

文章编号:1673-2049(2020)06-0001-10

## 第六届建筑科学与工程创新论坛纪要

《建筑科学与工程学报》编辑部

**编者按:**建筑科学与工程创新论坛在论坛主席、中国工程院院士、《建筑科学与工程学报》主编周绪红教授的领导下,在土木建筑行业各位专家学者的大力支持下,已经逐渐形成“多元、融合、动态、持续”的协同创新模式与机制,成为高校、科研机构 and 大型企业协同参与的重大基础和应用基础研究平台、重大关键技术开发应用平台和重大科技成果转化平台,已成为建筑科学与工程领域的品牌性高端论坛。2020 年 10 月 31 日至 11 月 1 日,第六届建筑科学与工程创新论坛在西安成功召开,本届论坛由中国工程院土木、水利与建筑工程学部,中国土木工程学会,中国公路学会,国家自然科学基金委员会工程与材料科学部,《建筑科学与工程学报》编辑部,长安大学,重庆大学,湖南大学主办,由长安大学、《建筑科学与工程学报》编辑部和《工业建筑》杂志社有限公司承办。论坛主席周绪红院士和中国工程院院士聂建国、王景全、刘加平、缪昌文、杜彦良、陈政清、郑健龙、邓铭江、岳清瑞、吕西林、徐建、张喜刚、汤中立,中国科学院院士陈云敏、彭建兵,日本工程院外籍院士吴智深、比利时皇家科学与艺术学院外籍院士李国强,中国土木工程学会秘书长、北京詹天佑土木工程科学技术发展基金会理事长李明安,中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰,以及长安大学校长沙爱民等土木建筑领域的知名专家学者近 400 人出席论坛。

### 1 创新论坛开幕式

2020 年 10 月 31 日上午 8:30,第六届建筑科学与工程创新论坛在西安隆重召开,由长安大学副校长贺拴海教授主持论坛开幕式。

论坛主席、《建筑科学与工程学报》主编周绪红院士在致辞中对论坛的顺利召开表示祝贺,对主办单位、承办单位的支持表示感谢。他回顾了建筑科学与工程创新论坛的创立与发展历程,对论坛取得的成绩给予了充分肯定。他指出,近年来,中国的土木工程建设发展极为迅猛,基础设施建设取得了举世瞩目的成就,新结构、新材料、新技术在不断研究、开发和应用。土木建筑工程已经成为中国国民经济发展的支柱产业之一,随着理论和实践水平的不断突破,土木工程建设逐渐趋于大型化、复杂化、多样化,节能技术、信息控制技术和生态技术等高端科技更加广泛地应用到了土木工程建设中。随着“一带一路”倡议和“十四五”规划的实施,中国土木工程建设大有可为,也为各位专家同仁提供了施展平台。此次论坛将围绕“一带一路”倡议背景下土木建筑与海洋工程的发展、“交通强国”战略下的可持续交通

基础设施建设、高性能建筑结构体系、纤维增强复合材料、大型工程结构健康监测及防灾减灾、岩土工程理论与工程实践、未来城镇智能建造与智慧型基础设施建设、海上风电工程等多个议题进行深入交流,数十位行业专家做大会主题报告,共享研究智慧,把握前沿动态,引导行业发展。同时他表示,中国建筑科学与工程创新发展,离不开各位院士、领导和专家的共同努力,建筑科学与工程创新论坛的发展也离不开各位的关心和支持。在各位同仁的共同努力下,一定能够将建筑科学与工程创新论坛打造成在国家创新体系建设中发挥重要作用的国际性品牌论坛。

长安大学校长沙爱民教授对参会的各位院士、专家、学者表示热烈的欢迎和诚挚的感谢,对于承办第六届建筑科学与工程创新论坛感到由衷的骄傲和自豪。他指出,作为教育部、交通运输部、国土资源部、住房和城乡建设部共建高校,长安大学以服务行业为己任,形成了交通运输、国土资源、城乡建设 3 个优势特色学科群。3 个优势特色学科群从大范畴上来说,无疑都与工程建设密切相关,希望论坛能够成为学校“双一流”建设平台,通过论坛加强学校与

各位院士和专家的联系与沟通,请各位专家对学校“双一流”建设多指导,在学校重大办学资源建设上给予更多的支持,加快学校从一流学科建设高校向世界一流大学的转化进程。

中国工程院土木、水利与建筑工程学部常务副主任聂建国院士在致辞中指出,论坛伴随着中国土木、水利与建筑工程学科的发展而壮大,有力地推动了产学研相结合,促进了工程科学技术的创新和发展,较好地服务了行业和国家建设。中国工程院作为中国工程技术界最高荣誉性、咨询性学术机构,其中的一项重要任务就是促进全国工程科学技术界的团结与合作,推动中国工程科学技术水平的不断提高,加强工程科学技术队伍和优秀人才的建设与培养。建筑科学与工程创新论坛为土木、水利与建筑工程学部提供了一个支点,可以为国家建设高水平的科技创新智库,为国家基础设施建设和经济持续发展服务。

中国土木工程学会秘书长、北京詹天佑土木工程科学技术发展基金会理事长李明安教授级高级工程师在致辞中表示,建筑科学与工程创新论坛已经成为土木工程行业的一个高端品牌论坛。中国土木工程学会是中国最早建立的工程学术团体之一,旨在促进学科及技术的发展,促进科学技术的普及和推广,促进科技人才队伍的发展,促进科学技术与经济的紧密结合,为中国社会主义建设事业做出贡献。建筑科学与工程创新论坛的发展理念与中国土木工程学会的宗旨高度一致,论坛的发展能够显著促进土木工程行业的发展,中国土木工程学会将一如既往地积极参与,对论坛倾力支持。中国土木工程学会将依托创新论坛更好地为学术科研人员、工程管理人员和技术人员服务,共同探讨行业发展动态和实际需求,加强与各相关单位的协同创新,以实际工程需要为研究导向和突破口,促进科研成果转化。

中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰在致辞中表示,中国公路学会作为改革开放后交通系统正式成立的第一家科技社团,经过四十余年的发展,目前已成为中国公路交通行业组织机构最健全、学科分布最广泛、具有较大影响力和凝聚力、具有权威性和公信力的现代科技社团。中国公路学会与建筑创新论坛一样,自成立伊始就致力于构筑定位精准、特色鲜明、服务有效的科技服务平台体系,着力于推动中国公路交通事业的蓬勃发展。中国公路学会将时刻关注论坛的成长动态,并持续支持论坛的创新发展,希望通过与高层次的专家交流,凝聚更多共识,

取得更多成果,由此促进中国土木建筑事业的进一步发展。

## 2 主题报告

在论坛主题报告阶段,9位院士和32位知名专家学者围绕“一带一路”倡议下土木建筑与海洋工程的发展、“交通强国”战略下可持续交通基础设施建设等热点问题开展了深入交流和探讨。

### 2.1 结构工程

重庆大学周绪红院士的报告题目是“装配式交错桁架钢结构建筑工程案例”。报告指出,交错桁架钢框架结构开间大、用钢省、成本低,是一种非常适用于装配式化的结构形式;装配式化是钢结构的天然属性,但如果没有解决好一系列关键技术问题,仍然不能实现装配式化;要实现建筑装配式化,关键在于结构体系创新、产品创新、工艺创新、技术创新和管理创新;钢结构建筑出生就是工业化,应以钢结构建筑为抓手,推动建筑行业工业化、信息化、智能化、绿色化发展。发展装配式钢结构建筑存在的主要问题包括装配化建筑体系及其部件的匹配性问题、钢结构采用新理念和新技术问题、钢结构自身的不足如何避免的问题、钢结构从业人员素质问题。

清华大学聂建国院士的报告题目是“钢板-混凝土组合沉管隧道结构的研究与应用”。报告指出,随着社会经济的发展,工程建设新技术向地下、海洋领域延伸。钢板-混凝土组合沉管隧道结构是在传统组合结构基础上发展而来的新形式,也是组合结构应用于地下、海洋工程领域的新尝试。与传统结构相比,组合沉管隧道结构具有承载力高、断面小、便于运输、防水性好、抗爆炸冲击性能强、施工简便易行等优点,具有显著的经济价值、环境价值、社会价值。由于钢板-混凝土组合沉管隧道结构在力学与施工性能上体现出的较大优势,中国正在修建的深中通道项目沉管段已采用此种结构。结合重大工程,针对钢板-混凝土组合沉管隧道结构的弯剪设计、局部稳定、连接构造、浇筑缺陷等问题展开了系列研究,提出了相关计算理论、数值模型与设计方法,为此类结构在工程中的应用与推广奠定了基础。

东南大学缪昌文院士的报告题目是“混凝土裂缝控制与耐久性技术进展”。报告指出,中国重大工程建设规模和数量居世界首位,混凝土是国家重大工程和民用建筑的基础材料,传统混凝土已难于满足交通工程、混凝土结构的多样性与复杂性要求,现代结构不断发展,对混凝土提出了更多、更高、更新

的要求。混凝土收缩与裂缝控制技术包括混凝土开裂风险评估、水分蒸发抑制、原材料及配合比优化、水化热调控技术、补偿收缩、协同调控技术。提出了“隔、阻、缓、延”技术体系以提高混凝土的耐久性,包括混凝土表层防护、侵蚀介质传输抑制、采用钢筋阻锈剂、自迁移钢筋阻锈技术和电迁移钢筋阻锈技术等。应积极推动混凝土材料(结构)一体化设计方法的科研工作,实现重大工程裂缝控制、耐久性的定制化研究与设计。加大混凝土基础理论的原创性研究,采用先进技术改造传统混凝土材料,基于有机、无机的学科交叉,开发混凝土抗裂、耐久新技术。重视既有混凝土耐久性的长期服役数据积累,建议加强基于物联网技术的大数据采集平台与分析方法。

湖南大学陈政清院士的报告题目是“状态空间方程与振动控制”。报告指出,结构动力特性评估与设计、被动、半主动和主动减振控制以及隔振的被动和主动控制方式都纳入振动控制范畴,因为各类振动控制方法都可以归结为状态空间方程中的某一种形式。在状态空间方程的统一框架下,各类振动控制问题的处理具有严格的理论和标准通用的格式,并且几乎所有振动控制问题都可以应用 MATLAB 工具箱完成控制模型的建立与分析。这对于认识各种振动控制方法的本质与特征及处理实际工程振动问题将会起到事半功倍的效果。以多阶涡振的阻尼器直接减振法为例,说明了状态空间方程在被动控制参数优化的应用。

中冶建筑研究总院有限公司岳清瑞院士的报告题目是“工程诊治与运维”。报告指出,工程建造-运维-消纳全寿命周期中,运维阶段时间最长、面临环境最为复杂,大规模、多种类、长周期、复杂环境等要素下,基础设施的安全运维和风险评估与控制是重大技术挑战。工程诊治技术贯穿于运维全寿期,并延伸到建造和消纳过程,具有重要意义,它是伴随经济社会发展而提升的标准,是改善人民生活的需求,也是老旧基础设施持续运维、建筑业可持续发展的需求。诊治和运维不到位或者缺位,可能造成重大安全事故。随着大规模基础设施安全运维需求的日益提升,智能诊断和运维需求日益迫切。从总体技术定位和思路而言,智能运维的四大要素包括感知、识别、评价、预测和控制,并且集成化的运维管理平台也十分重要。当前,在构建智能运维体系过程中仍面临着一系列关键技术问题。

大连理工大学李宏男教授的报告题目是“装配式结构高效耗能减震新技术研究”。报告指出,重大

工程是代表一个国家建筑科技发展水平的重要标志,目前高层大跨结构的建设中存在抗震设防烈度不准确、计算方法不完善、多灾害作用没有考虑的问题。地震是装配式结构最主要的自然灾害,造成的损失最严重,结构的减灾控制技术是一种非常有效的方法。通过地震和台风实测数据分析,说明地震和风耦合频度很高,应该引起足够重视。研发的新型对称旋转式耗能连接装置机能解决高层剪力墙结构混凝土浇筑困难的施工难题,又能起到很好的耗能减震效果。相比于传统阻尼器,研发的自复位和转角放大位移型形状记忆合金阻尼器可大幅度提高减震效果。

中南大学余志武教授的报告题目是“装配式混凝土建筑结构技术研究新进展”。报告指出,随着中国城镇化建设、棚户区改造、新农村建设以及地震区改建,装配式混凝土建筑结构工程应用中暴露出了劳动力紧缺、环境严重污染、施工质量不稳定及能耗高等问题。提出了“多、快、好、省”地开展装配式混凝土建筑技术研究的总体思路,发明了单元式预制装配混凝土框架结构技术和带暗框架的装配式混凝土剪力墙结构技术,系统开展了二层装配式混凝土框架结构和剪力墙结构水平低周反复荷载作用下的模型试验,建立了钢筋与混凝土界面黏结-滑移损伤本构模型,开展了装配式混凝土框架结构和剪力墙结构体系的数值仿真分析,编制了相应的国家技术规程和湖南省地方设计规程。

湖南大学周云教授的报告题目是“装配式混凝土结构抗连续倒塌性能试验研究”。报告指出,建筑工业化和住宅产业化政策推动着中国装配式混凝土结构的发展。与现浇结构相比,装配式混凝土结构梁柱节点区域相对比较薄弱,整体性能较差,装配式混凝土结构抗连续性倒塌问题值得研究。由于装配式混凝土结构节点的多样性和复杂性,设计了明(暗)牛腿-插销杆-角型钢板连接的全装配式混凝土框架子结构节点,进行了抗连续性倒塌静力和动力性能对比研究。为了研究装配式混凝土结构在高温下的性能,开展了火灾下和火灾后装配式混凝土结构抗连续性倒塌的试验研究。通过试验的开展,对结构的承载能力、变形性能以及失效模式进行了探讨,获得了装配式混凝土结构在极端荷载作用下与现浇结构不同的性能。

哈尔滨工业大学王玉银教授的报告题目是“波纹钢-混凝土组合结构”。报告指出,钢-混凝土组合结构腐蚀问题突出,防腐维护艰难,造成了巨大经济

损失。目前防腐措施包括外覆防腐材料、直接采用防腐材料和电化学保护。镀锌波纹钢(CSP)具有优良的耐腐蚀性,已经在欧美地区广泛使用,具有很好的推广前景。镀锌波纹钢还具有设计方便(形式多样、设计自由度大)、抗测压能力强、省造价(运输方便、施工快速)的特点。报告对波纹钢结构的特点与工程应用、波纹钢-混凝土组合结构的受力特点与工作机理、波纹钢管混凝土构件静动力性能、波纹钢与混凝土的相关作用机理等进行了详细介绍。

中冶建筑研究总院有限公司曾滨总工程师的报告题目是“预应力结构的长期性能与评价”。报告指出,预应力结构以其绿色节能、空间跨越强、改善性能效果好的技术优势在工业、民用、桥梁及地下等多个领域得到了极为广泛的应用。目前中国预应力钢材消耗总量已占全球 70%,预应力结构总建筑面积超  $80 \times 10^8 \text{ m}^2$ ,如首都大兴机场、中国天眼等标志性建筑中都大规模使用了预应力结构,但预应力结构在长期使用过程中存在裂缝过大导致报废、变形过大导致无法正常使用等风险,因此解决预应力结构设计建造的基本问题、长期稳定服役能力以及及时变作用对结构长期性能的影响,尤其后两者会引起预应力作用退化。预应力结构长期性能与评价正是解决该问题的重要方法。介绍了预应力结构的长期性能与评价,主要包括预应力技术广泛应用、超预期退化原因分析、服役行为的预应力时效作用、在役结构的预应力实时作用、长期性能设计评价方法实践、预应力结构稳定服役的思考。通过发现预应力作用退化、分析结构服役与初始设计的差异、采用全寿命周期设计方法及工作年限评价方法,充分利用该方法,积极对结构稳定服役进行思考即可达到比较好的效果。

沈阳建筑大学李幅昌教授的报告题目是“CFRP-方钢管-混凝土高性能组合构件的研究”。报告指出,随着人口增长、大规模的城镇化,人们对房屋建筑数量及性能需求不断增加,造成城市用地紧张,建筑物向更高、更大空间发展,建造技术需快速升级,以提高结构安全性,降低材料用量,节约资源。CFRP-方钢管-混凝土组合构件充分利用材料性能,减小构件截面尺寸,降低结构自重和地震反应,具有高承载力性能和高延性性能,可显著提升结构的抗倒塌能力,是高性能构件。从研究组合材料的材料特性、本构关系、强度准则出发,揭示了各材料组分的协同工作机制及各类基本构件的工作机理,建立各类构件的计算理论和方法。

长安大学刘永健教授的报告题目是“单侧约束平板屈曲性能及后屈曲强度”。报告指出,钢-混凝土组合桥墩、桥塔、钢壳混凝土沉管隧道、双钢板-混凝土核反应堆安全壳等组合结构的钢壁板可归类为受混凝土单侧约束的平板。以薄板的弹塑性屈曲理论为基础,可推导出单侧约束平板的弹塑性屈曲应力和界限宽厚比。根据单侧约束平板发生局部屈曲破坏时的应力状态,给出了塑性屈曲、弹塑性屈曲和弹性屈曲 3 类板件的界限宽厚比,揭示不同类型板件的屈曲后强度提高机理,探明了焊接残余应力、几何初始缺陷对单侧约束平板的屈曲后强度影响规律。按照板件发生塑性屈曲、弹塑性屈曲和弹性屈曲的不同状态,提出单侧约束平板的有效宽度实用计算公式,预测的屈曲后强度与已有的试验结果吻合较好,可用于钢-混凝土组合结构钢壁板的构造设计和承载力计算。

重庆大学胡少伟教授的报告题目是“预应力混凝土组合管道结构创新与实践”。报告指出,混凝土是世界上最主要、最大宗的建筑材料,中国是最大的建筑市场,混凝土年使用量占全球 50%,水泥消耗占全球 60%,高强高性能混凝土支撑了中国水利水电工程的发展,在中国重点大型输调水工程中高性能混凝土和预应力技术被广泛使用,预应力钢管混凝土管(PCCP)出现明显增长趋势。在 PCCP 长期服役过程中,因产品自身暴露出一些质量技术问题,尤其是由于断丝诱发的爆管风险需要正视和面对,需要研发更优越、更安全、更可靠的新产品以满足工程需求。介绍了钢筋缠绕钢管混凝土压力管(BC-CP)新产品的研发技术路线,研发了适用于 BCCP 的高抗裂、耐腐蚀的内外层混凝土,建立了 BCCP 结构设计计算理论与设计优化方法,建立了完整的 BCCP 材料设计参数与承载破坏全过程表征方法,提出裂缝和预应力松弛对 BCCP 整体安全影响的具体评价方法和 BCCP 管道接头安全性能分析方法,研发了接头弹性复合砂浆。

长安大学邢国华教授的报告题目是“混凝土结构增韧补强方法研究”。报告指出,高烈度区混凝土结构的安全是土木工程领域的重要问题,在环境、荷载等作用下,混凝土结构的承载性能将会退化。强度和变形同步提升,是高烈度区混凝土结构加固补强必须考虑的问题。系统开展了高烈度区混凝土结构增韧补强方法研究,通过试验研究、理论分析和数值模拟相结合的方法,研发了新型加固补强系统,提出了设计方法。通过对铝合金耐腐蚀性能和力学性

能研究,结合嵌入式加固法,提出了混凝土结构高强铝合金增韧补强新方法。完成了高强铝合金嵌入式补强钢筋混凝土构件的试验研究和有限元模拟分析,明确了加固量、端部锚固形式、填充材料、预应力水平等变量对加固构件受力性能的影响。揭示了铝合金筋加固系统的界面失效机理,建立了铝合金嵌入式补强混凝土结构的界面分析模型,提出了铝合金嵌入式补强钢筋混凝土构件的受力分析模型。

华南理工大学吴波研究员的报告题目是“再生块体/骨料混凝土初探”。报告指出,2019年中国商品混凝土产量突破 $25\times 10^8\text{ m}^3$ ,居世界首位,消耗大量天然砂石和水泥,严重破坏环境。中国砂石资源日渐枯竭,很多城市已出现原料短缺、价格暴涨。每年产生建筑固废超过 $35\times 10^8\text{ t}$ ,其中70%为工程渣土和废弃混凝土,堆放占地约需 $4.7\times 10^4\text{ hm}^2$ ,运输成本巨大。为了缓解天然砂石短缺困境、实现大宗建筑固废减排、节约土地、保护环境,再生块体/骨料混凝土应用而生。再生块体/骨料混凝土通过利用再生块体、再生骨料、再生砂部分代替新混凝土、天然粗骨料及天然砂来达到目标效果。通过研究发现综合利用再生块体、再生粗骨料、工程渣土再生砂,可显著提升混凝土中废弃物质量占比,与采用再生粗骨料相比,采用再生块体时能耗降低更为显著, $\text{CO}_2$ 排放随再生块体取代率增加明显降低,采用再生块体/骨料混凝土可以达到良好的效果。

同济大学肖建庄教授的报告题目是“再生混凝土与可持续性设计探讨”。报告指出,目前中国建筑处于不合理的城市规划、加速推进的城镇化、耐久性差的低服役寿命阶段。为实现可持续发展,通过所提出的三阶段九过程的绿色拆除有序化基本原则,明确各阶段的拆除目标和内容,通过计算机建模、技术分段、过程控制及监测等优化措施和方法,建立绿色拆除技术体系,有规划、有预案、有步骤地在最大程度保留原建筑构件完整性的同时,提高材料再利用程度和资源化利用效率。建筑固废资源化是国家建筑业可持续发展的重要内容和支撑之一,建筑拆解是施工的逆向过程,应与智能建造相结合,可持续性设计需不断完善。

西安建筑科技大学牛荻涛教授的报告题目是“复杂环境混凝土结构耐久性基础理论及应用”。报告指出,随着城市化进程的发展,中国基础设施建设规模不断增大,钢筋混凝土结构处于主导地位。混凝土大量使用对资源消耗与环境影响巨大,严重制约了社会可持续发展。提升混凝土结构耐久性,延

长其使用寿命,切合国家“绿色发展”理念与可持续发展战略。提出了多环境因素耦合作用及荷载共同作用的混凝土耐久性试验方法,揭示了复杂环境混凝土耐久性损伤机理与性能劣化规律,建立了复杂环境下现代混凝土性能劣化模型。考虑多环境因素耦合作用及与荷载共同作用研究混凝土耐久性更具实际意义,也是发展趋势;材料耐久性是基础,结构耐久性是结果,考虑结构性能退化的安全性评定是结构全寿命耐久性评估的重要内容;室内模拟试验是耐久性研究的基本手段,实际环境现场试验是重要补充;材料微观分析与机理研究的结合以及与结构宏观性能的结合、快速试验与现场试验的结合等是混凝土耐久性研究与应用的有效途径。

东南大学吴智深教授的报告题目是“结构长寿命加固增强纤维增强复合材料预应力技术”。报告指出,针对重大工程结构在服役性能和健康长寿命等方面性能提升的迫切需求,研究开发了满足结构短、长期性能需求的高性价比纤维增强复合材料(FRP)及其高效预应力加固增强结构技术,包括针对梁板受弯性能不足的纤维布、板、网格外贴预应力加固技术、预应力FRP筋索嵌入式加固技术和体外预应力FRP筋加固技术。开发了针对长寿命桥面结构的混杂预应力FRP筋增强混凝土桥面板、预应力FRP-模壳混凝土组合桥面板。通过上述材料和技术研发,充分发挥了高性能材料在力学性能和长期性能方面的优势,有效提升了工程结构的力学性能,延长结构服役寿命。

长安大学吴涛教授的报告题目是“结构轻骨料混凝土材料与结构性能研究”。报告指出,轻骨料混凝土物理力学性能与普通混凝土不同,工程建设对轻质高强材料需求日益增长。高强轻骨料混凝土兼有结构材料和功能材料的特点,具有高强轻质、保温隔热性好、节能效果显著、抗裂效果明显、高耐火性、工程综合造价低等优点,是一种具有发展前景的绿色建筑材料,开展高强轻骨料混凝土制备及纤维改性研究,测试了轻骨料混凝土的材料基本性能,完成了大尺寸轻骨料混凝土受弯构件受剪尺寸效应、FRP筋轻骨料混凝土梁受力性能的研究,给出了相应设计计算方法。

湖南大学徐军副教授的报告题目是“工程结构随机稳定性研究”。报告指出,结构失稳发生快、难于防范,会造成重大经济损失与人员伤亡,介绍了在工程结构随机稳定性相关领域取得的研究成果。提出了复杂工程结构动力稳定性判别能量准则、基于

概率耗散系统的结构动力稳定可靠性分析理论和稳定性控制策略,形成了结构随机动力稳定性定量分析理论;发展了概率密度演化方法数值求解策略,建立了基于极值分布的结构动力可靠度高效数值计算方法,深化了工程结构非线性随机振动与动力可靠度分析理论;提出了高阶矩数值计算和概率分布选择方法、分数矩最大熵系列方法、混合分布模型及新型混沌多项式等密度估计方法,系统地构建了基于密度估计的工程结构随机分析统一框架。这些研究为定量衡量工程结构动、静力失稳风险提供依据,为全面保障工程结构整体安全性提供有效途径。此外,介绍了相关理论方法在大跨空间结构方面的典型工程应用。

湖南大学刘艳芝副教授的报告题目是“盲眼螺栓系统力学性能研究”。报告指出,盲眼螺栓基于高强螺栓构造而成,构造简单,不需要复杂的安装工具和工序,与传统螺栓安装工具一样,和高强螺栓一样,可以施加螺栓预紧力,受力性能可靠。盲眼螺栓抗拉承载力低于同级高强度螺栓,但其抗剪承载力远高于同级高强度螺栓。考虑混凝土黏结效应后盲眼螺栓抗拉承载力提高,且随着混凝土强度等级的增加,屈服荷载逐渐提高,但仍保持较好的塑形变形能力。盲眼螺栓的疲劳性能可以通过相应的设计规范进行保守估计。盲眼螺栓连接钢管(混凝土)节点属于半刚性节点,有较好的耗能性能,有利于钢管结构抗震的设计。

## 2.2 桥梁与隧道工程

中铁大桥勘测设计院徐恭义教授级高级工程师的报告题目是“我国两座新建悬索桥的技术突破”。报告指出,随着国民经济发展水平不断提高及建桥技术能力的大幅提升,大型跨江过海交通工程已经较为普遍。武汉杨泗港长江大桥主跨为 1 700 m,世界排名第二,国际同类第一,该桥为双层钢桁全焊接加劲梁悬索桥,是国际上首次实践;镇江五峰山长江大桥主跨 1 092 m,为中国第一座铁路悬索桥和世界第一座高速铁路悬索桥。报告对杨泗港长江大桥和五峰山长江大桥主塔基础设计和选型、锚碇和地下连续墙、鞍座铸造和加工、超高强镀锌铝钢丝、全焊接钢桁架加劲梁制造、行车安全性、桥梁动力特性等做了详细介绍。

湖南大学邵旭东教授的报告题目是“装配式 UHPC 桥梁结构的研发与应用”。报告指出,UHPC 即超高性能混凝土,系指抗压强度 120 MPa 以上,具有超高韧性和超长耐久性的水泥基复合材料,

由法国学者于 1993 年研发成功。装配式 UHPC 以其更好的受力性能及便捷的施工性在业界取得了广泛关注,目前装配式桥梁存在强度低、自重大、运输安装不便、现场焊接量大、节点弱、易损坏的问题。普通中小跨径混凝土桥梁易出现开裂、铰缝渗水、钢筋锈蚀等病害,在恶劣环境下耐久性难以保证。装配式 UHPC 桥梁的研发目标是更经济、更便捷、更坚固、更耐久,从而解决上述常规桥梁的各种问题。目前国际上已有法国和中国颁布了 UHPC 材料或结构规范,另有部分国家颁布了技术指南,行业标准《公路桥涵超高性能混凝土应用规范》计划于 2021 年颁布。UHPC 桥梁以其较为卓越的特点目前已在各类不同跨径、不同桥型的工程中广泛应用且取得了较好的表现。在装配式桥梁上引入 UHPC,有望实现主梁轻量化吊装、现场连接简单牢固、主体结构高耐久的目标。

长沙理工大学张建仁教授的报告题目是“特大跨桥梁安全性设计与评定的基础理论研究”。报告指出,中国公路桥梁数量现居世界第一,现有桥梁在多场(强风、车辆荷载、重力场、温度场、湿度场)和复杂环境(氯盐、硫酸盐、冻融、碳化)等多因素耦合作用下安全问题日益突出。如强风作用下特大跨桥梁多次出现危及安全的风致振动,大跨径混凝土箱梁桥普遍存在过度下挠和开裂,特大跨斜拉桥、拱桥在腐蚀和疲劳作用下吊杆、拉索等关键构件损伤严重等,桥梁施工期和服役期安全事故亦时有发生。结合国家重点基础研究发展计划(“九七三”计划)项目“特大跨桥梁安全性设计与评定的基础理论研究”,介绍了特大跨桥梁多因素作用效应的精细化建模与控制、多因素作用下特大跨桥梁性能演化和感知、特大跨桥梁安全性设计与评定 3 个关键科学问题取得的一系列创新性成果。

东南大学王景全教授的报告题目是“UHPC 桥梁设计理论与结构体系创新”。报告指出,超高性能混凝土(UHPC)是高强、高韧、高耐久的新一代超级混凝土,将 UHPC 应用于桥梁工程可实现桥梁设计建造技术的革新。从多尺度层面介绍了多重界面黏结性能、结构基础设计理论、结构体系创新和工程应用。进行了纤维-基体、钢筋-基体界面黏结性能试验,提出了考虑结构性能需求的界面黏结性能评价新指标;考虑纤维分布、取向和埋深,建立了 UHPC 细观本构模型,进而提出了 UHPC 梁受弯受剪分析理论模型;创新了大直径栓钉钢-UHPC 组合结构、FRP-UHPC 组合结构、基于 UHPC 的新型桥墩、大



键齿节段预制拼装 UHPC 箱梁结构、UHPC 接缝和采用 UHPC 局部增强板 6 种结构新体系。最后,介绍了 UHPC 在典型桥梁工程中的应用情况。

东南大学王浩教授的报告题目是“大跨度桥梁特异风效应精细化研究”。报告指出,近年来,台风、龙卷风、下击暴流等特异风灾频发,给大跨度桥梁的抗风安全造成了严重威胁。区别于边界层良态风,特异风具有突出的非平稳特性,使得以平稳假设为基础的传统桥梁风振分析理论难以准确描述桥梁特异风效应。桥梁风振分析理论的精细化成为了风工程领域的国际研究热点之一。以特异风非平稳特性为切入点,介绍了近年来在大跨度桥梁特异风效应精细化方面开展的系列研究工作,主要包括特异风非平稳特性分析与表征、三维完全非平稳风场高效模拟、桥梁非平稳风振分析方法及实测验证。研究工作为现行桥梁风振分析理论提供了有益补充。

中铁第一勘察设计院集团有限公司李国良教授级高级工程师的报告题目是“挤压性围岩隧道设计与工程实践”。报告指出,高地应力作用下的软岩极易发生挤压性大变形,为挤压性围岩,中国已在挤压性围岩中修建了大量的隧道,尤其在西部地区,由于受青藏高原隆升及其向北东持续扩展的挤压作用,形成由河西走廊—祁连山—西秦岭—陇南—汶川的弧状高地应力挤压带。域内断裂、褶皱发育,围岩挤压严重,软岩流变效应明显,使得位于本挤压带的乌鞘岭隧道、兰渝、成兰铁路等在施工期间发生了挤压性大变形,出现了支护扭曲破坏、侵限及二次衬砌裂损等现象。目前,国内外对挤压性围岩隧道谈“变”色变,对于挤压性概念、大变形分级标准、大变形控制标准、影响变形的主要因素等若干基本问题经常引起争议,进而影响现场判断,导致变形与控制技术不匹配,出现变形控制不住或支护过强不经济等问题。因此,非常有必要对挤压性围岩隧道相关基本问题进行分析探讨,为挤压性围岩隧道设计与工程实践提供参考依据。

湖南大学陈仁朋教授的报告题目是“盾构掘进土拱效应及复杂地层变形智能精准控制技术”。报告指出,中国城市复杂地质条件盾构近距离穿越变形敏感建筑物日渐增多,诸多地铁在建时常发生盾构掘进地层变形过大引发的建筑物、运营隧道破坏等灾害。盾构掘进地层变形精准控制已成为地下空间开发的迫切需求。盾构-地层动态耦合作用及土拱效应是地层变形控制的关键科学问题。通过盾构开挖面失稳离心模型试验和大型物理模型试验、盾

构掘进原位测试、理论分析等手段,探明了盾构-地层动态耦合作用及地层土拱效应演化规律,建立了盾构掘进土拱效应理论和地层变形计算方法,形成了 2 套变形控制关键技术:基于地层变形精准控制的盾构掘进智能调控技术;复杂地层盾构穿越建筑物安全评估及保障技术。研究成果有力解决了复杂地质条件下超小净距穿越敏感建筑物毫米级沉降控制难题,为保障盾构隧道掘进安全提供了重要技术支撑。

长安大学陈建勋教授的报告题目是“寒冷地区隧道冻害防治理论与技术”。报告指出,世界各国寒冷地区铁路、公路隧道冻害现象十分严重,例如衬砌开裂、剥落、挂冰和路面冒水、结冰以及洞口处的热融滑塌等,严重威胁行车安全,属世界性难题。对寒冷地区隧道冻害发生机理、冻害防治原则、冻害防治设计方法、冻害防治技术 4 个方面进行系统研究,攻克了一系列关键共性技术难题,包括创新了寒冷地区隧道冻害防治理论,建立了寒冷地区隧道冻害防治设计方法,创建了寒冷地区隧道冻害防治施工技术,解决了寒冷地区隧道壁面渗漏水挂冰、路面溢水结冰、衬砌剥落掉块等技术难题。

湖南大学邓露教授的报告题目是“公路桥梁车辆荷载监测新技术”。报告指出,公路超限超载运输不仅容易诱发交通事故,而且还可能造成桥梁结构损伤甚至直接导致桥梁垮塌。根据统计年鉴,中国约 80% 的交通事故由车辆超限超载引起;高达 10.83% 的桥梁失效由车辆超载直接导致。实时监测桥上车辆荷载信息并进行有效管控,对于解决交通超载超限问题进而保障公路桥梁安全具有重要意义。桥梁动态称重(BWIM)是一种利用桥梁响应反算过往车辆质量的技术,具有测量精度高、待测车辆无需停车或减速、系统安装维护方便、不中断交通、对路面无破坏等优点,是一种具有重要潜力的监测道路交通荷载的手段。除了称重传感器自身以外,还需要额外的车轴检测辅助系统,这一特点降低了既有 BWIM 系统的实用性,且目前 BWIM 系统仍然存在着仅适用有限桥梁类型、跨径的问题亟待解决。提出了一系列用于识别车辆速度、车轴位置、轴距、轴重和总重识别的理论和方法。研究成果拓宽了 BWIM 技术适用的桥梁类型和跨径范围,提高了 BWIM 技术的实用性,有望在交通车流荷载的准确统计、超载车辆的高效监测与管控等公路桥梁安全运营相关的领域发挥积极作用。

长安大学赵煜教授的报告题目是“结构智能检

测新技术及装备研发”。报告介绍了信息技术革命背景下,桥梁及结构智能检测技术的现状及发展;针对桥梁荷载试验与长期监测中应变和挠度测试方法存在的缺陷和不足,重点介绍了结构应变和变形测试新技术。针对桥梁及结构检测技术中的疑难问题,开展了基于机器视觉、激光技术等原理的仪器研发、高性能传感器研发、专用监测仪器设备研发等,积极探索其在桥梁及建筑结构快速检测方面的应用。研究方向包括模式识别、图像分析、激光测距、GPS 定位、应力应变传感器技术、钢束及混凝土应力测试技术和方法等。在结构应变测试新技术、变形测试新技术、表面缺陷检测新技术、预应力检测新技术 4 个领域取得突破,研发了系列智能检测装备,各项技术指标国内领先,局部填补国内外空白。

湖南大学樊伟副教授的报告题目是“桥梁船撞分析方法与防护研究进展”。报告指出,近年来国内外桥梁船撞事故时有发生,造成了巨大的人员伤亡、桥梁结构损伤破坏和经济损失。以中国广东省为例,仅 2017 年 1 月至 8 月就有 3 次恶性桥梁船撞事故发生,表明在通航水域桥梁与船舶日益增多的背景下,中国桥梁船撞问题日益突出。在基础建设相对成熟的美国,碰撞已成为导致桥梁结构破坏的第二大原因(约占 17%),开展桥梁船撞分析与防护研究十分迫切与必要。建立了多层次的桥梁船撞分析方法(如基于宏观单元的相互作用模型法、时程分析方法、冲击谱分析方法、基于谱的等效静力分析方法等);建立了多个尺度的冲击强非线性下的能力分析方法(精细的接触碰撞分析方法、基于纤维梁柱的高效分析方法);提出了新型的防护措施与策略(钢-UHPC 组合防撞装置、UHPC 增强型墩柱等)。

### 2.3 岩土工程

华东建筑集团股份有限公司王卫东总工程师的报告题目是“软土深基坑变形和环境影响控制技术研究与工程实践”。报告指出,软土城市地下空间开发涉及大量的深基坑工程,且基坑周边环境条件复杂,为保障基坑及周边环境的安全必须进行变形控制。较系统地介绍了软土深基坑变形和环境影响控制技术,包括:基坑开挖对环境影响的分析方法和变形控制技术,涉及小应变本构模型(HSS)参数研究、基于小应变模型的环境影响分析、基坑开挖对环境影响的控制技术;承压水降水对环境影响的分析方法与控制技术,涉及承压水降水对环境影响的分析方法、水文地质参数确定方法、承压水控制技术;围护墙施工对基坑周边环境的影响的控制技术,涉及地

下连续墙施工变形控制、灌注桩排桩施工变形控制、水泥土搅拌桩施工变形控制、等厚度水泥土搅拌墙施工变形控制等。最后以重大工程实例说明这些变形控制技术及应用及效果。

### 2.4 防灾减灾与防护工程

浙江大学陈云敏院士的报告题目是“海洋基础工程灾变的超重力物理模拟与工程应用”。报告指出,海洋物理环境与荷载条件复杂,海上风机基础、油气平台锚和海底管线等海床设施在服役过程中受风、波浪、海流、地震、浅层气等荷载和环境作用,极易发生失稳和失效,例如海上风机基础在长期循环荷载作用下累积变形超标,海洋平台锚在风暴潮作用下失稳,海底管线在波浪作用下海床液化后上浮等。超重力离心机是模型尺度再现原型海洋岩土工程的最有效试验工具,通过转臂高速旋转在试验舱内产生离心加速度模拟岩土体自重应力,在试验舱中搭载机载装置,模拟海床地基及基础在海洋环境和荷载作用下的失稳与失效问题。针对海洋基础工程灾变问题,结合实际工程研发了超重力造波、振动台、压力釜、多向加载等机载装置,模拟海洋波浪、地震、高水压、多向荷载等海洋环境和荷载条件,开发了保证模型地基与现场海床地基相似的地基制备与测试技术;重现了波浪作用与间歇期间软土海床土-泥相互转化过程,提出了波浪对海底管道抗屈曲承载力弱化作用评估模型;揭示了风荷载与地震荷载耦合作用下海上风机桩-土系统的灾变效应及主余震序列对桩土动力相互作用的影响机制;建立了海洋基础多向复合承载力与循环累积变形分析模型,以及工程失效分析方法和控制技术。

同济大学李国强教授的报告题目是“钢结构抗火研究的重要进展与工程应用”。报告指出,钢结构在火灾下破坏的原因为火灾中结构构件承载力随温度升高而降低,目前传统钢结构抗火设计方法存在难以采用实际构件进行试验及试验构件在实际结构中的约束很难模拟的问题。提出了基于高温承载安全的钢结构抗火设计方法,介绍了钢结构抗火研究重要进展,包括有限空间火灾升温、火灾下钢结构升温、钢结构防火保护隔热性能、高温下钢材力学性能、高温钢构件极限承载力、结构整体约束效应等。通过结合上海闵浦大桥、广州新电视塔及上海世博会中国馆等一些工程案例,介绍了研究成果的工程应用。同时介绍了近期开展的大跨度钢结构建筑火灾救援安全实时预警系统研究的最新进展。

北京工业大学杜修力教授的报告题目是“防屈



曲支撑钢框架结构医疗建筑的性能化抗震设计方法研究”。报告指出,医疗建筑属于防灾救灾建筑,除了确保结构主体的地震安全,还应该在地震后能够快速恢复功能。使用防屈曲支撑钢框架作为医疗建筑的结构主体,并为之建立了一种新颖的性能化抗震设计方法。该抗震设计方法选取峰值层间位移角、峰值楼面加速度和残余层间位移角共同作为性能目标,以兼顾建筑中结构和非结构成分的地震安全。从等效单自由度体系的参数分析出发,掌握了结构随基本周期和强度折减系数变化的地震响应规律。根据结构动力学理论将单自由度体系的分析结果推广至多自由度体系,并基于此发展成抗震设计方法。为演示和论证该方法的有效性和经济性,选取了某六层基准模型进行设计并开展了地震作用下的弹塑性时程分析。抗震性能评估的结果表明,由该方法设计的结构能够同时满足多个性能目标的要求,研究内容对于医疗建筑和其他类型建筑的结构抗震设计具有一定的指导价值。

西安建筑科技大学白国良教授的报告题目是“大型工业主厂房结构抗震性能提升关键技术研究”。报告指出,随着国家可持续发展战略的实施,工业实行“节能减排”和“上大压小”的政策,工业生产工艺上的扩容量、增吨位使广泛应用于电力(火电、核电)、冶金、水泥、化工、矿山等行业的主厂房结构不断向大型化发展。针对大型工业主厂房结构由于工艺约束条件下结构体系复杂,其规则性难于保证,结构的质量、荷载和刚度在空间分布上不均匀,存在大量的错层、非常规构件和异型节点,抗震性能差,按传统结构设计不满足规范要求的现状,基于模拟地震模型结构振动台试验、拟动力试验、子结构拟静力试验和地震反应分析与地震动全过程响应计算、数值模拟等理论研究,提出了框架-分散剪力墙结构新型主厂房结构,建立了结构的抗震设计方法,解决了结构“先天不足”和适用范围限制的难题。提出了竖向框排架结构按层间位移角限值控制的抗震设计方法,突破了规范对单框-排架主厂房结构在高烈度地震区的应用范围;考虑属于乙类建筑主厂房的特点,提出了主厂房结构的抗震性能目标和性能化设计方法。研究成果已纳入行业规范,并在工程中得到广泛应用。

## 2.5 道路工程

长沙理工大学郑健龙院士的报告题目是“新型耐久性路面设计理论与方法”。报告指出,在传统沥青路面设计方法中采用各结构层等寿命的设计思想

导致路面使用寿命短,应用线弹性理论不能表征路面材料拉、压模量的差异性,采用简单应力状态下的强度准则难以表征实际路面结构三维复杂应力状态下的疲劳破坏特征,路基设计没有考虑其刚度在服役期间的快速衰变。为解决上述问题,根据沥青路面结构真实的行为特征,发明了设计基准期自上而下分层递增的新型耐久性沥青路面结构体系,建立了新型耐久性沥青路面结构力学响应分析和结构设计的双模量理论与方法,提出了三维应力状态下沥青路面结构抗疲劳设计的强度准则,创立了根据路面耐久性服役要求进行路基刚度设计的新思想和新方法,成倍延长了路面整体结构的使用寿命与大中修周期。该技术在多省区的高速公路建设工程中得到成功应用。

长安大学校长沙爱民教授的报告题目是“面向智慧交通的智能路面材料”。报告指出,经过30多年的发展,中国的高度公路实现了从零的突破到世界第一,道路交通发展面临的挑战包括运输效率、安全性、发展均衡性、道路功能的提高。智能控制可以有助于解决交通拥堵,提高交通安全,新一代无线通信、人工智能、交通大数据等信息化与数字技术为智慧高速公路建设提供了技术保障。道路作为传统的运输通道,在提升安全、环保、舒适、效率的同时,还要考虑对接智慧交通发展需求;智慧基础设施是以自感知、自调节和自供能为基本特征,需要创新智能材料、新型结构和先进工艺;未来道路必然是多学科、多技术、深度融合的绿色、智慧、自主、一体的交通系统。

## 2.6 建筑学与环境工程

大连理工大学陈滨教授的报告题目是“以人为核心建筑室内环境营造理论和方法探索——中国方案”。报告指出,越来越多的国人感受到中国优秀传统文化的缺失和自然观转变所带来的生存环境以及国民体质的变化,基于舒适性理论的室内环境目标值的合理性在学术领域引起了越来越多的关注。许多参与制定相关国际标准的学者也逐渐意识到现行的标准并不能很好地促进以稳健、可持续的方式去设计营造室内环境,建筑室内舒适性标准应该以控制能源的使用为中心而不是以室内环境参数为中心。科学文化建设使优秀的中国传统文化得到更好的传承,形成更适合于中国不同地域特殊气候、文化习俗、生活方式的室内环境营造目标;建立适合于中国人的适应性舒适理论,除考虑现代生活需求外,深入研究基于文化背景的遗传性需求是重要的科学命

题;新时代“跟着节气过日子”的生活方式成为时尚,人与自然更加和谐,使现代科技与文化高度融合是“中国特色建筑科学和建筑理论”的使命。

湖南大学曾光明教授的报告题目是“城市垃圾处理国内外技术发展趋势”。报告指出,随着城市化进程的加快,城市生活垃圾越来越多,中国的生活垃圾有“三高一低”的特点,即有机物含量高、水分高、混合程度高、热值低。城市垃圾处理国内外技术发展趋势包括城镇污泥堆肥稳定处理后应用于市政工程的资源化技术、抗生素与抗性基因的控制技术、城镇有机固体废物高值化资源利用技术、污水处理厂剩余污泥制备氢气关键技术及示范工程、城镇生活垃圾高效处理与资源化利用关键技术、基于城镇重金属污染土地安全利用的湿垃圾堆肥化应用技术、城市生活垃圾热裂解气化和合成气产生物燃料技术与装备、市政污泥处理超临界水氧化处理技术与装备等技术的发展趋势。结合国内外的经验,对垃圾应当分两头处理:一是源头减少垃圾,即垃圾减量;二是终端垃圾资源化,中间端无害化。要大力发展有关垃圾处理处置、资源化利用的新理论、新技术、新工艺和新方法,支撑垃圾的减量化、资源化和无害化。

### 3 学报编委会

2020 年 10 月 30 日,《建筑科学与工程学报》在编辑部创新论坛期间召开了第三届编委会第一次会议。编辑部经过严格筛选和充分酝酿,在第二届编委会的基础上进行了调整和充实,形成了第三届编委会。新一届编委来源主要分为 4 个部分:一是原编委继任;二是原编委推荐;三是专家主动申请;四是编辑部邀请(主要为一些行业内杰出专家及对学报有突出贡献的青年学者)。学报主编周绪红院士,特邀编委聂建国院士、王景全院士、陈政清院士、郑健龙院士、张喜刚院士及 43 位编委出席了此次会议。学报副主编刘永健主持并宣读了编委名单,长安大学校长沙爱民为周绪红院士颁发了主编聘书,周绪红院士为出席会议的编委颁发了编委聘书。各位编委针对目前行业研究热点、学报发展前景及与

论坛协同发展进行了深入讨论,为学报发展提出了宝贵意见。周绪红主编在总结致辞中对学报提出了要求和期望,号召各位编委继续支持学报工作,通过大家的努力推进学报进一步发展。

### 4 论坛闭幕式

2020 年 11 月 1 日 16:30 进行了论坛闭幕式,由长安大学副校长贺拴海教授主持,他总结了本届论坛取得的成绩,再次对参会的院士、专家、领导表示衷心感谢,并表示长安大学将与论坛深度融合、协同发展,推动学校双一流建设,为中国土木建筑领域的发展做出贡献。论坛主席、中国工程院院士周绪红教授在致辞中对论坛的圆满成功召开表示祝贺,对与会专家、主办单位、承办单位的支持表示衷心感谢,将继续和专家同仁一起将创新论坛办得更好。论坛闭幕式阶段,宣布了重庆大学为第七届论坛承办单位,并举行了论坛标志牌交接仪式,重庆大学土木工程学院杨庆山教授代表下一届承办单位讲话,表示将尽全力办好第七届创新论坛。

### 5 结语与展望

第六届建筑科学与工程创新论坛在各方努力和支持下成功举办,41 位知名专家学者围绕“一带一路”倡议下土木建筑与海洋工程的发展、“交通强国”战略下可持续交通基础设施建设、高性能建筑体系、纤维增强复合材料、大型工程结构健康监测及防灾减灾、岩土工程理论与工程实践、未来城镇智能建造与智慧型基础设施建设、海上风电工程等热点问题开展了深入交流和探讨,展示了行业最新的研究动态和工程应用。建筑与土木工程行业是国民经济的支柱产业之一,对社会发展和人民生活质量的提高做出了重大贡献,已经取得了巨大成就,但仍然面临众多不足和挑战。在智能建造、智慧交通、高性能建筑结构和材料、建构健康监测与维护、资源再生利用、环境保护等领域,建筑与土木工程仍有巨大发展空间,建筑科学与工程创新论坛将持续关注行业发展动态,为新时代国家创新体系建设发挥更加重大的作用。