

新型材料在结构工程中的应用与挑战

胡 崎

陕西省建筑科学研究院有限公司, 陕西 西安 710082

[摘要]材料科学日新月异, 新型材料的发展推动着整个建筑行业从基础到应用都迎来了新的突破, 文章意在高性能复合材料和智能、功能性材料等新型材料进行一个全面归纳总结并对其所具有的性能特点加以阐述, 并针对这些新型材料应用于提高结构承载力、改善耐久性和抗灾能力、实现减重和节能设计方面作出具体说明。并且就新型材料推广使用中遇到的一些技术难题还有经济投入过多、标准体系缺乏以及缺少长时间的使用寿命监测等方面存在的问题进行了实事求是地剖析。在此基础上, 文中针对增强材料开发、促进多学科融合、健全标准机制以及实行全面生命周期管理四个方面对如何开展新型建筑材料的研究和使用进行建议, 希望能够对相关的科研和工程建设起到一定的借鉴作用。

[关键词]新型材料; 结构工程; 复合材料; 智能材料

DOI: 10.33142/sca.v9i2.19093

中图分类号: TU5

文献标识码: A

Application and Challenges of New Materials in Structural Engineering

HU Qi

SCEGC Scientific Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710082, China

Abstract: Materials science is advancing rapidly, and the development of new materials is driving new breakthroughs in the entire construction industry from basics to applications. This article aims to comprehensively summarize and elaborate on the performance characteristics of high-performance composite materials, intelligent and functional materials, and other new materials. It also provides specific explanations for the application of these new materials in improving structural load-bearing capacity, enhancing durability and disaster resistance, achieving weight reduction and energy-saving design. And a realistic analysis was conducted on some technical difficulties encountered in the promotion and use of new materials, such as excessive economic investment, lack of standard system, and lack of long-term service life monitoring. On this basis, the article provides suggestions on how to carry out research and use of new building materials in four aspects: enhancing material development, promoting interdisciplinary integration, improving standard mechanisms, and implementing comprehensive lifecycle management., so as to provide some reference for related scientific research and engineering construction.

Keywords: new materials; structural engineering; compound material; smart materials

结构工程是构筑当代社会基础设施及建筑物体的基础, 它的程度直接影响着一国经济发展及民众生活水平的提高, 传统结构材料包括钢、砼和木, 经过长时间的应用实践, 已经得到了人们的充分认可, 然而在应对愈发严峻复杂的工程需求、更恶劣的自然条件以及其他绿色理念的要求下, 材料本身的缺陷也愈加明显, 在这种情况下, 新式材料的研发创新给结构工程带来了全新的改变, 它不是对旧有材料的取代而是一个彻底的设计思路革新和施工方法转变的过程。这些新类型材料以优异的力学性能、特异的功能优势、更好的环保适应能力为攻克建筑结构领域面临的各种难题提供了机遇, 但新材料从科研试验到推广应用的过程中并不是可以简单完成, 其间的技术难度大、资金投入高、标准制定繁琐等一系列问题都需要解决好。所以对新型材料使用情况进行系统的分析, 深刻揭示存在的问题, 寻求解决方案, 这对指导结构工程技术创新, 推动与材料科学一体化发展, 进而达到建设项目的绿色发展、智能化

和高效化目标有着重大的理论价值及实践指导作用。

1 新型材料的分类与特性

新材料是内容与范围非常宽广的一个概念, 它在建筑工程上的使用主要是因为它能给传统材料所带来的或者很难达到的一些特性。依据其组成、结构以及功能的不同, 可把用到建筑工程中的一些先进材料分为以下几种类型:

1.1 高性能复合材料

此类材料一般由两种或者两种以上性质不同的材料经机械或者化学手段复合在一起形成的一种具有单一材料所不能达到的功能性的复合材料。而纤维增强型复合材料则是高级复合材料中最为常见的代表之一, 其由高强度纤维比如碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维同基质例如树脂组合而成, 该复合材料的内部组织具有很高的比模量和比强度还有很好的防腐特性; 另外, 超高性能混凝土也是颗粒分级合理并且掺有钢纤维或者是有机纤维的一种新型水泥基复合材料, 其解决了传统混凝土易碎、延展性差等问

题, 拥有很高的抗压强度、抗弯强度、优良的延展性等特性。而这些先进复合材料的共同特点就是: 在不影响结构重量的前提下, 提高结构力学性能及服役寿命。

1.2 智能与功能材料

不同于只有承担负荷能力的结构材料, 智能和功能材料可以识别环境条件的变化, 接受物理激励, 并据此进行反馈, 使建筑物具有自我识别, 自我调节, 自我修复等智能化的功能特点; 形状记忆合金可以存储自身原始形状, 在一定的条件下比如加热以后可回复成原来的形状, 它可以用于结构的振动抑制以及位移调整; 压电材料可以在受力的时候发电, 也可以通过通电发生变形, 所以它是非常好的传感器以及执行器来检测结构的状态。而以光催化剂纳米二氧化钛为代表的一些光催化材料, 可以通过光能降解空气中污染物, 喷涂在结构体表面, 就能让建筑物成为净化空气的一个绿色载体, 给结构体带来新的生态环境净化的功能等。这些都是新型智能与功能材料的应用, 也在改变着结构工程由被动受力向主动监测、智能调节发展的趋势。

2 新型材料在结构工程中的应用

正是由于这些特有的性能特点, 新类型材料在建筑工程中的很多领域都有着巨大的发展空间, 在很大程度上影响了工程结构的设计以及施工方式。

2.1 增强结构承载能力

通过使用新材对现有结构进行加强加固或者作为新结构的主要承力件来增强整个结构的承载能力是提高结构承载能力的重要手段, 而 CFRP 具有良好的轻质高性的特点能够很好的粘贴在梁、板、柱等构件表面给结构穿上了坚硬的铠甲, 在不增大截面尺寸以及增加自重的情况下, 增强了结构的抗弯、抗剪及抗震能力, 对于新建的大跨度桥梁或者高层建筑, 运用 CFRP 预应力缆索或者钢-混组合梁柱等, 充分利用了它的抗拉强度高的特性, 大大降低了结构自重, 使得结构跨越能力和高度得到了很大的提升。而且, 在结构的重要部位或者是受力比较复杂的部位局部采用超高性能混凝土代替普通混凝土可以大幅度提高节点的受力状况保证了整个结构的安全性和可靠性。

2.2 提高耐久性与抗灾性能

结构的耐久性和抗震性能直接影响着整个设计寿命期间的安全及维修费用。新材料的应用对于这两方面性能提高起到了决定的作用^[1]。纤维增强复合材料自身抗腐蚀性强, 在面对氯离子、酸碱盐类腐蚀性介质时, 可以在桥墩、码头、海滨建筑等苛刻环境中使结构寿命大大增加, 减少后期的维修和加固开销。超高性能混凝土以其密实的微孔结构, 高强度的同时还具备超强的抗渗性, 可避免水份和有害物质进入体内损伤内部钢筋, 对于沿海地区或者除冰雪剂下环境混凝土结构耐久性的提升有着里程碑式的影响。针对抗震加固, 具有良好韧性和耗能能力的复合材料产品, 通过合理的设计能够将结构在地震或者大风等情况下所受到的能量进行有效的吸收和耗散防止结构出

现脆性破坏, 进而提高结构整体的抗震韧性。

2.3 促进轻量化与节能设计

在倡导绿色发展的当下, 结构工程的轻质高效及节能设计理念被赋予新的时代内涵, 新材料是其得以实现的技术保证。纤维增强复合材料的质量只有相同体积的金属的 1/4~1/5 左右, 采用这种材料代替一部分传统的材料可以大幅度减少结构的质量。从而有利于进行工厂化加工和模块化安装, 减少现场浇筑工作量, 同时也可以减小对于基础的支持作用, 节省基础工程投资。在建筑幕墙、人行过街天桥乃至车辆渡船等方面使用复合材料已经显示出了良好的轻量化效果。此外, 一些新材料也拥有很好的保温隔热效果, 比如气凝胶和真空绝热板等, 将它作为建筑围护结构的一个组成部分进行集成设计, 则可以构成一种自保温构造体系, 极大地减少建筑物的运行耗能, 也是实现建筑碳中和的一个重要工程技术手段。

3 新型材料应用面临的主要挑战

虽然新型建筑材料应用于建筑工程有巨大的优势, 但是从原理的研究到大面积的应用还存在许多困难, 阻碍了新材料的推广和应用范围扩大。

3.1 技术工艺与质量控制难题

很多新材料制造工艺繁琐繁杂, 对设备及施工技术水平的要求非常高。比如碳纤维复合材料, 在它的制作过程当中温度、压强以及树脂渗透率等因素都需要严格把控, 哪怕是一点点误差也会影响到的质量好坏。而在实际工程中对碳纤维进行粘贴施工或是超高强混凝土的浇筑、养护环境都会直接影响到成品的质量好坏。但是现在尚没有一套成型的标准完整的新型材料施工方法以及检验评定体系可以使用。工人水平高低不同导致工程质量无法做到一个统一水准也就造成了安全风险。

3.2 成本与经济可行性限制

新材料较高的初期费用是限制其广泛应用的经济障碍。不管是高强纤维还是功能性填充剂以及复杂的制造工艺都会导致新材料单件费用远远大于普通材料的价格, 在综合分析全寿命成本后, 新材料由于良好的长期耐用性可能会更具有经济效益, 但是短期内巨大的起始费用仍然是投资人和施工方需要考虑的问题, 在很多对投资规模比较在意的一般工程中业主和设计单位一般会选择可靠且造价较低的传统方法, 因此只有当项目对于某些特殊的性能有特定的要求或者传统的施工方式不能解决问题的时候新材料才会占有优势地位。所以怎样在性能提高的同时控制好成本的问题就成了能否被市场接受的决定性因素。

3.3 标准与规范缺失

健全的标准及体系是使新材料由实验室研究成果转变为工程实际运用的“通关凭证”, 目前多数新材料无论是产品的检测手段、质量分等, 还是结构的设计原理、计算公式, 抑或是施工验收标准都是缺位或者不足的状态, 缺乏相关规定的现状导致设计时选用新材料没有参考标

准,审批单位无法对新技术进行审核把关,只得使用较为保守的设计方案,从而制约了新材料性能的最大化发挥^[2]。缺乏一致的设计规范以及验收条件,工程人员不能正确估计出建筑物受长期荷载的作用所产生的形变情况,而监理人员也不能客观的对建筑物施工质量进行评估,导致许多新材料不能被有效的广泛应用到建筑中去。

3.4 长期性能数据不足

新类型材料耐受性及长期表现好坏直接影响是否可以安全使用几十年,然而多数新材料实际应用年限不足,缺少对在自然环境中多年暴露的观测记录,而实验室加速老化只能模仿一些外部条件却无法准确地再现变化无常的风,雨,冷热交替,日晒和反复加载等各种情况,比如:纤维复合材料在长时间荷载之下发生的蠕变、松弛现象,复合材料与混凝土之间的黏合面因长时间环境的影响下产生劣化的过程,智能材料经过长期使用之后的功能持续性和稳定程度等都需要进行更多的研究验证。这类长效性指标的不明确,使工程师对它应用于工程项目的风险增加,在工程上推广应用存在困难。

4 发展对策

针对以上问题就需要从材料学、工程技术、法律法规等多方面齐抓共管,营造新型材料用于结构工程的良好环境氛围。

4.1 加强材料研发与技术创新

不断进行基础科学研究是提高新材料性能、降低成本的基础力量源泉。一个是需要对新材料微结构、力学性能及长时间服役过程中性能变化规律等方面开展基本理论的研究来支持工程设计;另一个就是大力开展新材料的制备加工技术及施工工艺的研发,发展低成本、高效能、低消耗的生产技术和规模化、信息化、可控的质量控制施工工艺及设备。比如:通过循环再用碳纤维来制备低价的复合材料、开发适合现场组装的复合材料预制部品节点的连接技术等,这些都是可以显著降低应用难度的技术进步方向。

4.2 推动跨学科协同与工程融合

新材料在建筑工程的应用是典型的交叉学科难题,它不仅涉及到了材料科学方面的问题,还包括了结构设计、施工技术和检测维护等方面的知识。要克服这个难题就必须把这几个方面的知识有机结合起来,形成一个完整的由材料的研发到结构的设计以及施工到运维的一个全过程的联动创新体系^[3]。大学和科研院所要与设计单位、施工单位紧密合作,一起进行应用的基础性的研究以及核心技术的研发,保证研发出来的成果可以及时的转化到生产实践中去。另外要积极培养一些既能掌握新材料性能又了解结构设计的复合型人才,为实现多学科之间的交叉打下坚实的人才基础。

4.3 完善标准体系与认证制度

加快建立系统的完整的新型材料标准规范体系迫在眉睫。国家相关管理部门要及时组织行业力量,结合国外

参考经验和国内研究成果及工程经验,制定相应的新型材料的标准规范和技术规程,尤其是要先制定出一些成熟可靠并且有广泛应用价值的新型材料的技术规程,以便于工程的设计。还要建立新型材料工程应用的认证制度,对于新型材料的产品性能,施工方法以及最终的建筑结构的质量进行第三方机构的认证,保证建筑工程的质量和安,维护良好的市场环境,提高建筑业主和设计院的信心。

4.4 促进可持续性与全生命周期管理

以可持续发展的眼光看待新型建筑材料应用的价值能够解决其存在初期造价高的问题,要积极倡导全寿命周期成本计算法,在项目的立项过程中就要考虑到新材料的前期购置费用、后期维修保养开支、节材效益和废弃回收利用的价值,全面衡量它所带来的总体经济效益。建设新型建筑材料数据库信息系统,对使用新型材料的代表性的试点项目进行长期观测记录,收集重要的长期使用的性能指标,这对了解实际服役情况、检验设计理论、健全相关标准规范有着重要的意义。与此同时,积极进行新材料结构拆解及回收利用的研究,探索对废旧复合材料循环再利用的方法,建立绿色、低碳化、循环化的新型材料产业体系。

5 结束语

新建筑材料具备优秀的品质及潜在的可能性,在结构工程技术方面正带领着整个行业进入一个新的时代。它在提升结构物的承重能力和耐用程度的同时还拥有良好的抗震效果,在轻型化以及节能方面的应用也有着明显的优势。但是由于它的技术要求较高、价格昂贵、缺少相应的规定制度、缺少相关产品长期使用的记录等原因使得它难以被广泛使用。在机会与挑战面前,只有秉持系统思维,一方面继续加强新材料的研发及科技创新,另一方面促进协同创新、健全标准体系,以系统的观点开展科学合理、精细管理,才能把新材料巨大的潜力变为我国土木工程建设高质量发展的强大动能。未来新材料一定会在我国重大基础设施建设、人民生活品质提升过程中发挥越来越重要的作用,在保障人民生命财产安全保障的同时也为建设安全耐久、绿色智能的美好生活环境提供强有力的技术支持。

[参考文献]

- [1]林日长,鲁芝娥,宁平伟.新型材料在结构工程中的应用与挑战[J].散装水泥,2025(6):19-21.
 - [2]孙志明.常用新型建筑材料探析[J].塑料助剂,2025(4):118-122.
 - [3]金超.智能建筑材料在地震防护中的应用与性能优化[J].新城建科技,2025,34(7):165-167.
- 作者简介:胡崎(1993.12—),男,毕业院校:西安建筑科技大学,学历:硕士研究生,所学专业:结构工程,当前工作单位:陕西省建筑科学研究院有限公司,职称级别:中级。