8中國科學報

为大兴机场航站楼钢结构"保驾护航"

■本报记者 温才妃 通讯员 汪洋海容

9月30日,在中华人民共和国即将迎来70周年华诞之际,北京大兴国际机场经过四年多的建设,犹如一只闪耀着金光的"凤凰",在北京中轴线延长线的南端展翅腾飞。

新机场正式通航,"中国智造"享誉世界。在这个备受瞩目的工程中,北京建筑大学(以下简称北建大)的师生也在各自岗位上,向新机场建设输送着"北建大智慧",传递着"北建大方案"。

把航站楼屋盖钢结构模型 搬进校园

新机场航站楼屋盖及其支撑结构为钢结构,投影面积达34万平方米;采用双曲面造型,最大结构单元长度504米,最大跨度102米,屋檐最大悬挑42米;存在跨度、长度超限,以及扭转不规则、竖向构件不连续等规则性超限情况,属于"多项超限的高层建筑工程"。

构思巧妙、设计精良,而把蓝图变为现实,要靠创新。

2015 年,一项来自全国超限高层建筑工程抗震设防审查专家委员会的试验研究建议,摆在了北建大校长张爱林的面前。作为国内钢结构领域的专家,张爱林拿到如此超大跨度的钢结构设计方案时,也不由得震惊。

"新机场钢结构超长超大,远大于 现有规范限值;作为主要支撑的 C 型 柱结构形式复杂,且纵横刚度不对称。 这些因素都要求我们要对整个结构体 系和节点构造进行全面研究,通过试 验验证提供技术支持,确保新机场按 期竣工、安全使用。"张爱林说。

与在实验室做试验不同,工程项目容不得半点失误。张爱林与机场项目设计师论证后决定,按照新机场航站楼钢结构设计方案中的数据,设计制作1:10缩尺模型。2017年,模型经由专业钢结构加工企业生产完成后安置于北建大大兴校区。

根据方案,团队进行了钢结构稳定性能研究,通过加载砂袋对钢结构的竖向承载性能进行试验,还利用液压千斤顶进行拟静力水平往复加载试验。考虑到各种复杂工况及温度效应,团队按50%和100%静载对钢结构模型进行两次加载,并分别在白天和夜晚再各加载一次,以让试验结果更具参照意义。



①进行竖向承载性能试验和拟静力水平往复加载试验

②团队研发的球形自平衡全方 位加载试验装置

③张爱林团队完成的钢结构试 验模型



通过分析模型上百个测点得到的数据,团队总结提出适用于C型柱体系的承载力计算方法,并最终验证新机场航站楼屋盖钢结构设计能够满足8度罕遇地震的抗震要求。

"这绝对算得上是我国钢结构科 技创新的标志性工程。"张爱林说。

填补技术标准空白

搬进北建大校园里的不仅有航站 楼屋盖钢结构缩尺模型,还有 C 型柱 上关键相贯节点的足尺模型。

"节点在钢结构中发挥着承上启下的关键作用。"团队负责人、北京建筑大学土木学院教授张艳霞说,试验选取的节点位于 C型柱中心部位,其上下左右以及后部与12根杆件焊接贯通,受力情况极为复杂。

类似这样的复杂节点在一般实验

室里无法开展试验,团队便自行设计研发了球形自平衡全方位加载试验装置。该实验平台满足内部多角度全方位加载,最大加载质量达 1500 吨,完全满足像 C 型柱上这种荷载大、连接杆件多的节点的试验测试需求。

节点选用什么钢材、受力条件如何、在节点内部起支撑作用的加劲肋如何布设,这些问题都影响节点性能。对此,团队先后分四组共11次对足尺节点性能进行对照测试。研究人员发现,节点在主管内布设有加劲肋的情况下,能够满足C型柱承重需求。

理论上讲,节点主管内加劲肋布设的数量越多,节点结构越稳定。节点试验研究发现,设置三道加劲肋的节点与设置五道加劲肋的节点安全性能十分相近,团队最终建议设计方案布设三条加劲肋。这样既可降低施工难度,又能节约建设成本。

"事实上,国内关于加劲肋设计的 行业标准几乎为零。"张艳霞说。北建 大团队不仅完成了新机场项目,还通 过参数化分析,总结出一套关于加劲 肋的厚度、体积和中央开孔大小的设 计原则,填补了领域内的空白。

写入研究生学位论文

"这是第一次亲身参与国家级的 重大项目工程。"团队中的研究生们纷 纷表示。在他们看来,新机场建设象征 着国家的使命和荣誉,能有机会在高 水平平台上实践知识和锻炼技能,十 分难得。

今年毕业的北建大硕士生邵迪楠 从 2015 年刚入校时便跟随导师张爱 林和张艳霞参与新机场项目。"很多细 节远远超过了书本知识的范畴,我差 不多搜集了足足 1GB 的论文来参 考。"邵迪楠说。

三年的时间里,邵迪楠几乎每天 都跟团队成员一起,要么泡在实验室 推敲设计方案,要么守在模型旁边完 成实验。

在实验过程中,拍照记录节点在不同工况下的破坏现象需要搭脚手架在高空完成,每个节点就要爬上爬下好几次。"即便有时候我们用肉眼观察节点在力的作用下没有变形或变形甚微,也需要把观测部位的形态记录下来进行分析。"邵迪楠说,做工程就要精益求精,"重复的劳动虽然繁琐,但也磨练了一个人的意志和耐性"。

毕业设计开题时,邵迪楠毫不犹豫地选择了新机场这个题目。他把三年来试验中的成果梳理成章,发表在《建筑结构学报》上,"这篇论文凝结着整个团队的智慧和心血,是整个团队的成果"。

邵迪楠之前的两届研究生几乎都 参与了试验项目。他们之间不仅有协 作,还有传承。

2017 届毕业生王宗洋和 2018 届毕业生李振兴主要负责球形自平衡全方位加载试验装置的设计研发。他们根据试验需求绘图纸,与北京建筑设计研究院有限公司的工程师研讨完善设计方案,并在导师及工程师的指导下把原本全封闭的球形试验装置改进成为中心空间更加开放、加载节点更加便捷、适用节点更加多样的半开放式结构。据王宗洋介绍,优化方案由 8 榀减为 6 榀,减少梁柱 14 根,共节约用钢 80 吨。

一届学生毕业了,下一届继续他们的足迹。"回想起来,试验项目真的是一点点磨出来的。"李振兴说,在试验平台建设过程中,设计图纸反复修改,连接节点和球形架的杆件经历了无数次校准,各构件装置的定位不断校正,目的就是确保精度控制在毫米级。他认为,工程再复杂也要精益求精,"从谁手上完成的工作,就是谁身上的一个标签"。

如今,新机场正式启用,试验项目 也完成使命。课题组留下的钢结构模 型和节点测试装置依然保留在校园 里,供后来者继续使用。"我希望后继 者能够通过它们,对所学专业产生真 切的认知和深刻的感受。"如今,团队 试验项目已成为典型的教学案例,出 现在张艳霞的钢结构课堂上。

纵览

世界首个高端柔直变压器 一次通过全部试验

本报讯近日,河北秦皇岛经济技术开发区传来喜讯,由天威保变(秦皇岛)变压器有限公司承制的龙门换流站±800kV柔直变压器一次顺利通过全部试验,这也是世界首个电压等级最高的柔性直流变压器。该产品将用于世界上容量最大的特高压多端直流输电工程——昆柳龙特高压多端直流示范工程。

该产品型号为 ZZDFPZ-480000k VA/525kV,是保变电气自主研发的柔性直流变压器。李文平称,因其电压等级高、容量大,产品对电气绝缘布置及漏磁分布均提出了更高要求。为此公司成立了"乌东德"柔性直流示范项目组织机构,各生产相关部门通力合作、攻坚克难,对设计、制造等多个环节进行严格系统控制,确保项目顺利进行。经过3个多月的紧张施工,终于赶在今年国庆节前试制成功,一次性通过全部试验。

据了解,秦变公司共承接了该项目工程 高低端产品共计14台,其中±800kV柔直 变压器产品7台,预计2019年底全部完成。

昆柳龙特高压多端直流工程是国家电力发展"十三五"规划要求的跨省区输电重点工程和国家重大创新示范工程,项目全部建成投产后,将增加800万千瓦的通道送电能力,年送电量超过320亿千瓦时,相当于减少煤炭消耗920万吨、减排二氧化碳2450万吨。 (高长安王继军王冰)

西北油田小直径动态剖面仪器 测井测深创新纪录

本报讯 近日,西北油田利用自主研发的高温、高压小直径井下仪器完成顺北1-18H 井 7500 米井深的温度剖面的测量任务,创造了国内小直径剖面仪器测量下深新纪录。

顺北油气田油藏埋深一般在7500米至8500米,是中石化西部地区油气接替区块的重要阵地。但其井深、井下温度压力高、硫化氢含量高,地质条件复杂,被认为是世界油气勘探、开发难度最大的地区之一。其中,顺北1-18H井是一号断裂带的重点水平开发井,井深达8083米。

面对区块动态剖面监测提出的全新挑战,为完成该井出水位置监测任务,该油田石油工程技术研究院、完井测试中心等多家单位,与中船重工715研究所合作研发出了耐温200℃、耐压140兆帕、直径43毫米的高温、高压、超深井动态剖面监测仪器。

据了解,本次测量取得了合格的监测资料,准确找到出水位置,为该井及区块下一步措施方案提供了科学依据,对研究该区块油水界面和顺北1-18H井后期开发方案具有重要作用。 (马立新陶杉)

中铝萨帕高端铝合金智能制造生产线投产

本报讯 记者近日了解到,重庆市和九龙坡区重点建设项目,中铝萨帕高端铝合金材料薄壁挤压及智能制造项目——40MN(力学单位,兆牛)挤压生产线建设完成,现已投入使用。

中铝萨帕相关负责人介绍,此前 120MN挤压机只能制造大型材料,而现在 一些小型的材料也可以生产制造,能够满足 市场的综合供应需求。据了解,中铝萨帕制 造的铝合金挤压型材被广泛运用到轨道交 通、汽车轻量化和船舶制造等领域。

"40MN 挤压生产线投产可进一步提升重庆市和九龙坡区在交通用铝智能制造及轻量化应用的竞争能力。"中铝萨帕相关负责人介绍,40MN 挤压生产线设备由中国重型机械研究院股份有限公司设计制造,生产线承袭了中铝萨帕在宽幅薄壁中空型材的技术沉淀,以及铝挤压装备设计和制造领域多年的经验,将与现有生产线互联互通,补齐现有装备能力。 (赵鲁)

研究人员开发出 可快速变换图案的智能织物

据新华社电美国塔夫茨大学研究人员开发出一种智能织物,可在蒸汽等外力操纵下快速可逆地改变印刷图案。

下快速、可逆地改变印刷图案。 9月7日发表在美国《国家科学院学报》上的研究显示,这种丝织材料可呈现出

报》上的研究显示,这种丝织材料可呈现出 文字、纹理或二维码等图像,表面经蒸汽处 理后图案又迅速消失,变化仅需1秒钟。 研究人员利用蚕丝蛋白能够根据外部

新九人员利用蛋丝蛋白能够依据外部条件(如暴露于水蒸气、甲醇蒸汽和紫外线辐射等)改变结构的特性,将溶解的蚕丝蛋白沉积在一层塑料薄膜上,制造出一种双分子层的蚕丝表面。 研究人员在织物表面使用有图案的掩

膜使其选择性地暴露在蒸汽中,从而产生匹配的图案。图案也可以通过喷墨打印的方式来产生,这种打印方法的分辨率取决于掩膜本身的分辨率,或者喷墨打印机的喷嘴直径。另外,研究人员发现紫外线可降低织物表面对水或甲醇的渗透性,因此可使织物表面接触蒸汽后仍维持褶皱状态,从而增加了一种绘制图案的手段。

研究显示,这种织物可至少重复 50 轮加热和冷却处理,不影响图案对比度和分辨率,甚至可以记录指纹印迹,因为指纹中含有水分。

54 所 7 型装备参加国庆阅兵的背后

■本报记者 高长安 通讯员 庄芳

10 月 1 日的北京, 天朗气清, 万 人空巷。庆祝新中国成立 70 周年大阅 兵在北京天安门广场隆重举行。

这一日,威武雄壮的阅兵画面湿润了中国电科五十四所(以下称 54 所)人的眼。在本次大阅兵中,54 所研制的7型装备参加阅兵。

三型通信设备呈现先进通信手段

"十年前,54 所研制的8辆散射通信车和8辆卫星通信车组成通信方队,参加了国庆60周年阅兵。十年后,54所又有三型通信装备接受党和国家的检阅,展现了多种先进的通信手段。"54所党委书记原普感慨道。

在三型通信装备中,四辆卫星通信车展现了我军强大的远程通信、广域通信能力。该装备能实现双频段卫星组网通信,能够实时、远程传输各种信息包括指挥控制信息,为部队远程指挥,远程决策提供坚实的信息保障。"阅兵前,我们对车辆进行了全方

阅共前,我们对牛辆进行了至为位的检测、整改,不放过任何一个细小的环节,就像完成一幅国画,一丝一毫都不敢松懈。任务紧张的时候,常常一干就是十几个小时,衣服湿了干、干了湿,每个人的背后都结了一圈圈白花花的盐渍。"54 所卫通专业部技术人员赵光艺说。

散射通信是不可或缺的军事通信 方式之一,它以"三抗"能力强、超视距 大容量等特点在军事通信发展中占据 一席之地。国庆期间,54 所研制的四辆 新型散射通信车参加了此次阅兵。

"与同类设备相比,它在现役散射装备中传输速率最高、天线自动对准速度最快,体现了我军散射通信技术的最新发展。"技术人员吴丹介绍,为了让设备以最优的姿态展现在全世界面前,"每个细小的改动和关键的环节都至少设计三四个预案"。

"从电视画面上,我们可以看到 通信车在经过天安门广场的时候,同 时以右上角 45 度的角度展开天线,以仰视的姿态向主席台行'注目礼',为了达到整齐划一,我们伺服控制的设计师下了很多功夫。"天线伺服技术人员李涛说。在本次阅兵中,他们仅用了7天时间,改造完成了三种类型共计15 套车载站天线。为不耽误部队训练,他们利用训练间隙进行改装,平均每天工作16 小时以上。

54 所自主研制的单兵战术信息终端设备也参加了本次阅兵。"小而好用、管用",是这款通信设备的突出特点。作为网络信息体系的末端节点,它主要面向部队营以下班组和单兵应用。

"设计师大胆创新,突破多个关键技术,采用集约化设计,将通信传输、导航定位、指挥控制、态势感知等功能集于一体,解决了长期困扰我军信息系统装备建设'最后一公里'的问题。"54 所技术人员王涛介绍,这款设备融合多种通信模式,有力推动了单兵终端由"单功能多型号"向"多功能单型号"转变,切实推动我军信息系统装备减型增效和集成优化。

三型信息作战装备 亮相经受考验

"除了通信装备,我们还有三型共 12 套装备分别编入信息作战 3 个方 队参加了本次阅兵。"原普说。

参加此次阅兵的某跟踪干扰站, 具有侦测距离远、干扰覆盖区域广、 干扰能力强等显著特点。不过,极限 环境下的试验,同样是该装备测试 的"必做题"。

2018年10月的库尔勒,白天阵风达8级,漫天黄沙,项目组成员眯着眼睛都看不到10米开外的装备车。"天为被,地为床,山川卷帘,星月同榻,阵阵风声恰似催眠曲;白天酷热汗流浃背,晚上严寒穿着军大衣直哆嗦;泡面就沙子……"54 所一名技术人员在日记中这样写道。

2019年4月,项目组又转战海拔近4800米的不冻泉做高原试验。强烈的高原反应下,项目副总师安效君硬是靠着止疼片,边吸氧边干活,坚持了半个月;分系统副总师贾宸一天正在做某项试验,突然开始流鼻血,他第一反应是大喊一声:"血掉到频谱仪上了,快给我纸!"他第一时间清理了仪器上的血迹,继续测试。

54 所研制的某超短波侦察干扰 车是我军新一代战术电子对抗装备体 系的重要组成部分,集侦察、测向、干 扰功能于一体,具备较强的高机动作 战和环境适应能力。从 2019 年 5 月开 始,接到阅兵保障的通知后,54 所技 术人员甄凌航就开始全程跟随部队训 练,执行保障任务。6 月底,甄凌航随 装备进入阅兵村。盛夏的太阳炙烤着 大地,也炙烤着参加阅兵的同志们。汗 水夹杂着尘土等异物肆意而下,导致 甄凌航的左眼发生结膜炎,并恶化成 成角膜炎。

"那个时候就是边医治边演练,军 方和单位领导都很关心我的情况,但是 70年阅兵这么重要,我拗着一股劲儿, 绝不能在关键时刻掉链子。"就这样,甄 凌航圆满完成了几次合练任务。

再助"空中阅兵": 不同设备同样惊艳

当威武雄壮的飞机编队飞过天安门广场上空时,飞机俯瞰拍摄的长安街沿途景象,以及飞机内空军指挥员的图像,都被实时传输到现场大屏幕和电视直播画面中。这些让人血脉贲张的镜头,正是通过54所专门为本次阅兵研制的音视频采集与传输系统实现的。

"这是我们继"9·3"大阅兵后,再次助力我军实现'空中检阅'。"54 所项目负责人刘成朋自豪地说,这套设备可以将飞机上空军指挥员向首长汇报的图像和声音实时传输到现场电子大屏和千家万户的电视上,让大众不

年大阅兵 仅看得到飞机编队飞过后拉出的条条 彩色烟带,还实时感受空军指战员的 风采和铿锵有力的声音。

54 所研制

的散射通信车

参加国庆 70 周

"这种'如在眼前''就在耳边'的效果,正是我们研制设备的初衷和追求。"刘成朋说。

据介绍,54 所研制的两套设备分别装在两架飞机上。从1月底接到任务,到5月份交付用户,中间需要完成方案论证、方案设计、样机竞标、初样研制、正样研制、调试测试等工作,时间非常紧张。为节省时间,刘成朋大胆采用新的设计理念,要求两个波段的链路设备完全实现模块化,在体积、功耗、接口等方面做到完全一致。通过反复的方案讨论和试验,最终实现两个波段的软件通用,大大缩短了软件开发周期和联试时间,同时也保证了设备的可靠性、稳定性。

"这套设备还有一个特点,就是要实现多路高清音视频同传。这就要求我们图像压缩效率在现有高效算法的基础上再提高一倍。"为了研制新一代压缩算法及全新的硬件平台,团队图像组的同志们从新年开始就开启了"常态加班"的模式。

计划日报,整个团队拧成一股绳。 经过两个月的技术攻关,第一版基于 新一代高效压缩算法的高清图像呈现 在大家面前,图像清晰稳定,方案验证 可行。

然而,还没来得及高兴,图像组 又遭遇一个难题:伴音传输功能无 法联通。

时间已是 5 月中旬,设备交付在即,方案却遇到技术瓶颈,一时难以突破,怎么办?

技术人员立即对备用方案开展攻关,查资料、写代码、验仿真、做实测。连轴转奋战了10多个日夜后,在设备交付的前夕,清晰的声音从耳机传出——伴音功能联通了。

按照要求,系统的功能和性能要不断完善,直到8月底完成固化。为此,项目团队不分昼夜开展工作,不断进行拷机试验,穷尽各种可能进行模拟操作,对出现的问题逐一解决。有时候为攻克一个难点,团队连续进行了二十多天的反复拷机,累计加电时间345小时,编程20余次。

六月的华东某机场,54 所的工程师们正在紧张地安装设备,总体要求一周内完成两架飞机的安装和联试。

又是一场鏖战! 骄阳似火,机舱内 热浪裹挟得人喘不过气,再加上机场噪 音轰鸣,联试的时候,得扯着嗓子吼才 能维持机上和地面的通话。

就这样,绳宇洲、权润禾、雷伟等 技术人员连续几天测试到凌晨三点 多,轮流值班,最终顺利完成任务。