

基于多特性绩效考核的白车身尺寸评价系统的应用研究

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 郑星汇 秦绪军

本文介绍了基于功能尺寸合格率考核的白车身尺寸精度评价系统（IQG, 车身几何质量指数）和基于多特性绩效考核的白车身尺寸精度评价系统（包括：功能尺寸、过程能力指数、测点分布、质量损失函数等），并对两系统的优点和缺点进行了深入分析。指出了质量管理理念对白车身尺寸精度评价系统设计开发的重要影响，以及基于精准匹配，未来白车身尺寸精度评价系统的发展方向。

目前，国内汽车主机厂白车身尺寸精度评价系统主要是基于车身几何质量指数概念对车身尺寸缺陷进行静态分级考核并计算符合率，并在一些关键区域引入功能尺寸概念。而有些国外主机厂不仅已经做到了整车功能尺寸测量考评全部覆盖，而且已经加入了对白车身尺寸精度过程能力指数的研究。通过结合对白车身静态、动态、抽检和全检的测量方式，追踪并优化车身尺寸的过程能力指数，使测点的偏倚和分布都更接近理想状态，进一步挖掘并提升白车身的制造能力和尺寸精度。

本文主要介绍了北京奔驰现有的白车身尺寸精度评价系统，吸取戴姆勒白车身尺寸管理的成功经验，结合北京奔驰实际应用现状，

探讨了现有系统的优点与不足，并对今后白车身尺寸精度评价系统及尺寸管理工作的发展提出了展望。

白车身尺寸精度评价系统

北京奔驰现有的白车身尺寸精度评价系统主要分为功能尺寸评价系统和功能尺寸分析系统。评价系统包括整车功能尺寸考核分值、单项功能尺寸考核分值、考核点数量、超差点数量及超二倍公差点（异常值）数量；白车身尺寸精度分析系统包括以整车坐标系为基准的所有测量点的测量值，以及以实际零件装配为基准的单项功能尺寸测量点的所有测量值，所有这些测量结果按照统计过程控制图的形式排列，用于分析。

白车身功能尺寸评价系统

白车身功能尺寸评价系统将白车身整车的重要装配尺寸分功能区考核并加权计算整车功能尺寸分值。根据考评目的不同，考评主要分为三类内容：以车身安全为导向的考评，以车身匹配（间隙、面差）为导向的考评，以及兼顾两方面内容的考评。举例来说，白车身前后悬挂和传动轴安装固定的尺寸评价主要是监控和保证总装安装动力总成系统的精确性和稳定性，在这个区域如果白车身尺寸产生较大偏差，很有可能造成较大的安全风险；而侧围门洞开口（见图1）、行李箱开口等的测量考核更侧重评价车身与车身外覆盖件装配是否匹配。

白车身功能尺寸评价系统将整车（未装配四门两盖的白车身）分成22~23个装配功能项按照考评导向分类考核（见图2），分别为：前悬挂装配，后悬挂装配，传动轴装配，左侧围门洞开口与车门装配匹配，右侧围门洞开口与车门装配匹配，行李箱/后尾门开口装配匹配，前仪表板模块装配，前保险杠装配匹配，后保险杠装配匹配，发动机盖及前翼子板装配匹配，左尾灯开口与尾灯装配匹配，右尾灯开口与尾灯装配匹配，顶盖及顶盖流水槽装配匹配，顶盖内衬及天窗装配匹配，发动机舱前围板功能装配匹配，车身后挡风开口装配匹配，车身后挡风开口装配匹配，侧围油箱开口与油箱盖装配匹配，油箱固定装配，ABC柱侧围内板内饰及侧安全气囊装配，以及座椅固定装配等（依此对照图2中英文）。

实际的每一项功能尺寸考评

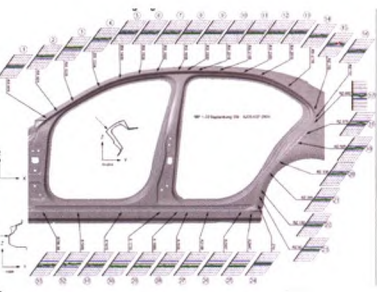


图1 侧围门洞开口测量报告

中，基于零件结构和装配设计不同，考评测量点的数量差异很大。举例来说，某车型的前仪表板安装固定只考评15个点的功能尺寸，而侧围门洞开口单侧要考评100多个点的功能尺寸。根据白车身的分级不同，整车白车身测量点在1 400~1 800个，用普通的蔡斯三坐标测量机大约需要6~8h完成一台车身的测量任务。更新eagle eye系统后，整车的测量时间会压缩到两个小时左右。质量管理部的白车身三坐标测量考核报告依据研发部门编制的白车身的尺寸技术规范（见图3）定义测量内容、测量公差并编制测量报告。

统计过程控制在白车身尺寸分析系统中的应用

统计过程控制SPC (statistics process control) 作为一种质量控制，改善工具，将数理统计与质量

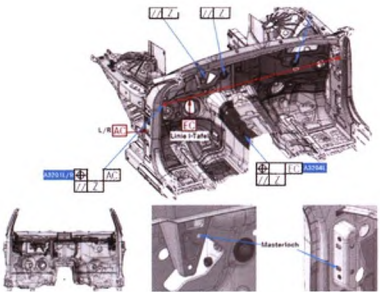


图3 白车身尺寸技术规范

Page	Function	Weighting	Number of MP	Number of measured points	Number out of tolerance	Number of outliers	Percentage of overall quality grade	Audit grade
5-7, 13-13	Achsgemetrie VA	12	52	52	1	0	10 %	1.2
26-39	Achsgemetrie HA	12	44	44	0	0	9 %	1.0
9-11	Motor- / Getriebelager	10	21	21	0	0	7 %	1.0
48-53, 59-60	Kastenöffnung li	8	251	251	24	1	11 %	2.0
48, 54-60	Kastenöffnung re	8	251	251	7	0	7 %	1.3
109-110, 112-116, 121-122	Heckdeckel-Rückwandtür-Passung	6	224	224	25	0	9 %	2.1
17, 20	Cockpit	4	24	24	0	0	3 %	1.0
21, 25-26	Frontend	4	45	45	2	0	4 %	1.4
116-120	Stoßfängerpassung li	4	62	62	4	0	5 %	1.7
27	2.Längsträgerebene (MH, VKF)	4	42	42	1	0	4 %	1.2
125-126	Heckleuchtenpassung li	4	12	12	0	0	3 %	1.0
125, 127	Heckleuchtenpassung re	4	12	12	0	0	3 %	1.0
99, 103, 106	Dachkanal(funktionell)	4	54	54	2	0	5 %	1.6
59-61	Schwelle / Modul- / Lamellen-Dach-Passung	3	88	88	1	0	2 %	1.1
15	Silberwandbefestigungen	3	4	4	0	0	2 %	1.0
82-84	Windschutzpassung Limousine	3	44	44	0	0	2 %	1.0
76-79, 147	Sonstige	2	20	20	4	0	4 %	3.0
151-154	Tankdeckelpassung	2	42	42	2	0	2 %	1.5
33	Brems- / Tankbefestigungen	2	9	9	1	0	3 %	2.1
26-28, 48	Innenrundbefestigungen	2	36	36	6	0	4 %	2.2
26, 30-32, 34, 40	Sitzbefestigungen	2	81	81	2	0	2 %	1.3
Audit			1398	1398	82	1	100 %	1.37

图2 单辆份整车功能尺寸评价报告（文中装配功能项说明依次对应图中英文）

管理相结合，从单纯依靠质量检验事后把关发展到对过程控制，形成了质量的预防性控制与事后检验相结合的管理方式。

奔驰白车身尺寸分析系统按照功能区分对功能尺寸进行测量，是基于休哈特博士的统计过程控制SPC (statistics process control) 来设计的。

以图4所示为例，Z代表以车身坐标系Z向测量，0为测量理论值，Z+代表相对于理论值测量结果偏高，Z-代表相对于理论值测量结果偏低。1~10代表不同的测量点，一个绿色芯号代表一次测点信息，多次测点信息排列，形成单点的统计过程控制图。蓝色为控制界限，不同测量点的控制界限不同，但都是基于休哈特博士的统计过程控制图 $\mu \pm 3\sigma$ 而设计（见图7）。虽然根据统计规律定义了测点在过程控制图中的几种典型的变化需要进行进一步调查，但在实际的生产和质量控制中，所有测量点的质量特性在 $\mu \pm 3\sigma$ 之内波动可以被简单认为合格。

基于尺寸缺陷率的白车身功能尺寸考评系统

奔驰白车身单项功能尺寸分值通过计算单项超差点数量与单项功能尺寸测量点总数的比值来确定。白车身整车功能尺寸考核分值根据各单项功能尺寸分值加权计算。分值越接近1.0表明超差点的数量越少，分值前有负号表明有超二倍公差的点（异常值）。单项功能尺寸中如果有两个考核点尺寸超二倍公差，单项分值即为红色，如果单项分值或总分值超过设定分值，颜色

即红色（见图6）。

由此看出，现有白车身尺寸评价系统是基于测量点数量及超差点数量而设计的。测量点的总数量，超差点数量及测点公差的大小直接影响考核评价结果。其中测点数量（装配孔、型面）由实际的装配需要确定，零件测点公差由实际的装配精度要求及零件的加工精度确定。绝大多数的白车身测量点公差被限定在±1.0mm，对一些精准外饰匹配有要求的区域，诸如尾灯开口型面尺寸、尾灯定位孔尺寸公差为±0.25mm。

现有评价系统只考核测点是否超差及测点是否超出二倍公差，考核的内容是白车身尺寸符合率或缺陷率，在计算分值时引入了车身几何质量指数（IQG）的概念，将不同的功能区按照权重不同加以区分，并加权计算总得分由于此套系统并不考核测量点在公差内的分布状态或过程能力。因此，我们可以把它简单称作基于尺寸缺陷率的白车身尺寸评价系统。

1. 现有评价系统的优势

作为缺陷率导向的评价系统对整车尺寸缺陷状态一目了然，通过颜色和数值的变化来判定问题及问题的严重程度。这种评价系统优势明显，对于超出公差，超出二倍公差的异常值（outlier）测点能够充分识别，直观反馈出白车身尺寸缺陷状态。生产车间白车身尺寸组每天的工作都是依据三坐标报告的状态来分析、优化车身尺寸。再通过下一次的三坐标报告来验证优化结果；质量管理部门监控每天每一辆车的白车身三坐标报告结果，通过与车间尺寸组确认缺陷状态

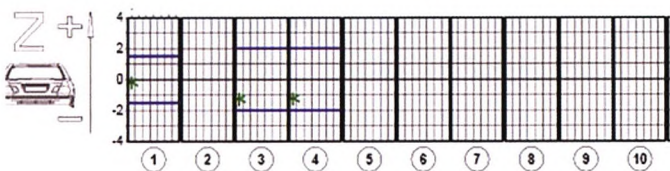


图4 白车身尺寸统计过程控制图/某点三坐标测量报告（Z改为斜体）

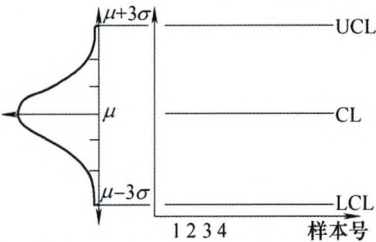


图5 统计过程控制图（UCL 上控制界限，LCL 下控制界限）

Target Value SOP: 1.9 > 2.1 Or that point out of 2 times tolerance 1.9 to 2.1 < 1.9								
Function	Weighting	X11ASD 00430432	X11ASD 00433316	X11ASD 00436815	X11ASD 00436872	X11ASD 00445543	X11ASD 00446870	X11ASD 00452063
Achsgeometrie VA	12	1.38	1.00	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Achsgeometrie HA	12	1.00	1.23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Motor- / Getriebelager	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kastenöffnung li	8	1.76	1.72	1.76	1.68	1.88	1.96	1.84
Kastenöffnung re	8	1.28	1.36	1.52	1.48	1.44	1.52	1.40
Heckdeckel-/Rückwandtür-Passung	6	1.71	1.71	1.80	1.63	1.89	2.03	1.58
Cockpit	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Frontend	4	1.00	1.22	1.44	1.22	1.22	2.11	1.22
Stoßfängerpassung hi	4	1.32	1.32	1.32	1.32	1.00	1.32	1.16
Z.Längsträgerebene (MH, VKF)	4	1.48	2.19	2.43	2.19	1.48	1.00	1.24
Heckleuchtenpassung li	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heckleuchtenpassung re	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dachkanal(funktionen)	4	2.47	2.18	2.47	2.18	2.47	1.88	2.18
Schiebe- / Modul- / Lamellen-Dach-Passung	3	1.23	1.11	1.23	1.80	1.34	1.23	1.57
Stirnwandbefestigungen	3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Windschutzpassung Limousine	3	1.45	1.00	1.45	1.23	1.23	1.45	1.45
Sonstige	2	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	3.00
Tankdeckelpassung	2	1.24	1.24	1.00	1.00	1.00	1.24	1.24
Brems- / Tankbefestigungen	2	1.00	2.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Innenraumbefestigungen	2	2.67	2.39	1.83	1.56	1.83	2.39	2.67
Sitzbefestigungen	2	1.49	1.25	1.25	1.49	1.12	1.74	1.37
Audit		1.36	1.36	1.39	1.35	1.33	1.35	1.33

图6 某车型连续七辆车的考评指标（文中装配功能项说明依次对应图中英文）

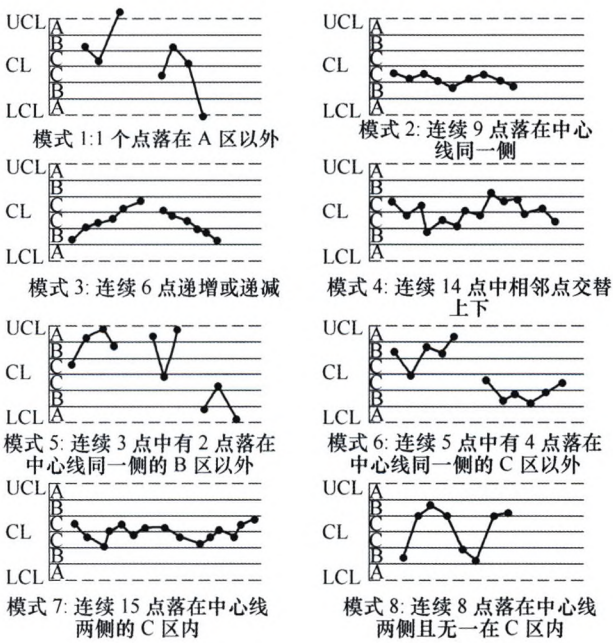


图7 统计过程控制八种失控模式

和缺陷原因，持续追踪尺寸状态，从而形成了一个白车身尺寸质量管理的闭环。相关部门，诸如冲压车间、总装车间、零件质量管理部门和质量分析部门，根据白车身的实际测量状态来判定相关问题是否是由车身尺寸偏差造成。白车身尺寸组的工作是以减少和消除缺陷（车身尺寸超差点）为导向而进行的，质量管理部三坐标测量考核是以三坐标考评结果是否有异常（功能项变化或分值变高）而进行监控和触发升级的。

2. 现有评价系统的不足

基于SPC的过程控制图有两个方面已经不能满足现在的生产质量控制需要。其一，测量点的质量特性在 $\mu \pm 3\sigma$ 之内波动即为合格，即保证产品达到99.73%的合格率。这种设置标准在20世纪中期可以说已经非常严格，SPC的理念比较当时的“事后检验”，“全数检验”理念已经有很大的进步，但即便按照统计概率计算在百万件的产品中还是存在着2700件的理论缺陷（实际情况可能更加严重）。这种状况在追求卓越的机器大批量生产中是很难接受的；其二，以 $\mu \pm 3\sigma$ 为控制界限，实际的生产和质量控制工作关注点都在怎样防止测量点尺寸超出控制界限（尺寸控制界限就像是足球比赛的球门桩，关注重点是球在球门内或者球门外），忽视了测量点在控制界限内的分布位置状态。而测点在控制线内的分布宽度及分布变化隐含着重要的过程指征（见图7）。

随着生产制造能力的大幅提升，这种缺陷率导向的评价机制已经越来越不适应实际的质量控制需要。其

一，分值的高低依据测点数量及超差点数量确定。由于每个功能模块的考核点数量相差很多，评价结果有时表现的过于敏感，有时又表现的不容易被侦测（前仪表板模块安装只有十几个测量点，而侧围门洞开口有两百多个检测点。如果同样是两个超差点，显然这两个点对总体的影响是完全不同的）。其二，随着制造能力的提升和制造工艺的进步，在实际的白车身尺寸考核中超差点的数量越来越少，单纯以缺陷率为导向的评价系统不能完全反映实际的成车装配需要。其三，基于SPC建立的考核评价系统，考核结果只反映白车身的缺陷状态，而非制造过程。随着质量管理理念的发展，关注过程并优化过程已经变得越来越重要。其四，针对于有匹配关系的零件尺寸来说，如果零件尺寸一个在公差上界限而另一个在公差下界限，虽然都在公差内，但实际匹配结果也会造成不良。

由图8所示的装配关系举例来说，如果不考虑装配的过程工艺，尾灯在车身后部的装配结果是由白车身尾灯开口尺寸，后保险杠尺寸，尾灯尺寸共同决定的。单一零件的尺寸合格，但匹配间零件尺寸如果一个在公差上限附近波动，一个在公差下限附近波动，或者零件尺寸均值很好，但标准差很大，都可能造成实际的装配问题；更重要的是针对于奔驰的产品造型越来越复杂，从“两零件之间”，“一个方向”的尺寸匹配到“多零件之间”、“空间位姿”（位姿是反应空间目标的重要参数，是指空间中一个坐标系相对于另一个坐标系的位置和姿态）的尺寸匹配，无论对装配工艺还是产品尺寸精度都提出

了更高的要求。因此，对于白车身尺寸精度来说，只保证在公差界限内波动已经远远不能满足实际的装配需要。

系统升级——多特性绩效的考评系统

一般情况而言，针对离散特性的质量问题，我们以合格/不合格来判断产品的质量状态；而对于连续特性的问题，诸如车身尺寸状态，如果只简单地考虑合格/不合格，这就意味着在技术规范内（在公差内）的每一个结果都被认为同等的好，在技术规范外的所有结果都被认为是同等的坏，如图8所示。而实际情况是，对于具有连续特性的质量问题，测点在公差内的位置不同，影响零件间的匹配质量；同时，按照质量损失函数的概念，因过程偏离目标值而浪费的成本估计值成抛物线形状（见图9）。

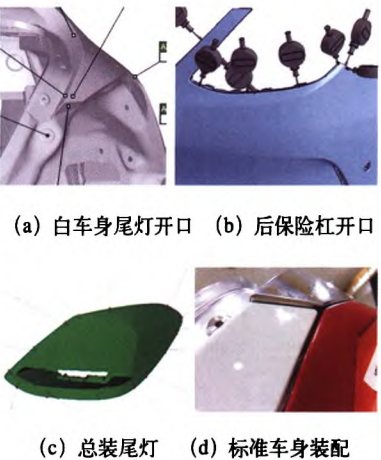


图 8

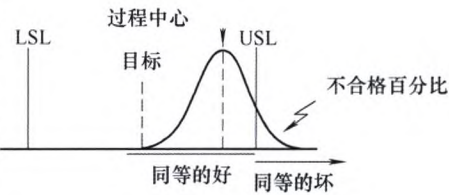


图 9

过程能力指数及质量损失函数的引入

现有评价系统既不能评价过程相对于公差的稳定能力，也没有充分考虑分布状态（标准差大小），均值偏移和产品的控制界限设置等因素，不能很好地反映质量特性值的均值 μ 与目标值 T 的位置关系；同时，也没有反映质量特性值的均值与目标值不一致造成的质量损失。

田口玄一（Genichi Taguchi）认为，因过程偏离目标值而浪费的成本估计值成抛物线型状，即质量损失函数：成本在目标值最小，在目标值附近也很小，在向规格限方向便开始快速的生长。Taguchi 指数，将客户期望值（即目标值 T ）考虑进来，反映了质量管理思想的进步。一旦产品偏离目标值就会出现质量损失，这是从收益的角度设计过程能力指数（见图10）。

基于多重特性绩效的白车身尺寸评价系统应用

基于多重特性绩效的白车身尺寸评价系统正是在这样的背景下应运而生的。多重特性绩效是指：不仅评价产品的装配功能绩效，还评价产品的过程能力绩效及质量损失指标。新的系统考核超差点数量和超出二倍公差点的数量，并能够计算测点偏移中心的程度。

如果单一测点测量值与目标值重合，那么单点的计算结果为“零”；

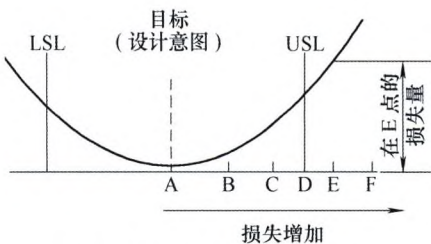


图10 损失函数和技术规范比较

如果单一测点测量值与上下公差限重合，那么单点的计算结果将为“一”，如果单点测量值超出上下公差限，那么测量结果则大于“一”。需要指出的是，单向功能尺寸值为单项内所有测点的均值。

如图13所示，多特性绩效车身尺寸精度评价系统借鉴了之前的缺陷率为导向评价系统的优点：对于

超差点数量（ n ），是否有超二倍公差点（红色），可以一目了然显示。更重要的是，增加了基于过程能力和质量损失概念的质量特性值均值 μ 与目标值 T 的位置关系。虽然这只代表一种指向性信息（测点的均值而非实际值），但它体现了质量管理理念的进步和质量关注角度的变化。

函数		
Achsgeometrie VA		0.33 0
Achsgeometrie HA		0.30 0
Gelenkwellenlage		0.29 0
Motor- Getriebelager		0.60 4
Kastenöffnung li		0.53 10
Kastenöffnung re		0.55 16
Heckdeckel- Rückwandtür-Passung		0.53 7
Cockpit		0.45 1
Frontend		0.65 8
Stoßfängerpassung hi		0.53 3
2.Längsträgerebene (MH, VKF)		-1.05 9
Heckleuchtenpassung li		0.78 7
Heckleuchtenpassung re		-1.02 10
Dachkanal (funktionen)		0.46 1
Schiebe- Modul- Lamellen-Dach-Passung		0.39 1
Stirnwandbefestigungen		0.57 8
Windschutzpassung Limousine		0.37 0
Heckfensterpassung		0.80 5
Sonstige		0.48 1
Tankdeckelpassung		0.67 5
Brems- Tankbefestigungen		0.29 0
Innenraumbefestigungen		0.47 2
Sitzbefestigungen		0.46 3
Z23		0.5 4

图11 基于多特性绩效的白车身尺寸精度评价表

结语

本文对北京奔驰现有的缺陷率为导向的白车身精度评价系统做了简要介绍。随着质量管理理念的发展，生产、测量技术的更新迭代，笔者对今后可能的白车身尺寸精度考评系统的发展做出了展望，并对其背后可能的理论基础进行了探讨。

基于质量管理理念的变化，质量控制的关注点以及质量控制手段也在不断变化：在统计过程控制时代，研究过程变异并减少变异是质量改进的主要目标和手段。“减

少变异”也就是“减少缺陷”，其隐含的信息是“可控的”缺陷是可以接受的。因为要达到“零缺陷”不仅不现实，还会导致成本大幅度上升。优化或改进的重点是减少缺陷的数量。而伴随着质量管理理念的发展，“全面质量管理”，“零缺陷”理论的提出及“六西格玛管理”的发展应用，质量管理的重点已经不只是“减少缺陷”，质量概念由“产品和服务质量满足客户需要”向“大质量综合满足顾客及相关方需要”的演进。AUTO1950