混凝土面层不停航施工技术[J].大众标准化,2025,(03):61-63.
- [2]申晓春.某机场跑道修复施工方案与质量控制[J].四川建材,2024,50(05):150-152.
- [3]陈志远.沥青混凝土抗疲劳性能研究进展[J].建筑材料学报,2023,26(4):58-60.
- [4]周文斌,黄晓东.高性能水泥混凝土在机场道面中的应用与挑战[J].交通运输工程学报,2022,22(3):76-78.
- [5]孙立峰.纤维增强复合材料在机场道面抗裂性能中的实验研究[J].工程力学,2024,41(2):112-113.