

多分支线束穿孔的线化模拟虚拟分析方法研究

俞炳良

浙江吉利汽车有限公司宁波杭州湾分公司 浙江宁波 315300

摘要：提出了一种多分支汽车线束穿孔操作线化虚拟分析的方法，通过对线束三维数据主干及分支等的长度、分叉位置、线束接插件尺寸测算，并依据测算建立线束的图形化等效模拟图。在模拟图的长度方向上，逐一识别计算不同穿孔截面尺寸是否满足穿孔间隙要求。依据分析结果，提出线束分支出线点位置设计优化、线束实物零件捆扎优化建议。该方法解决了复杂多分支线束数据阶段穿孔可行性虚拟分析的难点，缩短了实物验证的周期，降低了产品开发成本。

关键词：多分支；线束；穿孔；线化；虚拟分析

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.07.003

在汽车装配工艺的同步工程分析中，软质零件的虚拟分析是一个难点。因其软质的特性，使得虚拟环境下的三维数据无法真实模拟实物状态。

对于整车线束的装配，鉴于轿车笼式车身结构及整车电器件的布置，基于车身线束一体化、低成本方案考虑，多分支线束穿越钣金腔体孔的工艺是线束装配同步工程分析的一个主要内容。以往的分析方式，只是简单地选择分支中2~3个尺寸较大的接插件进行穿孔间隙的分析，未考虑各分支线束及其小型接插件的尺寸因实际包扎方向所增加的穿孔部分的整体尺寸。本文通过建立多分支线束的图形化等效模拟图，提出了一种有效的虚拟分析方法。

车身结构及汽车线束设计

1. 车身结构设计

汽车是一个极其复杂的产品。汽车车身的结构设计从是否敞通来看，一般分为发动机舱与乘员舱两部分。从安全、密封及NVH等因素考虑，发动机舱与乘员舱之间设计有前围钣金进行分隔，少部分三厢轿车车型也在乘员舱与后备舱之间进行了硬隔离。图1展示了典型的轿车车身车舱结构形式。

因功能的需求，车辆前围钣金须开设若干孔洞实现诸如制动、转向及空调等系统的结构连接。如转向管柱孔用于转向管柱的穿越以连接方向管柱与转向

机；制动助力器孔用于助力器推杆的穿越以连接制动助力器与制动踏板；空调管孔用于空调进出水管的穿越以连接冷却模块与蒸发箱。图2展示了某车型前围钣金上的开孔结构。

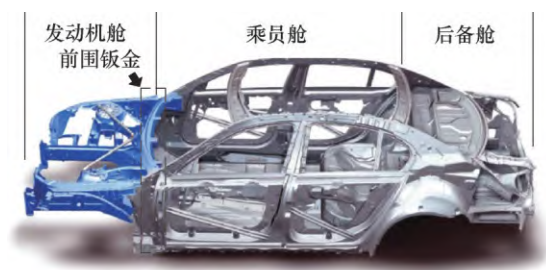


图1 轿车车身结构设计示意

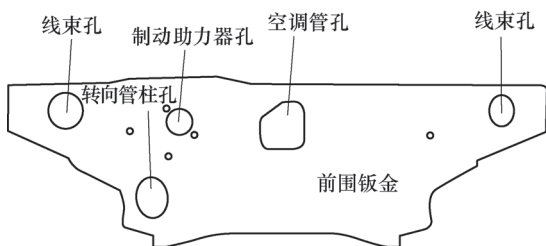


图2 前围钣金开孔示意

2. 汽车线束设计

分散布置于车身各处的电气模块使得传导线束也需排布到对应位置以进行传导连接，如连接至车辆前、后部保险杠处的照明灯、雷达等，连接至前舱的动力总成、蓄电池及熔体盒等，连接至乘员舱的仪表板、座椅、侧气帘及顶棚等，连接到车门的玻璃升降器、扬声器及开关等。

为便于设计、制造及装配，整车线束一般分为底板线束（或乘员舱线束）、发动机舱线束、前/后保险杠线束、顶棚线束及车门线束。而从传导效率和成本维度考虑，底板线束通常与发动机舱线束进行一体化集成设计，称之为车身主线束。

一般地，车身主线束承载了整车90%以上的电气接口数量，占据95%以上的整车线束长度和98%以上的整车线束重量。其在车身上的整理、排布作业已经成为整车装配的一个主要工艺过程，通常需要3~4个工位的作业才能完成。而一体式集成的设计，使其在前围钣金开口处的穿孔作业成为了一个瓶颈工序。

车身主线束装配工艺

鉴于线束的长度和重量，为便于零件包装、运输及装配，车身主线束通常以一定的捆扎方式送料至装配工位，作业者利用助力设备搬运车内，而后进行拆解、排布和固定作业。

主流的汽车结构设计及流水线装配工艺中，乘员舱底板为需要做拆解整理的线束准备作业提供了相比发动机舱更便利且具防护性的临时放置区域，而发动机舱紧凑的作业空间和前围钣金线束开口位置的结构设计不便利，使得一体式设计的身主线束穿孔工艺基本为从乘员舱往发动机舱方向进行穿越。

线束穿孔虚拟分析，主要评估穿越段线束的截面最大径向尺寸是否小于钣金开口直径，并预留一定的穿越间隙余量，一般取开口直径大于等于穿越物截面最大径向尺寸的1.3倍。

线束穿孔工艺虚拟分析

下面以某车型车身主线束穿越前围钣金孔进入发动机舱为例进行穿孔可行性的虚拟分析演示。

1. 代号及命名

为便于分析，参考植物的枝干结构，对主干、分支及枝节等进行定义及编号赋予。

主干，为从根部（起点）开始，选取枝干铺展拉伸时，沿枝干生长方向长度最长的主枝。分支，为除主干外，从主干分叉出去的其余枝干。直接从主干分叉的，为一级分支，从一级分支分叉的，为二级分支，以此类推。枝节，为分支的分叉点。枝叶，为除上述外的产品结构，如线束末端的接插头、线束上的固定卡子、线槽、密封圈等。图3展示了主干、分支及枝节的定义示例。

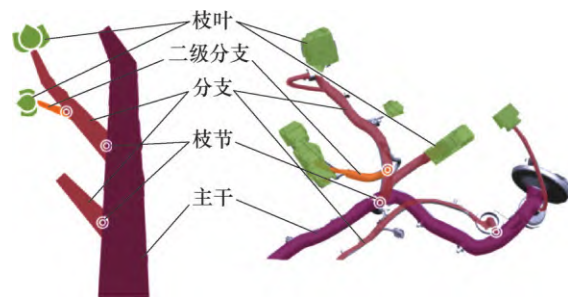


图3 主干、分支及枝节

图4展示了某车型车身主线束在发动机舱部分的线束主干及分支情况。这里，对主干以代号M标记。第1分支以代号B1标记，第2分支以代号B2标记，以此类推。B1分支与主干的枝节以代号P1标记，以此类推。

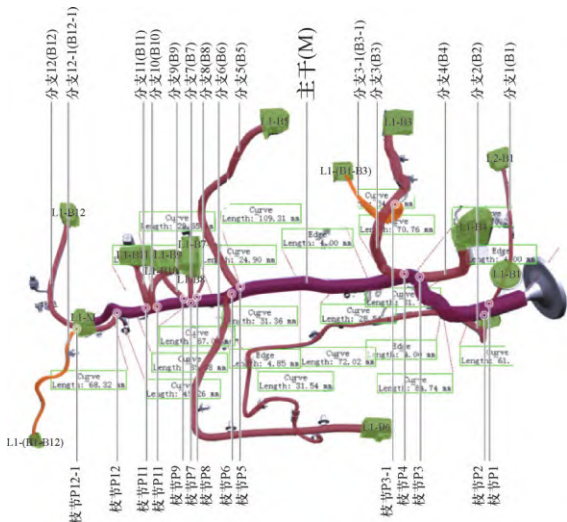


图4 线束分析的代号及命名示例

2.尺寸测量

按先主干、再一级分支、后二级分支的顺序，在三维数据应用程序中测量各段线束的长度。同时，测量记录各分支枝节在主干或上级分支长度方向上的起始坐标。

测量所有分支末端的线束接插头的径向最大尺寸。径向为穿孔物体在前围钣金开孔径向方向上的最大通过尺寸。圆形截面的线束，径向最大尺寸为其直径；矩形截面的接插头，径向最大尺寸为其两短边之间的距离。线束上的其他产品结构，可评估后确定是否进行测量并纳入分析，一般地，固定卡子因尺寸相对较小，对评估影响不大，可忽略不作测量分析；而线束线槽等尺寸较大的，应进行测量纳入分析。

图5展示了在某三维数据应用程序中对线束主干长度分段测量的示例，将分段长度相加后即为主干线束的长度，示例主干总长约为1019mm。图6展示了对线束接插件径向最大尺寸测量的示例，示例为主干线束末端接插头，其两短边间距离约为53mm。图7展示了分支B1的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为主干线束的长度，示例分支B1的总长约为303mm，枝节P1距离主干起始位置距离约为63mm。

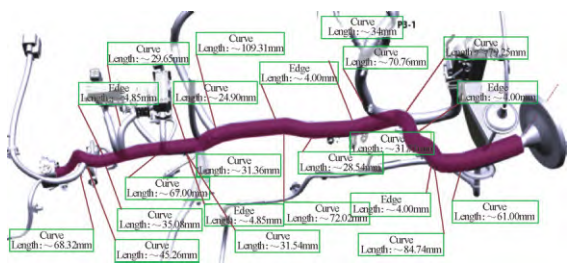


图5 主干线束分段测量示意图



图6 线束接插头尺寸测量示意图

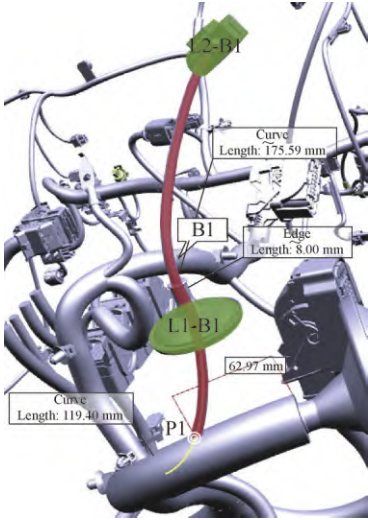


图7 分支线束B1分段测量示意图

图8展示了分支B2的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为主干线束的长度，示例分支B2的总长约为1502mm，枝节P2距离主干起始位置距离约为73mm（图上未显示测量值）。图9展示了分支B3的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为主干线束的长度，示例分支B3的总长约为484mm，枝节P3距离主干起始距离约为325mm（图上未显示测量值）。图10展示了分支B4的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为主干线束的长度，示例分支B4的总长约为258mm，枝节P4距离主干起始距离约为350mm（图上未显示测量值）。



图8 分支线束B2分段测量示意

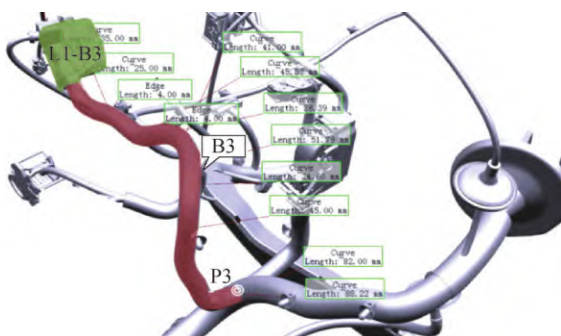


图9 分支线束B3分段测量示意

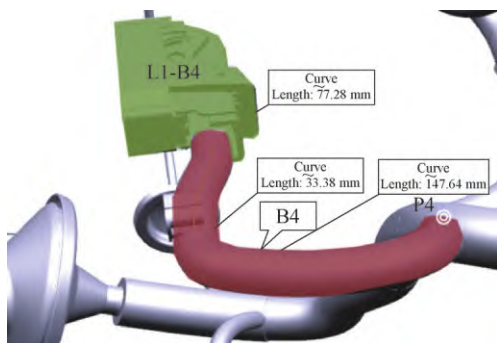


图10 分支线束B4分段测量示意

图11展示了分支B5的分段长度测量示例，将分段长度相加后即分支B5的长度，示例分支B5的总长约为476mm，枝节P5距离主干起始距离约为676mm（图上未显示测量值）。图12展示了分支B6的分段长度测量示例，将分段长度相加后即分支B6的长度，示例分支B6的总长约为707mm，枝节P6距离主干起始位置距离约为698mm（图上未显示测量值）。

图13展示了分支B7、B8、B9、B10和B11的分段长度测量示例，将分段长度相加后即各分支的长度，示例分支B7的总长约为221mm，B8的总长约为75mm，B9的总长约为91mm，B10的总长约为

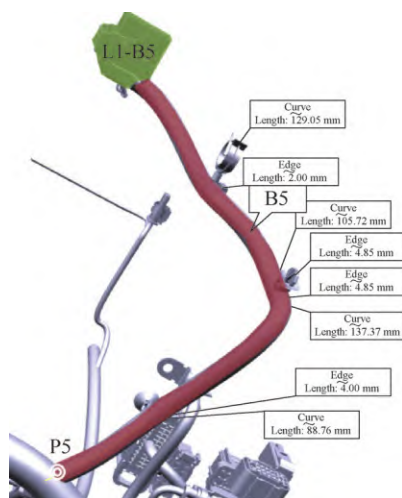


图11 分支线束B5分段测量示意

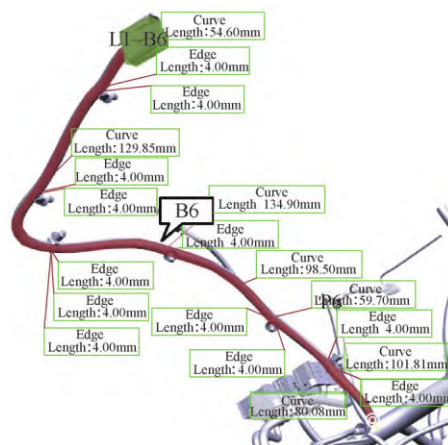


图12 分支线束B6分段测量示意

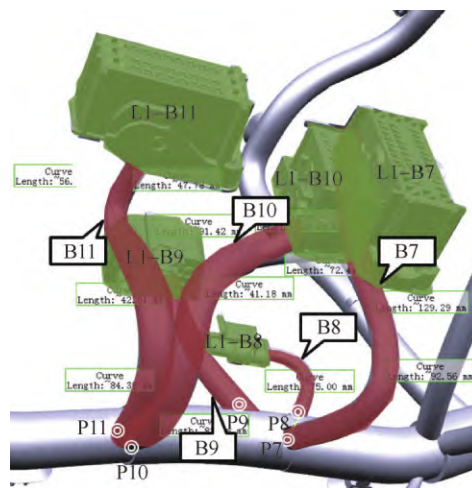


图13 分支线束B7、B8、B9、B10和B11分段测量示意

197mm，B11的总长约为183mm。枝节P7、P8、P9距离主干起始位置距离约为764mm（图上未显示测

量值)，枝节P10、P11距离主干起始位置距离约为831mm（图上未显示测量值）。

图14展示了分支B12的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为分支B12的长度，示例分支B12的总长约为339mm，枝节P12距离主干起始位置距离约为906mm（图上未显示测量值）。

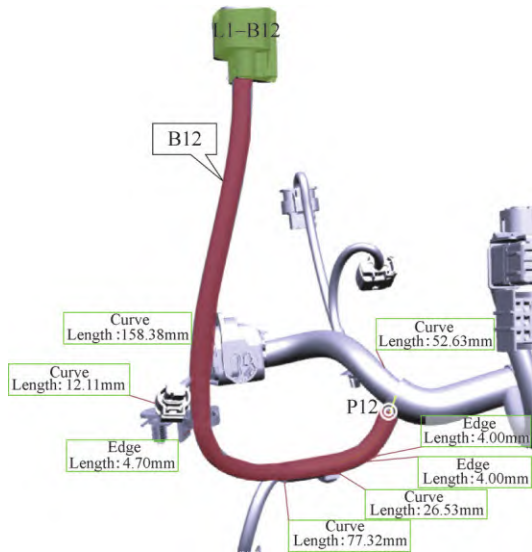


图14 分支线束B12分段测量示意

图15展示了B3的二级分支B1-B3的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为分支B1-B3的长度，示例分支B1-B3的总长约为209mm，枝节P1-B3距离枝节P3在分支B3上的距离约为243mm（图上未显示测量值）。

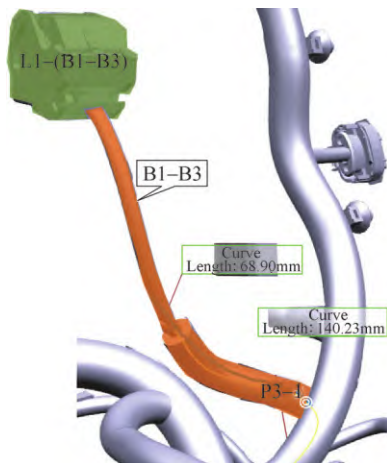


图15 分支线束B1-B3分段测量示意

图16展示了B12的二级分支B1-B12的分段长度测量示例，将分段长度相加后即为分支B1-B12的长度，示

例分支B1-B12的总长约为323mm，枝节P1-B12距离枝节P12在分支B12上的距离约为87mm（图上未显示测量值）。

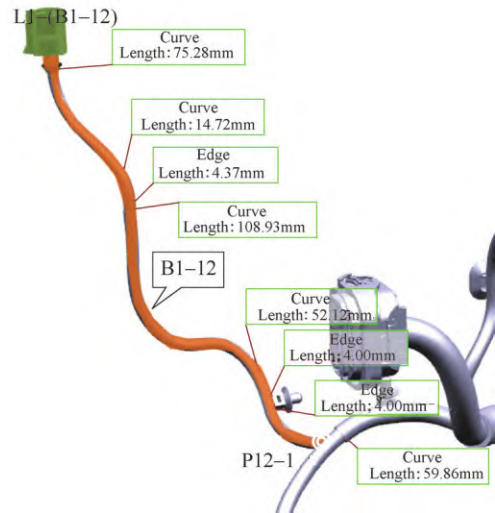


图16 分支线束B1-B12分段测量示意

3.数据整理及线化分析

(1) 线化绘图 从右向左画一横轴，横轴起点为前围钣金开孔，即车身主线束在发动机舱段的主干起点。轴上坐标点距离起始点的距离，即实际线束沿铺展方向距离主干起始点的距离。在横轴以下，按所测量并计算的主干、各分支长度，以各对应枝节所处位置为其起始点，依次从右向左画线，作为各分支在分析图上的线化符号，并将不同的线径标记在线束对应段。按各枝叶即线束结构在主干或分支上的位置，在图上对应分支的位置进行标记。图17展示了按上述线束实例绘制的线化分析图。

(2) 风险区段分析 以一垂直于横轴的线，由左向右推进。与某一位置的推进线同时相交的主干、分支和枝叶的线化符号，即表示在线束穿孔时，这些主干、分支和枝叶将共同组成同一时刻的穿越物。而由这些主干、分支和枝叶所组成的穿越物的整体径向尺寸就是穿孔工艺可行性的分析对象，其应满足其1.3倍小于等于前围钣金开孔直径。而同时与推进线相交数量最多的横轴位置，即为风险较高的位置。

图18展示了1个风险较高的区段位置。在该风险区段内，与推进线同时相交的线束段有主干M，分支B2、B5、B6、B7、B8、B9、B10和B11，相交的

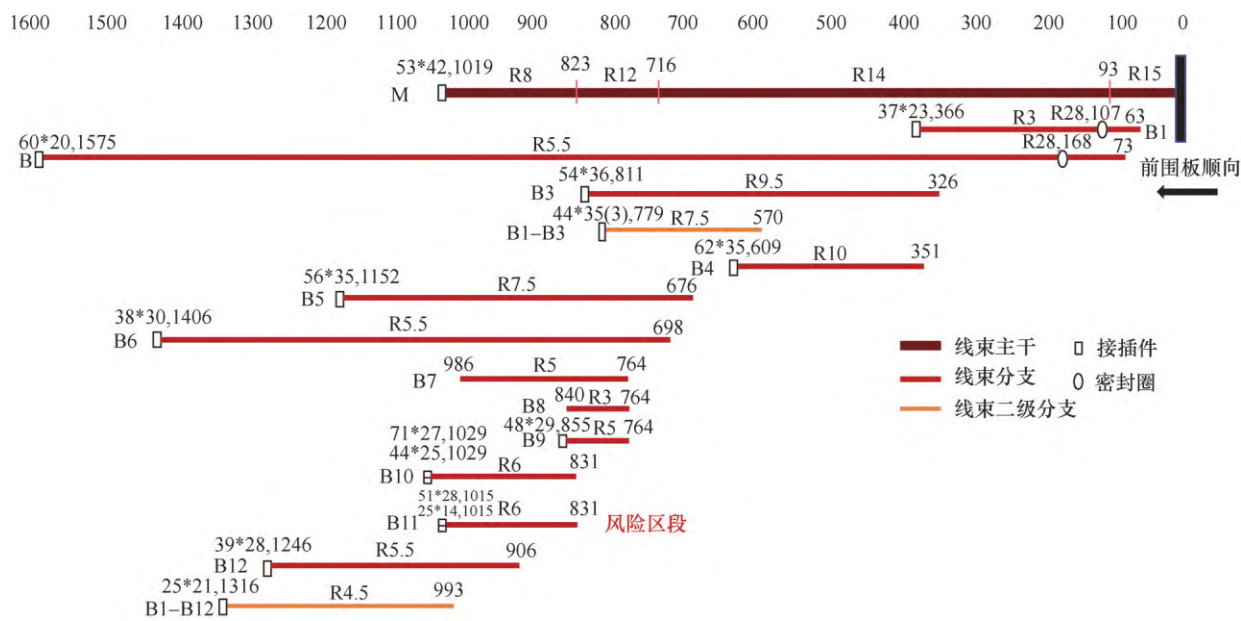


图17 线化分析图绘制示意

接插件有枝叶L1-B3，可能相交的线束接插件有L1-(B1-B3)、L1-B9（B8末端接插件尺寸较小，此处评估后暂不列入分析）。

件截面组成的穿孔截面是否满足前述“车身主线束装配工艺”中的间隙余量要求。

图19展示了风险区段截面模拟排布的各线束及接插件穿孔截面情况。模拟排布仅为一种可能的情况，并依据这种可能的情况测量并给出大致的穿越物的综合尺寸，以此尺寸（图上为直径约114mm）与前围钣金开孔尺寸进行比较。

当穿越物截面尺寸显著地不满足间隙余量要求时，应进行方案应对，包括但不限于更改产品设计，如更改部分分支出线枝节点后延，使其避开风险区

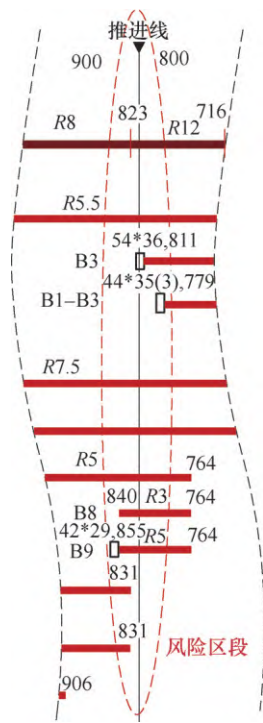


图18 风险区段分析示意

(3) 风险截面分析 将风险区段内与推进线相交的所有线束（包含主干和分支）、接插件的截面尺寸模拟排布在一起，模拟测量并确定由这些线束和接插

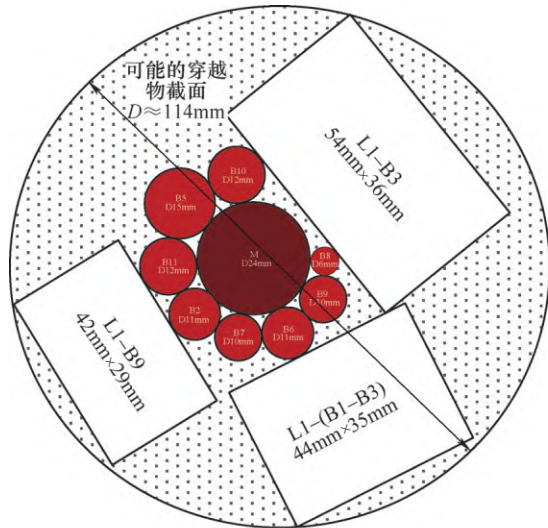


图19 风险区段穿孔截面尺寸分析

浅谈保险杠干冰前处理工艺应用技术

李文博，许能才，刘永宏，李文鹏，万德俊，文龙

合众新能源汽车股份有限公司 浙江嘉兴 314500

摘要：随着环境保护意识的增强，干冰清洁技术在汽车制造业中得到了广泛的应用。这种技术通过使用冷却至 -79°C 的干冰清除工件表面的杂质，具有高效、环保、低能耗等优点。该技术与机械臂结合，可实现自动化，进而提高喷漆品质和产品的良品率。还讨论了手动清洗和 CO_2 清洁的方法，以及其在汽车制造中的应用。同时，强调了在整个清洁过程中的安全性至关重要。

关键词：干冰清洁；汽车制造；机械手

干冰清洁技术是一项先进的清洁方法，具备环保、占地面积小、能源消耗低、运营成本低、清洁效能高、可消除指纹及清除注塑过程中产生的油渍等优点^[1]。结合机械臂使用时，能够实现稳定、可靠的作业，

同时节省人力资源。最终，该技术能显著提升喷漆质量，减少由工件清洁度不足导致的不合格品，从而提高了产品的优良率。

段；或进行部分线束来料反向困扎，如本分析案例中反向捆扎分支B3、B8、B9，使线束分支B8和接插件枝节L1-B3、L1-B9避开风险区段。

结语

因实际线束零件存在设计、制造公差，穿孔时各线束及接插件也不可能完全按理想状态排布并时刻保持同一位置，故上述针对三维数据的虚拟装配分析，仅从数据及理论角度提出潜在的风险及建议，结论仅供参考。除非分析结果显著地表明风险很低，否则应

进行样件验证或实车验证以最终评估装配方案的可行性。

针对数据的虚拟装配分析SE（Simultaneous Engineering），是当今汽车设计及工艺开发领域同步工程的一个重要活动。与传统的串行开发模式相比，同步工程能显著地加快产品开发进度，降低生产制造成本，把目前大多按阶段进行的跨部门(包括产品、材料、工艺、工装、物流及售后服务等)工作尽可能进行同步作业，以避免后续部门的需求导致产品设计的不断更改。 **AUTO1950**