

一体化成型地坪的构造逻辑与工艺整合路径

赵世团 王朝霞 蒋 钊 雷润杰 曾 宇
中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410011

摘 要：一体化成型地坪是指通过材料体系与施工工艺的系统集成，使地坪的面层、基层及功能性夹层在单一连续工序中共同成型、协同固化的新型地坪构造形式。相较于传统分层施工地坪，一体化成型技术消除了层间界面薄弱区，显著提升了地坪的整体性、耐久性与服役性能。本文从构造逻辑与工艺整合两条主线出发，系统阐述一体化成型地坪的结构层次设计、材料相容性匹配、界面过渡区控制等构造原理，进而分析材料制备、输送、摊铺、振捣、找平、表面处理及养护等工序的整合路径与协同机制。研究旨在为一体化成型地坪的理论完善与工程应用提供系统性指导。

关键词：一体化成型；地坪工程；构造逻辑；工艺整合；整体性控制

引言

现代工业、公共建筑对于地坪平整度、耐磨性和耐久性提出了越来越高的要求，而传统的分层施工方法（先铺筑底层，再进行表层施工）会造成层面之间的问题，容易出现空鼓、脱落等问题。一体化成型地坪是把底层与表层材料的设计以及施工过程结合起来，在一个时间段内一次性完成，使结构层和平面层完美结合。即从构造上看要形成可以良好传力和协调变形的多层面构造；从工艺上看要把原本属于不同步骤的工作合并成一个连续高效的过程。虽然目前已经有部分工程采用这种方法，但是对于其构造机理以及工艺整合尚缺乏系统的研究和认识。本文通过对构造逻辑和工艺整合两方面的研究，为今后的一体化成型地坪的发展奠定基础。

1 一体化成型地坪的定义与分类

1.1 定义与核心特征

一体化成型地坪是在一次施工中，利用材料梯度或者分段同时施工的方法使得地面上部承重层、中间找平层以及下部功能层同时成型、同时硬化，从而得到一种无明显分层面、整体受力变形一致的地坪结构。其主要特点是：第一，施工连续，在混凝土初凝时间内完成所有的施工环节，无停顿；第二，材料匹配，各种不同层次材料具有相近的收缩率以及弹性模量，并且彼此之间有良好的粘结性；第三，整体性强，整个地坪上各部分间不存在明显的薄弱区段，能够均匀承受荷载，剥离强度远远高于普通分层式地坪。

1.2 主要技术分类

根据材料的不同，一体化地坪可以分为三种类型。一种是水泥基一体化地坪，就是使用同一种水泥基材料，通过改变骨料大小、外加剂用量或者表面撒干硬性硬化剂来达到上下不同的效果。主要是工业耐磨地坪，底层是普通

混凝土，上面是干撒型矿物骨料或是金属骨料；第二种是树脂-水泥复合一体化地坪，在湿混凝土上直接喷涂或者慢涂环氧、聚氨酯等树脂类物质，利用混凝土未凝固时所含水分参与树脂固化或者产生嵌合；第三种是自流平-混凝土同步成型地坪，用较高流动性的水泥基自流平材料和混凝土一起浇筑，用界面剂使两者结合。而从施工方式上来看，又可以分为一次性摊铺完成、两次摊铺同时进行以及分步浇筑边振捣边平滑三种方法。不同的施工方法意味着不同的施工原理和连接条件。

2 一体化成型地坪的构造逻辑

2.1 结构层次的功能划分与协同

一体化成型地坪一般可分为三层：承重层、过渡层以及功能层。承重层是地坪主要组成部分，承受从上面传来的弯矩以及压力，它的厚度、强度和刚性根据所受荷载大小以及基础情况决定。材料一般为C25~C40普通混凝土或者高性能混凝土，粗骨料最大粒径不大于25mm，坍落度为150~180mm左右^[1]。过渡层位于承重层之上，在树脂类的一体化体系中表现为渗透底涂层或者界面剂层；而在水泥基一体化体系中则是砂浆富浆层——通过振捣使得细骨料以及胶凝材料上浮形成。过渡层的主要作用是匹配上下两者的模量、传递粘接力以及阻止毛细孔道。功能层承受实际使用过程中受到的各种力的作用，要求具有一定的耐磨性、防水性、耐化学品侵蚀能力或者易于清洗或者美观等性质。它的厚度也不同：干撒式硬化剂层约为2~5mm，树脂涂层约为0.5~3mm，自流平罩面层约为3~10mm。这三层是一体成型，在施工上就是几秒钟到几分钟甚至十几分钟的时间，而不是几天。因此要求承重层未固化之前，功能层可以正常施工并且不会破坏承重层结构完整性。

2.2 材料体系的相容性设计

不相容材料搭配会造成收缩开裂、界面剥离或者化学反应失效等问题。相容性主要包括三方面内容。一是变形匹配,承载层混凝土收缩率(约 $300 \sim 500 \times 10^{-6}$)与功能层材料收缩率之差不应超过 100×10^{-6} ;对于树脂类材料而言,由于它们固化收缩率较大(环氧约1%~3%),需加入增韧剂或者采用柔性树脂体系来减少内应力。二是弹性模量梯度,由承载层(模量约为25~35 GPa)到功能层(水泥基硬化层模量相近,树脂层模量约为2~10 GPa)之间需要有过渡层以免产生应力集中^[2]。三是化学相容性,混凝土中自由水、碱性和外加剂不能与树脂固化剂发生有害反应,比如湿混凝土表面进行环氧涂层施工时,应当选择可以用于潮湿界面固化的胺类固化剂,而不能用对水敏感的异氰酸酯体系。

2.3 界面过渡区的微观构造控制

一体化成型的地坪通过对界面过渡区(ITZ)进行控制从而提高整个地坪性能,在混凝土初凝之前铺设第二层,此时水泥浆体还未完全水化,表面有未固化胶凝膜以及毛细水,然后把功能性层面材料涂覆上去,在压力下两者互相进入:细骨料或者树脂进入混凝土表面孔隙形成机械咬合作用;同时水泥浆体中的可参与化学反应组分与功能性层面材料发生离子交换或者共聚形成化学结合力。研究发现,一体化成型地层面层与基层之间的结合力可以达到2.0~3.5MPa,远远大于传统分层地层面层与基层之间结合力(0.5~1.2MPa)。为了改善地层面层与基层之间的结合状态,在实际施工过程中一般采取以下几种方法:减少混凝土泌水量并且尽快清除表面多余水分;在铺料前用硬毛刷或者高压空气去除表面浮浆;在混凝土中添加少量膨胀剂来对抗由收缩引起的地层面层与基层之间拉伸应力。

2.4 收缩与开裂的构造调控

一体化成型地坪因为整体连续,收缩应力不能在各层之间滑移而释放,易出现贯通性裂缝。从构造角度需从三方面进行控制:第一是分缝。依据柱网大小以及平面形状布置诱导缝、切割缝等使收缩应力导向预定位置,诱导缝深度不应小于地坪厚度的1/3;第二是配筋或者纤维增强,在受力层内添加适量钢纤维或聚丙烯纤维(比例一般为20~50kg/m³或0.6~1.2kg/m³)以防止微裂缝发展,在大跨径的地坪中可以设置钢筋网或者连续配筋;第三是补偿收缩法,使用硫铝酸盐系或氧化钙系膨胀剂使混凝土发生轻微膨胀(限制膨胀率控制在 $200 \sim 400 \times 10^{-6}$)来对抗干缩。

3 一体化成型地坪的工艺整合路径

3.1 时间窗口的精准控制

一体化成型最大问题在于有限的有效作业时间。混凝土从出机到初凝一般在60~120min之间(根据环境温度、外加剂而有所不同)。在这段时间内要完成各个层面的所有工作。工艺整合的第一个工作就是确定时间节点:把整个工程分成几个部分并且规定每一个部分最长时间。一般情况下是这样分配:混凝土运输与摊铺20~30min;振捣和平整15~20min;过渡层面施工(例如干撒第一层骨料)5~10min;功能性层面施工(抹抹、压光、涂抹)20~30min;最终收光和保养10~15min^[3]。超过这个时间段混凝土已经失去了流动性,接下来的工作就无法进行良好的粘结。所以工艺整合需要使用“倒计时”的方式进行管理并准备好备用方案防止意外延迟。

3.2 设备系统的集成与协同

一体化成型需要布料、振捣、找平、抹光等各种机械设备在作业面上协调进行,形成一种流水线式的生产方式。近年来由于激光整平机、驾驶式抹光机、自动撒料机等设备出现使得这种工艺整合成为可能。设备系统整合主要有以下几种方式:一是行进速度要匹配。即激光整平机的速度要与混凝土供料速度相匹配一般为3~5m/min;其次紧跟其后的是振捣梁以及刮板其速度要比整平机稍快一点以实现追赶的效果。二是工作宽度要协调。所有主要设备的工作宽度应该一样或者是一样的倍数以免有重复也有遗漏的情况发生比如使用宽度为3.5m激光整平机那么撒料机以及双盘抹光机也应该用同样宽度或者整数倍宽度。三是自动化与人工结合。混凝土铺设之后的初步找平以及振捣可以由机器来完成而角落部位以及墙柱周围还需要人来进行帮助;撒布硬化剂可以用机械定量撒布机来进行但是第二次撒布之后再行抹光就需要工人来进行操作。

3.3 材料制备与供应的物流整合

一体化成型对混凝土供应有较高要求。一旦中断15分钟以上就会产生冷缝或者不能进行面层施工。而在施工过程中采取如下措施:搅拌站在距离施工现场不超过15km范围内,运输车辆数量为“泵送速度×运输周期”的1.5倍;使用GPS跟踪每辆车的位置,在现场备有备用泵车及溜槽;对于双组分树脂类材料必须在现场安装静态混合器以及全自动计量喷涂机以保证其混合均匀并且不会出现凝胶堵塞现象,同时干撒材料需事先按单位面积用量分好以免耽误过多时间。

3.4 工序衔接的界面处理逻辑

一体化成型各个工序之间连接的质量决定了最终效果的好坏。主要有以下几点需要注意。第一,在混凝土

振捣之后、撒布硬化剂之前,要使用刮尺将多余的泌水除去并进行平整度检查,若发现平整度差的地方(大于5mm/2m),就需要补料或者刮除。第二,第一次撒布与第二次撒布之间的时间间隔约为15-30分钟,以硬化剂吸水变暗为准,如果过早撒布容易造成骨料沉降,而如果过迟又无法侵入^[4]。第三,收光时机非常重要:当混凝土初凝结束即(鞋印深度约为3-5mm)进行机械收光,混凝土终凝前完成最后一遍收光,否则会出现起皮或者裂缝等问题。这几点都需要工人有一定的经验,但也可以通过一些方法降低人的主观因素的影响——比如用贯入阻力仪来判定初凝状态,在贯入阻力为3.5MPa时开始收光。

3.5 环境条件的适应性与工艺调整

一体化成型对温度、湿度、风速都比较敏感。工艺设计需要考虑相应的应对措施:当温度超过30℃以上时,可以在混凝土里添加一定量的缓凝剂(0.1%-0.3%葡萄糖酸钠)并配合喷淋冷却;如果风速大于5m/s,则应该设置挡风板并且涂抹养护剂。而在寒冷季节(5-10℃)可以使用早强剂或者热水搅拌混凝土,但是要注意树脂类面层在温度低于10℃的情况下会固化较慢,可以选用低温固化的体系或者是搭建保温设施。此外,当空气相对湿度大于85%时,树脂类面层会出现泛白、未干燥的现象,这时要延迟施工或者选择耐潮湿固化的材料。一个完整的工艺整合方案应该有适应各种环境条件下的“备用工艺参数表”,以便灵活调整。

3.6 质量检验的一体化嵌入

一体化成型需要把检查融入施工当中并且不能间断,即在混凝土摊铺完毕后通过激光整平机自带的平整度检测系统即时反馈,在抹光时用直尺(2m靠尺)随机抽查,发现问题及时处理,在养护之前用红外线测温仪

检测其表面温差避免出现局部温度过高或者过低产生色差。最后验收的标准(平整度、耐磨性、抗拉强度等)取样的时间应在养护期之后但是中间的数据必须全部保留以供查询的质量档案。

4 结语

一体化成型地坪是地坪技术由“分层构造”到“整体成型”的发展方向。其构造理念是基于对材料相容性的考虑,在界面过渡区及收缩应力等方面进行处理以避免出现传统分层结构中的薄弱部位从而达到使承重层与功能层一体化的效果。而其施工方法就是把布料、振捣、撒布、抹光、涂覆等工作内容在混凝土初凝时间内重新组织成一个连贯、协调的过程并需要精确的时间配合、合适的设备以及良好的环境条件与质量保证。目前,一体化成型地坪已在工业与民用建筑上得到广泛应用但同时也存在材料选择、智能化机械和相关标准等问题还需进一步解决。本文提出的构造与工艺相结合的思路可以为今后的研究工作以及工程应用起到一定指导作用。

参考文献

- [1]宋涛涛.建筑地下室防潮与地坪固化一体化施工技术[C]//中国智慧工程研究会.2025工程新技术与新方法经验交流会论文集.[出版者不详],2025:234-235.
- [2]邢欢,杨东方,谢颂,等.大面积地坪一体化摊铺施工技术应用研究——以都匀麒龙·华府项目为例[J].价值工程,2022,41(32):111-113.
- [3]邱旭程,张帅,金伯文.建筑地面金刚砂地坪一体成型施工工艺的分析[J].中国建筑装饰装修,2022,(9):165-167.
- [4]王传德.金刚砂地坪一体成型施工监理质量控制措施研究[J].中国建筑金属结构,2024,23(5):181-183.