

文章编号: 1674-599X(2021)04-0020-04

贵州某机场沥青道面反“Z”型隆起成因分析

江圣泽, 盛昀, 方学东

(中国民用航空飞行学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 为研究贵州某机场B滑行道沥青道面出现异常反“Z”型隆起的原因, 对病害部位利用探地雷达进行扫描及钻芯取样试验, 发现沥青道面底部存在1 cm的脱空; 对试样进行沥青材料密度、沥青含量检测等试验, 发现沥青面层材料水稳定性和抗剥落性良好, 沥青老化程度较轻, 并采用ANSYS软件建立道面异常隆起部位的有限元模型。研究结果表明: 由于混凝土层施工缝处理不当, 降雨从土面区沿施工缝渗入造成侵蚀破坏, 使得沥青混凝土面层下部的混凝土板夏季受热产生异常膨胀, 形成竖向位移, 将上部沥青混凝土层顶起。

关键词: 钻芯取样; 室内试验; 有限元; 膨胀; 隆起

中图分类号: TU279.7+1

文献标志码: A

A anti-Z type uplift mechanism analysis of asphalt pavement of an airport in Guizhou

JIANG Sheng-Ze, SHENG Yun, FANG Xue-dong

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: To study the causes of the abnormal anti-Z type uplift on the asphalt roadway surface of taxiway B in an airport in Guizhou, the ground penetrating radar was used to scan the uplift areas, and core sampling was drilled. The hole with the size about 1cm was found at the bottom of asphalt pavement. Testing of asphalt material density and asphalt content was then performed. It is found that the water stability and anti-spalling of the asphalt surface material are good in quality, and the asphalt aging degree is slight. The finite element model of abnormal uplift was established using the ANSYS. The simulation results show that, when the concrete construction joint is improperly treated, rain can infiltrate from the soil surface area to the construction joint, causing the erosion damage. The concrete slab under the asphalt concrete surface layer is easy to heated to expand abnormally in summer, the vertical displacement can be induced, and the upper layer of asphalt concrete is then jacked up.

Keywords: core sampling; laboratory tests; finite element; inflation; uplift

贵州某机场跑道长2 600 m, 宽45 m, 两侧道肩宽度为1.5 m。该机场1958年开始建设, 期间由于各种原因停建, 于1970年又重新开工建设, 至1972年建成, 占地1 397亩, 跑道长1 500m、宽40 m, 为混凝土碎石结构。经过多年发展, 机场目前飞行区等级为4C, 距离市区约为22 km, 航空服务范围覆盖黔、湘、渝等省市。为满足旅客吞吐量逐年增长的需要, 2012年该机场将原跑道向

北延长至2 600 m, 新建1条长136.5 m、宽18 m的垂直联络道。机场现有2条垂直联络道, 均为水泥混凝土道面和沥青道面拼接而成。2020年7月, 对该机场道面进行检测, 道面的整体情况良好, 但是在B滑行道检测过程中发现沥青混凝土道面出现异常隆起, 隆起部位发生在沥青道面与水泥道面交接处的沥青道面部分。道面隆起部位的结构为底部30 cm级配碎石层+30 cm水泥混凝土层, 混凝

收稿日期: 2020-09-22

作者简介: 江圣泽(1994—), 男, 中国民航飞行学院硕士生。

土层的上部依次加铺了9 cm的AC-20沥青混凝土层+6 cm的SMA-16沥青混凝土层。为了进一步保障机场的安全运行,有必要对该病害出现的成因进行探究。

1 检测布置

1.1 探地雷达检测

在机场飞行区的检测过程中,发现B滑行道沥青道面中面向跑道方向的左侧出现隆起病害,隆起变形沿沥青道面层下方水泥混凝土板施工接缝分布。隆起高度约为3 cm,宽度约为5 cm,总体呈现反“Z”型,如图1所示。为检查沥青层下部是否具有脱空现象,使用探地雷达对该隆起部位进行扫描。结合反“Z”型分布特点,制定了5条扫描测线,如图2所示。测线中,A-A'、B-B'、C-C'和D-D'分别沿滑行道南、北方向分布,间隔约为5 m。E-E'是单独的一条测线,沿东西方向分布。

检测时,将雷达依次沿A-A'至D-D'推进,然后沿东西方向进行E-E'测线的检测。根据检测结果,B-B'至D-D'测线的雷达显示波段明显存在异常,表明沥青面层下存在脱空现象。



图1 沥青面层反“Z”型隆起

Fig. 1 Inverse Z type uplift of asphalt surface layer

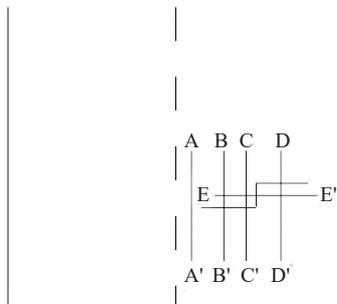


图2 探地雷达检测路线

Fig. 2 Detection route of the GPR

1.2 钻芯取样试验

道路上的行车荷载是连续反复荷载^[1],飞机对

道面的作用也是主起落产生的循环荷载。结合B滑行道的各层结构图,现场避开飞机轮迹带,布置2个钻孔,使用100 mm钻头对鼓起沥青道面进行钻芯取样,钻至沥青面层之下的混凝土层,停止钻孔,取芯,目视观察孔底状况,发现钻芯过程中有破碎现象。根据测量掉落试块的大小,沥青面层与混凝土层之间存在约1 cm的空洞,取样部位存在明显脱空现象。

对沥青混合料组成进行分析,上面层沥青混合料的毛体积相对密度为2.443,理论最大相对密度为2.553,空隙率为4.3%。下面层沥青混合料的毛体积相对密度为2.399,理论最大相对密度为2.523,空隙率为4.9%。

SMA材料技术要求空隙率范围是3.0%~4.5%,AC材料技术要求空隙率范围是3.0%~5.0%,因此,现场取芯试样的空隙率需满足要求^[2]。

经过离心抽提试验分析,得出该机场沥青道面上面层材料的沥青含量为5.6%,下面层材料的沥青含量为4.8%。根据《民用机场沥青道面设计规范》(MH/T 5010—2017),SMA-16的最佳沥青用量范围为5.4%~6.0%,AC-20的最佳沥青用量范围为3.8%~4.8%,试验结果满足要求。

沥青混合料现场芯样的抗剥落性,通过肯塔堡飞散试验测定^[3],检测得到肯塔堡浸水飞散损失率为5.3%。从结果可知,机场沥青道面的上面层材料抗剥落性良好,跑道使用至今仍低于设计时材料散失损失率要求的上限值,明显符合运行要求。此外,从浸水飞散试验结果来看,水稳定性初步判定为较好,损失率较低。

经过冻融劈裂试验,得到劈裂强度,计算出上面层试件的冻融劈裂比(TSR)结果为88.2%,下面层实际的冻融劈裂比(TSR)结果为89.1%,满足抗水损害性能的冻融劈裂试验的残留强度比值要求。结合肯塔堡浸水飞散试验结果可知,沥青道面上面层的水稳定性较好,经使用后仍满足道面设计时的要求。

通过抽提分离沥青和旋转蒸发回收沥青试验方法,发现回收沥青各项指标的变化也属于正常范围,表明该机场沥青道面的沥青老化程度并不严重。

2 有限元建模与仿真

2.1 模型建立

经过试验分析, 沥青混凝土层不存在严重问题, 故对下部混凝土板进行分析。参考实际结构, 采用 ANSYS 软件建立三维有限元模型。模型沥青混凝土部分上层为 6 cm 厚 SMA-16 的沥青混凝土, 下层为 9 cm 厚 AC-20 的改性沥青混凝土。混凝土部分为 2 块长 5 m、宽 5 m 相互接触的板块, 板厚为 30 cm。根据劈裂试验结果, 得到道面材料的各项参数, 见表 1。

表 1 各材料参数

Table 1 Material parameters

材料名称	弹性模量/ MPa	泊松比	热膨胀系数/ ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	比热容/ ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
SMA-16 沥青混凝土	1 200	0.30	1.50	960
AC-20 改性沥青混凝土	2 000	0.25	1.50	960
水泥混凝土层	37 500	0.20	1.20	1 020
级配碎石层	1 600	0.26	1.45	970
地基	70	0.35	1.10	870

隆起部位靠近滑行道道肩, 雨季降水会使得部分雨水从道肩一侧的土面区下渗到道面板与沥青层的结合部, 对结构造成侵蚀。夏季高温会导致混凝土和沥青层受热膨胀。因此, 对模型施加温度荷载, 观察模型受热膨胀后的变化。为了更好地模拟板单元的受热状态, 考虑到雨水侵蚀作用, 结合规范要求, 在原模型的基础上将板缝两侧的混凝土板块各划分出一定宽度的“侵蚀”影响区域, 如图 3 所示。游庆龙等人^[4]在进行适应大飞机沥青道面结构有限元模型分析时, 使用 ABAQUS 软件中的 tie 连接, 对不同层间连续条件进行模拟。段小兰^[5]曾使用 ANSYS 软件模拟完全接触状态下路面产生的温度应力。为了让本模型不同结构层间的节点和单元彼此之间没有相对位移, 分别将各层进行 Bonded 连接。Bonded 连接用于模拟 2 个接触面无相对滑动的情况, 相当于两者完全结合在一起, 是接触类型中较为常见的一类情况^[6]。



图 3 有限元模型

Fig. 3 Finite element model

网格质量的好坏对模型计算精度具有很大影响^[7], 所以应考虑计算精度和效率的情况下对模型进行划分。本模型网格播种尺寸为 100 mm, 全模型划分后, 共 149 834 个节点, 25 000 个单元, 如图 4 所示。



图 4 网格单元划分

Fig. 4 Grid element division

该机场选址位于西南山区, 年平均气温为 13.5~17.6 $^\circ C$, 夏季最高气温约为 45 $^\circ C$, 最低气温为 -5 $^\circ C$, 结合道面材料和实际外界环境气温对模型施加温度荷载。

边界条件是否施加, 应根据具体工程应用的需。有无边界约束的有限元模型均有各自使用范围, 应根据需要酌情选择^[8]。根据机场道面实际情况, 采用 Winkler 地基模型模拟对道面结构的作用^[9], 模型上部为自由边界, 周边约束板体的水平位移。

2.2 计算结果分析

经过计算, 模型整体位移变形, 如图 5 所示。从结果数据来看, 模型中间部位的变形最大, 最大数值为 31.811 mm, 宽度约为 10 cm。然后逐渐向两侧递减。对比现场情况, 在温度荷载作用下, 沥青层与混凝土板结合部产生热膨胀, 上部隆起高度约为 3 cm, 底部板缝处竖向变形约为 1.2 cm, 理论计算值与现场实测值相差不大。

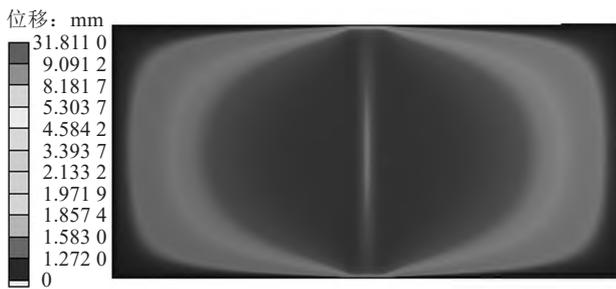


图5 模型整体变形

Fig. 5 Deformation of the model

观察整体在不同时间段内的变形过程, 可得高温作用下受雨水侵蚀的板块受热发生膨胀, 此时板体处于四周不自由状态, 这种膨胀使2块相邻板相互挤压导致应力集中, 从而产生竖向拱胀变形, 加之隆起部位靠近滑行道道肩, 雨水经土面区下渗后, 对混凝土道面板结构层产生侵蚀作用, 降低了混凝土的抗变形能力, 使接缝两侧板体的竖向位移加剧, 并导致上部沥青结构层被顶起。

高温导致竖向变形, 同时也会对级配碎石层产生影响, 钻芯取样发现级配碎石层与混凝土板间出现的空洞也是板块出现热膨胀变形导致。

模拟结果表明: 温度荷载使沥青面层出现隆起部位处的最大拉应变为0.0003, 小于结构设计强度, 故沥青结构层在变形状态下未发生裂缝损坏, 符合现场探查的实际道面情况。

3 结论

通过沥青材料试验和三维有限元模型仿真, 分析了贵州某机场B滑行道沥青面层异常隆起的病害形成原因, 得到结论为:

1) 通过室内试验, 沥青上面层材料空隙率为4.3%, 下面层材料空隙率为4.9%。浸水飞散试验显示水稳定性和抗剥落性较好。沥青上面层粗集料较标准推荐范围偏多, 细集料则偏少, 并且各档细集料颗粒含量皆小于标准推荐范围, 导致沥青道面出现松散。沥青下面层矿料组成符合推荐级配范围。上、下面层沥青用量均满足设计规范要求。从各项试验结果来看, B滑行道沥青混凝土表面出现了一定松散和老化, 产生了变形, 但老化程度较轻, 表层结构并未发生破坏。

2) 隆起病害区在飞机滑行的后部主轮轮迹线以外, 不会产生水平推挤作用, 再根据钻孔底部

混凝土破碎情况可知, 因为水泥混凝土层的施工接缝处理措施不当, 在运营期, 降雨从土面区沿施工缝渗入造成混凝土侵蚀破坏。由于受影响区域沿水泥混凝土板块的施工缝分布, 加之夏季高温膨胀导致混凝土板块在受热过程中相互挤压, 能量封闭在板体内无法释放, 因此呈现规则的反“Z”型竖向隆起。

3) 隆起部位虽处于轮迹带外, 由于病害特殊, B滑行道沥青道面中向跑道方向的左侧反“Z”型隆起病害应引起重视。为进一步保障航班安全, 建议委托相关单位进行开挖修补, 将沥青道面铣刨后, 查看下方混凝土层情况, 必要时应将破碎部分进行切割修补, 重铺该区域道面。

参考文献(References):

- [1] 杨中才, 王根宝, 陈继红. 基于有限元分析的双层桥面铺装方案研究[J]. 交通科学与工程, 2019, 35(4): 52-56. (YANG Zhong-cai, WANG Gen-bao, CHEN Ji-hong. Research on the double-layered bridge deck scheme based on finite element analysis[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2019, 35(4): 52-56. (in Chinese))
- [2] 中国民用航空局. 民用机场沥青道面设计规范: MH/T 5010—2017[S]. 北京: 中国民航出版社, 2017. (Civil Aviation Standard of the People's Republic of China. China Airport Construction Group Corporation: MH/T 5010—2017[S]. Beijing: China Civil Aviation Publishing House, 2017.)
- [3] 中国民用航空局. 民用机场道面评价管理技术规范: MH/T 5024—2019[S]. 北京: 中国民航出版社, 2019. (Civil Aviation Standard of the People's Republic of China. Specification for pavement evaluation and management of civil airports: MH/T 5024—2019[S]. Beijing: China Civil Aviation Publishing House, 2019. (in Chinese))
- [4] 游庆龙, 凌建明, 袁捷, 等. 适应大型飞机的沥青道面结构有限元模型[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(2): 18-23. (YOU Qing-long, LING Jian-ming, YUAN Jie, et al. Finite element model of flexible airport pavement structure for large aircraft[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12(2): 18-23. (in Chinese))

(下转第58页)

- [5] Ataei A, Bradford M A, Liu X P. Experimental study of composite beams having a precast geopolymer concrete slab and deconstructable bolted shear connectors[J]. *Engineering Structures*, 2016, 114: 1-13.
- [6] Nijgh M P, Veljkovic M. A static and free vibration analysis method for non-prismatic composite beams with a non-uniform flexible shear connection[J]. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2019, 159: 398-405.
- [7] Du H, Hu X M, Meng Y F, et al. Study on composite beams with prefabricated steel bar truss concrete slabs and demountable shear connectors[J]. *Engineering Structures*, 2020, 210: 110419.
- [8] 邵旭东, 张瀚文, 李嘉, 等. 钢-超薄UHPC轻型组合桥面短钢筋连接件抗剪性能研究[J]. *土木工程学报*, 2020, 53(1): 39-51. (SHAO Xu-dong, ZHANG Han-wen, LI Jia, et al. Research on shear performance of short rebar connectors in steel-ultra thin UHPC lightweight composite deck[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2020, 53(1): 39-51.(in Chinese))
- [9] 肖亚鑫, 鲁乃唯, 陈方怀. 钢-超高性能混凝土组合板连接件的抗剪性能[J]. *交通科学与工程*, 2020, 36(1): 44-49. (XIAO Ya-xin, LU Nai-wei, CHEN Fang-huai. The shear capacity of steel-ultra-high performance concrete composite board connectors[J]. *Journal of Transport Science and Engineering*, 2020, 36(1): 44-49. (in Chinese))
- [10] 褚世新, 朱晓庆, 初金章. 装配式钢桥应用于普通公路桥梁探讨[J]. *公路与汽运*, 2011(4): 222-224. (CHU Shi-xin, ZHU Xiao-qing, CHU Jin-zhang. Discussion on the application of assembled steel bridge to ordinary highway bridge[J]. *Highways & Automotive Applications*, 2011(4): 222-224. (in Chinese))
- [11] Monsen A I, Ralph A, Thomas D, et al. Full-scale testing of prefabricated full-depth precast concrete bridge deck panel system [J]. *ACI Structural Journal*, 2007, 104(3): 324-332. doi:10.14359/18622.
- [12] 黄侨, 荣学亮, 陆军. 既有钢-混组合梁桥常见病害分析及其加固策略[C]//全国既有桥梁加固、改造与评价学术会议论文集. 南京, 2008: 166-171. (HUANG Qiao, RONG Xue-liang, LU Jun. Analysis of common diseases and reinforcement strategies of existing steel-concrete composite beam bridge[C]// Academic conference on reinforcement, reconstruction and evaluation of existing bridges. Nanjing, 2008: 166-171. (in Chinese))
- [13] 贺君, George V, 王思豪, 等. 新型可拆卸开孔钢管连接件抗剪性能[J]. *中国公路学报*, 2018, 31(12): 28-36, 80. (HE Jun, GEORGE V, WANG Si-hao, et al. Shear performance of a novel demountable perforated steel-tube connector[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2018, 31(12): 28-36, 80.(in Chinese))

(上接第23页)

- [5] 段小兰. 混凝土路面脱空板角的温度应力有限元分析研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016. (DUAN Xiao-lan. The thermal stress study of void beneath slab on cement concrete pavement[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016. (in Chinese))
- [6] 江民圣. ANSYS Workbench 19.0 基础入门与工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019. (JIANG Min-sheng. ANSYS Workbench 19.0 foundation entry and engineering practice [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019. (in Chinese))
- [7] 李友云, 罗磊, 胡迪, 等. 基于荷载影响区域下不同形状轮载的等效性[J]. *长沙理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 15(3): 54-63. (LI You-yun, LUO Lei, HU Di, et al. Equivalence about different shapes of wheel loads with influence area[J]. *Journal of Changsha University of Science & Technology(Natural Science)*, 2018, 15(3): 54-63.(in Chinese))
- [8] 陈小辉, 李浩. 沥青路面结构三维有限元模型研究[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2020, 44(3): 584-590. (CHEN Xiao-hui, LI Hao. Research on three-dimensional finite element model of asphalt pavement structure[J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2020, 44(3): 584-590.(in Chinese))
- [9] 方学东, 江圣泽. 西南某机场水泥混凝土道面板应力计算分析[J]. *交通科技与经济*, 2020, 22(3): 57-61. (FANG Xue-dong, JIANG Sheng-Ze. Stress calculation and analysis of cement concrete pavement at an airport in Southwest China[J]. *Technology & Economy in Areas of Communications*, 2020, 22(3): 57-61. (in Chinese))