

彩色超高性能混凝土在装饰性工程的应用研究

李袁晟 龚子衡 赵士博 吴彤 张依婷

(南京工程学院 江苏南京 211167)

摘要: 超高性能混凝土(UHPC)材料特性适于广泛的工程应用,基于UHPC超高性能优势与彩色混凝土特性,所开拓研究的彩色UHPC,其作为一种新型的兼顾结构功能性和装饰性的材料,依托于其超高强度和耐久度的基本性能,开发其相较于现有的室内外装饰性材料,突出其室内与室外场景、大型工程及小型构件在实际应用中兼容的优势,开拓其实际应用场景。该新兴材料可转化为广阔的社会和经济效益,彩色UHPC材料未来的应用场景延伸与优势前景开拓具有极高研究价值。

关键词: 土木工程;超高性能混凝土;UHPC;彩色混凝土;装饰混凝土;装配式构件

Study on the application of color ultra high performance concrete in decorative engineering

Li Yuansheng Gong Ziheng Zhao Shibo Wu Tong Zhang Yiting
(Nanjing Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 211167)

Abstract: Ultrahigh performance concrete (UHPC) material characteristics are suitable for a wide range of engineering applications, based on UHPC ultra-high strength performance advantages and color concrete characteristics, the developed research of color UHPC, as a new type of structural function and decorative materials, relying on its ultra-high strength and durability of the basic performance, Compared with the existing indoor and outdoor decorative materials, the development of its advantages of compatibility between indoor and outdoor scenes, large engineering and small components in practical application, to expand its practical application scenarios. This new material can be transformed into a broad social and economic benefits, the color UHPC material in the future application scenario extension and advantages of the development of the prospect of high research value.

Key words: civil engineering; Ultra-high performance concrete; UHPC. Colored concrete; Decorative concrete; Assembly type member

正文

1 UHPC 简述

UHPC 材料作为本课题应用研究的材料载体,其发展与前景、其性能及其优势、其实际应用场景具有较高的探讨价值。

1.1 UHPC 的发展与前景

自 UHPC 领域开拓以来,国内外 UHPC 发展稳步向前,各项突破性进展亦可见于诸多工程实例,如图 1。2018 年 12 月,我国混凝土与水泥制品协会成立超高性能水泥基材料与工程技术分会(CCPA-UHPC 分会),旨在对我国 UHPC 材料领域技术发展、工程应用和产业推动产生积极促进作用。截至目前,UHPC 材料领域虽已有数十年的研究发展历史,但 UHPC 材料的应用尚存巨大的开拓空间,一旦 UHPC 的优势性能被广泛熟知,这将打开 UHPC 材料在工程开发和应用的广阔格局。^[1]

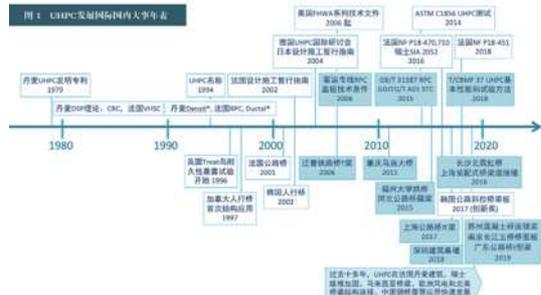


图 1 UHPC 发展国内外大事年表^[1]

1.1.1 UHPC 的世界发展及其命名

最早的 UHPC 材料研究来源于上世纪八十年代的丹麦, Hans Henrik Bache 研发并申请了 UHPC 材料领域的第一项专利并提出 DSP 理论,其称 UHPC 材料为一种新型混凝土(Ny Beton)或一种密实增强复合材料(Compact Reinforced Composite)。此后的二十世纪九十年代,法国成为 UHPC 研究最活跃的国家,其开展的活性粉末混凝土(Reactive Powder Concrete)研究项目取得重要进展并获得国际高度关注,以及其推进的 UHPC 标准化工作为 UHPC 材料的设计、施工标准规范化工作产生了显著的推动作用,并于 1994 年最终提出和确立超高性能混凝土(UHPC)的规范化命名,这一命名由于较好地表达出这一采用纤维等掺料增强的水泥基材料的优越性能,从而逐步被广泛接纳和应用。

1.1.2 UHPC 的中国发展

中国 UHPC 领域的启蒙之始于 1998 年,俞瑞堂编译的《活性粉末混凝土的理论与实践》于《国外桥梁》发表,且早期中文研究和相关应用采用的名称多为 RPC。2016 年为 UHPC 材料在中国国内建筑和桥梁等场景中应用水平的分水岭,其后增长情势明显。目前,

UHPC 已被认可为是一种值得工业化生产且极具经济价值的工程材料,其产品分支和新的应用场景正不断衍生,而成立 CCPA-UHPC 分会的目的正是为了促进开展我国 UHPC 领域材料的标准化进程。

1.2 UHPC 的性能及其优势

UHPC 超高性能混凝土以混凝土为胶结剂,融合各类纤维混合料、减水剂等而产生的胶凝材料聚合物。其秉承常规混凝土的各项优势性能,在具备完善产业链的情形下,其生产制造能耗较低、原材料来源广泛、加工工艺较为便捷、具备超强的耐久性、耐腐蚀、环境适应力等特性。上述特性在建筑幕墙、室内装修、家具制品及公共景观领域的应用非常广泛,尤其是建筑幕墙方面,UHPC 的优异性能表现尤为突出。UHPC 作为建筑幕墙材料的优势表现在,其高强度的性能特点决定其在无需钢架支持的情况下,实现架设大跨度产品,而高强度的特点可以让 UHPC 成为建筑的支撑结构,减少支撑钢构,在装饰幕墙的厚度、美观度方面,都有更大的优势。

同时,UHPC 幕墙板的化学稳定性和抗侵蚀力强,可以暴露在多种侵蚀环境下,表现出对酸性介质的高抵抗力,且表面光洁致密度高,防水、抗污、耐污能力强。

另外,UHPC 造型可塑性强,这一特性也是由于 UHPC 的高强性能,从而可以实现超高楼空率的各种不规则造型,及实现超大件、超大跨度曲面单件产品,能最大限度地保证建筑幕墙表面造型的流畅性和美观性,这一点是普通 GRC 和其他幕墙材料无法比拟的突出优点。与铝合金不锈钢金属材料比,UHPC 可实现的造型更自由,可塑性更强;与 FRP 树脂材料对比,其主要优势在于防火;树脂为较高防火 B2 级,而 UHPC 为 A 级,且造价相对有优势;与 GRC 水泥制品对比,UHPC 在自洁物理性能上有较大优势,在裂致控制,成品质量保障,长期使用上均有优势表现。

1.3 UHPC 的应用场景

我国 UHPC 领域材料的探索研究初始于上世纪末,可追溯最早的系统性工程应用实例为客运专线设计的专用电缆沟 RPC 盖板,桥梁工程的应用开端包括 2006 年迁曹铁路滦柏干渠大桥、2011 年肇庆马房大桥等。目前我国涉及 UHPC 材料的工程应用实例多限于:装配式桥梁预制构件的结构连接、钢-UHPC 组合梁的 UHPC 桥面板、混凝土桥面铺装、UHPC 梁桥、水工结构 UHPC 抗冲磨层、工业建筑 UHPC 应用建筑幕墙或外立面、预制装配式建筑的构件连接,鉴于本课题致力于研究超高性能混凝土在装饰性工程中的应用,对该领域材料在装饰工程中的应用场景探究及其应用外延拓展,本节着重探究混凝土路面桥面铺设设计、建筑物外立面及幕墙等的装配式设计、公共景观造型及其他小型设施设计。

1.3.1 混凝土路面桥面铺设设计

在混凝土桥梁上层铺设钢筋 UHPC 层,用于维修和加固桥梁的方法由瑞士 Brühwiler 倡议,这一方法能够显著提高桥梁的刚度、强度,同时提升其抗裂能力、防水性能,起到保护下层混凝土的作用,从而有效延长桥梁寿命。同样地,依据 UHPC 材料性能,使用

或部分使用该材料浇筑的混凝土路面具有的高强性能,对于工程的经济价值和减少维护消耗的长期社会价值,兼具极高的实际社会和经济意义。基于此,本项目所研究的彩色超高性能混凝土材料,实际投入到桥面和路面的铺设和建筑工程中,可以对实际工程对象起到上述优势的提升,同时彩色混凝土装饰性的体现,在于可以直接展现路面桥面的道路标志,以及在不影响交通的前提下,向人们展现图案美观的路面装饰,具有较高的社会意义。目前,基于彩色道路交通标志方面应用,已在国内外初步显现。

1.3.2 建筑物外立面、幕墙及其他

基于UHPC材料的超高性能,其浇筑的装配构件本身被赋予了极高的性能优势。在装配式建筑中使用UHPC材料构件,使得建筑物或构筑物本身具有极好的使用性能,同时其工程具有极高的精度,于人力成本和后续维护成本方面大大降低。UHPC构件即使在较强的外荷载作用下也极难发生变形损坏,作为外立面、幕墙及外景雕塑等装饰是一种极优的选择。

除外立面与幕墙外,由于UHPC材料的性能远超其他混凝土材料设施的使用所需,UHPC材料的生活应用尚未普及,但由于其后期维护成本的节省,以及其本身的高度稳定性,应用该材料的日常品类物件将会有极大的市场前景。目前已经能够产出的以UHPC材料为原料的品类包括公共设施,如路灯、花坛、桌椅等,以及家居设施,如台盆、浴缸、厨具等,可见UHPC的应用场景宽泛而前景广阔。

2 彩色UHPC构件的制备方法

由于UHPC材料的制备原料中不含大颗粒骨料,这使其本身具有较强的流动性,故而在工程施工前必须制作UHPC构件的相应形状模具。同时,参照常规彩色混凝土外观特点,赋予其具有丰富表现力的色彩,即依托加入的纤维本身颜色和掺加颜料的方式即可。

2.1 模具与预准备

借助UHPC的自密实性,所浇筑的UHPC能够自发流动成型,这要求模具达到较高的水平度,当模具的水平度存在较大偏差时,容易发生成型的UHPC构件厚薄不均匀的现象。在实际工程中,通常选择所测定水平度较高的地面进行浇筑工作。采用弧形模具时须确保模具内表面的光滑与厚度均匀,对模具拼缝与接口处的光滑度要求极高,这也是浇筑前模具准备要求的重中之重,同时要求模具焊接或其他方式拼接的严密性和牢固性,防止构件浇筑成型后出现毛边、气孔等表面不均匀的次品问题。

2.2 UHPC材料配制方案

在保证持续均匀搅拌的前提下,向搅拌机中投入胶凝原料、细砂及按照成品颜色配比适宜的掺加量加入着色剂,充分搅拌混合大约半分钟后,加入水、适量减水剂,然后不断搅拌5-10min,直至砂浆拌合物初步成型且保持一定流动性,此时开始均匀投入强化纤维(一般为钢纤维),继续保持搅拌继续搅拌3-5min并观察,直至确保钢纤维在原料中均匀分散,至此UHPC材料配制初步完成,可用于下一步浇筑工作。

2.3 UHPC的浇筑成型及养护

UHPC为普通混凝土的改进材料,其本身原料特性需求胶凝材料用量大,而水胶比更低,新制备的UHPC材料表面容易初凝,这决定了浇筑过程控制的关键性,控制精准与否对UHPC构件成品的表现质量起到决定性作用,此过程中若操作不连贯,容易致使构件表现出浇筑纹路以及局部色差等缺陷。标准的浇筑方式为,同一块构件浇筑时从适宜的一端至另一端定向均匀且连续地浇筑,速度应当适中,避免气泡夹杂或纹路产生。浇筑工作完成时,须用抹刀轻拍原料灌注处表面,使UHPC充分借助自密实性流动平整,最后可用塑料薄膜等覆盖隔离待后续养护。为确保UHPC构件成品色泽均匀,养护周期至拆模通常不少于48h,拆模时注意务必避免水和油等污染,同时可继续采用洁净塑料薄膜等覆盖保护,在拆模约两周时间时,可使用保护剂涂刷构件表面,以充分确保和提升UHPC构件的耐污性能。^[2]

3 彩色UHPC的应用场景与前景

UHPC在桥梁等大型工程中的优越表现已被熟知,但UHPC在小型工程等的色彩变化和美学景观方面的性能,尚未充分被发挥以及被广为应用,而彩色混凝土独具材料实景装饰的优势,将此优势赋予以UHPC材料,得到的彩色UHPC未来将会是体现建筑设计师美学设计理念的优选材料。彩色UHPC材料在实际应用中,包括其所制备的工程构件和日常用品,能够涵盖的方面不仅包括本文在UHPC简述一节中提及的应用场景,还能够发展衍生应用于绝大多数未来的混凝土工程,以及其他非局限材料作为原料的用品之中,应用场景非常广泛。

本设计方案在控制彩色UHPC材料制备成本的同时,提升该材料的功能性与美观性,同时研究比较得出其更优配比,能够达到在使用过程中避免褪色,同时提升彩色UHPC材料抵抗环境中物理和化学影响而变色的性能,以达到该材料在长期使用的条件下,保证其实际使用效果,展现使用价值。

以非常契合本课题研究的,彩色UHPC预制装配式构件在外立面装饰方面的应用为例,刘兆坤的《一种UHPC彩色饰面层外挂墙板》一文中提及,目前市面大量存在并被应用的有三种装配式外墙挂板:以普通混凝土制成的实心混凝土板、双面混凝土板夹心保温层挂板、轻质混凝土外墙板。但上述三种均存在不足之处:第一种不带保温层,需要自行粘保温层,导致施工较慢,且难以监管;第二种存在自重大、不方便运输及安装的问题;第三种强度较差,易损坏。^[3]

而彩色UHPC材料预制的外立面构件很好地避免了上述三种构件的缺陷,其突出装饰性的同时将保温、防火、防水等性能结合,兼具彩色混凝土的丰富表现力,和UHPC的超高性能。与此同时,彩色UHPC材料避免了表面喷涂装饰性材料这一工序,从而从本质上避免了其饰面层易发生褪色、开裂、脱落等问题,也使得其施工工序简化,实质有效地缩短工期。

彩色UHPC材料在工程中的应用,能够解决目前市面上装饰性材料本身存在的绝大部分问题,不仅有利于建筑物、构筑物与日常产品的本身使用耐久度,而且一举两得地满足了人们对于上述工程与日常产品的多样性、美观性要求,可见其未来的应用场景将更加广泛,彩色UHPC材料本身已然前景广阔。

4 结语

我国UHPC的发展开端稍晚于部分西方国家,但由于我国经济的高速发展与科技实力的突飞猛进,目前我国在UHPC领域的全方面已然跻身世界的前列,其材料应用研究逐步完善、工程场景应用逐步拓宽、相关标准体系逐步形成,具有极为广阔的应用前景。2021年中国建材联合会/中国混凝土与水泥制品协会(CBME/CCPA)团体标准的基础UHPC标准系列已经完成;公路桥梁UHPC相关行业标准和团体标准也有重大进展;中国的UHPC标准规范技术体系初步形成。UHPC产业在稳步增长,但仍处于发展的初级阶段,还有很大的应用市场待开发。未来UHPC在早期基础设施工程结构的维修加固,腐蚀性环境建造高耐久结构,防爆、防侵入或防撞结构,水利工程抗冲刷,隧道支护、管廊、管道、地铁、杆柱、街具家具等诸多领域,提升工程结构性能、耐久性 or 提供更好解决方案。随着我国UHPC相关规范、标准制定与实施,必将进一步推动UHPC在新建结构和既有结构加固中的运用与发展,为我国土木工程的可持续发展 and 交通强国建设做出重要贡献。^[4]

此外,彩色UHPC材料基于UHPC以上的应用及其外延,附加以美观装饰性,进一步拓展其应用场景,包括建筑外立面及幕墙、室内装修、洁具家具制品及公共景观等领域的应用,使社会存在更丰富的装饰材料选用的可能。同时,其制品兼具超高的耐久性,很有效地减少了维修保养的社会支出、经济支出,节约工程材料消耗,进而对加快创建可持续发展、环境友好、资源节约的绿色社会具有一定程度上的贡献。

参考文献:

- [1] 2019年度中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告[J].混凝土世界,2020(02):30-43.
 - [2] 李城,陈敬,樊先平,袁涵秋,徐心舟.白色超高性能混凝土装饰薄板的制备及应用[J].四川水泥,2021(01):11-12.
 - [3] 刘兆坤,马建平,王志胜.一种UHPC彩色饰面层外挂墙板[P].山东省:CN212317251U,2021-01-08.
 - [4] 2021年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(下)[J].混凝土世界,2022(03):32-38.
 - [5] 2021年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(上)[J].混凝土世界,2022(02):24-33.
 - [6] 2020年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告[J].混凝土世界,2021(04):20-29.
 - [7] 何立志.彩色混凝土的绿色施工工艺技术[J].粘接,2021,45(02):115-119.
 - [8] 樊先平,陈敬,李城,袁涵秋,徐心舟.超高性能混凝土预制装饰幕墙板制备技术研究[J].四川建材,2021,47(09):20-21.
 - [9] 文云芝.装饰性混凝土在建筑设计中的应用[J].工业建筑,2021,51(01):241.
 - [10] 付立娟,杨勇,卢静华.国内外装饰混凝土发展动态与展望[J].混凝土世界,2021(07):48-53.
- 基金项目:江苏省大学生创新创业训练计划项目(202211276035Z)、南京工程学院大学生科技创新基金项目(TB202209027)
- 作者简介:李袁晟(2001—),男,本科在读,研究方向:土木工程(建造管理);
 龚子衡(2003—),男,本科在读,研究方向:土木工程;
 赵士博(2002—),男,本科在读,研究方向:土木工程;
 吴彤(2002—),女,本科在读,研究方向:土木工程(建筑工程);
 张依婷(2003—),女,本科在读,研究方向:建筑学。