

# 挖掘机能耗节约技术的研究与应用

肖新桥, 陈辉剑, 尉永信

(中国安能集团第三工程局有限公司, 四川 成都 611130)

**摘要:**挖掘机的系统及附属装备随着时代的进步在不断地完善与发展,尤其是其系统朝着更加节能化、多功能化的方向发展。最初的挖掘机系统多由控制阀、定量马达和定量泵组成,而现在挖掘机系统中的定量泵已经基本被变量泵所代替,控制阀也成功实现了多功能发展。挖掘机系统的这些变化得益于其节能技术的应用,又进一步推动了节能技术的改进与完善。对目前采用的挖掘机节能技术进行了比较研究,对潜在的挖掘机节能技术应用进行了分析,具体分析了挖掘机节能技术在未来一段时间内的发展趋势及发展策略。

**关键词:**挖掘机;能耗节约;研究与应用

**中图分类号:**TV7;TV53;TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2020)增1-0040-04

## Study and Application of Energy Saving Technology for Excavators

XIAO Xinqiao, CHEN Huijian, YU Yongxin

(China Annen Group Third Engineering Bureau Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

**Abstract:** With the progress of the times, the excavator system and its auxiliary equipment are constantly improved and developed; especially the system is developing towards more energy-saving and multi-functional. The original excavator system is mainly composed of control valve, quantitative motor and fixed pump. Now, the fixed pump in excavator system has been mostly replaced by variable pump, and the control valve has successfully achieved multi-functional development. These changes of excavator system benefit from the application of energy-saving technology, and further promote the improvement and perfection of energy-saving technology. This paper makes a comparative study on the current energy-saving technology of excavator, analyzes the potential application of energy-saving technology of excavator, and specifically analyzes the development trend and development strategy of energy-saving technology of excavator in the future.

**Key words:** excavator; energy-saving; study and application

### 1 概述

目前挖掘机功能的开发已逐渐饱和,新技术开发不断遇到瓶颈<sup>[1]</sup>,挖掘机领域若要符合当下国家提倡的发展理念、在竞争市场中获得更广阔的发展空间,就必须重视对节能技术的研究。因此,许多国内外的大型挖掘机厂商都在节能技术研究方面投入了大量的时间、资金和精力,尤其是对挖掘机动力系统的研究格外重视。比较受青睐的有混合动力和新能源。除了要对一般的挖掘机进行系统改进之外,相关技术人员还设计出了液压挖掘机,液压挖掘机的系统主要为液态系统,目前还需要工作人员对液压能回收、传统流量的独立控制性等方面性能进行进一步的提升,研究并完善其多泵系统,加强控制系统的全局优化,提升

自动怠速功能。

目前对挖掘机动力系统的研究有以下进展:

(1)在回转部分应用纯电力驱动。在回转部分应用纯电机驱动就需要将主电机设置在发动机和主泵之间,主电机的作用是对发动机的功率进行平衡,使其在工作时一直处于最佳工况,燃油的消耗能够有所降低。此外,还可加装一些其他装置进行调节控制,进而降低发电机的功率。充电装置要选用超级电容,同时,超级电容中的电能驱动还可以帮助回转电机上车回转,在回转制动的过程中,回转电机起主要发电作用。同时,在发电过程中,它还可以利用回转制动的能量提高能量的利用率以达到节能的效果。当然,这种类型的挖掘机也有其缺点:成本比较高,在市场竞争中不占优势,即使是

收稿日期:2020-10-23

在发达国家,这种挖掘机也不占主流。

(2)新能源动力。对于挖掘机节能技术来说,新能源动力分为两种:一种是电动,一种是天然气动力。电动挖掘机取消了燃油系统,采用可充电的蓄电池予以代替。同时,蓄电池可以通过外置充电机进行定时充电,纯电动的挖掘机使用的是清洁能源,在能源节约上十分有效,且其还可以减少维护方面产生的费用,十分契合当下我国环保节约的发展理念;还有一部分新能源类型的挖掘机主要靠天然气提供动力,这类挖掘机一般为大功率系统且功率比较集中。而当今比较常见的天然气供气方式是压缩天然气和液化天然气,但就这两种供气方式而言,液化天然气的安全性高、动力足、续航能力强且维护成本更低,因此,液化天然气十分受各挖掘机企业的青睐;天然气动力系统的挖掘机具有较明显的自身优势,与传统的柴油机相比,天然气发动机在能源消耗上可以减少35%~40%,且其不会像柴油发动机那样总出故障,因此其维护成本也比较低。最重要的一点是:天然气发动机很少产生尾气,即使产生部分尾气也是非常洁净的,在保护环境方面比柴油机更胜一筹。

(3)混合动力系统。混合动力是指电机与油压马达进行串联后的混合动力。采用混合动力系统的挖掘机需要在主泵末端设置主电机,不仅要保证主电机、主泵以及发动机是串联的,还要采用超级电容作为储电装置。油电混合动力系统与纯电力驱动有一定的相似之处,它们都要通过主电机实现发动机之间的功率平衡,使其始终保持最佳工况。除此之外,油电混合动力系统也是通过对制动能量进行回收来不断提高能量利用率的。不过,混合动力系统可靠性更强,而且在进行回转操作时其舒适性也要强于纯电力系统。这种混合动力的挖掘机技术悠久,在今天已经发展得比较成熟,因此,其可能在今后还会有大规模的普及。<sup>[2]</sup>

## 2 挖掘机可以采用的几种节能技术

### 2.1 采用恒功率控制变量泵

目前,还有许多挖掘机的系统是通过恒功率控制变量泵,尤其是新式的液压挖掘机。也有些液压挖掘机在其系统中安装了弯轴柱塞泵和斜盘,可以满足交叉功率控制的方式。对于恒功率

控制方式来说,如果取调压力要比变量泵的输出压力高,那么,此时的变量泵起不到变量作用;当压力低于变量泵的输出压力时,变量泵才会开始动作,当压力不断升高时,变量泵的输出流量将不断降低。对于功率相同的发电机来说,变量泵要比定量泵更容易进行调解,其调解工作是通过变量泵的斜盘摆角工作进行的。因此,如果挖掘机要进行精细作业、不需要过大的流量,工作人员就可以通过外载荷数据重新设定发动机。目前大部分液压挖掘机控制系统中均安装有电子控制器,控制器会对变量泵的排量和发动机功率实施控制,进而实现节能效果。<sup>[3]</sup>恒功率工作步骤见图1。

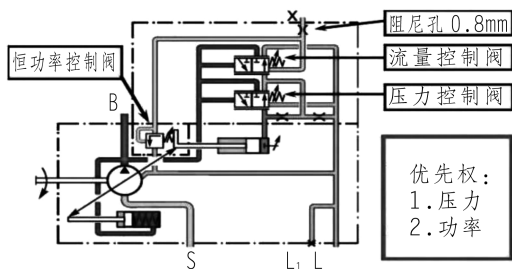


图1 挖掘机液压系统恒功率控制图

### 2.2 流量控制系统

挖掘机的外载荷关系到变量泵的流量和输出压力,而且它们之间的关系十分密切。如果外载荷过大,就会使控制装置中的油缸运动速度减慢,此时的挖掘机系统中会有多余的流量因压力较大而从溢流阀卸掉。相关的工作人员在对流量控制系统进行设计时会使变量泵的摆角在挖掘机超载过程中自动变小,进而减少流量的输出,从而避免了多余的流量从溢流阀卸掉这一现象的发生。流量控制系统分为正流量控制系统和负流量控制系统,其各自的作用不同。正流量控制系统会在外载荷需要较大流量时增大变量泵的斜盘摆角,确保输出流量的最大化;而负流量控制系统则会在控制阀门处于中立时使产量泵的斜盘摆角达到最小化,从而避免流量阻力过多地损耗。<sup>[4]</sup>

### 2.3 自动控制油门系统

在挖掘机作业过程中,若要节省能源,就需要在控制阀处于中立位置时让挖掘机系统保持一定的压力并让发动机进行空转,然后再使发动机怠速运转,从而可以减少能源的消耗。自动控制油门系统需要设计人员提前设定好相应的数值,如

果挖掘机系统的压力超过 30 MPa,说明挖掘机已经恢复作业,其系统需要自动调整发动机的转速,保证其处于作业工况的最佳状态。<sup>[5]</sup>

#### 2.4 对系统工作模式的设定和转换

不同类型的挖掘机作业方式不同,因而其受到的负荷也不同。但是,不管是什么类型的挖掘机,其发动机的输出功率都要符合外负载数值,否则将会导致燃油的浪费。工作人员需要以挖掘机接下来要进行的作业内容和形式为依据对变量泵的输出流量、输出压力以及发动机的转速进行调整,确保挖掘机系统的功率曲线适合作业的内容,以减少能量的损耗。常用工作模式的控制方式有三种:高、中、低三种等级;计算机作业的方式不同,所选择的控制方式、等级也不同。

### 3 潜在的几种节能方法

目前,许多新型的挖掘机年产量不断提高,这与节能技术的应用发展息息相关,而且节能技术已逐渐成为挖掘机领域的研究重点。因此,在今后的发展过程中,若要进一步实现节能的目的,就需要不断提高挖掘机压力,尽量降低其压力损耗。

#### 3.1 减少压力损失

若要降低挖掘机系统的压力损失,就需要从多方面进行,因为不同方面起到的作用不同。

(1)对管路进行减压。对于挖掘机压力系统的管路而言,管路的分布是否科学合理,其弯曲程度关系到其油量的流失。尤其对于液压挖掘机来说,因其软管用量大,能否对软管的胶管通径尺寸和接头处的通径尺寸进行合理的配置直接关系到油压的损失程度。

(2)减少通过控制阀的油压损失。减少通过控制阀的油压损失也能够发挥一定程度的作用。控制阀对于挖掘机系统来说是不可缺少的零件,尤其是对目前比较受欢迎的液压系统来说。工作人员可以对控制阀的阀芯通径形状尺寸以及其开口尺寸进行合理的改变,进而减少压力损失。当液压油经过挖掘机系统的控制阀时,其流量越大,产生的压力差就越大。工作人员可以根据这一特点寻找降低压力差的方法,进而实现节能的目的。

(3)对行走系统的背压阀进行改进。对行走系统的背压阀进行改进也是有效减少压力损失的一种方法,而且这种方法在目前挖掘机节能技术应用中也比较常见。背压阀主要具有两大功能:

第一,如果液压挖掘机需要在下坡路上行驶,驾驶员就要通过背压阀防止失速引发马达吸空的问题;第二,背压阀还具有制动功能,它可以在改进行走装置结构时保持原来的功能作用不变,进而起到节能效果。<sup>[6]</sup>

#### 3.2 提高挖掘机系统的工作压力

在提高挖掘机系统工作压力的同时,工作人员还要注意减少溢流阀开启的压力损失和流量的管程压力损失。对于挖掘机系统而言,其额定压力要考虑到管材的耐压强度问题。若要起到节能效果,工作人员可以通过提高挖掘机系统的工作压力、减少流量予以实现。

#### 3.3 虚拟样机技术的应用

(1)重视关键技术与支撑软件的选择。如果虚拟样机技术得到有效的应用,就有可能摆脱对物理样机的依赖,进而使生产研发企业缩短整个挖掘机设计开发的周期,降低设计与制造成本,同时还可以有效地提高整体质量。目前,挖掘机企业需要从两个层面去划分虚拟样机的关键技术,第一层面是直接和设计师进行接触,并根据设计师的需求提供相关的顶层技术,包括集成技术、仿真应用、CAD模型生成等;第二层面是在顶层服务界面的背后,各种底层支持技术起到一个支撑各种服务和交互功能的作用,常见的底层支持技术包括网络技术、数值计算技术、信息管理技术等。由于虚拟样机技术是一种比较“年轻”的技术,因此,在这一方面的研究完善程度还不够,需要挖掘机企业及相关设计人员对关键技术以及支撑软件进行科学有效的选择。

(2)重视仿真建模技术与支撑软件的完善。在工作人员对虚拟样机进行数字化设计、验证、修改、完善、定型的过程中,仿真建模技术十分关键,其主要包括对挖掘机的机械系统和控制系统进行仿真建模,对其他一些次要系统的仿真模型可以根据具体情况进行简化处理。ADAMS软件就是在仿真建模过程中经常被用到的一种支撑软件,该软件中的交互式图形界面可以帮助用户更方便地建立挖掘机的动力学仿真模型。设计人员在多种方案的设计过程中,可以先分析和比较模型的运动性,然后在仿真模型集成之后建立挖掘机虚拟样机。在这一过程中,ADAMS软件可以对挖掘机系统的运动范围、性能特点、峰值载荷、



碰撞检测等方面进行科学有效的预测,工作人员可以更加便利地对虚拟样机的 DMU 进行集成。图 2、3 是基于 ADAMS 技术中对挖掘机虚拟样机进行研究得到的相关速度-时间曲线与受力-时间曲线,这些数据分析可以帮助工作人员更好地进行虚拟样机的设计。

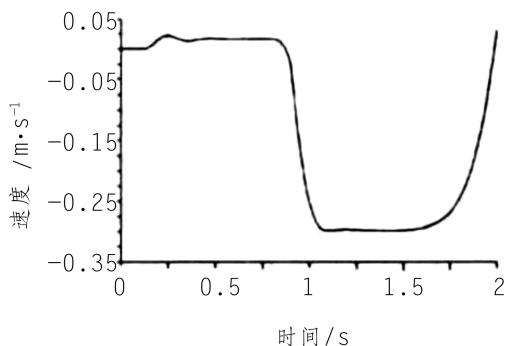


图 2 基于 ADAMS 试验室得到的挖掘机模型驱动油缸速度曲线图

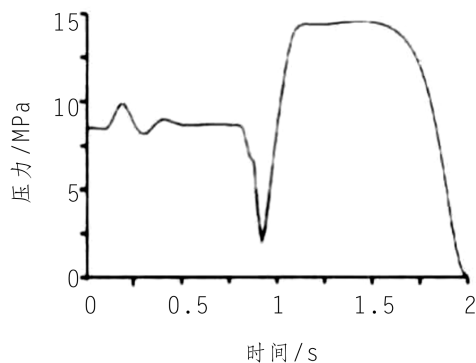


图 3 基于 ADAMS 试验室得到的挖掘机模型驱动油缸受力曲线图

#### 4 结 语

总而言之,目前在各类工程项目中都存在挖掘机的“身影”。挖掘机对我国的建筑工程行业以及经济发展做出了重大贡献,但同时其能源消耗问题亦亟待解决。若要对挖掘机的节能技术进行进一步地完善,首先要从其动力系统方面入手,各挖掘机企业要深入了解不同动力系统的优缺点,调查分析当今挖掘机节能技术在应用过程中存在的问题。除了挖掘机节能技术的应用现状,其在未来一段时间内的发展趋势也是挖掘机企业需要重点关注的方面。结合其发展趋势积极制定有效的应对措施是各挖掘机企业的重点工作。

#### 参考文献:

- [1] 张新宇. 挖掘机技术分析及应用[J]. 内燃机与配件, 2019, 40(2):184-185.
- [2] 张大庆, 王德军, 刘昌盛, 吴 航, 汪志杰. 挖掘机节能技术发展与混合动力技术产业化趋势[J]. 建设机械技术与管理, 2016, 29(3):35+37+39+41.
- [3] 庞琳娜. 液压挖掘机的节能技术分析[J]. 内燃机与配件, 2020, 41(5):215-216.
- [4] 李开林. 浅析建筑机械节能技术[J]. 现代物业(中旬刊), 2019, 13(8):46.
- [5] 石昌沅. 液压挖掘机及其节能技术的研究[J]. 中国设备工程, 2017, 33(23):82-84.
- [6] 渠国良. 挖掘机液压系统节能控制的分析研究[J]. 电子世界, 2017, 24(18):47-48.

#### 作者简介:

- 肖新桥(1986-),男,湖北红安人,工程师,学士,从事物资装备管理工作;  
陈辉剑(1985-),男,新疆哈密人,工程师,学士,从事物资装备管理工作;  
尉永信(1985-),男,甘肃华亭人,工程师,硕士,从事物资装备管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 玉瓦水电站工程荣获“天府杯”金奖

近日,由中国电建集团成都院投资、EPC 总承包建设的白水江流域玉瓦水电站项目荣获四川省建设工程“天府杯”金奖。作为四川省建筑行业建设工程质量的最高荣誉奖,“天府杯”评选对象为四川省建筑施工企业在中国境内承包、已经建成并投入使用的各类工程,参评工程质量均需达到省内一流水平,并按评分分数分为金奖和银奖。在玉瓦水电站建设过程中,总承包项目部积极探索管理模式,提高管理质量和效率,认真做好项目创优策划,积极开展各项质量、安全检查和专题活动,严格按照创优要求开展质量攻关和技术创新,为推动项目创优落地作出不懈努力,取得突出成绩,6 个单位工程均验收优良。此外,项目还荣获多个奖项,包括中国电建集团 2015 年度“安全生产先进集体”称号、四川省劳动竞赛委员会 2015 年度授予的“五化五强班组”等。项目团队还积极参与 QC 小组活动,成果获全国奖和省部级奖,获得多项发明专利,勘察设计获省部级奖等。电站建成运行后,历经 2017 年九寨沟“8·8”地震和 2018 年“7.11”百年一遇特大洪水考验,运行状况良好。玉瓦水电站位于阿坝州九寨沟县,总装机容量为 49 兆瓦,工程于 2014 年 4 月 16 日开工建设,2017 年 6 月 14 日竣工,工程由九寨沟水电开发有限公司开发建设,四川二滩国际工程咨询有限责任公司承担监理。本次成都院以工程总承包身份参评,最终赢得现场专家一致肯定,从参与角逐的 53 个项目中脱颖而出,荣获金奖。这也是该工程继集团公司认定的 2020 年度中国电建优质工程奖之后的又一质量奖项。

(邱小耕 供稿)