

MBD技术在汽车尺寸工程数字化虚拟匹配中的运用

曾昭龙 郑耀凯 张毅

重庆赛力斯新能源汽车设计院有限公司 重庆 401147

摘要：介绍了MBD技术在汽车尺寸工程专业数字化虚拟匹配中的运用，通过MBD技术搭建整车数据模型，并在工业化阶段，将整车零部件制造数据导入到数字模型中，进行尺寸链装配分析，提前预测零部件制造公差给整车DTS带来的缺陷，对零部件进行入厂拦截或提前制定厂内临时措施，保证厂内整车DTS的快速达成。

关键词：MBD；尺寸工程；数字化虚拟匹配；DTS

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.11.008

随着汽车迅猛发展，整车研发周期逐步缩短，在整车工业化生产阶段，尺寸工程领域的问题能否快速被识别和解决则显得至关重要。目前大部分主汽车制造厂商的整车零部件都靠人工检测、人工判断影响，零部件入厂后才能发现对整车的影响，问题发生后再去被动地分析问题、制定临时措施、缺陷车下线返修，这种传统的工作流程成为了制约生产效率提升的关键一环，从而大大延长了整车量产周期。MBD技术的大量运用无疑加快了尺寸工程在数字化、智能化转型的进程，通过MBD模型来实现整车调试阶段的数字化虚拟匹配，大大缩短调试周期，保证车型快速量产。

MBD技术介绍

MBD技术，即基于模型的设计（Model-Based Design），是一种利用模型作为主要工具进行项目开发

的方法，最早应用于飞机制造领域^[1]。

MBD技术的核心优势在于：

（1）提高开发效率 通过使用模型来代替传统的代码编写和调试过程，可以极大地提升项目的开发效率。

（2）友好的学习曲线 对于新手来说，从模型的角度入手学习汽车电子等领域的知识，更加容易上手，学习起来也更快。

（3）数字化定义产品 MBD技术是基于三维模型的产品数字化定义技术，它支持面向制造的设计和生产过程。

（4）缩短研发周期 将MBD技术应用于产品设计、工艺设计等过程中，可以有效缩短产品的研发周期，并提高生产质量。

（5）集成的三维实体模型 MBD使用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息，包括公差的标注

规则和工艺信息的表达方法,使得三维实体模型成为生产制造过程中的唯一依据。

(6) SOLIDWORKS MBD MBD技术的一个应用实例是SOLIDWORKS MBD,它是一种在2D图纸上标注尺寸和公差的方法,可以提高工程设计的质量和效率。

MBD技术的应用非常广泛,尤其在汽车电子领域,许多大公司和大项目都在使用这种方法。随着技术的发展,MBD技术也在不断完善和演进,为产品设计和制造带来了革命性的变化。

在汽车领域,尺寸工程MBD数字化模型:是将原有整车数据(无装配逻辑)打散,然后在打散的零部件上赋予各自的产品公差信息(含零部件定位点、公差信息、测点信息等),最后系统通过识别零部件定位点、进行自动装配,装配后的整车数据(有装配逻辑关系)即尺寸工程MBD数字化模型。

尺寸工程数字化虚拟匹配技术介绍

尺寸工程数字化虚拟匹配:在整车开发工业化阶段,通过大数据AI运用实现尺寸工程数字化虚拟仿真分析(匹配分析技术)。零部件供应商上传的《零部件测量工艺卡》至“尺寸测量统计分析平台”,平台自动识别和自动抓取测量点实际偏差值(抓取测点空间坐标值实现),进行整车虚拟装配分析(运用尺寸工程MBD数字化模型),实现缺陷自动化快速识别、分析及对策方式制定,质量前移、提升尺寸工程工作效率、缩短车型开发量产周期。

目前整个行业,此技术为行业首创,具有领先的技术思维,统筹运用了所有尺寸工程新技术。

尺寸工程数字化虚拟匹配实施方案

1. 产品零部件3D版GD&T图样技术运用

尺寸工程师需将原有2D版GD&T(drawing格式)技术进行升级,在车身数模(product文件)或零部件数模中直接进行编辑,提取孔、边和面,最后赋予公差信息即3D版GD&T图样^[2, 3]。

(1) 焊接、安装面的提取 将需制做3D GD&T的零部件(后文称目标零部件)装配在整车数模中,将目标零部件定义为编辑状态,使用相交命令将环境件

(与目标文件有接触的零部件)与目标零部件相交生成封闭曲线(目标零部件与环境件的焊接、安装面等的交线),如图1所示。

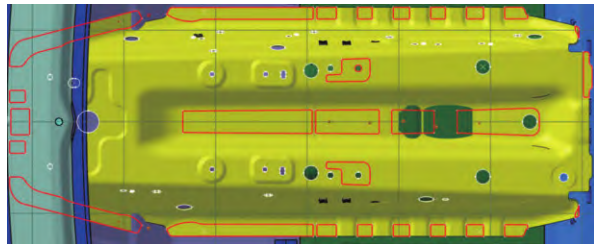


图1 与环境线相交得到封闭曲线(红色线条)

(2) 面特征提取 提取整个目标零部件表面特征(“提取面”),以相交生成的封闭曲线为轮廓线对“提取面”进行分割,分割后得到的面即为GD&T所需标注的焊接、安装面等,如图2所示。

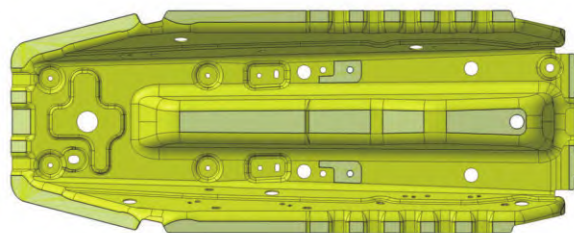


图2 分割得到焊接、安装面(灰色曲面)

(3) 孔、切边特征的提取 提取目标零部件表面得到“提取面”,使用“边界”命令提取“提取面”的边界,即为GD&T所需标注的孔或切边,如图3所示。

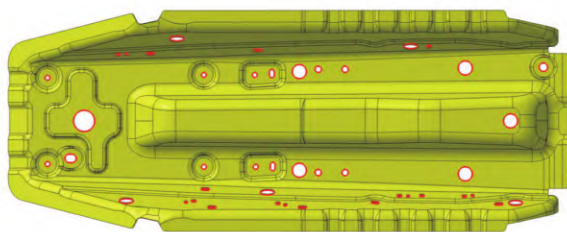


图3 边界提取得到孔、切边等特征(红色曲线)

(4) 3D GD&T图样的标注 将目标文件切换进“Functional Tolerancing&Annotation”模块中,对零部件的定位、公差信息等进行标注,标注信息链接在提取的点、线、面等特征,如图4所示。

2. 零部件3D测点自动创建技术运用

尺寸工程师需在自研的3D测点自动创建软件“IMP”中实现DTS测点、孔点和面点的创建(读取3D版

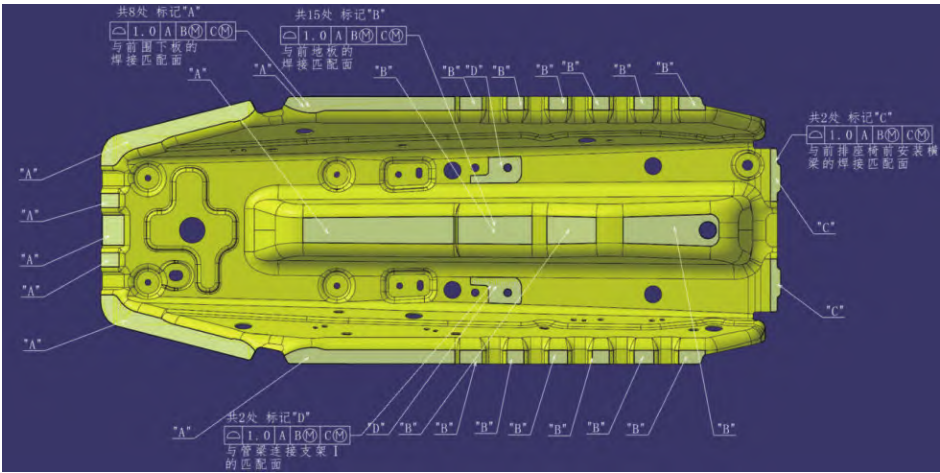


图4 信息标注示意

GD&T中的孔面信息），用于后续建模中DTS测量创建及白车身孔点、面点创建，以DTS测点创建技术为例。

“I-MP”中DTS测点创建 在零件上手动选择间隙两侧曲面。选择间隙位置的起止点，需要选择间隙一侧的端点确定DTS测点生成的范围，如图5所示。

输入测点参数，选择DTS测点的基准面，选择面差点方向。确认参数无误后点击确定按钮，等待测点生成完成，如图6所示。

测点创建原理：根据选择的端点计算出间隙边界，按照参数设置的取点模式（间距/数量）在边界上创建断面，断面与零件的交线上创建DTS测点。

读取图纸：获取零件中的形位公差，根据公差中

标记的测点范围确认边界，如图7所示。

3. 虚拟匹配在“尺寸测量数据统计分析平台”运用实施

虚拟匹配是基于“尺寸测量数据统计分析平台”，利用平台上各零部件的实际监控数据，通过装配分析模块进行装配计算，最终得到整车DTS测点的匹配数据，运用此匹配数据作为整车质量的监控以及质量问题整改的依据。

装配分析模块主要分为虚拟装配和DTS测量计算。

虚拟装配是将零件及工装夹具通过装配层级进行装配（按照控制方案/实际装配层级），每一个层级的

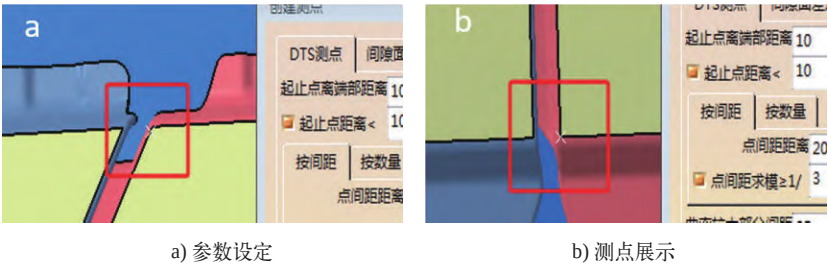


图5 间隙DTS测点选取示意

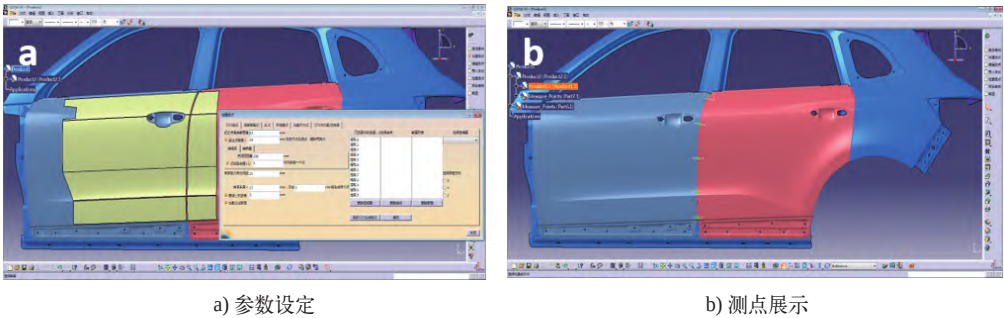


图6 间隙DTS测点选生成图

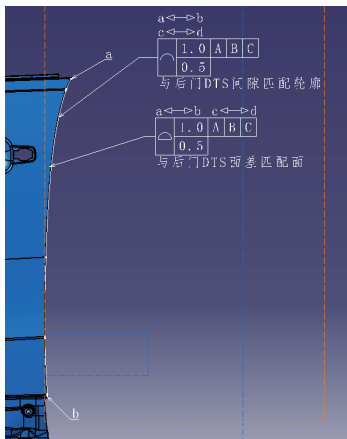


图7 图样读取示意

装配，均按照定位特征点一一进行关联约束，最终实现模型搭建。每一个装配定义为一个Move，需按照定位进行一一约束定位。

DTS测量计算是在虚拟装配创建完成后需根据整车DTS测点文件创建DTS测量，系统根据创建的DTS测量计算得到仿真结果。

(1) 虚拟装配 流程如图8所示：

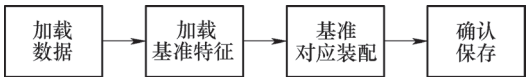


图8 虚拟装配流程示意

1) 加载数据 在“尺寸测量数据统计分析平台”数据分析模块，进入装配分析界面，分别添加装配需要的产品数模（白车身/左前门/左前门工装），如图9所示。

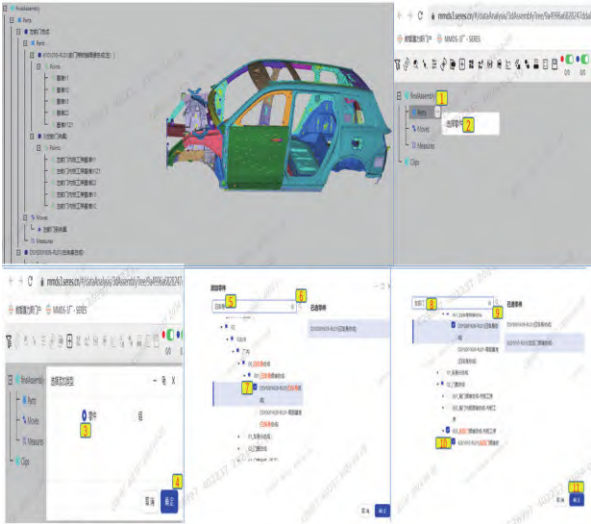


图9 数据加载操作示意

2) 加载基准特征 在工作界面操作，为Move（定位装配）所涉及装配对象/装配目标，添加恰当的特征点（涉及件包括工装&夹具），用于下一步装配。例：车门装配到夹具上，此装配的装配对象为车门，夹具为装配目标，如图10所示。

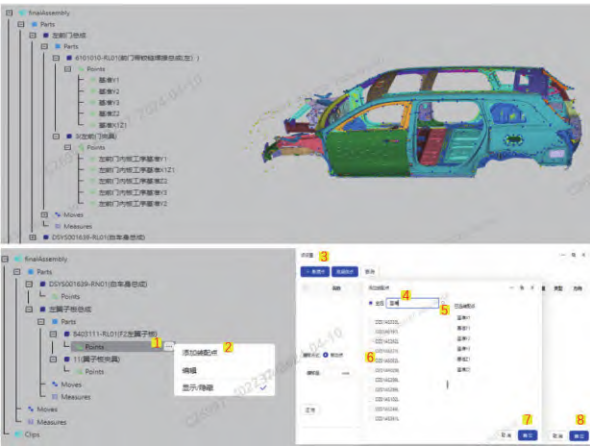


图10 基准特征加载操作示意

3) 基准对应装配 根据定位控制方案，一一对应点选装配对象/装配目标的基准特征点（步骤7），并定义每一对装配点的自由度控制向量（输入&点选），完成定位约束（12/13/14），如图11所示。



图11 基准对应装配操作示意

4) 确认保存 装配定义完成后，加载样本实测数据，然后进行运算，确认装配是否正确，如图12所示。

4. DTS测量计算

(1) 创建测量定义

1) 装配Move创建完成之后，我们要建立测量来

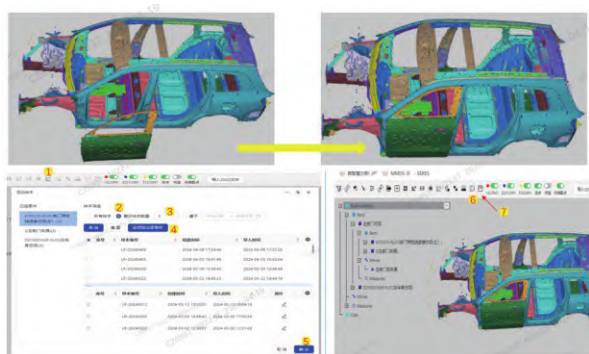


图12 装配确认示意

进行结果分析：选择对应层级下的 Measures，点击新增，弹出测量设置对话框，如图13所示。

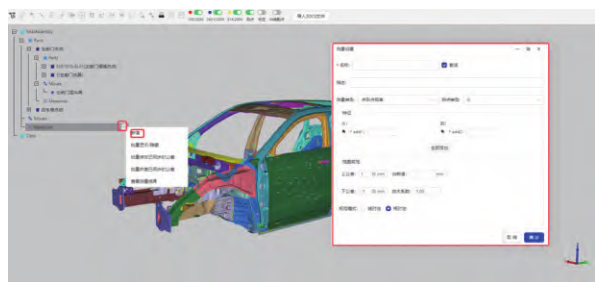


图13 测量对话框示意

2) 为建立的测量起个名称；测量类型有三种：点到点的距离（两点之间的真实距离）、点到面的距离（一个点到一个面的距离，面需要建立三个点形成一个面）、点到点的法向方向的距离（点到点的法向距离，要投影的点需要建立一个方向进行投影）。

3) 测点类型分别是G——间隙；GP——间隙平行

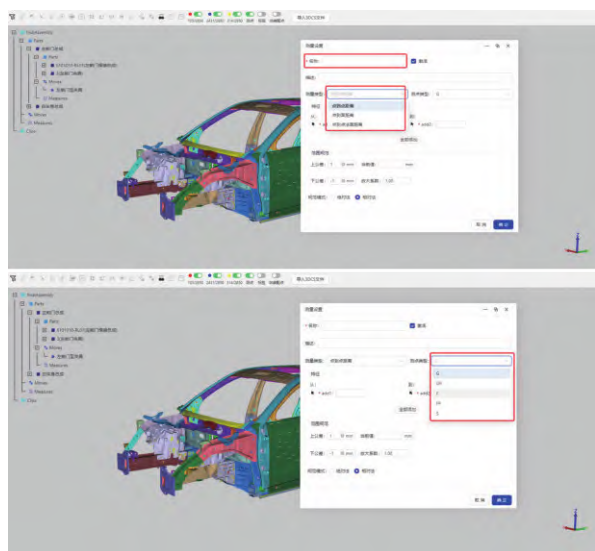


图14 测量参数设计示意

度；F——面差；FP——面差平行度；S——对称度。

(2) 选取测量点 添加两个测量点（选取测量对应的两个零部件上的对应测点），设置上下公差范围点击确定，如图15所示。

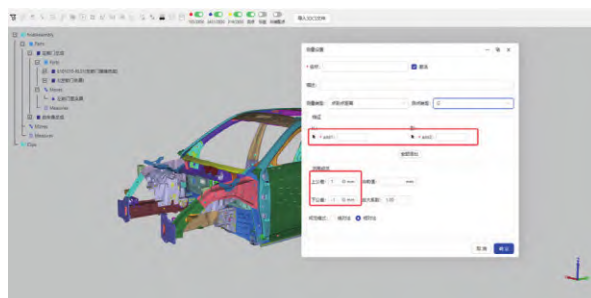


图15 测量点设置示意

(3) 查看计算结果

1) 创建测量完成之后可以点击Measures批量显示/隐藏，数模中我们测量的间隙或面差就会显示出计算数据，如图16所示。

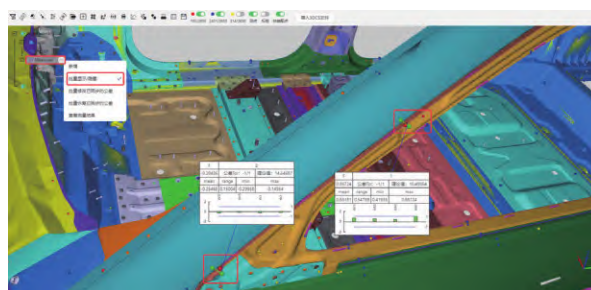


图16 测量结果示意

2) 添加完成特征点、装配、测量之后就可以进行结果分析：点击Measures，然后点击查看测量结果就会弹出装配分析结果。点击Measures弹出来的是Measures下创建的所有测量，也可以点击某个测量查看测量结果，如图17所示。

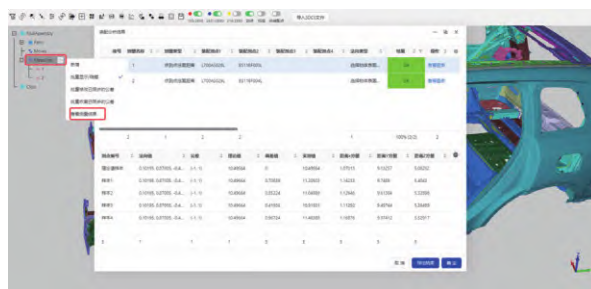


图17 测量结果分析示意

3) 点击查看图表弹出图表分析对话框，我们可以看到测量的理论值、平均值、sigma值和6sigma值、贡献因子等，如图18和表1所示。

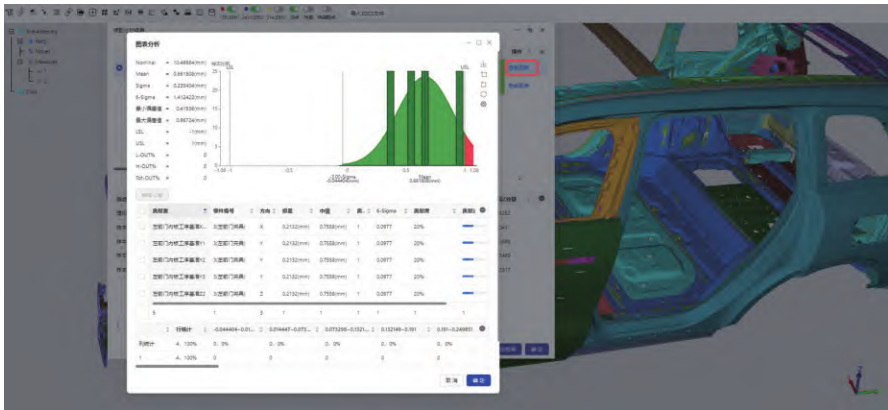


图18 测量结果分析示意

表1 左前门与侧围面差测量 (mm)

	左前门总成	白车身	目标公差	测量仿真结果	结果判断	仿真结果汇总	
样本一	0.39	-0.32	±1.0	0.70839	OK	平均值	0.661808
样本二	0.17	-0.38	±1.0	0.55224	OK	6sigma值	1.412422
样本三	0.19	-0.23	±1.0	0.41936	OK	Min值	0.41936
样本四	0.56	-0.41	±1.0	0.96724	OK	Max值	0.96724

注：左前门总成、白车身的偏差数据为矢量方向（往车外方向偏差为正，往车内方向偏差为负）

4) 参考仿真结果汇总数据，可得出以下信息 平均值0.661808mm代表计算的样本结果均偏离中心零位，后续优化方向可以往中心零位进行优化整改；6sigma值1.412422mm，IT=2mm，CP=IT/6sigma=1.416>1.33，代表过程能力充足，稳定性较好；可以给出匹配整改指令，优化平均值。

5. 预警及消息推送

(1) 预警规则设定 将Measures下的测量批量同步到“尺寸测量数据统计分析平台”数据库中，并在预警管理模块设置对应的预警规则。针对不同的测量进行单独或批量预警，预警触发条件可选合格与否/过程能力指标/SPC判异原则等，如图19所示。

(2) 消息推送 对已设定好的预警规则设置推送规则，包括推送内容、责任人、抄送人、推送频次等，推送渠道包括邮件、钉钉、飞书等。新上传的样



图19 系统预警操作示意

板计算更新后，若上述测量超出阈值，则自动触发预警，由“尺寸测量数据统计分析平台”后台自动发送预警消息至指定对象，实现整车指标汇报、零部件问题预警等功能。

结语

通过“MBD技术在尺寸工程数字化虚拟匹配中的运用”技术，将以往尺寸工程工业化调试工作依赖人员数量和经验的短板，提升至全自动化、数字化、智能化分析，大大降低人力成本、提升调试周期和降低返修成本。

参考文献：

[1] 任向阳. 基于MBD的飞机装配技术发展及应用分析[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58 (01): 124-126.

[2] 王茜,潘强,刘海博,等.基于MBD的汽车尺寸工程全过程控制技术[C]//中国汽车工程学会 (China Society of Automotive Engineers) .2023中国汽车工程学会年会论文集 (5) .北京汽车研究总院有限公司, 2023.5.

[3] 燕哲,董玉德,何金鑫,等. 面向三维模型 的尺寸标注完备性检查算法 [J]. 中国机械工程, 2023, 34 (16): 1967-1974. **AUTO1950**