

涂装车间产能及工艺线路布置分析

□ 天奇自动化工程股份有限公司 / 丁余建

本文通过小型汽车涂装车间的主要涂装工艺的产能分析及工艺线路布置分析，找出各工艺线生产节拍、积放间距、工位间距及工艺时间之间的一些相互关系，为涂装车间产能提升及工艺线路优化提供理论依据。

汽车整车厂在涂装车间前期总体规划后就要进行具体的工艺线路的布置。工艺线路布置是否合理，会直接影响涂装车间生产作业管理、产量及成本控制，在各个喷涂工艺上如果哪一环节的线路布置出现问题将会成为整个车间工艺流程的瓶颈，直接影响着涂装车身的品质及总产量。

目前小型汽车涂装车间工艺流程主要有前处理—电泳及电泳烘干、密封及密封烘干、面漆及面漆烘干、注蜡线及空撬返回这四个主要部分组成。这四个工艺过程是相互关联，互相影响。下面主要通过这四个涂装工艺来分析涂装车间工艺线路的布置问题。

涂装车间生产能力

在涂装工艺线路布置设计时，首先是要确认整个涂装车间的生产能力也就是产量，通常在汽车整车厂规划时会提及年产多少万台，下面以年产15万台为例，来分析产能的计算。

(1) 工人每班上班时间。在中国，工人工作时间是按8h制来计算。

(2) 每天上班的班次。每天轮班制度，有的汽车厂是两班制，16h轮制；有的是三班制，24h轮制。这里先按两班16h轮制。

(3) 每年上班天数。全年的法定工休日为104天，全年的法定节假日为11天，则一年的法定工作日为250天；由于汽车涂装车间属高温作业车间，车间在每年夏季都有一个高温假，一般约为10天，这样每年实际上班天数为240天，每年总班次就是480班/年。

(4) 车间生产能力。根据以上数据分析，可以计算出涂装车间的生产能力：

$$\text{生产能力} = \text{年产量} / (\text{每班时间} \times \text{每年班次})$$

式中，年产量单位为jobs/year；每班时间单位为h/shift；每年班次单位为shifts/year；生产能力单位为JPH。

如果以后根据15万台的年产量，通过以上公式可以算出生产能力约39JPH，也就每小时生产39台车。

涂装车间在生产过程中，由于设备故障或车体在涂装过程中有缺陷造成停线时有发生，这是不可避免的，因而涂装车间设备实际开动率也就只有97%左右，所以在车间生产过程中还要考虑一个开动率的问题，那么涂装车间实际规划时的生产能力为： $39 \times 97\% = 40$ ，也就是要满足每小时能生产40台车，这样就能确保全年产量。

前处理—电泳及电泳烘干

前处理—电泳线是车身进行涂装的第一道防腐保护工序，其主要工艺流程是脱脂、水洗、表调、磷化，水洗、电泳、水洗和电泳烘干。目的是去除车身上的油污及杂质，并对车身表面进行磷化形成磷化膜，以便为电泳上漆提供有利的附着表面。

1. 产能分析

前处理—电泳工艺过程中涉及较多化学物质成份，所以其工艺流程基本上是全自动密封工艺，无人工操作；而且其工艺处理是单向的，不走重复流程。

其产能主要受以下因素影响。

(1) 净过车数。净过车数，是按照规划的生产能力（40JPH），单班次操作时间（h），计算的单班净过车数量（Net passing bodies）。

净过车数=生产能力×单班操作时间

式中，净过车数单位为unit/shift；单班操作时间单位为h；生产能力单位为JPH。

(2) 设备效率。由于前处理—电泳工艺是全自动密封操作工艺线，其生产效率主要是运转设备本身的效率，一般能达到98%左右。

(3) 服务部件。这里所说的服务部件主要是指新增加的车辆损坏的汽车零部件的前处理—电泳处理工艺。比如汽车车门损坏，要重新更换，新的车门又不能从别的车身上拆下来用，只能重新制作后重新进前处理—电泳线工艺，并随其他车身一起进行前处理—电泳工艺。这些零部件也会占用其他车身吊具及工位。

(4) 前处理—电泳及电泳烘干生产能力。由于以上因素影响，前处理—电泳及电泳烘干生产能力可能会比规划的生产能力要高一些，其实际产能计算为：

$$PT-ED \text{ 产能} = \frac{\text{净过车数} + \text{服务部件数}}{\text{单班操作时间} \times \text{设备效率}}$$

式中，PT（Pretreatment）为前处理；ED（E-Coat）为电泳；PT—ED产能单位为JPH。

2. 线路规划布置

前处理—电泳及电泳烘干线的线路主要是从焊装车间的焊接车身储存输送区（WBS）下件点开始，分为前处理线、电泳线，电泳下转接点，空吊具返回及储存区、电泳烘干线、电泳晚间存储线、维修件及部品人工上件等几个部分来考虑，其布置流程简图如图1所示。

前处理—电泳及电泳烘干线的线路的主要走向，线路长度主要和以下几个因素有关：

(1) 车身长度。车身长度是线体布置的一个关系因素，线体布置除了

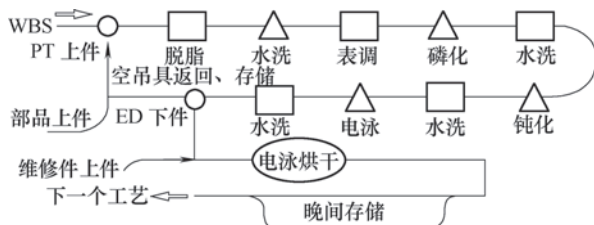


图1 前处理—电泳及电泳烘干布置简图

满足工艺要求外，还要保证车身顺利搬送，不会出现碰撞。在设计线路长度时首先要确认此车间所要生产的所有车型中最大生产车型的长度 L_c ，再确认此车型在工艺处理过程中，后备箱门是否需要打开，如需要打开，那么打开后会超过原车身体一个长度 L_z ，如图2所示。

从图2中可以计算出涂装车间所生产车型的实际长度 $L=L_c+L_z$ 。

(2) 积放间距。所谓积放间距就是车身装载在车身吊具上，吊具在进位工艺操作前等待位允许的最小停止间距。车身吊具（车身载体）的积放间距大小为：

$$L_p=L+(300\sim 500)$$

式中， L_p 为积放间距（mm）； L 为车身长度（mm）。

一般情况下，积放间距长度比 L 长300~500mm。这是根据车间的容量、转弯干涉检查、线体布置的局限性和成本来综合考虑的经验数值。

(3) 工位间距。工位间距也就是在操作工艺段的允许两车相对位置间距，它主要从工艺线体运行安全性以及工人操作的方便性两方面考虑。在PT-ED区主要从以下几个方面来考虑。

PT-ED段无上下坡形式：当PT-ED区间没有上下坡段时，车身在PT-ED区，进行入槽清洗及磷化、电泳处理时采用垂直入槽或翻滚进入槽体的方式。则此时其工位间距 L_G 可与积放间距 L_P 相等或略

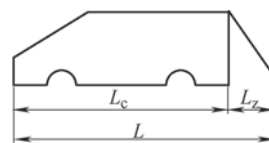


图2 车身长度尺寸图

大于LP。

但是采用此两种方式入槽，需要有一套专用升降、摆动的机构，结构比较复杂，成本也相对较高，而且会增加故障点。

PT-ED段采用上下坡形式：这种方式简单实用，只需要一条输送链的推头带动车身吊具行走，利用下坡车身倾斜入槽，上坡段车身倾斜出槽就可以实现其相应功能。

车身吊具在积放区时，车身吊具是停止的，前一个吊具与后一吊具是可以紧挨在一起的，而在PT-ED工位段时车身吊具是运动着的，它需要链条推头带动行走，各车身吊具之间是必需有一定安全间距的，以防止运行时相互之间有干涉，另外在上下坡段也要考虑车身摆动时，前车头与后车尾之间会有干涉等因素影响，其工位间距LG要大于积放间距LP，具体可根据实际分析来定。通常情况下，此时的工位间距与链条推头间距有关：

$$L_G = nT$$

式中， L_G 为工位间距（mm）； T 是指链条推头间距（mm）； n 是指推头和数量。

当然采用上下坡形式PT-ED工艺方式虽然降低了工艺设备的成本，减少了故障点发生的数量，提高了设备开动率；但是槽体的长度会相应增大。但从综合效益来看，还是有很大的优势，同时如果有产能提升需求时，比第一种方式要方便得多。

当设备需要产能提升时，可以先按最高产能来设计槽体及工艺线路；在低产能运行时，利用工位间距的变化来实现。也就是在速度不变的情况下，通过加长链条推头间

距，这样在相同线体长度上的吊具数量就会减小，且保证速度不变，则涂料生成及处理时间也不变。另外可以通过等间距的多个推头方式实现高、低产能之间相互切换。

（4）线体长度与生产节拍、速度、时间关系。

生产节拍： $Tact=60/\text{生产产能}$ 。其中 $Tact$ 为生产节拍（min/unit）。

在涂装工艺段：由于涂料特性等原因，所有涂料从涂装到形成涂膜过程都与时间有关，而在时间一定的情况下，速度与生产节拍就会影响线体长度及布置方式。此时的工艺线体长度：

$$S_T = v_T T$$

式中， T 为涂料生成或处理时间（min）； v_T 为工艺运行速度（m/min）； S_T 为工艺线长度（m）。

工艺运行速度与工艺间距及生产节拍有关，其表示为：

$$v_T = \frac{L_G}{1000 Tact}$$

在线路搬送段：一个工位到另一个工位的车身搬送段，尽量按照线体最短原则布置，这样不仅节约输时间，而且会减小吊具数量。因为在输送段是生节拍不变，则线体长度与速度、吊具流动数量的关系如下：

$$S_C = Tact \times v_C N$$

式中， N 为车身吊具流动数量； v_C 为输送段速度（m/min）； S_C 为输送段长度（m）。

由以上公式可知，当生产节拍一定时，线体长度与速度及吊具流动数量成正比，所以从成本考虑，这线体长度、线体速度及吊具数量都要减小。但是大多数情况下，涂装车间工位段与工位段的位置确认后不会改变；也就是当 S_C 长度不变的情况下，为保证吊具流动数量尽可以减少的话，线体输送速度就要提高。

晚间存储区：也称为车身排空存储区，这是涂装车间所特有的，这是由于车身在每一工艺处理阶段所上涂的涂料及涂料成膜的时间都是一定的时间要求。上涂时间过长过短都会影响车身喷涂品质。所以当工人下班或放假时要把这些工位段的车身尽快处理好并输送到晚间存储区进行存放。

PT-ED的排空，要在ED烘干完成后才能进行排空，其晚间存储区线体长度与各工艺段吊具数量、线体流动数量及积放间距有关：

$$S_S = \frac{(N_T + N_C) L_P}{1000}$$

式中， N_T 为工艺段车身吊具数量总和； N_C 为输送段车身吊具流动量总和； L_P 为积放间距（mm）； S_S 为晚间存储区线体长度（m）。

当然，在实际晚间存储区线路布置时，如果 S_S 太长，我们可以分段存储，可以分成两段或三段，中间用弯段连接。需要注意的是在弯段或弯段转接设备上通常情况下是不存储车身吊具，会造成运行不良和生产节拍的影响。但是当ED烘干线出口区的 S_C 长度很长时，是可以用来做为晚间存储区，这样能充分利用线体以降低设备成本。

密封及密封烘干

涂装车间的密封及烘干工艺主要分为车身密封及车底底涂，车身密封主要是对焊缝部分进行涂胶，防止漏水、漏气；车底底涂也称PVC，主是对车底盘进行二次保护，防止车辆行驶时被路面飞溅的杂物击破车底油漆和减小产生的噪音。

1. 产能分析

密封工艺操作部分主要分为人工操作及机器人操作工位两大部分；密封烘干部分和电泳烘干一样，属自动化生产线，无人工操作。其产能主要受以下几方面影响：

(1) 净过车数。密封区的净过车数也是按照规划的生产能力（40JPH），单班次工人操作时间（h），计算的单班净过车数量。但与上一个工艺不同的是，密封工艺操作区由于有人工操作，单班次工人操作时间还包含了工人吃饭及休息的时间，大约需要半个小时，则其净过车数为：

净过车数=生产能力×（单班操作时间-0.5）

式中，净过车数单位为unit/shift；单班操作时间单位为h；生产能力单位为JPH。

(2) 设备效率。密封操作工艺线有人工及机器人操作，其生产效率一般能达到95%左右。

(3) 密封及密封烘干生产能力。密封及密封烘干线其生产产能主要受操作时间及效率影响，则其实际产能计算为：

密封产能=净过车数/（单班操作时间×设备效率）

2. 线路规划布置

密封及密封烘干的线路布置主要是电泳烘干线出口开始，分为电泳打磨、人工密封（粗密封）、机器人密封（精密封）、底涂（PVC）、密封烘干、晚间存储区等几个部分，其布置流程图简如图3所示。

其工艺线路部分也分为工位段、输送段及晚间存储段三个部分，其中输送段及晚间存储段长度计算与前处理—电泳及电泳烘干线方法相同，只有工位段部分有所不同，下面主要讨论一下密封区工位段长度计算。

(1) 连续运行工位。连续运行是指工件在操作工位上按生产节拍要求运行速度，连续不间断搬运，工人或机器人在跟随工件搬运过程完成相关

工艺操作任务。其线体长度可表示为：

$S_T = v_T t_c N_T$

式中， v_T 为工艺速度（m/min），与生产节拍及工位间距有关； t_c 为工位操作时间（min）； N_T 为工位数量； S_T 为线体长度（m）。

(2) 步进式运行工位。步进式运行也称间隙式运行，工件先高速搬运到工位指定停止位定位停止；等待工人或机器人完成本工位相关工艺操作后，再高速搬至下一工位停止，完成下个工位的工艺操作。此时线体长度一般与工位间距及工位数量有关。一般情况下：

$S_T = \frac{L_G N_T}{1000}$

两种工位操作模式，其生节拍不能改变。对于连续工位，运行速度是按生产节拍进行的，而步进工位则需要工件停止操作，此时要保证线体从一个工位运行到下一个工位时间与工位操作时间之和要与生产节拍相等，也就是：

$Tact = \frac{L_G}{1000 v_c} + t_c$

面漆及面漆烘干

面漆及面漆烘干是涂装车间第三道涂装工艺，也是对车身内外表面最后一道防护，除了防腐、耐擦伤外，不同颜色的面漆还能起到美化装饰作用以及进行个性化定制功能。

1. 产能分析

面漆操作工艺区也分为人工操作及机器人操作工位两大部分，其中主要面漆都是由机器人的喷涂完成的。需要说明的是油漆产生喷

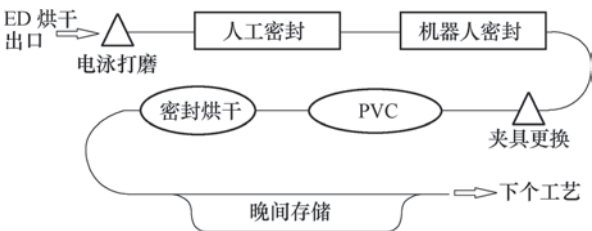


图3 密封及密封烘干布置简图

雾是可燃物，所以面漆室内防爆等级很高。面漆烘干和电泳烘干一样，属自动化生产线，无人工操作。其产能主要受以下几方面影响：

(1) 净过车数。计算方法同密封工艺。

(2) 设备效率。面漆操作工艺区也有人工及机器人操作工位，其生产效率一般也只能达到95%左右。

(3) 返修车身及报废车身。由于面漆除了保护车身外还起到装饰车身的作用，因而对喷涂面漆品质有要求：从光泽度，丰满度等方面有很高的要求。所以其常有返修车身及报废车身出现，其数量可根据各汽车厂对涂装车品的质检要求及喷漆机器人设备的精密程度来决定。这两者数量总和在单班次内有20台左右。

(4) 面漆及面漆烘干生产能力。对面漆及面漆烘干上的实际产能除了受操作时间及效率影响，也与其返修率和报废率有关，其实际产能计算为：

$$\text{面漆产能} = \frac{\text{净过车数} + \text{返修车身} + \text{报废车身}}{\text{单班操作时间} \times \text{设备效率}}$$

2. 线路规划布置

面漆及面漆烘干区根据面漆工艺不同，目前存在两种工艺型式，一种是3C2B，其工艺是先中涂及中涂烘干，再进行面涂及面涂烘干。随着新型涂料的出现特别是3WET（溶剂型、亲水型、水型）工艺技术的发展，部分汽车厂取消了中涂及中涂烘干，形成了3C1B面涂工艺的新技术。其两种不同工艺比较如图4所示。

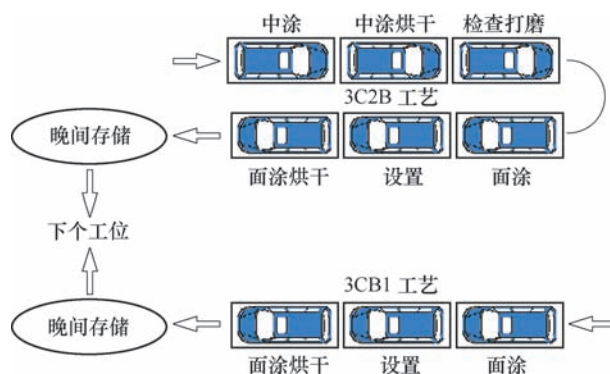


图4 面漆线两种不同工艺比较

面漆区线路长度分为工位段、设置区、输送段及晚间存储段几个部分，其中输送段及晚间存储段计算与前处理—电泳及电泳烘干线相同，工位段长度计算与密封区工位段长度计算相同。

车身在设置区等待时间与其面漆的特性有关，常常需要十几分钟时间。由于生产节拍要远小于这个等待时间，那么在设置区内易采用积放式运行模式，否则设置区线体会很长，空间浪费严重。

其设置区的等待车身数量 $N_w \geq T_w / T_{act}$ ，那么设置区线体长度 $S_w = N_w L_p / 1000$ 。其中， T_w 为面漆干时间（min）。

有时为了减小设置区的线体长度，把从喷漆区来到设置区等待区以及从设置区到烘房入口的运行时间，也算作 T_w 的一部分，这样车身在设置区等待时间就会相应缩短，设置区等待的车身数量也会减小，线体长度自然会缩短。

注蜡线及空撬返回

汽车车身中有许多的空腔，这些空腔对于增加车身强度和减小车身重量非常重要，在前面几个工艺的防腐处理工艺中，这些空腔是没法处理到的。为了防止腐蚀在空腔内部出现，就要进行空腔注蜡，在车身底部四个空腔中打入一定量的液态蜡，再经过特定工艺流程使空腔内部的蜡形成均匀的保护蜡膜，从而保证了良好的防腐性能。

空撬返回是指经过注蜡处理后的车身转接到总装PBS库区，那么车身转接后的空撬就要返到电泳出口出去承接电泳出来的车身。

1. 产能分析

注蜡线操作工艺主要分为人工操作或者机器人操作，空撬返回属全输送区。注蜡线其产能主要受以下几方面影响：

- (1) 净过车数。计算方法与密封工艺区相同。
- (2) 设备效率。与密封区一样在95%左右。
- (3) 注蜡线生产能力。实际产能计算方法与密封工艺区相同。

（下转第66页）

求，考虑通过提高容错率来延长其换挡寿命。

(3) 更改五挡同步器齿套和五挡结合齿锁止角，从 110° 改为 120° （见图2），锁止角加大以后优点：换挡时间加大，转换为同步容量加大。缺点：换挡力也相应增大，换挡手感降低。但经过整车客户评估及换挡性能测试符合要求。

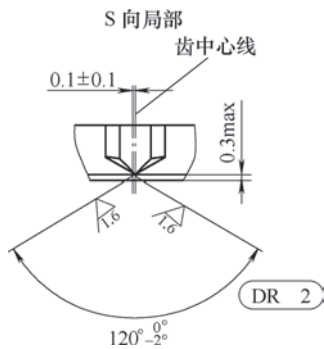


图 2

结语

本文通过对变速器五挡打齿问题进行分析，通过结构分析、尺寸计算、零件测量找出变速器在使用过程中出现的打齿问题的原因并加以解决，避免类似事故发生，有一定的实用指导意义。同时对变速器同步器的设计提出了更高要求，进一步满足用户的各种操作需求。 **AUTO1950**

（上接第59页）

2.线路规划布置

注蜡线及空撬返回区主要是从面漆烘干出来经过外观检线、在线维修、注蜡、PBS上任、空撬返回直到电泳下件，这样完成涂装主要工艺线路布置的完整流程。其线体布置简图如图5所示。

(1) 注蜡区。注蜡区主要分为外观检查、在线维修及注蜡线这三个操作位和输送段，这部分的线路长度计算可参照密封工艺区的计算方法。

(2) 空撬返回区。空撬返回区线路主是连接PBS上任点及ED下件点的线路最优长度。其线路长度主要需满足以下几点：

- 一是要满足从PBS上任到ED下件之间空撬正常流动撬体的数量存储。
- 二是要满足从前处理入口到电泳下件区之间所有车身的排空时所需要转接

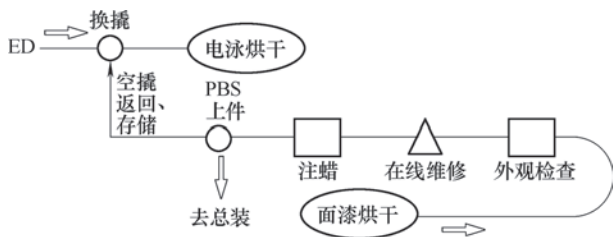


图5 注蜡线及空撬返回布置简图

的空撬数量的存储。三是要满足备用台车数量的存储。需要说明的是在PT-EC返回区线路布置时也同样有以上要求。

结语

本文主要对涂装车间四个主要的涂装工艺的生产产能及线路布置进行了一些分析。生产产能主要从总体生产产能入手，根据各分工艺区特点的不同，对各分工艺的生产产能影响因素、计算方法做了分析。再从各分工艺区的生产节拍、积放间距、工位间距、工艺时间等方面对线体布置进行了分析计算，从而为一些小型汽车厂家涂装车间的工艺线路优化及产能提升提供相关分析依据。 **AUTO1950**

丁余建

天奇自动化工程股份有限公司
主任工程师。