

引子

自这一晚起,对河南省的不少家庭来说,灯还是原来那盏灯,但电已是来自青海省的绿色电能。
2020年12月30日傍晚,青海—河南±800千伏特高压直流工程(以下简称青豫直流工程)正式投运。
这是一条专为清洁能源外送而建设的特高压通道。它起于青海省海南藏族自治州,

止于河南省驻马店市,线路全长1563公里,输送容量800万千瓦,总投资约226亿元。
截至6月9日,青豫直流工程累计输送绿色电能119.59亿千瓦时。这相当于减少标准煤燃烧538万吨,减排二氧化碳885万吨。
今年1月25日,习近平主席在世界经济论坛“达沃斯议程”对话会上的特别致辞

中指出:“我已经宣布,中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值、2060年前实现碳中和。实现这个目标,中国需要付出极其艰巨的努力。我们认为,只要是对全人类有益的事情,中国就应该义不容辞地做,并且做好。中国正在制定行动方案并已开始采取具体措施,确保实现既定目标。”
“青豫直流工程是我国发展运用特高

压输电技术、推动新能源大规模开发利用的一次重大创新。”国家电网青海省电力公司建设部主任杨记宁说,这对于促进青海打造国家清洁能源产业高地,满足华中地区用电需求,落实碳达峰、碳中和工作等具有重要意义。
日前,记者实地探访青豫直流工程,感受能源绿色低碳发展的强劲脉动。

人民眼·推进能源低碳转型

专为清洁能源外送建设的青海—河南±800千伏特高压直流工程累计输电119.59亿千瓦时

一线连青豫 闪亮新能源

本报记者 刘成友 姜峰 王梅 刘雨瑞

保障稳定供电

从光伏光热到水光互补,创新驱动助力青海打造国家清洁能源产业高地,新能源发展多项指标居全国前列

光能、风能发电波动性、间歇性较强,往往靠天吃饭,而电力供应最看重稳定性。新能源大规模开发利用的瓶颈如何突破?

通过青豫直流工程输送河南的绿色电能,主要来自青海海南藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州两个千万千瓦级可再生能源基地。

出海西蒙古族藏族自治州格尔木市东行30公里,来到海西多能互补集成优化国家示范工程基地。这里地处太阳能资源富集的柴达木盆地,茫茫戈壁,一个个蓝色光伏发电板整齐排列,一座座风力发电机迎风转动。

不远处,矗立着一座白色高塔。“这是光热电站的集热塔,高188米。以高塔为圆心,环绕分布着4000多面镜片,每面镜片面积约138平方米。”青海广恒新能源有限公司副总经理曾需要介绍。

镜片的名字很形象:定日镜。它们把太阳能聚焦到集热塔顶部的吸热器,加热吸热器内的特制熔盐。夜晚,当光伏电站停止运转时,加热后的特制熔盐持续释放热能,再通过换热系统产生蒸汽,推动汽轮机发电。

“别小看光热的能量,一座集热塔工作一天,就能满足10万户居民一天的用电需要。”曾需要说,“通过示范推广‘以热补光’,让新能源发电有了可靠支撑。”

在海南藏族自治州黄河峡谷地带,距离龙羊峡水电站约50公里外的一片草地上,如今建起了装机规模85万千瓦的水光互补光伏电站。

“新的水光互补技术可将原本随机、波动、间歇的光伏发电,调整为均衡、优质、安全的稳定电源并送入电网。”国家电投集团黄河上游水电开发有限公司龙羊峡发电分公司综合部副主任于海青介绍,“我们白天优先使用光伏发电,夜晚则由水电机组接力发电,保障新能源的最大化消纳和电网的优化运行。”目前,这座水光互补光伏电站一年发电量已占龙羊峡水电站的1/4。

除了硬件布局,多能互补系统的软件革新是提升新能源供给质量的又一关键。为适应大规模光伏发电并网运行的技术要求,青海近年来着力开展光伏功率预测技术攻关并完成系统升级。在此基础上,青海牵头承担了国家重点研发计划“多能源电力系统互补协调调度与控制”项目,并在青海省电网调控中心上线,实现对水、火、风、光、热、储等多种类型电源的协调调度。

“这套多能互补调度系统能够给出电网运行的最佳方案,让多种能源的深度融合实现‘1+1>2’的效果。这样的技术能力是青海大规模发展新能源的重要基础。”国家电网青海省电力公司调度控制中心主任方保民说,“十三五”期间,国网青海电力的新能源消纳利用率保持在95%左右。

依托丰富的水、光、风、热能资源禀赋,坚持创新驱动,青海近年来积极推动国家清洁能源示范省建设,着力打造国家清洁能源产业高地。截至今年5月底,青海电网总装机规模4050万千瓦,其中水电1193万千瓦,光伏1591万千瓦,风电853万千瓦,光热21万千瓦,新能源装机占比、集中式光伏发电量均居全国前列。

连续7天,连续9天,连续15天,连续31天——2017年至2020年,青海不断刷新全省范围内绿电供电持续时间纪录。“十四五”开局之年,青海新能源发电又创佳绩:2至3月,新能源发电量连

续两个月超过水电,担当主力电源。持续稳定的电力供给,为青海绿色电能大规模外送打下了基础。

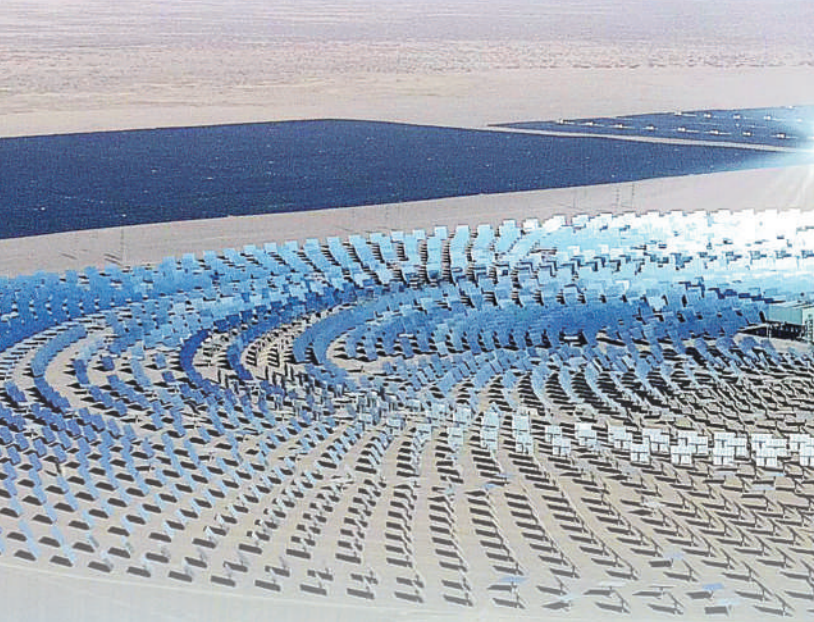
打造“电力高速” 攻克关键技术,保障绿色电能快速、稳定、安全输送

来自青海多地的绿色电能,汇集到海南藏族自治州共和县的塔拉滩。这里坐落着青豫直流工程的首端站:青南

青海绿色电能经济、可靠地输送到有需要的远方。”

变压器旁,巨大的散热风扇不停转动,“每台变压器重500吨,6台编为一组,换流站共有4组24台变压器。”李斌善介绍说,电流经过4组变压器升压至800千伏,相同电功率作用下,升高电压可以减小电流,同样起到降低损耗的作用。

更令李斌善骄傲的是,站内设备已基本实现国产化。“工程建设中,已攻克掌握特高压直流规划设计、试验研究、设备研制等关键技术,提升电能输送的安全性、经济



图①:青海海南藏族自治州千万千瓦级可再生能源基地。

图②:青海海西蒙古族藏族自治州多能互补集成优化国家示范工程基地光热电站。

图③:在海南藏族自治州贵南县境内,施工人员在青海—河南±800千伏特高压直流工程一标段建设现场组装铁塔。

本版责编:孔祥武 杨彦 孙振 戴林峰 版式设计:沈亦伶

换流站。

2018年10月26日,青海、河南、甘肃省政府和国家电网公司在北京签署四方合作协议。10余天后,青豫直流工程就在青豫两地同时开工。那天,塔拉滩上冰封雪飘,寒风凛冽,青南换流站站长李斌善心里却很火热,“依托远距离、大容量特高压输电技术,可以让青电人驶上‘高速路’——只用0.00526秒,就可以把青海的绿色能源输入1500多公里之外的河南;一秒的输电量就足够一个家庭使用两年。”

“电能汇集到换流站后,交流电变直流电,同时升高电压。”李斌善手指向换流站的“心脏”——换流变压器。变压器另一侧是负责交流变直流的换流阀,这里很安静,只有电流通过时发出的嗡嗡声。

“与交流电相比,直流电输送过程中产生的损耗较小。交流输电线路需要3根线,直流输电线路只需两根,降低了建设、运行维护成本,提高了输送速度,运行也更加稳定。”李斌善说,“这符合青豫直流工程的设计初衷:让

性、环境友好性。”

“比如换流变压器的配套组装,要克服‘一远一大’两个技术难题。”李斌善说,一般情况下,换流变压器需在生产厂家内完成组装,试验再运送到换流站,但国内换流变压器生产厂家主要集中在东部地区。同时,高原气压低,可能会导致散热困难、外绝缘性能降低等问题,这就要求设计尺寸更大的换流变压器。

为解决“远”的问题,国家电网公司决定采用现场组装技术,外地购买零件,西宁市组装,再通过公路运输至塔拉滩。“由于设备巨大,我们在国家电网青海省电力公司西宁检修基地建设了特高压换流变压器组装厂房。”李斌善说。

“大”的问题解决难度更大。“设计尺寸更大的换流变压器,意味着很多零部件需要重新设计。”国家电网青海省电力公司电力科学研究院党委书记张节谭带我们走进组装厂房附近的高海拔高压实验室高压试验大厅,“从工程设计阶段开始,研究人员便针对高原环境特点,从变压器外部绝缘、耐压强度、材料选用等多个方面进行考量和设

计,通过技术手段解决相关问题。”

在高达60余米的试验大厅,张节谭介绍了这里的几个大型检测设备:一个是方形的变压器温升试验装置,是变压器的“体温计”;旁边是数十米高的冲击电压发生器,又被称作“人工打雷器”,可瞬间产生电压等级近乎雷击的电流;还有换流变压器局部放电试验系统,可以给变压器做“心电图”……在这里,研究人员开展了高海拔环境下±800千伏特高压换流阀厅空气净距试验等几十项试验,所有换流变压器均顺利完成设计、通过检测。

“变压器线圈等关键设备要经过‘浸油’处理,这层‘保护膜’不仅可以提高绝缘介质系数,还能提升设备的耐腐蚀能力。但在高原低气压条件下,设备‘浸油’速度慢,花费时间要比平原多几倍。”为此,张节谭团队开发了加压“浸油”工艺,在保证质量的前提下通过特殊加压手段提升了速度,“节约下来的时间对我们加快项目进度有很大帮助。”

2020年8月,首台±800千伏高端换流变压器整套出厂试验顺利完成。

建设绿色工程 秉持工匠精神,科学施工、安全施工,绿色理念贯穿工程建设全过程

2020年初,青豫直流工程首台低端换流变压器刚刚运抵青南换流站工地,新冠肺炎疫情突如其来,施工进度因此中断。复工后,如何科学施工、安全施工,确保项目按期投运?青海送变电工程公司变电施工分公司副经理吴建平那会儿来到塔拉滩支援青南换流站建设,直到项目正式投产前没有回过一趟家。

身材瘦高的吴建平,皮肤晒得黝黑。他和团队负责于换流站右侧蓝色厂房的气体绝缘组合电器设备的安装、调试。“它好比整座换流站的‘窗口’,绿色电能都要先到这里‘报到’,再流向换流站各处。”

设备由6根直径约1米、长700多

米的套管排列组成。“管壁仅有几厘米厚,管内正中是直径15厘米的铜线,运行电压达到750千伏,套管内的六氟化硫气体是良好的绝缘材料。”吴建平说,整套设备的安装,对精密度、防尘级别要求极高,套管内不能有一粒灰尘,否则就会影响绝缘效果,造成局部放电,影响设备安全。

搭建围栏、铺设防尘网、设置风淋室……那段时间,吴建平和同事们采取各种办法,确保套管内一尘不染。最终,设备一次性通过测试,吴建平高兴得当场跳了起来。

工程建设过程中,精细的施工作业还有很多。“青海境内两个标段200多公里长的线路需要验收和调试,线路不长,但所处地段海拔高、环境恶劣,整套设备的安装,对精密度、防尘级别要求极高,套管内不能有一粒灰尘,否则就会影响绝缘效果,造成局部放电,影响设备安全。”

“当时的情况是,施工完一段就验收一段。每一颗螺丝我们都用扳手拧过,每一寸导线都仔细检查过。”那段经历,翁钢至今难忘。

最多的一次,翁钢所在的检修班一天内验收了48座输电塔。“在平均海拔3000多米的高原工地上,上上下下48回,每回都要爬上爬下几十米,每回都要全面巡检。”翁钢说,“为了把青海的绿色电能送出去,这些付出,值!”

既要科学施工,更要绿色施工。“将绿色电能输送通道建成绿色工程”是广大施工人员的共同心愿。

施工直工程线路三成的塔位需要架设在高原沼泽地带,“午后起大风、夜来风雪袭”是家常便饭,工程建设难度大。2020年元宵节刚过,施工队伍就来到海南藏族自治州贵南县,驻扎在了这里的沼泽地带。

程车辆容易碾压道路、破坏植被,施工队就用骡子运输工程设备、器件,最大程度减少环境损害;在山顶修建输电塔时,提前架设索道,几吨重的钢材从空中运上山,避免山路运输拖拽山上的树木、植被;带着设备、器械上下山一次,难免会折断树枝、损坏草皮,为此施工章程规定山上施工作业必须一次性完成,工程师们因此往往在山上住就是一个星期……

“我们在施工过程中没有发生一起环境污染和破坏事件。”张彦斌说。

发挥综合效益 青电入豫填补了当地用电缺口,加快推动绿色低碳发展

下高原,入中原,出河南驻马店市上蔡县城东行约40公里,抵达青豫直流工程受端站——豫南换流站。

“90后”金明辉负责豫南换流站核心设备换流阀的运行维护。自打两年前驻扎到这里,他一次也没有回过辽宁老家。“新建投运的输电枢纽,离不开人。”他和数十名同事全部吃住在换流站,宿舍门外停着一排电动滑板车,“换流站区域面积540亩,哪里有故障,就骑上电动滑板车,争取第一时间赶到现场抢修。”

跟着金明辉走进全站安全防护最严密的换流阀机组,6个硕大的阀塔、720只嗡嗡作响的核心元件晶闸管管架夜不停运转,将传输过来的直流电转换回交流电,并入华中电网。

工程终点,为何落在上蔡县?“完善电网布局,提升供电可靠性。”豫南换流站站长常东旭指着两张电网布局示意图,解答了我们的疑问:

第一张图,河南省内500千伏电力网架基本形成,恰似一个“鼎”字形架构。可过去,驻马店等豫南地区,电网建设相对薄弱,“鼎”字缺个“右脚”。随着豫南换流站及配套电站建设投运,辐射豫南多地,这个“鼎”站稳了脚跟。

第二张图,从华中电网来看,1000千伏“日”字形环网已初具规模。“这个‘日’字右上的横折,就在驻马店。”常东旭说。

“十里八乡的群众都知道这个站,咱用的是来自青海的电。”国家电网驻马店供电公司党建工作部主任张攀说,“以前,豫南地区相对缺电,每逢迎峰度夏碰上用电高峰,个别地方就会限电。”

迎峰度夏是一关,冬天供电也压力倍增。今年1月初,受极寒天气影响,河南电网遭遇历史最高负荷。“青豫直流工程正式投运不到10天,就赶上了这次用电高峰,有效填补了供电缺口。”张攀说。

河南省海川电子玻璃有限公司生产负责人李正兰的感受更直观。海川公司位于驻马店市高新技术产业开发区,以生产新型电子玻璃为主要业务,对供电可靠性要求较高。“过去夏季用电紧张时,优先保民生,有时企业不得不限电,产能也随之压缩。”李正兰说,她也理解供电公司的难处:就这么一池水,分给公司生产用电多了,群众生活用电就会有缺口。

青电入豫,做大了驻马店供电公司的“池子”。从2020年7月15日双极低端系统先行带电投运起,到年底全面投运时,青豫直流工程已为河南输送34.1亿千瓦时。“去年夏天到现在,企业再没限过电。”李正兰说。

一组数据引起了我们的注意:今年前4个月,驻马店市PM2.5平均浓度为每立方米45微克,同比下降6.8%。这得益于当地大气污染防治、能源结构调整的持续努力。

对青豫直流工程给出的“初试成绩单”,河南省发改委副主任、能源局局长高义连赞“很不錯”。“河南煤炭资源丰富,燃煤电厂较多。青电入豫,解了我们的用电之渴,也有力促进加快绿色低碳发展。”

高义给我们算了笔账:青豫直流工程,按照满负荷运行每年400亿千瓦时的设计输电量,约占到河南省年用电量的1/8。从生态效益衡量,相当于替代原煤1800万吨,减排烟尘1.4万吨、二氧化硫9万吨、氮氧化物9.4万吨、二氧化碳2960万吨。(本报记者毕京津参与采写)