大功率液力变速器控制系统外部线束设计与控制器应用

朱维兴

贵州航天凯星智能传动有限公司　贵州遵义　563000

摘要：针对大功率液力变速器控制系统的需求，提出一种高可靠性的外部线束设计方法及基于数字信号处理器（DSP）的控制器架构。通过优化线束的电气特性、机械防护与布局策略，并结合分层式控制算法，实现了系统在复杂工况下的稳定运行。试验表明，该设计可满足高温、振动等极端环境下的性能要求，并具备良好的抗干扰能力。

关键词：大功率；液力变速器；控制系统；线束设计；控制器应用

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.08.010

自动变速器由液力变速器和机械变速系统组合而成。目前，汽车上所使用的自动变速器，由于综合运用了电子控制技术、液力控制技术、液力传动技术和机械传动技术，因此也被称作电控自动变速器。这种先进的变速器能够有效地克服传统机械变速器存在的动载荷大、零件易磨损以及需要频繁操作离合器等不足之处。

系统组成与设计要求

1.系统架构

电控自动变速器系统主要由变速器、变速器外部线束和变速器控制器组成，控制器接收和发出命令，通过线束传递到变速器内部的相关机构，然后执行相应的动作进行换挡，同时通过线束和传感器等器件读取变速器的相关参数。三者间的关系如图1所示。

图1　电控自动变速器系统内部关系

2.设计挑战

（1）环境适应性　设计时必须考虑到线束和控制器需要在极端的温度条件下正常工作，这意味着它必

须能够耐受从极低的-40℃到高达150℃的高温环境。此外，产品还需要能够承受在频率为20～2000Hz的振动，以及在油污和腐蚀性环境中的长期使用而不出现性能下降。

（2）电磁兼容性　在设计过程中，必须确保线束和控制器能够抵抗来自大功率设备的电磁干扰。这是因为大功率设备在运行时可能会对信号线产生干扰，从而影响产品的正常功能和性能。

（3）布局复杂性　设计面临的另一个挑战是线束的布局问题。由于需要在有限的空间内布设多分支的线束，这就要求设计必须足够紧凑，同时还要保证线束的布局不会影响到产品的整体性能和可靠性。

外部线束设计优化

1.原理设计优化

通过原理设计的优化，从根本上实现驾驶室或者操作盘与底盘配置的相互独立性，其两者互不干扰。例如，借助ECU整车控制器，使驾驶室到整车的线束能够与各品牌的发动机和变速器实现连接和使用，在源头上避免了因发动机和变速器更换而导致驾驶室到整车线束的频繁更换或者品种增加。本变速器线束和控制器的设计也是如此，在线束设计上，将每一个插头分支的长度确定，可以适当超出一点，但不能短，否则后期对插的时候会很困难，接头处的处理也要恰当，不能出现纰漏。控制器若是放置在外部，则应加装保护箱，确保使用时不受干扰。线束设计如图2所示。

2.电器零部件开发优化

为了实现不同配置需求以及品种分类，整车厂家一般会给同一电器零件选择多个供应商或配备不同版本等级的器件。所以，在厂家开发一种零部件时，需要保证零部件的针脚及定义统一，从而避免线束种类的增加。比如，某主机厂发动机在与变速器对接时，变速器外部线束和控制器需要预留一定的位置。为减少因此导致的整车线束种类增加，就需要每个供应商对于电器零部件的针脚及定义保持一致。

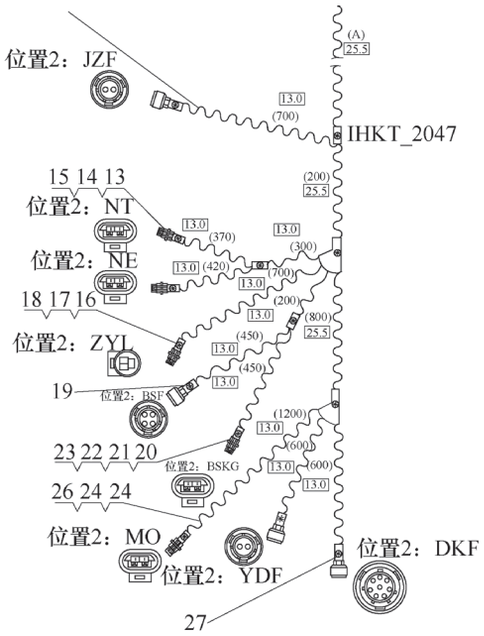

图2　线束设计

3.功能预留设计

为了实现整车线束的通用化设计，在设计初期就需要对部分功能预留进行预留，确保整车线束的一致性并减少线束种类，达到整车整洁化和美观的目的。例如，某整车厂在开发两款车型A和B时，两者在整体布置形式上完全一致，某些细小的功能不一致，且除发动机或变速器外其余配置要求是相同的。A车型装配艾力逊变速器，其整车线束相对于配备国内厂家变速器的B车型在线束布局和功能接插件不一致，接入整车的接头部分完全一致。为减少不必要的改动，B车型可采用A车型的车架线束接头，而对于其他预留的功能插接件，则使用堵盖进行封堵。或者预留相应的线束和引脚定义，在需要时可以直接对插使用，如图3所示。

4.过渡线设计

由于需求不同，设计时应减少主线束种类，尽量实现一线多用，还可增加过渡线以实现整车的相关功能。以某整车厂家油气田压裂车为例，根据配置需求分析，该车型主要用于油气田的压裂，由于发动机和变速器以及一些功能差异及装配需求，增加一些简单功能的过渡线，实现整车线束通用。

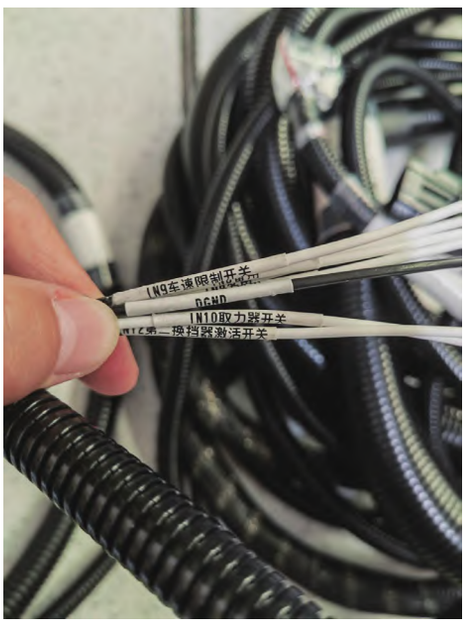

图3　线束预留情况

5.线束回扎设计

线束回扎设计是整车装配完成后对于线束的整理以及回扎，以便实现线束通用化和整洁化。比如某整车厂的压裂车在最后装配完成时，经过设计师和工程师的确认，某些线束在装配后过长，这时就需要在整车梁的内侧进行回扎。

6.线束品种归类

对于整车来说，线束种类较多，如发动机线束、变速器线束以及车机线束等。将与发动机相关的线束统一划分到发动机处，有相关功能的归于一处，则可以实现整车线束通用且整洁，也避免了整车线束的频繁更改。

7.模块化设计

模块化设计是一种将复杂系统分解为独立功能单元，通过标准化接口实现灵活组合的系统工程方法。在后处理器线束时，可集成模块化设计，提升线束装配可行性和通用性。

控制器设计与应用

1.硬件架构

（1）电源管理模块　输入电压24V DC（兼容车辆电源波动范围18～32V），确保了控制器在不同车辆电源条件下的稳定运行。

采用LM5170升降压芯片，输出5V/3.3V双路电源，转换效率高达92%以上，有效提高了能源的利用率。

集成TVS二极管防护，可承受ISO 7637－2标准中Pulse 5a瞬态电压（+150V/300ms），为控制器提供了强大的抗干扰能力。

（2）信号采集模块　采用16位ADC采样（ADS8588S芯片），最高采样率可达200ksps（千次采样每秒），保证了信号采集的高精度和高速度。

传感器接口配置如下。一是转速信号，磁电式传感器，0～10kHz频率输入，适用于各种转速测量场景。二是压力信号，0.5～4.5V模拟量，带RC低通滤波（截止频率1kHz），有效滤除高频噪声，保证了信号的稳定性。

（3）PWM输出模块　驱动电路为IR2104半桥驱动器，输出电流峰值3A，为电机等负载提供了强大的驱动能力。

PWM频率10kHz（可调，分辨率0.1%），满足了不同应用场合对频率的精确要求。死区时间100ns（防止上下桥臂直通），确保了电路的安全稳定运行。

（4）通信接口模块　CAN总线。MCP2551收发器，支持J1939协议，保证了控制器与车辆其他系统的高效通信。

波特率250kB/s（误差小于0.5%），确保了数据传输的准确性和可靠性。

报文格式标准帧11位ID，数据场8字节，符合CAN总线标准，易于与其他设备兼容。

（5）故障诊断模块　电流检测ACS712霍尔传感器（精度±1.5%），能够准确监测电流变化，及时发现潜在故障。

诊断策略一是阈值比较，电磁阀电流超限（大于8A）触发过流保护，有效防止了因电流过大导致的设备损坏。二是趋势分析，油压信号5s内波动大于20%判定为传感器故障，提高了故障诊断的灵敏度和准确性。

2.控制算法

输入：油门踏板开度（0～100%）、负载转矩（通过压力传感器反推），为控制器提供了实时的操作指令。

输出：直观展示了控制器的规划结果。

算法：基于动态规划的能耗优化模型，通过优化算法模型，实现了能耗的最小化。

实验验证与案例分析

1.测试平台搭建

实验对象：某2250型压裂车液力变速器。

发动机功率：2500kW。

变速器型号：某型号大功率液力变速器。

测试工况：天然气采集压裂车组。

2.线束性能测试

振动测试依据：GB/T 2423.10。

设备：ES-3型三轴振动台。

频率范围：10～2000Hz

加速度：10g（峰值）。

持续时间：4h 。

温度循环测试条件：−40℃（2h）→25℃（1h）→150℃（2h），循环10次。

失效判据：导线断裂/绝缘层开裂。

结果：测试结果见表1，所有样本通过测试（n=20），线束电阻变化率<2%。

表1　测试结果

测试项	标准要求	实测值
连接器插拔力/N	30～80	52N±3
屏蔽效能（1MHz）/dB	≥30	34.5
绝缘电阻/MΩ	≥100	850

5.3 控制器响应测试

换挡性能对比见表2，测试方法为VBOX Ⅲ记录0～40km/h加速过程。

表2　数据对比

指标	传统PID	本文方案	提升幅度
换挡时间/ms	320	272	15%
冲击度/（J/m^2）	12.5	9.8	21.6%

结语

随着技术的不断进步，自动变速器的性能提升和可靠性保障将成为未来的研究重点。本文提出的综合性解决方案，通过优化线束设计和控制器硬件的协同工作，不仅解决了当前自动变速器系统中存在的问题，还为进一步提升其性能和可靠性提供了新的思路。

本文还存在一些可深入探讨以及完善的方面，比如：怎样提高线束的可靠性和耐久性，使其能适应更恶劣的复杂环境；如何优化控制算法，以实现更加精准和高效的变速控制；如何将本文的研究成果应用于更广泛的车型和变速器类型中，以推动整个汽车行业的技术进步。

参考文献：

[1] 王霄，孟德远，陈飞，等.基于传输线理论的液压系统图形化建模与仿真研究[J].液压与气动，2025，49（3）：8-17.

[2] 朱镇，张勤博，张宏伟，等.油电混合-机液复合动力传动系统模式切换协调控制[J].西安交通大学学报，2025，59（6）：185-197.

[3] 季永乐，王林清.液压机械传动控制系统在机械设计制造中的应用研究[J].办公自动化，2025，30（4）：115-117.

[4] 陈志华.农业机械设计制造中液压传动控制系统的应用[J].中国农机装备，2025（2）：49-51.

[5] 张碧波.汽车线束的设计和可靠性研究[D].上海：上海交通大学，2009.

[6] 李伊，耿玉娇，张帆.新型液压传动机械臂设计及运行仿真[J].现代制造技术与装备，2025，65（1）：88-91.

[7] 段军涛，戴旭，邓瑞，等.采用液力自动变速器的越野车辆高原坡道起步能力研究[J].汽车科技，2025（1）：2-7.

[8] 任凤文.汽车线束设计Ⅱ[J].汽车电器，2003（5）：20-25.