

进军深地，超深层钻探显能力

——访中国石油勘探开发研究院首席技术专家魏国齐

■本报记者 梁沛然

万米深地油气钻探是全球油气勘探领域的“超级工程”，钻井工程安全风险控制难度大，犹如大卡车在两根钢丝绳上行驶。近日，肩负着科学探索与油气发现两大任务的中国石油深地塔科1井在新疆塔里木油田开钻。

探索万米深井，如何解决难题和突破技术瓶颈？是否有自主研发的“利器”帮助我们持续向“下”探索？勘探开发深地油气资源又有哪些重要意义？《中国能源报》记者就此专访了中国石油勘探开发研究院首席技术专家魏国齐，他为我们揭开了万米深井钻探的“冰山一角”。

■肩负科学探索和油气发现任务

中国能源报：为什么选择在塔里木盆地做万米深井的探索？

魏国齐：万米深地油气科探目标评价优选，是立足我国含油气盆地地质特征，按照地质条件有利、工程实施可行、资源规模有效、地震资料可靠的原则，逐级评价优选盆地、领域、区带和目标，确保万米科探井高质量部署实施。从油气地质条件来看，塔里木盆地万米深地发育大面积烃源岩，规模储集体和区域盖层，超深层勘探领域广，具备万米深井探索的地质基础；从工程实施来看，塔里木盆地地温梯度低，工程实施可行；从资源规模来看，塔里木盆地超深层碳酸盐岩多层系面积38万平方公里，资源量约93亿吨油当量，天然气资源量3.2万亿立方米，石油10亿吨，油气当量35亿吨，井点所在的圈闭面积和资源量都很大；从地震资料来看，万米深井探索目标落实可靠。

此外，塔里木盆地超深层探明油气储量当量19.7亿吨，2022年油田超深地油气产量当量1806万吨，已建成我国最大超深油气生产基地，近三年完成8000米以深井19口，基本形成了9000米钻完井、试油改造、测井等工程配套技术，为万米钻探提供基础。

中国能源报：作为万米深井领域的“开山之作”，我们的预期目标是什么？如果完成目标，意味着什么？

魏国齐：这项工程肩负着科学探索和



魏国齐

油气发现两大任务。首先，深地塔科1井探索了万米深地地层岩石和流体物理化学特征等一系列科学问题；其次，深地塔科1井要推动地球物理、钻井装备、测试改造、工具仪器、井筒工作液等超深层工程技术装备迭代升级，实现高水平科技自立自强；第三，深地塔科1井力争在轮南-古城台缘带寒武系吾松格组、震旦系奇格布拉克组实现油气发现，形成盆地万米超深层油气重大战略接替新领域；第四，培养一支涵盖油气地质、地球物理、钻完井、储层改造、测试、测井等方面万米超深油气勘探开发的专业化技术队伍，占领全球深地探索人才高地。

深地塔科1井对获取宝贵万米深地基础地质资料，揭示震旦纪-寒武纪塔里木盆地古构造、古环境，探讨原特提斯洋演化对塔里木盆地形成演化具有重要意义，形成我国万米超深层成烃-成储-成藏油气地质理论，有力支撑我国万米超深层领域油气勘探开发。

向万米挺进，是一次检验新研制的国产钻机、耐高温高压装备工具、液体材料等钻完井工程技术、设备、材料的可靠性的机会。更有助于对突破万米深井钻完井关键技术难题，实现中国石油万米超深层工程技术核心技术、关键材料和核心装备迭代升级，提升我国万米超深层钻井、技术服务保障能力和核心竞争力。

此举还有望形成1个万亿方大气区，开辟陆上万米超深层油气重大战略接替新

领域，使我国成为全球陆上首个成功勘探开发万米超深层油气的国家。

■面临石油地质和工程技术难题

中国能源报：探索这样一口万米深井，需要面对哪些难题？

魏国齐：万米深地科探工程是一项极具挑战性的系统工程。实施深地塔科1井，面临一系列的石油地质难题和钻完井等工程技术问题。

首先，万米深地揭示的地层热演化程度超过3.0%，远大于目前生烃机理认识的2.0%成熟阶段，热液流体比中浅层更加活跃。油气资源在多地温环境下是否能生成和保存？高温高压生烃新模式如何？“超深层油气藏是否存在成藏极限，勘探深度是否存在下限”等，这些都是万米深地钻探必须面对的世界级地质难题。

其次，超深、超高温、超高压、复杂高地应力给万米超深井工程技术带来了物探、钻井、测井方面的难题，需要大吨位高精度可控震源、高灵敏度数字检波器获取高信噪比地震资料。

钻井方面，俗话说一深带万难，主要体现在三个方面。第一，对标全球13项工程难度指标系数，目前我们的万米井，高温高压、砾石厚度、盐层厚度与套数、盐水压力系数、高含硫等7项指标属世界级难题，其他指标的系数也名列前茅，钻完井综合难度全球罕见；第二，8000米以深地层信息不准，缺少精准的地层压力、岩石力学等关键数据；第三，在8000米以深的超深层寻找油气，好比站在珠穆朗玛峰顶，要看清雅鲁藏布江上的游船，难度可想而知。

测井方面，主要是测井仪器的抗超高温、超高压能力不足，油基钻井液条件下的成像测井难以实现，超高压射孔器材缺乏。现有测井仪器最高抗温200℃，万米井已经达到228℃。由于受到芯片、传感器等基础元器件材料抗温能力的限制，目前自主研发超高温测井仪器难度很大。

最后，万米井还会引发工程难题的叠加效应，如高温高压、复杂压力体系、盐层厚度与套数、复杂高地应力、有毒有害的硫

化氢气体等多因素叠加，使得难度进一步增加，加上许多机理仍然不清，甚至会出现难度的突变。

中国能源报：有哪些装备利器可以帮助我们复杂的万米地下探索？

魏国齐：我们围绕万米超深层油气科学探索领域，加快推进油气资源勘探开发（陆上）原创技术策源地建设，安排部署了相关科技攻关项目，集中力量开展研究，在深层装备科技攻关方面取得重要进展，打造了一批“国之重器”。钻井方面，新研制12000米钻机，提升能力900吨，配套900吨的顶部驱动钻井装置、3000马力的钻井泵、自动化排管系统、非平面齿PDC钻头、175MPa井口装置等“利器”。预计明年6月，15000米智能钻机将出厂，超深井钻探能力将进一步提升。

中国能源报：我们在理论和科技两方面有哪些创新，推动了探索井的实践？

魏国齐：近年来，依托国家和中国石油集团公司重大科技专项，在地质理论与工程技术两方面取得了重要创新，推动了探索井的实践。

中国石油突破了传统石油地质理论认识，初步形成了深地-超深层成烃-成储-成藏油气地质理论，奠定了万米深地油气资源基础，也为实施万米钻探提供了理论基础。

在科技方面，创新了一批超深井工程技术核心装备，为万米探索井打下了基础。当前，塔里木盆地勘探开发全面进入超深层，建成我国最大超深油气生产基地，近三年超深井钻完井技术实现多项技术突破，创造一系列先进指标。

中国能源报：若将勘探成果转变为实实在在的油气产量，我们还需要迈过哪些槛？

魏国齐：万米深地科探工程对我国来说，是开天辟地的重大工程，虽然前期对实施万米深地科探工程从理论、技术、装备做了充分的科技攻关准备，但新研制的12000米国产钻机、耐高温高压装备工具、液体材料等钻完井工程技术、设备、材料的可靠性还需实战检验。此外，万米超深层高温高压条件下，取芯工具、测井仪器将面临很大的考验。

对万米超深层领域来讲，勘探开发成

本高，只有高产稳产才能成为现实的接替领域。当然，只要万米深井顺利打成，并能取得相关岩芯等资料，即使没有发现油气层，对认识塔里木盆地震旦纪-寒武纪重大转折期古构造古环境，解决万米超深层成烃、成储、成藏等重大科学问题，特别是实现万米超深层工程技术、核心装备的升级换代，打造我国原创技术策源地，同样意义重大。

■深地、深水和深层领域大有可为

中国能源报：未来，深地乃至超深地的油气资源能否成为我国油气资源的重要组成部分？探索深地对于降低我国油气对外依存度有何积极意义？

魏国齐：经过长期的勘探开发，我国主要含油气盆地中浅层油气勘探程度已很高，深地-超深层、非常规油气、深水领域将成为未来我国油气增储上产的重点领域，已成为业界共识，深地超深层油气将是未来我国油气增储建产发展的必然方向。

毫无疑问，探索深地必将加快解放超深层规模油气储量，有利于为我国原油2亿吨保持长期稳产加快准备接替资源。据预测，至2030年深地超深层的石油和天然气产量占比分别达10%和40%以上，将有效缓解油气对外依存度，助力端牢我国能源饭碗，为稳定输送工业“血液”作出重大贡献。

中国能源报：未来，在油气勘探领域，我们面临哪些机遇？还将面临怎样的挑战？

魏国齐：作为勘探工作者，要时刻不忘探索新领域、提出新理论、发展新技术、开辟新增储区。

从发展的眼光看，未来大有可为的领域仍然广阔，包括超深层碎屑岩和基岩火山岩、超深层页岩油气、海域深水、低熟页岩油原位转化、煤炭地下气化、天然气水合物等领域，这些领域一旦取得突破将带来重大发展机遇。我们需要客观分析这些领域面临的困难与挑战，理论上，深地、深水和深层非常规油气地质和成储、成烃、成藏及富集理论认识需要加快深化创新。技术上，深地勘探和深海油气工程、超高温超高压井下工具、地下原位加热转化、地下炼厂、智能化注采、海域天然气水合物试采、超深层弱信号高精度地震、超高温高压测井与远探测井等关键核心技术需要加快自立自强。经济上，这些领域的勘探开发操作难度大、成本较高，需要发挥“大国体制”优势，统筹资源、集中力量、久久为功，加大政策和财税支持力度，加快实现经济效益开发。环境上，这些新领域勘探开发过程中会对环境造成一定的影响，需要采取有效措施对环境进行保护，使资源开发与环境保护取得平衡，实现良性发展。

新型电力系统技术创新联盟专栏 34

新型电力系统需要更多突破性装备技术

——访长高电新科技股份有限公司副总工程师邓文华

■本报记者 董梓童 苏南

开关是最常见的电力装备部件之一，也是电力系统必不可少的组成部分，起到了配套控制、保障电力系统安全稳定运行的作用。与家用普通开关不同，电力工程特别是特高压工程中的开关十分复杂，技术门槛相对较高。因此，在我国加快构建新型电力系统过程中，必须注重电力装备的升级和创新。

作为我国第一批参与特高压工程建设的企业之一，长高电新科技股份有限公司（以下简称“长高电新”）是电力装备行业的佼佼者。长高电新参与了国内绝大多数特高压工程建设，经验丰富。那么，构建新型电力系统的新目标，对电力装备提出了哪些新需求？高比例新能源并网将对电力装备发展趋势产生哪些影响？带着上述问题，《中国能源报》记者近日采访了长高电新副总工程师邓文华。

■新趋势倒逼电力装备产业升级

中国能源报：构建新型电力系统给电力装备企业带来哪些新挑战？

邓文华：我国电力系统将实现四个转变：电力系统的功能定位由服务经济社会向保障经济社会发展和引领产业升级转变；电力供给结构以化石能源发电为主体向新能源提供可靠电力支撑转变；系统形态由“源网荷”三要素向“源网荷储”四要素转变，电网多种新型技术形态并存；电力系统调控运行模式由“源随荷动”向“源网荷储多元智能互动”转变。

在新型电力系统中，新能源通过提升可靠支撑能力逐步向系统主体电源转变，大电源、大电网与分布式将兼容并举，多种电网形态将并存。同时，在新型电力系统中，不同类型机组的灵活发电技术、不同时间尺度与规模的灵活储能技术、柔性交直流等新型输电技术将广泛应用，骨干网架柔性灵活程度更高，支撑高比例新能源接入系统和外送消纳。

站在企业的角度来看，新型电力系统是一个脱胎于常规电力系统但又完全不同的电力系统，装备制造属性大幅取代了原来的资源属性，对输电、用电设备也提出了更高要求，需要更多突破性技术，这十分利好电力装备制造企业。

新型电力系统的特征将推动电力装备制造企业加速突破关键技术，及时灵活地实现产业升级及转型。由于新型电力系统架构庞大、复杂多变，基本上是多领域同时变革且相互交错，需要企业及时紧跟技术发展的前沿领域，这就存在资源投入重点和方向的

选择难题。同时，新型电力系统促进了许多新领域涌现、新概念出现，但机会稍纵即逝，需要企业具有快速反应的能力及全局思维。要破解这些难题，一方面，需要打造坚实的资本后盾，支撑技术研发的深度和广度；另一方面，需要汇聚天下英才“为我所用”，才能高屋建瓴，打造一双看透趋势“迷雾”的慧眼。

■特高压输电技术是基石

中国能源报：您如何看待特高压输电技术在构建新型电力系统中的作用，电力装备企业为此做了哪些工作？

邓文华：我国幅员辽阔，风电、光伏发电、水电等绿色低碳能源中心主要分布在西北、西南等地区，而用电负荷中心主要分布在中东部地区，因此远距离输电有极大的必要性。特高压直流输电具有长距离输电能力强、损耗小、环保、经济性高等优点，主要服务于我国西南大水电基地和西北风电、光伏发电基地的超远距离、超大容量外送。特高压交流输电在构建坚强智能电网、优化大区域统一协调等方面具有很大优势。因此，特高压输电技术是新型电力系统的坚实基础，只有构建了具有中国特色的特高压交直流电网系统，“沙戈荒”大型新能源基地、西南水电等绿色低碳能源才能源源不断支撑新型电力系统运行。

例如，在长高电新擅长的特高压及柔性输电方面，参与了国内几乎所有特高压工程建设，主要为特高压工程提供隔离开关和接地开关产品。同时，长高电新参与了国际首创的±500kV张北柔性直流电网工程，承担了该工程张北换流站和北京换流站全部柔性

直流隔离开关和接地开关研制及交货任务，突破了大电流可靠输电技术、室内设备电场仿真和控制技术、特殊工况下的瞬态电压耐受、瞬态电流耐受等多项关键技术。以室内设备电场仿真和控制技术为例，可以通过一次次仿真分析实验检验工程的新能源送出能力，对较薄弱的环节进行攻克，不断提升新能源送出能力。

目前，已建成的特高压工程外送容量远不能满足清洁能源送出需要，为了匹配新能源高比例接入需求，特高压建设将持续推进。未来，我们将积极配合国网、南网在特高压工程方面的建设需求，研发并推动高海拔、大电流、柔性化、智能化开关产品在特高压工程中应用。

■柔性化、智能化、数字化是方向

中国能源报：高比例新能源并网对电力系统灵活性的需求日益增大，电力装备企业在提升电力系统灵活性方面能够发挥哪些作用？

邓文华：未来随着新能源高比例渗透，电网将稳步向柔性化、智能化、数字化方向转型，大电网、分布式智能电网等多种新型电网技术形态将融合发展。同时，随着智能化、数字化技术广泛应用，智慧化调控运行体系将加快升级，满足分布式发电、储能、多元化负荷发展需求。

作为电力装备企业，长高电新将紧跟新型电力系统建设需要，推动产品向柔性化、智能化、数字化方向转型升级。紧跟碳达峰碳中和及新基建、新型电力系统政策，推动公司向绿色化、智能化、特高压、新能源电力开发+储能方向发展。

在绿色化方面，长高电新探索了干燥空气、真空、氮气等多种环保气体替代SF6（六氟化硫），与中国电科院、国网安徽电力公司共同研发了C4环保气体环网柜产品，将其温室效应降到SF6气体的3%，在国网安徽省电力公司取得了良好的示范应用。

智能化方面，长高电新参与了国网首批、湖南省首座智慧变电站改造项目——衡阳狮子山110kV智慧变电站改造项目建设，为该项目提供了设计、智能化组合电器、智能化开关柜、隔离开关、工程总包等一体化解决方案。

总体而言，加快构建新型电力系统给电力装备制造企业带来了巨大的发展机遇，电力设计、输变电设备制造、电力工程总包、新能源电力开发+储能等业务均有极大的市场空间。

上接1版

邹磊介绍，10年来，中国大唐投身“一带一路”能源合作成果丰硕，一个个明星能源工程赢得所在国和人民的高度赞誉。

2014年3月，柬埔寨首相洪森在菩萨变电站亲自为中国大唐投资建设的斯登沃代水电站和金边—菩萨—马德望输变电工程投产剪彩，赞扬中国大唐为柬埔寨“既修了路又造了车”，成为中资企业和柬埔寨政府友好合作的典范。自投运以来，斯登沃代水电站累计发出27亿多千瓦时清洁电量，大唐在柬埔寨电网输送超214亿千瓦时电量，推动了柬埔寨电力事业发展。在2021年10月召开的第二届“一带一路”能源部长会议上，由中国大唐开发建设的缅甸太平江一级水电站项目获得“能源国际合作最佳实践案例”。自2010年投产以来，该电站累计完成发电量超102亿千瓦时，有力解决了缅甸八莫地区长期用电难题，促进了当地经济快速发展，受到缅甸政府和人民的高度赞誉。

借力共建“一带一路”，中国企业有了更广阔的发展空间，中外企业共建合作新舞台，实现了互利共赢。印尼金光公司所购苏姆塞、肯达里和卡尔登3个清洁煤电厂被中国大唐收购以来，运营效率、安全指数显著提升，推动了东道国能源电力安全与发展，提升了当地企业的全球竞争力。

聚焦履责担当 共谱多赢篇章

在共建“一带一路”过程中，中央企业注重与沿线国家和地区携手构建“地球生命共同体”，并将践行社会责任作为风向标，为增进所在国人民福祉、促进可持续发展注入新动能。

以柬埔寨斯登沃代水电站为例，中国大唐主动将6公里的引水明渠改为地下涵洞，有效保护了当地原始森林生态，定期为河道补充生态水，维护当地生态平衡；在印尼苏拉威西省，中国大唐电厂发起附近海域“珊瑚礁修复长期生态保护计划”，并创立基金，引导当地民众树立可持续发展观念，维护海洋生态健康；印尼大唐金光电力有限公司开辟出一条基于贫困帮扶、健康防疫、医疗救助、环境保护、经济发展、文化交流、捐赠助学、技能培训、基础设施建设的企业社会责任实践之路，屡次获得印尼社会责任四星奖。

“常思大局，其去有向；常观大势，其有为力。”邹磊表示，以推动“双碳”目标实现为愿景，以保障能源电力安全供应为抓手，深化全球能源转型合作，引领气候治理国际合作，为充满不确定性能源市场注入更多确定性，应成为能源领域共建“一带一路”共识。中国大唐也将为推动“一带一路”高质量发展，加快推进全方位高水平对外开放作出更大贡献。