

C-class白车身间隙平顺 在线检测设备解析及实践

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 张皓源

白车身间隙平顺检测中，线激光三角测量方法得到应用，通过激光传感器配搭机器人自动检测的方式实现了生产线上100%的侧量，代替了传统的人工检测且具有较好的重复性及再现性，为问题的分析及解决提供了可靠的依据。

装配尺寸控制即白车身间隙平顺度的控制是质量控制的重要环节，也是决定整车外观的重要因素。传统间隙平顺测量采用人工间隙塞尺及平顺卡板的方式，而人工测量的重复性及再现性较低，无法通过MSA测试，测量工具分辨力低，常规塞尺卡板仅为0.5mm，且数据记录追溯性差，故人工测量的数据不足以真实有效地反映白车身的实际状态。

现北京奔驰汽车C-class生产线采用间隙平顺在线检测设备(以下简称SMA)采用线激光三角测量原理，对白车身重要控制点进行100%测量，分辨率0.01mm，通过MSA验证测量系统具有较高的准确性及精确性，从而为分析及解决装配尺寸问题提供数据支持，使技术人员可以不断的提升装配尺寸的精度。

在线检测设备解析

1. 线激光传感器

间隙平顺测量设备（以下简称SMA），SMA是德语Spalt Messe Anlage的缩写，是由德国VMT公司提供，其采用线激光传感器测量，

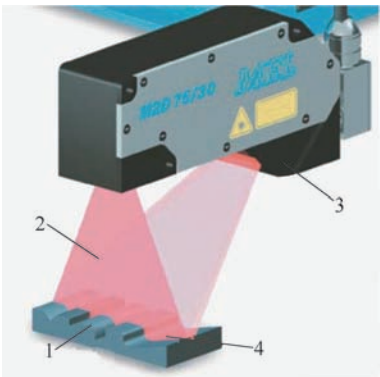


图1 线激光传感器三角测量

1.零件轮廓 2.激光线 3.照相机
4.零件可见激光线末端

如图1所示，传感器投射一条激光线在物体或工件上，并采用三角测量方法，将激光反射进入另一侧的相机感光成像，工件表面激光照射点高度不同，所接受反射光的角度也不同，计算工件高度信息。此激光传感器安装在机器人上，通过PLC控制机器人及工作，实现了自动化测量（见图2）。



图2 间隙平顺测量设备（SMA）

2. 算法及零件轮廓

此车型共有四种零件类型轮廓，由于两个探头识别两个零件，宽角度零件及小角度滚边零件最为常见，在C-class所有车门外板、行李箱及前盖前半区域均属于这种轮廓类型，选择Deepdrawn搭配Crimped算法；第二种轮廓为双小角度滚边零件，选择Crimped搭配Crimped算法，此种算法应用于前盖后半区域的测量点；第三种轮廓为宽角度与0角度零件，为白车身侧围与窗框法兰边，此时选择DeepDrawn搭配End算法；第四种轮廓为双零角度零件，选择双End算法，此种算法用于窗框与窗框之

间计算间隙及平顺度。

3. 间隙平顺计算原理

如图3所示，其为最常见的Deepdrawn+End算法搭配，左下角为电子卡板，其模拟手工卡板测量的方式，故需要将电子卡板配置到与零件贴合的位置，在二维空间中，利用X、Z坐标值及卡板旋转角度对卡板进行配置，然后对卡板边缘直线进行配置，以便计算平顺度。对于间隙的计算，如图4所示，Deepdrawn+End算法的间隙为由经过测量基准面实际测量点的切线向被测量面做平行线，到被测量零件的最小距离就是两个零件间的间隙。

验收标准

通过MSA验证其准确性及精确性。美系汽车通过偏倚、线性、稳定性、重复性及在线性验证，即美系MSA。德系采用Method1和Method2分析，Method2主要分析“人”的因素对测量系统的影响，具体对重复性及再现性（R&R）进行分析。SMA测量系统中为KUKA机器人测量，可以排除“人”因素的影响，故Method2这里不做分析，只分析Method1，其中包括重复性及偏倚。

1. 重复性测试

重复性是指由同一个操作者，用同一测量仪器，多次测量同一个部件的同一特性时获得的测量变差，一般指仪器的变差。测量系统分析是针对一个系统而言，而对于SMA，其包括激光传感器、机器人、白车身、工装夹具、系统软件、光照环境等。为了避免昼夜交替带来的光照影响，已将车间天窗遮盖注，从而避免昼夜交替日光对系统的影响。现设计试验，通过PLC设置模拟正常测量过程，白车身进入工位，行进到位，工装夹紧，机器手开始测量，直到一个工作循环结束，反复进行N次（ $N > 30$ ），并计算 C_g 值，接受标准为 $C_g \geq 1.33$ ，如图5所示，窗框区域测点 $C_g < 1.33$ ，不满足要求。此问题在设备验收时验证，窗框法兰边毛刺对激光测量有不利影响，这也是此激光测量的局限性。

2. VNS测试

传统的人工测量通过支具无法将覆盖件完全置于“0”位，而

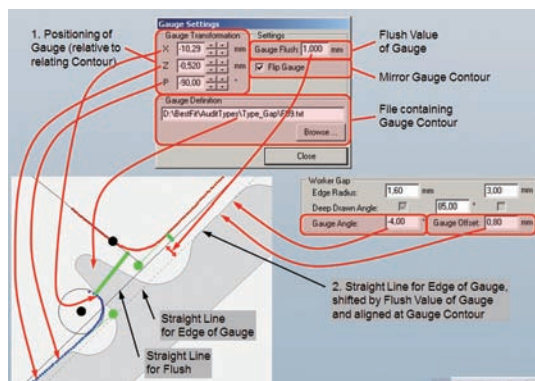


图3 平顺度卡板位置及平顺度调试

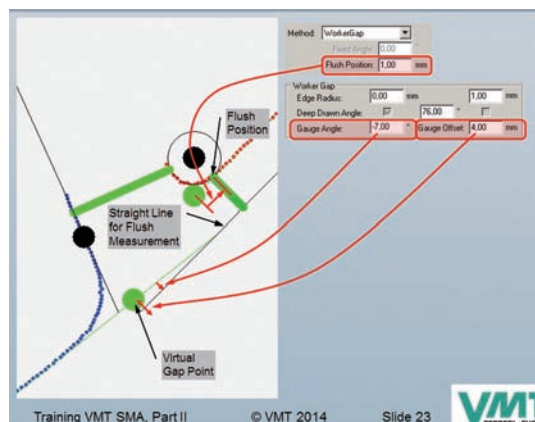


图4 间隙测量值调试

QndEfficiency HPU Report Left																			
Item	Item	Value	Unit	Min	Max	Avg	StdDev	Filter	Filter x	Filter y	Filter z	Min	Max	Avg	StdDev	Tolerance	Cp	Cpk	Cp
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value1	82	100.000	100.000	-1.525	-1.517	-1.525	-0.004	-1.000	1.000	82	3.405	3.139	3.157	0.012	1.000	0.991	21.943	21.943
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value2	82	100.000	100.000	-1.525	-1.517	-1.525	-0.004	-1.000	1.000	82	-1.525	-1.517	-1.525	-0.004	1.000	1.3312	69.459	69.459
14_4_R_VHS [200901-4_4]	value1	82	100.000	100.000	-0.075	-0.140	-0.113	-0.013	-1.000	1.000	82	0.075	0.140	-0.113	-0.013	1.000	3.303	36.536	36.536
14_4_R_VHS [200901-4_4]	value2	82	100.000	100.000	-0.985	-0.877	-0.946	-0.026	-1.000	1.000	82	-0.985	-0.877	-0.946	-0.026	1.000	1.906	9.541	9.541
14_4_R_VHS [200901-4_4]	value1	82	100.000	100.000	3.462	3.575	3.529	0.029	-1.000	1.000	82	3.462	3.575	3.529	0.029	1.000	1.722	8.408	8.408
14_4_R_VHS [200901-4_4]	value2	82	100.000	100.000	-0.111	-0.072	-0.093	-0.009	-1.000	1.000	82	-0.111	-0.072	-0.093	-0.009	1.000	0.830	28.240	28.240
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	3.596	3.144	3.127	0.013	-1.000	1.000	82	3.596	3.144	3.127	0.013	1.000	3.752	39.608	39.608
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	2.052	2.053	2.053	0.012	-1.000	1.000	82	2.052	2.053	2.053	0.012	1.000	4.181	20.793	20.793
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	-0.899	-0.879	-0.945	-0.020	-1.000	1.000	82	-0.899	-0.879	-0.945	-0.020	1.000	2.471	12.393	12.393
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-0.085	0.018	-0.044	0.019	-1.000	1.000	82	-0.085	0.018	-0.044	0.019	1.000	2.813	13.045	13.045
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	-0.024	-0.086	-0.057	-0.018	-1.000	1.000	82	-0.024	-0.086	-0.057	-0.018	1.000	2.669	13.345	13.345
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-0.325	-0.288	-0.309	-0.008	-1.000	1.000	82	-0.325	-0.288	-0.309	-0.008	1.000	0.551	32.764	32.764
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	3.112	3.161	3.128	0.009	-1.000	1.000	82	3.112	3.161	3.128	0.009	1.000	3.293	26.945	26.945
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-0.514	-0.479	-0.497	-0.008	-1.000	1.000	82	-0.514	-0.479	-0.497	-0.008	1.000	2.319	31.093	31.093
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	98.780	100.000	14.370	14.453	14.386	0.008	-1.000	1.000	81	14.370	14.453	14.386	0.008	1.000	6.412	32.050	32.050
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	98.780	100.000	-13.035	-12.874	-13.003	0.011	-1.000	1.000	81	-13.035	-12.874	-13.003	0.011	1.000	-4.482	22.412	22.412
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	13.340	13.462	13.391	0.025	-1.000	1.000	82	13.340	13.462	13.391	0.025	1.000	2.046	30.300	30.300
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-12.429	-12.063	-12.229	0.108	-1.000	1.000	82	-12.429	-12.063	-12.229	0.108	1.000	0.465	2.317	2.317
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	12.525	12.570	12.545	0.010	-1.000	1.000	82	12.525	12.570	12.545	0.010	1.000	4.939	24.829	24.829
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-12.123	-12.060	-12.093	0.017	-1.000	1.000	82	-12.123	-12.060	-12.093	0.017	1.000	2.947	14.736	14.736
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	10.884	11.023	10.969	0.030	-1.000	1.000	82	10.884	11.023	10.969	0.030	1.000	1.942	9.460	9.460
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	-14.093	-14.002	-14.049	0.019	-1.000	1.000	82	-14.093	-14.002	-14.049	0.019	1.000	2.639	13.194	13.194
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value1	82	100.000	100.000	-0.590	-0.505	-0.551	0.019	-1.000	1.000	82	-0.590	-0.505	-0.551	0.019	1.000	2.689	13.446	13.446
14_5_R_VHS [200901-4_5]	value2	82	100.000	100.000	29.863	29.965	29.907	0.022	-1.000	1.000	82	29.863	29.965	29.907	0.022	1.000	2.277	11.394	11.394
17_3 [200901-7_3]	Gap	82	100.000	100.000	1.926	1.988	1.949	0.014	-1.000	1.000	82	1.926	1.988	1.949	0.014	1.000	3.584	17.918	17.918
17_3 [200901-7_3]	Fluor	82	100.000	100.000	-1.088	-1.026	-1.061	-0.016	-1.000	1.000	82	-1.088	-1.026	-1.061	-0.016	1.000	3.197	15.947	15.947
203-201_R_VHS [20090201-2]	value1	82	100.000	100.000	9.399	9.683	9.429	0.022	-1.000	1.000	82	9.399	9.683	9.429	0.022	1.000	2.244	11.218	11.218
203-201_R_VHS [20090201-2]	value2	82	100.000	100.000	-1.428	-1.387	-1.408	-0.010	-1.000	1.000	82	-1.428	-1.387	-1.408	-0.010	1.000	0.174	28.849	28.849
203-201_R_VHS [20090201-2]	value1	82	100.000	100.000	16.642	16.652	16.653	0.005	-1.000	1.000	82	16.642	16.652	16.653	0.005	1.000	26.778	53.878	53.878
203-201_R_VHS [20090201-2]	value2	82	100.000	100.000	9.983	10.076	10.025	0.025	-1.000	1.000	82	9.983	10.076	10.025	0.025	1.000	1.919	8.872	8.872
203-201_R_VHS [20090201-2]	value1	82	100.000	100.000	-0.515	-0.466	-0.491	0.010	-1.000	1.000	82	-0.515	-0.466	-0.491	0.010	1.000	4.979	24.894	24.894
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	98.780	100.000	0.832	0.910	0.881	0.017	-1.000	1.000	81	0.832	0.910	0.881	0.017	1.000	2.993	14.465	14.465
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	-4.887	-4.838	-4.853	-0.011	-1.000	1.000	82	-4.887	-4.838	-4.853	-0.011	1.000	-4.453	23.143	23.143
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	5.510	5.541	5.521	0.007	-1.000	1.000	82	5.510	5.541	5.521	0.007	1.000	7.281	36.463	36.463
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	-4.923	-4.972	-4.952	-0.012	-1.000	1.000	82	-4.923	-4.972	-4.952	-0.012	1.000	1.159	20.792	20.792

图5 重复性测试数据

系统归“0”算法具备此功能，为验证此算法的准确性，取用VNS测试验证，将覆盖件装配“0点”平顺度调到-2mm、-1mm、0mm、1mm和2mm，系统通过计算分别计算出五种状态下其他测量点间隙及平顺度，将五种状态下的数值形成C_g值，对C_g值评价，接受标准为C_g≥1.33，由图6可知，95%测量点符合要求，仅窗框区域一测点C_g<1.33，整体数据可接受。

3. 偏倚

偏倚是针对同样零件的同样特性观察的平均值和基准值（真值）之间的差异，即准确度（真值可以由更高精度、质量的测量系统来获取）。我们使用CMM三坐标测量仪作为获取真值的设备，此设备定期接测量分辨率更高的计量机构的检定。图7为窗框测量点处三坐标与SMA测量值的比对数据，红色的数据为CMM测量数据，黑色曲线为SMA测量数据，除窗框区域测量点，其他测量点与

CMM数据比对相关性>85%，偏差值<0.2mm，满足Daimler在线检测数据比对要求，如图7所示，95%测点符合要求。

VNS Test Report Left																			
Item	Item	Value	Unit	Min	Max	Avg	StdDev	Filter	Filter x	Filter y	Filter z	Min	Max	Avg	StdDev	Tolerance	Cp	Cpk	Cp
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value1	82	100.000	100.000	31.270	31.194	31.237	0.019	-1.000	1.000	82	31.270	31.194	31.237	0.019	1.000	0.949	11.117	11.117
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value2	82	100.000	100.000	2.384	2.275	2.329	0.049	-1.000	1.000	82	2.384	2.275	2.329	0.049	1.000	0.121	6.919	6.919
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value1	82	100.000	100.000	-0.852	-0.940	-0.947	0.003	-1.000	1.000	82	-0.852	-0.940	-0.947	0.003	1.000	0.589	9.943	9.943
14_3_R_VHS [200901-4_3]	value2	82	100.000	100.000	9.481	9.447	9.464	0.009	-1.000	1.000	82	9.481	9.447	9.464	0.009	1.000	0.428	1.791	1.791
203-201_R_VHS [20090201-2]	value1	82	100.000	100.000	-0.822	-0.961	-0.902	0.021	-1.000	1.000	82	-0.822	-0.961	-0.902	0.021	1.000	0.700	1.761	1.761
203-201_R_VHS [20090201-2]	value2	82	100.000	100.000	16.807	16.818	16.823	0.010	-1.000	1.000	82	16.807	16.818	16.823	0.010	1.000	2.614	13.170	13.170
203-201_R_VHS [20090201-2]	value1	82	100.000	100.000	9.399	9.683	9.429	0.022	-1.000	1.000	82	9.399	9.683	9.429	0.022	1.000	0.915	9.915	9.915
203-201_R_VHS [20090201-2]	value2	82	100.000	100.000	-4.088	-4.039	-4.069	0.020	-1.000	1.000	82	-4.088	-4.039	-4.069	0.020	1.000	4.491	14.464	14.464
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	0.835	0.824	0.829	0.005	-1.000	1.000	82	0.835	0.824	0.829	0.005	1.000	0.647	10.121	10.121
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	-4.988	-4.946	-4.954	-0.021	-1.000	1.000	82	-4.988	-4.946	-4.954	-0.021	1.000	2.296	11.933	11.933
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	0.829	0.961	0.940	0.014	-1.000	1.000	82	0.829	0.961	0.940	0.014	1.000	0.799	17.947	17.947
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	4.894	5.001	5.021	0.020	-1.000	1.000	82	4.894	5.001	5.021	0.020	1.000	0.151	9.996	9.996
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	3.076	3.044	3.060	0.012	-1.000	1.000	82	3.076	3.044	3.060	0.012	1.000	0.610	19.969	19.969
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	0.140	0.239	0.189	0.050	-1.000	1.000	82	0.140	0.239	0.189	0.050	1.000	0.442	3.919	3.919
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	3.180	3.238	3.213	0.018	-1.000	1.000	82	3.180	3.238	3.213	0.018	1.000	0.791	13.163	13.163
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	3.180	3.422	3.304	0.012	-1.000	1.000	82	3.180	3.422	3.304	0.012	1.000	0.194	9.771	9.771
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	-0.204	-0.346	-0.260	0.053	-1.000	1.000	82	-0.204	-0.346	-0.260	0.053	1.000	0.944	10.121	10.121
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	0.526	0.539	0.534	0.006	-1.000	1.000	82	0.526	0.539	0.534	0.006	1.000	0.691	10.121	10.121
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	3.708	3.729	3.715	0.010	-1.000	1.000	82	3.708	3.729	3.715	0.010	1.000	0.791	13.163	13.163
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	3.587	3.447	3.467	0.013	-1.000	1.000	82	3.587	3.447	3.467	0.013	1.000	0.711	14.464	14.464
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	-0.817	-0.910	-0.913	0.040	-1.000	1.000	82	-0.817	-0.910	-0.913	0.040	1.000	0.696	10.121	10.121
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	1.791	1.845	1.848	0.010	-1.000	1.000	82	1.791	1.845	1.848	0.010	1.000	0.294	1.791	1.791
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	-0.146	-0.128	-0.136	0.008	-1.000	1.000	82	-0.146	-0.128	-0.136	0.008	1.000	0.129	1.291	1.291
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value2	82	100.000	100.000	2.874	2.890	2.881	0.007	-1.000	1.000	82	2.874	2.890	2.881	0.007	1.000	0.786	10.121	10.121
9_1_14_2_VHS [200901-4]	value1	82	100.000	100.000	0.123	0.149	0.147	0.010	-1.000	1.000	82	0.123	0.149	0.147	0.010	1.000	0.294	1.791	1.791
Total 120.000																			
Data Range: 2009-01-01 16:00:00 - 2009-02-01 20:00:00																			
Export Test: ☐ ☒																			
Export: Test										Results									
Date										Date									
Time										Time									

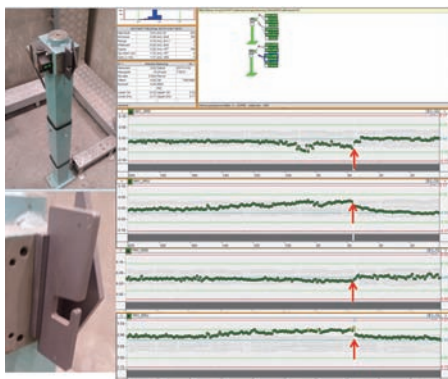


图8 SMA检定块及检定数据

示校后数据恢复中值。

2. SMA测量数据与CMM数据比对

为验证白车身测量的准确性，将CMM数据作为基准与SMA测量数据进行比对，比对频率为每季度5台车，此频率为Daimler全球工厂的最低标准。进行比对的取样越多，频率越高，比对效果越接近CMM。比对相关性大于75%，表示出现一致性偏差时，根据一致性偏差平均值作为补偿值。若相关性较差，需要分析原因，提高相关性，对于现有车型，95%的测量点相关性满足要求，利用IQVIS数据

处理软件，选取15台白车身，如图9所示，红色曲线为CMM测量值，黑色线为SMA测量值，三张图片依次表示原始比对数据，第三台车被剔除后数据（相关性从86提高到93），模拟添加补偿值后的数据。补偿后SMA与CMM数据接近一致。将测量点需添加的补偿值添加到SMA系统内，完成一次完整数据修正。

SMA在线检测数据应用

1. 每日SMA测量报告

由于CMM测量数据少，现有

状态每周每个车型只测量两台车，而SMA100%测量优势，通过IQVIS数据收集系统生成SMA报告，可以将工艺卡中要求的测量数据都集中在一个测量报告中。

如图10及图11所示，绿色区域为一级调整点，此类测量点需要控制在一级公差内，白色区域为二级调整点，只利用此类测量点分析偏差趋势，结合一级调整点状态进行调整。由下图数据可知车门一级、二级调整点均可控制在公差范围内，二级调整点发生偏差，也在可控范围内。每天编写测量报告，发送测量报告，出现问题时，利用此报告的数据进行分析。当数据发生偏差时，对工装进行调整。

2. 对个例问题数据追溯

SMA可以实现100%测量，每一辆车的原始间隙平顺度状态都记录在系统内，当出现个例问题时而非批量质量问题时，可以利用SMA数据进行分析，从而起到排查个例问题的作用，以便排查装配尺寸的影响，从而对其他影响因素进行分析。

例如总装车间反馈，少量车前后门腰线亮饰条Z超差，前门比后门高1.5mm，此问题产生影响因素是车门单件尺寸，前后门装配尺寸，亮饰条尺寸，亮饰条装配状态，而记录问题车的车身号，追溯SMA检测数据，如图12所示，发现检测值符合公差要求，故可以排除装配尺寸影响。从而对其他影响因素进行分析，排查。

3. 指导批量问题调整

当质量部或总装车间反馈批量

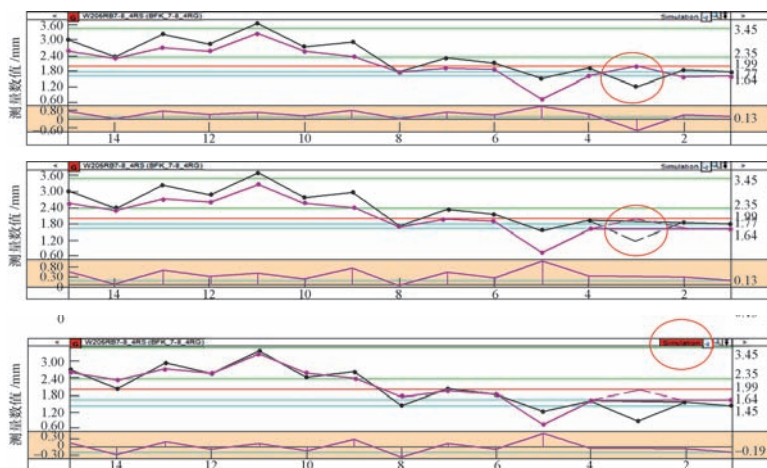


图9 SMA与CMM比对

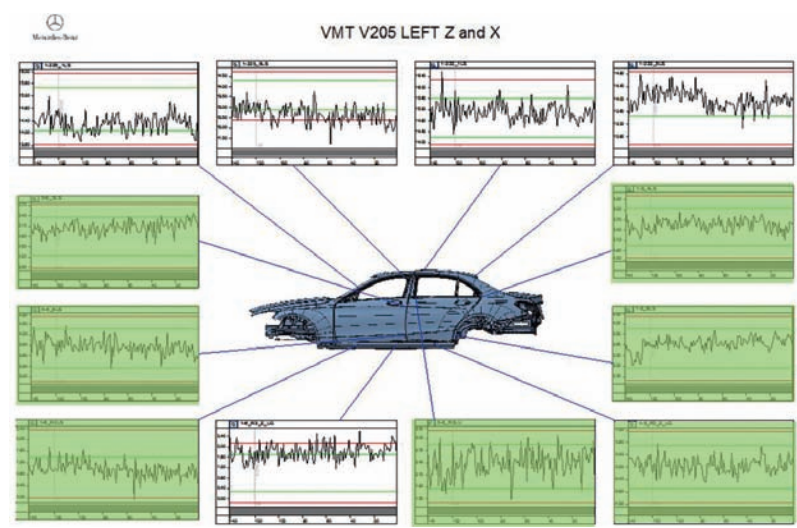


图10 SMA车门高度及间隙测量报告

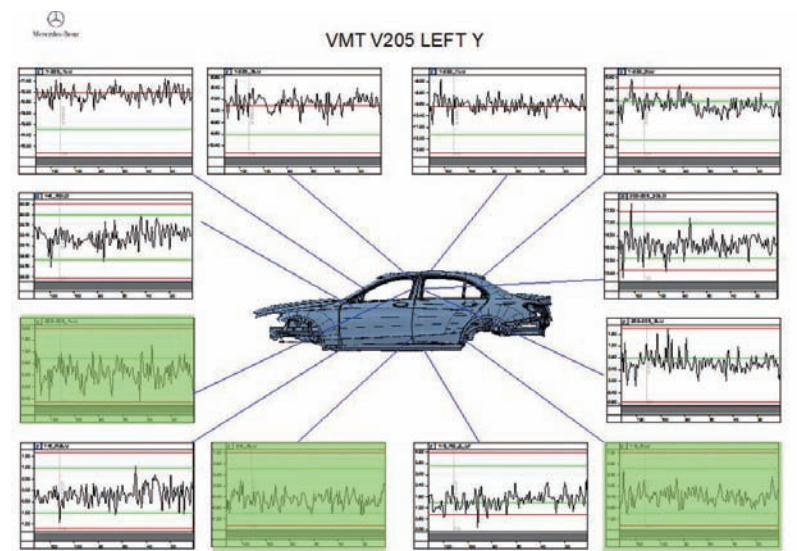


图11 SMA车门铰链深度及窗框平顺度测量报告

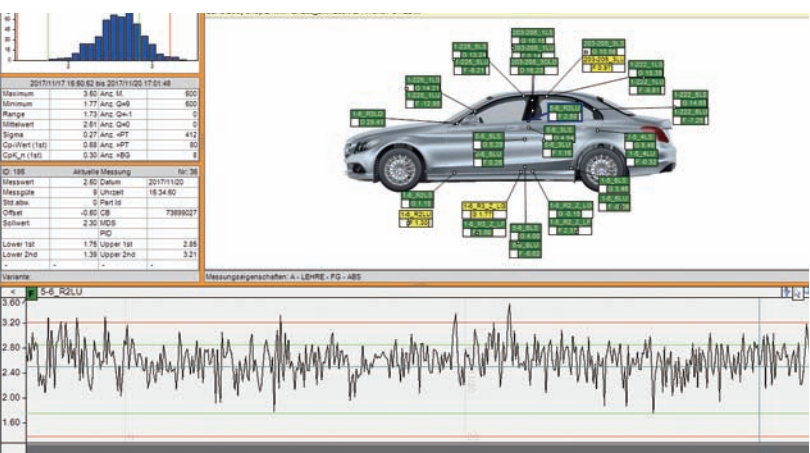


图12 个别问题SMA数据追溯

质量问题时，可以分析SMA相关测量数据，若检测数据与问题存在相关性，要对数据进行分析，做相应调整，若无相关联趋势，可以对工装调整作为临时措施，用SMA作为数据监控。如图13所示，上图 为整车四门关门力统计趋势图，左后门关门力发生趋势性增大，增大 20NM，接近公差上限，为解决此问题，通过临时措施在不影响窗框平顺度的情况下外放左后门上铰链，由下图可知，窗框平顺度及铰链深度外闪0.5mm，左后门关门力下降，恢复平均水平，成功地采取了措施，并且利用SMA进行数据监控相关数据稳定性。

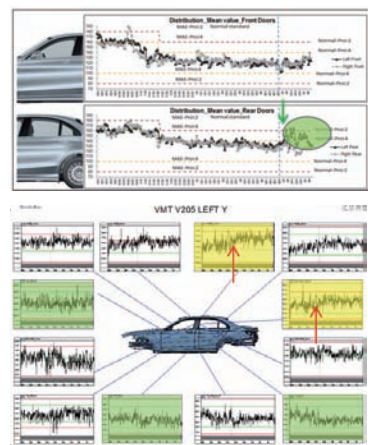


图13 批量问题SMA数据分析

结语

在线检测设备的应用必将是未来汽车工业发展的趋势，并且在德国工业4.0及中国制造2025的大背景下，我公司在车身工厂间隙及平顺度在线检测设备的首次应用，成功地代替了人工测量，并且为后续的问题分析及解决提供了可靠的数据支持，在测量环节上向智能制造迈出了一大步。**AUTO1950**