

装配式水泥混凝土道面在机场抢修中的应用

吴世涛¹, 乔 栋²

(1.民航机场规划设计研究总院有限公司西南分公司,四川 成都 610200;2.西部战区空军勘察设计院,四川 成都 610000)

摘要:水泥道面是国内机场应用最为广泛的道面类型,随着大量机场水泥道面进入维护期,水泥道面损坏后修复困难的问题也越来越凸显。装配式水泥混凝土道面具有“集中预制、分散安装”的特点,具有快速、环境能力适应强、经济的优点,是现有水泥道面维护的良好解决方案。现调研了国内外装配式水泥混凝土道面技术的研究现状,介绍了在浦东机场、伊春机场的成功应用案例;指出了应用在机场道面抢修的主要施工工艺和技术要求,提出了装配式水泥道面技术难点在于保证板底的充分填充、道面接缝传力的恢复和道面表面的平整度;经分析认为开发相应的专用设备、实现道面技术的工业化方可解决装配式水泥混凝土道面技术实施的难题。

关键词: 装配式;道面;机场;抢修;施工工艺

中图分类号: U416.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0258-05

0 引言

水泥混凝土道面具有强度高、耐久性好、日常维护少的特点,是机场应用最为普遍的道面类型,对于沥青道面维护能力较为欠缺的中小机场而言优势更为明显。随着大量机场水泥道面进入维护期,水泥道面损坏后修复困难的问题也越来越凸显。水泥混凝土道面的抢修通常采用填铺沥青或者使用快硬水泥的方式。临时填铺的沥青混合料存在模量相差大、交接处易损坏、不美观的缺点,使用时间较短。快硬水泥水化反应迅速、水化热过高、耐久性较差,并且价格昂贵,难以大面积推广使用。

装配式水泥混凝土道面施工方法在厂房中完成水泥板的预制,强度达到设计要求后,再运输到机场,经过破除损坏水泥板、处治基层、吊装预制板、板底注浆、处理接缝这些流程后即可开放交通。这种水泥道面施工形式解决了水泥道面强度增长缓慢和快速开放交通要求之间的矛盾,节约了昂贵的材料费用,对外界天气的要求更低,可在全天候条件下实施^[1]。装配式水泥混凝土道面是使用传统材料的新工艺和新方法。

目前国内学者和技术人员在公路与机场领域对装配式道面的应用展开了广泛的研究和探讨:张儒雅等人调研了美国装配式水泥混凝土铺面技术发展和应用情况^[2];周俊等人指出采用装配式预应力路面,

通过标准化设计基础板、中央应力板和连接板,可在现场快速安装,使用性能优异^[3];赵兰若等人研究了考虑邻板高程差的装配式水泥路面行驶舒适性情况^[4]。

现在调研国内外应用情况的基础上,就实际应用中出现的技术问题开展研究。

1 装配式混凝土道面研究与应用情况

以美国和日本为代表的许多国家在上个世纪就开始了装配式水泥混凝土道面的研究,使得他们的装配式道面技术较为成熟,已经在大量的公路和机场工程中得到了应用。近年来我国也逐步开始在机场和公路中应用装配式水泥混凝土道面,取得了一定的成果。

1.1 国外的应用情况

2011年美国陆军工程研究中心(ERDC, Engineer Research and Development Center)的 Lucy Pride 等人进行了足尺的实地现场试验。单板的换装满足6 h的要求,更大面积的维修需要8~10 h。ERDC继续开展了装配式水泥混凝土道面的足尺的加速加载试验。试验结果表明,试验道面可以承受C-175 000次以上的荷载,可满足永久性维修的要求^[5]。装配式水泥铺面的在荷载作用下损坏模式主要是在周边板和装配板的横缝边缘的裂缝和破碎。

2008年,美国开展的公路战略计划二期(SHRP2)子项——装配式铺面技术,主要研究装配式水泥混凝土铺面技术来保证路面新建、修复的快速化和模块

收稿日期: 2022-09-26

作者简介: 吴世涛(1991—),男,硕士,工程师,主要从事机场道面方面设计研究工作。

化,推进了装配式水泥混凝土铺面技术规范化、标准化,建立了装配式铺面类型选择、设计、施工的指南。美国装配式水泥混凝土道面技术较为成熟(见图1),形成了完整的技术体系,在多地的公路和机场有应用^[6]。



图1 装配式道面技术在美国27号公路中抢修的应用之实景

日本对装配式水泥混凝土铺面的研究中,主要采用高强混凝土,配置较为密集的钢筋网格或设置双向预应力,并研发了一种称为Cotter的特殊传力结构(见图2)。Cotter通过特殊的连接件,将预埋在接缝两端的C字头连接一体,安装完成后会使板产生相向运动趋势,从而将接缝两端的装配板挤压在一起,保证了较高的传荷能力。Cotter传力结构中的连接件是可以拆卸的,使得传力结构具有主动的失效和恢复功能,使装配式水泥铺面具备二次拆除的功能^[7]。



图2 装配式道面技术在福冈机场中的应用之实景

1.2 国内应用情况

2015年7月在上海浦东国际机场L15机坪上完成了两块预制水泥混凝土板的换装工作。原L15机坪中机坪滑行道轮迹带上有两块水泥混凝土出现严重损坏(见图3),裂缝贯彻板身。通常的维修措施只能修复板体表面部分区域,使用时间很短即会发生二次损害。而该区域使用频繁,普通水泥混凝土浇筑后28天的养生期是不可承受的,因此选择预制板吊装的方案来实现L15机坪的维修工作。预制板水泥混凝土板平面尺寸为4.5 m × 5.0 m,厚38 cm。在板

体预制时设双层双向钢筋网格,并埋入起吊构件,预留注浆孔和释放孔,板底预留放射型注浆通道。



图3 损坏板状况之实景

在施工过程中采用了切割起吊的方式破除原板,用快凝水泥砂浆处治基层,吊装预制板后用起吊螺栓调平板体,之后注入CA砂浆、处理接缝后便开放交通。此次装配式水泥道面实例中有以下特点:

(1)使用了切割起吊的方式破除原板,将对原基层的影响降到了最低,尽量保证了原半刚性基层的整体性。

(2)使用了具备起吊和调平功能于一体的起吊螺栓来调平预制板。通过4个起吊螺栓的调整,实现了对预制板高度的精确控制,消除了预制板与周边板之间可能存在的错台。

(3)使用了CA砂浆注浆。CA砂浆具有一定的柔性,强度高于沥青混凝土。CA砂浆注浆不仅可以给预制板提供均匀稳定的支撑,更可以承受荷载和环境作用,防止板底脱空。

浦东国际机场的实例是机场管理方会同同济大学实施的装配式水泥混凝土道面试验。此次试验约在10 h内完成了2块板的换装,使用效果良好(见图4)。



图4 修复后的道面状况实景

近年来,随着“绿色机场”的建设要求和装配式建筑的大力发展,装配式道面在民航内研究与应用持续增加。民航机场建设工程有限公司、中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司、中建科技集团有

限公司等机构研究了装配式道面实施体系和装配式道面结构与构造,并申请了相关专利。

2022年7月,伊春机场成功应用装配式道面板对跑道裂纹板整体更换。此次装配中使用了专用额移动式航吊,提供了施工速度更快、精度更高、更加安全的解决方案。

2 用于机场应急抢修的施工工艺

装配式混凝土道面的施工工艺如图5所示。

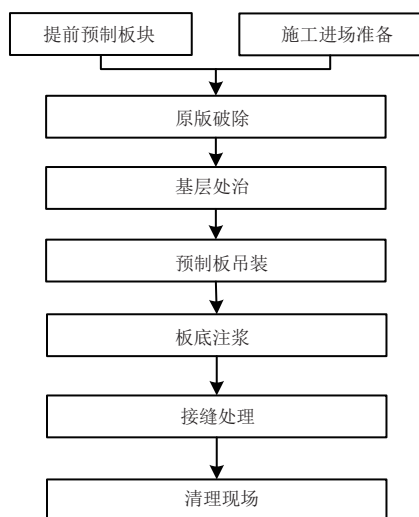


图5 用于抢修的装配式道面施工流程图

2.1 准备工作

在工厂完成水泥混凝土板预制前要单独对每块板的几何尺寸进行设计,包括:板的平面尺寸、板的厚度、配筋、吊装螺栓、通道和注浆孔。

2.1.1 设计平面尺寸

通常道面预制板的尺寸应为原板破除后所留有空位向内缩1~2 cm,可依据现场实际道面板分块尺寸确定。预制板的平面尺寸需要满足可以放进现场预留的空间中,又不能在装配后与周边板留下太大的空隙。留下的空隙过大容易雨水渗入,并且对传力水平不利。

预制板可依据典型的几种道面分块尺寸,长宽减小1~2 cm来确定。也可确定为单一标准尺寸的道面板。

2.1.2 设计厚度

由于需要处理基层并进行找平,因此预制板厚要略小于原板。根据基层及垫层设置的不同,预制板需采用不同的设计厚度。当为粒料基层时,板厚为原板厚度减少约6 mm,为稳定类基层时减少约13 mm。

2.1.3 制作误差允许值(见表1)

2.1.4 配筋

预制板中可加入钢筋网格,单层或者双层视情

表1 制作误差允许值一览表

板尺寸	误差允许值
长、宽	6 mm
厚度	6 mm
平面垂直度	6 mm
竖向垂直度	6 mm
表面光滑度	6 mm/3 m

况而定,单层加在板底。加筋主要是为了避免运输和起吊中混凝土板底部出现裂缝,并控制裂缝扩展,在道面工作状态下作用不大。一般要求为双向加筋,加筋率是混凝土最小配筋率,为0.18%。

有些特殊情况需要进行配筋设计,比如对于阶段施工,在板底注浆工作完成之前就需要开放交通的,配筋率为 $\geq 0.2\%$,或单层时为0.14%(见图6)。

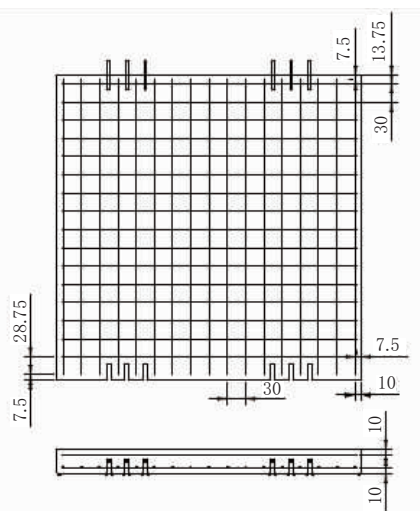


图6 预制板配筋图(单位:mm)

钢筋保护层厚度为50 mm,钢筋竖直方向允许误差为13 mm。

2.1.5 板内其他设施

注浆孔及板底注浆通道(见图7):在板件的预制中需留注浆孔用于吊装完成后的板底注浆,孔径应由注浆设备确定。注浆孔可通过在浇筑混凝土前放置PVC管的方式预留,应固定在钢筋网格上。注浆通道是为了保证浆液能填满预制板与基层之间的空隙。注浆通道通过底模上设定。通常可沿板宽设置2~3道横向注浆通道,或者沿板中心向板角设置。

传力杆或传力杆槽:在预制板中需要埋设传力杆,并预留卡槽,便于邻近板传力杆的放置。传力杆有多种设置方式。常见的有:上开口式、下开口式等类型。通常传力杆设置在轮迹带上,板中心线两侧各3根,采用直径35 mm的光圆钢筋。在垂直方向上,传力杆放置在板中处。传力杆槽的几何尺寸略大于传力杆,位置与传力杆对应。

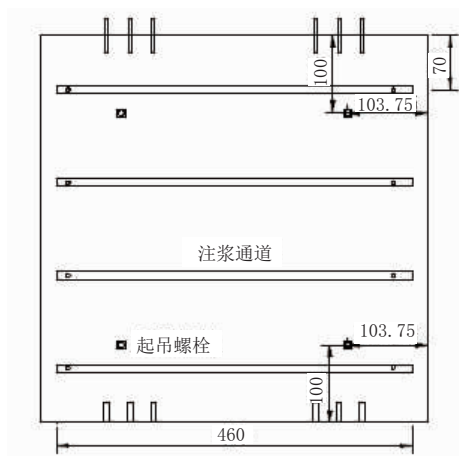


图 7 板底注浆通道及吊装螺栓示意图(单位:mm)

起吊调平螺栓:主要功能为预制板起吊时同吊具连接,同时可以在装配时调平预制板块、消除与周边板的高差。

板底密封条:在板底的表面需粘接泡沫垫圈来容纳板底注浆材料并防止注浆材料流出,并且给注浆提供一定的围压,利于浆液注满板底。

2.1.6 土基、基层材料和板底注浆材料准备

道面抢修可能需要恢复土基和基层。土基材料可依据机场当地的材料供应情况确定,可采用砂砾石、级配碎石等。可提前储备砂砾石用于土基的快速抢修。

基层恢复材料的需要满足强度形成快、易于施工的特点,可采用级配碎石,快硬水泥稳定碎石等手段。考虑便于现场储备,可提前储备级配碎石用于基层的恢复。

板底注浆材料可采用 CA 砂浆、快硬水泥砂浆等。材料储备依据配比和性能要求来确定。

2.2 预制板运输

预制板通常选用平板车运输。预制混凝土板尺寸较大,超过了单根车道的宽度,因此需要规划特定的运输路线。在预制板吊装和运输中需要特别注意安全,板的起吊高度不得过高,起吊机的使用要严格符合安全标准。

2.3 现场应急抢修

2.3.1 损坏板的破除

损坏板的破除通常采用锯切起吊的方式完成,也可以采用镐头机破除方式来确定。镐头机破除前,同样应当切割道面形成规则区域,避免镐头机破除时损伤周边完好的道面板。

锯切起吊可采用整板、1/2 板、1/4 板的方式完成。对于整板起吊,只需全厚锯切原板的四条边。在

使用整板起吊方案前,必须保证原板的整体性,原板不得有贯穿的大裂缝,否则原板在起吊的过程中极易发生断裂,引起安全隐患。1/2 板起吊方案需沿板中纵向切开,1/4 板的起吊板中的纵向和横向都需要切开。

可采用液压锯系统来完成切割。此液压锯系统设有导轨,可以保证竖向的垂直度和水平向直线牵引。导轨长度不得短于切缝。在板中切除的过程中既要切透又不得过切。

可采用膨胀螺栓来完成板体的起吊,在进行切割的同时可进行膨胀螺栓的安装。膨胀螺栓安装在定制的钢制连接板上。起吊机的缆绳通过卸扣可与钢制连接板固定并完成传力。

2.3.2 土基与基层恢复

对于土基和基层发生破坏的,在损坏板切割完成后,可立即开展土基和基层的恢复。土基区可采用砂砾石回填。基层可采用级配碎石回填。

同时应当对基层顶面进行处置。处置基层的目的是给装配式水泥道面板提供均匀而稳定的支撑。基层的不均匀支撑会引起板底拉应力增加,导致预制板过早出现裂缝,进而影响到板的适用寿命。破除原板后的基层已经受到损坏,并且在破除原板的过程中难免受到扰动。基层处治可以修复基层受到的损伤,保持较好的状态。

对于半刚性基层的处治有三个步骤:(1)排水,主要是锯切留下的水分以及原板底部的水分;(2)清理基层表面,主要清除破碎的水泥混凝土以及已经松散的基层材料,并清除高于设计标高的基层材料;(3)整平基层,可铺设快凝水泥或粒料类材料使得基层标高满足要求,并满足保证平整度的要求。

2.3.3 装配预制板

在基层整平完成后,由吊车吊装预制板放入预定的位置。吊车的缆绳固定在预制板预埋的起吊构件上来完成作业。起吊的过程中速度要保持缓慢,可避免引起安全隐患或者与既有板发生碰撞引起损伤。在板接地后,撤下起吊机。通过调平螺栓来调平预制板。通过调节四个起吊螺栓来调平,需保证四边的错台高度不得大于 5 mm。

2.3.4 板底注浆

板底注浆可以填补预制板和基层中间的空隙,为预制提供稳定和均匀的支撑。板底注浆有多种材料选择,例如:CA 砂浆、快硬水泥砂浆、高聚物砂浆等。板底注浆材料应当满足高流动性、快速形成强

度、高耐久性的特点。高流动性满足填充板底空隙的需要,快速形成强度满足快速开放交通的需要,高耐久性满足长期使用的需要。注浆时,可在板角处预留4个注浆孔,板中预留释放孔,板底设有注浆通道,板边设密封材料。

2.3.5 处理接缝

在注浆完成后由砂浆填满注浆孔、起吊螺栓孔。并用快硬水泥混凝土填满接缝到传力杆以上的位置。后使用嵌缝料填补接缝剩下的空隙。接缝处理完成后即可清场,水泥混凝土装配作业完成。待砂浆强度达到一定强度即可开放交通。

3 装配道面实施的难点

装配式道面优势明显,应用在抢修和不停航施工下的场景较为明确,本身的理论体系与传统的现浇水泥道面并无不同,但是离技术成熟还有一定的距离。在施工中有几个难点亟需解决。

3.1 板底的充分填充

与现浇混凝土可通过振捣方式与层底充分接触不同,装配式水泥混凝土在进场时已经形成强度,丧失了流动性。混凝土板底的充分填充是保证道面板均匀受力的基础。板底填充不密实将会使道面板出现裂缝、角隅断裂等结构性病害。板底注浆具有隐蔽性,充分填充板底的难度较大,对注浆材料、注浆设备、注浆构造的要求较高。

3.2 道面接缝传力的恢复

道面板间的传力作用可以传递荷载,降低混凝土板底的应力,对道面的长期性能具有重要的作用。通常现浇混凝土道面板通过假缝、企口来获得接缝的传力作用。装配式道面板无法通过相同的接缝形式来获得传力,而是通过传力杆、传力构件、预应力作用来获得传力。何种接缝形式可以方便施工、耐久性好、传力效率高也是施工的难点,需要现代化的专用设备来协助施工。

3.3 道面表面的平整度

传统的现浇混凝土道面可在最后整平、做面环节解决道面的平整度问题,该施工环节容纳基层的不平和高程的误差,而不至于表现在道面表面上。但是对于装配式道面而言,基层不平和高程误差、周边板的扭面都会体现在板边的错台,因此装配式道面不仅对道面板本身尺寸要求严格,也要求基层平整。装配式道面难以适应地势为扭面的区域。对于平面

区域,在基层平整的情况下,可采用专用的调平设施完成道面板的整平,可以达到与现浇水泥道面同样的平整度。对基层不平的情况,可结合三维扫描技术开发专用基层整平设备,也可达到良好的效果。

以上难点也是装配式水泥混凝土道面技术推广中遇到的难题,开发相应的专用设备、实现道面技术的工业化方可很好地解决难题。

4 结 语

装配式水泥混凝土道面具有“集中预制、分散安装”的特点,具有快速、环境能力适应强、经济的优点。装配式道面技术在美国、日本等发达国家经过了较长的研究期,技术较为成熟,在机场和公路中有较为广泛的应用。目前国内处于研究中,在浦东机场、伊春机场有成功的应用案例。

装配式水泥道面技术应用在机场道面抢修的主要施工工艺是:预制道面板、破除原板、处治基层、装配道面板、板底注浆、处理接缝。工艺成熟条件下,可快速完成损坏道面板的更换,提供耐久性良好的水泥道面损坏解决方案。

装配式水泥道面技术难点在于保证板底的充分填充、道面接缝传力的恢复和道面表面的平整度。为使装配式水泥道面克服施工难点,需要研发专用的注浆设备和材料、基层整平设备、道面板装配设备、接缝处理设备。开发相应的专用设备、实现道面技术的工业化方可很好地解决难题。

参考文献:

- [1] 刘静.水泥混凝土路面预制拼装修复技术研究[J].路基工程,2008(5):32-33.
- [2] 张儒雅,王显伟,朱立国.美国装配式水泥混凝土铺面技术发展和应用[J].黑龙江交通,2019,42(10):38-39,41.
- [3] 周俊,徐佳诚,闫垒,等.装配式预应力混凝土路面结构设计研究[J].城市道桥与防洪,2022(8):42-44.
- [4] 赵兰若,赵鸿铎,蔡爵威,等.考虑邻板高程差的装配式水泥路面行驶舒适性研究[J].公路交通科技,2021,38(3):14-22,48.
- [5] Priddy L P, Bly P G, Jackson C J, et al. Full-scale field testing of precast portland cement concrete panel airfield pavement repairs[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2014, 15(9): 840-853.
- [6] Tayabji S, Ye D, Buch N. Precast concrete pavement technology[R]. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2013.
- [7] 赤嶺文繁,八谷好高. Load Transfer Mechanism of Compression Joint at Precast PC Slab Pavements[J]. 土木学会論文集, 2000(662):217-222.