

■ 朱芸 任树东 方琰 李昕芮

建立支撑清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型能源体系，是能源领域发展新质生产力的重中之重。“十四五”以来，以新能源为主力电源的综合能源大基地成为主要开发模式，新型电力系统的高比例可再生能源和高比例电力电子设备“双高”特性日益凸显，在大规模新能源通过特高压通道外送、新能源打捆火电等送端系统中，宽频振荡问题是影响系统安全稳定运行的关键因素之一。

日前，中国能建华北院（以下简称“华北院”）中标托克托发电有限责任公司百万千瓦新能源打捆外送项目次同步谐振治理工程EPC总承包工程。该项目开创了次同步谐振研究在“风电+火电+串补”领域的新篇章，标志着华北院次同步谐振治理总承包业务从传统的“火电+串补”模式成功进阶至“新能源+火电+串补”模式。

华北院谐振治理研究团队从1994年的次同步谐振（振荡）起步，到2024年的宽频振荡研究，整整走过30个年头。合抱之木，生于毫末。30年的谐振治理技术攻关之路，也是华北院30载创新发展的生动缩影。

石以砥焉，太行绝壁一凿穿

20世纪80年代，华北院提出规划，在托克托建设大型火电厂，通过4回500kV线路加串联电容补偿的方式，输送600万至700万千瓦装机容量。在我国能源版图上写下了“西电东送”的重要一笔。

如何确保电力送得出、系统又能安全稳定运行？在描绘托克托电厂（以下简称“托电”）大型煤电基地美好图景的同时，华北院把实现托电大容量、远距离、安全经济的电力输送设为科技攻关的重点方向。1994年，华北院启动“串补输电及抑制严重次同步谐振技术研发及应用”专题研究。随着研究的深入，华北院意识到托克托电厂加串补送出可能会引起严重的次同步谐振问题。

国家电网公司和大唐集团多次邀请多家著名跨国公司进行风险评估、抑制治理措施的研究讨论，从为数不多的治理措施中逐渐聚焦到GE公司的阻塞滤波器方案。华北院作为业主工程师全程参与，成为国内最早提出利用阻塞滤波器解决次同步谐振并开展研究的电力咨询企业。

托电采用的串补加阻塞滤波器输电方案，是国内首次、世界上规模最大、系统最复杂的案例。由于对机组参数不准确程度的估计不足，据此开展的设计工作在阻塞滤波器组投切验证试验时，引发严重的异步自激磁现象，导致试验机组直接跳闸。

科技赋能 持续创新

——中国能建华北院谐振治理技术攻关之路



托克托电厂风火打捆基地外送项目次同步谐振治理工程EPC总承包工程。

如果不能找到行之有效的电气参数辨识方法，电厂花费几亿元的阻塞滤波器将无法发挥作用。华北院主动扛起责任，重新对同步发电机的异步运行状态进行建模，自主提出在异步自激磁方式下的同步发电机电气参数辨识方法和试验方案，得到了准确的发电机参数；并独立自主研发了特征根计算程序，拿到了阻塞滤波器的系统设计的又一利器。

小试锋芒后，设计人员进一步创新，提出在GE设计的阻塞滤波器的电抗器回路加装小电阻的解决方案，成功解决了遗留问题。2011年，托电前四期的阻塞滤波器难以同时很好抑制电网复合共振和异步自励磁的问题上。2015年首次提出“有效抑制三种形式次同步谐振的阻塞滤波器”技术，阻塞滤波器的性能和应用效果大幅度提升。在托电五期机组次同步谐振治理工程中，华北院大胆预估，提出从机组生产阶段就开展轴系优化工作，降低了工程难度，五次次同步谐振治理的阻塞滤波器一次性通过验证试验、投产成功，实现治理措施与机组同步投产，同时完成了阻塞滤波器技术从设计到施工的全链条国产化。

托电送出工程在远距离安全经济输电方面达到了世界领先水平，标志着华北院完全掌握了串补加阻塞滤波器输电这一先进技术，多项技术突破填补了国内研究空白，澄清了认识误区，加速了次同步谐振风险评估和治理领域的技术进步。

随着问题一项项解决，华北院凭借科研创新的技术实力赢得了业主的信任。石以砥焉，化钝为利。只有不断在实践中发现问题、研究问题、解决问题，才能不断磨砺自己，突破束缚发展的不利因素。

进技术，多项技术突破填补了国内研究空白，澄清了认识误区，加速了次同步谐振风险评估和治理领域的技术进步。

随着问题一项项解决，华北院凭借科研创新的技术实力赢得了业主的信任。石以砥焉，化钝为利。只有不断在实践中发现问题、研究问题、解决问题，才能不断磨砺自己，突破束缚发展的不利因素。

化钝为利，创新迸发新动能

创新永无止境！“十四五”以来，传统电力系统开始向以新能源为主体的新型电力系统转变，火电+新能源一体化基地项目在国内呈现规模化发展态势，可能引发严重的宽频振荡问题，成为制约新型电力系统发展的重要技术难题之一。

华北院自主开发了阻抗分析法计算程序包，形成了一套完整的解决该类型工程项目的研究方法，开拓了火电+新能源基地打捆外送次同步谐振风险评估的新业务，继续带动次同步谐振风险评估和治理措施研究业务向新型电力系统纵深发展。

华北院次同步谐振研究团队在解决工程实际问题的同时，不断攻克一个个难题，取得一项项技术突破，确保华北院在次同步谐振问题技术研究方面处于国际领先地位，确立了在该领域的技术权威。先后获得省部级奖项2项、行业奖项13项、上级单位和公司级奖项4项、发明专利8项、实用新型专利3项、软件专有技术1个，作为牵

头单位编写次同步谐振相关的2项行业标准，树立了次同步谐振的行业标杆。

引领市场，转型创造新局面

近年来，华北院开展的国华锦界电厂采用SVC技术抑制次同步谐振工程研究、忻州串补站初设摇摆电流计算、托克托电厂SSR抑制与保护工程的专题研究、特高压示范工程的相关问题的配合研究及上都电厂TSR和SEDC前期工程配合等一批应用新技术的研究报告，凭借较高的技术水平和成品质量，得到业内及有关部门的认可和赞许。

凭借在次同步谐振（振荡）评估治理方面树立的行业领先地位，次同步谐振团队引领华北院公司签订了一批技术含量高的优质项目，实现了科技创新的市场转化，为



托克托电厂五期机组的阻塞滤波器外观。

公司转型发展持续助力。

作为国内唯一掌握阻塞滤波器组抑制措施核心技术的工程公司，华北院先后获得托克托电厂五期机组次同步谐振治理工程总承包项目（国内首个次同步谐振治理总承包项目）、蒙能锡林热电厂次同步谐振治理工程等多项总承包项目。

“十四五”以来，华北院更是凭借新型电力系统下宽频振荡研究能力，开拓了“风+光+火”基地打捆外送基地、高比例新能源基地等以新能源为主体的项目从宽频振荡风险评估到治理措施全过程、全链条的新业务，承接了多项新能源打捆外送项目次同步谐振问题研究。

此次中标的托电风火打捆基地外送项目次同步谐振治理工程EPC总承包工程，进一步夯实次同步谐振研究在“新能源+火电+串补”领域的研究成果，持续地将科技项目成果转化为实际工程项目应用。

薪火相传，团队传承新方向

研究创新是一个人的信念、担当和执着，更是团队的一种精神、一份传承。华北院次同步谐振研究团队，从1994年的王绍德同志带领次同步谐振探索到2024年的任树东同志接续宽频振荡研究，从两三人的“小米加步枪”手工计算到十数人的团队现代化仿真研究手段，从60后、70后的守望坚持到80后、90后乃至00后的接续创新，30年间，次同步谐振研究团队总计完成3700余相次试验，获得近2600个宝贵的试验数据文件，100余卷研究报告……

技术的积累、团队的壮大，次同步谐振研究团队用两代人、三十年延续了这份坚守。如今，团队仍在创新研究的路上，青年一代将继续秉持刻苦钻研、坚持拼搏、乐观向上的团队协作精神，顶住压力、克服困难，履行华北院人的责任与担当，以自己心中对事业的热爱与执着，默默奉献自己的光和热，沿着前辈们的足迹，继续以坚持和创新为利器，在发展华北院新质生产力的道路上走得更远！

GREEN

绿色生活，低碳出行

