

改性混凝土在公共坐具设计中的应用

刘莹¹, 王国光²

(1.广州科技职业技术大学, 广州 510550; 2.华南理工大学, 广州 510641)

摘要: **目的** 基于混凝土材料的改性问题, 总结出改性混凝土公共坐具的设计要点和表现形式, 尝试在建造技术与发展过程中, 利用参数化设计手段进行创新设计。**方法** 分别从功能、造型、质感设计方面, 对改性混凝土公共坐具设计案例进行分析, 归纳出功能模块自由组合、超高性能与弯曲造型、不同材料混搭共生三方面的设计要点, 并据此尝试利用参数化技术介入设计与建造过程, 进行改性混凝土公共坐具设计实验。**结果** 改性混凝土坐具设计通过混凝土外加剂的添加、参数化设计方法的应用, 不仅能满足一般公共坐具设计的功能要求, 还能展现出使用者的个性需求。**结论** 随着新材料、新技术的不断应用, 混凝土坐具不再只是作为艺术品陈设, 更可通过添加外加剂、掺合料来创造出超性能的产品, 赋予其更多的价值与内涵。改性混凝土材料的设计视域必将更加广阔, 应用前景也将更值得期待。

关键词: 改性混凝土; 超高性能混凝土; 公共坐具; 参数化

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)06-0322-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.06.054

Application of Modified Concrete in Public Seat Design

LIU Ying¹, WANG Guo-guang²

(1.Guangzhou Vocational and Technical University of Science and Technology, Guangzhou 510550, China;

2.South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the design points and manifestation forms of modified concrete public seat, and try to innovate in design by parametric design method in the process of construction technology and development, based on the modification of concrete materials. The design cases of modified concrete public seat were analyzed from the aspects of function, modeling and texture design, to sum up the design essentials of free combination of functional modules, super-high performance and bending modelling, and mashup and paragenesis of different materials, and then try to intervene in the design and construction process based on the parametric technology, so as to conduct the design experiment of modified concrete public seat. Modified concrete seat design could not only meet the functional requirements of general public seat design, but also show the individual needs of users through the addition of concrete additives and the application of parametric design method. With the continuous use of new materials and new technologies, concrete seats are no longer displayed only as a work of art, but also can create the super-performance products through the addition of additives and admixtures, giving them more value and connotation. The design vision of modified concrete materials will be broader, and the application prospect will be more worthy looking forward to.

KEY WORDS: modified concrete; UHPC; public seat; parameterization

收稿日期: 2020-01-11

基金项目: 国家社会科学基金(17BSH038); 广东省哲学社会科学规划项目(GD19CYS12); 广东省教育厅科研平台青年创新人才类项目(2018WQNCX232)

作者简介: 刘莹(1983—), 女, 辽宁人, 硕士, 广州科技职业技术大学副教授, 主要从事建筑与艺术设计方面的研究。

通信作者: 王国光(1965—), 男, 浙江人, 博士, 华南理工大学教授、博士生导师, 主要从事城市公共建筑及居住区规划设计研究。

自从维利·古尔的环形椅户外混凝土家具出现以来，各种各样的混凝土家具不断涌现在人们的生活中。早在 20 世纪 50 年代，埃特尼特混凝土家具公司就开始研究预制混凝土家具的新方法，1999 年雷切尔·雷诺兹工作室也开始对混凝土的脆性与自重进行改进。同年，英国巴比伦公司也开始对耐热性、装饰性进行研究。这些研究使混凝土产品在 21 世纪初，呈现出了百花齐放的盛况，混凝土家居产品也渐渐被人们当作是个性化的艺术品放在室内外进行陈设。到了当代，伴随着新材料的不断研发，混凝土坐具不仅仅作为艺术品陈设，更可通过外加剂、掺合料的添加创造出超性能的产品，赋予其更多的价值与内涵。

1 混凝土材料的改性

改性混凝土通过技术性改革，即在普通混凝土中根据需求合理地添加外加剂、掺合料等，使普通混凝土的和易性与施工性得到改良，使普通混凝土的抗拉伸、抗腐蚀、耐久程度、凝结时间等特性相应提升^[1-3]。具体来说，改性混凝土材料添加减水剂、早强剂、缓凝剂、防水剂等外加剂，掺入纤维增强复合材料^[4]、有机聚合物^[5]等，增强混凝土的抗压、抗拉伸强度，耐久、耐腐蚀性等性能。吴翟详细论述了混凝土家具的艺术表现形式与设计要素；孙磊论述了水泥基材料对于设计领域的应用价值和广阔发展前景^[6]；王剑从功能、质感、造型方面论述了改性混凝土在家具设计中的应用；李良论述了超高性能混凝土的力学性能，并据此研制了超高性能混凝土配合比，进行多曲面造型椅子的设计探索。本文将侧重介绍并分析改性混凝土公共坐具的相关案例，得出功能模块自由组合、超高性能与弯曲造型、不同材料混搭共生三方面设计要点。

2 改性混凝土坐具设计要点与表现形式

2.1 功能设计要点——功能模块的自由组合

模块化设计是一种对环境污染少、使用与维护方便的绿色设计，核心原则是用最少的模块组合出最多的产品，搭配出满足用户各种需求的系列化产品^[7]。Shiro 事务所设计的 ULURU 系列超高强度混凝土模块化座椅（见图 1），充分考虑模块化设计与“人-机-环境系统”的关系^[8]，其中核心要点为人性化的充分关照。此模块化座椅设计兼顾功能需求与个性化需求，在满足人体工程学的前提下，设计出相应形态的模块座椅，让使用者可以根据自己的坐姿习惯选择不同的模块化座椅。既满足了本体功能，又满足了马斯洛人类需求中的交际和荣誉需求，同时还能兼顾个性化需求。

隐形形态城市家具与城市周边环境空间的协调与呼应，能巧妙地为城市空间创造出一份别样宁



图 1 ULURU 系列超高强度混凝土设计模块座椅
Fig.1 ULURU series UHSC design module seat

静^[9]。ULURU 系列模块化座椅的设计理念受自然现象启发，其靠背模拟经过上千年风化等自然因素打磨出的天然凸起石块造型，再现缓缓从地面升起，连绵起伏的微缩山体景观。设计师利用可塑性超强的超高强混凝土（UHSC），设计了该套极具艺术感染力的座椅，充分体现了产品设计的轻盈、流动与坚韧等美学水准。

根据我国 2014 年《普通混凝土配合比设计规程》，通常把强度等级大于等于 C60 强度等级的混凝土称作高强混凝土（HSC），大于 C100 强度等级的混凝土称作超高强混凝土（UHSC）（普通混凝土、高强混凝土、超高强混凝土的等级划分见表 1）。高强或超高强混凝土通常是在普通混凝土的基材上添加减水剂等外加剂，同时掺入粉煤灰、硅粉、矿粉、矿渣等混合掺合料加工而成的一种新型建筑材料，主要表现为超强的抗压性，因其空隙率低、密度大的优势，所以常用在高层建筑中。这种新型材料有着很多的潜在特性，比如可以近似无空隙地诠释座椅表面花岗岩的质感。在保证抗压与耐磨性能的前提下，该项材料可做到 20 mm 的超薄混凝土结构。本案例呈现出的超高强度混凝土坐具设计的功能复合化与个性模块化发展趋势，值得人们进一步探索与发掘。

表 1 普通混凝土、高强混凝土、
超高强混凝土的等级划分

Tab.1 Classification of ordinary concrete, high strength
concrete and ultra-high strength concrete

	普通混凝土 (NSC)	高强混凝土 (HSC)	超高强混凝土 (UHSC)
强度等级	<C60	≥C60	>C100

2.2 造型设计要点——超高性能与弯曲造型的实现

普通混凝土的抗拉、抗压、抗弯强度低，很难满足混凝土家具形态弯曲、外形轻薄的设计要求。超高性能混凝土（UHPC）是当代最具创新性的水泥基料，通过掺合超细颗粒、细骨料、纤维及添加高效减水剂来增强其综合性能，弥补普通混凝土的性能弱点（超高性能混凝土 UHPC 基本组成见表 2）。UHPC 拥有两个“超高”，一个是超高的耐久性，另外一个超高的力学性能。它的抗压强度最高可达 180 MPa，抗弯强度的极限达 35 MPa，韧性比普通混凝土（NSC）大 250 倍，可与金属和石材媲美（普通混凝土、高性能混凝土和超高性能混凝土材料（主要）性能对比见表 3）。超高性能混凝土的双“高”性能，为设计出弯曲造型的轻薄精巧混凝土家具提供了一个新的突破口。

成都金圣实业公司设计了一款卷曲系列超高性能混凝土家具（见图 2），正是利用 UHPC 的超高高性能实现了快速一次成型^[10]，该设计荣获 2017 中国设计红星奖。此项产品最突出的亮点是利用厚度仅为 10 mm 的超薄混凝土进行了一体式曲面造型，不仅展现出 UHPC 的抗压强度高，还体现出它的极限抗弯强度、抗腐蚀性、高韧性等综合性能，让粗糙厚重的混凝土实现了一次华丽转身。

2.3 质感设计要点——与不同材料的混搭共生

当“混搭”成为一种流行的生活方式^[11]、个性品味的代言词^[12]时，它就已不再是仅仅属于时尚界的专有名词，而是任何设计里都应借鉴的一种设计风格。“混搭”是将多种元素依照不同设计需求混合搭配的一种设计方法，其在当代坐具中也同样适用。比如，可将改性混凝土与其他色彩、质感不同的材料的混合搭配，可根据设计表现需求与织物、皮革进行质感对比混搭。

混凝土帆布（简称 CC），正是不同材料混搭的新生产物。英国人 Brewin 和 Crawford 发明的这种三维

间隔织物增强水泥基复合帆布，是将水泥粉体密实填充后加水硬化而成。其厚度可设定在 3~20 mm 之间，具有快干早强的特点，且具有不需搅拌即能成型、方便运输等优势，因此被快速应用于实际生产，常用于帐篷、护坡、地下工程与军用防护等^[13]，近几年也被尝试用于家具设计。

受混凝土帆布建筑启发，德国设计师 Florian Schmid 设计出一款“缝合混凝土”坐凳（见图 3）。其除具有表皮轻薄柔软的质感外，还有防水、防火、防爆功能。但它最特别之处还是由混凝土帆布（CC）、纤维及其他基质材料改性而成。CC 材料中的三维间隔织物虽能有效提高坐凳的延展性与抗裂性，但因其

表 2 超高性能混凝土 UHPC 基本组成
Tab.2 Basic composition of UHPC

组成材料	容重 (kg/m ³)	重量百分 含量%
水泥	700~1010	27.0-38.0
硅灰	230-320	8.5-9.5
磨细石英砂	0-230	0.0-8.0
细砂	760-1050	39.0-41.0
金属纤维（钢纤维）	150-190	5.5-8.0
高效减水剂	15-25	0.5-1.0
水	155-210	5.5-8.0
水/胶凝材料比	0.14-0.27	—



图 2 “卷曲”系列超高性能混凝土家具
Fig.2 “Curled” series of ultra-high performance concrete furniture

表 3 普通混凝土、高性能混凝土和超高性能混凝土材料（主要）性能对比
Tab.3 (Main) performance comparison of ordinary concrete, high performance concrete and super high performance concrete

种类性能	普通混凝土 NSC	高性能混凝土 HPC	超高性能混凝土 UHPC
抗压强度（MPa）	20~40	40~96	120~180
水胶比	0.40~0.70	0.24~0.35	0.14~0.27
最大骨料粒径（mm）	19~25	9.5~13	0.4~0.6
孔隙率	20~25%	10~15%	2~6%
韧性	—	—	比 NSC 大 250 倍*
极限抗弯强度（MPa）	—	—	18~35
抗冻融性能	10%耐久	90%耐久	100%耐久
抗表面剥蚀性能	>1	0.08	0.01

表 2、表 3 数据来源：3rd International Symposium on HPC Proceedings: October 19-22, 2003 in Orlando, FL

糅合干粉填充、洒水硬化的成型方式,再加上三维间隔织物的表层面纱与中间桩纱编织疏松,最终导致了密实度、拉伸弹性模量、强度均较低,洒水硬化后的表观密度仅为普通混凝土($2200\sim 2400\text{ kg/m}^3$)的70~80%,为解决这一技术难题,我国陈惠苏团队利用掺入以 C12A 7 为主的高铝水泥(CAC) PP127 和半水石膏体系进行 CC 材料体积稳定性研究,结果表明石膏掺量为 20~30%时,CC 材料的强度、收缩开裂性能最好。他们利用纤维增强复合材料(FRP)外部粘贴的方法增强 CC 材料的力学性能,实验结果显示 CC 材料的拉伸、弯曲和剪切强度得到了不同程度的提升,其中弯曲强度约增强二十倍,剪切强度增强一到两倍^[13]。改性后的 CC 材料促使该“缝合混凝土”座椅不再仅仅是一项艺术陈列品,真正成为了名副其实的坐具(坐凳使用效果见图 4)。Florian Schmid 在制作这款混凝土帆布坐具之前,需设计一个特别的木制框架模具(见图 5)与 PVC 支撑板(见图 6)共同塑形,在混凝土帆布水合变硬干燥成型之前,要用红色、黄色、蓝色彩线缝合连接加强坐凳的稳定性,等

凳子彻底变硬后再将模具一并拆除。

混凝土是一种冰冷、朴素而有张力的材质,它不能适用于所有的坐具产品,设计也不能千篇一律,因此在保留其特有的特征外,应结合其他材料进行混搭。在满足基本使用功能的情况下,可通过添加矿物颜料来丰富普通混凝土的无彩灰色系,还可通过与皮革、金属、木材、玻璃等不同质感与肌理材料的结合,丰富其作为公共坐具的艺术形态,展现改性混凝土家具别样的韵味。

德国 Paulsberg 工作室设计了世界上第一个用混凝土和皮革、碳纤维材料结合的具有混搭风格的手工坐具 Swing 摇椅(见图 7),混凝土与皮革等材料的跨界混搭让这把摇椅变得与众不同。此款摇椅利用皮革材料保证了与人体接触面层结构的舒适性,利用掺入了碳纤维的改性混凝土材料保证了摇椅底层内部结构的稳定性,设计师巧妙地利用了碳纤维这种高强高弹模的纤维材料^[14],提高了 Swing 摇椅的抗拉折强度和韧性,有效地改善了摇椅底部结构的抗裂性和抗冲击性。



图 3 “缝合混凝土”坐凳
Fig.3 “Sewed concrete” seat



图 4 坐凳使用效果
Fig.4 Seat using effect



图 5 木制模具
Fig.5 Wooden mold

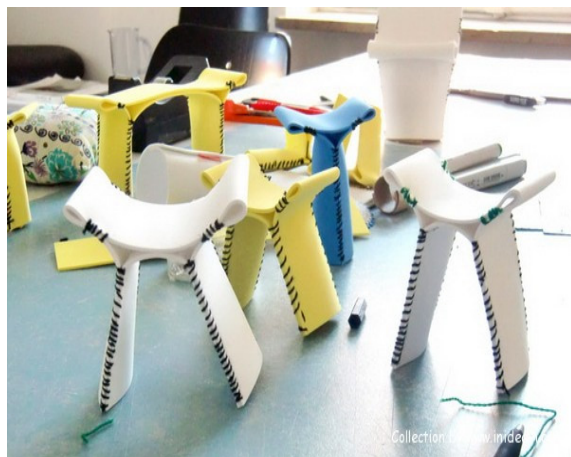


图 6 PVC 支撑板凳
Fig.6 Seat with PVC support

皮革与混凝土材料混搭将给予改性混凝土坐具设计更多的使用感受与情感表达。将 Swing 摇椅的底座部分设计为 5 cm 厚度的混凝土结构,与皮革面层形成了材料、质感、色彩的对比,摇椅底部与地面接触的地方,手工嵌入皮革层保护地板。这样在保证摇椅稳定性功能的前提下,又不失材质色彩的变化,既符合人体工程学,又诠释了艺术美学。

3 UHPC 坐具的设计与建造实验

3.1 UHPC 坐具的设计实践过程

3.1.1 参数化技术的介入

新型混凝土材料和技术在城市家具设计中的应用,势必会引发设计思维与方法的革新,进而促使坐具设计出现新的发展方向。参数化技术是伴随着手工业生产组织数字化而诞生的,20 世纪 90 年代,随着建筑联盟学院等院校和 UN Studio 事务所的推动,以及计算机虚拟现实 VR 技术的深入研究,参数化技术已然介入到了建筑设计的过程中。参数化设计已发展成为一种设计类型,不再仅是辅助工具,而变成了设计方法。

目前,在数字化技术的设计应用阶段,设计师开始利用 Rivet、Sketchup、Rhino 等软件建模或 ArchiCAD 软件参数化编程,利用参数化设计平台进行设计。比如最近比较流行的 Rhinoceros 平台中的 Grasshopper,擅长创建复杂的三维曲面,功能强大、简单易用。上文中 ULURU 系列超高强度混凝土设计模块座椅,就可以利用该软件来设计模型,并拓展设计师构形的无限可能。设计师只要把影响构思的全部因素都设定成参数,通过构筑生形逻辑的算法,利用系统参数的反复计算调整与求解优化,最终由计算机完成设计,这种方法叫“算法生形”。当设计师无法利用图纸表达复杂或动态的曲面造型时,可由电脑计算产生,进行优中选优,将“构形”转变为“找形”^[15]。参数化技术的介入改变了设计思维方式,势必会推动设计流程的革新。

利用 Sketchup、ArchiCAD 参数化建模软件,笔者尝试设计了一款 UHPC 多功能模块化坐具,见图 8,其中 1 为 X 模块,2 为 Y 模块,3 为 XY 单排横向排列,4 为 XY 横纵向混合组合排列,5 为 XY 桌椅组合^[16]。此坐具由 X(400×400×400 mm)和 Y(400×400×800 mm)两个 UHPC 单体模块组成,厚度设定在 15~20 mm 之间,两个单体模块重量分别控制在 13 kg(X)与 20 kg(Y)左右。根据使用场所与用途,此模块化坐具本身可分为开放式模块(直接放置物品)、半开放式模块(可搭配抽屉式整理箱)或封闭式模块(设置门与锁)三种。无论在室内外 X 与 Y 模块均可单独摆放、单排横向排列、横纵向混合组合排列,或 X 为椅 Y 为桌的桌椅组合方式排列放置。



图 7 德国 Paulsberg 工作室设计的 Swing 摇椅

Fig.7 Swing rocking chair designed by Paulsberg studio in Germany

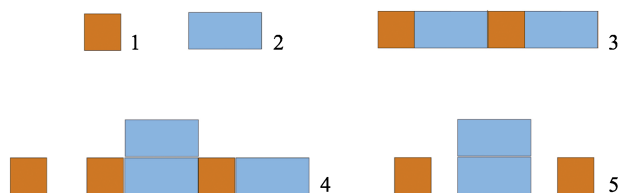


图 8 UHPC 多功能模块化坐具摆放方式

Fig.8 UHPC multifunctional modular seat placement mode

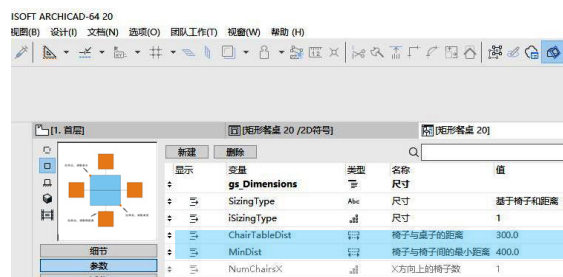


图 9 GDL 设定固定参数

Fig.9 GDL setting fixed parameters

3.1.2 参数化建模软件的初步尝试

ArchiCAD 内置的参数化编程语言 GDL 是一种几何性描述语言,是利用编制参数化尺寸驱动设计的智能部件。因其算量的标准与精准化,常将其用于建筑中的混凝土预制件的设计、混凝土模块化的设计与施工。

在 UHPC 多功能模块化坐具中,笔者也尝试利用 GDL 来设定各模块凹凸面高与角点值,用参数来描述模块结构。模块上凸下凹的结构除增加底部耐磨性能外,还能便于模块在上下组合时,凹进与凸起面能契合,以此固定结构。另外,在模块呈桌椅组合时,同样利用 GDL 设定桌(Y)与椅(X)拉伸点间距为固定参数(见图 9)。如设定每个椅子(X)间的最小距离为 400 mm,椅子(X)和桌子(Y)的距离固定为 300 mm,利用 GDL 参数化编程后,软件会根据设定的参数自动生成 2Y4X、4Y6X……的组合模型(见图 10),就不用再去重复地绘制模型了。

3.2 UHPC 坐具设计的建造过程

本文归纳总结改性混凝土坐具的制作过程,可大致分为四个阶段。

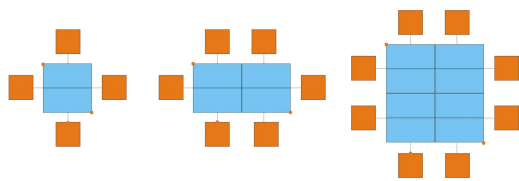


图 10 生成的组合模型 (2Y4X、4Y6X.....)
Fig.10 Generated combination model (2Y4X, 4Y6X...)

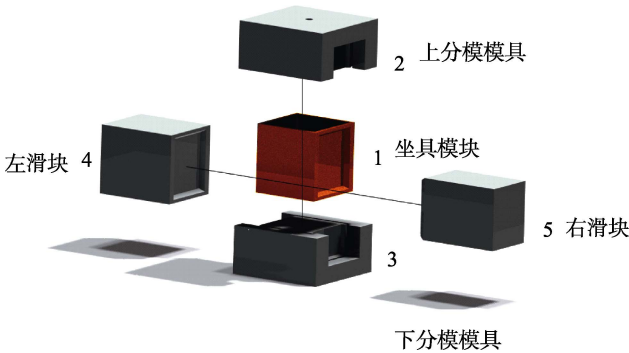


图 11 UHPC 多功能模块化坐具的模具设计
Fig.11 Mold design of UHPC multifunctional modular seat

第一阶段是改性混凝土的配置与配合比的确定。首先,根据坐具功能的需要选择合适的外加剂,如为了改善改性混凝土的凝结时间可添加早凝剂,为了改变流变性能可添加减水剂,为了减轻自重可添加轻骨料。其次,应结合设计的要求选择骨料的配置,不同的骨料也会影响坐具表面的肌理与质感。鉴于改性混凝土的配比问题异常复杂,需要根据设计的制作要求进行反复的计算、实验、制作和验证配合比。

由于普通混凝土的特性达不到这款多功能模块化坐具的超薄与耐久性设计要求,也满足不了移动与入座的承载力要求,所以这款空腔带储存功能的坐具设计采用添加钢纤维、硅粉、超塑化剂等制成的超高性能混凝土(UHPC)进行制作,具体配合比见表 4^[17]。采用 UHPC 材料既能减轻坐具的自重,还可以拓展其模块化自由组合的可能性。

第二阶段是模具的设计与制作,这是改性混凝土坐具设计的关键阶段。为满足坐具的大小、结构、要求的荷载等模具要求,利用 UG 设计了分模模具的型芯与型腔(见图 11),因坐具设计需有凹凸面,故同样需要设计滑块。通常坐具的模具应该能反复利用,因此模具一般可选用木质胶合板类、玻璃钢材、塑料板、石板材、硅胶等材料制作改性混凝土,以满足方便安装与拆卸的要求。鉴于此,本设计采用了玻璃钢材制作模具,设计完成后开始试模,合模,之后开始浇筑、加压、保压,然后开模顶出,最终完成模具的设计与制作。坐具表面或内部需特殊工艺处理时,还可以通过 CNC(数控机床)和 3D 打印技术辅助完成。

第三阶段是成型工艺的选择。一般混凝土坐具多采用静压、辊压、振动挤压和浇筑振捣成型方式,其中浇筑振捣和静压这两种成型方式成本小,但都不适合大规模生产。振动挤压、辊压成型方式自动化程度较高,可实现大规模且连续生产。此款 UHPC 多功能混凝土模块化坐具设计通过高效强制搅拌机搅拌后利用一次性浇筑工艺完成。

第四阶段是养护与后期处理。改性混凝土坐具的养护工作直接影响着坐具的质量。通常在产品浇筑后,应防止水分蒸发,否则混凝土很容易脱落;在脱膜后,可通过手工和机械方式进行后期处理;在养护时,UHPC 多功能混凝土模块化坐具应采用温度达到 90℃ 的蒸压方式养护。特别需要说明的是,当它用在户外的公共空间时,为了防止潮湿和腐蚀,可以涂抹涂膜性材料或渗透性防水材料,以延长使用寿命。

4 结语

通过分析近些年的改性混凝土坐具设计实践案例,发现利用矿物外加剂、聚合物、纤维等改性材料的添加来提高普通混凝土的力学性能,已取得了显著的成效。目前拥有巨大发展潜力的石墨烯及纳米碳纤

表 4 超高性能混凝土(UHPC)配合比
Tab.4 Mix proportion of UHPC

配合比 编号	材料组成 (kg m ³)											
	水泥	砂 (≤1 mm)	玄武岩 (28)	硅粉	钢纤维 (25V%)	石英粉 I	石英粉 II	超塑 化剂	水	水灰比 W C	水胶比 W B	坍落扩 展度/cm
M ₁	900	1 016	—	225	192	—	—	28 2	185	0 23	0 18	55
M _{1Q}	733	1 008	—	230	192	—	—	28 2	161	0 24	0 19	55
M _{2Q}	832	975	—	135	192	183	—	28 6	161	0 22	0 19	55
B ₁	800	440	870	200	192	207	—	29 4	166	0 23	0 18	65
B _{1Q}	630	433	867	197	192	158	—	24 7	151	0 27	0 20	55
B _{2Q}	723	425	850	118	192	181	—	25 6	157	0 24	0 21	65
B _{3Q}	580	354	711	177	194	325	131	30 4	141	0 28	0 21	65

维材料对混凝土综合性能的改进有待进一步研究。未来改性混凝土应实现多种材料混掺,互补优劣的综合研发趋势。

当代坐具设计师在利用参数化构形的同时,也要根据材料与技术的革新,使改性混凝土坐具设计向超高的综合性能发展,以此来满足坐具产品设计的特殊需要和艺术表达。设计师们也应在保留混凝土材料独特气质的同时,丰富产品的色彩、质感和肌理,诠释出别具一格的改性混凝土坐具设计产品。这将使改性混凝土材料的应用范围随着科学技术的发展更加广阔,前景更加美好。

参考文献:

- [1] HAZIMMAH D S, MUTHUSAMY K. Characterization of Steel Fiber Reinforced Acrylic Emulsion Polymer Modified Concrete (SFRPMC) through X-Ray Diffraction (XRD) Analysis[J]. Applied Mechanics and Materials, 2016, 833: 87-93.
- [2] XU S, XIE N, CHENG X, et al. Environmental Resistance of Cement Concrete Modified with Low Dosage Nano Particles[J]. Construction and Building Materials, 2018, 164: 535-553.
- [3] HANY N F, HANTOUCHE E G, HARAJLI M H. Finite Element Modeling of FRP-confined Concrete Using Modified Concrete Damaged Plasticity[J]. Engineering Structures, 2016, 125: 1-14.
- [4] SHITAMA K, TSUJI M, SAWAMOTO T. Experimental Studies on Abrasion Resistance of High Strength Fiber Reinforced Modified Grading Cement Concrete[J]. Cement Science and Concrete Technology, 2015(69): 588-595.
- [5] ZHOU Ming-kai, FANG Dong, JIANG De-yong. Research on the Fracture Properties and Modification Mechanism of Polyester Fiber and SBR Latex Modified Cement Concrete[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2016(2016): 1-8.
- [6] 孙磊. 水泥基材料设计应用价值研究[J]. 包装工程, 2016, 37(12): 184-187.
SUN Lei. Design and Application Values of Cement-based Materials[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(12): 184-187.
- [7] 许晓云, 解秋蕊. 基于模块化设计原理的产品设计研究[J]. 美术大观, 2017(9): 120-121.
XU Xiao-yun, XIE Qiu-rui. Research on Product Design Based on Modular Design Principle[J]. Art Panorama, 2017(9): 120-121.
- [8] 王所玲. 城市家具中坐具的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(20): 43-46.
WANG Suo-ling. Seating Design of Street Furniture[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(20): 43-46.
- [9] 孙磊. 基于环境因素的隐形形态城市家具设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(2): 143-146.
SUN Lei. Invisible Pattern Urban Furniture Design Based on Environmental Factors[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 143-146.
- [10] 常伟, 杨艳石. 快速成型技术在家具设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2017, 38(10): 171-174.
CHANG Wei YANG Yan-shi. Application of Rapid Prototyping Technology in Furniture Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(10): 171-174.
- [11] 李晓飞. 混搭风格在现代家具设计中的应用[J]. 包装工程, 2018, 39(6): 285-288.
LI Xiao-fei. Application of Mix and Match Style in Modern Furniture Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(6): 285-288.
- [12] 刘小旭. 家具设计中的材质混搭[J]. 家具, 2016, 37(1): 57-60.
LIU Xiao-xu. Material Mix and Match in Furniture Design[J]. Furniture, 2016, 37(1): 57-60.
- [13] 张方圆. 混凝土帆布配合比优化、FRP 增强及抗侵蚀性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.
ZHANG Fang-yuan. Mix Ratio Optimization, FRP Reinforcement and Anti-penetration Performance of Concrete Canvas[D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [14] 杜向琴, 刘志龙. 碳纤维对混凝土力学性能的影响研究[J]. 混凝土, 2018(4): 91-94.
DU Xiang-qin, LIU Zhi-long. Study on the Effect of Carbon Fiber on the Mechanical Properties of Concrete[J]. Concrete, 2018 (4): 91-94.
- [15] 王柳庄. 参数化技术对产品的影响探讨[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 10-13.
WANG Liu-zhuang. Discussion on the Influence of Parametric Technology on Product Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 10-13.
- [16] 刘莹, 等. 户外寄存柜: 中国, ZL201820241238.7[P]. 2019-06-07.
LIU Ying, et al. Outdoor Deposit Cabinet: China, ZL201820241238. 7[P]. 2019-06-07.
- [17] 冯乃谦. 高性能混凝土与超高性能混凝土的发展和应用[J]. 施工技术, 2009, 38(4): 1-6
FENG Nai-qian. Development and Application of High Performance Concrete and Super High Performance Concrete[J]. Construction Technology, 2009, 38(4): 1-6.