

Study on the Method of Safety Integration Emphasizing the Frontal Crash in the Concept Design Stage

Pan Fan¹, Zhu Xichan¹

(1.Tongji University, Shanghai, 201804, China)

Abstract: In the whole process of the vehicle development the frontal safety integration is the linchpin, including the design of the frontal structure and the occupant restraint system. The correlative projects of the frontal safety integration must be invested seriously in the concept stage. This stage is most important for the vehicle crashworthiness design in the whole process. It will be very difficult to remedy the design defects which were engendered in early stage, and always at expense of more payout. This paper discuss how to actualize the frontal Safety Integration in the concept design stage.

Keywords: Passive Safety Integration, Frontal Crash, Concept Design Stage

前期设计阶段正面碰撞安全集成开发方法研究

潘璠¹, 朱西产¹

1. 同济大学, 上海, 201804, c0602panfan@hotmail, 13671632457

摘要: 在车辆开发的整个流程当中, 正面碰撞安全集成的相关开发工作是十分重要的一个环节, 其主要包括车辆前端结构和整套约束系统的设计开发等等。正面碰撞安全集成工作往往需要在车辆的前期概念设计阶段就要全力介入, 该阶段是现代汽车开发设计中车身结构耐撞性能保证的重要阶段, 如果在此阶段留下设计缺陷, 在后续的设计中往往很难补救, 并且需要付出高额的代价。本文就此简述了部分车辆开发前期正面碰撞安全性开发的方法。

关键词: 被动安全集成, 正面碰撞, 概念设计阶段

1 引言

目前, 包括正面 100%重叠率刚性正碰、30 度斜角碰撞以及 40%重叠率偏置碰撞等在内的正面碰撞是我国、日本、欧美车辆被动安全法规以及多个国家 NCAP 评估体系的试验主干。因此在车辆开发的整个流程当中, 正面碰撞安全性设计的相关开发工作是十分重要的一个环节。安全集成不同于独立部件的设计与管理, 其需要考虑的因素很多, 包括车身结构耐撞性设计、约束系统的匹配、内外饰以及总布置相关的种种问题。那么, 正面碰撞安全集成工作往往应当在车辆的前期概念设计阶段就需要全力介入, 因为该阶段是现代汽车开发设计中车身结构耐撞性能保证的重要阶段, 如果在此阶段留下设计缺陷, 在后续的设计中想要做出补救往往是十分困难, 牵一发而动全身, 留给安全集成工程师的“活动空间”就非常有限。因此安全集成工作能够尽早的介入, 是为车辆后期的被动安全相关工作提供了有力保证。

2 正面碰撞安全性基本开发流程

目前大多数的整车厂采取的大多是正逆向设计相结合、CAE 与试验相结合、结构与约束系统开发并行的开发方式, 图 1 为正面碰撞安全集成一般流程图。可见, 一旦正碰安全性能目标确定之后, 从竞争车型及数据库分析阶段起安全集成工作就要介入其中。

2.1 目标市场与性能指标

车型平台的开发都有其目标市场, 通过对目标市场相关的法规、安全评价体系的深入研究, 将对开发车型安全性能有一个最终的定位, 即终端目标。开发的起点也将集中于这一目标入手。对于正面碰撞安全举例来说, 如果该车型一旦定位于欧洲市场 E-NCAP 成绩 4 星以上, 那么正面碰撞的终端目标就集中于 64km/h ODB 这一试验工况上, 后续的车型前端布置、结构刚度分配、传力路径设计及能量管理等开发工作都应首先着眼于 E-NCAP40%ODB 实验 13 分以上这一目标。同时, 性能目标也决定了竞争车型的选取。

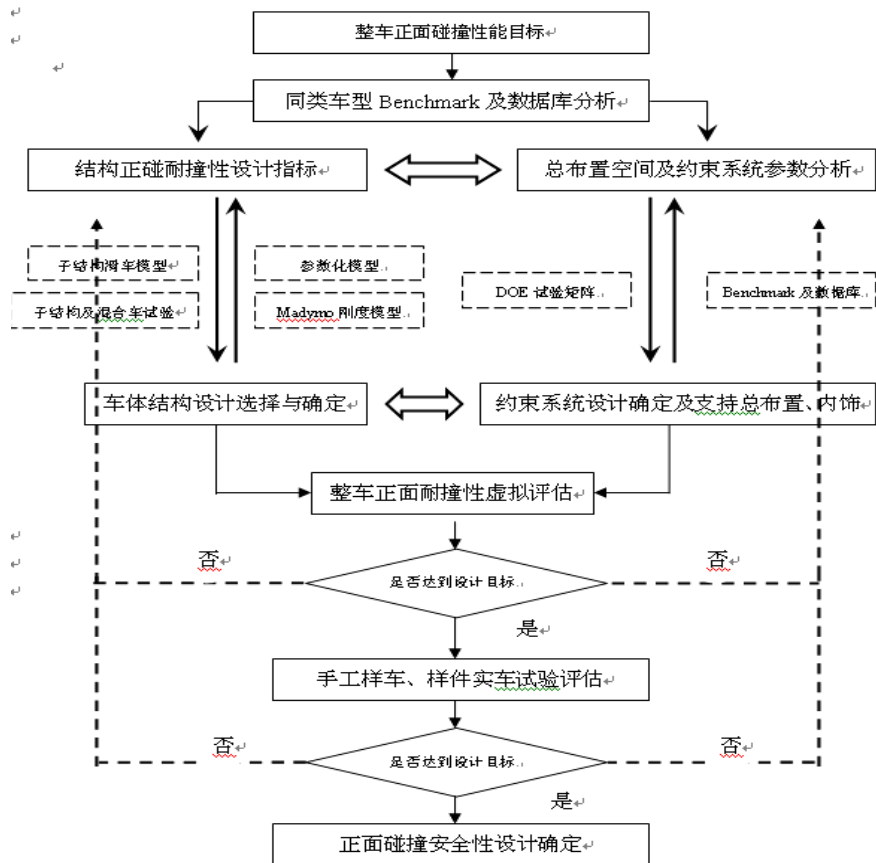


图1 正面碰撞安全集成一般流程图



图2 竞争车型数据分析

2.2 同类竞争车型分析及数据库

一个全新车型平台的开发流程的前期,对目标市场上同类竞争车型的深入分析是非常重要的一个环节。尤其是对于正面碰撞安全性的开发,竞争车型的前舱部件布置形式及前端结构件截面、尺寸等数据(如图2)的全面记录归档与分析十分的重要。安全集成工作在这一环节上应当尽可能全程参与其中。

新车型的安全开发阶段,应当尽可能多的获取多型号的竞争车型信息。一般情况下大量的竞争车型信息并不是一次开发项目就能获取的,而是整车厂长时期的积累所形成的数据库。并结合自己现有的同类车型的相关的经验数据,为新平台项目建立起丰富的数据体系,这能够为下一阶段的结构设计提供有力的支持。

对于正面耐撞性指标落实到结构性能上,必然是波形与侵入量。当正碰的星级锁定了一个最终目标,那么在约束系统匹配合理的条件下势必存在一个能够满足上述目标的波形和侵入量的等级范围。那么同样满足性能目标的竞争车型的实验数据对于新车型的开发同样是有价值的数据库。通过对多组竞争车型进行实车实验,获取其波形信息、结构侵入变量、结构塑性铰发生的位置以及假人伤害相应等等,深入分析其共性与特征就十分必要。仅以波形特征简单举例而言,通过对几组参考车型的试验并结合已有车型同级别车型的试验数据,可以提取得到满足性能目标的一组波形图,如图3所示。将这一组波

形简化为双梯形

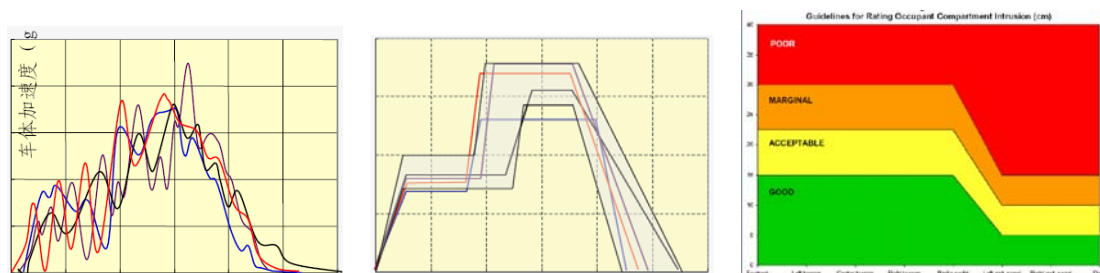


图3 波形及侵入量等级目标

波组则可以得到该性能目标下对应的近似的双梯波型范围,即获取了结构正碰耐撞性设计指标。这一指标需要反馈给约束系统工程师作为约束系统性能预测以及相关分析的输入,在得到约束系统工程师认同的情况下该指标即可作为后续产品阶段结构设计工作的指导方向。

在该环节还有必要对部分竞争车型整车或部分部件逆向建立 CAD 数模,为后续介入的 CAE 工作提供数据基础。

2.3 车体前舱布置、结构设计选择与确定

对于正面碰撞安全性开发,进入引擎舱布置以及前端结构件设计阶段则需要 CAE 工作的介入。一般较多的采用不同精度的简化模型计算分析配合 Benchmark 数据库来逐步确定出满意的设计方案,包括前端主要吸能结构的长度与截面积等等。目前较常采用的简化模型从简单到复杂可以分为梁单元模型、MADYMO 多体铰链模型以及后续的子结构模型。

2.3.1 参数化梁杆单元模型

在前期阶段,任何结构的截面特性、尺寸及材料都是没有确定的,仅有车身的造型和较简单的基本布置信息,要在这个阶段控制车身结构的安全性能指标,则可通过简单的梁单元、杆单元和弹簧单元等来搭建车身结构的参数化模型。该模型要求能够反映碰撞的主要特性,便于参数修改和方案比较,通过利用该模型大致的分析出新车型前端合理的布置空间尺寸控制,部分主要结构件要保证的合理刚度控制等级、较合理的塑性弯曲角发生的位置及时段等等。以确保概念设计阶段内车身结构抗撞性能满足要求,同时为下一步的详细设计,提出具体要求与设计方向;避免设计的盲目性,以期达到有问题早发现,早解决的目的。

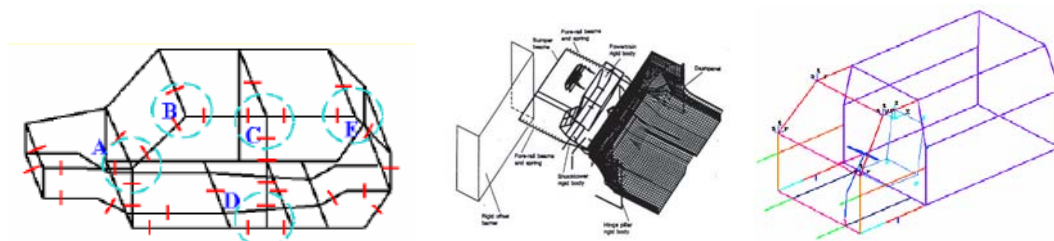


图4 参数化梁单元模型

2.3.2 MADYMO 多刚体铰链模型

多刚体铰链模型与梁杆单元模型相类似,也是将车身基本结构离散化,用多段刚体通过铰链的形式连接,主要包括滑移铰,弯曲铰等等。MADYMO 多刚体铰链模型除可以满足上述的前期分析工作外,还可以通过其假人库中提供的多种假人来获取在前期考察的多种设计形式中假人的响应。

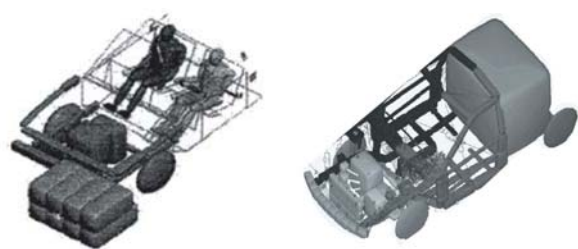


图5 MADYMO 概念模型

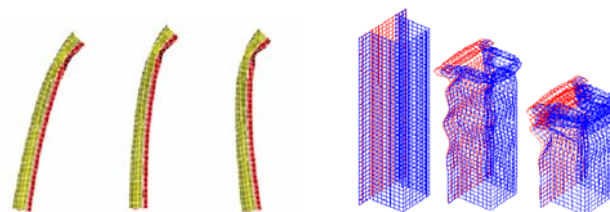


图6 刚度特性获取

在利用上述两类模型进行多轮的优化设计过程中，难点在于梁与梁、刚体与刚体之间的铰链刚度的确定。一般这一阶段建立的简化参数模型用到的刚度都属于经验刚度，可以通过对原有车型以及参考车型关键部件的零件试验，或者建立同类参考车型的零部件有限元模型来获取大致的刚度等级。在设计过程中围绕这一刚度等级制定合理的参数水平来进行分析，同样的前期 Benchmark 工作积累的数据库信息，也是现阶段设计的重要导向。

2.3.3 子结构模型以及子结构滑车试验

在结构由概念设计阶段的梁杆单元开始向具体结构形式过渡的阶段当中，子结构模型有着很好的可利用性。当设计工程师参考车型数据库的结构件断面尺寸，造型特征等信息并结合安全工程师利用简化模型反馈的结构特性控制信息设计出初始的前端结构部件时，可以通过如图一所示子结构模型进行验证和改进设计。如图一

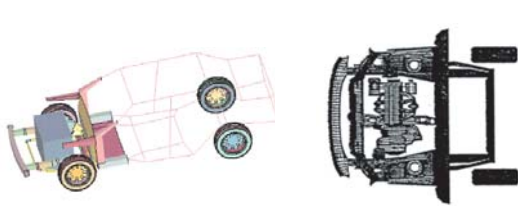
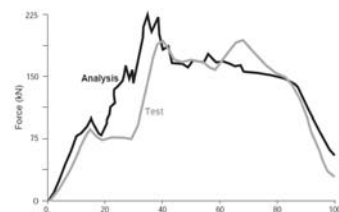


图7 子结构模型



图9 子结构滑车试验



在建立子结构模型前，应当首先完成该阶段设计结构的部分样件，并以此进行静态压缩试验、动态冲击试验等等，座位子结构有限元模型的标定基础。模型的可靠性是后续工作方向正确性的保障。

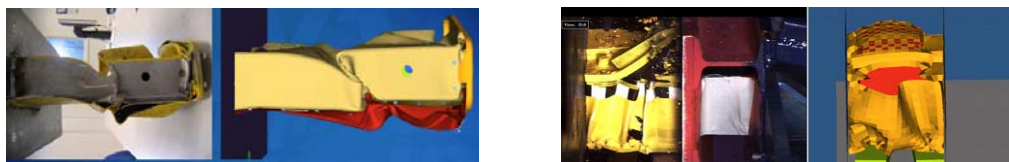


图8 部件试验验证

通过利用子结构模型多轮的分析以及优化改进设计，基本得到了较为合理前舱空间布置形式、前端结构件合理的刚度特性以及合理的传力路径。对上述的内容进行的综合的安全评估满意后，那么对于目前所认同的设计方案开软模，进行子结构滑车试验同样十分有价值。如图一为子结构滑车试验，滑车后端考虑了整车尺寸、重心位置于转动惯量等因素制作成刚性车身。通过子结构滑车试验可以确认前端布置及结构件设计合理性，一旦在子结构试验中得出的结果与 CAE 分析设计阶段结果向背离，那么就要返回到子结构模型验证环节去查找原因。

2.3.4 混合车模型及混合车试验

将现阶段确定的前舱子结构在正面碰撞中得到的预波形等级反馈给约束系统工程师确认可行性之后。需要利用现有的同类车型或竞争车型的有限元模型，组合现阶段确认的前舱设计方案建立混合车 FE 模型。通过进一步的对混合车 FE 模型大量的分析计算，分析其碰撞传力路径是否合理，与子结构设计阶段分析结果的一致性，以最终确定设计方案。混合车模型一般借用其他车型 FE 模型的侧面以及上车体结构，通过大量的模型 Morphing 工作建立起来。

众所周知，有限元仿真结果还不能完全代替试验结果。尤其是对于高安全目标的车型开发而言，结构强度和部件布置都是严格的挑战。因此，有必要在概念设计阶段就对有限元模型进行一次系统试验验证。混合车的手工样车同样是新结构与原型车两部分耦合的车型。前舱车身，包含前纵梁与防火墙等，使用新设计前舱结构的概念设计，包括前舱布置与部件、副车架等所有前舱结构部件；上车体及其它部件均为已有车型。64km/h 偏置正面碰撞试验如图。

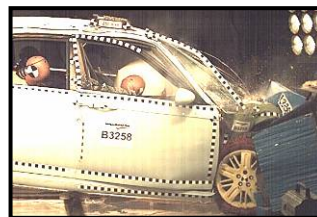
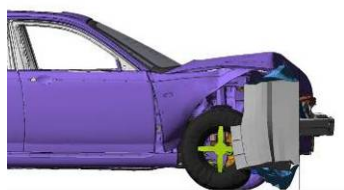


图10 混合车试验

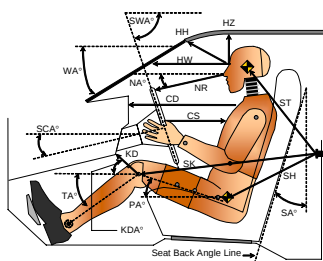
通过上述的设计工作与验证工作，基本确定了满足车型开发正面碰撞安全性目标的车身前部的布置空间尺寸与前端结构设计，实现了碰撞能量的管理与传力载荷路径的合理设计。其间的工作往往是需要多轮的试验与 CAE 相结合的循环开发，达到最终的理想设计。

2.4 前期概念设计阶段的约束系统集成

对于新车型平台正面碰撞安全性的开发，约束系统开发工作从概念设计阶段也同样要开始介入其中。约束系统配置的确定、Benchmark 阶段的数据库建立、向总布置、内饰和结构设计部门的要求反馈以及前期约束系统性能预模拟可以说是这一阶段的主要内容。

2.4.1 前期约束系统开发数据整合

对于约束系统的开发，相关联的内容较多。举例而言，如果前期总布置空间设计的不合理，例如中央位置假人头、胸部与方向盘下缘的距离，假人膝盖与仪表盘膝垫的距离过小。那么对于后期约束系统的开发将是十分困难的。往往使得最终的安全性能目标理论上就无法实现。所以在前期阶段，约束系统集成工作一定要尽早介入，指导总布置以及内饰的设计，即是将约束系统开发的关键性要求内容输入给相关部门，例如空间尺寸要求、结构硬点布置要求等等。这一方面的工作通过对同类型已有车型以及竞争车型的数据分析能够得到很好的指导。



Parameter Value		benchmark1	benchmark2	benchmark3	benchmark4
Driver HIII 50%	SCA (°)	23.55	19-26	24.1	26.1
	CS(X) (mm)	312.33	250-350	309	315
	KD (mm)	170.00	120-220	175	159
Passenger HIII 50%	HW (mm)	607.33	500-700	601	579
	KD (mm)	161.83	120-220	169	152
	CD (mm)	544.67		584	552

图 11 空间尺寸信息

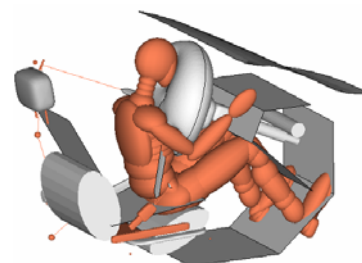


图 12 安全性能 CAE 前期预评估

图 11 为正面碰撞安全性相关的乘员舱乘员空间尺寸，空间尺寸的合理安排与正面碰撞保护息息相关。通过对大量的参考车型的数据测量汇总，可以分析得出正面碰撞安全性能优秀同级别车型相关的尺寸布置的水平。并且可以通过 CAE 的介入，基于预先提供的 PULSE 等级、参考车型的乘员舱布局尺寸和现有同类车型的约束系统参数建立 MADYMO 预分析模型。通过分析计算，得出部分关键空间尺寸可接受的上下限以及最优范围。

在 Benchmark 阶段，由于约束系统开发过程中设计参数繁多，一旦主机厂决定建设独立的约束系统开发能力，那么大量的约束系统参数数据体系的建立同样是非常重要的内容。首先，考察正面碰撞安全性能优秀同级别车型面向不同的市场采用的不同配置，例如是否采用双级预紧、双级限力，是否配置膝部气囊等等。根据新车型所确定的目标市场，确定几组选用的配置类型，并利用 CAE 工具，预评估不同的配置方案下所得的乘员保护结果，并尽早的向相关部门反馈要求。其次，对于要采集相关车型约束系统零部件设计参数，例如安全带定点位置、预紧器行程及点火时刻、限力器限力等级，对于气囊要采集其尺寸、容积、折叠方式、拉带及泻气口位置尺寸、点火时刻等等。同样利用 CAE 分析气囊对于不同类型假人的保护区域。并及时向总布置反馈安全集成所要求的正面碰撞气囊保护区域，以避免后期可能造成的乘员保护空间不充足。



图 13 不同类型乘员状态气囊保护区域的确定

上述的相关数据库的积累，对于约束系统集成工作是十分有意义的，可以在车型开发的前期对于正面碰撞安全性约束系统的总体控制起到积极的指导作用，尽可能的去避免后期可能发生的无法挽回设计缺陷，特别是针对北美市场较为严格的正面碰撞保护法规，是尤为重要的。

2.4.2 结构耐撞性等级评估及乘员伤害预测

在前端结构以及布置方式逐步确定的过程中，约束系统集成工作同样有着不可替代的作用。每一个阶段都要回答诸如：目前的结构设计方案是否在预期的约束系统配置水平上能够给乘员满足目标的保护？如果没能达到性能要求，结构需要优化到什么样一个水平？是否必须要增加约束系统配置？优化后的结构碰撞特性以及改进后的约束系统配置能够满足保护目标的稳定性又有几成？等等的问题。上述的评价工作离不开 CAE 支持，利用诸如 MADYMO 软件，并辅以约束系统预滑车试验等等。通过从结构安全工程师每一阶段获取新车型的波形等级作为输入条件，对这一波形等级在约定的约束系统方案下进行评估，并及时将不佳的结果以及建议反馈给结构工程师。往往这一阶段需要多轮的信息交互，最终确定一个较好的结构设计方案，并通过约束系统优化设计，初步确定约束系统部件在这一波形等级下所要求的性能指标。借此预测新车型采用现有的车体结构和满足性能控制范围要求的约束系统部件将能达到的安全性能，对正面碰撞安全的开发在前期就有了较好的全局控制。

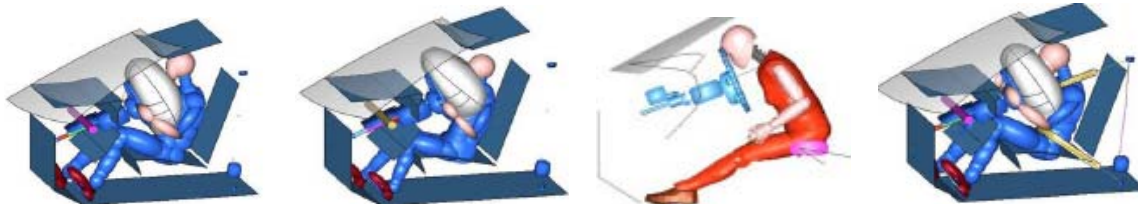


图 14 FMVSS208 性能评估及优化 (UB_MALE ; UB_FEM ; OOP_LowRisk ; Belt_NCAP)

3 结论

可见，前期设计阶段是安全集成工作介入的极为重要环节，通过上述的正逆向相结合、CAE 与试验相结合、结构与约束系统并行的开发的方式，能够在车型概念设计阶段就对车型的正面碰撞安全性进行控制，从而实现整车最终的正碰安全目标。

参考文献

- [1] 朱西产. 汽车碰撞试验法规的现状与发展趋势[J], 汽车技术, 2001
- [2] 张帆, 王大志, 苏醒. 轿车前舱结构设计及试验验证方法[C], 2008 中国汽车安全技术国际研讨会
- [3] 林逸, 刘静岩. 面向微型客车车身结构正面抗撞性设计的参数化模型研究[D], 吉林大学硕士学位论文