

[电力作业]

直升机电力作业技术研究

文/国网通用航空有限公司 刘伟东 王佳颖
北京航空航天大学 赵莹 李云浩

对国内外直升机电力作业的发展现状进行了调研，分析了我国直升机电力作业的工程经验，总结当前直升机电力作业技术，并调研了我国相应的工程应用案例，分析直升机电力作业技术在我国工程实际中的应用情况。最后对直升机电力作业技术从作业量和作业方式两个角度进行展望，分析技术发展趋势以及我国业务发展方向。

直升机电力作业，由于其具有高科技、高效率、快捷、可靠、不受地域影响等优点，已经成为当今电网发展不可或缺的一项技术手段。根据我国地理特点和全国高电压等级输电线路分布情况来看，各大区域电网有相当一部分220 kV及以上超高压输电线路位于远离城镇、远离交通干线、人烟稀少的大山区和丘陵地带，并且我国输电线路规模逐年递增，按照现行输电线路运行维护的管理模式和常规方式方法，依靠线路运行维护人员徒步进行地面巡视线路，根本无法适应现代化大电网的建设与发展。特别是在遇到电网紧急故障和异常气候条件下，人工发现和处理设备缺陷将更加困难，对保证电网的安全稳定可靠运行极为不利。因此，采用直升机进行电力作业非常必要，它不仅可以节省大量的人力物力，达到提高劳动效率的目的，而且可以大大提高电网安全稳定运行的水平。

直升机电力作业发展及经验分析

1. 世界直升机电力作业发展概况

随着现代技术的发展，当前直升机巡线、检修与带电作业已达到先进水平。目测、仪器观察和仪器自动检测相结合，采用计算机进行数据处理，生成设备缺陷清单和缺陷处理意见，能判断通道、铁塔、金具缺陷，接点过热，异常电晕，并进行有关测量；直升机绝缘子带电水冲洗；直升机电位带电处理线路缺陷，甚至将损伤导线

开断重压；对通道进行GPS定位激光三维空间扫描，生成有定位尺寸的数字立体走向图，可用于线路勘测、老线路新立体走向图的绘制和线路对地安全距离的监测，达到选线、建立线路微机台账和防止树枝碰线等目的。

世界领先水平的直升机巡线、检修与带电作业营运公司如表所示。

表 直升机巡线、检修与带电作业营运公司

公司名 创建年	国家 地址	规模 机型	经营
Agrotors 1955年	美国	16架Bell-206、 MD-500直升机	输电线路巡线、 检修、带电作业
Airmobile 1980年	美国	Bell-206直升机	输电线路巡线、 检修、带电作业
Aeropower 1990年	澳大利亚	MD-500 直升机10架	输电线路巡线、 检修、带电作业
R & T & E 三家公司 联合体	德国	EC-120、 Bell-206等 直升机	输电线路巡线、 检修、勘测和施工
CHIM-NIR 1991年	以色列	16架以Bell为主 机型的中小型 直升机	包含巡线、检修、 带电水冲洗和施工

2. 我国直升机电力作业发展概况

我国从20世纪80年代初即开始采用直升飞机对高压、超高压架空输电线路进行巡检和施工作业的尝试。从目前统计的资料来看，在1982—1988年这7年间，我国共进行了线路巡线检测8次，施工作业6次，涉及线路的电压等级有220 kV、

330 kV以及500 kV交直流线路。

20世纪80年代，由于我国经济实力和科技水平的限制，尚不具备全面、系统开展直升机电力作业的条件，只能就地选用机型或由国外提供机型进行单项直升机电力作业尝试。当时世界直升机电力作业的成本和技术也未达到现在的标准和娴熟程度。所以，20世纪80年代在我国开发直升机电力作业的时机尚未成熟。现在，随着国家经济水平发展和科技水平提高，尤其是超高压输电网络发展壮大，我国直升机电力作业蓬勃发展。

3. 我国直升机电力作业经验分析

从我国20世纪80年代所进行的采用直升机进行架空输电线路巡检作业、牵放导引绳施工作业、组立铁塔施工作业以及现场运输及浇注混凝土施工作业总的情况看，主要有以下经验应认真吸取：

1) 机型选择：根据作业的类型，即巡检、检修、带电作业、运输、吊装或展放导绳等不同作业内容对直升机的型号、性能进行严格选用，才能物尽其用充分发挥直升机的优越性。否则，由于选型不当，不是大马拉小车，就是小马拉大车，将会造成不必要的经济损失甚至导致事故。

2) 安全问题：直升机作业中的安全问题至关重要，尤其是直升机进行带电作业以及施工作业是一项技术复杂、危险性大的工作任务。线路巡检直接与飞行员的操作技能有关，而施工作业还直接与地面设施有关，诸如张力机、放线滑轮、通信设施等的安全可靠有关。因此，操作中严格遵守直升机安全作业规程是确保作业安全的首要条件。

3) 飞行方式：采用直升机进行不同种类的电力作业，是采用侧飞还是纵飞或者悬停，一是要视作业任务的要求；二是经计算后看直升机牵引载荷的裕度大小。因此在每次作业之前应制订详尽的飞机方式方案，以保证作业的可靠性和安全性，同时，对于飞行速度，飞行高度以及作业目的物的最小距离等也应进行合理选择及优化，才能确保直升机作业任务顺利完成。

4) 作业人员：我国采用直升机进行输电线路巡检有过近十次的实践，但对于带电作业、临时抢修等领域还未涉足，一是要求进行带电作业直升机的悬停性能要好；二是要研制相应的工作平台以及配套的工器具；三是要有一批训练有素的作业人员。

直升机电力作业技术及应用

1. 直升机电力作业技术

1) 直升机巡线技术：指巡视人员利用直升机作为平台，采用在直升机上装备的具有陀螺稳定功能的可见光检测和红外检测等技术，对输电线路进行巡视检查，实现线路设备在线运行状态检测，实现检测目标的大视场角搜索和小视场角高精精确检测，实现检测设备对输电线路的实时跟踪。

2) 带电作业技术：依据等电位原则，利用直升机直接或通过吊索把检修人员间接运送到带电作业地点，完成线路检修任务的方法。目前根据国外直升机带电作业技术发展趋势主要分为平台法带电作业、悬吊法带电作业两大类作业方法。

3) 直升机施工技术：主要包括货物运输、吊装组塔、辅助放线等工作。一般利用中型重型直升机完成，使用专用的吊钩将货物运输到目的地，也可用专门操作的操控台，可对吊装挂件进行精确控制，来完成分段组立输电铁塔的工作。

4) 直升机激光扫描技术：将数字照相机、GPS、激光扫描仪和即时通（IMU）惯性导航仪精确采集的电力线路的走势、高度、线路及线下的植被情况，通过专业软件处理，生成电力线路地理信息系统（GIS），以及电力线路的三维立体数字模型，方便快捷地精确测量电力线路与地面或线路附近树木建筑物之间的距离等许多参数。

2. 应用案例

1) 直升机与无人机、人工协同巡检：按照国家电网公司的部署，从2013年3月起，国网运检部组织开展了输电线路直升机、无人机和人工协同巡检试点工作，制订并落实试点工作方案。巡检业务主要包括输电线路精细化巡检、特高压通道巡检、应急灾情普查等方面。根据不同的巡视任务，所采取的巡视方式做相应的调整。常规巡线情况下，可采取直升机巡视为主，地面人工巡视和多旋翼无人机巡视为辅的配合机制；精细化巡线情况下（如线路验收投产等），可采取直升机巡视和地面人工巡视并重，多旋翼无人机巡视为辅的配合机制；故障巡线情况下，可根据行波测距方式判定的距离，采取直升机特殊巡视为主，地面人工巡视为辅的配合机制；灾害情况下（如泥石流、地震、冰雪等恶劣环境），可采取固定翼无人机巡视为主，直升机和地面人工巡视为辅的配合机制。

2) 特高压交流输电线路带电作业: 2008年12月5日, 湖北超高压输电变电公司1 000 kV特高压带电作业课题组对国网电力科学院研究成果进行了认真细致的了解和讨论, 确定带电作业进电位的方式: 依据设计提供的特高压线路杆塔塔头尺寸的结构、绝缘子串长、金具连接方式等设计文件进行分析, 确定特高压带电作业的危险点以及控制方法、操作工艺, 研制安全使用的1 000 kV特高压线路带电作业工器具。其中1 000 kV交流特高压线路带电作业专用工具(包括分体式提线器、液压式提升装置、耐张绝缘子更换工具), 拥有自主知识产权, 属国内首创。能够满足特高压输电线路带电作业需要, 填补了国内外在该领域的空白。

3) 高海拔地区铁塔吊装施工。为解决高海拔地区线路施工需要, 国家电网公司于2011年结合青藏直流线路建设, 设立高海拔环境下直升机电力施工研究课题, 由国网通用航空有限公司负责具体研究及实施。项目应用Ka-32直升机, 在青海格尔木海拔3 000 m地区分两吊次吊装组立一级铁塔。在前期充分准备基础上, 项目于2011年5月18日正式实施, Ka-32直升机首先将重达2.1 t重的17号铁塔下段吊装并固定后, 又顺利地将1.4 t重的17号铁塔上段吊装在已固定的下塔段上。验证了直升机在高海拔地区吊装作业的性能, 开启了我国直升机吊装组塔先河, 为后续在高海拔环境下开展直升机电力施工作业积累经验。

4) 电网激光扫描业务。2006年, 北京超高压公司首次使用激光扫描设备采集500 kV昌城线#11-#12输电线路激光点云数据和原始影像数据, 开始了激光扫描技术在电网运维领域应用的可行性研究。2007年, 利用直升机搭载激光扫描三维成像设备对源霸双回、上承双回、沽太双回500 kV紧凑型输电线路进行扫描, 并成功测量了输电线路相间距, 验证了该项技术在电网运维的可行性。2009年, 南方电网开展大规模激光扫描输电线路, 累计扫描作业线路里程约1万km。2013年, 国网通航公司在输电线路状态监测领域开始大规模开展激光扫描业务, 累计扫描线路里程超过1万km, 并牵头编写了国家电网企标《直升机激光扫描输电线路作业技术规范》。

直升机电力作业技术展望

1) 电力作业量大: 现在, 我国500 kV超高压输电线路已超过27 000 km。由于超高压线路穿山

越岭, 跨林区沼泽湖泊, 巡线相当艰难。随着电力体制改革的深化和发展, 新进入超高压输电线路维护领域的电力基建企业和南方电力公司所辖超高压输电变电局人员编制较少, 但管辖的线路很长, 有的甚至跨省承担运行维护工作。为了提高维护效率和维护质量, 更需要开展直升机巡线作业工作。

由此看来, 我国直升机电力作业正处于蓬勃发展的良好时机, 它是超高压输电线路蓬勃发展的需要; 是线路穿山越岭、跨沼泽湖泊巡检艰难的需要; 也是运行维护新技术发展的需要。

2) 作业方式多样且先进: 超高压输电线路从设计到施工, 从巡线到检修, 从故障检测到带电作业, 都需采用先进技术才能提高整体质量, 保障主网的安全运行。如今直升机电力作业方式多样且先进, 诸如直升机激光三维空间近距离扫描、直升机带电水冲洗、直升机红外热相机扫描探测、直升机导地线悬停等。开辟了超高压输电线路运行维护的新手段和新方法, 能解决常规作业不能胜任的工作问题, 大大提高了运行维护的质量。把应用新技术作为直升机电力作业的突破点, 既能获得广泛的市场, 又不会对现运行体制带来冲击, 这正体现了按实际情况有所为有所不为或不为的指导思想, 是符合我国国情的发展战略的。

未来的十年, 是我国超高压、特高压输电进一步高速发展的十年。科技水平和自动检测维护技术将大大提高。这些新技术的应用和发展与直升机电力作业技术的开发是相关联的。到那时, 国力更强, 人的劳动强度下降, 工作的技术含量增加, 效率更高, 采用直升机电力作业应该更普遍。十年后我国直升机电力作业的水平, 不应该低于发达国家的目前水平。如果我们争取高技术含量起步, 集当今世界直升机电力作业之长, 综合发展, 十年后我国的直升机电力作业必将处于世界领先水平。

结束语

目前直升机电力作业技术已广泛应用于超高压、特高压输电线路和高海拔地区, 更可应用于电网事故抢险、救灾等方面, 在我国电力网络不断发展壮大的情况下, 具有广泛的应用前景。EA

(收稿日期: 2018.07.08)

(编辑: 白文亭)