

“厦工”工程机械节能减排技术应用及展望*

黄鹤艇

(厦门厦工机械股份有限公司, 福建 厦门 361023)

摘要:“节能降耗、绿色环保”是当今世界的两大主题,工程机械是耗能与排放大户。为了研究如何最大限度地实现工程机械的节能减排,通过对工程机械在技术层面上的节能减排技术应用现状分析,全面阐述了厦门厦工机械股份有限公司目前节能减排技术的应用情况,尤其详细描述了“厦工”压缩天然气(CNG)轮式装载机的节能减排设计。最后针对工程机械技术未来的发展趋势,对国内与国外在节能减排技术方面的差距进行了分析和展望。

关键词:节能减排;工程机械;厦门厦工机械股份有限公司(厦工);压缩天然气;轮式装载机

中图分类号:TH2;TK91

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)03-0265-05

Application and prospect of energy-saving and emission reduction technology on construction machinery in XGMA

HUANG He-ting

(Xiamen XGMA Machinery Co., Ltd., Xiamen 361023, China)

Abstract: Energy saving and environmental protection are the themes in the world today. Construction machinery consumes much energy and is the major source of emissions. In order to study how to furthest save energy and reduce emissions, based on the analysis of the state of the art at the technical level of the energy saving technology, the current energy saving and emission reduction technology were expounded, especially the application in the design of compressed natural gas (CNG) wheel loader. For the future development of construction machinery technology, the gap and prospects of the energy saving technology both at home and abroad were analyzed.

Key words: energy-saving and emission reduction; construction machinery; XGMA; compressed natural gas (CNG); wheel loader

0 引言

在全球倡导节能减排的大趋势下,作为“十二五”规划工作的重要指标,工程机械行业在能耗和排放方面面临着巨大压力。随着燃油价格不断攀升,降低燃油消耗,为用户降低使用成本,也是各生产商提高产品的市场竞争力和追求企业可持续发展的目标^[1-2]。其中,减少有害废气排放、降低噪声和振动、保证整机操作安全等措施,更是市场竞争的要点与技术和进出口贸易的门槛。工程机械节能减排内容宽泛,但主要涉及两个方面:①降低企业再生产过程中电、水、气、油的消耗和排放;②产品对使用者来说具有明显的节能和减排效果。

本研究主要在技术层面上讨论产品所涉及的节能减排技术的主要内容。

1 节能减排工程机械的现状

在产品技术层面上,工程机械的节能减排效果明显的主要途径有:①提高发动机的燃油效率;②改造传动系统的热能消耗;③发动机的负荷自动调控^[3]。在电控节能技术方面,国外电子节能控制主要围绕重要部件(发动机、变量泵、马达和各种控制阀)的控制和发动机-液压系统-负载的功率匹配两方面开展研究,主要采用分工况控制、自动怠速、发动机功率控制、变量泵功率控制、发动机-变量泵匹配控制、电子负载传感控制等多种控制方式,控制系统硬件主要采用基于

收稿日期:2012-01-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71172055);国家科技支撑计划资助项目(2011BAF11B00-01);福建省科技重大资助项目(2011H6024)

作者简介:黄鹤艇(1966-),男,福建厦门人,高级工程师,主要从事工程机械产品及技术方面的研究. E-mail:huangheting@139.com

CAN 总线的专用控制器,以确保系统的稳定性^[4-5]。在混合动力技术应用方面,主要应用于挖掘机、装载机与叉车 3 大类工程机械,若按发动机的机械能和电能的组合形式,一般分为串联式、并联式和混合式 3 种^[6-7],如 2008 年小松公司推出的 20 t 级 PC200-8 型混合动力液压挖掘机采用了并联式油电混合动力,根据测试结果,其平均油耗降低 25%左右,最大油耗降达 41%,节能降耗的效果十分明显。但由于油电混合动力技术在工程机械上的应用仍存在一些问题,例如:能量存储装置(电池)功率较小,短时间无法接受和释放较大能量;蓄电池对环境污染较为敏感,存在安全隐患;制造成本较高等。液压混合动力正是基于油电混合动力车辆的现状,提出采用电液二次调节系统作为传动方式的一种新型的混合动力^[8-9]。该技术具有功率密度大、可靠性高、容易实现正反转等优点,在工程机械行走装置的驱动系统中显示出较强的可应用性^[10-12],并引起国内外许多工程机械研究机构和生产企业的重视。目前,国内工程机械行业的各个生产企业对节能减排的研究都有各自的特点和侧重点,下面将重点叙述厦工在工程机械节能减排技术上的应用。

2 厦工工程机械节能减排技术

厦工致力于以研发节能减排技术工作为己任,在社会创造效益的同时,注重减少对环境的影响和为用户节省更多的使用成本。主要工作体现在以下 5 个方面。

2.1 液压节能技术的使用

厦工节能技术进程一直贯穿于公司发展的始终,上世纪 90 年代,由于厦工技术人员发明的液压节能专利技术的推广使用,使厦工的产品性能更优,在体现动力强劲、机动灵活、作业效率高的同时更体现出厦工产品独特的、优越的经济性。厦工专利液压系统—优先卸荷阀^[13-14]的应用,在双泵双回路液压系统中使用优先卸荷阀,实现了卸荷压力和加载压力单点控制,可自动控制转向所需流量,转向泵的输出流量可部分或全部供给工作液压系统工作,同时可根据工作液压系统的负荷自动控制合流或低压卸荷,具有较好的控制性和节能效果。采用该节能系统后,工作泵可选用小排量,节能约 20%,成本增加仅约 500 元。改变的液压元件为国产配套件,其性能及品质完全可以满足要求。

2.2 动力匹配优化

为提高产品经济性,厦工与动力机配套厂家上柴公司密切合作,对柴油机 D6114、C6121 进行多轮降油耗匹配改进设计。柴油机 D6114 动力通过对动力机配置优化,分析典型作业工况下的载荷分布频谱图,对

柴油机的进气系统和燃油系统进行匹配优化设计,使得柴油机的最经济的工况区与装载机的常用工作区域相接合,以达到降油耗的目的,经过几轮试验改进验证,节能约 15%,动力机总成成本实现无增加。柴油机 C6121 动力产品升级为上柴与 FEV 公司合作改进的产品,节能效果明显,节能约 10%。

2.3 冷却系统节能技术应用

冷却系统是工程机械产品的重要系统之一,也是消耗能源较多的地方之一,针对如何按需冷却,既可以提高产品性能,又可以降低能耗的要求,整机散热系统采用独立散热方式不失为一项较好的措施。该系统风扇采用由液压温控马达驱动方式,随冷却系统温控管理模式动态调整风扇转速,有效减少风扇消耗功率,达到节能目的,同时有利于降低产品噪音。该技术已在厦工的部分产品上应用,节能效果可以达到 10%左右。

2.4 液压变量系统的应用

目前,变量液压系统是一个比较节能的系统,变量液压系统采用变量装置,应用负荷传感技术,使机器随负荷变化需求输出适量的流量,提高发动机功率的利用率,减少液压系统功率损失,避免功率浪费,从而达到节能效果,具有较好的节能效果。但是,由于变量泵、控制阀等关键元件目前主要依赖进口,该系统在装载机上尚未得到推广应用。

2.5 新能源的开发应用

随着燃油成本的不断提高和人类环保意识的增强,新能源取代传统能源的前景广阔。目前,用于工程机械的装载机上的动力燃料主要为柴油,而柴油机排放的废气成分中包含着几种对人体和环境有害的物质。它的主要成分为:一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO₂)、碳烟颗粒物、醛类物质等。天然气属于洁净能源,主要成分是甲烷(CH₄),燃烧后的主要排放物为水蒸气,所产生的 CO、CH、NO_x 等排气污染物值远较汽油、柴油少。此外,由于天然气资源丰富,其燃烧的尾气中不含硫化物和铅,对环境污染小,燃料费用低,使用安全而得到越来越多的应用。但由于 CNG 与柴油的差异性,将压缩天然气作为燃料用于装载机还须进行一些特殊的设计。

3 厦工 CNG 轮式装载设计实例

厦工天然气轮式装载机设计的重点在燃气动力补偿、整机散热系统优化匹配、高压气瓶的合理配套布置等方面进行优化设计,具体的设计有以下几个方面:

(1) 燃气动力补偿。因天然气热值低于柴油,发动

机升功率会有所降低。天然气的理论空燃比为 10:1, 在进入发动机时, 天然气将占有约 10% 的体积空间, 导致吸入发动机的空气量减少约 10%, 进气效率下降, 从而引起动力性的下降; 天然气性质稳定, 燃烧速度慢, 点燃需要更多的能量; 与使用柴油相比, 使用 CNG 时的动力性约下降 10%~20% 左右。因此, 在选择动力功率时, 本研究选择用 206 kW 替代原来 162 kW 的动力, 给予燃气动力补偿。同时, 采用 OH 1.2 电控系统和燃料供给系统取代了原柴油机的柴油供给系统。增压器采用了带废气门的水冷增压器, 水冷增压器的使用提高了天然气发动机在高热负荷下的可靠性。电控单元根据需要控制增压器废气门的开度, 增强了对发动机的控制能力, 提高了发动机的适应性。

本研究以最大牵引力和联合工况两个特殊工况点的发动机扭矩与变矩器进行匹配, 如图 1 所示。得到理论匹配结果:

装载机在最大牵引力工况时, 输入扭矩 $T=576.1 \text{ N}\cdot\text{m}$, 转速 $n=2\ 250 \text{ r/min}$, 最大牵引力为 149 kN。装载机在联合工况时, 输入扭矩 $T=489.9 \text{ N}\cdot\text{m}$, 转速 $n=2\ 075 \text{ r/min}$, 联合工况牵引力为 127 kN。实际试验结果: 最大牵引力为 153 kN, 联合工况牵引力为 130 kN。从以上数据得知, 理论匹配和实际试验结果基本相符, 同时满足 50 装载机在最大牵引力工况和联合工况时所需的牵引力要求。因此, 本研究选择用 206 kW 替代原来 50 装载机 162 kW 的动力给予燃气动力补偿是合理的。

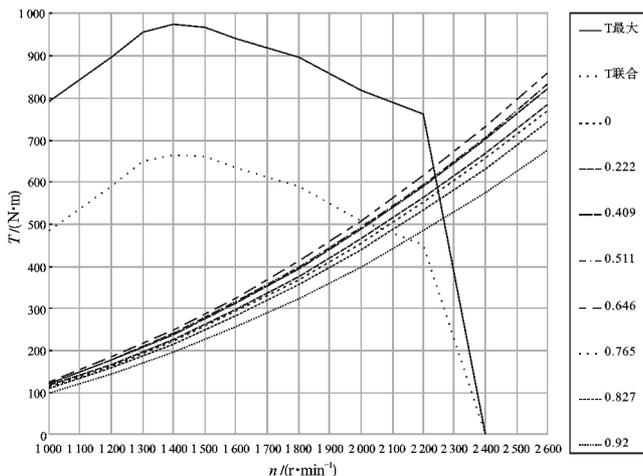


图1 发动机与变矩器匹配

整机散热系统的匹配及其设计。利用天然气动力能源, 其动力排温高, 对冷却系统要求比柴油车高 10%~15%, 因此, 需要对整机散热系统进行合理的优化匹配, 以达到整机热平衡要求。该设计采用如图 2 所示的散热器结构, 其中把散热模块分成 3 层, 因为油水的工作温度有液压油温 < 水温 < 变矩器油温的特点, 第

一层是中冷器和液压油散, 中冷器在上方, 约占 2/3, 液压油散在下方, 约占 1/3, 第二层是水箱, 第三层是变矩器油散, 以达到最佳的散热效果。

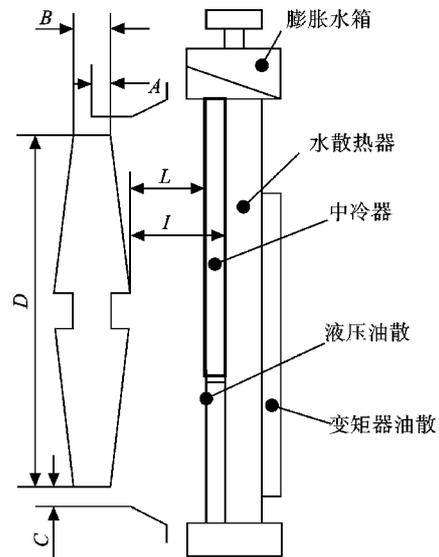


图2 散热器结构

由于是吹风风扇, 风扇伸入导风罩的距离 A 保持在风扇厚度 B 的 1/3~1/2 之间。为了获得最大的空气流量, 风扇叶尖至导风罩间隙 C 设计在 0.2%~0.3% 风扇直径 D 的范围内。为使空气流量最佳, 风扇叶尖位置按实际布置尽量远离散热芯, 通过提高风扇扫过散热器芯的面积的方式提高通过散热器芯的空气流量。最佳匹配为风扇的直径等于或稍微小于散热器芯的最小尺寸。导风罩设计成 Venturi 结构型式, 从而得到最佳的风扇效率。由于本研究采用串联的冷却方式, 将空-空中冷器放在气流的最上游, 即放在水箱上水室侧, 以使温度最低的空气流过中冷器。同时中冷器不能阻碍气流通过水箱。各个散热芯子之间的距离 > 20 mm。同时, 本研究根据各个需散热部件的散热量合理设计各个散热器的散热面积, 通过合理地匹配优化设计, 以达到整机热平衡要求。

(3) CNG 燃料供给系统。天然气燃气供给系统由高压储气瓶、高压过滤器、高压截止阀、减压阀、热交换器、燃气调温器、FMV 燃气计量阀和混合器组成。所有这些部件中只有 FMV 和混合器可以装在发动机上, 其余只能装在支架或者车架上, 发动机系统控制图如图 3 所示。

充气站将压缩天然气, 通过充气阀充入贮气瓶至 20 MPa。使用天然气作燃料时, 操作者手动打开气瓶气阀, 打开气瓶面板开关。贮气瓶内的 20 MPa 高压天然气通过高压管路进入减压调节器减压, 再通过低压管路、动力阀进入混合器, 并与经空气滤清器进入的空气混合, 经化油器通道进入发动机气缸燃烧。压缩

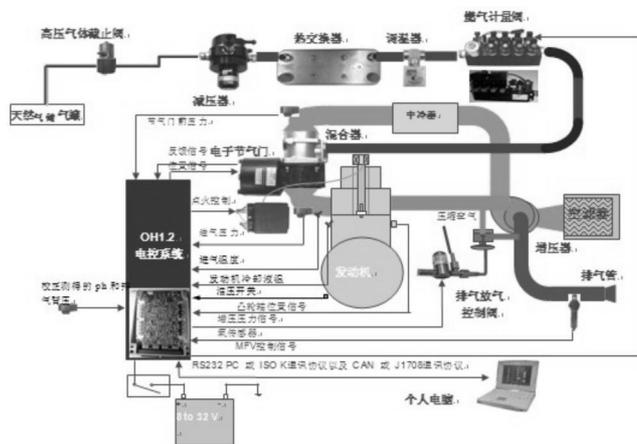


图3 厦工新能源 CNG 发动机控制系统

天然气由额定进气压力 20 MPa 减为负压,其真空度为 49 kPa~69 kPa。减压调节器与混合器相匹配,根据发动机的各种不同工况产生不同的真空度,自动调节减压调节器的供气量,并使天然气与空气均匀混合,满足发动机不同工况的使用要求。

动力阀是一个调节天然气管道截面积的装置,可调节混合气的空燃比,使空燃比达到最佳状态。减压阀总成设有怠速电磁阀,用以供给发动机怠速用气;压缩天然气减压过程中要膨胀做功对外吸热,因此在减压阀上还应该设有利用发动机循环水的加温装置。

(4) 高压气瓶的数量、布置及其管路控制系统设计。本研究按照可利用空间和一次充气的续驶里程要求确定气瓶的数量和规格,但由于天然气在工程机械中还未有相关标准,暂时借用天然气车在汽车运用上的标准^[15]:由于 50 装载机的总质量约为 17 t,及气瓶重量增加不应超过 850 kg。一个气瓶重量约 150 kg,则选用 4 个气瓶。根据 CNG 在汽车上的运用,一个气瓶可使用约 1.5 h(在使用时一般会把其中一个气瓶关闭以便备用,快没气时再开启,然后去寻找最近的加气点去加气),则 3 个气瓶大概可用 5 h~6 h,至少可供用户使用半天时间。

本研究选用 ISO 认证的 CNG 气瓶,将气瓶集中布置,设置 3 道安全阀门,设置气瓶总成快速拆卸装置,便于用户充气 and 更换。天然气钢瓶的瓶口处安装有易熔塞和爆破片两种安保装置,当气瓶温度超过 100 ℃ 或压力超过 26 MPa 时,安保装置会自动破裂卸压;高压电磁阀上游的管路中安装手动安全阀,并且手动安全阀最多旋转 1/4 圈即能完全关闭燃气;减压阀上设有安全阀;气瓶安装时,均有防震胶垫,高压管线用橡胶管夹来紧固,管夹间距不大于 300 mm,并应在每一弯曲前、后进行卡固。因此,该系统在使用中是安全可靠的。

本研究采用人性化设计,在气瓶组盘安装气量显示面板,在驾驶室内设置气量显示表,显示表上的 5 只红绿灯显示气瓶的储气量,以便驾驶员操作时更省心。以天然气作为动力能源,其动力排温高,特别是涡轮增压器和排气管温度极高,为了保证操作使用的安全性,本研究采用隔热材料对高温部分进行隔热处理,同时在驾驶室和工具箱都配置有灭火器,增强产品使用安全性。

(5) 试验结果及特点。厦工 CNG 轮式装载机试验结果:

①通过整机的性能试验,天然气装载机在牵引力、联合工况、倾翻载荷、三项和等性能方面完全达到装载机所需的性能要求。

②噪声测试结果为 82.9 dB(工程机械要求 ≤ 116 dB),烟度(光吸收系数 m^{-1})几乎为 0。

③在诸多性能方面,试验结果优于柴油装载机。

天然气装载机在满足整机性能要求前提下,具有以下特点:

① CNG 动力燃料使用成本约比燃油车低 50%;

②维修成本只有常规燃油车的 50%,发动机运行平稳,噪声低,天然气对发动机润滑油的稀释作用小,燃烧性能好,气缸积碳少,不需经常更换润滑油和火花塞,可延长发动机的使用寿命;

③噪声比燃油车约低 40%;

④符合 Tier II 排放要求,天然气成分以甲烷为主,燃烧后的主要排放物为水蒸气,所产生的 CO、CH、NO_x 等排气污染物值远较汽油、柴油少,尾气中不含硫化物和铅,二氧化碳排放较低,颗粒排放几乎为零;

⑤由于天然气是气态与空气混合,低温启动性能好;

⑥安全可靠,天然气燃点高达 650 ℃ 以上,不易点燃;辛烷值高,抗爆性能好,爆炸极限仅为 5%~15%,释放过程是一个吸热过程,当压缩天然气从容器或管路中泄出时,泄孔周围会迅速形成一个低温区,使天然气燃烧困难。因此,与柴油相比更为安全。

4 与国外节能减排技术差距分析及展望

工程机械技术发展方向中节能减排是今后发展的主要方向之一^[16]。但国内节能减排技术与国际先进技术仍存在差距。

(1) 柴油机总体技术落后于国外,许多国外已经普遍采用的技术,如 ATAAC(风冷式后冷却系统)、电子控制与机械驱动的喷射系统(EUI)、共轨燃料系统

等,在我国仍处于初级阶段。国外发动机已广泛采用第三代的电喷系统,即共轨燃油喷射系统(Common-rail fuel system),满足欧IV排放标准的环保动力,而国产发动机仍在为满足 Euro II 排放标准而苦苦探索。

(2)在变速器上,欧美等发达国家的工程变速器均采用系列化、通用化设计。如美国的卡特彼勒公司和丹纳(Dana)公司及德国的ZF公司均生产系列化、通用化程度很高的变速器产品。同一系列和不同系列之间通过增减离合器、摩擦片数及不同的齿轮搭配来获得不同档位和速比,适用不同功率的变速器。变速器的操纵系统已从手动(机液)控制系统发展到电液控制或微机控制系统。如ZF公司的WG系列变速器普遍采用了电液控制,根据不同用户的要求,还可以选用微处理器控制的半自动和自动换挡控制系统。

(3)在液压元件与系统上,其差距主要体现在系统等级和电控化两方面。以装载机为例,国外系统压力基本为25 MPa~30 MPa,而国内为15 MPa~20 MPa。国外工程机械已广泛采用负荷传感、电液比例、机电信一体化等技术,大量配套使用伺服阀、比例阀、比例伺服阀等液压件产品,而这些技术和配套产品国内仍处于起步阶段。

(4)国外变量柱塞泵、变量马达与电子技术结合的变量控制已经得到广泛应用。目前,国外柱塞泵的变量形式包括手动伺服、手轮控制、恒功率控制、恒压变量、负荷传感变量、恒功率—恒压变量、计算机控制比例变量等多种,以适应各类主机的不同需求,达到现代工程机械操作舒适和节能的目的,而国内相关变量控制节能技术还处于起步阶段。国外在电液控制作业能量回收技术上已广泛应用,而国内还较少采用。

(5)国外已将传感技术、自动控制技术、位置识别诱导技术、网络技术、现场总成技术广泛地应用于产品,自动化水平高,如CAT980G装载机内部装有3个智能型控制器,分别实现工作装置的电液比例控制、电控变速器控制及故障检测与诊断功能,德国宝马公司压路机装有智能型控制器,该控制器可根据物料的密实度变化自动选择最佳振幅及振幅方向。

(6)国产控制器可靠性不高、抗干扰能力差,平均无故障时间仅是国外的1/5~1/3,国产控制器功能少,水平低,有些普遍应用的控制器的核心部分仍为进口,具有独立自主知识产权的控制器很少,对行业的影响不大,离产业化的目标相差甚远。

5 结束语

本研究在技术层面上通过对工程机械在电控节能、混合动力以及液压混合动力3个方面的节能减排技术应用的现状分析,全面阐述了厦工当前重点研究的节能减排技术:液压节能、动力匹配优化、冷却系统节能、液压变量系统和新能源的开发应用,并详细介绍了厦工CNG轮式装载机的节能减排设计实例。最后针对工程机械技术未来发展的趋势,对国内与国外在节能减排技术方面的差距进行了分析和展望。

参考文献(References):

- [1] MITCHELL L. A commentary on the energy review [J]. *Power Engineering Journal*, 2002, 16(4): 175-181.
- [2] 宋国顺. 节能减排成为工程机械发展的主旋律[J]. *工程机械文摘*, 2008(6): 2-4.
- [3] 田志成. 工程机械节能减排的方式与现状[J]. *今日工程机械*, 2010(7): 56-57.
- [4] 张军, 焦生杰, 廖晓明, 等. 电控节能技术在挖掘机中的应用[J]. *中国工程机械学报*, 2010, 8(1): 66-71.
- [5] 刘茂福, 曹显利. 工程机械电子节能控制技术研究[J]. *机床与液压*, 2011, 39(14): 100-102.
- [6] 张伊莎, 王普琰. 混合动力工程机械关键技术探讨[J]. *工程机械文摘*, 2011(4): 45-48.
- [7] 董宁宁, 殷晨波, 张子力, 等. 混合动力工程机械与氢动力发动机的研究进展[J]. *机电工程*, 2011, 28(11): 1300-1305.
- [8] 刘昕晖. 液压混合动力在工程机械节能中的应用[J]. *工程机械文摘*, 2010(6): 19-22.
- [9] 谢峰. 并联式液压混合动力车辆的动力匹配性研究[D]. 吉林: 吉林大学机械科学与工程学院, 2011.
- [10] 刘良臣. 混合动力工程机械的现状 & 展望[J]. *工程机械与维修*, 2010(1): 42-44.
- [11] 石荣玲, 赵继云, 孙辉. 液压混合动力轮式装载机节能影响因素分析与优化[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(3): 31-35.
- [12] LIN T L, WANG Q F, HU B Z, et al. Development of hybrid powered hydraulic construction machinery [J]. *Automation in Construction*, 2010, 19(1): 11-19.
- [13] 严光贤. 优先卸荷阀: 中国, 00206564.9[P]. 2000-03-13.
- [14] 严光贤. 改进型优先卸荷阀: 中国, 200920137253.8[P]. 2009-03-20.
- [15] 全国汽车维修标准化技术委员会(SAC/TC 247). GB/T 18437.1-2009 燃气汽车改装技术要求, 第1部分: 压缩天然气汽车[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [16] 黄鹤艇, 王浩伦, 侯亮. 装载机技术成熟度预测及发展趋势探讨[J]. *中国工程机械学报*, 2010, 8(3): 364-369.

[编辑: 李辉]