

第五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作为中国工程院院士、《建筑科学与工程学报》主编周绪红教授发起的一个高端学术论坛,经过近几年的发展,已逐渐形成“多元、融合、动态、持续”的协同创新模式与机制,引领了建筑科学与土木工程行业技术创新,成为高等院校、科研机构和大型企业协同参与建设的重大基础与应用基础研究平台、重大关键技术开发研究平台和重大科技成果转化平台。2018 年 9 月 16 日至 18 日,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、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、重庆大学、长安大学、湖南大学主办,大连理工大学建设工程学部、沈阳建筑大学土木工程学院、辽宁省工程防灾减灾协同创新中心、辽宁省工程防灾减灾重点实验室承办的第五届建筑科学与工程创新论坛在大连召开。论坛主席周绪红院士及中国工程院院士王景全、杨永斌、郭东明、缪昌文、聂建国、陈政清、王复明、张建民、邓铭江、岳清瑞、孔宪京,中国工程院唐海英副局长、中国土木工程学会李明安秘书长,以及长安大学校长陈峰、党委副书记沙爱民等土木建筑领域的 300 多位专家学者出席论坛。

1 创新论坛开幕式

2018 年 9 月 17 日上午 8:30,第五届建筑科学与工程创新论坛在大连隆重召开,大连理工大学李宏男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,对于论坛的发展给予了肯定。他表示,自 2012 年起,建筑科学与工程创新论坛在各位院士和同仁的支持下取得了显著成果,已经先后在西安、重庆、济南、长沙成功举办 4 届,并且得到了中国工程院土木、水利与建筑工程学部,中国土木工程学会,国家自然科学基金委员会工程与材料科学部等单位的大力支持。建筑科学与工程创新论坛作为一个交流平台,如此多的行业顶级专家和企业家汇聚一堂,展示最新研究成果,促进了产学研合作,促进了中国建筑科学与工程创新理念、新材料的全面发展。此次论坛的学术报告范围有所延伸,涵盖了建筑、结构、环境、桥梁、水文地质等,报告人都是院士、杰青等土木行业带头人,代表了中国土木建筑行业的最高水平,反映了行业最新研究成果。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,希望大家的支持下,把创新论坛办出质量、办出特色、办出水平、办出效果。

大连理工大学校长郭东明院士对到场的各位院士、专家、学者表示热烈的欢迎,对于能够承办第五届创新论坛感到荣幸。他指出,中国的工程,尤其是土木建筑工程在最近几年逐渐走在世界前列,引领了世界土木工程发展。建筑科学与工程创新论坛为大家提供了一个互相交流的机会,感谢各位专家及所在单位对大连理工大学方方面面的大力支持。同时他回顾了大连理工大学的学校历史,介绍了大连理工大学目前的发展情况和优势学科,展望了学校的发展前景,并表示大连理工大学将坚持立德树人根本任务,以人才培养为核心,深化综合改革,强化内涵特色,全力建设中国特色的世界一流大学。

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,创新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,其中的一项主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是土木、水利与建筑工程学部的一个重要学术活动,通过创新论坛可以为国家建设高水平的科技创新智库,为国家建设的持续发展服务,希望通过大家群策群力,将论坛打造成本领域顶尖学术交流平台,共同推动中国建筑科学与工程的发展。

中国土木工程学会秘书长李明安教授级高级工程师在致辞中表示,创新论坛在周绪红主席的带领下,在各位土木工程行业专家的支持和积极参与下,取得了有目共睹的成绩,影响力日益增加,已经成为土木工程行业的一个品牌高端论坛。中国土木工程学会拥有百年光辉历史,学会的办会宗旨就是开展学术交流,促进土木工程科学技术的发展,促进土木工程科技人才队伍的建设和提高,为土木工程发展做出积极贡献。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,创新论坛必将促进土木工程科技水平的发展和提高,为推动中国“一带一路”和新型城镇化发展做出重要贡献,中国土木工程学会将会与各主办单位共同办好论坛。中国土木工程学会将继续支持创新论坛交流平台,更好地为专家、学者和技术人员服务,共同探讨中国土木建筑工程领域的技术创新理念,推动中国土木工程事业发展。

长安大学校长陈峰教授在致辞中指出:中国特色社会主义进入了新时代,中国社会主义现代化建设取得了重大成就,高层超高层建筑、地下空间开发、高速铁路、高速公路、大型水利设施等建设成就举世瞩目。实现社会主义伟大目标和战略,必须走中国特色的自主创新之路,建筑科学与工程创新论坛在引领建筑科学与工程领域技术变革、促进行业创新发展等方面发挥了不可替代的作用,论坛的社会影响力和学术地位不断提升,已成为品牌性高端论坛。长安大学作为教育部、交通运输部、住房和城乡建设部、国土资源部、陕西省共建高校,近年来面向国家重大战略需求,对标国家重要发展战略,引领行业创新,服务国家经济社会发展,已经形成了交通运输、国土资源、城乡建设 3 个优势特色学科群。长安大学将一如既往地支持创新论坛,加强与各主办单位及兄弟院校的密切合作和深度交流,发挥我校服务行业、人才培养和科学研究的优势,促进产学研协同创新,为土木工程行业发展做出更大的贡献。

2 主题报告

在论坛主题报告阶段,中国工程院院士周绪红、杨永斌、聂建国、王复明、邓铭江以及 28 位专家、学者分别做了专题学术报告,涵盖了土木建筑工程、先进建筑材料、建筑设备、大型复杂环境的前沿理论、精密试验、结构体系、应用技术等研究方向。

2.1 防灾减灾工程

重庆大学周绪红院士的报告题目是“美国佛罗里达国际大学(FIU)人行天桥垮塌原因探讨”。周绪红院士指出,FIU 人行桥采用桥梁快速施工技术,该技术具有施工周期短、对交通影响小以及安全性高的优点,该桥梁通过采用自行式模块化液压平板车运送预制主梁落位方式实现快速桥梁施工。国内外专家对 FIU 人行桥垮塌原因进行了分析,具有代表性的原因分析包括:吊车坠物冲击,冲击荷载作用于主跨坍塌位置,导致斜腹杆失稳;下翼缘-腹杆节点发生冲切破坏;腹杆屈曲;人为操作不当;后张预应力筋导致结构破坏。周绪红院士经过现场勘查和系统分析认为,造成 FIU 人行桥垮塌的原因包括:设计计算错误,导致 11 号斜腹杆和 12 号斜腹杆节点承载能力储备不够,这是导致结构垮塌的主要原因;11 号斜腹杆临时预应力在主梁架设完成后没有及时放张,加重了 11 号斜腹杆和 12 号斜腹杆节点的负担;2018 年 2 月 14 日 11 号斜腹杆和 12 号斜腹杆节点混凝土出现裂缝,没有及时分析原因和采取措施;2018 年 3 月 13 日 11 号斜腹杆和 12 号斜腹杆节点区域混凝土裂缝扩展非常严重,且桥面板出现明显的冲切裂缝,参建各方仍然没有采取相应措施防止垮塌;结构设计没有采用钢结构。

同济大学李国强教授的报告题目是“大空间建筑钢结构抗火安全关键科学问题研究与工程应用”。李国强教授指出,钢结构在大空间建筑中广泛应用,火灾下可能严重破坏,钢构件承载力随强度降低而减小。大空间建筑钢结构抗火安全的关键科学问题包括:影响远离火源的烟气温度;局部火源附近钢结构的受火性能;膨胀型防火涂料的热传导系数。影响大空间火灾烟气温度的主要因素为火源热释放率和大体积空间。大空间火灾不同于标准火灾,其热烟气温度主要与火源热释放率和空间体积有关,一般远低于标准火温度。大空间建筑钢结构临近火源的温度分布不均匀,会使构件的临界温度低于标准火下的临界温度。大空间火灾下膨胀型防火涂料可采用三阶段常值等效导热系数,用于计算火灾下防

火保护钢构件的升温。在一定条件下,大空间建筑钢结构无需防火保护,也能保证钢结构抗火安全。

陆军工程大学方秦教授的报告题目是“冲击爆炸作用下混凝土结构高精度数值模拟”。方秦教授指出,近些年来恐怖爆炸袭击、燃气等爆炸、飞机和车船等撞击混凝土结构的事件频发,这对冲击爆炸作用下混凝土结构的性能提出了更高要求。冲击爆炸作用下混凝土结构的研究方法包括理论方法、试验研究和数值模拟。报告系统介绍了适用于强动载的混凝土本构模型、混凝土结构损伤破坏数值模拟的网格相关性和强动载作用下混凝土结构破坏数值模拟方法,提出了冲击爆炸作用下混凝土结构高精度数值模拟方法。新模型适用于低压和高压强动载,拉损伤性能分析较好,可以考虑剪胀效应,优于常用的分析模型。在网络相关性的处理上,通过控制断裂能的局部模型仅适用于静载,而新模型中的非局部模型适用于动载,但模拟损伤仍然不足。未来将针对嵌入 LS-DYNA 材料模型库、拓展应用于岩石等材料、建立新的基于应力的非局部模型等方向开展研究。

中国机械工业集团有限公司徐建教授高级工程师的报告题目是“工程中的振动问题及解决方案”。报告指出,工程振动面临的新问题包括重型设备集群上楼的危害、内外双重振动源叠加危害、纺织工业生产中的振动危害、大科学工程中的振动危害。集群动力设备上楼危害了结构的安全、设备的运行和人的舒适度;外部环境和内部振源双重振动的影响直接危害标定环境的稳定;振动危害严重影响了产品品质和生产效率,制约了智能工厂的发展。跨尺度逐级耗能减振技术解决了有限空间跨尺度耗能振动急速降幅技术难题,具有易安装、易拆卸、易维护的特点。低刚度多级隔振控制技术超过两级减振后减振效率大于 85%,整体振动的基本频率可降低 2 Hz。高耸悬浮微振动施工技术针对空间电磁屏蔽原件振动检测难题,建立了高耸型悬浮振动控制系统装配式施工技术。超长型气浮平台拼接技术针对大型精密工艺平台,建立了一套精密调平、高性价比、无尘化、安装快速的施工技术。基于伺服型智能振动控制技术,研制微纳级智能控制技术,有效解决了传感器低频扩展、无滞后设计、动态解耦的技术难题。多维度测量辅助控制技术可有效实现对重大工程项目的建设和运维全生命周期振动危害检测和预警。

同济大学肖建庄教授的报告题目是“高性能混

凝土-钢板组合剪力墙火致损伤及可恢复性探讨”。肖建庄教授指出,通过材料高性能化(高性能混凝土)、构件高性能化(组合剪力墙)和采取防火降损减灾措施可以有效提高建筑结构抗火安全性。高性能混凝土和组合剪力墙已经在高层建筑结构中得到广泛应用,推动了组合剪力墙相关规范制定和技术应用,但是规范未直接考虑火灾致损的影响和混凝土爆裂的影响。建筑火灾近年来事故频发,对结构安全造成严重威胁,通过试验研究分析了结构火灾反应、抗震性能和可恢复性。通过提高结构初始抗力、采用降低火致损伤措施和快速修复补强方法可以提高火灾后结构的可恢复性。组合剪力墙结构火灾中高性能混凝土的爆裂严重威胁结构安全,裂缝发展影响结构的可靠性,要尽量避免爆裂的发生,比如通过设置防火涂层,加入聚丙烯纤维和设置牺牲层,提高结构火灾后的可恢复性。

东南大学徐赵东教授的报告题目是“磁流变智能减震技术”。徐赵东教授指出,地震和强风严重威胁土木工程结构的安全,减震技术是抵抗地震和强风的有效措施。磁流变减震材料存在 3 个最主要的问题,包括高沉降性能、不佳的可调性能和弱的剪切屈服应力,可以通过包覆技术、添加剂和铁粉颗粒改善磁流变减震材料的性能。通过试验研究分析了制备磁流变减震材料需要注意的因素,建立了用于描述磁流变智能减震材料的精准力学模型。磁流变减震器作为智能减震装置,涉及到磁流变本身参数的设计和磁路的设计两大部分。土木工程领域中的磁流变减震器一般是直减震模式,其设计包括最大阻尼力和可调系数 2 个核心参数。报告系统介绍了磁流变减震器的制作、试验和工程应用情况,该设备可以实现实时在线控制,具有广阔的应用前景。

2.2 结构健康监测

重庆大学杨永斌院士的报告题目是“桥梁的定期动态体检”。杨永斌院士介绍了桥梁定期动态体检方法中的传统测量法和车辆扫描法。传统测量法是直接在桥梁上安装传感器,利用有线和无线方式搜集桥梁信息,又称为直接测量法。车辆扫描法是采用装有传感器的试验车,间接测量桥梁的振动信息,包括桥频率、振动模态、损伤(不连续点)等,又称为间接测量法。报告指出,传统测量法能够连续收集桥梁信号,但传感器和资料收集器的安装和维修比较昂贵,测点数量有限,不可移动,传感器寿命受限,海量信息处理难度大。车辆扫描法的试验车内装少数传感器,装置及维修成本远比传统法低,具有

移动性和机动性,可定期和及时监测,空间信息丰富但不同步,不产生海量信息,需进一步改善该方法的鲁棒性。

大连理工大学李宏男教授的报告题目是“结构控制与监测装置研发机器工程应用”。李宏男教授指出,重大工程是代表一个国家建设发展水平的重要标志,中国高层大跨结构不断兴建,取得了重大成就,但这些建筑并不一定是安全的,主要存在的问题是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,对于地震与强风是否耦合或者同时发生等问题没有系统研究。地震和强风的联合作用属于低概率、高风险事件,一旦同时发生,势必会对结构带来更为严重的破坏,并造成巨大经济损失。报告系统介绍了新型相对变形放大耗能阻尼器、放大位移型自复位形状记忆合金阻尼器的设计、制作和使用。目前监测仪器存在的主要问题包括缺乏统一的数据采集平台,缺乏多种类型多个设备间的同步采集功能,导致不同传感器采集的信号和识别出的结构损伤时间不一致,采用时间不同步的信号进行数据融合分析得到的结果是错误的。研发了能够同时控制、同步测量、高速解调、即时分析的新监测仪器,并将其应用到实际工程中。

合肥工业大学任伟新教授的报告题目是“基于响应功率谱传递比(PSDT)的工作模态分析与应用”。任伟新教授指出,随着桥梁分析理论、施工技术、材料性能的迅速发展,桥梁跨度越来越大,桥梁越来越柔,不仅要求精确严密的计算与施工技术,而且对桥梁建成后的安全运营提出了更高要求,桥梁健康监测技术得到了广泛应用。定义的功率谱传递比 PSDT 在系统极点处与两侧点振型比值存在等价关系,且与激励作用位置及性质无关,也与所选择的参考点无关,在任一荷载工况下可实现系统工作模态参数识别。基于 PSDT 的工作模态分析方法避免系统输入的测量,摆脱对输入的理想化假定,降低了输入特性导致虚假模态的风险,对外部激励具有较好的鲁棒性。PSDT 方法能够成功运用于环境激励下大型桥梁结构的模态参数识别,结合多个测组数据构建 PSDT 差值函数倒数,将不同测组的 PSDT 差值函数倒数加权叠加可识别出更加可靠的结果。

华中科技大学朱宏平教授的报告题目是“结构损伤关键区域确定方法”。朱宏平教授指出,中国公路、铁路数量居世界首位,30%桥梁已经有病害,大型复杂结构的病害、垮塌将日益增多,对生命财产安全

全造成严重危害。结构垮塌的共同特点是关键区域损伤、全桥迅速垮塌,当关键区域损伤累积到一定程度时,在外激励下全桥迅速破坏,关键区域的确定和探伤是大型复杂结构安全诊断评估的关键。大型复杂结构的损伤关键区域确定准则包括:通过位移协调条件和力的平衡条件,建立整体结构与区域子结构动态相似模型;推导整体结构与子结构特征灵敏度关系式;在时域内推导整体结构与子结构动力响应关系式及动力响应灵敏度关系式;推导整体结构柔度与子结构柔度关系式;建立子结构特征灵敏度与整体性能参数统计分布模型;建立损伤关键区域确定准则。提出了基于关键区域子结构有限元模型修正的大型复杂结构损伤诊断与安全评估方法,需要建立更多反映结构区域损伤指标和整体安全性能的定量关系式,融合更多探伤指标用于安全评估。

哈尔滨工业大学李惠教授的报告题目是“智能风工程”。李惠教授指出,台风对大型混凝土结构的安全造成严重危害,智能检测系统在保证结构安全使用方面发挥了重要的作用,目前结构风工程还有很多问题亟待解决。构建了考虑非局地效应的非线性湍流模型,分析了模型方程的求解思路 and 需要考虑的因素,原有模型没有考虑全场应变率对平衡应力的贡献,由于湍流是由速度梯度产生的,求解模型时应该引入速度梯度场。通过深度学习的方法将模型系数从大数据中提取出来,获取的模型系数具有较好的规律性,可以准确方便地对模型进行解析。详细介绍了钝体绕流时空场深度学习模型、桥梁风效应的机器学习与建模、仿生与流动控制。工程学科尚有很多重要的基础问题需要研究,人工智能等学科交叉方法为解决问题提供了新路径,数据共享为模型深度学习提供支撑。

重庆交通大学周建庭教授的报告题目是“桥梁工程隐蔽结构无损检测新技术”。周建庭教授指出,桥梁是交通的“咽喉”和社会经济的“血脉节点”,由于交通量不断增大、建桥标准偏低、建设质量问题、超重和超限车辆运行、自然灾害、材料和结构自然老化等原因,桥梁结构安全受到严重威胁。隐蔽结构安全问题包括钢筋混凝土内部结构钢筋锈蚀,拉索腐蚀和断丝,以及钢结构疲劳和钢桥面隐蔽结构疲劳损伤和腐蚀。金属磁记忆作为磁铁材料无损检测新技术,已经在焊缝、石油管道、锅炉、涡轮叶片检测中得到应用。金属磁记忆技术具有以下优势:可检测微观缺陷,实现早期诊断和寿命评估;不需要外加磁场;不需对被检测工件的表面进行预处理;可以实

现非接触检测;检测数据重复性与可靠性好;无污染,绿色环保。基于金属磁记忆技术,开展了桥梁工程隐蔽结构的无损检测新技术探索和试验研究。目前需要完善多元、全面、尖端的桥梁工程隐蔽结构无损检测新技术,研发自动、稳定、实用的桥梁工程隐蔽结构无损检测先进设备,构建快速、准确、高效的桥梁工程隐蔽结构无损检测评估体系。

2.3 建筑结构

上海建工集团股份有限公司龚剑教授级高级工程师的报告题目是“超高层建筑智能建造整体钢平台模架装备技术发展”。报告指出,经过 20 多年的持续创新,新型模架绿色建造理念得到体现,工业化建造得到发展,数字化建造成效显著,新型模架装备体系的先进性得到体现。传统整体模架技术包括内筒外架支撑式整体钢平台模架体系、临时钢柱支撑式整体钢平台模架体系、劲性钢柱联合内筒外架支撑式整体钢平台模架体系。传统整体钢平台解决了架体承载力小、施工效率低、立体安全防护等技术难题,但在动力驱动方式、模块化集成、智能化控制、结构适应性等方面尚存在明显不足。新型整体模架装备技术包括下置顶升式整体钢平台模架装备技术体系、上置提升式整体钢平台模架装备技术体系,其在模块化集成设计、数字化建造技术、智能化控制技术、特殊结构层高效施工方面均有重大突破。整体模架装备的工业化建造和绿色施工理念在行业中起到很好的示范作用,全方位的数字设计与数字化施工技术引领了模架装备的发展方向。先进的模架装备技术促进了行业技术进步,提升了中国工程建设的国际水平,具有中国品牌新型模架装备体系在超高层建造中越来越发挥着重要作用。

哈尔滨工业大学滕军教授的报告题目是“高层结构体系的抗震多道设防韧性机制和大震设计理论”。滕军教授指出,主次结构体系包括主结构(巨型构件,是主要的承重和抗侧力体系)和次结构(常规构件,只将自身荷载向主结构传递)。主次结构体系可以形成巨型框架、巨型框架-支撑、巨型桁架,该体系结构布置符合开展原则,具有巨大抗侧刚度整体性能,可以充分利用结构材料性能,拥有新颖的建筑形态和特殊的使用功能。通过规划主次结构构件的屈服顺序,确定其失效模式,支撑退出工作可以实现主结构的多道抗震设防和延性机制。合理定义关键构件和能耗件,实现主次结构体系的抗震多道设防,为抗大震和超大震的设计理论提供多目标失效模式选择。由此提出城市抗震韧性结构概念,韧性

结构分为高性能结构和绿色建筑,具有抗侧刚度大、结构布置灵活、抗震性能高效、可装配、易安装、易修复、可拆卸的特点,可以实现大震可修复,能抵抗极罕遇地震。

北京工业大学曹万林教授的报告题目是“超高层建筑巨型框架-核心筒组合结构抗震关键技术”。曹万林教授指出,中国已经成为世界上高层建筑发展最快的国家,大型复杂高层建筑多采用钢-混凝土组合结构,优势明显,性价比好。高层建筑抗震的关键问题是建立高效的抗震体系,建造与之匹配的高性能抗震和消能减震构件。超高层巨型框架-核心筒结构需解决的抗震关键技术问题包括建立高效抗震巨型框架体系和高效抗震组合核心筒体系。依托天津 117 大厦、北京中国尊、大连国贸中心大厦、海口塔,研发了构造优化的系列异形截面多重组合柱,提出了截面形状由三角形-四边形-圆形组合、截面构造由型钢柱-钢管混凝土柱-钢筋混凝土柱组合、截面材料由型钢-混凝土组合的多重组合异形柱。基于系统的研究,发展了多重组合巨型柱框架结构抗震技术,解决了多腔钢管混凝土巨型柱框架抗震构造优化及设计难题。优化了多腔钢管混凝土巨型柱框架抗震构造,显著提升了抗震效率。基于试验建立了多腔钢管混凝土巨型柱分析模型,提出了多腔钢管混凝土巨型柱框架结构性能优化设计方法。

哈尔滨工业大学郑文忠教授的报告题目是“箍筋约束混凝土柱设计中的几个问题”。郑文忠教授指出,约束混凝土柱的体积配箍率超过某一限值时,柱受压破坏时约束箍筋有可能达不到受拉屈服强度,应提出约束混凝土达到抗压强度时约束箍筋拉应力水平的计算方法,进而通过合理预测箍筋拉应力来准确计算混凝土受到的约束应力和约束混凝土的抗压强度。报告系统介绍了如何保证约束箍筋受拉屈服,如何预测约束箍筋拉应力,以及约束混凝土抗压强度计算方法和约束混凝土柱正截面承载力计算方法。常规的混凝土柱增大截面加固法箍筋由外围箍筋和在柱侧面植入原柱的 U 形筋组成,这种方法在施工过程中容易对原柱造成削弱和损伤。采用八角箍筋和角部连续圆形螺旋箍筋约束混凝土加固柱在增加承载力和变形能力的同时,不对原柱造成任何损伤,值得推广应用。

清华大学韩林海教授的报告题目是“基于全寿命周期的钢管混凝土结构设计原理研究”。韩林海教授提出,目前许多大型结构都采用钢管混凝土,钢管混凝土逐渐向材料高性能化、钢管薄壁化、结构形

式多样化、环境友好型、功能可恢复型等方向发展。清华大学近年来围绕钢管混凝土的设计原理、规范体系等关键问题开展了试验研究,包括关键的构件、节点、连接体系,涉及钢管混凝土的材料类型、制作工艺。不同混凝土类型组成的钢管混凝土性能之间的差异必须要有定性的、定量的认识,才可能进行科学的设计。钢管混凝土寿命周期的研究包括服役过程中可能遭受到的灾害性荷载、材料初始缺陷、长期荷载和环境因素。清华大学近些年基于全寿命周期的钢管混凝土结构进行了系列试验,奠定了钢管混凝土学科发展的基础,构建了基于约束效应的构件、节点分析模型,揭示了机理,对重要的参数影响规律进行了归纳,给出了实用设计方法,并应用到了工程实践中。

2.4 建筑材料

长安大学沙爱民教授的报告题目是“严酷复杂环境下高性能道路铺装材料与结构设计关键技术及工程应用”。沙爱民教授指出,中国公路里程迅速增长,其覆盖的广度和密度持续增大,特殊地区公路建设面临严酷复杂的环境条件,需要应对技术上的挑战。偏远边疆地区公路大多跨江渡海、翻山越岭,需要耐温抗腐,这对道路铺装材料、结构等方面提出了特殊技术要求。报告系统介绍了以隧道节段封闭环境、高原低温低压环境和沿海湿热盐雾为代表的特殊环境高性能道路铺装材料与结构技术体系。研究成果已经应用于港珠澳大桥沉管隧道路面、共和至玉树高速公路、玉林至铁山港高速公路等重大工程。海底超长隧道路面材料与结构设计关键技术成果为港珠澳大桥沉管隧道路面结构和材料提供了合理方法,是施工图设计的基本参考依据。经过数年的运营使用验证,不同类型基层的路面结构相比于普通路段具有较好的使用性能,丰富了高寒高海拔地区沥青路面的结构类型,提高了高寒高海拔地区沥青路面的建设质量和服务水平,有效降低了盐湿热循环对沥青路面的影响。

黄河勘测规划设计有限公司张金良教授级高级工程师的报告题目是“超疏水混凝土外加剂关键技术研究及应用”。报告指出,混凝土是现代社会最基本、最重要、用量最大的建筑材料,混凝土结构过早劣化的问题日益成为影响建筑结构安全的突出问题。混凝土开裂、腐蚀、干缩、碳化、冻融等问题一直是该领域的研究热点和难点,对结构安全和使用寿命影响巨大。水对混凝土的劣化作用可以分为塑性阶段、硬化阶段、服役阶段,控制混凝土内外水分交

换是提高混凝土耐久性的关键。研发了新型保水和超疏水双效材料(YREC 外加剂),掺 YREC 外加剂水泥基材料具有超强憎水性能,可以有效抑制水分吸收,显著提高混凝土自养护性能、抗裂性能、抗干缩性能、抗侵蚀性能。提出了混凝土内外间水分迁移抑制新思路和大体积混凝土水化热抑制新技术,采用超疏水混凝土外加剂提高了混凝土材料的综合耐久性。

东南大学刘加平教授的报告题目是“现代混凝土早期变形与裂缝控制”。刘加平教授指出,水泥细度和 C_3A 含量增加,早期水化热剧增,强度越来越高,收缩越大,严酷环境和复杂结构导致混凝土早期开裂问题突出。混凝土收缩引起的裂缝占 80% 以上,混凝土开裂导致渗透急剧加大,结构耐久性能劣化。报告系统介绍了塑性阶段多场耦合机制(包括塑性收缩模型、塑性抗拉强度增长模型、塑性开裂模型)、硬化阶段多场耦合机制。混凝土早期裂缝控制新技术包括水分蒸发抑制、化学减缩、水化速率控温、协同补偿收缩技术。现代混凝土裂缝控制应考虑材料、结构和施工的复杂交互作用。水化-温度-湿度-约束多场耦合是现代混凝土抗裂性专项设计的科学有效方法,可实现开裂风险量化计算。水分蒸发抑制技术可以避免塑性开裂,化学减缩、水化控温、膨胀历程协同是解决硬化阶段混凝土开裂的有效途径。抗裂功能材料和施工工艺相结合,全过程精准调控混凝土抗裂能力,能够解决收缩开裂难题。

2.5 桥隧工程

湖南大学邵旭东教授的报告题目是“超大跨径高性能斜拉桥新体系探索”。邵旭东教授指出,通过引入高性能材料和新的结构体系,可以解决超大跨径斜拉桥造价高、维护费用大的难题。相对于悬索桥,斜拉桥具有拉索可换、刚度大、抗风性能好等方面的优势,但是常规体系斜拉桥跨径在 1 000 m 以上继续向前推进将面临技术瓶颈,主要包括主梁用钢量过大、桥塔过高、桥面钢结构疲劳开裂和铺装层破损。将长索在跨中区域交叉,另一侧锚固于地锚,使长索对主梁不产生水平压力,并提供对跨中梁端的双重支撑,从而构建部分地锚交叉索斜拉桥新体系。地锚拉索能有效约束索塔水平位移,改善索塔受力,提高主跨刚度。部分地锚交叉索斜拉桥方案与相同跨径的常规斜拉桥方案相比,恒载下主梁最大轴力减少,塔高降低,活载作用下塔顶最大水平位移减少,用钢量降低,塔底竖向反力减小,造价降低。基于超高性能混凝土,提出了钢-超韧混凝土 STC

轻型组合桥面结构,可大幅提高钢桥面局部刚度,解决病害问题。

长沙理工大学张建仁教授的报告题目是“在役混凝土桥梁可靠性评估与维修加固决策”。张建仁教授指出,混凝土桥梁对保障路网畅通至关重要,服役条件恶化会严重危及桥梁结构安全,桥梁常见工程病害包括钢筋锈蚀和混凝土开裂等,导致桥梁承载力降低,性能退化,安全性降低。在役混凝土桥梁可靠性评估与维修加固决策中存在的主要问题包括:作用效应模型不够精细,如车辆荷载效应模型未考虑超载的影响;桥梁服役环境和承受荷载复杂多变,结构性能退化机理认识不清;承载力评估多采用折减系数,随机性考虑不够充分,且未考虑时变性;维修加固决策仅考虑直接维护成本,未系统考虑间接成本和剩余寿命等因素的影响。混凝土桥梁性能提升的加固方法包括预应力补偿技术、CFRP 加固技术、自密实混凝土加固技术。组合维护策略可以实现桥梁维护的观念转变,提高维护效率,降低维护费用。

清华大学樊健生教授的报告题目是“钢-混凝土组合结构桥梁的温度场和温度效应”。樊健生教授指出,低估温度效应会严重影响桥梁的结构安全,需要精确计算组合桥的温度分布和温度效应,根据地理位置和设计周期合理确定组合桥的温度荷载,对温度作用下的组合桥梁进行优化设计。通过室内可控光源和室外日照条件下的温度效应试验,确定组合桥梁在日照下的不利温度分布模式。温度场模拟需要考虑的环境因素包括太阳辐射、季节变化、雨雪天气、寒潮等。温度场模拟时当有效温度高于环境温度,把气温极值作为均匀温度荷载偏于不安全,横向温度梯度远小于竖向温度梯度。只考虑横向温度效应时,冬季和东西朝向的桥最不利,综合考虑时夏季和南北朝向的桥梁最不利。横向温度效应对截面高而窄、翼缘外伸短的组合桥更不利,竖向温度效应对混凝土薄、没有沥青层的组合桥更不利。报告给出了基于气候统计资料的组合桥梁温度荷载计算框架和中国组合桥温度荷载区域分布,以供设计人员参考。

香港理工大学徐幼麟教授的报告题目是“Dynamic Analysis of Coupled High-speed Maglev Train-curved Viaduct Systems”。徐幼麟教授指出,磁悬浮列车运行速度较高,能源消耗较低,具有广阔的应用前景,相当一部分磁悬浮列车运行在高架桥上,其与高架桥相互作用的 research 分析具有重要意义。

磁悬浮列车在城市运行时经常会在曲线轨道上运行,这对列车安全运行提出了更高要求,曲线路段通常由圆弧轨道、过渡段和直线段组成,使得高速运行的磁悬浮列车和柔性梁体的相互作用更加复杂,需要建立精确模型进行分析。报告详细介绍了磁悬浮列车与高架桥相互作用的精确分析模型,以上海磁悬浮铁路为例,通过监测数据分析验证了模型的正确性,采用该模型计算出来的特征频、加速度、位移响应都与实测数据均比较吻合。磁悬浮列车与高架桥相互作用需要考虑轨道梁和桥墩的柔性作用影响,如果圆弧轨道设计比较合理,这种相互作用响应与在直线路段基本一致。在轨道过渡段,列车的转动响应和速度与轨道高差和高差比例有关,最大响应发生在列车运行到过渡段当中。

中南大学蒋丽忠教授的报告题目是“高速铁路圆端形桥墩抗震性能试验研究与理论分析”。蒋丽忠教授指出,中国是一个地震灾害严重的国家,高速铁路建设已向地质和气候更复杂的西部山区和海峡通道延伸,在建和新规划的部分高铁线路将穿过地震断裂带等高烈度区,提高了震致风险,桥梁的抗震能力是高速铁路安全保障的核心关键。高速铁路圆端形桥墩与公路桥墩和建筑结构相比,构件延性和耗能能力较差,破坏特征不同,延性抗震设计方法不适合于大截面、低配筋圆端形桥墩。高速铁路圆端形桥墩抗剪设计与评估方法同时考虑了抗剪强度中延性系数与剪跨比的影响,提出的等效塑性铰长度计算公式比已有的计算方法更加适用于低配筋、低轴压比、大截面高速铁路桥墩。按 7 度及以上抗震设防烈度设计的实心墩最小纵筋率要大于 0.4%,空心墩墩底的纵筋率要大于 0.5%,配箍率要大于 0.3%。

北京工业大学杜修力教授的报告题目是“装配式地铁车站和隧道结构抗震研究”。杜修力教授指出,中国正在进行大规模的地下空间开发与建设,地下结构呈现出大型化、结构复杂化、地下交通立体化的发展趋势。现场施工存在劳动力多、噪声污染、资源浪费、交通堵塞和环境污染的弊端,快速建造技术可以有效降低现场施工人员和噪声污染,提高资源利用率,缓解交通,减缓环境污染。城市大型地下结构地震威胁严重,百万人口城市 70% 位于强震区,城市地下结构抗震设计尚无成熟理论、方法和技术与法规。装配式地铁车站和隧道结构抗震研究的难点包括结构连接、整体抗震、性能优化,亟需提高地下结构抗震性能,发展和完善装配式地下结构抗震

设计规范。装配整体式节点与现浇节点相比,水平承载力和变形能力基本相当,但耗能能力有所下降(侧墙节点最明显)。构件的耗能能力对地下结构整体抗震性能影响并不大,装配整体式地下结构与现浇整体车站的抗震性能相当。

长安大学陈建勋教授的报告题目是“隧道冻害防治技术及工程应用”。陈建勋教授指出,寒区储藏大量矿产、森林等资源,开发这些资源必然修建大量的隧道工程,很多隧道在建成后不久就出现冻害,造成使用效率降低和重大安全隐患,增加了运营养护费用。报告提出“防水是基础,排水是关键,保温是核心”的综合防治原则,采用隔热保温技术主动防治隧道冻害,突破了以往被动抵抗冻胀力的传统理念。初步揭示了隧道冻害发生机制,建立了寒冷地区隧道冻害等级划分标准和方法,提出了相应的冻害处置措施。建立了隧道防冻隔热层设计方法体系,解决了寒冷地区隧道设计技术难题。在中国首次采用防冻隔热层中间铺设法和表面喷涂法防治隧道冻害,提出了相应的施工工艺,形成了寒冷地区隧道冻害防治整体技术。研究成果被纳入《季节性冻土地地区公路设计与施工技术规范》,已推广应用于青藏铁路风火山隧道、吉林鹤大高速公路隧道、内蒙古阿拉坦隧道等百余座国家重点建设项目。

2.6 地基工程

重庆大学刘汉龙教授的报告题目是“微生物加固珊瑚礁砂地地基技术开发与应用”。刘汉龙教授指出,在南海诸岛的开发和建设中遇到不少的钙质砂地基问题,主要包括静动力学特性问题、颗粒破碎问题、地基变形问题和地基液化变形问题。微生物土加固技术涉及到的巴氏芽孢杆菌大量分布在天然土壤中,是一种无毒无害的微生物,相比于混凝土等化学材料,微生物加固技术是一种环境友好的生态加固技术。微生物加固可有效提高钙质砂的强度、刚度和剪胀性。在海洋强国建设过程中,应该强调“绿色工程,生态岛礁”的生态保护理念,追求工程与环境保护两者兼顾。微生物加固钙质砂技术具有生态环保、就地取材、不腐蚀、加固效果好等优点,对南海岛礁钙质砂地基加固处理具有潜在的工程应用价值。微生物加固技术在桩基础、岩石裂隙注浆、土石坝防渗、沙漠固化和抗震液化等方面都有潜在的应用前景。

2.7 水利工程

新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局邓铭江院士的报告题目是“沙漠严寒长距离调水工程关

键技术”。邓铭江院士指出,新疆深居内陆,降水稀少,气候干燥,蒸发强烈,水资源呈现五大特征:水源多样,雨雪冰共存;产用水空间上高度分离;生态脆弱,依水性更强;三生用水竞争激烈;资源短缺,用水更高效。引额供水工程是一项开发跨界河流实现国家战略的大型调水工程,一期工程的关键技术包括:提出沙漠渠道建设成套施工方法和技术参数,如水平同起干碾压实技术、无灌溉立体防砂技术;大型倒虹吸水力安全控制技术;极软岩长隧洞施工控制技术;坝体不均匀沉降变形控制。二期工程建立了“六化”技术保障体系,包括:地质灾害风险决策科学化;TBM掘进系统风险分解化;作业面和作业通道安全生产严控制度化;软弱破碎围岩有害变形可控化;TBM安全高效掘进智能化;TBM集群施工综合管理信息化。

2.8 环境与市政工程

湖南大学曾光明教授的报告题目是“城市生活垃圾资源化——垃圾与循环经济的关系”。报告指出,世界上没有垃圾,垃圾是放错位置的资源,是地球上惟一增长的资源。中国目前垃圾堆放量较大,可以回收利用而没有回收利用的再生资源价值估计每年有几千亿元。垃圾综合处理应该按照“减量化、无害化和资源化”原则和循环经济的理念,遵循生活垃圾管理的优先顺序。要转变观念,由过去注重垃圾末端处理转为前端控制,就是要从源头上减少垃圾的产生,应该从简化包装、净菜上市等方面减少垃圾产生量。垃圾减量是个系统工程,实行垃圾分类是实现垃圾减量的一个重要途径。通过立法从工业品生产的源头规范清洁生产,限制过量包装,降低资源消耗,限制垃圾的排放量。垃圾作为放错位置的资源,应该实行分类收集和循环利用,将其转化为工业原料、能源和有机肥料等。垃圾中还有大量有害物质,应该进行无害化处理,积极控制可能产生的二次污染。要大力研究发展有关垃圾处理处置、资源化利用的新理论、新技术和新方法,支撑垃圾这种有限资源的无限循环资源化利用。

大连理工大学陈滨教授的报告题目是“人的室内环境需求与建筑构法之浅见”。陈滨教授指出,要坚持以满足人的需求为目标的室内环境营造原则,结构工程追求“精准”,基于人的需求的室内环境营造追求“适宜”。“适宜”的内涵包括与当地气候、文化背景、生活方式、适应性行为、健康舒适、节律协同、五官感知的综合环境效应相适应。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。信息化技术和新材料使建筑物具有更加智能化的自然信息感应及干预能力。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,现代科技与文化高度融合。“和谐建筑”产品将成为主动健康产业的重要支柱。如何承载历史,以“天人合一”的东方思想讲好“建筑的故事”是建筑业内人士在实现中华民族伟大复兴的征程中送给世界的礼物。

2.9 工程实践

清华大学聂建国院士的报告题目是“工程实践的启示”。聂建国院士指出,工程结构的未来是高性能,高性能的内涵是适用、安全、经济、耐久、美观,高性能的标准是性能优良、高性价比、低能耗、低排放。影响高性能结构的主要因素包括结构选型和结构体系、材料性能和受力性能、连接方式和构造措施、正常使用和必要养护。解决当前工程结构存在问题的有效措施之一是发展钢-混凝土组合结构,这是工程结构的重要发展方向。剪力连接件是保证钢和混凝土共同工作的关键元件,钢-混凝土组合结构比混凝土结构自重轻,施工方便,用钢量比钢结构少,耐久性有所提高。创新是促进高性能结构可持续发展的不竭动力,包括机制创新、理念创新、科技创新、设计创新、施工创新、管理创新,创新无处不在,创新无时不有,创新取决于责任心和担当精神,而职业操守、社会责任、担当精神是实现高性能结构的根本保证。

郑州大学王复明院士的报告题目是“工程基础设施病害诊治与应急抢险技术平台(工程医院)建设进展”。王复明院士指出,中国基础设施工程建设发展迅速,规模巨大,安全运行面临严峻挑战,这些工

程基础设施需要体检和养护,有病害时要及时诊治,有险情时要尽快排除,建设工程医院非常必要。工程医院由总院+地区分院+行业分院+特色分院组成,总院是平台,分院是支柱,相互支撑,相互依存,优势互补,资源共享,协同合作,多方共赢。工程医院将成果推广、科学研究、人才培养培训、材料装备检验标定等协同运营。已经成立的“坝道工程医院”灾害防治涉及的工程领域包括堤坝、路基道面、隧道、地铁、综合管廊、地下管道、桥梁、建筑等,设置的科室包括综合科室、专业科室和特色科室。通过工程医院郑州总院和南方总部(惠州)支撑区域医院、行业医院、特色医院建设,逐步形成网络化的成果转化和技术服务体系。“坝道工程医院”具有虚实兼备、水土交融、协同高效和共建共赢的特点。

3 结语与展望

第五届建筑科学与工程创新论坛在各方努力下完美落幕。33位专家、学者围绕行业前沿热点问题进行了主题报告,展示了行业最新的研究动态和工程应用。建筑与土木工程事业对全球各国的经济和社会发展做出了重大贡献,但仍面临着诸多挑战:工程建设严重消耗不可再生资源、污染环境,土木工程设施的可持续性能低、重大灾害后的性能恢复能力不足。因此,发展和应用高性能建筑结构及材料,提升土木工程建设的可持续性和可恢复性,是实现土木工程事业绿色化、工业化与可持续化发展的必然途径。建筑科学与工程创新论坛作为一个引领土木建筑行业发展的品牌论坛,将持续关注行业发展,聚集行业顶尖专家,为国家发展建立智库,共同迎接建筑科技创新的新挑战。