



直流融冰：抗冰利器

文 / 王志奇

2016年2月15日下午4点42分，94公里长的线路上，冰凌哗哗落地。四川电网500千伏月普一线成功脱掉了厚厚的“冰衣”，恢复正常运行。今年春节期间，冷空气再次突袭四川，这是国网四川省电力公司检修公司自2014年12月7日以来实施的第54次直流融冰工作，用时仅3小时10分。

2016年1月22日起，“世纪最强”寒潮侵袭四川，多地出现雨夹雪甚至大雪天气，共造成四川电网108条线路跳闸。国网四川检修公司科学应对，成功实施了20多条次直流融冰，确保了四川超特高压电网安然无恙。而这些，得益于四川检修公司分布在乐山、西昌、康定等地区500千伏变电站的5套直流融冰装置，它们就像“金钟罩”一样保护着巴蜀大地36条500千伏、总长度达1600多公里冰区线路的安全。

在困难中启航

四川省位于我国西南腹地，地处我国大陆地势三大阶梯中的第一级青藏高原和第二级长江中下游平原过渡

带，地质环境复杂，气候条件多变，冬季雨雪较多且范围较大。

四川电网500千伏主网架庞大，技术条件复杂。500千伏主网175条输电线路总长度15000多公里，平均海拔1500米，最高海拔3494米，其中26条线路位于高海拔地区，33条线路位于无人区和人烟稀少地区，25条线路穿越地震带，24条线路位于冰雪区。

地质气候等自然环境使输电线路在冬季易产生覆冰现象，且这一现象有范围广、类型多样、发生几率差异大、微地形和微气象影响显著等特点。

四川电网覆冰严重的500千伏线路主要分布在四川盆地西部和西南部中高海拔山区，以及甘孜、阿坝、凉山三州地区和四川盆地周边山区，其中以二滩、锦屏、瀑布沟、九石雅、康定和阿坝等6大水电送出通道最为严重。一些线路冬季覆冰呈常态化，给四川电网的安全稳定运行带来了较大的影响。

2010年冬季，受雨雪冰冻恶劣天气影响，四川检修公司辖区内相继发生了500千伏月普双回65号塔，布坡

一、二线141号、142号塔等输电线路倒塔断线故障。据统计，2008年至今，四川电网因覆冰共发生倒塔4次、断线2次及其他故障109次。

因此，要全面提高电网抗灾能力，保障电网安全稳定运行，就要提高500千伏及以上输电线路融冰融雪的能力，彻底解决电网在抗击冰雪灾害方面存在的薄弱环节。为此，5套500千伏固定式直流融冰装置相继在四川乐山、西昌、康定等地落户，覆盖了36条500千伏冰区线路。其中，500千伏东坡、月城站的直流融冰装置除直流融冰功能外兼有静止无功补偿功能（简称SVC），并采用6脉冲晶闸管换流阀和相控电抗器组合方式；而500千伏普提、石棉、康定站的装置，则采用换流变和6脉动换流阀组合方式。

特别值得一提的是，为避免类似2008年1月冰冻雪凝灾害导致输电线路受损的事件再次发生，2011年3月，国网四川省电力公司与中国电力科学研究院在总结湖南益阳500千伏复兴变电站融冰工程研究及应用成果基础上，联合开发了国内电压等级最高、

具有自主知识产权的首套全兼容直流融冰兼 66 千伏 SVC 静补装置。

这一装置最大的特点是一机两用；一是在正常情况下作为 SVC 使用，提高电网输送能力；二是在雨雪冰冻天气下，可以快速切换到融冰模式，输出直流电流快速融化覆冰，大大提高了设备的利用率。此外，由于这一装置没有整流变压器，因此具有明显的技术及经济优势。直流融冰装置所用的设备和 SVC 全部兼容，具有自主知识产权，填补了国内空白。

这套为专门应对冰凝灾害开发应用的技术成果，主要由单套 6 脉动晶闸管阀组（兼 TCR 阀组）、相控（兼换相）电抗器、交直流滤波器及各类开关组成。基本的工作原理是在融冰模式下，采用单台 6 脉动整流桥结构，由月城、东坡站 2 号主变低压侧提供交流输入，以覆冰线路为负载，施加直流电源，加热导线使线路覆冰融化。

2011 年 12 月 27 日，东坡 500 千伏变电站技改项目——直流融冰兼静止无功补偿装置成功解锁，开始对 500 千伏布坡一线 A 相、B 相导线融冰。强大的直流电流以 500 千伏布坡一线为负载，裹覆在导线上厚度达 30 毫米以上的冰雪悄然融化。持续 1 个多小时后，融冰结束，各监测点数据趋于稳定，标志着这套装置在 500 千伏输电线路首次直流融冰中获得成功。

在随后的 12 月 28 日、12 月 30 日两次正式应用中，这套装置的应用达到设计目标，取得良好效果，为四川电网抗冰减灾提供了可靠技术保障。

在实战中不断完善

2014 年 2 月 9 日布坡四回线路均覆冰严重，当天下午 6 点 15 分，500 千伏布坡一线融冰工作正式启动，但到了第二天早上 7 点 33 分融冰才结束，共用时 13 小时 18 分钟，融冰效率偏低。

如何提升融冰效率，提高输电线路抵御冰雪的能力？四川检修公司开始了对直流融冰技术应用的不断探索。

2014 年 7 月，四川检修公司与四川省调中心共同对融冰前期准备、融冰操作和融冰后的工作流程进行梳理，制订完善了《四川电网 500 千伏线路直流融冰操作调度运行规定》，将以往调度操作单项下令的方式调整为下达综合命令，并将线路转检修后的融冰装置调度权限下放到运维单位。同时，两家单位还针对不同线路的融冰需求，制订了差异化融冰启动条件。这一系列举措，不仅提高融冰效率，也确保了融冰的及时性。

针对四川超特高压电网部分地区容易覆冰的特点，四川检修公司绘制了“冰区图”，根据历年来的实际覆冰情况，按照 10、15、20、25、30、60 毫米等不同的等级划分出来，并根据上年的实际情况，进行直流融冰。

此外，国网四川电力积极应用科技手段，加强直流融冰装置运维工作，优化直流融冰策略，全面做好融冰工作。对直流融冰装置进行检修预试和升流升压试验，确保设备随时保持对 500 千伏布坡四回、月普双回等 36 条易覆冰线路直接融冰状态。

2014 年 12 月 26 日上午 10 点 20

分，东坡变电站当值运行人员接到四川检修公司生产调度指令，启动直流融冰装置，对 500 千伏布坡一线直流融冰开始融冰。到下午 2 点 06 分，东坡站顺利完成融冰工作，耗时仅 3 小时 46 分钟。经过近两年来的融冰记录，单条线路融冰周期从最初 13 小时降低到 5 小时以内，不仅大幅降低了一线人员的劳动强度，减少了线路因融冰的停电时间，还极大提高了工作效率。

直流融冰装置的投入使用，不仅大大提升了四川电网的输电能力和系统稳定性，也为电网应对冬季自然灾害增加了新的技术手段，提高了电网抗灾保障能力，并且改变了以往人工除冰效率低下、安全风险高的防冰被动方式，有效提升线路防冰抗冰能力。

自 2011 年 12 月 5 套直流融冰装置投运以来，检修公司共对 33 条 500 千伏输电线路进行了 125 次融冰，脱冰效果良好，有效提高了线路抗冰能力，及时消除了线路覆冰隐患，因冰导致的线路跳闸故障大幅度降低，未发生 500 千伏线路倒塔及断线事故，工作成效明显。

此外，四川电网还建立了完善的冰灾应急处置体系，提高了处置效率和反应速度。编制了处置雨雪凝冻灾害事件应急预案。组建了 12 支共 300 人的冰灾应急抢险队伍，并与政府相关部门建立了联动机制，结合已研发投运的科技抗冰装备，从冰情预测、实时监测、及时融冰和应急抢修等方面入手，科学应对冰雪灾害，确保四川超特高压电网安全稳定运行。🌱