

远程调试上优势领先；三一在数据平台、全生命周期管理、智能防碰方面表现突出；四机厂更注重模块化兼容与绿色节能设计。

### 3.2 共性问题识别

综合对比分析，当前钻井自动化装备应用仍存在三方面突出问题：一是高端装备初期投资偏高，部分管柱处理系统单套投入超千万元，对中小企业形成较高推广门槛；二是部分新技术成熟度不足，如四轴综合机器人、新型电动猫道等仍处于调试试验阶段，长期现场可靠性与工况适应性有待验证；三是设备兼容性有待提升，不同厂家中控系统通信接口不统一、协议不开放，难以实现多品牌装备高效联动，制约一体化自动化钻井系统构建。

## 4 钻井自动化装备推广应用建议

以“试点先行、逐步推广、技术协同、配套保障”为总体原则，从装备选型、实施路径、配套体系三方面提出推广建议。

### 4.1 差异化装备选型建议

针对不同工况与开发需求实施差异化选型：页岩油、超深井等高效开发区块，优先选用胜利钻井院“上三甩三”动力猫道、捷杰西“Tripro 行者”系统、三一管柱协同系统，配套合力能源套管钻井系统，可实现起下钻效率 25 柱/时以上，大幅缩短钻完井周期；山区、小井场等运输与空间受限场景，选用胜利截断式猫道、四机厂悬持式管柱系统，模块化分体设计可降低搬迁难度；环保敏感区域，重点推广网电储能型绿色钻井装备与密闭式钻井液自动混配装置，实现低碳清洁作业。

### 4.2 分阶段实施路径

试点验证阶段（1-2年）：在胜利页岩油示范区、塔里木油田等典型区块选取井场部署自动化装备，开展现场试验，建立运行数据库，形成操作规范与评价体系，同步推进进口设备配件国产化替代。

推广应用阶段（3-5年）：在同类工况区域规模化推广成熟装备，建立区域高端装备共享平台，降低初期投入。加快攻克多品牌设备接口兼容问题，构建“管柱处理—井口操作—控制运维”一体化自动化作业体系。

全面升级阶段（5-10年）：推动钻台无人化与全流程自动化，推广应用钻台多功能机器人、数字孪生运维平台、智能钻井液系统，构建地面—井口—井下全维度智能管控体

系。建设行业级数据中台，利用 AI 优化钻井参数，进一步提升整体效率、降低设备故障率。

### 4.3 配套保障体系建设

基础设施升级：搭建“光纤+5G”双链路通信网络，保障远程操控与数据传输稳定；推广智能供电系统，结合网电与储能技术降低能耗；优化井场布局，预留自动化设备安装与维保空间，提升运维响应速度。

人才培养体系：建立“操作—技术—管理”三级培训机制，联合高校与企业开展专项课程，培养复合型人才；利用数字孪生平台开展模拟培训，提升培训效率；健全持证上岗制度与专家库，保障设备规范运行。

技术合作创新：构建产学研用协同创新机制，联合攻关多品牌兼容接口、极端工况适应性、智能决策等关键技术；推动核心装备技术标准统一，制定行业统一规范；鼓励专利交叉许可，支持新技术试验与转化。

## 5 结语

通过对 6 家核心企业调研分析可知，国内钻井自动化装备已形成较为完整的技术体系，胜利钻井院管柱处理、合力能源分布式控制、捷杰西智能控制与安全防护、三一数字孪生与远程运维、中石化四机厂绿色节能等技术均达到行业先进水平。经合理选型与集成应用，可实现钻井作业效率提升 30% 以上、安全事故率降低 80%、人工劳动强度降低 60%，经济与安全效益显著。

未来，随着 5G、人工智能、数字孪生、物联网等技术与钻井装备深度融合，钻井自动化装备将朝着全流程无人化、智能决策化、绿色低碳化、平台共享化方向加速发展。建议企业持续聚焦核心技术研发与系统集成，行业协会加快标准体系建设，相关部门加大政策支持，共同推动钻井行业高质量智能化转型，为国家油气资源安全高效开发提供坚实装备保障。

### 参考文献

- [1] 中国石油天然气集团公司. 钻井自动化技术规范 [S]. 2022.
- [2] 胜利工程公司钻井工艺研究院. “DREAM”系列管柱自动化处理系统技术手册 [Z]. 2023.
- [3] 张宏. 钻井自动化装备发展现状与趋势 [J]. 石油机械, 2022,50 (3):45-52.
- [4] 李建军. 管柱自动化处理系统在页岩油钻井中的应用 [J]. 钻采工艺, 2023,46 (2):78-81.

# Diagnosis and Repair Practice of Fuel Pump Control Circuit Open Circuit Fault

Ke Chen Jun Jia Hong Tang

Chongqing Gas Mine, Southwest Oil and Gas Field Branch, China National Petroleum Corporation, Chongqing, 400021, China

## Abstract

The fuel pump control circuit is an important electrical circuit in the automotive fuel supply system. Open circuit faults in the fuel pump control circuit can cause problems such as engine failure to start, sudden shutdown during driving, and difficulty starting. It is common in the maintenance of commercial and passenger vehicles. This article combines the current development trend of automotive electronic control technology and frontline maintenance practice to summarize the key points of maintenance operation and fault prevention measures, providing practical technical references for the automotive maintenance industry, improving the efficiency and one-time repair rate of similar faults, and meeting the current development needs of refined and efficient automotive maintenance.

## Keywords

fuel pump; Control circuit; Circuit failure; Fault diagnosis; Maintenance practice

## 燃油泵控制电路断路故障诊断与维修实践分析

陈柯 贾军 唐红

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司重庆气矿, 中国·重庆 400021

## 摘要

燃油泵控制电路是汽车燃油供给系统的重要电气回路, 燃油泵控制电路出现断路故障会造成发动机不能启动、行驶时突然熄火、启动困难等问题, 在商用车和乘用车维修中比较常见。本文结合当下汽车电控技术的发展趋势和一线维修实践, 总结出维修实操要点及故障预防措施, 为汽车维修行业提供可以落地的技术参考, 提高同类故障维修效率和一次修复率, 符合目前汽车维修精细化、高效化的发展需求。

## 关键词

燃油泵; 控制电路; 断路故障; 故障诊断; 维修实践

## 1 引言

随着汽车电控技术迅速发展, 电动燃油泵已经完全取代了传统的机械油泵, 成为燃油供给系统中的主要执行元件, 而它的控制电路是否稳定, 直接影响到发动机的工作状况。目前市场上汽车因为使用环境不同、行驶里程增长、线路老化的缘故, 加上维修操作不当等因素引发的燃油泵控制电路断路故障率持续攀升<sup>[1]</sup>。这类故障表面上的症状比较简单, 但实际上的成因比较复杂, 很容易和燃油泵本体故障、油压异常等故障相混淆, 如果诊断出现错误, 会导致维修成本增加、维修时间变长。本文以一线维修实际为依托, 结合实车故障案例, 对断路故障的诊断思路和维修工艺进行系统的分析, 促进汽车燃油系统故障维修的规范化发展。

## 2 燃油泵控制电路核心结构与工作原理

现代汽车燃油泵控制电路由ECU(发动机控制单元)、燃油泵继电器、保险丝、线束、插接器、燃油泵本体和搭铁回路组成一个闭环电控系统, 不同车型的布局和控制逻辑存在差异, 但是核心原理和功能相同, 主要实现点火后3-5秒预供油建压、发动机运转时持续供油、熄火后自动断电三大功能<sup>[2]</sup>; 其工作流程为接通点火开关后ECU输出信号激活继电器, 蓄电池电压经继电器、保险丝、线束送到燃油泵驱动燃油泵运转, 发动机启动后转速传感器反馈信号, ECU持续保持继电器吸合, 熄火后立即切断信号、断开回路, 其中保险丝起过载保护作用, 继电器起小电流控大电流的作用, 线束和插接器完成核心的输电任务, 任何一个环节断路都会直接造成燃油泵失电停转。对于指定车型, 电路布局存在较大差异, 丰田普拉多、考斯特等日系车型的继电器大多被安置在发动机舱左侧的保险盒内, 线束包裹得十分紧密,

【作者简介】陈柯(1977-), 男, 驾驶技师, 从事汽车驾驶, 维修, 技术改革, 新能源等相关研究。

搭铁耐腐蚀；别克GL8商务车的电路集成度较高，继电器与车身控制模块相联，后排座椅下插接器容易受潮氧化；长城500以及国产皮卡由于装载越野的特点，线路容易受到颠簸、泥水的侵蚀，故障多发生在线束磨损、插接器松动的地方，了解车型的电路特性是准确诊断的基础。

### 3 燃油泵控制电路断路故障核心成因分析

燃油泵控制电路断路故障，本质就是电路回路中电流传输路径被切断，不能形成有效的闭合回路，造成燃油泵无供电、不工作。根据多年的维修经验以及指定车型的故障数据统计，断路故障大致可以分为物理性断路、电气性断路和人为性断路这三种类型，各类成因所造成的故障特点及高发车型也不尽相同，现分别加以说明。

#### 3.1 物理性线路损伤与老化

物理性断路是常见的一种故障原因，占全部的65%以上，主要出现在行驶里程超过8万公里、使用年限超过5年以上的车辆上，皮卡、普拉多等越野、载货车型也是其中一部分。这类故障一般是由线路被长时间外力压迫、颠簸拉扯、高温烘烤、泥水腐蚀所造成的。发动机舱内的线路靠近排气管、散热器，长期处在高温环境中，线束绝缘层容易老化开裂、铜线裸露，最后导致断裂；车身底部线路没有防护套，皮卡车行驶在非铺装路面、普拉多越野时，线路容易被石块刮擦、泥水浸泡，造成线束断裂<sup>[1]</sup>；车门铰链处、座椅下方线路，由于频繁地开关车门、座椅移动，很容易造成疲劳性折断。车辆轻微碰撞之后，车身变形会挤压线路，隐性断裂故障后期逐渐暴露出来，此类断路故障肉眼可见线路破损、断裂，诊断难度小。

#### 3.2 插接器接触不良与氧化断路

插接器故障属于隐性断路，占到全部故障的20%左右，在密闭性较差的别克商务、考斯特等车型或者沿海、潮湿地区行驶的车辆上比较常见。燃油泵控制电路插接器分为发动机舱插接器、燃油箱上部插接器、车身搭铁插接器三类，其中燃油箱上部插接器由于靠近燃油箱，长期处在潮湿、油气环境中，端子容易氧化、锈蚀，针脚和线束连接处出现虚接、脱焊，虽然表面上看起来连接完好，但实际上电流不能正常传输，形成断路。部分车型维修时，拆装燃油泵总成粗暴操作，会造成插接器针脚弯曲、脱落，造成瞬时断路；搭铁插接器固定螺栓松动、锈蚀，搭铁电阻过大，也会被判定为隐性断路，此类故障不能通过肉眼直接判断，需要使用万用表测量电阻值来确定。

#### 3.3 继电器与保险丝失效性断路

燃油泵继电器、保险丝属于电路保护元件和易损件，其故障率约为10%，各车型均有出现，长城500、皮卡由于车载电器负载大，故障率较高。保险丝熔断属于典型的断路故障，大多由电路瞬时过载或者短路引起，如果盲目地更换大规格的保险丝，就会造成线路烧毁；燃油泵继电器内部线

圈断路、触点烧蚀，不能正常吸合，即使ECU发出控制信号，也不能接通主电源回路，造成燃油泵不工作。部分维修人员误将继电器故障当做燃油泵本体故障，随意更换燃油泵，导致维修资源浪费，此种故障可通过继电器检测和跨接试验来快速找到<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 ECU控制信号断路与人为维修失误

ECU故障引起的控制信号断路占总比例最小，约为5%，主要是由于ECU内部驱动模块损坏，不能输出燃油泵继电器控制信号，属于电路前端断路；人为维修失误多由于维修人员操作不规范，在拆装线路时没有断开蓄电池负极，强行拔插插接器、拉扯线束，造成线路断裂、ECU损坏，或者维修后线路固定不牢，后期颠簸造成断路。此类故障虽然所占比例不大，但是容易被忽略，在排查完前端所有的部件之后再有针对性地检测ECU信号。

### 4 燃油泵控制电路断路故障规范化诊断流程

燃油泵控制电路断路故障的诊断核心就是由简到繁、由外到内、分段排查、精准定位，防止盲目拆解、更换部件，提高维修效率。按照指定车型的电路特性来制定标准的诊断流程，全程使用万用表、故障诊断仪、试灯等常用工具，适合于一线维修环境，在实际操作中应用。

#### 4.1 故障问诊与初步判断

首先同交流故障情况，故障发生的时间、行驶状况、有无维修过燃油系统、最近是否涉水或者碰撞，区分故障类型。如果车辆完全不能启动、起动机运转正常、无燃油泵工作嗡嗡声，一般是完全断路；如果启动困难、行驶中偶尔熄火、颠簸路面故障加重，多为隐性断路或虚接；如果故障只在冷车时出现，热车后恢复正常，多为插接器氧化、线路接触不良。丰田普拉多越野后出现无法启动故障，先从车身底部线路开始排查；别克商务停在潮湿车库后出现故障，先从燃油箱上部插接器开始排查；长城皮车载货颠簸后出现故障，先从线束固定点和继电器开始排查。

#### 4.2 基础检查与故障码读取

第一，打开点火开关，倾听燃油箱部位有无燃油泵运转的声音，正常车辆接通点火开关后会发出3-5秒的嗡嗡声，如果没有声音，则初步判定电路断路；第二，打开发动机舱保险盒，检查燃油泵保险丝是否熔断、外观是否发黑，如果保险丝熔断，排查短路隐患后再更换同规格保险丝，不能用大规格保险丝代替小规格保险丝；第三，连接故障诊断仪，读取发动机系统故障码，日系车型多出现P0230（燃油泵控制电路故障）、P0627（燃油泵控制电路开路）等故障码，美系别克商务多出现P0231、P0232等故障码，国产皮卡与长城500故障码定义与日系车型接近，故障码可以辅助定位故障区间，但是不能完全依赖，需要结合实物检测。

#### 4.3 继电器与供电回路分段排查

分段排查是避免误判的关键部分，把电路分成电源端、