

# 科技铺就深部矿井安全高效开采路

## ——中国平煤神马集团创新攻关纪实

本报记者 马爱平



中国平煤神马集团总部

煤炭是我国的主体能源,我国煤炭资源中,埋深超600m的煤炭资源占我国煤炭总量的76.3%,而埋深超1000m的煤炭资源占我国煤炭总量的59.5%。随着开采深度的增加和开采强度的增大,深部开采主要面临高瓦斯、高地应力、高地温问题,特别是高瓦斯与高地应力引起的复合动力灾害,严重制约安全生产。其发生机理更加复杂,预测防治更加困难,成为制约深部煤炭资源安全高效开采的瓶颈。

中国平煤神马集团是以能源化工为主营业务,跨地区、跨行业、跨国经营的国有特大型企业集团,核心产业为煤焦、化工、新能源新材料,旗下拥有3家A股上市公司。2017年全年完成营业收入1500亿元,是河南省两家资产和营收“双千亿”企业之一。

煤炭产业是中国平煤神马集团的基础产业,年生产能力4500万吨,分布在河南省的平顶山、汝州、禹州矿区。主要开采的平顶山矿区自1952年建矿以来,已经过去了60余年,目前大部分矿井进入了深部。平顶山矿区现有14对生产矿井,其中10对矿井采深超过800米,产量占集团的70%以上,十二矿开采深度达1000米以上。

针对灾害制约,中国平煤神马集团紧紧围绕制约深部矿井安全高效的技术瓶颈,坚持自主创新与开放创新相结合,攻克了一大批深部煤炭灾害防治技术难题。

“十二五”以来,先后荣获4项国家科技进步二等奖、1项国家技术发明二等奖;连续6年获得12个省部级行业科技进步一等奖。依靠科技进步,企业技术水平位列行业的前列,逐步走出了一条深部矿井安全高效创新之路。

### 完善科技创新体系

针对传统能源化工企业科技需求,中国平煤神马集团提出了科技创新坚持“面向安全生产、面向效能提升、面向国际一流”的三个面向新模式,成功打造了“有制度、有投入、有平台、有项目、有人才”的“五有型”科技创新体系,构建了具有平煤神马集团特色的科技管理新机制。

持续加强科技创新制度建设。近年来,企业连续组织出台了10多个科技创新文件,强化科技创新流程管控,促进科技与生产紧密结合。集团科技奖励金额年均达到1000万元以上并及时兑现,2017年一次性科技奖励达到1500万元,奖励范围及力度位列行业前列,极大地调动了广大科研人员创新的积极性和主动性。

积极搭建高层次创新平台。集团“炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室”获科技部正式批准建

设并通过论证,成为全煤唯一及河南省首家炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室。企业目前已拥有5个国家研发平台,26个省部级创新平台。与浙江大学、上海交通大学、中科院等20余家高等院校、科研院所签订了科技战略合作协议,为企业推进科技成果研究与转化提供了强大的平台支撑。

足额提取使用科技研发费用。集团始终把科技投入作为战略性投入纳入企业发展规划,按主营收入的3%足额提取使用。按照“抓重点、促转型、见效快”的原则,围绕产业结构转型发展,高价值产业链延伸及影响



中国平煤神马集团科技表彰大会

煤矿安全发展的关键核心技术瓶颈难题组织立项研究。“十二五”以来,累计投入科技经费上百亿元,支持了一批重大科技攻关项目。企业先后承担国家重点研发计划、“973”、“863”、“十二五”科技支撑等国家、省部级重点科技攻关项目40余项,促进了企业生产技术水平

的不断提高。大力建设创新型人才队伍。集团坚持人才优先战略,注重提高研发人员待遇,组织评选企业杰出人才、拔尖人才,并分别给予重奖;面向海内外招聘紧缺专业博士研究生,给予年薪20万元的薪酬待遇;选拔首席技术专家,给予所在单位领导班子年薪待遇,在企业内部形成了崇尚知识、尊重人才的浓厚氛围。

### 攻克深井瓦斯治理技术瓶颈

平顶山矿区主要可采煤层具有组内近、组间远的特点,保护层开采难度大。随着矿井开采延深,深部开采要实现安全高效生产,就必须科学治理瓦斯,治得住瓦斯。近年来,中国平煤神马集团坚持应保尽保原则,具备条件区域全部实现保护层开采。在保护层开采难度大区域先后开展了极薄煤层保护层开采、单一低透区域实施高(低)位岩巷掩护掘进等区域瓦斯治理技术,并配合液态CO<sub>2</sub>相变致裂、高压脉冲旋转射流割缝

增透技术,取得了较好的效果。

一是研发实施具有自主知识产权的深部高瓦斯低渗透煤层协同开采关键技术。项目依托国家重点基础研究973计划、国家科技支撑计划、国家自然科学基金面上项目,针对深部采动空间岩体破坏及瓦斯运移规律这一科学问题,创建了深部高瓦斯低渗透煤层协同开采方法,研发了高瓦斯低渗透煤层瓦斯协同抽采技术,深入开展了高瓦斯低渗透煤层相关基础理论研究,提出了深部高瓦斯低渗透煤层工程设计方法,构建了井下采、选、抽、充、防五位一体的深部煤炭资源开采新模式,研究成

果在20余个矿井进行了推广应用。其中12个典型矿井近三年新增销售额114.68亿元,新增利润21.15亿元。二是破解单一低透性突出煤层瓦斯治理技术瓶颈。开展了底板岩巷穿层水力冲孔增透及网络高效抽采技术攻关,积极破解长期困扰平顶山东部矿区的突出煤层瓦斯抽采难、治理周期长、单进水平低等难题,为单一低透突出煤层瓦斯治理,找到了有效的技术途径。该项技术在灾害严重的东部五个矿区全面实施后,单产从5万吨提高10万吨以上,最高达到20万吨;单进水平从60米提高到150米以上,经济效益显著。为低透性突出煤层瓦斯治理提供了可靠的理论支持和有效的技术路线,促进了煤矿的安全高效生产。获2015年度国家科技进步二等奖。

针对平顶山矿区煤层赋存特点,提出采用“专用瓦斯治理巷+钻冲割”相互耦合的瓦斯治理技术,有效解决了高瓦斯突出煤层的瓦斯治理难题。项目实施以来,平煤股份公司连续七年杜绝了瓦斯事故,年抽采量已达1.5亿m<sup>3</sup>以上,年发电量4000万度以上,实现了瓦斯灾害“治得住、治得好、治得省”和瓦斯资源化利用,是煤矿瓦斯灾害治理的重大技术突破。获2016年度河南省科技进步一等奖。

三是积极开展深部矿井复合动力灾害卸压增透关

键技术研究工程实践。自主开发出流量、压力可控可调的集高效钻进、定向割缝、气水渣分离为一体的卸压增透技术。工程实践表明,瓦斯抽采钻孔数量较原方案减少约52%,煤层透气性系数提高200倍以上,单孔瓦斯抽采纯量提高35%以上,煤层瓦斯抽采达标时间缩短20-30%,实现了采面的均匀卸压与安全回采。研究成果丰富了复合动力灾害治理理论,获2016年度中国煤炭工业科学技术一等奖。

四是探索实施大采长“一面多巷”瓦斯治理技术。针对不具备保护层开采条件的单一低透突出煤层,集



全国领先的综合自动化现代化矿井——平煤股份首山一矿

团在首山一矿开展了大采长工作面“一面多巷”的瓦斯治理研究与探索。消除了煤层突出危险性,实现了合理集中生产,降低了采面万吨掘进率和瓦斯治理成本,解决了突出煤层工作面顺序开采和接替问题,使首山一矿首次实现了自2010年建成投产后的达产目标。高突头面平均月产10万吨以上;最高达22万吨/月。治理成本由180元/吨降低到87元/吨。

### 破解深井开采技术难题

平顶山矿区深部煤层赋存环境复杂,多数煤层巷道顶板强度高,易破碎风化,严重影响了巷道的掘进与支护,经常出现采掘交替的失衡。再加上煤层的厚度、角度、水害等的复杂性,单一的开采方法难以有效满足整个矿区高效开采的需要。

中国平煤神马集团以平顶山矿区深井巷道稳定性分类为基础,开展巷道快速掘进与支护、极薄煤层安全高效等技术研究,有效解决深井开采技术难题。

行业内首次实现了深井围岩结构精细探测和地应力场的长期动态监测。与中科院武汉岩土力学所合作,完成了《深部巷道破碎软弱围岩稳定性监测控制关键技术及应用》项目,项目在平煤股份一矿、五矿、十一矿开展了应用,围岩松动圈及地应力测试时间长达2

# 小芯片 成大器

## ——访灿芯创智微电子技术(北京)有限公司总裁吴汉明

张震

北方科研开发基地的建设,行业取得了跨越发展。

2000年-2010年,改善环境、跨越发展。国务院颁布“国发[2000]18号文”,中芯国际等一批先进制造企业成立,随着第二代居民身份证的开发成功与大量供货,与集成电路相关的国家重大科技01、02和03专项的实施,我国的集成电路产业技术从0.35um提升到28nm,实现了快速发展。

吴汉明说,在这四个发展阶段中,前三个阶段中产业规模提升幅度很小,直至发展到第四阶段后,在相关政策支持和几代IC人的不懈努力下,通过引进、消化、吸收、再创新,依托中国的市场,国内的大生产制造工艺技术达到了世界主流流制造的28纳米技术节点,比最先进的16纳米FinFET相差约两代。在国家重大专项支持下,产业链建设初具规模。

这份答卷是值得骄傲的。

### 实现质的飞跃在于扩大规模

“然而,摆在我们面前更残酷的事实是,我们与世界先进制造企业的技术和规模差距没有明显缩小。”吴汉明说。集成电路是一个需要持续高投入的产业,扩大规模更需要高投入。

据了解,Intel从2010年到2012年,每年资本投入分别是52亿、108亿和125亿美元。同样,三星在扩充产能上的投入也是不遗余力,三年来每年投入96亿、118亿和131亿美元。而台积电的这一数据分别为59亿、73亿和83亿美元。

为什么这些企业对于扩大规模是如此的毫不犹豫?吴汉明给出了答案:“规模将决定产业的生存质量。”

他提供了一组数据:投入1条产能3万片45/40纳米产品的300毫米硅片生产线相比投入2条月产能1.5万片的生产线,前者建厂成本可以节约25%(约10亿美元),运行成本可低40%,新一代技术转移可节省2亿美元,环保效率(排放温室气体等)可以提高约1/3。

“所以,无论从投资、运行成本以及环境保护的角度来看,规模生产是取得行业竞争胜利的优先条件,集成电路芯片制造规模的重要性是不言而喻的。”吴汉明说。

反观我国的集成电路企业,以中芯国际为例,由于受到资金能力限制,三年来总共投入15亿美元。其资本投入由2005年世界龙头企业40%降至2012年的6%。相应的,产能从2005年为世界龙头企业的1/6降至1/10,其增长远远赶不上世界产业发展速度。

“这种以产能规模为主体的竞争格局不断强化,使得我们处于起步阶段的集成电路芯片产业,像一个瘦弱的孩童,在未来的竞赛中,很容易被身强力壮的成人对手远远抛在身后。”吴汉明说。

因此,我国集成电路产业发展的首要问题是——扩大产业规模。吴汉明说,有了规模,意味着技术可以通过规模产生的效益得到支持,再在产业化中实现新技术应用;有了规模,意味着对新技术的应用推广也有

了更多的话语权,如此便形成了良性循环。

与规模直接挂钩的是资金投入。目前,我国相关部门已成立了集成电路产业基金(简称大基金)。“有了大基金,地方政府也会投资,加上市场上的自由资金,这样就能解决一部分资金的困难。”吴汉明说。

### 产业发展还面临着三大挑战

除了规模投入和资金投入,有人还这样形容集成电路制造业:投入几千亿不算大数目,并且不能指望今年投资明年就能赚钱。

“这并不是夸大其词。在残酷的现实面前,我们有必要认识集成电路制造业究竟面临怎样的挑战与困难。”吴汉明说。

首先,在战略性产业层面,吴汉明介绍,集成电路制造业属于战略性新兴产业,因此受到一些政策的限制。比如,发达国家的政府会给予制衡,不对外出售高端设备,对尖端设计工序进行保密。

我国只能选择自主研发之路,从原材料、设备、制造工艺、设计等整条产业链都要我们“自己做”。而产业特点要求芯片制造产业进入世界市场竞争,这带来了更大的挑战。“世界龙头企业在市场方面也会‘封杀’我们。”吴汉明说,具体的表现是当我们的产品投入市场后,并不容易得到市场龙头企业的认可,并面临被指控侵权的风险。这种通过知识产权大棒封杀新生企业的市场潜规则使得这个产业的发展必须建立具有抗打击能力的自主知识产权体系。

“战略性的应对方式是必须要有自主制造的装备,自己建造起一条相对完整的生产链;产业方面则需建立完善的核心知识产权和IP系统,从而更好的保护自己。”吴汉明说。

其次,在技术层面,吴汉明说,我们需要制造出“极小型和超大型”的组合。目前,集成电路工艺技术已能做到在小手指甲盖大小的面积上做出10亿个以上的晶体管,“集成电路几乎逼近制造的物理极限了。”他说。

“超大型”则体现在硅片制造上,“几百亿个晶体管在一张300毫米的硅片上同时做出来,误差不能超过纳米级,技术难度非常大,相当于太空看地球上厘米的精度。”吴汉明说。

第三,在产业链层面,吴汉明说,其涉及学科非常广泛,比如从原材料的挖矿采集、提炼,到设计,再到最后的工程制造,整个过程涵盖物理、化学、电子学、材料学等所有理工科的大学科。

这三个挑战的同时汇聚集成电路制造业成为了一个投入大且回报周期长的产业。

“这个就需要团队艰苦、持久、努力的工作,并需要大量的世界级人才集聚协同研发,而且对于结果,还并非投入了就能做出。”长期身处科研一线的吴汉明对此深有感触。

突破瓶颈需迈过三个关键“坎”

产业所面临的三大挑战可谓已经是异常严峻,再聚焦集成电路制造,其复杂和艰难程度更是呈线性上升,突破瓶颈更需迈过三个关键的“坎”。

首先,就是生产国产设备。“发展一个产业,设备是基础。”吴汉明说,在我国集成电路领域,到目前为止,90%以上的设备、材料都是进口的。这一比例在20年前是100%进口,经过了国家重大专项支持和几代科研者的努力,我国从100%进口装备和材料,拓展出了10%的国产化空间。

吴汉明说,这是很了不起的进步。

在我国集成电路制造领域还有这样一组数据:在建立芯片生产线时,有60%以上的投资都用来购买进口装备。“我国也正在做装备研发,国家重大专项02专项就专门研发工艺装备,有些成果已用于大生产线上,取得了很大进展,但是在高端装备制造上,我国还是没有跟上世界产业发展的节奏。”他说。

其次,是制造芯片。吴汉明说,在进口的装备和材料的基础上,通过上千步的物理化学过程(工艺过程),将芯片制造出来。若每一步制造的合格率是99.9%,不相关概率相加原理,最后出来的成品率趋近于零,这就要求了每一步都要达到非常高的合格率。

此外,工艺制造中最难的是光刻工艺。据悉,全球范围内,只有荷兰一家公司具备批量生产先进曝光设备的能力。光刻工艺被“垄断”,其究竟“难”在哪里?

吴汉明坦言,这里面涉及到了诸多光学和精密机械技术,光刻机的制造技术是制造业的“皇冠”,是非常难的。最新的光刻技术EUV,产业中需要的曝光能量约15mj/平方厘米,那就是每平方米上只有约十多个光子,因此需要严格控制光子个数,几个光子的误差就会造成图形边界的致命粗糙度。这无疑问对集成电路制造工艺提出了更高的控制要求,难度更是可想而知的。

“所以,在整个生产制造的上千步工艺里,都需要有一流的控制技术。其次,产业里涉及到许多的技术难点,仅攻克了两三个难点对产业帮助有限,只有全线突破,才能使产业整体实力提升。”吴汉明强调。

拥有了国产装备,具备了相应的工艺制造能力,下一步就是要把这些现有的条件进行设计。这便产生了设计“IP核”概念,也称“知识产权核”,即指某一方提供的、形式为逻辑单元、芯片设计的可重用模块。IP核通常



吴汉明主持2012中国国际半导体技术大会

3月5日上午9时,十三届全国人大一次会议在人民大会堂开幕,今年的政府工作报告提出,全面实施战略性新兴产业发展规划,加快新材料、人工智能、集成电路、生物制药、第五代移动通信等技术研发和转化,做大做强产业集群。

“振兴制造业”是目前世界上主要工业国家维持其经济发展、保护国家安全的主要措施之一。而在制造业中,集成电路制造集中体现了工业革命化的各种特征,是制造业革命的基石。

令人堪忧的是,由于我国的产业规模过小,技术发展滞后,无法满足国内市场的旺盛需求,导致我国的集成电路进口额每年大幅上升——仅在2013年上半年进口总额达到1100多亿美元,超过了原油,成为第一大进口产品,相当于铁矿石+粮食+铜+成品油四大战略物资进口的总和。

近几年,这一数字更是跃至2300亿美元。高额数字背后,不禁让人担忧,我国集成电路的发展现状究竟如何?如何能摆脱依赖进口的窘境?

日前,科技日报记者专访了灿芯创智微电子技术(北京)有限公司总裁、中芯国际集成电路制造有限公司顾问吴汉明,让他出招如何才能破解集成电路的发展之困。

### 从无到有经历四个奋进阶段

吴汉明说,在集成电路制造产业领域,我国还处于“追赶”时代。

从无到有的创业历程,可分为四个阶段:

1965年-1978年,自力更生、自我发展。1974年到1977年,我国在北京、上海和贵州接连召开了三次全国性会议,部署了以计算机和专用系统配套为目标,以开发逻辑电路为主要产品的发展思路,初步建立了集成电路工业基础及相关设备、仪器、材料的配套条件。

1978年-1990年,改革开放,“治散治乱”。这一阶段,我国引进国外二手设备,改善集成电路装备水平,在“治散治乱”和“建设南北两个基地一个点”中,以消费类整机作为配套重点,解决了彩电集成电路的国产化。1990年-2000年,重点建设,求得发展。我国以908工程、909工程为重点,以CAD为突破口,抓好科技攻关和



吴汉明(左四)和他的研发团队与中国科学院院士王元元(左三)的合影

已经通过了设计验证,设计人员以IP核为基础进行设计,可以缩短设计所需的周期。目前,我国90%以上的设计IP都是进口的。所以建立一个公共的IP设计服务平台是集成电路产业发展中不可缺少的重要环节。

“这三道‘坎’是我国芯片制造的瓶颈,产业整体需要实现基本自主可控。如果完全依靠进口,未来不可预测事情发生时,我们的产业就面临着崩盘的危险。”吴汉明不无担心地说。

### 脚踏实地逐梦中国 同舟共济未来可期

多年来,我国集成电路芯片制造的龙头企业在国家“十一五”和“十二五”的科技重大专项的持续支持下,坚持以企业为主体,以市场为导向,通过产学研结合开展产业技术研发,使得集成电路制造产业发展出了四代技术——从90纳米技术水平发展到28纳米。

吴汉明说,这有力地支持了我国IC产业链的整体发展,大幅度地提高了芯片制造技术的水平,为我国集成电路产业链上游的设计公司提供了高端的制造平台,从而逐步真正实现了“中国创造”的产业模式。

同时,基于芯片设计的核心地位,获得发展的高端芯片制造平台除了支持设计企业发展以外,还可为下游的设备和材料企业提供必要的工艺验证基础,发挥着“承上启下”的作用,为我国的集成电路产业整体发展,包括装备和材料的发展,提供了巨大的支撑。

“相信只要加大研发投入,尽快地实现研发成果大规模产业化转化,积极发展集成电路制造产业的核心支柱——芯片制造产业的规模,并依托具有中国特色的产业联盟,我国集成电路产业将进一步夯实在世界产业舞台上的地位,逐步实现集成电路芯片制造产业的‘中国梦’。”吴汉明对未来充满了憧憬。