

# 激励引领创新 共建全国科技创新中心

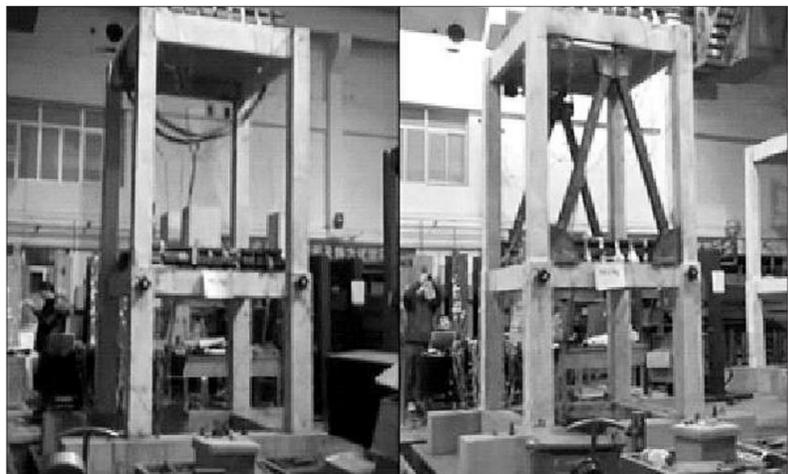
## ——“2015年北京市科学技术奖”获奖项目巡礼(五)

编者按 在人们的印象中,建筑业大多是手挑肩扛的简单劳动,没有多大的技术含量。但随着高、尖、大工程的增多,传统的手挑肩扛已不能适应新形势的要求,建筑业需要依靠科技创新来提升技术水平。近年来,我国建筑业的科技创新进步明显,从各种克难攻坚的工法到发明专利、实用新型专利;从新技术、新工艺、新材料、新设备,到节能、节地、节材的环保绿色施工,我国建筑业正在实现转型升级与跨越式发展。

作为正在努力建设全国科技创新中心的北京,在建筑业的科技创新方面成就尤为显著。近年来,在北京市科委等相关部门的鼓励和扶持下,科技创新已成为流淌在首都建筑业里的“新鲜血液”,建筑业开始从粗放型发展方式向科技型发展方式转变,早已不再是昔日的“体力活”,而成了一门“技术活”。其中,在建筑信息化、发明专利、制定行业标准、与高校合作、发展节能建材等方面成绩显著,有些项目和做法在国内乃至国际上均处于领先地位。本期我们将向您推荐两项获得2015年度北京市科学技术奖的优秀获奖项目。

# 让重大建筑屹立百年的创新力量

□ 本报记者 申明



项目首次针对薄弱层增设粘滞阻尼器的大层高框架结构进行了振动台对比试验

每当我们看到首都十大建筑等重大建筑时,总会为其庄严肃穆、气势恢宏的外型而赞叹不已。然而,你知道吗?这些承担着重要使命的既有重大建筑,同样存在“生命周期”,同样会有地震等来自外部的威胁。

那么,有没有办法延长这些建筑的“生命值”,提高它们的“抵抗力”呢?

“我国既有重大建筑,尤其是新中国成立初期修建的大型公共建筑,抗震设防水准低,而且经历半个多世纪的使用,逐渐老化,有些还处于地震高烈度区。”中冶建筑研究总院有限公司首席专家惠云玲告诉记者,“对其结构进行抗震鉴定及加固迫在眉睫。”

由惠云玲领衔的科研团队历时10余年,依托国家及部委重大科研项目,以既有重大建筑结构抗震鉴定与消能减震技术研究为主线,对既有重大建筑结构抗震鉴定方法体系、结构消能减震加固技术、抗震加固改造关键技术等进行了深入的理论与实践研究,并在工程中进

行推广应用,取得了丰富的科技创新成果。

据了解,项目组通过研究,极大地促进了我国结构鉴定加固领域的技术发展,推动土木建筑领域的技术进步,有效延长既有重大建筑结构使用寿命,保证结构安全,尤其对北京保护众多具有历史纪念意义的重大建筑结构,传承建筑历史文化价值具有重要意义。该项目被评为2015年度北京市科学技术奖一等奖。

### 既有重大建筑鉴定加固迫在眉睫

地震预报是目前尚未解决的世界难题,既然地震不能避免,让房屋更结实,让建筑的抗震性能更强成为一个重要课题,世界各国也都将重点放在这一课题上。

惠云玲告诉记者,我国存在大量既有重大建筑结构,尤其是北京作为首都,重大建筑结构数量多、影响大。“这些建筑一方面受经济水平限制,另一方面受当时认识能力所限,抗震能力有限。”

那时的建筑材料强度不如现代,整体连接不如现今建筑,而且又经过半个多世纪的洗礼,不少建筑已经接近或超过服役,这些建筑中有不少重要的纪念意义,要保证这些建筑可以继续使用就必须进行抗震鉴定与加固修复处理。

“这些建于上世纪五、六十年代的建筑特点是大空间、大层高、大跨度,立面高差大,而且刚度和质量布置不均匀,多属复杂群体结构,结构类型多。”惠云玲说。

此外,重大建筑要求使用年限长,其耐久性也是影响正常使用的关键问题,比如超期服役、地下室潮湿、使用环境不佳等都会造成建筑耐久性差。

随着科学技术水平的逐步发展和提高,人们对地震作用特征及震害情况进一步认知。我国自上个世纪70年代起至今已更新了四代抗震设计规范版本,现有建筑的抗震鉴定标准和相应的抗震加固规范也已随之更新,与旧版本规范相比,目前抗震设计规范中结构安全度水平有较大提高。

然而,既有重大建筑结构的整体抗震性能不能满足国家现行标准规范的抗震安全要求?按低于现行抗震规范设计的既有重大建筑结构的抗震安全水平到底怎么样?与国家现行标准规范差距有多大?“要回答上述问题,需对既有重大建筑结构进行检测、鉴定与加固。”惠云玲说。

### 面临前所未有的挑战

对于项目团队而言,他们将面临前所未有的挑战。这个研究既没有国外案例可以参照,国内也没有成熟的技术,完全是一个空白领域。

“这些既有重大建筑是在我国当时没有抗震设计规范的情况下进行的,如果完全按照国家现行抗震设计规范进行鉴定与加固,也是不现实的。”惠云玲说。

据了解,我国现行标准规范中缺少针对既有重大建筑结构的鉴定加固方法和关键技术,现有抗震检测鉴定标准覆盖面及深度不够。

“我们不仅缺少对重大建筑结构抗震鉴定技术和方法,还缺少对复杂群体结构分析技术。”中冶建筑研究总院有限公司检测鉴定部主任郭小华说。

此外,仅采用传统的抗震加固方法,无法满足结构使用功能的要求。传统加固方法有增大截面法、增设剪力墙等,但是有些重大建筑由于使用空间、使用功能的限制,无

法采用传统加固方法,就只能另寻蹊径。

既有重大建筑施工难度很大,材料进出场、场内运输等受既有重大建筑的特殊性存在较多难度,防尘作业均是重点和难点,在新旧结构连接,多锚栓连接施工工艺精度要求至关重要。“而且,已有构件钢筋多、打孔、除灰锚固连接等问题都需要解决。”郭小华说。

对于项目团队而言,他们面临的挑战还有,受场地限制,部分区域无法实施传统加固。

由于部分重大建筑经常有重要会议,在此期间是不可能施工的,这就造成了此类既有重大建筑施工难度大、周期长。

### 为建筑装“水盆”消耗地震能量

众所周知,地震给建筑带来破坏的方式是地震波带来的左右及上下振动,对此,项目团队想到了从控制振动方向入手。

一个摆锤在空气中可以自由摆动很长时间,如果在水中呢?摆动的幅度,次数将大幅度减少,能量被液体吸收了,这在结构动力学上是最基本的有阻尼振动。受此启发,研发人员想到了增加建筑结构自身阻尼。

可是如何增大结构自身阻尼?既然不可能为建筑建一个真正的水盆,那么我们可以将“水盆”装在结构上,类似于汽车的减振器,将类似减振器(建筑工程中称为阻尼装置)装在主要振动部位,这样在振动时阻尼装置将地震输入建筑的能量消耗掉,从而减小建筑结构主体振动,减少地震破坏。

与一般混凝土框架结构不同,既有重大建筑具有大层高、大跨度混凝土框架结构存在弯曲变形的客观情况。对此,项目组研究了粘滞型阻尼器和金属屈服型阻尼器对应的设计目标,给出了粘滞阻尼参数确定方法,研究了金属屈服型阻尼器新型恢复力计算模型,建立了大层高、大跨度混凝土框架结构消能减震加固设计方法,解决了既有重大建筑结构安全和抗震性能设计难题。

在项目开展前,国内外缺少对大层高、大跨度的既有重大建筑框架结构抗震及消能减震加固试验研究,缺少阻尼器的动力响应指标实测方法、加固方法、减震效果、加固设计理论均无法验证。

对此,项目组首次针对重大建筑结构的大层高、大跨度框架结构进行了增设粘滞阻尼器的振动台试验。提出了阻尼器关键参数实测方法,揭示了消能减震技术对结构地震破坏过程和屈服机制改善的规律,解决了消能减震加固设计理论的验证问题。

### 创新施工提高抗震效果

仅仅减少地震波带来的振动并不够,如果建筑整体性不满足要求,再小的振动也会引起灾难,就好比一个积木堆成的房子一震就会散掉一样,因此,建筑的内部结构加固就十分重要了。“尤其是节点部位的连接,原有混凝土与新浇筑的混凝土的连接,以及新植入钢筋还要避开原有钢筋等环节都十分重要。”惠云玲说。

既有重大建筑结构因其具有大层高、大跨度、结构单元多等特殊特性,结构加固有较高的技术要求。传统加固方法因对原结构影响大,施工难度大,周期长等特点,难以满足重大建筑结构加固技术要求。另外抗震加固施工过程又不能影响政治、文化、外事等活动,因此传统加固施工工艺和措施无法满足既有重大建筑结构抗震加固工程的要求。

项目组在理论分析和试验研究基础上,充分考虑加固施工的可实施性,提出了抗震加固“整体考虑、分步实施”的抗震加固方案及构造关键技术,可以保证加固施工在不影响既有建筑使用和避免损伤原有建筑的前提下实施。

项目组在大量工程实践、试验研究的基础上,提出了适合既有重大建筑结构抗震加固施工、质量控制的关键技术,主要包括粘滞阻尼器、金属屈服型阻尼器与防护技术、修复效果评价标准及技术、新旧混凝土界面粘接与评价技术、大层高单面支模抗震加固施工技术、大层高跨大跨度消能减震施工技术(节点连接构造、安装等)、除尘及降尘技术等,大大提高了施工效率,有效地保证了结构安全,延长了结构使用寿命,保障了各项活动的顺利进行,解决了既有重大建筑结构抗震加固施工的技术难题。

特别是项目组在对既有重大建筑实施过程中始终注重环境保护,传统加固工程项目的实施过程中,灰尘飞扬,对环境造成污染,也对工人的身体健康产生危害。

“项目组在工程试点施工过程中获得的一项实用新型专利就是针对扬尘污染而开发的,同时在施工技术研发中采用一些特殊技术,可循环物料及环保产品,减少或避免施工固、液体废弃物排放,具有较高的环保价值。”郭小华说。

目前,该项研发成果已应用于市场潜力巨大的我国大型公共建筑结构的抗震鉴定与抗震加固中。如人民大会堂、沈阳市工人文化宫、国家体育总局训练局比赛场馆、吉林市全民健身中心、北京市中小学学校、山西体育场、鄂尔多斯那达慕会场、北京国际会议中心等。

筑师能够构思和实现这个项目,并且需要很高的控制精度。”邵韦平说。

这些楔形幕墙单元的玻璃每一块的形状和尺寸都不同,且不是正方形而是菱形,这也为建造带来了很大的困难。正因为数字化技术的应用,幕墙厂家能够精准快速的自动生成所有幕墙的几何尺寸,从而进行下料生产,数控机床最终实现了数字化的设计、加工建造、控制,从而可以为设计的模型进行生产加工,实现了数控幕墙的自动化。

巨大的玻璃幕墙使得建筑与朝阳公园形成了视觉上的连续性,并一直延伸到周边街区。整个建筑也充分体现了对绿色节能和低碳环保设计理念的响应。光滑的外形没有铺设一根雨水管,所有在表皮形成的雨水顺着外表的主肋导向建筑底部连续的雨水收集池,经过集中过滤处理后提供艺术水景及庭院浇灌。

建筑外壳同时又是一件“绿色外衣”,它为功能空间提供了气候缓冲空间。建筑的双层外皮很好地提高了功能区的舒适度和建筑能耗。

凤凰中心是一个数字实践的成功案例,带有强烈的数字印记。它首次实现了设计企业、制造企业、建造企业全面数字化对接。通过信息模型,实现无纸化设计深化、加工,实现了精确的工程控制;它真正实现了建筑的全生命周期。未来,数字信息库还会用在建筑的全生命周期,如运营、维护、安防等阶段,大大推动了中国建筑产业信息化水平。

邵韦平告诉记者,“目前,这一创新技术已经应用在了北京CBD核心区第一高楼,526m的Z15地块‘中国尊’超高层办公楼的设计实践中。”

# 数字设计成就“未来建筑”

□ 本报记者 申明

这是一座面向未来的建筑。

在北京朝阳公园西南角,一座外形圆融、柔和的建筑十分引人注目。其曲线的壳体犹如一条没有开头和结尾的连续的条状纽带,将宏伟的中庭空间继续包裹。

这是一座具有文化内涵的建筑。

这座建筑造型来自“莫比乌斯环”的设计理念,而且与中国传统文化中太极图十分相近,它有界无边、无限循环的空间意境也暗合了太极文化中事物相互关联的自然观,从而让建筑传递出浓郁的中国传统文化精神。

这是一座充满了科技感的建筑。

它是国内首个全面应用数字信息技术的工程,设计团队克服了诸多前所未有的技术难题,他们探索出了本土建筑师利用制造业成熟技术打造高完成度的建筑成果的技术转移方式,充分利用数字信息技术达到精确、高效的工程控制与建造配合,完成建筑业的产业升级。

这座名为凤凰中心的建筑如今已成为北京的新地标。由北京市建筑设计研究院有限公司执行总建筑师邵韦平领衔的设计团队,历时6年,最终完成了这项“不可能完成的任务”。

凤凰中心是国内首个完全由本土团队自主打造的地标建筑,可以说吹响了“中国设计、中国建造”的号角。美国著名评论家、建筑师Joseph Giovannini认为,凤凰中心的设计和建成,“意味着现代建筑创新的接力棒已经传递到中国人手中”。据了解,2012年凤凰中心被国内外著名设计网站评选为“2012十大文化建筑”,获得了国内外业界的一致好评,该项目并荣获了2015年度北京市科学技术奖二等奖。

### “莫比乌斯环”带来的挑战

在过去的十几年里,众多的新地标在北京拔地而起,例如“鸟巢”“水立方”国家大剧院、T3航站楼等,这些建筑代表了国内建筑界非常高的水平。然而,其中绝大部分都是由国外建筑师设计完成的,对于中国本土建筑师来说,这多少有些遗憾。

改变始于2008年。当年,来自香港的凤凰国际传媒卫视决定在北京建一座总部大楼。地点选在了北京朝阳公园的西南角,朝阳公园是北京四环以内最大的城市公园,周边绿地环绕,其后面还有大片森林景观。

“这个地点有个特征,西侧的道路是一个曲线型,与北边、南边的道路围合成一个不是很规则不规则的绿地形用地形态,用地西侧后面还有大片森林景观。特别是

绿地的北侧有几栋高层住宅楼,当时很多居民担心项目建设会对他们住宅的采光、日照产生影响。”邵韦平告诉记者,“我们希望这个建筑建成后它对周边环境是友好的,同时能和城市空间相呼应,而不是以一个生硬的姿态出现。”

为此,设计团队提出了“莫比乌斯环”的概念,这是一个数学模型,它用一个条带把一个长的枝条两头反转连接后,形成了这样一个特殊的形态,这个形态的特点是有界无边。有一个形象的比喻,如果有一只蚂蚁在“莫比乌斯环”里面爬,它可以无限循环的爬下去,而没有尽头。

“这个概念其实与中国传统的太极文化,包括凤凰卫视国际传媒所倡导的‘开放、圆融、创新’的企业文化有很强的互动性。这个形态与基地能够很好地契合,并形成独特的造型。”邵韦平说。

经过多轮竞标,最终邵韦平团队提出的“莫比乌斯环”方案脱颖而出。

设计团队在提出这样一个“莫比乌斯环”的概念以后,便面临着一个巨大的问题:如何把这样一个形态的建筑表达出来?

“我们要想办法把它变成一个真实的实体,而不是一个空洞的概念,就必须让它落地。”邵韦平给自己出了一个难题,如何把这样一个很浪漫的想法变成一个可操作的建筑。

### 让设计从浪漫的想法到可实施的建筑

由于独特的创意思维,凤凰中心具有复杂的三维形态,这为建筑的深化设计和施工提出了严峻的挑战。随着大量前所未有的技术难题的涌现,传统的建筑设计方法与设计工具已经不足以应对复杂形体的控制。

因此,设计团队开创性的大量运用了三维数字技术。三维数字技术是指将建筑信息模型(BIM)和参数化设计等相关技术运用在建筑深化设计、加工、建造的各个环节,在当时,这对于大部分设计师和本土建筑行业来说,还是十分陌生的领域,这一实践更是开创性的。

据了解,三维数字技术可以利用建筑信息模型以及参数化编程控制技术,生成无法手绘的技术信息,完成常规技术无法实现的设计成果。并且,三维数字技术的运用可以让设计成果可视化与精确化,并且能够进行智能化的调整和修正,优化工程的生产、建造与运行工序。

“实际上在幕墙和钢结构等方面,我们突破了传统

意义上通过二维图纸的表达方式,通过模型进行数字化的设计、计算、分析,将建筑的信息精确化、有理化,用模型来进行信息的传递和加工。所有的单元都通过数据来进行表述,这样的话就可以在很短的时间内将建筑部件单元的数据进行优化调控和输出,这些输出还可以进行修改,大大提高了工程效率。同时这些模型和数据还可以进行后期运维协同的一些管理。”邵韦平说。

### 建筑设计的数字化时代到了

然而,为了实现凤凰中心的精确化的建造,建筑师需要精确的控制建筑的建造效果,但一系列传统项目中没有出现过的问题却涌现出来,项目团队面临了前所未有的挑战:如何在复杂曲面的形态上实现建筑设计的深化?如何实现复杂曲面外部的结构方案,满足结构受力的同时为建筑提供舒适的内部空间和外观,并实现精确化加工?如何将设计的数字化信息精确的传递给协作设计专业和加工建造环节,实现数字化信息在产业链上的连续性?

面对难题,迎难而上。项目团队决定以数字信息技术手段为依据,创造性的提出整体性工程控制方法。建筑师承担设计总承包的角色,利用数字信息模型为工程的每一技术环节把关,将设计深化、施工、部品加工制造进行统筹协调,让设计单位、承包单位、建筑部品制造单位在同一平台上和标准上进行工作。

邵韦平带领设计团队为凤凰中心建立了完整的高精度的建筑模型信息系统与数据库,将高端制造业的数字应用技术转移到工程中,比如引入高精度的三阶曲线标准,保证弯扭构件的数据精度,从而提高了弯扭构件形态的美学表现力。在高精度的数字平台上,集成了建筑全面的信息和精确的数据尺寸,并且包含了建筑材料、重量、价格等非几何信息,形成了凤凰中心的“建筑数字信息库”数据库。

为了实现凤凰中心复杂的非线性外壳形体,设计团队创建了一套几何控制体系,在建筑形体、结构设计、幕墙划分等方面对建筑进行精确控制。并且通过三维模型、程序计算、逻辑修正等手段,不断的对成果进行优化。

由于外部形体的复杂性,外幕墙的技术处理成为了关键。3000多块不同的幕墙单元,没有一块采用曲面玻璃。建筑设计采用了结构与幕墙一体化的设计策略,首创了弥合自由曲面的单向非连续折板玻璃幕墙系统,用

平板的玻璃幕墙单元拟合自由曲面,大大降低了成本,同时增加建筑的可实现性。从而使得“莫比乌斯环”的形体被流动的钢结构梁和自然的鳞片肌理所包裹,形成了以凤凰羽翼为意向的建筑表皮效果。

“现在我们对BIM技术有了更深入的了解和认识,并深深地感到数字设计技术已日趋成熟,已经或将要对建筑设计及相关领域的发展产生深刻的影响。建筑设计真正意义上的数字化时代已经到了。”邵韦平说。

### 数字实践的成功案例

如今,凤凰中心拥有迷人的曲线,大楼整体的样子看上去十分简洁,并与周围空间更加融合,同时与公园形成很和谐的关系。

环形的壳包裹了南北两个办公空间,办公部分放在南侧,演播室放在北侧。而南北高低的关系,既为办公空间创造了良好的日照、通风、景观条件,避免演播室的光照与噪音问题,又巧妙的避开了对北侧居民住宅的日照遮挡的影响,是一个一举两得的构想。

凤凰中心最终的形态由3800块玻璃幕墙单元围合,每一块都有不同的尺寸和细部节点。“3D建模软件让建



凤凰中心外景