

# 车身电泳过程中导电触头打火原因及对策探讨

戈北京, 张德义, 戈云飞, 刘洪涛, 齐江飞

(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300380)

**摘要:** 本文根据电弧放电原理, 通过总结分析汽车电泳过程中出现的几种导电接触面打火现象得出结论, 导致接触面打火的主要因素有三: 一是接触面不平整、不光滑; 二是接触面有微小间隙或者是虚接(结合不紧密), 大电流通过时产生电弧将接触面击穿; 三是接触面上黏附有电泳漆, 其接触电阻很大, 大电流产生的高温可以烧灼、气化电泳漆, 使接触面出现间隙和电弧, 最终将接触面击穿。消除接触面打火的关键是: 导电接触面要平整、光滑; 保证可靠接触, 避免产生间隙; 接触面保持洁净, 表面没有污染和电泳漆黏附。针对几种接触情况, 本文提出了具体的解决方案和技术措施。

**关键词:** 电泳; 触头; 打火; 原因; 措施

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2026)01-0021-05

## Discussion on Causes and Countermeasures of Conducting Contact Spark During Car Body Electrophoresis

GE Bei-jing, ZHANG De-yi, GE Yun-fei, LIU Hong-tao, QI Jiang-fei

(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300380, China)

**Abstract:** According to the mechanism of arc discharge, this paper summarizes and analyzes several kinds of spark phenomena in the process of automobile electrophoresis, and concludes that the main factors leading to the spark of the contact surface are: first, the contact surface is uneven and not smooth; the second is that the contact surface has a small gap or a virtual connection (the combination is not tight), and the arc will break down the contact surface when the large current passes through; third, electrophoretic paint is attached to the contact surface, and its contact resistance is very large. The high temperature generated by large current can cauterize and vaporize the electrophoretic paint, causing gaps and arcing on the contact surface, and eventually breaking down the contact surface. The key to eliminate the contact surface spark is that the conductive contact surface should be smooth and smooth; And ensure reliable contact to avoid gaps; The contact surface is kept clean, free of contamination and electrophoretic paint adhesion. In view of several contact situations, this paper puts forward solutions and specific technical measures.

**Key words:** electrophoresis; contact; spark; cause; measures

### 0 引言

汽车漆膜一般分为多层, 对车身有保护和美观的作用, 漆膜的最底层为电泳漆。车身电泳在带阳离子的电泳涂料中进行。电泳槽底和壁板上的阳极管接电源

正极, 通过铜排、电缆将车身接电源负极, 在阳极管和车身之间形成电位差。带正电的阳离子电泳胶体粒子在电位差的作用下向白车身上迁移沉积, 在车身表面形成一层致密的电泳漆膜。电泳电压一般为 120~350 V, 冲击电流达 350~500 A。从阴极铜排到车身的导电路径上有多个活动接触面, 这些活动接触面常有打火现象。轻微的打火会影响接触面的平整性和导电性; 严重的打火会导致接触面被烧毁, 影响产线的正常生产。

收稿日期: 2024-06-12

作者简介: 戈北京(1963—), 男, 硕士, 教授级高工, 主要从事汽车涂装输送技术开发及应用工作。E-mail: geibeijing@126.com。

电泳过程中导电接触面打火是汽车涂装生产中的常见现象,某些工厂深受其扰。虽然采取了多种办法,但由于缺乏对电泳打火的深入研究,对其机理和成因了解不够,所以各种应对办法效果不佳。目前,针对电泳打火的研究报告和论文也不多见。本文试图从分析电泳打火的机理和成因入手,探讨解决电泳打火的根本性技术措施。

## 1 电泳导电触头打火现象及危害

车身的前处理电泳一般采用全自动生产线,车身通过撬体装载在电泳输送机或输送线上。输送机驱动车身连续浸入浸出电泳槽,完成电泳工艺。在此过程中,从阴极铜排到车身的良好导电是电泳的必要条件。装在输送机上的电缆,一端通过导电刷滑动连接到阴极铜排,另一端固定连接到输送机的导电装置上。导电装置和撬体上的导电杆/头/块紧密接触(活动,可分离),形成可导电连接。车身支撑在撬体上,其接触面可导电。因此,从阴极铜排到车身的导电路径上除了电缆,还有3~4个活动接触面,打火经常发生在这些活动接触面上。

### 1.1 铜排和导电刷的接触面 I

铜排是电泳导电的终点,电流经阳极管、电泳液、车身、输送机导电装置和电缆到达铜排。导电刷在电缆端头,其铜制触头通过弹性元件压紧在铜排表面。导电刷安装在输送机或输送线上并随之移动。导电刷铜制触头在移动过程中始终与铜排保持接触。导电铜排与输送机钢结构和电泳室体间绝缘连接。铜排和导电刷之间偶尔也会出现打火现象,导致铜排表面出现麻点和凹坑,见图1。



图1 铜排表面的麻点和凹坑

### 1.2 电缆和输送机导电装置接触面 II

电缆和输送机导电装置之间为固定连接,通过线鼻子用螺栓压紧。此处一般不会打火,但是会出现接合面被严重烧灼现象,见图2。

### 1.3 输送机导电装置和撬体导电杆接触面 III

输送机导电装置形式多样,一般都有一个导电触头或导电块,与撬体上的导电面直接接触。有的为刚性接触,有的为弹性接触。在有多个导电触点的情况下,

刚性接触不能保证每个触点都能紧密接触,某些触点可能有间隙。弹性接触可保证导电接触面始终保持接触状态。如果接触面安装在半封闭的导电杯或导电碗内,浸入电泳槽后导电杯或导电碗内的气室可以避免接触面被电泳上漆或者黏附电泳漆。但是,当输送机空载运行时,保护导电触点的半封闭空间不复存在,接触面被电泳或者黏附电泳漆的情况则难以避免。接触面III打火是电泳打火中出现频率最高、危害也最大的一种,可以直接将接触面烧毁,见图3。



图2 电缆和输送机导电装置接触点

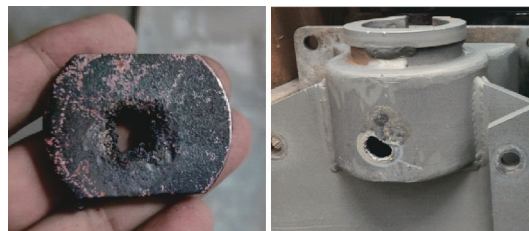


图3 被烧穿的导电板/碗

### 1.4 车身和撬体接触面 IV

车身一般装载在撬体上,撬体上设车身定位销和支撑面。为了保证良好导电性,支撑面要保持洁净。定位销一般为偏心结构,旋转180°后可以防止车身浸入工艺槽时坠落。有的偏心销还有下压功能,可以将车身压紧在撬体上保证良好接触。还有的受车身结构限制,没有定位销,只能将车身上某点直接落在撬体支点上。接触面IV也会出现打火,烧毁撬体支点或者将车身底板烧穿,见图4。

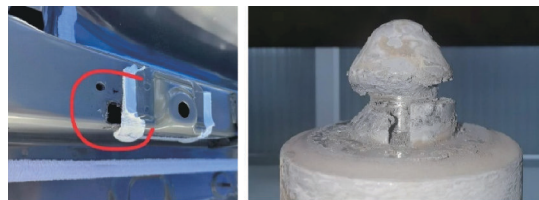


图4 车身底板被击穿、撬体支点被烧

## 2 导电接触面打火原因分析

### 2.1 打火机理

当开关电器断开电流时,如果电路电压不低于 10 V,电流不小于 80 mA,电器的触头间便会产生电弧放电,导电接触面打火属于电弧放电的一种。

电弧的形成是触头间中性质子(分子和原子)被游离的过程。开关触头分离时,触头间距离很小,电场强度  $E$  很高 ( $E = U/d$ )。当电场强度超过  $3.0 \times 10^6$  V/m 时,阴极表面的电子就会被电场力拉出而形成自由电子。从阴极表面发射出来的自由电子和触头间原有的少数电子,在电场力的作用下向阳极加速运动,途中不断地和中性质点相碰撞。只要电子的运动速度  $v$  足够高,电子的动能  $A = mv^2/2$  足够大,就可从中性质子中打出电子,形成自由电子和正离子。新形成的自由电子也向阳极加速运动,同样也会与中性质点碰撞而发生游离。碰撞游离连续进行的结果是触头间充满了电子和正离子,具有很大的电导。在外加电压下,绝缘介质被击穿而产生电弧也就是打火。

由此可见,导电触头打火有两个必要条件,第一是接触面两侧有电压存在,第二是接触面之间出现很小的间隙,或者有很薄的绝缘层。电压将间隙中的空气或者绝缘层击穿产生电弧就形成接触面打火现象。本文将据此分析上述 4 种接触面打火现象发生的过程和原因。

### 2.2 接触面 I

阴极铜排安装在电泳室体外或者电泳槽上方,表面比较干净。当铜排表面不平整、接缝处有微小台阶,或者铜刷表面比较粗糙时,铜刷在铜排表面滑动时可能出现振动。振动使接触面瞬时出现间隙,此时就会发生打火现象,在铜排表面留下一长串断续的麻点和凹坑。另外,铜排表面会残存磨损颗粒,这些颗粒会使接触面产生间隙,从而导致打火。

为了降低导电刷摩擦噪音、减轻磨损,有时会在铜排表面涂抹导电膏。如果涂抹量较多,导电膏会把铜排的高低电压段连通,此时高低电压之间的绝缘块附近也会出现打火。

### 2.3 接触面 II

接触面 II 是电缆和输送机导电装置之间的接触面,是用螺栓压紧的,不会出现电弧或者打火。接触面被烧毁是由于电流较大,接触面不平整或者有污染导致接触电阻过大,电流流过时产生很大热量,最终接触面被烧灼,留下烧灼痕迹。

### 2.4 接触面 III

#### 2.4.1 刚性接触面

##### 1) 虚接

输送机上的刚性导电接触面一般兼做橇体支撑面,为了保持稳定一般需要 4 个支撑点。4 个点均保持良好接触是比较困难的,对输送机载具和承载车身的橇体的制造精度要求很高。再有,输送机载具和橇体随机匹配,因此某个支撑点接触不够紧密(俗称“虚接”)应是大概率事件。虚接的接触电阻很大,电流流过时会产生很大热量,接触面也会出现烧灼,进而产生电弧将接触面击穿。橇体和车身在电泳液中运行受电泳液冲击或者通过“驼峰”时,接触不紧密的触点可能会出现微小间隙,在通电情况下此间隙会产生电弧,导电头被烧、橇体碗被击穿。故,采用刚性接触的产线或多或少都有打火现象。

#### 2) 黏附有电泳漆的接触面

由于“气室”保护不彻底或者完全没有保护,刚性接触面上会粘上电泳漆。因为存在能游动的极性离子,电泳漆膜在未烘干固化之前可以导电,并且在车身入槽时接触面之间的相互摩擦挤压,会使一部分电泳漆被挤掉有金属露出,所以,黏附有电泳漆的接触面可以导电。但是由于电泳漆的存在及所露出金属面积有限,接触电阻大幅增加。在电泳初期会出现如接触面 II 那样的高温烧灼并将电泳漆气化,进而接触面之间出现间隙并有电弧产生,最终将接触面击穿。

#### 2.4.2 弹性接触面

有些输送机采用可导电的弹性接触面,也就是在输送机的导电装置上或者在橇体的导电装置上设弹性元件,使二者的接合面始终保持可靠接触。即使如此,由于接触面上会黏附电泳漆,采用弹性接触面的电泳线也会打火。其打火过程和原因与黏附有电泳漆的刚性接触面类似。

### 2.5 接触面 IV

车身在橇体上的支撑及与橇体的接触有 2 种基本形式,浮动式支撑和压紧式支撑。

#### 2.5.1 浮动式接触面

浮动式支撑仅有销子或者平面定位,车身靠重力压在橇体上。通常有 4 个支撑点、4 个接触面。4 个接触面均保持良好接触是比较困难的,且车身和橇体随机匹配,因此某个支撑点接触不够紧密(俗称“虚接”)应是大概率事件。即使重力作用下车身变形抵消了部分制造误差,但是虚接仍难以完全避免。而且,橇体和车身在电泳槽中运行受电泳液冲击或者通过“驼峰”时,接触不紧密的触点可能会出现微小间隙,在通电情况下此间隙会产生电弧,导致橇体支撑面和车身底板被烧、被击穿。

#### 2.5.2 压紧式接触

压紧式支撑除采用销子定位外,定位销在旋转过

程中受弹性元件作用会向下移动,销子顶部的钩子能将车身底板在橇体支撑面上压紧。车身在上下坡或者旋转过程中,支撑面始终保持接触不会出现缝隙。因此,采用压紧式接触的橇体不会出现由于虚接导致的打火现象。每经过一次电泳,橇体支撑面就会黏附一些电泳漆,并且还要经过烘干炉烘烤干燥。虽然车身重量可以挤压掉接触面上的一部分电泳漆,但是长期运行后仍然会出现由于导电性变差引起的打火。其过程和原因与黏附有电泳漆的刚性接触面类似。

## 2.6 小结

综合上述分析,造成电泳导电接触面打火有几个关键因素:一是接触面不平整、不光滑;二是接触面有微小间隙或者是虚接(结合不紧密),大电流通过时产生电弧将接触面击穿;三是接触面上黏附有电泳漆,其接触电阻很大,大电流产生的高温可以烧灼、气化电泳漆,使接触面出现间隙和电弧,最终将接触面击穿。

消除接触面打火的要点是:导电接触面应平整、光滑;保证接触面可靠接触,避免产生间隙;接触面保持洁净,表面没有污染和电泳漆黏附。

## 3 消除导电接触面打火的技术措施

根据上述分析,针对各种接触面的打火可有针对性采取以下措施。

### 3.1 预防铜排和导电刷之间打火

铜排表面应平整光滑;导电刷表面一般呈弧形,也应光滑;接触面最好经抛光处理;铜排接缝处无台阶;导电刷弹性元件压力应适当,保证可靠接触即可;导电接触面适当涂抹导电膏,减小导电刷滑行阻力及对铜排的磨损;及时清理铜排表面的污染物和粉尘,防止增大接触电阻。

### 3.2 预防电缆和输送机导电装置之间打火

导电装置和电缆的接触面应经机加工和抛光处理,保持洁净无污染。用螺栓可靠拧紧后,表面再涂绝缘漆,防止腐蚀性液体渗入、腐蚀接触面。接触面被腐蚀后接触电阻会显著增大,出现 2.3 节所述的烧灼现象。

### 3.3 预防输送机和橇体之间打火

消除输送机导电装置和橇体导电杆之间打火的基本点是消除刚性接触情况下的虚接和弹性接触情况下的接触面上的电泳漆。

避免虚接的要点是采用弹性接触:在输送机载具上分别设置车身载具的刚性支点和弹性导电装置。刚性支点与输送机绝缘连接,不参与电泳导电仅用于承载车身重量。弹性导电装置由导电块、电缆、弹性支撑件和导向元件组成。导电块直接接触车身载具上的导电头;电缆连接导电块和载具本体并与导电铜排连通;

弹性支撑件保证导电块的位置是浮动的,并且和橇体上的导电头始终可靠接触,并有一定的压紧力。导向元件用于保证导电块处于应有的位置。

使弹性导电装置导电块表面保持洁净的措施较多:其一,在输送机载具空载返回段,对导电块进行清洗。可以采用高压水、超声波、激光和机械式清洁装置。机械式清洁装置一般采用钢刷或者铜刷作为清洁器具,由于钢刷和铜刷易变形、易被导电块上的电泳漆污染,所以清洗效果不佳。高压水清洗,采用高压水枪在导电头通过时对其进行高压清扫,水压 10 MPa,流量 10 L/min,清洗效果较好;不足之处是功率大、水压高有飞溅,需要做好封闭和防护。超声波清洗由水槽、管路、超声波发生器和清洗剂等组成,其缺点是噪音较大,清洗效果一般。激光清洗,利用高能量激光束产生的冲击波使污染物变成碎片并被清除;激光清洗效果好,可以彻底清除导电块表面的污染物和电泳漆;不使用任何化学药剂和清洗液,清洗下来的废料基本上都是固体粉末,体积小,易回收;其不足之处是一次性投入较高,需要设置通风除尘装置。其二,对导电块进行防护,防止电泳漆黏附到导电块表面。当车身和橇体加载到输送机载具上以后,二者配合一般会形成封闭式气室,气室中的空气可以防止电泳漆黏附到导电块表面。但是,在输送机空载运行时,封闭气室不复存在,导电块会直接浸入电泳液中被电泳或者表面黏附上电泳漆。为了避免这种情况发生,可以为导电块设置专用防护帽,见图 5。防护帽设有半封闭的空间,可以扣在空载运行的导电块上。导电块随空载具入槽时,防护帽中的半封闭空间形成气室,气室中的空气可以阻止电泳漆浸没到导电块表面,进而防止其表面被电泳或者黏附电泳漆。输送机需要装载车身进行电泳时,将防护帽从导电块上取下。这种方式可以从源头防止导电块表面黏附电泳漆,使导电块表面始终保持洁净,避免了污染、清洗、再污染、再清洗的无休止循环。

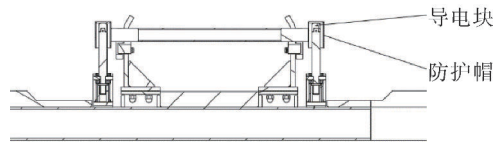


图 5 导电块防护装置

### 3.4 预防车身和橇体之间打火

首先采用压紧式接触,保证橇体支撑面与车身始终保持接触不出现缝隙或虚接。如果由于车型原因不能采用压紧式接触,可以在橇体上采用 1~2 个弹性支撑面,通过弹性元件保证橇体和车身的可靠接触,避免

虚接。其次, 橇体支撑面及弹性支撑面保持洁净, 没有污染或者电泳漆沉积。可采用高压水、激光和机械式清洁装置。

在工程实践中也有采用绝缘刚性支撑配合弹性接触面的支撑导电方式, 只要采用有效的清洁装置, 及时清除弹性支撑面沉积的电泳漆, 也可保证良好导电性、避免接触面打火。

#### 4 结语

车身电泳过程中导电接触面打火现象属于电弧放电。根据电弧放电的机理, 导致接触面打火有几个主要因素: 一是接触面不平整、不光滑; 二是接触面有微小间隙或者是虚接(结合不紧密), 大电流通过时产生电弧将接触面击穿; 三是接触面上黏附有电泳漆, 其接触电阻很大, 大电流产生的高温可以烧灼、气化电泳漆, 使接触面出现间隙和电弧, 最终将接触面击穿。

消除接触面打火的关键是: 导电接触面要平整、光滑, 且保证接触面可靠接触, 避免产生间隙; 接触面保持洁净, 表面没有污染和电泳漆黏附。预防活动接触面打火的措施: 首先是采用弹性接触或者压紧式接触, 保证接触可靠不会产生间隙或者虚接; 其次, 接触面保持洁净, 无污染无电泳漆黏附, 可采用高压水、超声波和激光清洗装置, 或者采用导电接触面防护装置, 避免输送机空载运行时导电面被电泳漆浸没和黏附。

本文对电泳打火现象进行了总结和理论分析, 提出了预防打火的技术措施, 并在工程实践中予以验证,

对于解决在汽车电泳过程中普遍存在的打火问题具有很强的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 梁勇, 严杰. 浅谈大型水轮发电机组集电环碳刷打火原因及处理方法[C]. 2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(上册): 569-580
- [2] 高学利, 许丹, 孙明, 等. 某型雷达发射机高压打火故障分析及处理[J]. 航空维修与工程, 2024(4): 102-104.
- [3] 陶禹, 王新峰, 孙世靖, 等. 摆杆输送机在汽车制造中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2017(7): 57.
- [4] 戈北京, 李翔, 戈云飞, 等. 汽车涂装摆杆链磨损分析及预测性维护[J]. 现代涂料与涂装, 2024(12): 40-47.
- [5] 安新伟. 双摆杆输送系统故障分析及处理[J]. 现代涂料与涂装, 2023(4): 70-72.
- [6] 冉根康, 张玉祥. 浅谈贯流式机组集电环碳刷打火及温度偏高处理[J]. 水电与新能源, 2020(4): 27-30.
- [7] 兰建辉. 发电机大轴接地碳刷打火原因分析与消除方法[J]. 山西科技, 2019(5), 148-150.
- [8] 李思远, 黄鹏, 张程皓, 等. 涂装车间滑橇高压自动清洗控制系统应用[J]. 现代涂料与涂装, 2025(1): 51-55.
- [9] 高忠健. 浅谈涂装阴极电泳用整流电源原理[J]. 现代涂料与涂装, 2024(11): 75-77.
- [10] 晏玥. 制氯电解槽阴阳极板打火问题研究[J]. 现代制造技术与装备, 2021(2): 61-62. ◆

(上接第 12 页)

#### 4 行业推广及展望

本系统的应用取得了良好的效果, 对于脱脂和硅烷的工艺, 基本上实现了全自动检测以及加药, 并且与人工加药对比优势明显。同时, 可视化以及智能化的实现, 达到了智能制造的要求。

后续研究中需要进行的优化:

1) 改进光谱比对速度。目前比对的方法主要靠视觉, 之后利用算法进行判断, 视觉拍照受到相机、环境、光线等因素影响较大, 容易出现判断不准确的情况, 后续可以研究其他方法进行比对。

2) 改进软件算法。目前该软件算法判断存在误判情况, 初步认定为系统 BUG, 后续需要对该软件进一步完善, 力求达到最佳效果。

#### 5 结语

本文针对国内某工程机械涂装线项目的在线检测加药系统进行优化改进, 建立了一套操作方便, 检测准确的可视化软件, 该软件通过优化操作主界面、管控界

面、参数界面、数据显示界面等, 达到了对在线检测加药系统运行状态的实时管控, 同时数据与涂装中控系统进行数据互通, 可在中控系统中监控在线检测加药系统的状态, 并以此建立了该系统与 MES/MOM 系统的互通, 提高了涂装线的智能化程度。

#### 参考文献:

- [1] 吴亚楠. 2024 机械设备行业发展前景研究、未来趋势分析 [EB/OL]. 2024-10-30. <https://www.chinairm.com/scfx/20241018/165632501.shtml>.
- [2] 张瑞. 工程机械涂料与涂装的发展趋势分析[J]. 涂料工业, 2020(3): 77-82.
- [3] 周传彦, 季建华, 施国颖, 等. 现代工程机械涂装前处理工艺现状及发展趋势[J]. 材料保护, 2020(S1): 60-63.
- [4] 王海军, 崔德源, 张德义. 汽车涂装前处理药剂自动管控系统应用与分析[J]. 现代涂料与涂装, 2024(11): 49-52.
- [5] 刘飞, 朱铁, 周江辉, 等. 涂装车间前处理电泳参数在线监测及智能加料应用[J]. 现代涂料与涂装, 2024(3): 63-65. ◆