

装载机的技术瓶颈和方向性选择之辩

■ 本刊记者 | 董萌

与国内其他工程机械产品之前的技术发展路线不同，我国装载机行业技术升级已经从简单的追随、效仿国外先进技术，逐步转变为在世界领先技术基础上，通过技术创新进而研发出适合国内市场和用户的装载机技术，低成本与节能降耗的有机结合成为我们最大的骄傲。不过，即便是在当下，无论是大同小异，还是大相径庭，各种“专为满足用户需求”而推出的产品浪潮从未停止。毕竟，谁也不能总停留在当下，市场的足迹是向前方延伸，技术发展也需要根据变化的需求日益提升。那么，问题来了。在这样一个急需技术和产品来打破沉闷市场的时代节点上，究竟什么的技术路线最适合当下国内用户？什么样的产品最受用户青睐？又是什么技术将引领未来发展趋势？

特邀嘉宾

林明智 广西柳工机械股份有限公司总裁助理兼装载机研究院院长

黄鹤艇 厦门厦工机械股份有限公司工程技术研究院院长

王永 山东临工工程机械有限公司技术中心副主任、装载机研究所所长

刘良臣 业内专家



制动系统 99 : 1 的对垒

湿式制动，对于装载机行业而言，这是一个既熟悉又新鲜的词。熟悉的是，但凡一个了解工程机械产品的人都知道它，新鲜的是，这个技术在国内装载机市场应用非常少见。仅仅 1% 的市场份额，能否成为趋势的“弄潮儿”？

市场概览

2013 年，我国具有一定规模的 50 多家装载机生产企业共销售装载机超过 19 万台。其中，6t 及以上大型装载机占 1.0%，除部分产品采用干式制动系统外，其余 80% 左右均为湿式制动。5t 及以下中小型装载机产品中，采用湿式制动的主要是国内少数高端市场及出口发达地区市场产品，接近 500 台。因此，截止到 2013 年，我国装载机行业 99% 的产品

采用干式制动系统。

目前，我国装载机行业生产湿式制动装载机产品的企业不多，主要以前 10 名主导企业为主，如柳工、成工、徐工、常林、厦工、宇通重工，以及近几年新进入的三一重工等。而生产湿式制动产品最多的有柳工、成工、徐工等 3 家，代表产品包括柳工 CLG862(6t)、成工 CG932H(3t)、徐工 LW1200KN(12t)等。

《工程机械与维修》：干式和湿式制动系统各自的结构特点是什么？

刘良臣：所谓干式制动系统与湿式制动系统，是以制动器的结构形式来分的。采用钳盘式制动器的制动系统，叫干式制动系统，采用油浸式制动器的制动系统叫湿式制动系统。干式制动器结构的最大特点是每个制动器制动盘只有一片，摩擦片与制动盘组成的摩擦副之间，没有任何减磨剂，是纯粹的干摩擦。同时，该制动器分泵（制动缸）对称分布在制动盘的两边，且有多个，但每一个分泵体积都很小，提供的制动能量有限。

湿式制动器结构的最大特点是制动盘根据

需要可以有片，摩擦片与制动盘组成的摩擦副全部浸泡在油液中，形成有油膜的润滑摩擦。同时，该制动器制动缸只有一个，是整体大圆环型结构，分布在制动盘的一端，可提供足够的制动能量。

《工程机械与维修》：干式和湿式制动系统各适用于哪类型装载机？分别具有哪些优势和不足？

刘良臣：每个干式制动器制动盘只有一片，分泵接触面积也比较小，因此制动能量有限，只适合用在中小型装载机上。而湿式制动器为多片式，且制动液压缸接触面积也大得多，能



适应从小到大全系列装载机。

从结构和性能来讲，湿式制动具有较明显的优势，主要体现在4个方面：第一，寿命更长；第二，维护保养更方便；第三，适应范围更广；第四，散热效果更好。理论上讲，干式制动是敞露在空气中的，其散热效果应该比密闭的湿式制动要好。但因干式制动每个制动器只有一片制动盘散热，有时制动热来不及散发，使制动器过热而引起停机。如5t型这样吨位稍大的装载机，就出现过这种情况。

相较而言，干式制动唯一比较突出的优势便是成本较低，一般来讲，湿式制动约为干式制动系统成本的几倍甚至十几倍。

《工程机械与维修》：湿式制动维护保养更方便，是否意味着其对用户的要求会更低？

刘良臣：在正常情况下，即零部件可靠、设计制造匹配合理时，湿式制动只需按规定加油，其他不需要作任何维护保养，而干式制动在正常情况下，需要维护的地方较多：一是要清理暴露在外的制动器上的污物；二是摩擦片和分泵活塞矩形密封圈要定期更换；三是制动盘过热要停机或浇水冷却等。这时，湿式制动比干式制动维护保养更方便。但湿式制动一旦在非正常情况下出现问题，找到问题根源，以及拆装、维修、处理的难度均比干式制动要大得多。

《工程机械与维修》：从制动性能来讲，哪种制动系统更优？

刘良臣：干式和湿式制动系统在制动性能方面没有本质上的区别。但在制动能容、可靠性、使用寿命、散热性能及维护保养方便性等方面，湿式制动都优于干式制动。因此，从总体层面上看，广义的制动性能，湿式制动比干式制动更优。

《工程机械与维修》：目前，国内装载机采用干式制动系统的居多，出口机型以及外国品牌的设备大多为湿式制动系统，原因何在？

刘良臣：国内装载机采用干式制动系统的居多，其根本原因有2个方面：第一，干式制动系统结构简单、成本低廉，且制动性能及可靠性基本能满足一般市场的需求。第二，国内5t及5t以下的中小型装载机约占市场总量的99%以上，而干式制动系统最适应该型号段产品。

林明智：主要是成本、维修和维护保养、可靠性要求等方面的原因。干式制动系统部件全部国产化，一次性采购成本低，采购便捷，对维修人员的专业技术要求不高，虽需要经常维护保养，但比较适合国内市场。

湿式制动系统综合制动性能好，产品全生产周期总使用成本低。但一次性采购成本高，对维修人员专业技术要求高，较适合国内高端市场和国际（成熟）市场需求。

企业视角

柳工：目前，柳工装载机2种制动系统都有采用，其中，3~6t装载机配备有干式制动和湿式制动供用户选择；7t及以上大型装载机均采用湿式制动。这主要是根据产品的市场定位，以及目标市场用户需求、作业工况要求等来决定。

厦工：厦工装载机主要采用干式制动系统，也有XG958H（高配）、962H（高配）、XG982H等机型采用湿式制动系统。配置原则是：正常情况下，根据成本和维护的便利性通常采用干式制动；而对一些特殊工况，如井下作业或防燃爆工况，采用湿式制动；或根据客户的需求而采用湿式制动。

湿式制动系统以其优越的性能及较高的可靠性被国外工程车辆广泛采用，该系统回路简单、结构紧凑、制动迅速及易于维护，

且其制动器可在不增大径向尺寸的前提下，通过改变摩擦盘数量来调节制动力矩，实现系列化、标准化。因此从干式制动到湿式制动，是轮式工程车辆制动系统的发展趋势。

临工：临工装载机制动有干式制动和湿式制动两种配置，但以干式制动系统为主，湿式制动根据用户的需求选装，目前行业内的配置态势也是基本相同的。这主要是因为湿式制动桥及与其匹配的制动元件成本高、使用维修费用也相对较高。各大装载机主机企业都尝试开发或完善自己的湿式制动桥，由于装机量低，造成成本都很高。但总的说来，随着行业的发展，以大客户为代表的一些客户群体开始对设备可靠性、安全性有更高的要求，配备湿式制动系统的装载机需求越来越多。

液压系统 定变量能否成为“专宠”？

众所周知，定变量液压系统是我国装载机行业在降低成本又兼具节能降耗技术上的创新。其综合性能远远优于高能耗的定量液压系统，也略胜于成本高昂的全变量液压系统，但可靠性问题的短板使其迟迟不能“上位”。众多选择之下，用户更愿意为哪一个买单？

市场概览

此前，国内装载机液压系统中均采用传统的定量液压系统，国际先进装载机的液压系统为全变量负荷传感液压系统。鉴于后者表现出的操作舒适性好、作业效率高、节能效果显著，但成本高等特点，近年来，我国装载机企业纷纷对其进行技术创新和结构改进，研制出一些新的定变量或全变量液压系统。

目前，国产装载机用定变量液压系统较多的是5t型产品，但采用该系统的产品大多还处在试制与试销阶段。8t型及以上用全

变量系统较多，10~12t基本用的都是全变量系统，但产品数量极少。目前，我国装载机用定变量及全变量系统的产品不到总量的0.01%，在我国装载机行业50多家生产企业中，只有极少数企业生产少量定变量与全变量液压系统产品。当前市场上，采用定变量液压系统的装载机产品，如柳工CLG856H（5t）、厦工XG962HN（6t）、三一SYL956H1（5t）等，采用全变量液压系统的装载机产品，如柳工CLG890H（11t）、徐工LW1200KN（12t）等。

《工程机械与维修》：目前，市场上定量液压系统、定变量液压系统、全变量液压系统主要存在形式有哪些？

刘良臣：3种系统主要形式如下。

定量系统

目前，国内5t型装载机使用最广泛的定量液压系统，是由转向液压系统与工作液压系统两个分系统组合而成，且两个分系统所用的都是定量泵。各企业在使用该系统时也稍有一些变化，如早期两个分系统是各自独立的，既没有卸荷阀也没有优先阀，结构最简单；又比如有的企业认为卸荷阀作用不大，就没有用卸荷阀。另外，有的企业采用的是同轴流量放大器，没有流量放大阀（这种类型主要适合小型装载机上）。但无论怎么变，本质都是一样的。

定变量液压系统

目前，国内装载机上所采用的最典型的定变量液压系统，是由工作液压系统（先导型）、转向液压系统（全液压力型）、优先阀组成的液压系统。该系统中设有卸荷阀，转向泵和工作泵任取其一为定量泵，另一为变量泵。两者效果类似，但工作泵为变量泵时成本稍高，因此，市场上采用转向泵为变量泵的居多。定变量液压系统国外基本不用，是国内在降低成本、又降耗的特殊情况下的创新。

全变量液压系统

目前，国内外普遍采用的全变量全负荷传感液压系统的结构形式与定变量液压系统基本类似，主要不同点在工作液压系统部分。全变量系统转向泵和工作泵均为变量泵，多路阀是负荷传感阀。

《工程机械与维修》：3种液压系统分别具有哪些优势和不足？

刘良臣：从结构形式看，定量液压系统结构简单，成本低，在市场上占有绝对优势，但其能耗太高。这与时代潮流相悖，终将会被成本、能耗综合性价比更高的其他系统所取代。

定变量比定量液压系统的结构要复杂得多，其最大的优势是节能，大约可节能5%~10%。同



时,定变量液压系统操作性能好,作业效率高,这也是目前国内掀起一股研发定变量系统热潮的根本原因所在。但其成本约是定量系统的2~3倍。

全变量液压系统是这3种系统中结构最复杂的一种,成本也最高,约是定量系统的1.5~2倍以上,是定量系统的3.5~6倍以上。但全变量液压系统可实现液压功率完全自行调节,仅提供设备所需的流量和压力,可将能耗损失降到最低。节能效果是这3种系统中最好的一种,大约可节能10%~15%以上。当然,全变量液压系统也具备良好的操作性能和高作业效率。

《工程机械与维修》:从维护保养方面来讲,哪一类液压系统对用户要求较高?

刘良臣:定量液压系统的结构最简单,因此,维护保养要方便、容易得多。一是定量液压系统出现故障容易判断;二是其拆装、更换较方便;三是定量液压系统在更换、添加新油时对油液清洁度的要求也相对较低。全变量液压系统结构是最复杂的,因此,在维护保养方面对用户要求也是最高的。

黄鹤艇:定量齿轮泵对油液清洁度要求较

低。正因如此,使用时若忽略设备的定期保养,将使其处于恶劣的环境中工作。

《工程机械与维修》:就我国及大多数发展中国家市场而言,全变量液压系统的普及尚需时日。就定变量液压系统而言,要想其得到广泛推广,当前需要解决的主要问题是什么?

刘良臣:国产定变量液压系统要想在我国最广大面广的5t及以下装载机上得到广泛推广,需要解决的主要问题仍是性价比与可靠性问题。

据悉,目前企业在宣传定变量液压系统节能效果时难免有所夸大,实际节能效果还很难达到10%。这样,用户购机多付出的成本,要用相当长的时间才能从节能中收回。再有,如果选用高水平高可靠性元件,成本增加更多,选用一般元件可靠性又存在一定问题。为此,只有进一步提高国产定变量液压系统性价比与可靠性,才有可能使其得到广泛推广。

黄鹤艇:第一,提高企业制造水平,如液压系统清洁度、高压钢管质量等;第二,正确进行市场定位,做好产品推广工作;第三,加强培训和提高售后服务人员的技能水平;第四,加强销售引导力。

企业视角

柳工:鉴于市场需求和用户特点,柳工装载机对定量液压系统、定变量液压系统和全变量液压系统等不同液压系统在全系列机型上均有配置。当前,理论和试验均已证明定变量系统具有节能的潜力,但其节能效果尚需终端客户在各种工况下验证并给予肯定。

厦工:厦工推出的XG931H、XG955H、XG962H等装载机产品配置定量液压系统;以节能、高效、可靠定位的XG956HN配置了变量柱塞泵+定量叶片泵的定变量液压系统,XG956HN已进入市场推广阶段,且厦工开发了覆盖3t、5t、6t全系列定变量液压系统装载机,如XG932HN、XG955HN、XG962HN等;而XG956则配置了全变量液压系统。这些产品的推出既是满足市场和用户需求,以及国家标准要求,同时更是基于产品技术的差异化以及未来趋势而定。

随着市场、政策的导向,以及国内液压元件制造业发展,装载机液压系统将向着节能、高效、可靠、智能方向发展。虽然国内

主流装载机依然是采用定量液压系统,但行业几大主机厂正积极开发定变量或全变量液压系统,真正降低用户使用成本。

临工:临工装载机以定量液压系统为主,但在定变量液压系统方面也具有技术储备。由于变量泵的价格相对于定量泵差距还是比较大的,同时工作液压系统能量相对而言比较恒定,故定变量液压系统主要采用转向变量泵+工作定量泵的形式。从节能方面考虑,定变量和全变量液压系统是未来的发展趋势,但究竟什么时候可以得到市场的广泛推行,因成本的巨大差异还需要根据客户群体的需求而定。目前首要解决的问题是如何推动变量泵的国产化,减小与定量泵的价格差距,同时装载机主机厂的如何加强液压油品的清洁度控制、用户在涉及油品等方面维护保养时控制清洁度。

三一:三一SYL956H采用双泵合流、高压卸荷的定变量合流液压系统,提升了作业效率,降低了综合油耗。

传动系统 没有永远的“霸主”

长久以来，4大传动方式中，液力机械式传动系统“雄踞”国内外装载机传动系统之首，且地位很难被撼动。但在当今世界大力提倡节能减排的情况下，液力机械传动效率低这一“致命”弱点被时常提及。压力之下，自我完善还是退居二线？或许技术突破的方向在一定程度上左右了未来的市场格局。

市场概览

装载机传动方式主要包括机械式、液力机械式、静液压式、电力传动4种方式，其中，液力机械式传动居多。目前，国内装载机中，

纯机械传动只在微型经济型装载机上使用，静液压及电传动则鲜有采用，我国主要装载机生产企业的产品基本都采用液力机械传动。

《工程机械与维修》：机械式、液力机械式、静液压式以及电力传动的结构特点分别是什么？各具有哪些优势和不足？

刘良臣：传动系统有广义与狭义之分，广义传动系统指的是变速系统、传动轴、驱动桥等组成的一个完整的大系统，狭义传动系统是单指变速系统，该系统包括变速器与操纵控制部分，即变速操纵。一般不加特殊说明都指的是狭义传动系统，本文所谈的也是狭义传动系统，其类型是根据变速器的结构型式来分的。

机械传动

机械传动包括齿轮传动、链传动、涡轮蜗杆传动等。用于装载机的主要是齿轮传动，因此本文所讲的机械传动，全部都是指齿轮传动。

机械传动是最古老的传动型式，其基本结构是由齿轮与轴组成，最突出的优点是结构简单、成本低、传动效率高，但扭矩适应性差，基本不适应要求低速大扭矩的装载机。但装载机上无论哪一种传动也很难完全离开机械传动，基本都是与其组成组合传动来使用，因此，机械传动仍是目前装载机上离不开的最重要的传动方式之一。

液力机械传动

由液力变矩器+机械式变速器组成的液力机械传动，最能适应装载机的作业性能，且成本低，维护保养便捷。

液力变矩器基本结构是由泵轮、涡轮与导轮组成，靠油液来传递扭矩。其最大的特点是传递的扭矩随速度的变化而自动成正比变化。也正是基于这个优点，20世纪初液力变矩器的问世，便带来了装载机的一次巨大技术革命。

直到目前，液力机械传动仍是全世界装载机上用得最多、最广泛的传动型式。但其传动效率低，真正有效利用率还不到40%。在当今世界正在大力提倡节能减排的情况下，必须解决液力机械传动效率低这一致命弱点。

静液压传动

静液压传动是由液压泵驱动液压马达，进而驱动机械变速器所组成的传动系统。目前，世界上普遍使用的典型静液压传动，基本都是变量闭式液压系统。原因有2点：一是因为定量泵驱动定量马达，其变矩范围太窄，在装载机上使用效果不佳；二是由于闭式液压泵与闭式液压马达所组成的闭式液压系统，其控制系统，即变速操纵变得十分简单、容易。因此，如不特殊说明，一般所讲的静液压传动，都是指变量闭式液压系统。

从性能上来讲，静液压传动优势显著，具体表现在：第一，传动效率较高，约比液力机械传动平均要高出十几个百分点；第二，操纵控制方便、容易、舒适；第三，可实现液压制动，该制动理论上讲是无磨损的，因而减少了制动系统的维护保养，并提高了制动的可靠性；第四，可将发动机横置于主机的后尾，代替大部分配重，减轻整机质量，同时，整机后悬可缩短，开拓了驾驶员的后视野；第五，可便捷地实现电液变速操纵的电子控制，与动力分配很好地配合，从而保证在各种速度下得到尽可能大的牵引力，达到最佳的高效节能效果。静液压传动最大缺点是成本太高，大约是液力机械传动的3~4倍，同时作业适应性也不如液力机械传动。因此，直到目前为止，中国装载机上很少采用静液压传动。

《工程机械与维修》：这4种传动方式分别适合哪类型装载机？

刘良臣：机械传动适合与其他3种传动配合使用。其他3种传动本身变速变矩范围有限，必须配上机械传动变速换挡，扩大速度力矩范围，方能在装载机上使用。此外，国内1t以下的微型经济型装载机，由于可用速度产生的冲击力来完成铲装作业，而不需要低速大扭矩的情况，因此仍在用纯机械传动。这也是在我国特殊情况下的产物，国外尚未见到。

理论上讲，液力机械传动适合从小到大的所有装载机，特别适合75kW（100马力）以上的中大型装载机。但因液力机械传动效率太低，人们正在寻找一种既好用、效率又更高的传动系统来取代液力机械传动。目前，人们正在研制的取代液力机械传动的全自动变速器，所采用的就是静液压机全自动变速器。

静液压传动目前主要用在发动机功率在75kW以下的小型装载机上，也用在一些特殊市场及静液压机全自动变速器上。国外75kW以下的小型装载机，绝大多数都采用静液压传动，也有部分中大型装载机产品使用静液压传动。德国利勃海尔是世界上唯一一家只生产静液压传动装载机的企业。

电传动不适合目前国产装载机。因电传动体积庞大，只适合少数斗容量在20~100m³及以上

的超大型矿用装载机。同时，电传动价格非常昂贵，技术难度也非常高，目前，世界上只有勒图尔勒一家生产电传动超大型矿用装载机，且数量不多。

黄鹤艇：电力传动最早用于柴油机电动船舶和内燃机车领域，后又推广到大吨位矿用载重汽车和某些大型工程机械上。近年来，又出现了柴油机电力传动的叉车和牵引车等中小型起重运输车辆。但基于技术和经济性等方面的一些原因，适用于行走机械的功率电元件还没有像固定设备用的那样普及，电力传动对于大多数行走机械还仅是“未来的技术”。

《工程机械与维修》：从维护保养方面来讲，4种传动形式分别具有哪些特点？哪一类对用户要求较高？

刘良臣：电传动在维护保养方面对用户要求较高，但鉴于电传动在装载机上鲜有使用，这里不做过多提及。其他3种传动中，因静液压传动所用的闭式变量泵与马达的结构非常复杂，一旦出现故障，对一般用户来讲，基本无判断、处理能力。因此，静液压传动对用户的维护保养要求相对较高。

林明智：液力机械传动系统中液力变矩器容易过热，而静液传动系统的液压油容易被污染、管路容易发生故障；电力传动系统的故障主要集中于电力系统，相对维护成本较贵。

企业视角

柳工：目前，柳工装载机全系列产品均采用液力机械传动方式，为了回应市场的需求，在一些小吨位机型上也开始应用静液传动方式。未来，静液—机械复合传动系统将是装载机传动系统的发展趋势。该系统既能满足装载机在各种恶劣作业工况下的动力传动需求，又具有较高的传动效率的新型传动系统，还能实现无级变速功能，且便于与液压混合动力技术对接形成新一代装载机。

厦工：当前，厦工装载机主要采用液力机械传动方式，个别机型也有采用静液压传动方式，如XG902、XG904等。随着液压元件技术水平的提高，静液压传动在小功率装载机的应用将越来越广泛。在传动系统中将静压传动技术和机械式传动技术融合形成新的无级传动变速器，取代液力矩器，实现无级变速，可能成为装载机传动系统未来发展趋势。

临工：液力机械式传动是装载机中最普遍采用的一种形式，但在变速器选择上，国外以定轴式变速器为主，国内以行星式变速器居多。临工现在有行星式和定轴式变速器两种配置，以行星式为主。现在行星式变速器主要还是可靠性问题，各主机厂都在开展相关的工作，对其进行优化，以提高可靠性、减少振动噪声。定轴式变速器因可靠性好、维修保养相对方便，在一些矿山等重工况作业区域应用较多，所以，各大主机企业也在尝试开发或完善自己的定轴式变速器，提升局域市场的竞争力。静液压传动技术因其需要的传动元件以及控制元件比较昂贵，各大主机企业均未投入很大的精力进行匹配。

三一：三一SYL956H采用美国DANA转轴式电液自动变速器，车速和牵引力得到有效提升。

换挡操纵 谁来控制变速阀

装载机是循环作业机械，换挡操纵非常频繁，驾驶员劳动强度大。但手动换挡产品仍然占据市场的绝对优势，除去价格因素外，是技术不成熟？还是如汽车那般，纵然辛苦，装载机驾驶员也有喜欢体验换挡操纵的快感？

市场概览

2013年，我国装载机行业销售的超过19万台产品中，大约有16万~17万台是手动换挡，只有2万~3万台是半自动或全自动换挡。且这2万~3万台中，5t型的半自动换挡占绝大多数，其次是6t型，其他型号产品数量微乎其微。就企业而言，我国各主要装载机企业基本实现全系列生产的企业大多数都生产了5~6t中大型半自动换挡装载机；6t及以上的大型装载机，

是半自动或全自动换挡；只有7t及以上的大型装载机才有全自动换挡，也仅仅只有柳工、厦工、徐工3家，生产6种型号全自动换挡大型装载机，且仍处于试销阶段，数量很少。其中，半自动换挡装载机包括龙工CGM858(5t)、临工LG989(8t)、常林967H(6t)等；全自动换挡装载机包括柳工CLG877Ⅲ(7t)、厦工XG982H(8t)、徐工LW1200KN(12t)等。

《工程机械与维修》：手动换挡、半自动换挡、全自动换挡产品中，变速器的控制方式分别是怎样的？其结构特点分别是什么？各自具有哪些优势和不足？

刘良臣：目前，国产装载机只有手动和半自动换挡，全自动换挡产品还正在研发与试销中，真正推向市场的产品很少。国产装载机上用得最多、最广泛的典型手动和半自动换挡变速器是行星式手动换挡变速器、定轴式手动换挡变速器，以及定轴式半自动换挡变速器。

除微型装载机外，其他所有装载机都属于重型设备，为减轻操纵力，无论是手动、半自动或全自动换挡，变速器的换挡方式都是采用液压换挡，只是控制变速液压阀的方式不同。手动换挡是由机械手柄，通过机械连杆机构直接拉动变速阀的阀杆进行换挡变速。而半自动换挡变速器是由电控手柄、微电子控制器（微电脑）及连接电路来控制电液变速操纵阀，实现半自动换挡变速。主要是作业时所用的I、II挡之间、倒挡与前进挡之间，由微电脑控制，其他挡位由驾驶员转动电控手柄来变挡。有了半自动换挡，实现全自动换挡就比较方便，只要把其他手动变挡的挡位也通过电脑编程来实现即可。

变速器先进与否，主要指的是变速换挡方式。减轻定轴式手动换挡变速器操纵杆的操纵力方法有2种：一是将机械连杆机构的传动比尽量放大，二是将两根变速操纵杆尽量放长。但是这样，操纵力与操纵行程都比较大，驾驶员手臂腾空，工作持续时间长疲劳感加剧，且操纵灵活性差，作业效率大大降低。而定轴式半自动换挡变速器的电控半自动换挡操纵，驾驶员操纵电控手柄，相当于操纵电控按钮，十分灵活、方便、省力，作业效率也非常高。但半自动换挡成本是手动换挡的十几、甚至20倍以上。而全自动换挡成本会更高。这在很大程度上影响了半自动与全自动换挡在国产装载机上的广泛使用。

行星式手动换挡变速器由双涡轮变矩器与只有两个行星排的简单行星式变速器组成。变速器内有一个“超越离合器”，双涡轮变矩器的动力是通过该超越离合器传给行星式变速器。在一个作业循环内，驾驶员只需将操纵杆轻轻向前与向后各拨动一次即可，操纵力小，操纵行程短。因此，简单行星式手动换挡变速器与定轴式半自动换挡变速器相比，其换挡操纵的先进性毫不逊色。加之该变速器制造相对容易，成本低（只有后者的1/4~1/3），且易维修、

配件价格低，国内用户接受度非常高。到目前为止，我国绝大部分 4t 与 5t 型装载机，都采用的是该行星式变速器，近年来还扩大到 3t 型装载机，占据 60% 以上的市场份额。

但该行星式变速器也存在很大的不足：一是燃油效率低；二是超越离合器可靠性与寿命都比较低。因此，研发更先进、更节能、更可靠、寿命更长的新型变速器来取代该行星式变速器已刻不容缓。

《工程机械与维修》：从维护保养方面来讲，手动换挡、半自动换挡、全自动换挡产品分别具有哪些特点？哪一类对用户要求较高？

刘良臣：手动换挡除液压阀外，其他都是机械杠杆，而液压阀的结构比半自动与全自动

换挡所用的电液变速操纵阀要简单得多。因此，系统出了故障，手动换挡的产品一般用户都能自己处理。而半自动与全自动换挡产品出了故障，通常情况下，一般用户甚至专业维修商都很难找到故障源。若电液变速操纵阀出现故障就更难判断，基本都要制造商来处理。如果是微电子控制器出了问题，就只能买新件更换。

《工程机械与维修》：毋庸置疑，半自动或全自动换挡方式可以大大提高驾驶员操作舒适性，但产品价格也随之升高。这也是其未在于用户中得到普及的原因之一，除此之外，您认为还有哪些因素？

刘良臣：一是维护保养难度太大，二是维修用配件价格太高。



企业视角

柳工：柳工全系列装载机机型均可选配手动换挡、半自动换挡和全自动换挡变速器。半自动和全自动换挡产品因变速器总成主要依靠进口或合资企业生产，且对维修服务人员的专业技术要求高，无论是购买、配件还是售后服务，成本都比较高，因而现阶段市场需求并不大。在相当长一段时间内，手动换挡装载机仍会占据市场主流，但全自动换挡成为未来发展趋势是不可逆的。

厦工：手动换挡、半自动换挡和全自动换挡 3 种方式厦工装载机都有使用。其中，XG932H 等机型采用手动换挡，XG958H 半自

动和全自动方式都有采用，XG982H 采用全自动换挡方式。随着装载机向智能化方向发展，自动换挡系统将会成为发展趋势并逐步替代手动换挡。但目前行业仍面临专业维修人员缺乏、配件采购困难、服务不及时等问题。

临工：临工的变速控制型式有机械换挡和电液比例换挡两种方式。目前还是以机械式手动换挡为主，部分出口机型或一些高端机型装配电液比例换挡，随着用户对操作舒适性的要求越来越高，未来装配电液比例换挡操控系统的会越来越多，甚至会对电控换挡变速操纵系统提出需求。



刘良臣

趋势解读

全程数字液压或将撬动技术革新

目前来看,全液压湿式制动技术、定变量液压技术、半自动变速操纵技术等会有一个较大的发展。静液压传动技术及全自动变速操纵技术等,也会有一定的发展。但因这些技术对产品的性价比提升幅度不大,导致其发展受到一定限制,无法形成我国装载机技术发展的主流。长远来看,全程数字液压装载机,是今后我国装载机技术发展的方向,也将是我国装载机产品的一次技术革命。

目前来看,全液压湿式制动技术、定变量液压技术、半自动变速操纵技术等会有一个较大的发展。静液压传动技术及全自动变速操纵技术等,也会有一定的发展。但因这些技术对产品的性价比提升幅度不大,导致其发展受到一定限制,无法形成我国装载机技术发展的主流。因而,气顶油干式制动、定量组合液压系统、手动换挡及液力机械变速器,在一段时期内仍将是我国装载机技术的主流。具有这些主流技术的产品,也仍将是我国装载机行业的主导产品。

长远来看,全程数字液压装载机,是今后我国装载机技术发展的方向。

我国装载机行业已经开始研发全程数字液压装载机,目前正处在样机试制阶段。以最大面广的5t型装载机为例,当全部实现全程数字化后,整个系统只有一个数字液压变量泵、一个数字液压阀、一个数字液压控制器、一个带数字传感器的转向机构、一个数字电控手柄及几根数字液压油缸。该液压系统采用26~30MPa的高压全程数字化的全变量全负荷传感系统,非常高效、节能,操纵也十分灵活、方便、省力。从变量泵出来的油直接进入数字液压阀,再从数字液压阀直接进入数字液压油缸,管路只有原来的1/4~1/3,泵、阀也各只有一个。液压缸任何动作所需任何流量,都由控

制器通知变量泵供给,完全实现按需供给,没有溢流损失,回油损失也微乎其微。因此,整个系统节能效果超过普通的全变量全负荷传感系统。全程数字液压变量泵比普通恒压变量泵结构更简单,价格合理。缸和阀的结构同样简单,价格与之前相比略高但相差不大。唯独控制器成本稍高,但管路系统简化了许多。总体来看,全程数字液压系统比原普通定量系统成本略高,比通常的全变量全负荷传感系统成本要低许多。

液压系统实现全程数字化后,可进行传动系统的全程数字化。全程数字化传动系统,就是用开式数字液压变量泵及数字液压变量马达取代液力变矩器,与机械式变速器组成全程数字变量静液压传动系统。该系统为全自动换挡。同时,该系统为数字静液压与机械变速器的有机组合,无低效率的液力变矩器。低速大扭矩时为纯静液压,高速小扭矩时为纯机械传动,中间为静液压与机械混合传动,为此传动效率比液力机械传动和普通静液压传动都要高。

制动系统则可直接由全程数字液压阀分一路油去控制液压制动系统,技术实现难度不大。

因此,如果液压系统、传动系统、制动系统都实现了数字化,将是我国装载机液压系统的一次技术革命,同时实现了装载机结构简单、技术先进、高效节能、价格适中的一体化。■