

核电预应力锚固系统国产化 及现场施工重点和难点

李 军 朱万旭 杨 青 肖红文

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘 要:我国核电发展已有二十多年,在2008年之前,我国核电安全壳预应力施工全部采用国外预应力锚固系统。柳州欧维姆机械股份有限公司经过多年努力开发了二代改进型核电用预应力锚固系统以及第三代核电用预应力锚固系统,同时开发了配套施工设备,实现了我国核电预应力锚固系统国产化。本文全面介绍了我国国产化的核电预应力锚固系统以及在核电预应力现场施工中的重点和难点。

关键词:核电预应力锚固系统 国产化 施工

1 背景介绍

安全壳是核电站第三道安全屏障,也是最后一道安全屏障,它不仅要保证核电站内部设施的正常运转,防止各种放射性物质对外部的辐射,还要能够承受外部突发事件,如:地震、飞机撞击等对核电站的侵袭。预应力锚固系统是核安全壳结构重要的部件,除早期的一些堆型外,目前世界上建成和在建的成熟堆型,全部采用预应力锚固系统。

在福清、方家山核电站之前,我国建好和在建的核电站全部采用国外预应力锚固系统,为实现我国核电预应力产品的国产化,柳州欧维姆机械股份有限公司从2000年开始成立项目组进行专题研究,开发了适用于我国在建二代改进型核电项目的OVM15R锚固体系以及适用于我国第三代核电项目的CP锚固体系,按照FIP标准以及国内预应力锚具的相关标准要求,做了大量的试验,试验时按照核电的特殊要求,增加了试验难度,各种试验结果表明我国国产化的核电预应力锚固系统各项性能指标完全满足标准要求。

2 核电预应力锚固系统国产化

我国预应力技术起步较晚,在秦山核电一期工程时,我国预应力产品与国外同类产品相比存在一定差距。2000年后,随着我国设计、机加工、试验水平的逐步提高,我国预应力技术也迈上了一个新的台阶,我国预应力产品已在公路、铁路、桥梁、水工等多个领域大量使用,预应力

技术的发展使我国核电预应力锚固系统国产化成为了可能。目前我国二代改进型核电用预应力锚固系统、第三代核电用预应力锚固系统以及核电施工用设备实现了国产化,同时为了保证产品质量的稳定性,生产企业按要求建立了较完善的核电质保体系,建立了主要生产产品的生产流水线,实现了核电预应力锚固系统的产业化。

2.1 OVM15R系列锚固体系

OVM15R锚固体系针对我国二代改进型核电项目设计,包括竖向束预应力锚固系统、环向水平束预应力锚固系统和穹顶束预应力锚固系统。

国产化核电竖向束预应力锚固系统采用37孔锚具,整个系统由锚固部分、承压部分和灌浆部分构成,锚固部分包括37孔锚固块和专为夹持直径15.7钢绞线设计的夹片,承压部分包括承压板和喇叭口,灌浆部分包括灌浆连接器、灌浆帽和灌浆管组件。承压部分和灌浆部分除灌浆帽外都预埋在混凝土结构中。

国产化核电水平束预应力锚固系统和穹顶束预应力锚固系统均采用19孔锚具,系统由锚固部分、承压部分和灌浆部分构成,锚固部分包括19孔锚固块和夹片,承压部分包括承压板和喇叭口,灌浆部分包括灌浆帽和灌浆管组件(穹顶束预应力锚固系统灌浆部分还包括灌浆连接器)。

国产化的OVM15R核电锚固体系目前已替代国外预应力产品,已在国内外7个核电项目上使用。

2.2 CP核电预应力锚固体系

国产化CP核电预应力锚固体系是为我国第三代核电项目（采用AP1000的项目除外）开发的一种锚固体系，该体系以欧维姆公司常规成熟55孔锚具为基础，结合核电产品要求开发，主要由夹片、锚固块和锚垫板组成，结构如图1所示：

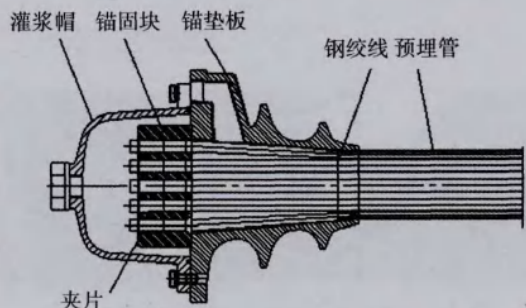


图1 CP核电预应力锚固体系结构

2.2.1 夹片

夹片采用两片式，专用于锚固 $\phi 15.7$ 的钢绞线（与OVM15R锚固体系所用夹片一致）。夹片如图2所示：

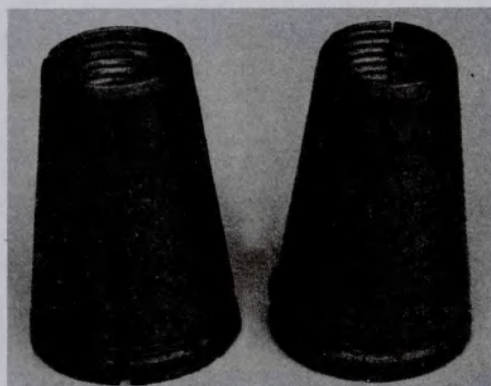


图2 夹片

2.2.2 锚固块

第三代核电在安全性上要求更高，为减小钢绞线受到的剪应力，在国产化时锚固块的孔间距进行了重新设计，减小了钢绞线折角，采用欧维姆公司成熟的锚固单元。有限元分析及试验表明，锚固块强度满足使用要求。锚固块及有限元分析如图3所示：

2.2.3 锚垫板

为方便现场灌浆，国产化CP体系的锚垫板与灌浆管设计为一体。锚垫板及有限元分析如图4：

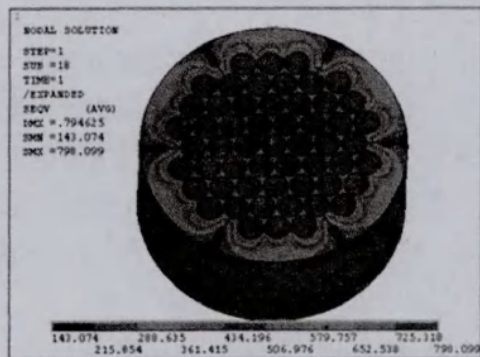


图3 锚固块及有限元分析

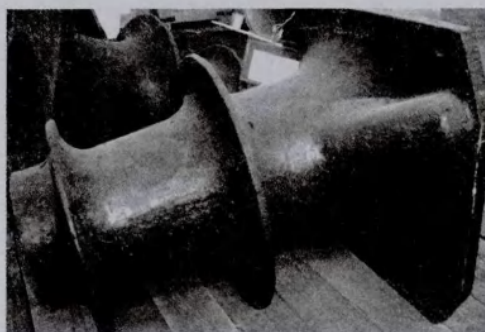
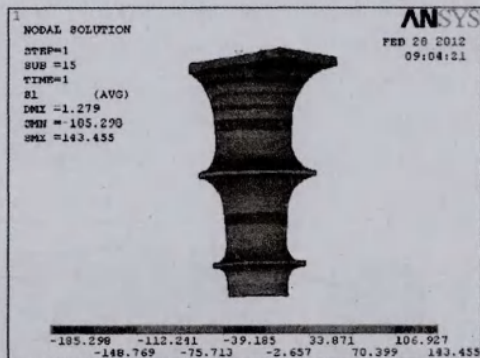


图4 锚垫板及有限元分析

2.3 施工设备

2008年以前，我国核电预应力施工设备采用国外产品，核电预应力锚固系统国产化后，我国核电预应力施工用设备也逐步实现了国产化。核电预应力施工用设备主要有张拉设备和管道成型加工设备。

2.3.1 张拉设备

预应力施工最主要的设备是张拉设备,张拉设备有千斤顶和油泵。千斤顶用于钢绞线束的张拉,油泵为千斤顶提供动力,也可为胀管机提供动力。我国预应力产品生产厂家根据核电施工具体要求,结合产品实际,开发了满足核电张拉施工的千斤顶和油泵。

2.3.1.1 YCW1000H-250/300千斤顶

YCW1000H-250/300千斤顶用于配套张拉核电站预应力壳中竖向的37孔预应力束(配套国产化OVM15R核电锚具),技术参数见表1, YCW1000H-250/300千斤顶在实际施工中如图5所示:

表1 YCW1000H-250/300千斤顶技术参数表

公称张拉力	kN	9974
公称油压	MPa	54
张拉活塞面积	m ²	1.847×10^{-1}
回程活塞面积	m ²	6.534×10^{-2}
张拉行程	mm	250/300
质量	kg	1105/1195
穿心孔径	mm	φ235
外形尺寸	mm	808 × 954 × 621/671

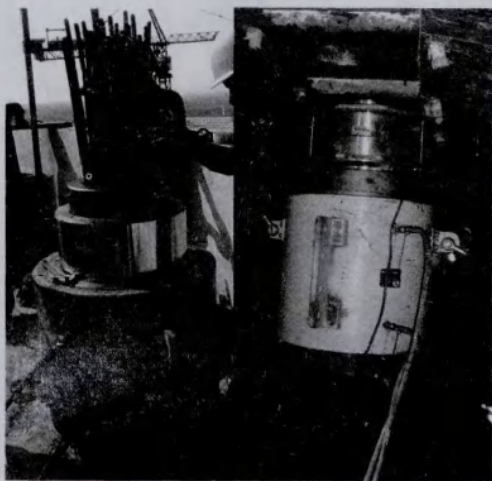


图5 YCW1000-250/300千斤顶在施工中

2.3.1.2 YCW500H-250/300千斤顶

YCW500H-250/300千斤顶用于张拉核电站预应力壳中穹顶及环向水平环向的19孔预应力束(配套国产OVM15R核电锚具),技术参数见表2, YCW500H-250/300千斤顶在实际施工中如图6所示:

表2 YCW500H-250/300千斤顶技术参数表

公称张拉力	kN	5005
公称油压	MPa	55
张拉活塞面积	m ²	9.1×10^{-2}
回程活塞面积	m ²	4.01×10^{-2}
张拉行程	mm	250/300
质量	kg	806/859
穿心孔径	mm	φ180
外形尺寸	mm	695 × 500 × 1085/1135



图6 YCW500H-250/300千斤顶在施工中

2.3.1.3 ZB10/32-4/70H全自动张拉油泵

ZB10/32-4/70H全自动张拉油泵与YCW500H-250/300和YCW1000H-250/300千斤顶配套使用,为千斤顶提供动力,在竖向束、环向水平束和穹顶束张拉时使用。技术参数见表3:

表3 ZB10/32-4/70H全自动张拉油泵技术参数表

额定压力MPa	一级	32	二级	70
额定流量L/min		10		4
电机功率KW	7.5(380V50Hz) 空机质量kg			340
油箱容积/有效容积L	180/110			外形尺寸mm 775 × 1080 × 1230

2.3.1.4 ZB3.2/18-0.5/70型全自动张拉油泵

ZB3.2/18-0.5/70型全自动张拉油泵与核管道成型加工设备中各型号胀管机、YCW110H-200迪威达钢筋张拉千斤顶及YDC300QH-200千斤顶配套使用,为胀管机、小吨位千斤顶提供动力,技术参数见表4:

表4 ZB3.2/18-0.5/70型全自动张拉油泵技术参数

额定压力MPa	一级	18	二级	70
额定流量L/min		3.2		0.5
电机功率KW	7.5(380V50Hz) 空机质量kg			200
油箱容积/有效容积L	80/45			外形尺寸mm 982 × 600 × 1015

ZB10/32-4/70H全自动张拉油泵和ZB3.2/18-0.5/70型全自动张拉油泵如图7所示:

2.3.2 管道成型加工设备

在核电预应力施工中,常用的管道成型加工

设备有胀管机、弯管机以及卷管机。

2.3.2.1 胀管机

在预埋钢管连接时,为方便两管连接,需要将预埋管的一端端头部分胀大。目前核电施工中常用预埋管有为102、140、165共三种规格,三种规格胀管机都实现了国产化,能满足各种堆型核电施工要求。端头胀大的预埋管以及胀管机如图8所示:



图7 ZB10/32-4/70H和ZB3.2/18-0.5/70型全自动张拉油泵



图8 端头胀大的预埋管及胀管机

2.3.2.2 弯管机

核电安全壳的穹顶束和竖向束预埋管中,一些钢管需要按要求弯曲一定弧度,施工中通常采用弯管机进行弯曲。常用钢管有102、140、165共三种规格。国产化弯管机规格齐全,能满足各种堆型核电施工中的弯管要求。弯管在穹顶的使用及弯管机如图9所示:



图9 弯管在穹顶的使用及弯管机

2.3.2.3 卷管机

核电安全壳施工中,环向水平束预埋管采用金属波纹管,金属波纹管用厚度为0.6mm的钢带卷制而成,金属波纹管通常采用卷管机进行卷制。卷

管机已实现了国产化,国产化卷管机满足了我国核电使用要求。正在作业的卷管机如图10所示。



图10 作业中的卷管机

除张拉设备及管道成型加工设备外,穿束机、搅拌机、灌浆泵等设备也实现了国产化,目前欧维姆公司已经能够在预应力及相关领域内为客户提供一站式服务。

2.4 核电质保体系的建立

核电项目对产品要求非常严格,产品必须100%合格,因此生产厂家必须保证产品质量的稳定,保证按同样的图纸、工艺今天做的产品和昨天做的一样,不同操作人员做的一样,为保证核电产品的稳定性,生产厂家按照核电要求,在相关人员的帮助下建立了公司核电机具质保体系,对核电产品从原材料进厂到产品出厂各环节进行控制,按照核电质量控制要求设立控制点。

核电质保体系2008年建立后,通过了多个核电项目部质保人员的监查,监查结果表明核电质保体系有效,能够满足核电产品质量控制要求,保证产品质量的稳定。国产化核电预应力锚固系统已在方家山、福清、昌江等多个核电项目使用,使用结果表明产品完全满足使用要求,质量稳定、可靠。

2.5 生产线的建立

随着核电项目的增加,我国对核电预应力锚固系统的需求越来越多,为了满足我国核电市场的需求,将核电预应力锚固系统产业化,我国核电预应力锚固系统生产厂家建立了核电预应力系统主要产品生产线,确保产能能够满足多个核电项目同时供货的要求。夹片生产线如图11所示。

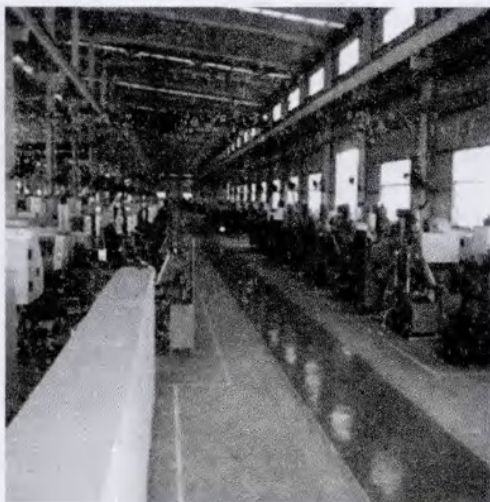


图11 夹片生产线

3 现场施工重点和难点

我国核电预应力锚固系统2008年实现国产化,国产化的OVM15R核电锚固系统已在浙江方家山、福建福清一期和二期、海南昌江、福建宁德、江苏田湾以及巴基斯坦恰希玛核电工程使用,其中浙江方家山核电工程、福建福清核电一期工程、海南昌江核电工程已完成了预应力施工,福建福清核电二期、福建宁德核电工程正在进行张拉施工,从现场施工过程及结果看,国产化的核电预应力锚固系统及相关设备完全能够满足我国核电工程使用要求。

预应力施工的本质是力的施加与保持,因此现场施工的重点就是将力正常的施加到设计张拉力并将力保持在结构中。

3.1 力的施加

核电预应力施工中,预应力的施加是通过工具夹片夹紧钢绞线随千斤顶活塞移动对钢绞线的拉伸实现的,在施加力的过程中,钢绞线、工具锚板和工具夹片直接影响预应力施加的结果,在施加力的过程中排除影响预应力施加的各种隐患是施工重点。

3.1.1 钢绞线

钢绞线在施加力过程中是主要承力件,刮伤、打绞、受力不均都会影响其受力,留下事故隐患。

钢绞线上有刮伤之处,张拉时该处应力集中,未到设计力时钢绞线将从刮伤处剪断,影响力的正常施加。图12是某核电项目施工现场喇叭口与预埋钢管的交接处,交接处不平整,张拉时外圈钢绞线通过此处会被刮伤。

为避免钢绞线在施工过程中被刮伤,留下事故隐患,施工单位穿钢绞线前应仔细检查喇叭口与预埋钢管交接处是否平整,将不平整之处打磨平整后再穿束。钢绞线在穿束过程中应避免与尖锐物品接触,穿钢绞线时套在端部的导向套头部应是圆滑的,不能是尖锐的。



图12 喇叭口与预埋钢管的交接处

钢绞线在锚固块和工具锚板之间应该是平顺的,张拉时这部分钢绞线只受拉力,如果钢绞线打绞则还要相互受剪力,未达到张拉力时打绞钢绞线将提前剪断,影响预应力的施加。为解决钢绞线在锚固块与工具锚之间打绞的问题,建议采用导向板,导向板在施工中使用见图13。



图13 导向板安装

导向板孔的排布与限位板一致,导向板外径比千斤顶内孔小,导向板与限位板同时安装,安装好后将导向板拉至钢绞线束端部固定,再装千斤顶,用钢筋将钢绞线位置固定后取出导向板,安装工具锚板,保证钢绞线在锚固块与工具锚板之间平顺,不打绞(如图14)。

核电预应力施工用钢绞线束由多根钢绞线组成,张拉力按整束平均每根受力计算,受力不均匀时,同一束中虽整体达到设计张拉力,但有些钢绞线已远超过单根平均力,有些还远低于单根平均力,在张拉过程中受力大的钢绞线可能会出现断丝,影响张拉的顺利进行。

钢绞线受力不均主要表现在穿束过程中,钢绞线较长,穿束后在孔道中每根松紧程度不一致,张拉时松的受力小,紧的受力大。解决钢绞线受力不均,较好的办法是在整体张拉前先用单根预紧千斤顶将每根钢绞线分别张拉到一定力,受力均匀后再整体张拉。竖向束上端用单根预紧千斤顶进行单根预紧(见图15)。



图14 工具锚板的安装



图15 钢绞线单根预紧

3.1.2 工具锚板

工具锚板锥孔经过精加工,精度高,敲打、撞击易引起锥孔变形,影响与工具夹片的配合,在施加力时易出现滑丝情况,影响力的施加。在搬运及施工过程中,应避免敲打、撞击工具锚板。

工具锚板需反复使用,锥孔生锈也会影响与工具夹片的配合,因此工具锚板超过两天不使用时应在锥孔中涂抹退锚灵防锈。工具锚板在使用前须将锥孔内异物清理干净,以免影响其与工具夹片的配合。

3.1.3 工具夹片

工具夹片是可以反复使用的夹片,对力的施加非常关键,润滑不足、螺牙损坏、开裂等都会影响力的施加,因此,要求每束钢绞线张拉前工具夹片外锥面涂抹退锚灵;无论何时工具夹片不能直接放在地面,以免沾上尘土等异物;使用过的工具夹片超过两天不使用应浸在机械油或润滑油中防锈;安装工具夹片时应检查是否有开裂、螺牙损坏,如有须及时更换。

3.2 力的保持

张拉力达到设计要求后放张,在放张过程中力从工具锚板和工具夹片转移到了锚固块和夹片,锚固块和夹片在力的保持过程中起关键作用。

3.2.1 锚固块

锚固块锥孔经过精加工,精度高,敲打、撞击易引起锥孔变形,影响其与夹片的配合,在放张过程中会出现滑丝情况,影响力的保持。在搬运及施工过程中,应避免敲打、撞击锚固块。

锚固块锥孔中异物会影响与夹片的配合,影响力的保持,锚固块使用前应将锥孔内异物清除干净。

3.2.2 夹片

夹片不能反复使用,使用时将夹片从包装纸中取出,保持表面油脂,表面包装纸及其他异物应清除干净。锚固块、夹片安装完检查合格后,为避免异物进入夹片及锥孔缝隙,应尽量当天张拉完毕。

3.3 施工难点

我国核电预应力锚固系统在现场施工中的难点主要有钢绞线穿束和施工监控。

3.3.1 穿束

我国二代改进型核电安全壳预应力施工中,钢绞线用穿束机单根穿,每束的最后几根特别难穿,尤其是经过设备闸门等弯曲弧度大的孔道时,一根钢绞线要多次才能穿过。单根穿无法避免钢绞线在孔道内打绞。钢绞线打绞使其受力复杂,除受拉力外还受钢绞线之间的挤压,在张拉力接近设计力时存在断丝隐患,因此应尽量避免孔道内钢绞线打绞,绝对避免钢绞线在锚固块与工具锚板之间打绞。

3.3.2 施工监控

目前国内核电预应力施工时,油表读数和钢绞线伸长值都是人工报数,监控人员在现场时可

以复核、检查, 监控人员不在现场时记录数据是否可靠无法核实, 只能相信记录数据, 同时人工测量数据也存在一定误差。

为降低人工测量误差, 保证记录数据可靠, 建议采用预应力智能张拉系统。预应力智能张拉系统通过PLC(或计算机)控制张拉油泵和千斤顶, 利用测力传感器和位移传感器的测量数据反馈, 实现预应力同步和精确张拉, 同时对张拉过程数据进行储存, 可随时调看历史数据, 消除人为因素干扰, 能有效地保证预应力张拉施工质量。预应力智能张拉系统主要包括智能张拉油泵、智能千斤顶两大组件, 可实现多束预应力筋同步对称张拉。预应力智能张拉系统如图16所示:

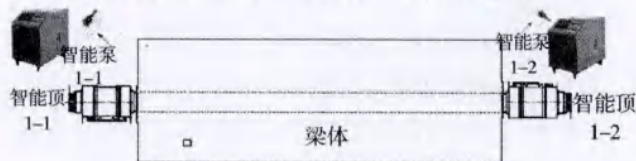


图16 预应力智能张拉系统

预应力智能张拉系统实现了张拉过程自动化控制, 不受人为因素影响。张拉数据可实时存储

于U盘, 或直接打印, 也可采用远程监控方式, 便于对预应力张拉施工进行质量控制和管理, 可解决施工监控的难点。

4 结论

二代改进型核电用国产化预应力锚固系统已在多个核电项目成功运用, 第三代核电用CP锚固体系已经实现国产化并通过各项试验, 核电预应力施工用张拉设备及管道成型加工设备也实现国产化并在多个核电项目使用, 使用结果表明国产化核电预应力锚固系统及施工设备满足我国核电使用要求, 施工方法可行, 能够达到设计要求。同时由于施工人员素质参差不齐, 为进一步提高工程质量, 降低风险, 消除隐患, 施工单位应对施工人员进行认真培训, 使施工人员掌握操作要领, 在施工时严格按照施工要求进行, 认真对待施工重点和难点, 保证工程质量。

参考文献

- [1] 李军, 胡胜光, 朱万旭, 杨倍铸. 《欧维姆核电预应力锚固系统在方家山核电的运用》. 《预应力技术》2012年第3期
- [2] 宋玉普. 《预应力混凝土特种结构》. 机械工业出版社. 2008年4月

信息视窗

欧维姆荣膺2013国家技术创新示范企业

日前, 国家工业和信息化部、财政部公布了2013年国家技术创新示范企业名单, 柳工欧维姆公司凭借多年在技术创新方面的突出表现榜上有名, 是广西今年唯一一家上榜企业, 也是国内预应力行业唯一一家上榜企业。

今年6月, 国家为进一步认真贯彻实施创新驱动发展战略, 工业和信息化部组织开展推荐认定工作。认定要求包括具有企业核心竞争能力、领先地位、创新能力、研发投入、行业带动作用 and 自主品牌等六大基本标准, 企业需掌握必要的核心技术并具有自主知识产权, 整体技术水平在同行业居于领先地位。

一直以来, 欧维姆公司深知创新是企业生存和发展的灵魂, 坚持秉承科技创新是企业核心竞争力的理念, 打造自主创新企业, 致力于由欧维姆制造向欧维姆创造转变, 大力推进技术创新体系能力建设, 强化技术创新战略规划, 通过实施一系列技术创新举措, 取得了丰硕的成果。近3

年(2010至2012年)来, 公司共承担国家、区、市、公司级项目64项, 累计获授权发明专利23项, 实用新型专利55项, 外观专利1项, 软件著作权3项; 主持制定国标4项、行标2项, 参与制定国标、行标16项; 20项科技成果获区、市奖项。欧维姆公司坚持技术领先的原则, 走开放式自主集成创新道路, 并在重点技术领域实现了突破。以核工业锚固体系、超低温锚固体系和ST超高应力幅拉索锚固体系、LZDJ重型步履式缆载吊机等为代表的一大批新特预应力产品, 不仅拓宽了预应力产品的应用领域, 也打破了国外的技术垄断, 有效增强了国产预应力产品在多个高端应用领域的话语权。

欧维姆此次荣膺“国家技术创新示范企业”, 是继获得国家创新型企业、国家高新技术企业、国家火炬计划高新技术企业等荣誉后, 获得的又一国家级资质认可。

(陈艺玲)