



■ 阅读提示

他们,要穿1公斤重、浑身布满铜丝的屏蔽服,爬60米高以上的铁塔,脚踩直径不足10厘米的摇晃线缆,携工具沿线走到指定位置开展作业。这并不是普通的工作环境,而是输送500千伏或±800千伏及以上的直流电和1000千伏及以上交流电的特超高压线路。普通的输电线路顶部会击穿小动物,但特超高压线路上发生触碰,瞬间就会成为灰烬。在这里工作过的人,都描述过一种针扎一样的痛,耳边像是瀑布一样的嗡嗡声,那是巨大的电流在输送。6月18日,邯郸临漳县,±800千伏昭沂线(河北段),国网河北电力在世界上首次利用直升机对特超高压直流线路进行带电消缺作业。本报记者直击了全程,也对特超高压带电作业的这群“特种兵”有了近距离接触。

特超高压线路上的“特种兵”

6月18日11时27分,作业人员到达作业位置。
河北日报记者 赵海江摄

□河北日报记者 白云

世界首次动用直升机带电消缺作业

6月18日10时,暴雨后的临漳县城东,收割完的麦田里有些泥泞,铁塔高高耸立其中。铁塔上架设的分裂导线,是±800千伏昭沂线穿邯郸4县1区的一部分,看起来纤细而遥远,实际上,它们每一条的横截面都有400平方毫米,离地60米。“就那。”指着两个铁塔中间线路上一个若隐若现的鸟窝,国家电网河北检修公司维修作业人员高章林说,除了这个不请自来的“高空违建”要清除,几乎同样位置,还有一个损坏的间隔棒需要检修。和地面检修不同,特超高压线路的消缺过程,作业人员要爬铁塔、走导线才能抵达作业地点,耗费的时间甚至远超作业时间。而这次动用直升机辅助作业,就能缩短抵达作业位置的时间。为了这次任务,高章林和国家

电网通用航空有限公司的团队已经训练了大半年。“过去几年,我们一直在做特高压带电作业的课题。今天,这是世界上首次利用直升机对特超高压直流线路进行带电消缺作业。”国家电网通用航空有限公司技术员杨金刚介绍,之所以选中河北作为作业地点,是河北此前已经积累了丰富的带电作业经验。输电线路下清理出硕大一块区域禁止入内,以保护附近劳动的农民安全。一旁田埂上,多名工作人员正在进行作业前的紧张调试。铝制的吊篮每一个连接处都要反复检查,而选择铝材的原因是它质软、坚固、导电。高章林和国网冀北大同分公司的孙国毕进入吊篮后,杨金刚抓紧对人员和吊篮进行等电位测试。“电压差小于0.1。”杨金刚收起手里的设备。“再测一次,别急着出来啊。”杨

金刚擦擦额头的汗解释,电压差越小越好,穿着屏蔽服的作业人员和吊篮、线路之间就能形成等电位,电流从吊篮和屏蔽服外经过,从而保护作业人员。10时45分,尽管此前已经进行了多次试验,为了确保安全,工作人员搬了两个沙袋放进吊篮进行等重测试。一切准备就绪,轰鸣的直升机进入作业区域。直升机慢慢靠近吊篮,螺旋桨搅动的风,让地面工作人员有些站立不稳,他们迅速将缆绳挂在直升机机腹。直升机要先行飞高,让缆绳悬垂,再由地面工作人员辅助挂住吊篮。“缆绳的长度是40米。”杨金刚眯缝着眼睛躲避暴晒的太阳,“特超高压线路上的地线和导线之间垂直距离为19米,机腹的安全操作距离为15米,再给出一点富余量,经过反复测试,我们把这个长度设定为40米。”

等重测试无故障,人员上阵的带电作业来了!高章林和孙国毕再次跨入吊篮,地面工作人员反复检查后,高举手指在空中画圈,这表示直升机可以升高。携带着两名作业人员的吊篮,在直升机的动力下缓缓升空,即使当时的风速仅有1.5米/秒,肉眼也能看出吊篮受直升机速度的影响,和直升机之间形成了一个夹角,这无疑增加了直升机要把吊篮稳稳卡到两根导线上的难度。直升机不断爬升,现场所有人都目不转睛地仰头看。这次作业最大的难点在于,直升机悬吊的吊篮要精准卡在两根特超高压分裂导线上。高章林和孙国毕再利用吊篮上的装置,卡住吊篮,防止它滑动和脱出,然后走出吊篮进行作业。地面工作人员用望远镜观察着空中,紧张地一言不发。

高空,直升机悬停、稳住、降低,吊篮缓慢下降——卡住!引流棒与导线拉出一道耀眼电弧,高章林和孙国毕进入电场开展等电位带电消缺。地面上,有人攥了下拳头用力挥了挥,却没敢大声喊。远远地,高章林和孙国毕变成两个输电线路上的小黑点。半个多小时过去了,原本有鸟窝的位置已经清空,线路看起来利索了,地面工作人员抬腕看了看手表,“差不多了。”12时4分,直升机再次进入作业区,吊篮被从输电线路稳稳吊起,在空中划出一条弧线,距地面越来越近,已经能看清高章林兴奋地挥舞着手臂。地面工作人员忍不住发出了欢快的呼应。10米,5米,1米……吊篮落地,两名作业人员出篮后,默契地对视了一下,两只大手“啪”一声握在一起。世界首次,成功!



6月18日12时5分,高章林(左)和孙国毕庆祝消缺作业圆满成功。
河北日报记者 赵海江摄

结实的安全帽、厚实的工作服,忙活了两个多小时,地面工作人员也是满头大汗。杨金刚的表情比作业前轻松了很多,他边往工具箱里收拾工具边对记者说,“你们只是看到了结果,其实每一步都要注意很多细节才能做到万无一失。”实际上,这场特超高压带电作业

的危险系数非常大。普通输电线路能将人轻易击穿,±800千伏的特超高压能直接将人变成灰烬。杨金刚还没收起来的笔记本上,记录着密密麻麻的作业现场数据,从41%~50%的湿度到1.5米~1.7米/秒的风速,“湿度大于80%,绳子和电气受潮就容易形成回路,风力

反复精准计算确保万无一失

超过三级,吊篮不易安置,这对作业人员来说,都相当危险。”杨金刚解释。不仅如此,作业人员的屏蔽服和作业工具也要反复测试,比如屏蔽服任意两个远端之间的电阻测试,要低于20欧姆。测试和计算,是每一次特超高压带电作业前的必备工作。段建军在一张A4纸上涂抹几笔,画出一座电塔的大致形状。他是1996年河北省电力公司第一批考取带电作业证的人员之一,也是河北超超高压带电作业第一人,目前是国网河北检修公司输电运检中心带电作业班班长。图文并用,段建军给记者描绘出特超高压线路带电作业的细节:架设特超高压线路的铁塔大多有两个垂直伸出的塔头,塔头下方一串与之垂直的绝缘子将路过的输电线

路固定在高空,如果是两座铁塔中间的输电线路需要消缺,作业人员就要坐进吊篮从塔头“荡”到输电线路。为什么不直接系绳落到输电线路路上?因为作业人员和特超高压输电线路需要一个安全距离,而垂直的距离不够。”段建军说,吊篮里的作业人员,要在同事配合下,切一个弧线落到输电线路路上——吊篮在空中滑行时与塔头和绝缘子下端的距离相加一定要大于等于3.9米。作业人员的体重、作业时携带的工具,都要列入参考数据中,这样来推算垂挂吊篮的力度和角度,“因为特超高压电塔的形状不尽相同,塔也分单回、双回、紧凑型等不同线路,每次登塔作业,没有固定公式可以套用,都得重新反复计算。”段建军说,即使如此,也要经过一轮测试后,作

业人员才能进入吊篮。和繁琐复杂的人工作业比,国网河北检修公司无人机班班长李刚涛计算的是作业效率,“人登塔30分钟,作业3小时,我们无人机只需要20分钟解决战斗。”对于挂到特超高压线路上的大块塑料布或风筝,通常做法是人工登塔拆除,这不仅需要时间,而且谁也无法把控,延迟的时间会带来什么样的危险。李刚涛所在的无人机班用改装后的喷火无人机,高空定点喷射将这些异物清除,大大提高了效率。但这,同样需要精心计算:导线材质是“钢芯铝绞线”,外围的铝材质在运行中表面会自然氧化,形成氧化铝,熔点为2000°C。喷火无人机作业,喷火的时间不超过5分钟,就不会造成线路熔断,还能清除线路上的障碍。

一场体力和科技的考验

日常生活中,家庭维修线路都会提前断电,那么危险重重的特超高压线路消缺,为什么非要带电作业呢?“对于普通居民来说,停电可能就是短时间内不看了电视、没有WiFi,但对于企业来说,停电数小时,损失巨大。”段建军说,越是负载高的特超高压线路,越不能停电。以当日消缺的昭沂线为例,迎峰度夏期间平均每日电量可达9400万千瓦时,相当于石家庄市居民日均用电量的三倍,一旦停电,影响甚广。正出于此,河北第一条超超高压输电线路的带电作业就格外值得一提。1996年,河北辖区第一条超超高压输电线路投入运行,同年成立的河北省电力公司超超高压输电分公司也应运而生,专为超超高压线路服务。1997年元旦期间,巡线人员在定州段巡线时,发现这条超超高压线路上冒火花,经过登塔查看,发现导线金具损坏,需要维修更换。

从上海发电厂输出的500千伏电流,途经多地送到保定徐水,巨大的电力负载要求不能停电维修。这意味着,河北电力公司要第一次面对超超高压线路带电作业。他们专门成立了作业检修小组,段建军担任组长。小组开会时,带电作业班的十六七个人,对谁去主导这次作业没人吭声,“大家不是害怕,而是谁也没干过,没把握,不敢贸然请战。”段建军回忆,最后,还是他把活儿揽下来了。若干年后,段建军和家人到一处溶洞景区旅游,听到溶洞里瀑布的巨大声音,他突然想起第一次超超高压带电作业时耳边的动静,“一模一样!别人觉得吵,我听着好熟悉。”那是500千伏输电线路的电流声,穿着屏蔽服的作业人员,并不是完全没有感觉,他们依然会感受到皮肤上有刺痛感。相比作业时的困难,如何进入作业区,一直是特超超高压输电线路带电作业的难点。“爬铁塔需要体力,所以你看我们作业班的小伙子,个个个的结

实。”段建军这不是自夸,身体状况评估一直都是特超超高压线路带电作业的必修课。黝黑的刘洪吉回忆起从东北电力大学输电专业毕业后第一次爬塔,“当时就感慨,我的天啊,这塔怎么这么高!”那是一座一百米出头的特超高压铁塔,他牢记着师傅教的抓牢、踩稳要诀,历时半个多小时,爬到了塔上。特超超高压线路越来越多,塔型越来越复杂,有的铁塔爬塔作业就不能解决问题。2003年,河北省电力公司超超高压输电分公司首创了紧凑型线路进出软梯加吊篮等电位作业法,这个方法在部分塔型安全距离不够、作业人员无法通过吊篮到达作业区时,由辅助人员用绝缘杆在电塔上悬挂软梯,作业人员从地面顺着软梯爬到线路上。软梯作业越过了进入电场需要安全距离等限制,但线路有多高,软梯就有多长。想象一下,悬挂在空中的软梯,势必来回荡,这就要比爬铁塔更耗费体力,也更需要技巧。“软梯一个档是40厘米,爬上十

几档就手脚发酸,爬铁塔还能停下来休息,软梯不行。体力差,真干不了。我们就研究各种办法,又节省体力又能快速到顶。”刘洪吉说,他的诀窍是,重心靠在软梯的一侧,脚下用力蹬,把身体绷直。但由于体重和习惯不同,这不能适用于每一个作业人员。人工维修目前依然是解决特超超高压输电线路消缺的终极方法,但如何将作业人员送到作业地点的技术却在突飞猛进。李刚涛所在的无人机班组,开发出用无人机将软梯悬挂在线路上的方法,辅助人员用绝缘杆挂软梯,也得爬到铁塔上,而无人机作业,飞手只需操作设备,几分钟内就能精准挂好软梯。根据作业要求,软梯悬挂到线路后必须锁死,毕竟无人机不能像人一样灵活,这个问题困扰了无人机班挺长时间。李刚涛还给记者展示了一个小发明,他们独创的锁扣技术,能在无人机悬挂好软梯后,自动锁住线缆,而需要拆除软梯时,无人机提拉销子,就能顺利将其解除。“无人机现在还大量应用在巡线中,去年,我们巡线了5000基杆塔,做了2000千米的通道巡视影像

资料。”李刚涛说,无人机可以实现重点位置近距离、多角度巡视,减轻了人员爬塔消耗,也降低了危险。以无人机激光扫描为例,可以建立厘米级激光点云地图,可以发现小部件上的损伤,也能发现断股线路的问题,还能精准测算线路的净空距离。高科技设备加入的安全和高效,也体现在当天记者直击的直升机对特超高压直流线路带电消缺作业上,“对于山区或者大海里的特超超高压线路,我们就有了更多选择,根据消缺作业的位置、紧迫程度、特殊性有了多个选项,最大限度保障不断电。”段建军说。6月18日,作业人员在清除了线路上的鸟窝后,开始消缺作业。
河北日报记者 赵海江摄

■ 记者手记

与特超高压共成长

70后的童年,都有过停电的记忆,点着蜡烛写作业是70后记忆里的常态。那时的停电太寻常了,人们很少询问,什么时候来电,为什么停电,就像洗脸吃饭一样习惯。“说到底,是电能不足和线路不稳。”国网河北检修公司输电运检中心带电作业班班长段建军说。一晃30多年过去了。停电已经是件很稀罕的事儿,而不停电的原因,一方面是我国的输电线路运维有了巨大进步,另一方面是我国在解决各地电力资源不均衡上采取的特超高压输电技术有了飞速发展。1996年,河北有了第一条超超高压线路,上线后,国网河北省电力公司成立了超超高压输电分公司。2013年,国网河北省电力公司超超高压输电分公司改名为国网河北检修公司,运维线路也从超超高压覆盖到特超高压。这期间,特超高压线路的长度也在不断“生长”。从1996年到2020年1月,国网河北检修公司运维500千伏及以上输电线路从0增加到107回,线路总长度从0增加到8167.318公里,其中1000千伏特超高压交流线路14回;±800千伏直流输电线路4条;±660千伏直流输电线路1条;500千伏线路88回。国家之所以大力发展特超超高压线路,不仅因为其能承载更多的电流输送,与此同时,国家针对每公里输电线路的相对投资、每千瓦时电输送百公里的相对成本以及金属材料消耗量等,均有大幅度降低,线路走廊利用率也有明显提高。输电线路的“乌枪换炮”,把运维压力推到了段建军他们面前。

1996年,河北第一批拿下带电作业证的有8人,今天,河北运维公司能进行500千伏输电线路带电作业的有63人,1000千伏带电作业的27人,±800千伏带电作业的19人,不少是毕业于专门电力院校的高学历人才。回忆起第一次超超高压带电作业,段建军说,现在很难想象,那次出发前,他们紧锣密鼓地准备工作之一,居然是改造称手的工具,“那会儿,我们连个等电位作业的专用工具都没有,现改。”2016年起,带电作业班组开始工作标准化管理,外出作业要用什么工具,哪一步操作会用到这个工具,需要几只(把)都需要明确,作业工具更是要从恒温库房拿出来,装到专门的运输车里,以确保作业工具一直保持干燥。这也有了直升机对特超高压直流线路进行带电消缺作业现场,全副武装的高章林升空作业前的准备工作,有一辆专用工具车做后盾,为他的安全提供各项检测和保护的工,都安置在专用运输车里。从操作工具到升空工具,从人工到无人机、直升机,这都是为了保障电力的不间断供应。对于普通人来说,当我们吹空调、看电视、连WiFi时,越发习惯不断电的生活之际,就越发凸显特超超高压线路运维的这群人存在的价值。
文/河北日报记者 白云

