

发展清洁能源，是改善能源结构、保障能源安全、推进生态文明建设的重要任务。这次召开的两场重要会议，体现了国际社会对清洁能源技术开发和利用的高度关注，体现了全球对建设清洁高效能源体系的积极向往。中国高度重视清洁能源发展，为

中国高度重视清洁能源发展

此采取了一系列重大政策措施，取得了积极成效。中国将坚持节约资源和保护环境的基本国策，贯彻创新、协

调、绿色、开放、共享的发展理念，积极发展清洁能源，提高能源效率，推动形成绿色发展和生活方式，努力

建设天蓝、地绿、水清的美丽中国，实现人与自然和谐共处。希望会议分享发展和推广清洁能

源的认识和经验，共同推动全球绿色低碳、低碳、循环、可持续发展之路。

——摘自《习近平致第八届清洁能源部长级会议和第二届创新使命部长级会议的贺信》
(2017年6月7日)



本栏目主持人：刘少华

全天候坚守现场，零下20℃户外试验，他们的“追风”故事只为保障——

让张北的风点亮北京的灯

本报记者 刘乐艺

4月的河北省坝上草原，满眼嫩绿，高大的风车星罗棋布。风轮缓缓转动，风能即转换为机械能，再经由齿轮转换，机械能最终转化为电能。去年6月，张北柔性直流电网试验示范工程（以下简称“张北柔直工程”）正式投运，清洁的电力开始汇聚到位于河北省张家口市张北县的换流站，然后输向北京，点亮万家灯火。

由于新能源波动性大，若想稳定传输并非易事。“张北柔直工程像一辆行驶在电网中的‘超级货车’，能精准控制方向与速度，将不稳定的风电稳妥送到终端。”国家电网冀北公司工程管理公司项目经理郭良告诉记者，该工程每年可向北京输送140亿千瓦时的清洁电力，相当于北京年用电量的1/10。

来之不易的成绩背后，是施工人员28个月、800多天的日夜坚守。近日，本报记者采访了张北柔直工程的建设团队，听他们讲述“追风”的故事。

驻守现场——

郭良从“爸爸”变成“叔叔”

之所以在张家口地区建设这项创新工程，恰恰是因为该地拥有丰富的可再生能源，堪称是“风的故乡、光的海洋”。但由于张家口用电需求小，新能源接纳能力有限，亟须新建输电通道。

“张北柔直工程的出现，探索出了新能源消纳的新模式，成功将张家口与承德地区的上百家电场连接为一个有机整体，为北京直接供电，就近解决了首都燃气电厂替代问题，极大改善环境质量。”郭良介绍道。

张北柔直工程共有中都、康巴诺尔、阜康及延庆4座换流站，这其中，中都换流站是换流容量最大的送端电源。今年38岁的郭良，就曾任中都换流站业主项目经理。

“郭经理，快来看一下，这土怎么是绿色的！”2018年3月，项目刚刚开工没几天，郭良便接到报告，顿时心头一紧。

戴好安全帽，他连忙冲到施工现场，定睛一看，挖掘机垒出的“土山”，竟然是绿色的“硬疙瘩”。“这些土块，浇水成泥巴，稍微湿水就硬如砖头。”尽管已从事特高压电力工程建设16年之久，但如此土质条件一时间还是令郭良感到措手不及。

郭良知道，土质发绿，怕是腐蚀性不小。很快，实验室结果便证实了他的猜

想：土壤中的氯离子、硫酸根离子含量异常高，远超常规水平。“腐蚀性土壤对钢筋的危害极强，一旦发生坍塌，后果不堪设想。”郭良告诉记者，过往应对腐蚀性土壤的办法没有奏效，刚刚动工的项目被迫停工了。

张北县地处高寒、高海拔区，每年施工有效期仅有4个月。如若耽搁过久，定会影响施工进度。郭良立即向高校实验室求助，但实验室给出的解决方案并不尽如人意。

“不过专家发现，施工区所在位置属于沼泽地形，有大量的水积存在地表2至3米深处。既然弄清了土质状况，中国这么大，肯定还能找到类似的地勘报告。”郭良并未气馁，开始着手组建技术攻关小组，搜寻可行方案。

整整4天时间，每天仅睡四五个小时，剩下的时间全都坐在电脑前，郭良带领同事们将各种换流站工程数据库翻了个底朝天。终于，大家发现，在新疆哈密市有过针对同类型土质的施工项目。借鉴成熟经验，经过1个月的反复试验，外加填料的抗腐蚀解决方案确定了，项目得以继续进行。

事实上，中都换流站从开工到竣工，郭良遇到的困难并不少。哪个设备操作复

杂，哪种作业方法需要改进，郭良心里都跟明镜儿似的，记的是一个不落。忙起来的时候，他一天要赴好几个作业点巡查，误了饭点，就趁着赶路中途吃个泡面、啃个面包，常常有上顿没下顿。

在同事眼中，郭良是一个十足的“拼命三郎”。一次工作时，他突然肠胃疼痛，被紧急送往医院，经诊断发现是肠息肉作祟，需立即手术。刚过术后观察期，郭良便瞒着家人，偷跑回工地，一直坚持到工作结束才回家休养。

“刚参加工作时，老师傅曾教育过我，一定要把工程建设当成自己的‘孩子’，一样对待。而‘孩子’的成长，需要‘大人’的监护，所以我必须回来。”郭良坚定地说。

然而，对待自己年幼的儿子，郭良却有着说不出的愧疚。由于长期全天候驻守现场，父子两人只能使用视频通话。“一开始，孩子还会高兴地喊‘爸爸’，结果过了3个月再视频，孩子却把我忘了，只喊了声‘叔叔’。”说到这里，郭良不由笑出了声，眼角处泪花闪烁。

令郭良欣慰的是，2019年，中都换流站如期完成工程建设，成为世界上最高电压等级、最大容量的柔性直流换流站。“一想到北京冬奥会能用上新能源风电，我是打心眼里高兴。”郭良感慨道，“参与张北柔直工程建设，绝对是值得我骄傲一生的经历。”



▲在张北柔性直流电网±500千伏康保换流站工程现场，施工人员正在吊装桥臂电抗器。 邹明摄



▲国网冀北检修公司职工李振动在500千伏北京环网变电站停电检修现场。 刘洁摄



▲在张北柔直换流站阀厅内，施工人员正在安装阀塔模块。 邹明摄



▲位于张北县的风光储输示范工程。 资料图片

设备验收——

李振动的电话1天响了100多次

傍晚时分，雪越下越大，一辆车子猛然停下——前方因积雪封路了，没办法，只能等待。零下20℃的低温，却丝毫不影响车内人的焦急情绪。他知道，这场与时间的赛跑，需分秒必争。

坐在车里的人名叫李振动，是国网冀北公司直流检修一班班长。按计划，基础建设完工后，张北柔直工程便进入全面验收期，李振动负责的便是直流运检。

2019年12月21日，在位于河北省承德市的阜康换流站检修时，李振动忽然发现，张北柔直工程的重要主设备——机械式直流断路器存在重大隐患。他忙向生产厂家核实信息，但对方却一口否认存在设计缺陷。

“机械式直流断路器，在每个换流站都有应用。最要命的是第二天，中都换流站就要启动调试了。”思来想去，李振动还是放心不下，立马停了手里的工作，拎着2个工具箱，带着同事赶往中都换流站。

没想到，车刚走了一半，就遇大雪封路。“在车上，我根本坐不住，平生第一次

这么期盼扫雪车的到来。”李振动告诉记者，抵达中都换流站时，已是凌晨1点，平时仅需3个小时的车程，这次却花了9个多小时。

顾不上休息，李振动赶紧查看图纸并制定验收方案。果不其然，他的担心不是多余的，中都换流站的直流断路器确实存在问题。李振动与同事们赶紧行动，一边发送重大问题联系单，一边催促设计院连夜修改图纸，进行问题整改。经过5个小时的奋战，直流断路器重新接线传动，避免了重大安全事故。

忙完后，已是清晨。李振动说，现在想想，还是有些后怕，如果真的出现故障，将会造成上亿元的设备损失，“我个人紧张一点、累一点没有关系，作为直流检修负责人，必须守好每道关口。”

2019年11月到去年1月，是验收期最忙的阶段，李振动的工作可以用一串数字概括——“697”工作模式。每天早上6点开工，晚上9点收工，一周7天，日日如此。

“像中都换流站，共有10万多颗螺丝、3168个子模块、1万3千多根光纤……”提起换流站的零部件设备，李振动如数家

珍。自从进入全面验收期，李振动带领团队共参加分系统调试13587项，保证了设备一次投运成功。

但少为人知的是，这位许多人眼中的“柔直先锋”，在几年还只是位柔性直流输电技术的“门外汉”。

“其实，我在参与张北柔直工程前，对于柔直技术只能说是一知半解。”为了尽快上手，1年时间里，“馬拉松式”的设计例会、设联会、审查会、研讨会，李振动跑了397场。

手机对李振动来说格外重要。在接受记者采访时，他常歉意地笑一下：“我先接下电话。”设备一出现问题，李振动就要与生产厂家沟通，咨询原因。“验收期间，我的手机恨不得每天能响100多次。”李振动回忆。

功夫不负有心人。历经500多个日夜，李振动对设备结构、逻辑原理以及控回路等知识的了解日趋系统。由他编纂的高压直流断路器关键设备的28份验收细则，直接填补了行业空白。

现如今，尽管张北柔直工程已正式投运，但李振动丝毫不敢懈怠。每天，他都会组织检修班全体成员一起总结当日工作，互相分享经验。“做我们这行，必须吃得了苦，耐得住寂寞，只有这样才能打造与张北柔直工程相匹配的一流运检团队。”李振动说。

系统联调——

辛光明重操旧业，化身“程序员”

“砰”的一声巨响，原本灯火通明的阜康换流站，霎时间昏暗无光。正在现场进行通流加压试验的辛光明，心一下子提到了嗓子眼。

37岁的辛光明是张北柔直工程调试项目部的调试副总工程师，主要负责控制保护系统联调工作。2019年12月中旬的一天，他接到紧急通知，由于阜康换流站变压器阻抗太大，原有方案无法通过通流测试，急需新的解题思路。

接到任务后，辛光明与同事彻夜讨论，4天后，他便带着新的解决方案来到阜康换流站。“但说实话，新方案究竟能不能奏响，一开始我心里也没有底。”面对记者的询问，辛光明直言不讳。

好在测试进展相当顺利，用时6小时就完成了第一阶段通流加压试验。正当辛光明长舒一口气时，凌晨2点，全站又突然停电了。

因为还在基建阶段，换流站没有应急电源，试验只得停工。“当时就担心，会不会是因为新测试方案才引发的断电。”忐忑不已的辛光明，忙与同事共同排查起断电原因。

查故障、送电、跳闸，再查故障、再送电、再跳闸……足足4个小时，终于查明并非试验原因，是换流站线路对侧故障导致的断电。

在海拔1000米的阜康换流站，室外气温达到零下20℃。一夜等待，电缆接线已经“冻僵”，测量电流的万用表也被“冻僵”——数值显示忽高忽低。辛光明亦是手指僵硬、鼻涕横流，但他并不在意，只休息了1天，便完成了全部试验，保证了阜康换流站顺利投运。

“人人都有责任心，个个都是战斗员。虽然这次工程的系统联调工作量很重，但也磨炼了每个人的专业技术。”辛光明说道。

究竟张北柔直工程的系统联调工作有多复杂？他举例解释说，张北柔直工程共有5000多种运行方式，这其中，只有56种为主运行方式，剩余则为过渡方式。

“柔直电网发生故障后，大概率会进入过渡方式，因此，需对过渡方式提前进行拟合、优化，使其顺利转化为主运行方式。”辛光明所在的调试项目部，正负责对56种运行方式的

所有故障进行推演、预判及验证。

“项目部第一次讨论时，我就发现这项工作实在太繁琐了，推演过程稍有疏漏就会出错，而处理数据刚好是计算机的优势，为何不试试用电脑程序推演运算呢？”虽然已毕业8年，但研究生期间曾学习过编程的辛光明，决定重操旧业——自己动手进行程序开发。

由于白天的各项工作已经排满，大部分的编程工作，辛光明都是晚上进行的，经常持续工作至凌晨三四点钟。“其实，主要还是编程技能疏导致的，需要反复调试，查找漏洞，这只能通过多投入时间来弥补。”辛光明不好意思地说。

通过一个月的奋战，辛光明独立开发的“柔性直流电网运行方式推演软件”，成功实现了柔直电网运行方式在故障后的简化推演、预判和优化选取，比之前节约90%以上的分析时间，大幅提高工作效率。

“值得做的事，就值得做到最好。为张北柔直工程流过汗，我感到很自豪。”如今，辛光明正带着张北柔直工程的先进经验，投身中国第一个海上柔直工程——三峡新能源如东海上风电柔性直流输电示范工程，为“国家电力事业飞速发展”的宏大叙事续写新篇。