



傀儡焊在车身制作中的应用研究

吴青云 魏庆丰 安荣丽 袁会利

【摘要】 本文对傀儡焊结构、原理及技术参数进行阐述，同时结合傀儡焊在车身制作中应用的典型案例，分析傀儡焊在不同情况下的应用方案，并重点围绕R-II车型总拼工位傀儡焊点质量不良的问题进行分析，提出解决方案并对调试结果进行验证，形成傀儡焊工艺的技术要求及调试方法。指出傀儡焊质量保证核心是缩短回路长度、保证回路接触良好，降低回路损耗；增大外部焊机容量或采用中频焊机，保证输出电流。

1. 概述

傀儡焊是一种特殊的电阻点焊工艺，用于解决焊接空间不足、焊接操作性较差、安全性差焊点的焊接工艺方法，常用于车身总拼工位。我公司的B/C、R-II、R-I及N721等多款车型车身总拼、顶盖等工位部分焊点均采用此焊接工艺。

本文基于傀儡焊在车身制作中的应用案例，重点解决傀儡焊应用过程中常出现的假焊质量问题，明确傀儡焊工艺设计要求及调试方法。

2. 傀儡焊工艺

(1) 傀儡焊原理 傀儡焊是一种利用外部焊机焊钳提供焊接电流并控制焊接参数，通过铜排、附缆传递电流至傀儡焊钳，傀儡焊钳压紧板件形成回路，利用电流流过傀儡焊钳接头的接触面及临近区域产生的电阻热进行焊接的方法，原理等同于电阻焊

中的点焊。傀儡焊与电阻点焊的区别是电阻点焊的二次回路较短，外部焊钳直接压紧板件并焊接，而傀儡焊的二次回路较长，外部焊钳压紧铜排，通过铜排附缆传递电流，内部傀儡焊钳压紧板件并焊接。电阻点焊及傀儡焊原理如图1所示。

(2) 傀儡焊结构组成 按结构功能主要由外部焊机焊钳、铜排、附缆、傀儡焊钳组成。

第一，外部焊机焊钳：主要提供焊接电流并控制焊接参数，即电阻点焊的焊机焊钳，根据需要可选择机器人和人工两种操作

方式，工艺可选择中频伺服或工频气动焊接工艺。

第二，铜排：从结构上可细分为受压铜排、传导铜排及绝缘垫片，受压铜排和传导铜排对称布置一组，中间用3mm绝缘垫片隔开，避免回路分流。受压铜排直接与外部焊钳接触，承受电极压力并传递电流，传导铜排主要起到传递电流的作用，铜排之间采用高强度螺栓连接，螺栓需增加绝缘套筒和垫片。铜排结构示意如图2所示。

第三，附缆：其主要功能也是传递焊接电流，有两根，将

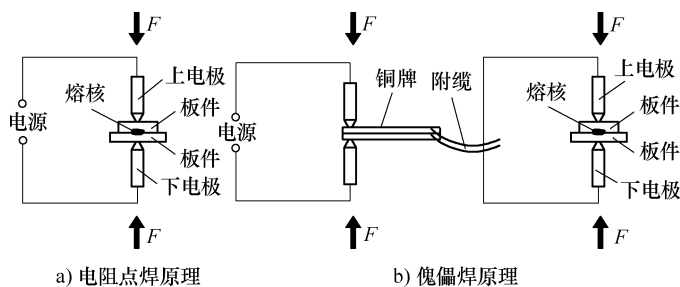


图1 电阻点焊及傀儡焊原理

两组铜排分别与傀儡焊钳的上下电极臂相连。

第四，傀儡焊钳：其主要功能是通过焊钳气缸提供焊接压力压紧板件，电流通过傀儡焊钳和板件并在两者接触面利用电阻热形成合格焊点。

(3) 傀儡焊使用情况 根据傀儡焊的结构和原理可以看出，傀儡焊工艺需要额外增加铜排、附缆和傀儡焊钳，从投资成本上考虑，原则上尽量避免使用傀儡焊工艺。

下列情况下可考虑采用此焊接工艺方法：

第一，夹具结构复杂，焊接空间不足，焊接操作性、可视性差的焊点。

第二，自动化工位，所需点定焊点机器人行程无法满足。

第三，考虑安全因素，人工无法直接焊接所需焊点，需要通过铜排引至安全位置。

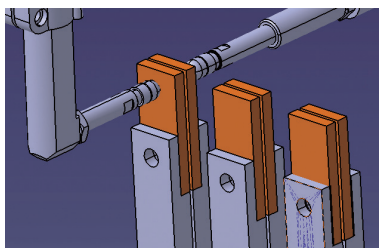
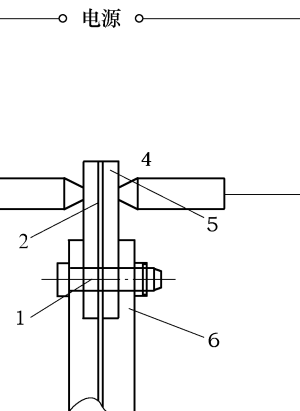


图2 铜排结构示意图

1.固定螺栓螺母 2.绝缘垫片 3.绝缘垫片
4.下电极 5.受压铜牌 6.传导铜牌

第四，其他工艺无法直接焊接或直接焊接工艺不良的原因。

3. 傀儡焊参数

焊接过程中电流产生热量可用 $Q = UIt = I^2 Zt$ 计算， Q 为电极间产生的热量，其中 U 为二次电压，与所选变压器有关，一般外部焊机焊钳确定后保持不变； I 为焊接电流、 t 为焊接时间，二者可以通过外部焊机焊接控制器来设置； Z 为焊接回路阻抗，与回路面积、回路相关材料阻抗及焊接压力有关。

(1) 二次电压 U 傀儡焊工艺的二次电压指外部焊钳变压器的二次电压，可通过公式计算如下： $U_0/U=N$ ；其中 U_0 为外部焊钳变压器的初级电压，一般为380V； U 为焊钳变压器的次级电压； N 为匝数比，指变压器初级线圈数与次级线圈数的比值。我公司常见小原的机器人和人工焊钳变压器二次电压如表1所示。

(2) 焊接回路阻抗 Z 第一，在具有电阻、电感和电容的电路中，对交流电所起到的阻碍作用叫做阻抗。傀儡焊工艺的阻抗为整个焊接二次回路的阻抗，可通过公式计算如下： $Z=\text{变压器内阻}ZB+\text{外部焊钳阻抗}ZQ_1+\text{傀儡焊钳阻抗}ZQ_2+\text{铜排内阻}ZT+\text{辅缆}$

阻抗 ZF +主缆阻抗 ZZ +其他阻抗 Zq 。

第二，变压器的内阻 ZB 与所选变压器有关，可参考表1所示。焊钳的阻抗 ZQ 与焊钳电极臂所包含的二次回路面积有关，表2是常见焊钳二次回路面积所对应的阻抗值。

第三，铜排内阻与铜排的材质、长度、断面尺寸有关，可根据公式计算如下： $ZT=\rho L/S$ 。 ρ 为材料的电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ ，对于纯铜为 $0.0175 \Omega \cdot mm^2/m$ ； L 为铜排的长度，单位为 m ； S 为铜排的横截面积，单位为 m^2 。铜排越长、内阻越大，横截面积越大，电阻越小。

第四，主、辅缆的电阻根据所选的型号确定，采用机器人焊接时无主缆阻抗。表3、表4分别为各型号主、辅缆对应的阻抗值。

第五，各部分之间的板件电阻和接触电阻。板件电阻与所焊板件材料、厚度、电极头端面直径等信息有关，在板件搭接良好的情况下，一般可以忽略不计。接触电阻主要包含外部焊钳电极与受压铜排间、受压铜排与传导铜排间、传导铜排与传导铜排间、传导铜排与辅缆间、辅缆与

表 1

序号	焊机型号	匝数比	二次电压/V	变压器内阻/ $\mu \Omega$	变压器重量/kg	备注
1	RT352	73	5.2	135	25	机器人
2	RT452	58	6.6	155	30	机器人
3	RT552	47	8.1	160	36	机器人
4	RT752	37	10.3	170	44	机器人
5	RT906	32	11.9	180	51	机器人
6	PTB150	16	25.8	295	195	人工一体式焊机重量
7	PTB180	15	25.3	305	245	
8	PTB200	14	27.1	330	255	
9	PTB250	12	31.7	385	280	

表 2

序号	焊钳二次回路 面积/mm ²	焊钳阻抗 /μΩ	序号	焊钳二次回路 面积/mm ²	焊钳阻抗 /μΩ
1	200	130	12	2800	490
2	300	170	13	3200	530
3	400	200	14	3600	570
4	500	220	15	4000	610
5	600	240	16	4400	650
6	800	280	17	4800	700
7	1000	300	18	5200	750
8	1200	330	19	5600	800
9	1400	350	20	6000	850
10	2000	410	21	6400	900
11	2400	450	—	—	—

傀儡焊钳间、傀儡焊钳电极与板件间、板件各层之间等。接触电阻大小与接触面的搭接状态有关，在设计上尽量减少铜排之间的搭接次数，同时保证其接触良好性，降低接触电阻。

4. 傀儡焊应用案例

(1) 总拼工位应用 下面以某款车型（代号R-II）总拼工位傀儡焊应用方案进行分析，针对过程中出现的质量问题，提出解决方案并对调试结果进行验证，同时对调试方法及思路进行总结提炼。

第一，总拼工位傀儡焊应用方案。R-II总拼工位采用翻转平移式总拼方案。自行小车上左右侧围后，总拼侧围夹具夹紧后翻转至垂直位，等待往复杠将下车体总成输送到总拼工位后侧围夹具合并到位并夹紧，机器人上顶盖前后横梁后夹具夹紧，机器人焊接顶盖横梁焊点及通过铜排引出的侧围和下车体傀儡焊焊点。总拼工位夹具结构比较复杂，且所需点定焊点位置机器人行程无法满足，因而采用傀儡焊工艺，左右各11个傀儡焊点，具体傀儡

焊应用方案如图3所示。

第二，总拼工位傀儡焊调试前存在的问题。R-II白车身在ADUIT评审过程中发现总拼工位铜排傀儡焊大量出现虚焊、假焊现象，车间需要在调整线进行返修，影响白车身质量。针对R-II

总拼工位铜排傀儡焊焊接不良的现状，调查近期10台白车身铜排傀儡焊点缺陷分布情况如图4所示。由图4可看出，主要问题如下：铜排焊点合格率低，仅20%；铜排傀儡焊点弱焊、假焊问题严重。

第三，傀儡焊质量问题产生原因。从人、机、料、法、环、测等多个方面对可能影响傀儡焊质量的原因进行综合分析，通过图5的分析结果显示，对末端因素进行收集，其中机和环是导致焊点缺陷的决定性因素。环的因素主要是指铜排分流导致焊接电流变小；机的因素主要是指总拼夹具精度差和铜排过长，总拼夹具精度差侧围合并不到位，侧围和下车体搭接傀儡焊点位置板件

表 3

序号	主缆型号 /mm ²	长度/m	单位长度阻抗 /μΩ·m ⁻¹	主缆阻抗 /μΩ	备注
1	150	2.0	133	532	往返式，按双倍长度计算
2	200	2.0	110	440	往返式，按双倍长度计算

注：其他长度按单位长度阻抗累加即可。

表 4

序号	辅缆型号/mm ²	长度/m	单位长度阻抗 /μΩ·m ⁻¹	辅缆阻抗 /μΩ	备注
1	150	2.0	133	266	按长度计算
2	200	2.0	110	220	按长度计算

注：其他长度按单位长度阻抗累加即可。

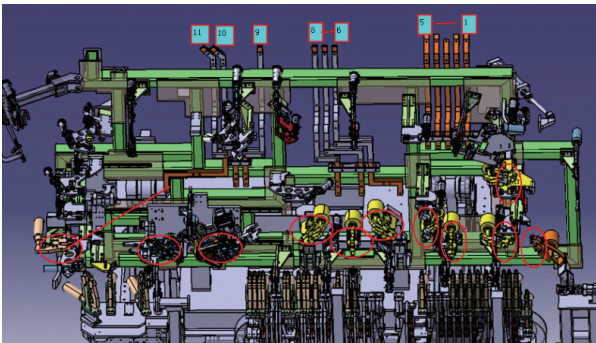


图3 R-II总拼工位傀儡焊应用方案

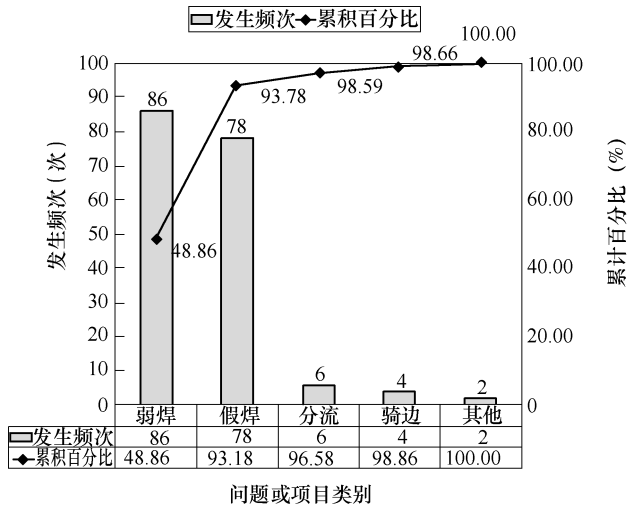


图4 铜排傀儡焊点合格率及焊点缺陷分布情况

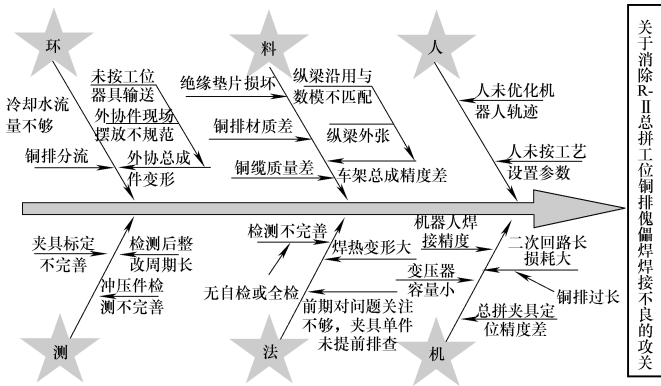


图5 傀儡焊质量问题原因分析鱼刺图

间隙过大；铜排过长导致二次回路阻抗大，两者均不同程度导致回路阻抗的增大电流变小。

第四，解决措施。针对上述原因分析，逐项验证并制定科学的解决方案和整改措施。

实施过程如下：

首先，铜排分流验证及整改。利用兆欧表测量铜排与铜排之间、铜排与夹具之间、铜排与焊钳之间的电阻，确认分流位置，并更换绝缘垫片或螺栓绝缘套筒，消除分流。

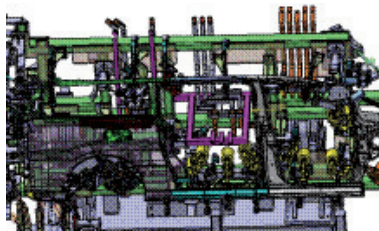
其次，总拼夹具精度验证及整改。利用三坐标标定总拼侧围夹具精度，并观察总拼夹具在带车身和不带车身情况下的合拼状

态。根据验证及标定结构调整夹具，确保总拼夹具合并到位，从而保证傀儡焊焊点位置板件搭接

良好，减少回路接触电阻。

最后，铜排过长验证及整改。现场测量各傀儡焊铜排、附缆长度，并测量机器人焊钳输出电流和傀儡焊钳输出电流，了解不同铜排长度对应的傀儡焊电流衰减情况。发现铜排过长，最长超过2m，回路损耗大导致电流衰减约5000A，并且傀儡焊钳输出电流随铜排和附缆长度增加而降低。

为缩短回路长度，降低回路阻抗和电流损耗，现场根据夹具结构及机器人焊接行程对较长铜排重新设计，并将1m附缆更换为0.8m。铜排和附缆更换到位后重新测量傀儡焊钳输出电流，验证电流损耗，同时优化工艺参数。傀儡焊铜排整改方案及整改后傀儡焊参数情况如图6、图7所示。由图可以看出，铜排和附缆缩短后，1-10傀儡焊钳输出电流明显增大，满足焊接质量要求，同时第11点由于位置较远无法进一步优化铜排长度，将该焊点转移到MB08工位补焊，所有傀儡焊点通过撕片试验验证及白车身



序号	旧铜牌长度	新铜牌长度	备注
1	1150	1150	更换铜牌
2	1100	1100	更换0.8m铜牌
3	1150	1150	更换0.8m铜牌
4	1150	1150	更换铜牌
5	2010	200	缩短铜牌长度
6	1780	200	缩短铜牌长度
7	1550	200	缩短铜牌长度
8	1550	1200	缩短铜牌、铜牌长度
9	1520	1200	缩短铜牌、铜牌长度
10	2040	1200	缩短铜牌、铜牌长度
11	2060	1400	现场已改过，电流达不到要求，无法在缩短铜牌，考虑将该焊点转移到MB08工位补焊

图6 傀儡焊铜排整改方案（左图为方案实物；右图为方案清单）

序号	旧铜牌长度	新铜牌长度	旧铜牌尺寸	新铜牌尺寸	机器人焊钳输入电流	焊接周波	左侧整改前电流	左侧整改后电流	右侧整改前电流	右侧整改后电流	备注
1	1150	1150	0.8m	0.8m	10000	18	7700	7700	7900	7900	2#机器人
2	1100	1150	1m	0.8m	10000	15	5900	8000	5900	8000	2#机器人
3	1150	1150	1m	0.8m	10000	15	5800	8200	5400	8100	2#机器人
4	1150	1150	0.8m	0.8m	10000	18	7200	7800	5400	7700	2#机器人
5	2010	200	0.8m	0.8m	10000	15	5500	8700	6200	8500	1#机器人
6	1780	200	0.8m	0.8m	10000	15	6000	8500	6600	8000	1#机器人
7	1550	200	0.8m	0.8m	10000	15	6100	8200	6400	8100	1#机器人
8	1560	1200	1m	0.8m	10000	18	5400	7700	5500	7700	1#机器人
9	1520	1200	1m	0.8m	10000	15	6200	8100	5400	7800	1#机器人
10	2040	1200	1m	0.8m	10000	15	6200	8000	5400	7800	1#机器人

图7 MB070总拼工位各傀儡焊工艺参数记录表-整改后

AUDIT评审全部合格。

(2) 顶盖工位后围板傀儡焊应用 某车型顶盖工位需上顶盖总成和后围板总成, 往复杠将车身输送到位后, 自动吊具下降上顶盖总成, 顶盖总成到位后操作工2辅助定位顶盖并按按钮夹紧, 自动吊具上升到位并取下一台顶盖总成, 操作工1同步上后尾板总成并按按钮夹紧并返回踏台上方操作位, 两人同时焊接顶盖点定焊点外, 并通过铜排傀儡焊钳将后尾板与车身的点定焊点引到踏台上人工便于操作位置, 后尾板傀儡焊应用方案如图8所示。此处应用傀儡焊工艺主要是考虑后围焊点相对顶盖焊点位置偏差大, 人工需上下踏台, 焊接操作性差, 且顶盖上一工位为机器人工位, 存在安全隐患。

(3) 后行李箱外板傀儡焊应用 三厢式轿车中, 有较多采用分体式尾灯, 即一部分尾灯布置在侧围上, 另一部分尾灯布置在行李箱盖上。此种布置在行李箱盖上的尾灯, 由于造型、尾灯布置等因素, 一般需设计单独的尾灯安装板, 后尾灯安装板再与行李箱外板连接。由于空间结构限制, 此位置焊点一般无法点焊, 采用CO₂焊影响外板品质。通过在夹具上的板件下方预埋傀儡焊钳, 板件上方夹具夹紧块兼具定位及电流传导功能, 并通过绝缘垫片隔离, 傀儡焊钳通过附缆和铜排引出后可以便利的利用外部焊钳焊钳, 某车型后行李箱外部傀儡焊应用方案如图9所示。此处应用傀儡焊工艺主要是焊接操作空间及焊点可视性的因素, 将无法操作的焊点实现便利

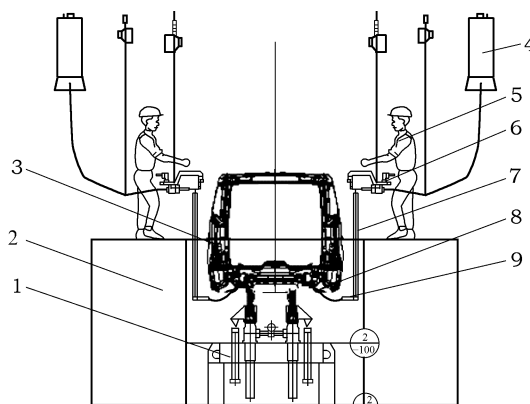


图8 某车型后围板傀儡焊应用方案

1.夹具 2.工位踏台 3.白车身 4.外部焊机 5.操作工 6.外部焊钳 7.铜排 8.傀儡焊钳 9.辅缆

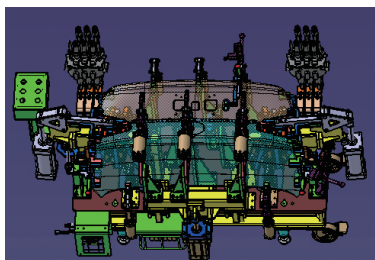


图9 车型后行李箱外部傀儡焊应用方案

的焊接, 同时一次可以对称焊接两点, 提高效率。

5. 结语

综上所述, 傀儡焊质量保证从工艺上需要考虑以下几方面: ①设计上保证铜排长度最短, 减少二次回路损耗, 原则上铜排长度不超过1m, 辅缆采用0.8m以下。②减少接触电阻, 铜排尽量少转接, 避免接触不良, 铜排之间做好绝缘保护, 避免分流。③夹具精度需保证, 板件搭接要良好, 消除板件间接触电阻。④对于回路较长无法缩短的情况, 采用更大功率焊机或中频焊机, 保证输出电流。

总之, 傀儡焊由于其显著的优点, 必将在汽车制作中广泛应用。

参考文献:

[1] 刘昶, 郭钟宁. 电阻点焊过程

数值模拟技术研究进展及应用[J], 机电工厂技术, 2010, 39(09): 18-22.

[2] He Tang. Machine mechanical characteristics and their influences on resistance spot welding quality [D], Michigan University, 2000.

[3] 何遗春. 动态电阻控制在镀锌钢板电阻点焊上的应用[C]. 电焊机, 2010, 40(05): 106-109.

[4] 刘世权. 中频逆变电阻焊的优势[J], 现代焊接, 2008(12): 16-19.

[5] 刘方晶, 杨贵斌, 李刚. 中频逆变电阻焊在汽车制造业的应用[J], 金属加工, 2003(24): 61-63.

[6] 方平, 黎华. 基于动态电参数分析的电阻点焊质量判别研究[A]. 第十一次全国焊接会议论文集(第2册)[C], 2005.

作者简介: 吴青云等, 江淮汽车股份有限公司技术中心。

MW 20160822