



# 序言

高新技术在工程机械上的运用俨然已经成了工程机械行业发展的一个新亮点。而作为传统施工机械之一的推土机，为了使整机性能更高、更稳定，人机关系更友好，同时也更环保，应用高新技术于其身已是必然。

针对这一问题，太原科技大学的孙大刚教授就ACERT技术、发动机控制管理系统、生物柴油燃料对发动机新技术进行了阐述，同时也对先进的传动形式，如自动换挡技术、全液压传动方式以及黏弹性悬挂机构、推土机的智能化、精密推土技术、远程监控系统等高新技术进行了分析，从高新技术层面上指出了工程机械行业的发展趋势。

推土机行走驱动力不足是推土机使用过程中最常见的一个问题，其产生的原因不一。譬如，可以是发动机燃油系统的问题，也可以由液力变矩器涡轮输出轴不转动、离合器烧损等导致，如何进行正确诊断并排除是关键。正确地解决诸如上述的问题，对于正确高效地运用推土机具有很大的实际意义。

国内某些专业生产推土机的厂家，如山推、宣工、彭浦、天建等，其生产的最新系列的产品可以称得上是高新科技应用于实际产品的典范，对其进行剖析就显得很有必要。大到整机总成，小到液压马达驱动风扇，高新技术在推土机上的应用被完美呈现。

# 高新技术在推土机上的应用及发展

## Application and Development of High-tech for Bulldozer

孙大刚, 于奇银, 王 军, 易志成, 倪晋挺 太原科技大学机械电子工程学院, 山西 太原 030024

### 0 引言

随着高新技术在推土机上日益广泛的应用, 现在的推土机正向着环保、智能化和人性化的方向发展。应用高新技术的推土机令人耳目一新, 以往留给人们粗笨、难以驾驭的形象也在逐渐改变。

### 1 发动机新技术

绿色工程机械的理念已开始出现, 人机工程学、无污染绿色施工等也已成为人们的共识。国外生产推土机的公司纷纷从降低发动机排放、提高液压系统效率和减振、降噪等方面入手, 提高产品的节能效果, 满足日益苛刻的环保要求。发动机是推土机所有系统中对环境影响最大的部件。

#### 1.1 ACERT (燃烧废气减除) 技术

卡特彼勒公司的发动机(图1)使用了ACERT技术。目前, ACERT技术已成功应用于各种公路汽车的发动机和船用发动机上, 该技术的焦点已转向非公

路车辆的发动机, 相信在不久的将来这项技术将会在推土机上得到应用。

ACERT技术依靠4个基本系统来降低排放, 即精确的燃油控制、先进的电子装置、先进的空气系统和有效的后处理, 具体结构见图2。这4个系统相互配合以降低颗粒物、氮氧化物和碳氢化合物的排放量, 同时保证发动机的可靠性和耐久性, 并减小运营成本。

(1) 精确的燃油控制。ACERT拥有新一代、灵活的HEUI燃油系统, 其燃油控制采用了多次喷射技术。卡特彼勒还改进了气门控制技术, 优化了活塞顶部的几何形状等。这些措施能够提高柴油机燃烧效率, 有效地降低燃烧室的温度, 增加充气系数, 减少排放量, 提高燃油经济性, 增强发动机的动力。

(2) 先进的电子装置。ACERT的电子控制装置采用了ADEM A4控制器和电子控制单元。该控制器是一台采用新型电子控制模块(ECM)形式、功能强大的开环发动机控制器, 采用传感器来控制燃油的供给、气门

打开时间和其他系统。新的HEM系统可以极其精密地控制喷油次数、每次的喷油正时、喷油量及喷油压力。ACERT专用软件控制了燃油供给的数量, 能使发动机根据温度、高度等参数来提供燃油。ECM能根据传感器和操作者的指令控制发动机状态。这种先进的发动机控制软件能够给发动机提供全方位和全天候的保护, 例如冷启动、高原工作环境、空气滤清器的污染程度、燃油的喷入时刻和压力、冷却风扇的转速、乙醚辅助启动装置的启动和液压泵的监控等。在冷启动或热启动时, 通过调整燃油喷入的持续时间来控制发动机转速以达到减少排放的目的。

(3) 先进的空气系统。使用可变几何形状或可根据废气调节的涡轮增压器来减少排放, 在气缸盖中采用空气的横向流动新技术, 使得空气在气缸盖中的流动更通畅, 从而增加了充气系数。

(4) 后处理技术。卡特彼勒使用的氧化催化剂具有更好的HC(六氯乙烷)控制。这种氧化剂能按非公路用



图1 拥有ACERT技术的卡特彼勒发动机

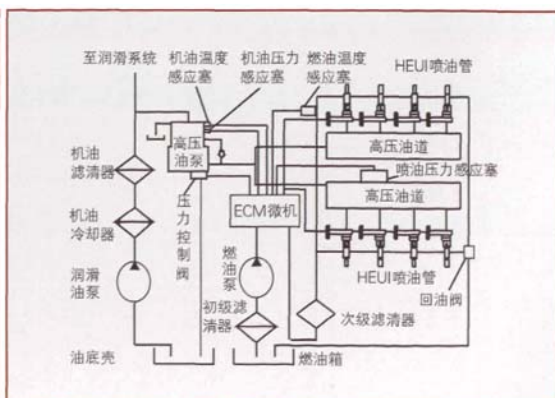


图2 卡特彼勒的柴油机HEUI燃油系统





Tier 3所规定的燃油进行优化,无论燃油的含硫量多或少,ACERT均能有效地工作。

## 1.2 发动机控制管理系统

一些新型推土机装有柴油发动机管理系统,它是一个基于单片机的燃油喷射控制与发动机最佳性能调节系统。该管理系统主要包括:燃油喷射控制、点火系统控制、怠速控制、尾气排放控制、进气控制、增压控制、失效保护、后备系统、诊断系统等功能。该系统还可通过CAN总线与其他设备进行通信,使整机机器构成一个完整的管理系统。

该系统通过电子控制手段对发动机点火、喷油、空气与燃油的比率、排放废气等进行优化控制,用各种传感器把发动机的吸入空气量、冷却水温度、发动机转速等状况转换成电信号,送入控制器。控制器将这些信息与储存信息进行比较,计算后输出控制信号。其主要功能有循环供油、喷油定时、总体控制和故障诊断等。

## 1.3 生物柴油燃料

生物柴油(Biodiesel)是指以油料作物、野生油料植物和工程微藻

等水生植物油脂以及动物油脂、餐饮垃圾油为原料油通过酯交换工艺制成的可代替石化柴油的再生性柴油燃料。生物柴油是一种生物质能燃料,是生物质利用热裂解等技术得到的一种长链脂肪酸的单烷基酯。生物柴油是含氧量极高、有机成分复杂的混合物,是一种优质清洁柴油,可从各种生物中提炼,在石油资源日益紧缺的今天,有望成为替代燃料。

在欧美发达国家,生物柴油目前虽已应用于汽车,但还未应用于非公路车辆。而使用合成生物柴油燃料也能减少排放,降低对石油的依赖性。约翰·迪尔是北美首家推荐使用合成的生物柴油并率先加注生物柴油的非公路车辆发动机制造商。约翰·迪尔的发动机可使用混有5%~20%生物油的柴油。当生物柴油的技术发展成熟后,推土机将有可能使用这种清洁燃料。

## 2 先进的传动形式

### 2.1 自动换挡技术

推土机的自动换挡技术把液力变矩器与多挡位动力换挡变速箱相结合,通常采用自动或半自动换挡技

术。如小松在原D475推土机的基础上开发出的D475A-5推土机(图3)就采用了此项新技术。

然而,随着电控技术水平的不断提高,传统的液力自动变速器已逐渐被电控液力自动变速器取代。该变速器有多挡位化、换挡点控制智能化、换挡过渡过程高品质化的优点。电控液力自动变速器由先进的电子控制单元控制,采用脉宽调制液压操纵机构,具有响应速度快、换挡平稳、自学习功能强和自适应性强等优点,并拥有与发动机通讯的CAN接口,能实现与发动机协调控制,能通过手柄上的故障诊断按钮提取工作过程中的故障代码。试验证明,电控液力自动变速器采用组合型的换挡规律,可以在不同油门开度下更好地提高整车的综合性能,在换挡过程中采用了发动机供油控制,提高了换挡品质。



图3 小松D475A-5推土机

**2.2 全液压传动方式**

全液压推土机是一种行走系统采用静液压传动技术的推土机，该类型推土机结构简单，传动效率高，能实现无级变速，且变速范围大，自动适应性好，噪声低。其行走传动系统主要由发动机、变量泵、变量马达、减速机构以及控制机构等部分组成。全液压推土机结构简单，较传统的推土机减少了很多部件，如动力换挡液力变矩器、变速器、转向离合器和转向制动器等；发动机电液控制系统响应快，且能适应实时变化负载的要求，通过对发动机转速的监测和行走液压泵电子调节，优化利用发动机的功率，防止发动机过载；采用全排量马达开环控制，可实现高速倒车和原地转向；智能化的控制允许机器在大载荷下自动降挡，在小载荷下自动升挡，大大提高了整机效率。

随着电子技术和液压技术的发展，全液压推土机已经达到机械、液压、电子技术的一体化，行走速度和发动机功率、转速与液压系统采用电子传感控制，控制精度和反应的灵敏性好，在充分利用发动机功率的同时，能对发动机和其他传动件进行有效的保护，使推土机产品的性能有了

很大的提高，并易实现产品的智能化控制。

全液压推土机有高速和低速2种传动形式，由于低速方案采用的低速大扭矩马达受高成本和液压技术的限制，目前全液压推土机普遍采用由液压泵-高速马达-减速机构传动的低速传动方案<sup>[1]</sup>。

**3 黏弹性悬挂机构**

现代工程要求推土机具有高作业生产率、低（单位土石方）作业成本的性能，这促使推土机向大型化发展。然而，随着推土机的大型化，其所受到的振动冲击也越来越剧烈；另外，由于国际环保法规的日趋严格与国际贸易竞争的白热化，目前世界上许多国家已不允许振动和噪声指标超标的推土机产品进入市场。传统推土机多采用刚性或半刚性悬挂机构，这些机构结构简单，减振效果差。

采用黏弹性阻尼材料可以将振动能转化为材料内摩擦能，并以热能的形式散逸。因此，以黏弹性阻尼材料（如橡胶）为缓冲件的黏弹性悬挂机构可使传到推土机上的振动能量大为减少。

根据推土机的作业特点及振动噪声控制指标，设计出黏弹性悬挂的结构，初定阻尼缓冲材料（如橡胶材料）的配方。针对阻尼材料的大变形、非线性特性，采用混合有限元方法对结构作受力、变形发热计算；在动态-热机械分析仪上进行变温度载荷试验，找出初定阻尼材料的最佳损耗因子、弹性模量值范围；再调整阻尼材料的成分、组合结构的外型及尺寸，以得到适用于阻尼缓冲系统减振降噪悬挂的最佳参数。

卡特彼勒公司在其新开发的大型履带式推土机上采用了“K”型黏弹性悬挂行走机构，如图4所示；小松公司在其新开发的履带推土机上采用了小“K”型黏弹性悬挂行走机构，如图5所示。国内的几个推土机生产厂家，如河北宣化工程机械股份有限公司在其生产的SD8（图6）、SD9（图7）高架驱动履带式推土机上安装了“K”型黏弹性悬挂机构；另外，上海彭浦机器厂有限公司生产的PD410Y-1履带式推土机、山推的SD42-3履带推土机也安装了小“K”型黏弹性悬挂机构。

安装了黏弹性悬挂的推土机振动噪声值大为降低。经实践证明，黏弹

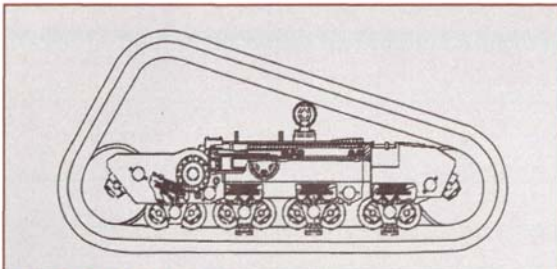


图4 “K”型黏弹性悬挂机构

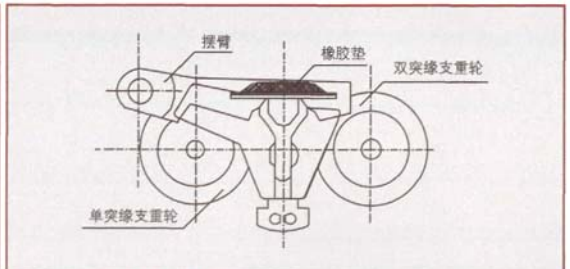


图5 小“K”型黏弹性悬挂机构



图6 宣工SD8履带式推土机



图7 宣工SD9履带式推土机



性悬挂适用于在恶劣环境下作业的推土机,该悬挂性能可靠、耐用且价格便宜、更换方便。因此黏弹性阻尼缓冲结构有望成为推土机减振降噪机构的主流结构形式。

## 4 推土机的智能化

### 4.1 CAN总线

CAN总线是国际上应用最广泛的现场总线之一。CAN总线以其高可靠性、无破坏仲裁、多主等特性,已被广泛应用在汽车电子、自动控制、智能大厦、电力系统、安防监控等领域。CAN总线技术是指把单个分散的测量控制设备变成网络节点,以CAN总线为纽带,把它们连接成可以相互沟通信息、共同完成自控任务的网络系统与控制系统。CAN总线处理数据过程见图8。

近年来,国内外对基于CAN总线技术的推土机研究非常活跃。发达国家新开发的大型推土机基本都采用CAN现场总线控制,如CAT、VOLVO、LIEBHERR等都在自己的产品上广泛采用CAN总线技术,大大提高了整机的可靠性及可检测和可维修性,同时提高了智能化水平。在中国,CAN总线控制系统也开始在工程车辆的控制系统以及推土机中逐步推广应用。

推土机的工作环境复杂、恶劣,这就要求其具有良好的自适应能力和极高的可靠性,并能在出现突发情况时能够实现自我保护。越来越复杂的电控系统对推土机的智能化也提出了更高的要求。CAN总线技术的应用使



得推土机装备内部能够通过电子监控、自动控制和故障诊断系统完成对自身的控制、监视和检测,从而使上述问题得到很好的解决<sup>[2]</sup>。

### 4.2 精密推土技术

#### 4.2.1 激光找平技术

激光控制机械自动找平系统是一种专门用于对施工作业面进行高精度平整的光机电液一体化自动控制设备,是专门与相关施工机械配套并提高其自动化水平的重要手段,是当今世界上最先进的整平作业技术之一。世界著名的卡特彼勒公司和小松公司在小马力推土机上都应用了激光控制自动找平系统。推土机上安装的激光控制机械自动找平系统主要是将激光信号转化为电信号,根据电信号的变化控制电磁比例液压换向阀,最终控制铲刀提升液压缸实现平整作业。安装激光找平装置的推土机施工现场见图9。

推土机的激光控制自动找平系统由激光发射器、激光接收器、控制器

和推土机液压控制系统组成。激光接收器的功用是接收激光发射器发来的高程光信号,并根据相对基准参照面的高度变化将光信号转换成变化的电信号,并传输到控制器。控制器将激光接收器传递来的电位信号经过数据分析处理后转换成控制信号,控制电磁比例换向阀通断,从而控制铲刀提升液压缸的油量和方向,实现铲刀的自动升降。

#### 4.2.2 应用GPS的自动找平技术

国外一些有实力的企业采用了基于GPS技术和数字地图技术的先进导航系统,在驾驶室内装有触摸屏式计算机,可实时显示机器在作业区内的位置、作业区域实际值与设计值的差距及相关信息,即使是毫无经验的驾驶员也能有效地完成诸如坡度作业等作业要求。一些新产品可实现坡度的精确控制,驾驶室内的可视化显示系统能指导驾驶员精确作业,精度可达厘米级。推土机的GPS自动找平装置见图10。

将GPS定位信号接收装置安装到

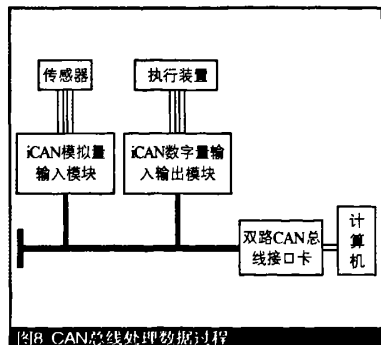


图8 CAN总线处理数据过程



图9 安装激光找平装置的推土机施工现场



图10 装有GPS自动找平装置的推土机

推土机上, 当它接收到卫星信号后, 就自动计算出推土机所处的经纬度。高精度的GPS系统已经成功应用于推土机推平装置的控制。

使用3D GPS控制系统, 可以把工程设计数据直接输入车载计算机, 自动生成三维数字模型, 计算机实时比较推土机铲刀的当前位置和设计数据, 并把校正控制信号输入到控制设备, 对铲刀进行控制。这样推土机只需要一两次往返施工, 即可达到设计位置。这种以绝对坐标X、Y、Z为基准的控制方式, 一次性解决了高程控制、平整度控制、坡度控制等问题, 节省了大量的现场测量工作。通过使用3D GPS控制技术, 使工程施工进入到数字化施工的新时代。

3D控制系统由定位设备、通信设备、机载计算机、控制设备4个部分组成。信号传送途径及远程传送见图11。

LEICA公司推出的基于3D GPS控制技术的第5代平地之星(GradeStar V5.0)、卡特彼勒的DOZS1M1.5以及TRIMBLE的SiteVision GPS等都能用于推土机作业, 采用3D模拟技术分析推土机距离、坡度、工场设计参数, 并可输出总土方量(压实或松散)、每趟移走的土方量、每小时移走的土方量、每趟总耗时、每趟总成本、总系统生产率等大量信息。司机通过驾驶室内的可视化显示系统能实现厘米级的精确作业<sup>[9]</sup>。

## 5 远程监控系统

远程故障诊断是计算机科学、通

讯技术与故障诊断技术相结合的一种新的设备故障诊断模式。它是基于GSM/GPRS无线通讯网络和GPS全球定位系统来完成整个过程的, 即从现场提取诊断信息, 对诊断信息进行分析加工, 并采集GPS信息, 通过GSM/GPRS网络远距离传输给远程监控中心, 监控中心对监测到的信息进行分析诊断, 把诊断结果再经GSM/GPRS网络传回工作现场, 以指导维修。

### 5.1 信号的远程传输

在工程中, 无线网络是基于GSM/GPRS网络的移动通讯系统。但GPRS与GSM相比, 具有传输速度快、永远在线、传送数据量大且按流量收费等诸多优点, 所以使用GPRS通讯方式明显优于GSM通讯方式。

GPS模块用于确定设备的地理位置信息, 这些信息暂时存放在PLC存储器内, 经GPRS传送至远程监控中心, 由监控中心对其运行状态实施在线监测, 以便及时发现设备故障。管理者一旦发现故障, 必须迅速定位设备位置和故障发生的部位, 及时排除故障。

卡特彼勒公司、LEICA和特林布尔导航设备有限公司均可独立提供基于GPS的推土机定位系统, 该系统大大地提高了推土机的作业生产率。因此, 运用GPS以及GPRS技术实现远程监测和维护是今后推土机的发展趋势(图12)。

### 5.2 远程监控系统的故障诊断中心

在远程监控系统中, 故障诊断中

心是诊断故障的“专家”, 它可针对当前的问题提出解决方案。当某推土机将故障信息传至远程监控系统后, 故障诊断中心需完成以下工作。

(1) 对故障信息进行分析处理, 判断故障原因, 提出解决方案。

(2) 将故障原因及处理意见传回车载计算机, 指导操作者作业。

(3) 根据发生故障的推土机在工程机械群中的权值、故障部位在单机上的权值以及故障严重程度的权值来判断该故障对整个工程机械群工作的影响, 并执行管理和调度。

(4) 当故障诊断中心无法判断故障原因及提出处理意见时, 要及时将此信息传给专业故障诊断人员, 由他们凭借专业的知识和经验作进一步处理。

## 6 结语

可以相信, 随着各项高新技术在推土机上日益广泛的应用, 推土机将会与人、环境、工程相处得更加和谐、友好。同时, 这也是其他工程机械今后发展的必然趋势。

### 参考文献:

- [1] 马鹏飞, 龙水根, 焦生杰. 全液压推土机行走驱动系统参数匹配及控制研究[J]. 建筑机械, 2005, 25(6): 55-58.
- [2] 孙家春. CAN总线在工程机械的应用[J]. 工程机械文摘, 2007, 25(4): 62-63.
- [3] 董海荣, 邱晓华. 3D GPS控制技术在工程机械中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2004, 21(11): 35-36.

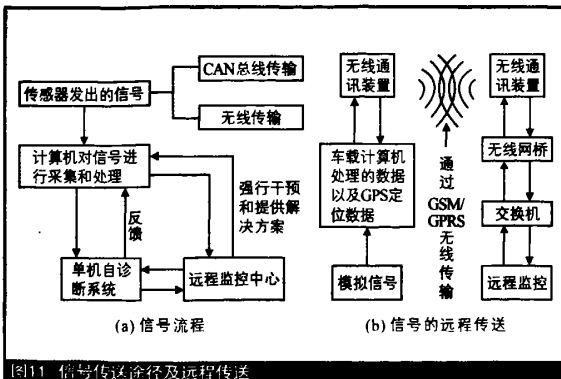


图11 信号传送途径及远程传送

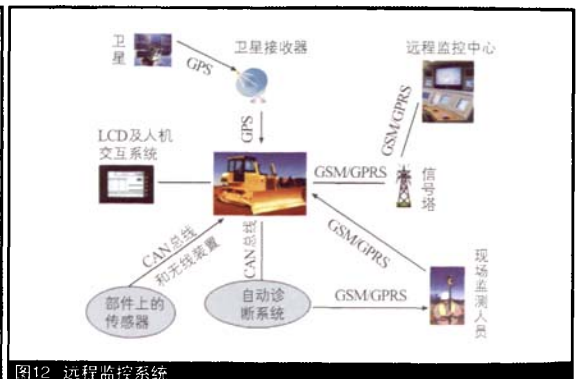


图12 远程监控系统