

第十章 铝合金车体自动 MIG 焊技术

第一节 铝合金车体自动焊技术在铁路车辆行业发展概况

目前,全铝结构铝合金车辆已经广泛用于我国铁路车辆动车组制造业和城市轨道交通车辆制造业,在车辆制造过程中,由于结构大量采用型材拼接,接头长而规则,便于自动化作业的实现,因此在该行业大量使用各种自动焊技术。

在 60 年代,受焊缝跟踪技术的制约,自动焊大部分采用简易自动焊,常用的简易自动焊有机械中心导向自动焊、轨道小车自动焊和靠模自动焊。简易自动焊虽然能够实现自动化作业,但由于二次线和走行监控必须人工辅助完成,焊接变形对轨迹的影响不能修正,因此自动化的效率和质量仍然不能保证要求。

70 年代,机械传感器跟踪直线焊缝技术已经成熟,该种传感器直接驱动横向、高度方向电机进行位移修正,脱离了外加因素的监控和影响,自动化的效率和焊接质量获得大幅度提高,因此专机焊接设备加机械跟踪传感器焊接技术获得大面积的采用,直到今天,仍然有大量的该形式的设备在生产中使用。

90 年代,新型焊缝传感器不断涌现,最普遍使用的是激光传感器,该传感器依靠激光反射图象进行焊缝跟踪计算,跟踪精度高,可以解决机械传感器长时间使用带来锁紧不牢靠和定位焊影响机械传感器走行等问题。因此,激光跟踪焊接技术获得了更快的发展,尤其激光传感器控制技术可以和机械手控制系统接口,实现一个系统的统一控制,使得该技术应用领域获得了进一步的提高。采用机械手焊接铝合金车体是在 2002 年获得迅速发展的,机械手由于标准化程度高,持枪牢固等原因,这些年被铁路行业大量使用,约占新投设备的 80% 以上。随着机械手的大量使用,双丝焊送丝机构悬挂问题变得简易,双丝焊技术获得迅速推广。

近些年,伴随复合材料用于铝合金车体结构,激光焊、激光 MIG 复合焊也在一些发达国家获得使用,主要用于高速磁悬浮列车的生产。在日本、德国、瑞典等发达国家,近些年大量使用搅拌摩擦焊技术焊接铝合金车体大部件和车体总组成,由于该技术环保无烟尘,推广使用速度非常快,是将来发展的方向,国内铁路行业也在进行该技术的试验,目前在车体关键部件车钩座板上已经试验完成,正在进行产品应用验证,不久该技术也将在国内轨道交通车辆制造业获得大面积使用。

第二节 铝合金车体自动焊的方法特点

一、简易自动焊

1. 中心导向自动焊

铝合金车体制造的初期，普遍使用中心导向自动焊完成长直焊缝的焊接，见图 10-1。其走行构成主要是导向轮和导向固定机构及走行机构，送丝机固定在走行小车上，二次线人工辅助送进，基本能够保证 26 米长焊缝一次焊接完成。



图 10-1 中心导向自动焊示意

2. 靠模自动焊

将焊枪夹持固定在走行小车上，小车靠偏心力靠向与焊缝平行的模板，使小车沿平行于焊缝的方向移动，形成焊枪对中焊缝，这种方法仅仅限于 5 米以下长度焊缝焊接，见图 10-2。



图 10-2 靠模自动焊接

3. 轨道自动焊

该方法类似轨道切割小车，固定轨道与焊缝平行，走行小车沿轨道运行，实现自动焊，效果比较差。

二、专机自动焊

在焊接铝合金车体大部件上，专机从结构上分为悬臂专机、龙门专机、吊挂专机等形式，从焊缝跟踪方式上又分为机械跟踪、激光跟踪两种方式，从送丝上又分为单丝和双丝焊

接，专机最大的特点是调节简单，操作容易，维护方便。缺点是专机枪头锁紧机构频繁使用，牢固性差，焊接运行过程中，对中性不好，需要操作者人工干预。另一方面，专机持枪机构稳定性较差，走行过程震动会带来焊缝表面纹理不均，质量相对较差。图 10-3 为悬臂自动焊专机。



图 10-3 悬臂专机自动焊设备

三、机械手自动焊

机械手焊接铝合金车体大部件主要采用龙门式和悬臂式两种方式，在焊缝跟踪上，只能采用激光跟踪的方法，机械手焊接大部件普遍采用双丝，单丝焊接一般用在初期设备系统上。机械手焊接最大的优点是持枪结构牢固，焊接过程稳定，焊接状态一致性容易保证，焊接质量好。机械手焊接的最大缺点是更换焊丝慢，操作复杂度高，维护难。机械手和焊接专机在应用上，没有绝对的好和坏，根据企业自身条件灵活运用，都能取得最终的目标。图 10-4 为龙门式机械手自动焊设备。



图 10-4 龙门式机械手自动焊设备

第三节 铝合金车体自动焊实施的关键要点

目前，在我国铁路行业，普遍使用 MIG 自动焊用于铝合金车体各部件的焊接，各个工厂自动焊设备种类、应用方法各异，焊接效率没有达到理想的境界，焊接质量也存在着一一定问

题。如何应用好自动焊，是一项非常复杂的技术，常规概念认为自动焊简单，事实上自动焊的应用比手工焊要复杂得多，要想自动焊达到理想的焊接速度和焊接质量，要花很长的时间和精力去做各项准备工作，机器内部的一元化规范一般不能适应高速焊接，要掌握自动焊技术，需要焊接工程和操作者具备以下基本条件：

一、对焊接概念的深刻理解

应用自动焊过程中，综合各种设备参数定义，需要理解如下基本概念：

1. 焊接脉冲电流和脉冲时间

焊接脉冲电流和脉冲时间决定了熔深，一般情况下靠此参数获得理想的焊接穿透力。脉冲电流的加大可减少焊接热输入，减少变形，但脉冲电流和基值电流相差过大，会带来焊接噪音的加强和焊接电弧不稳，因此通过调节脉冲时间来减少过大的差距，较小的脉冲电流组合较大的脉冲时间和较大的脉冲电流组合较小的脉冲时间在理论上可得到相同的熔深效果。

2. 焊接基值电流和基值时间

基值电流和基值时间是保证电弧不熄灭的基本参数，其值越小，平均电流越小，焊接热输入越小。一般情况下，追求最小的参数，但热输入小，气孔倾向增加，与脉冲电流的差值过大，噪音也大，因此，根据具体情况，视热输入和负面因素哪个是主要矛盾来决定参数的设置，没有绝对的正确和错误，根据实际情况，制定向有利的因素去发展，这是对焊接工程师是否理解焊接参数概念的直接考验。

3. 脉冲频率

在焊接过程中，脉冲频率主要是一个能量的概念，频率越高，热输入越大，和焊接峰值电流、基值电流的组合可获得理想的熔宽、熔深和表面余高。当峰值电流、基值电流都很高，而焊缝成型仍不理想时，需要调节脉冲频率。

4. 送丝速度

送丝速度一般和平均电流相挂钩，很多设备将此参数和焊接平均电流设在一起，当分开时，在其它参数理想的状态下，增加送丝速度，可获得焊接填充金属的增加，增加的填充金属熔化所需要的能量补充，通过增加焊接脉冲频率来实现。

5. 焊接电压和焊接电压修正

焊接电压决定功率，当电压小时，焊宽变小，电压高时，焊宽变大。电压较高时，一般电弧比较稳，电压低时，电弧硬度高，穿透强。过大、过小的电压都是不合适的，过大，电弧喷而飘，电压过低，飞溅大而不稳。

6. 焊接速度

焊接速度是自动焊最重要的参数，较低的焊接速度，焊接规范调节很容易，有太多的规范组合可以适应。自动焊追求的目标，单丝焊应该在 800mm/min，双丝焊 1700mm/min 以上，如果大幅度低于这个目标，不能体现自动焊的效果和造成资源浪费，焊接速度越高，参数的组合越困难，要获得较高的焊接速度，不仅仅调节焊接参数，焊枪的前倾角、焊丝的伸出长度等均影响效果。

7. 焊枪前倾角度

该参数影响焊接保护气体的效果、焊缝的光亮度及焊接速度，前倾角大，焊缝亮，前倾角小，焊缝黑灰多，前倾角大，焊接穿透力差，可提高焊接速度，当大的焊接规范、高的焊接速度造成焊缝塌陷时，可适当加大前倾角来实现高的焊接速度。

8. 跟踪偏移量

焊接过程中，焊丝一般不完全指向焊缝的中心，由于铝合金导热快，熔池往往偏向过热的一侧焊缝，为解决这一问题，一般设置焊缝跟踪偏移量，让焊丝指向导热快的一侧或厚度稍大的一侧。

10. 气体流量

气体流量非常重要，一般操作者不注意，尤其双丝焊接时，气体流量的影响非常大。气体流量大，需要的焊接能量也大，当气体流量过大时，可造成焊缝起楞和成型不良反应，有时和电压低的现象类似，当调节电压不能解决焊缝宽度和高度问题时，要想到检测气体流量。

10. 双丝焊前丝、后丝电压、电流关系

双丝焊前丝一般用于打底和穿透焊缝，后丝用于盖面，因此前丝电压要低，电流要高。后丝电压要高，电流要低。图 10-5 和图 10-16 示意了双丝焊的前、后丝参数关系。

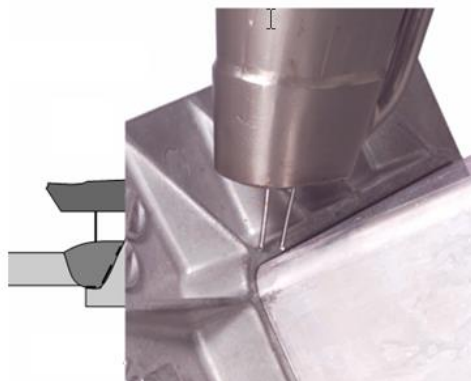


图 10-5 双丝焊接示意



图 10-6 双丝焊接前后电压关系

二、焊接工作试件的制作要点

1. 焊接工作试件的选取原则

焊接工作试件是保证自动焊质量的重要环节，自动焊规范是试验出来的，不同的设备，焊接规范是不同的，在几十种焊接规范组合中，寻求最快的焊接效率、最好的熔宽和熔深、理想的余高和合格的宏观断口是一项艰苦的工作。工作试件的选择一定要代表真实物体特征，要与实际工件具有相同的导热特性、卡具特性、环境特性、设备特性和材料特性。在车体部件自动焊过程中，工作试件原则上长度不应小于 3 米，是一个结构完整断面，不是两块型材焊缝组合，在真实卡具上实现而不是自由选择。如果不坚持以上原则，制定出来的规范是不完全正确和没有意义的，工作试件完成后，要详细填写规范记录和设备状态记录如焊枪左右倾角、前后倾角、偏移量。宏观断口检验完成后，规范就最终确定了，图 10-7 为焊接工作试件试验。

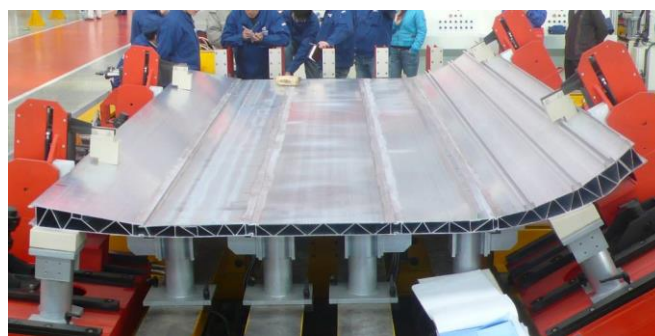


图 10-7 工作试件焊接示意

2. 焊前准备

(1) 气体流量的确定

虽然确定了焊接规范，在正式焊接时，要进行一系列检查，首先检验气体流量是否正确。

图 10-8 为检测气体流量示意。



图 10-8 气体流量检测示意

(2) 管路排气检查

在自动焊前要打开检气阀将焊接保护气体排出 1min，保证管路焊接保护气体不混入其它气体。

(3) 焊接试验检查

焊接设备放置一定时间后，混入各种潮气是不可避免的，在废板上焊接一段焊缝观察电弧和焊后效果是否正常，正常后准备焊接。

(4) 焊缝跟踪检查

启动焊接程序，空走 200mm 距离，检查跟踪状态，如正常，退回原点开始正式焊接。

以上准备过程是做好焊接自动化的基础，虽然繁琐，但比出现问题后处理焊缝的时间节约得多，是每个操作者必须遵守的规范。

三、 焊接过程实施要点

准备过程做好后，焊接过程一般不需要操作者跟踪观察，在起弧阶段，观察 500MM 距离后，就可让设备自行工作，如果有异常声音或工件产生尺寸变化情况下，应停止焊接，检查处理。

第四节 铝合金车体自动焊常见故障和处理办法

铝合金车体部件焊接或试验过程中，可能产生各种各样的焊接问题，以下是一些典型问题：

一、 焊接速度偏低不能获得提高

一般没有经验的操作者，焊接速度设置不上去，往往选用较低的焊接速度，这时需要懂得焊接理论的焊接工程师去帮助，尤其焊接设备档次低时，内部程序上参数匹配不合适，造成参数设置量大，因此要派理论好，能够深刻理解焊接参数概念的焊接工程师去调试。越高的焊接速度，调试试验时间越长，当产品批量不大时，可设置低的焊接速度来进行作业。

二、焊缝发黑

焊缝发黑是铝合金焊接常见故障，一般有两种原因，一是焊枪前倾角过小，排气不畅通，造成发黑，另外焊接速度过快也可造成焊缝发黑。如图 10-9 所示。



图 10-9 焊缝发黑示意

三、焊缝起楞

焊缝起楞一般在双丝焊中常常出现，是指焊缝横向不圆滑，中间高、两侧低，表现为熔化金属在焊缝中心线上没有铺展开，图 10-10 是焊缝起楞示意，这种现象产生由以下因素导致：

后丝电压低，能量小，后丝熔化后没有完全展开

气体流量过大，造成能量损失大

焊接速度过快



图 10-10 焊缝起楞示意

四、焊缝熔深不够

电压高，熔化金属盖住焊缝根部，不能穿透根部。

焊枪角度、跟踪偏移量不正确。

五、焊缝咬边

焊缝咬边在自动焊中很容易出现，一般当热输入太大时，在焊缝两侧熔化母材金属造成熔边，解决对策是减少热输入的措施都有效或降低焊接速度也可以解决该问题。

六、焊缝余高过低

一般情况下，焊缝余高过低，意味着焊接填充金属塌陷过大，解决办法如下：

减小穿透力的各种参数，如脉冲电流、时间、电压等均有效。

降低焊接速度将整个焊缝区添实。

七、焊缝余高过高

该缺陷主要有以下两种因素导致：

焊接穿透力不够，加大有关穿透力的参数都可以解决这一问题，如降低电压等。

焊缝跟踪和角度出现问题，也会造成该现象。

八、焊缝过窄

焊缝虽然满足图纸尺寸，但不美观，当焊接工件组对有问题时，参数适应性差，为避免这一现象，解决办法如下：

加大电压

增大焊接频率

降低焊接速度

九、激光焊缝跟踪跑偏

产生这一问题的原因比较单一，一般情况下，是激光左右角度设置没有输入，造成跟踪计算错误导致跑偏。

十、焊缝熔化金属偏向一侧

当焊缝左右结构有很大不对称时，如果焊丝仍对着焊缝中心，可能导致熔化金属向一侧偏移，为解决这一问题，要人为将焊接焊丝指向偏向导热慢的一侧，实现焊缝接头居中。

十一、气孔

气孔的产生一般是由湿度和工件表面污染物引起，控制湿度的来源和污染物是解决的最好办法。在参数设置上，采用较大的焊接热输入参数的办法可以解决该问题，如加大基值电流的方法也可减少气孔的产生。

十二、裂纹

时效强化型铝合金较易出现裂纹，越高强度的铝合金，越容易出现裂纹。解决的办法就是控制热输入量，如加大脉冲电流，减少脉冲时间，降低基值电流，控制频率，提高焊接速度等方式可解决这一问题。

铝合金焊接缺陷产生的原因是错综复杂的，治理的办法也是变化的，没有一个绝对好的办法是万能的，在某些工况下，好的因素在另外一个工况下就变成了负面因素，如热输入量大，会增大变形和裂纹倾向，但它会减少气孔倾向，如何利用好各种参数的利与弊，化弊为利，将不利参数转化为解决缺陷的因素，是自动焊应用成熟的表现。