

# ATOS设备在光学行业的应用

划时代的3D量测解决方案

Peter

3D量测 主任|3D Chief Engineer

2017.03.29



马路科技

3D打印+3D扫描专家

# ATOS光学三维量测系统

20余年的业界赞誉



ATOS Compact Scan



ATOS Core

ATOS全范围覆盖三维扫描



ATOS Triple Scan

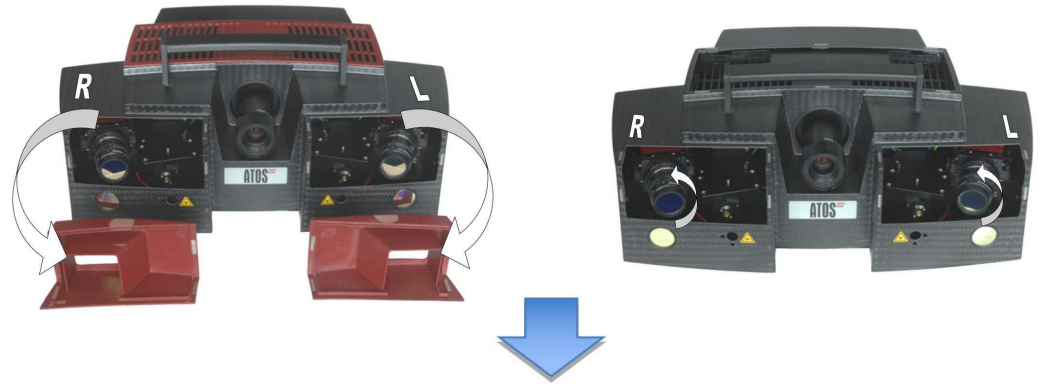


ATOS Capsule

自1995年推出以来，Gom公司的ATOS三维扫描仪系列不断致力于工业发展并得到业界的认同。光学三维测量技术及全面测量系统已成为全业内的标准工具。ATOS拥有最先进的软件与硬件，能够为不同工业应用提供精密的测量结果。

# 变更量测范围 (更换镜头)

- 可更换镜头组借以改变量测范围
- 可更换相机支撑架借以改变量测范围
- 简易的更换流程
- 弹性的选择所需量测范围



原先的镜头可以用旋转的方式拆卸下来



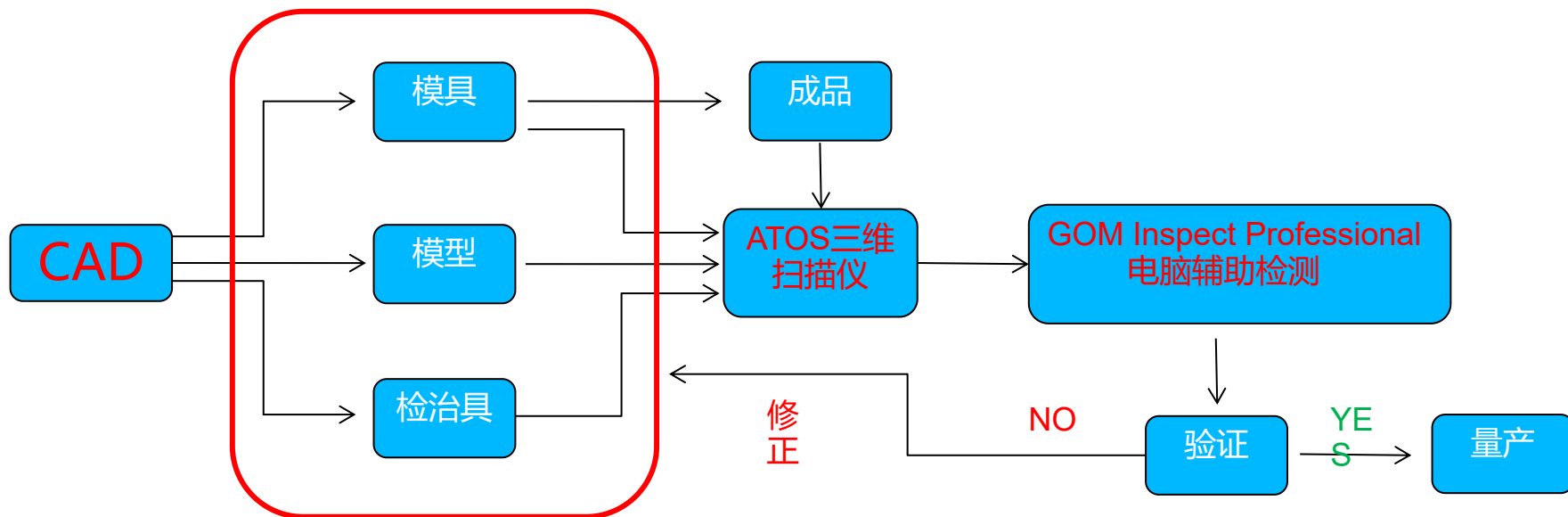
每个量测范围包含三个镜头组  
右镜头 / 投影镜头 / 左镜头



再换上新的镜头, 即可完成量测范围变更

## ATOS 技术解决方案应用流程图：

主要是将实体成品以逆向扫描的方式，将其做成计算机可以读取的资料格式(Scan Data)，再将Scan Data与原始3D设计图(CAD Data)依检验需求做精确的重叠与对位，进而查看其各部分的尺寸误差，是一种全尺寸比对的方式，一般称之为全域检验(全尺寸检测)。



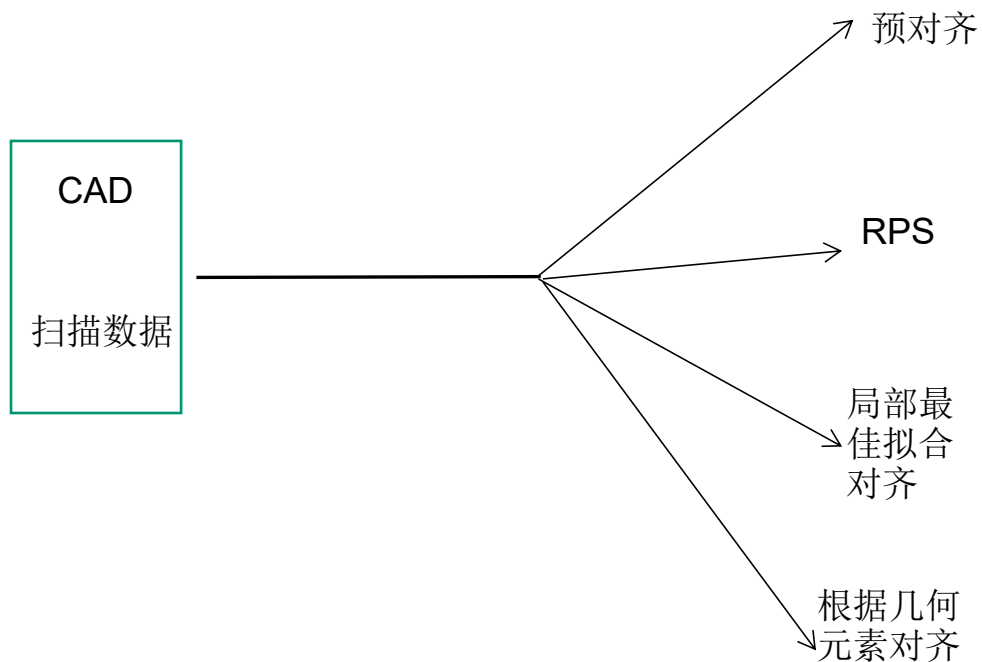
注：无论是产品还是模具，都是可以通过此流程完成各项检测。



马路科技

3D打印+3D扫描专家

## 自由切换多种定位对齐方式



CAD与点云数据进行整体的最佳拟合，通过软件，两者将自动地根据最小二乘法融合对齐，完成最佳的整体拟合，通过彩图颜色可以分析出整体的偏差。（无特定的基准），此方法可以快速粗略判断产品的做工。

此方法与三次元测量机的定位思维比较接近，根据图纸要求通过在CAD与点云数据上分别对应建立相关的定位点，通过定位点进行产品的定位分析。

对于形变较大的产品，可以使用局部最佳拟合的方式分析产品，此时可忽略产品其他位置而（单独对产品的某一形状特征）进行局部最佳拟合定位分析。

如果产品的图纸有明确的面-线-点特征，那么根据图纸要求通过在CAD与点云数据上分别对应建立相关的面--线--点，通过此法进行产品的定位分析。

根据产品的分析要求，采取与之相应的对齐定位分析方法，只需通过软件里进行基准的切换操作，无需再做扫描的操作



# 光学产业检测应用

```
graph TD; A[光学产业检测应用] --> B[传统二次光学]; A --> C[3D曲面玻璃]
```

传统二次光学

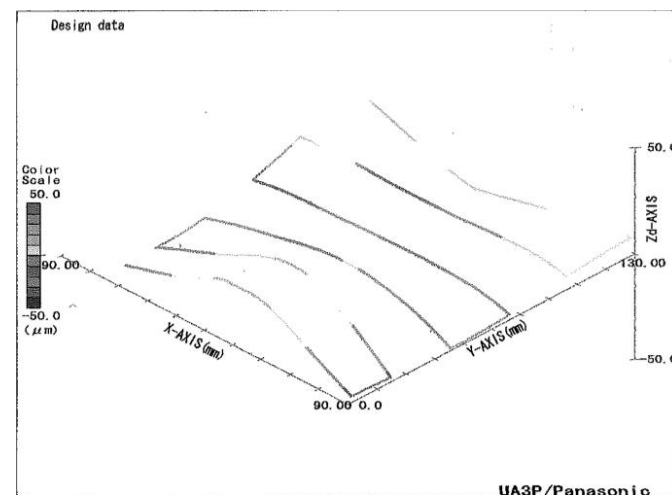
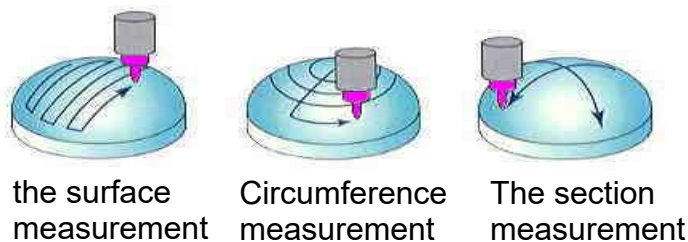
3D曲面玻璃

注：ATOS能扫描的产品线基本能覆盖整个工业应用的产品范畴。

# 产业现状使用设备 – UA3P

- 传统检测报表
- 检测报表以线性为主
- 所需量测的路径多, 时间长
- 数值报表不易阅读
- 无法进行整体全面分析

注：虽然三次元，激光线扫描仪，2.5D轮廓仪都有进行3D产品的量测，但是依然局限于仅仅能通过取点的方式对产品进行点，线等二维特征进行检测，要进行真实的曲面检测必须进行选取非常大量的点数据进行曲面的拟合，并且需考虑法向校正等影响，这将大大的影响效率与曲面的真实性。

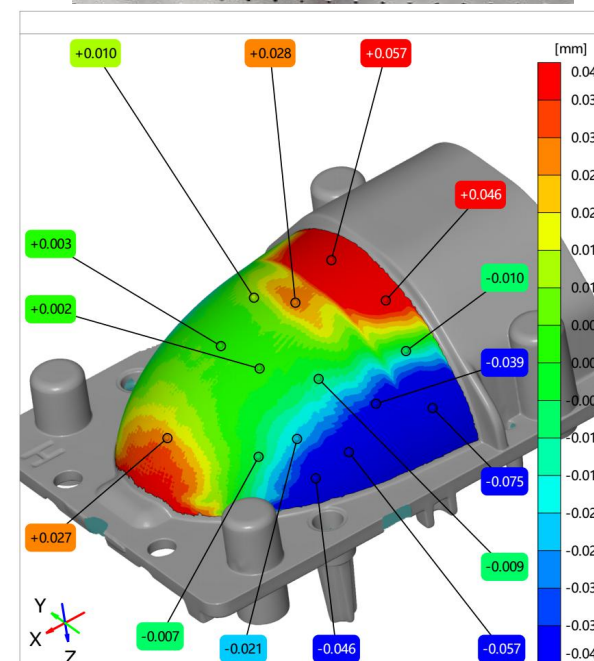


Status R. M. S = 5.1972 ( $\mu\text{m}$ ) P-V = 25.3745 ( $\mu\text{m}$ )

## 3D 量测应用趋势

### 3D量测报表

- 完整扫描, 全尺寸检测
- 全域色彩误差图一目了然
- 容易与客户或跨部门沟通
- 3D Viewer 任意角度翻转检视 3D 的检测结果
- 扫描与报表制作容易, 缩短检测时间





# ATOS应用于二次光学镜解决方案

超精密加工 – 模具  
反射面电镀层

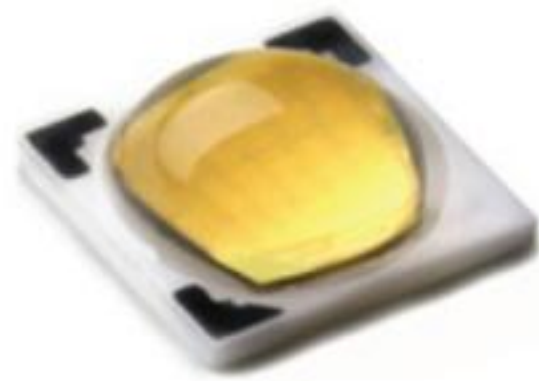
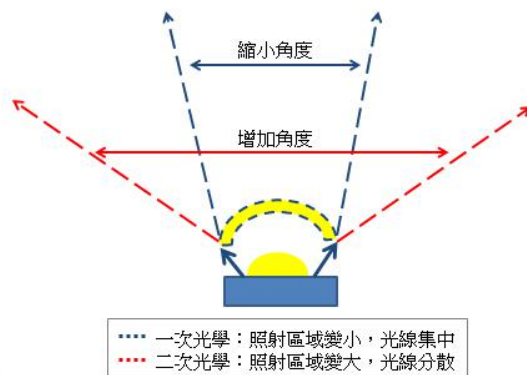
高压力、长保压与冷却时间 – 注塑



可选择多种定位操作程序  
光学机构 – 结构位置与尺寸

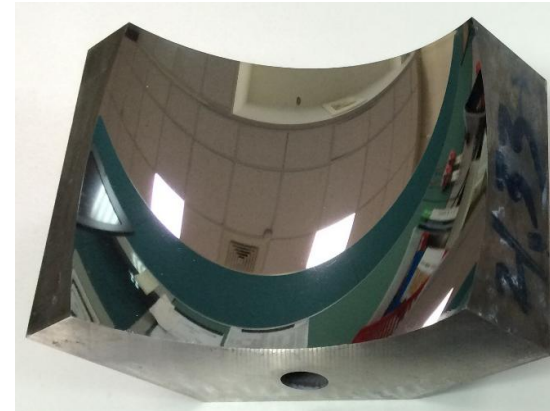
- 解 - **光形**不正确的原因
- 解 - **光轴**不正确的原因
- 解 - **组装位置**的尺寸数值

LED照明用二次光学示意图



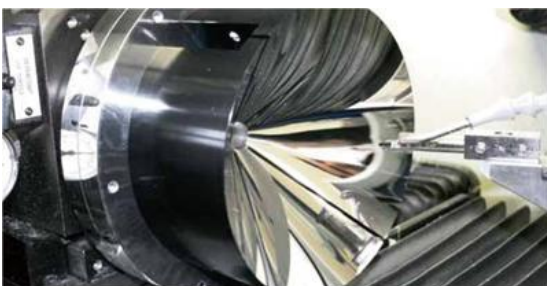
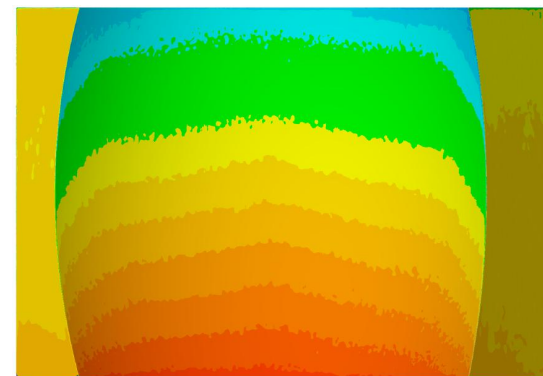


超精密加工 – 模具  
反射面电镀层



高压力、长保压与冷却时间 – 注塑

可选择多种定位操作程序  
光学机构 – 结构位置与尺寸



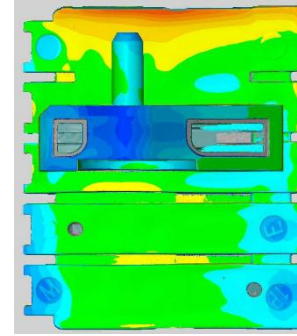
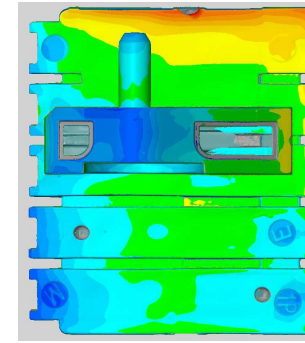
检查加工正确性

模具因加工条件可能拆分成组件状态可以确认模具组立是否反装、错位



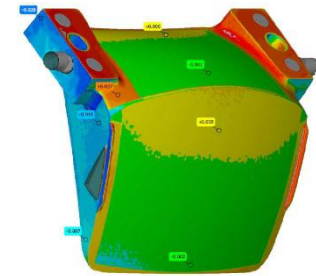
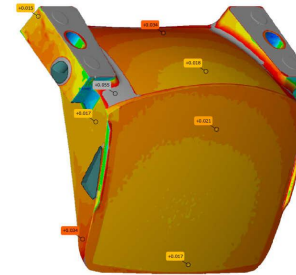
成型条件检测用于先行决定何种条件式最佳成型条件。在阶段性试模后先行检测成品, 此时不需要量测所有尺寸, 只需透过色彩图即可分析结果, 节省量测尺寸时间。

超精密加工 – 模具  
反射面电镀层



进料点数量影响收缩  
保压时间差异比较

高压、长保压与冷却时间 – 注塑



可选择多种定位操作程序

光学机构 – 结构位置与尺寸

原料名称: Resin Material	D0 = 750		模具名称: Cav. No.	cav 037 ~ 068	
原料温度: Melter Temp.	160	模具温度: Drying Temp.	20	日期: Date	1003. 4. 27
模具品牌: M/C Brand	百利		模具编号: M/C No.	05	操作员ID: Screw Chk.
				18	

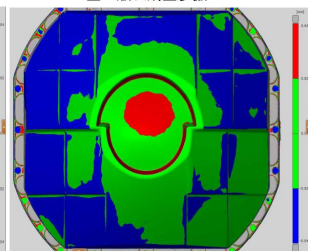
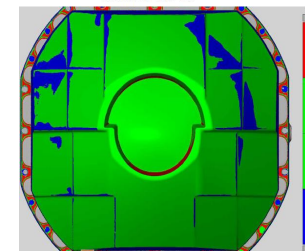
料管温度 Screw Tube Temp.					料管温度 Hot Runner Temp.				
料管 Nozzle	一段 1st Stage	二段 2nd Stage	三段 3rd Stage	四段 4th Stage	料管1 1st Stage	料管2 2nd Stage	料管3 3rd Stage	料管4 4th Stage	料管5 5th Stage
>20	210	>200			190	190	>200		

模口夹紧设定 Mold Clamp Force Set up						模口温度 Mold Temp.			实际温度 Actual Temp.	
压力 Pressure	模口夹紧 Front Clamp	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.	模口温度 Mold Temp.
25	5	160	25	25		130	115			
速度 Speed	28	25	50	25	40	155	130			
时间 Time	16	120	180	180	180					

料管夹紧设定 Cylinder Parameter Set up 1						料管夹紧设定 Cylinder Parameter Data Set up 2					
压力 Pressure	料管一 1st Hold	料管二 2nd Hold	料管三 3rd Hold	料管四 4th Hold	料管五 5th Hold	料管一 1st Hold	料管二 2nd Hold	料管三 3rd Hold	料管四 4th Hold	料管五 5th Hold	
28	20			13	65	20	20	28	15		
速度 Speed	12	28				15	20	28	15		
时间 Time	16					20	20	20	24		

最新成型参数

上一版次成型参数



结构多传统量测工具上是困难

常规尺寸分析

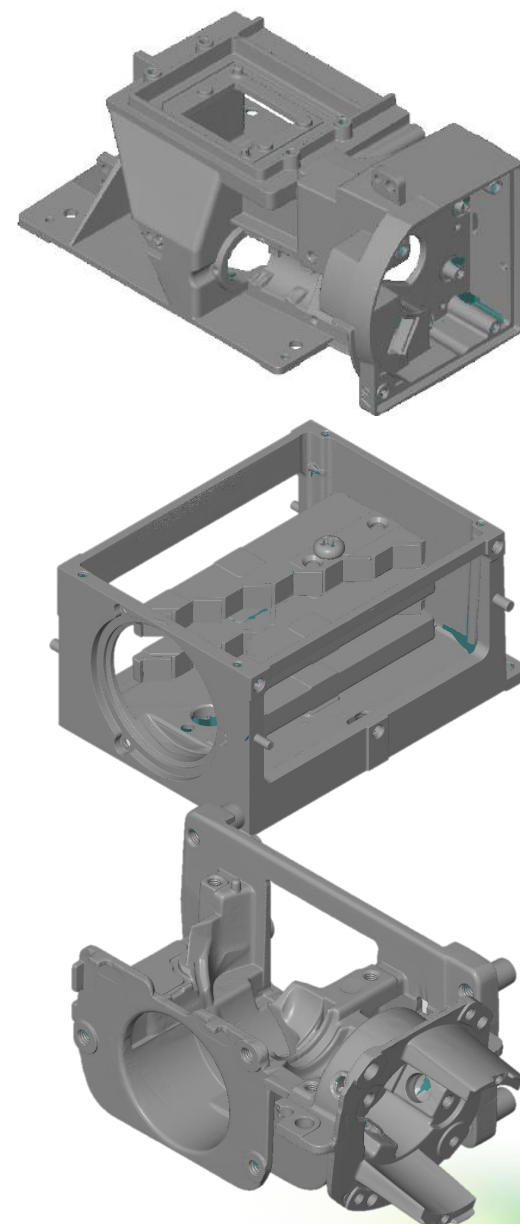
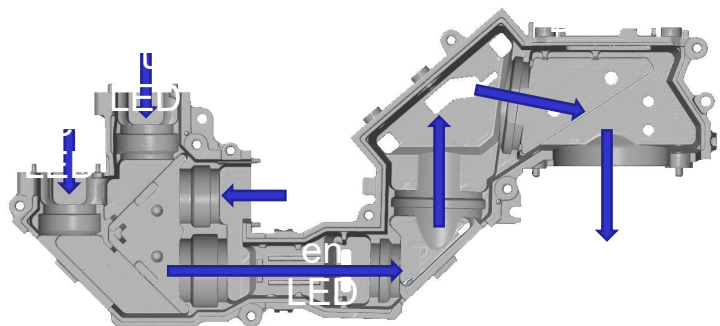
基准切换

GD&T量测 ISO1101 · ASME14.5

超精密加工 – 模具  
反射面电镀层

高压、长保压与冷却时间 – 注塑

可选择多种定位操作程序  
光学机构 – 结构位置与尺寸



# 传统量测手法 ( CMM,2.5D )

- 传统检测报表
- 检测报表以尺寸标注为主
- 所需量测的尺寸多, 时间长
- 数值报表不易阅读
- 无法进行整体全面分析

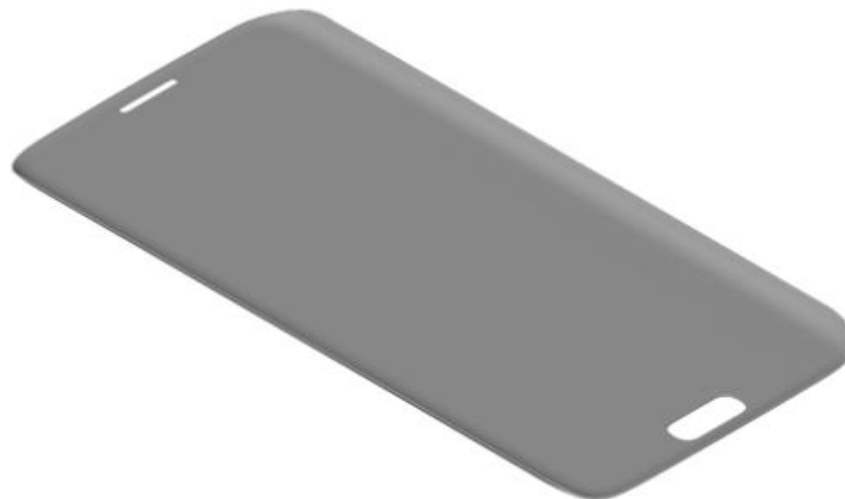


CMM数据统计报告															
Data Static Report															
三坐标测量群: 249104974															
图纸编号:				客户/供应商:				样本总数:				检验员:			
产品名称:				订单号:				抽检数:				检验日期:			
				16032201#		16032202#		16032301#		16032302#		16032303#		OK	
尺寸编号	描述	标准值	正公差	负公差	实测值	实测值	实测值	实测值	实测值	判定	判定	判定	判定	判定	判定
38	圆度	0.000	0.025		0.006	0.007	0.006	0.009	0.007	A	A	A	A	A	A
39	Z	0.000	0.050	0.050	0.009	-0.011	-0.007	-0.015	0.004	A	A	A	A	A	A
40	58#	⊙0.1C	0.000	0.100	0.062	0.073	0.083	0.074	0.069	A	A	A	A	A	A
41	62#-2	直径	78.000	0.009	0.021	77.991	77.986	77.994	77.992	77.984	A	A	A	A	A
42		圆度	0.000	0.050	0.004	0.002	0.003	0.002	0.005	A	A	A	A	A	A
43	64#	X	59.500	0.200	0.200	59.547	59.558	59.540	59.549	59.579	A	A	A	A	A
44	65#	X	60.500	0.200	0.200	60.557	60.568	60.550	60.560	60.589	A	A	A	A	A
45	74#	直径	80.000	0.030	0.000	80.014	80.013	80.017	80.017	80.004	A	A	A	A	A
46		圆度	0.000	0.025		0.015	0.012	0.010	0.016	0.051	A	A	A	A	A
47	75#	⊙0.03C	0.000	0.030	0.014	0.018	0.017	0.010	0.027	A	A	A	A	A	A
48	72#	直径	62.000	0.037	0.037	62.033	62.031	62.034	62.033	62.025	A	A	A	A	A
49		圆度	0.000	0.025		0.012	0.009	0.010	0.009	0.029	A	A	A	A	A
50	73#	⊙0.1C	0.000	0.100	0.017	0.016	0.016	0.006	0.017	A	A	A	A	A	A
51	72#-2	直径	62.000	0.037	0.037	62.009	62.007	62.012	62.010	62.005	A	A	A	A	A
52		圆度	0.000	0.025		0.007	0.007	0.006	0.008	0.018	A	A	A	A	A
53	73#-2	⊙0.1C	0.000	0.100	0.023	0.017	0.018	0.010	0.021	A	A	A	A	A	A
54	控制尺寸	Y	0.000	0.200	0.200	-0.036	0.026	-0.002	0.017	-0.020	A	A	A	A	A
55	控制尺寸	Z	0.000	0.200	0.200	0.000	0.000	0.013	0.000	0.042	A	A	A	A	A

注：虽然三次元，激光线扫描仪，2.5D轮廓仪都有进行3D产品的量测，但是依然局限于仅仅能通过取点的方式对产品进行点、线等二维特征进行检测，要进行真实的曲面检测必须进行选取非常大量的点数据进行曲面的拟合，并且需考虑法向补正，Z方向深度问题等影响，这将大大的影响效率与曲面的真实性。

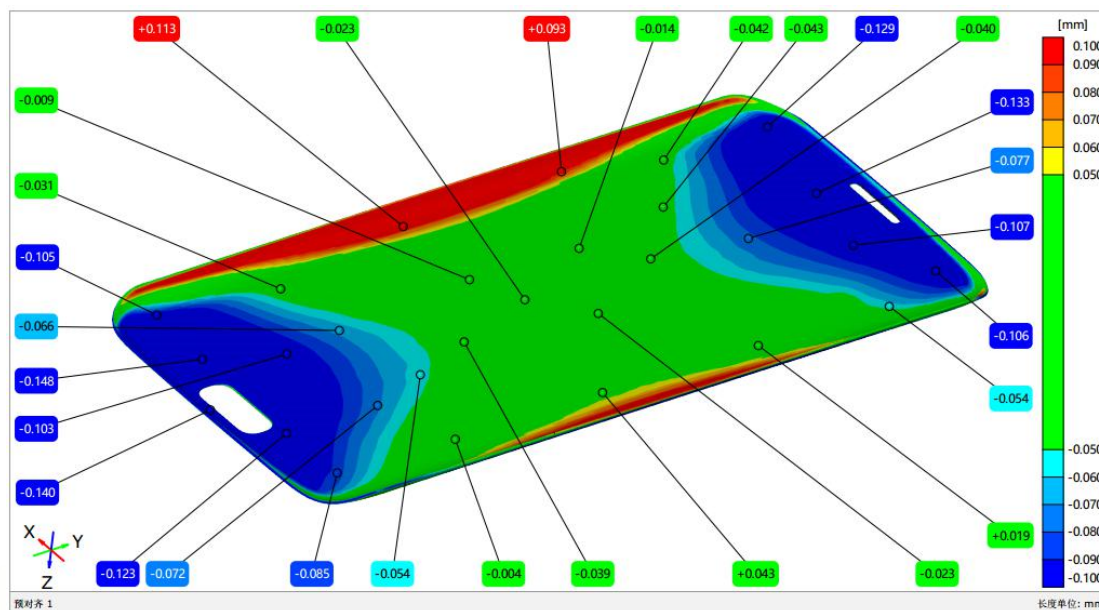


## 3D 量测应用趋势



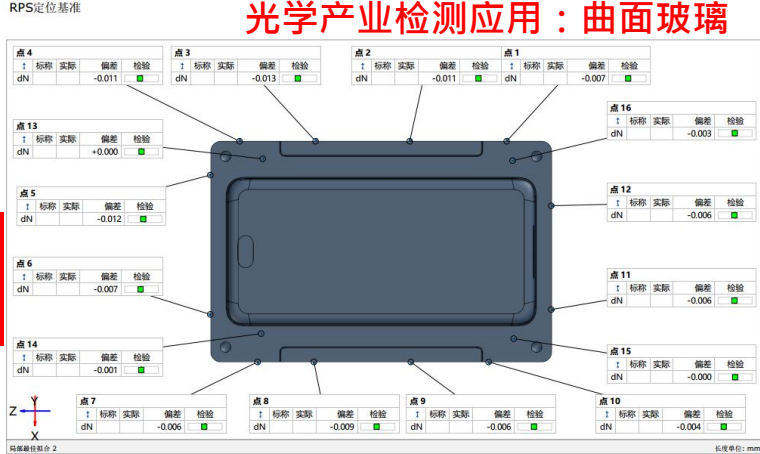
### 3D量测报表

- 完整扫描, 全尺寸检测
- 全域色彩误差图一目了然
- 容易与客户或跨部门沟通
- 3D Viewer 任意角度翻转检视 3D 的检测结果
- 扫描与报表制作容易, 缩短检测时间



# 模具加工品质检测

通过对模具进行四面分中定位，分析模具的加工准确性

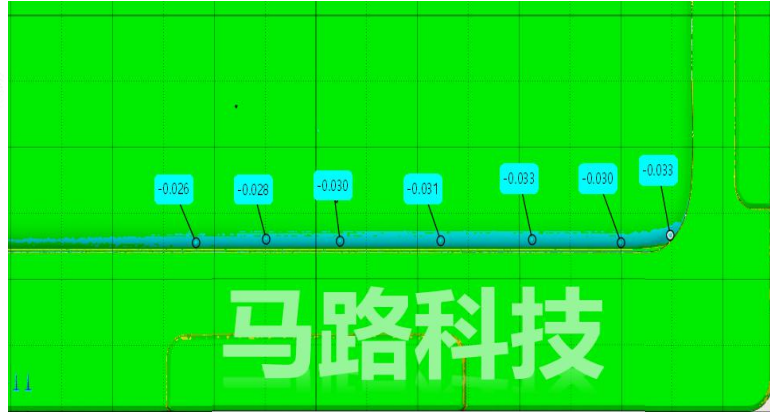
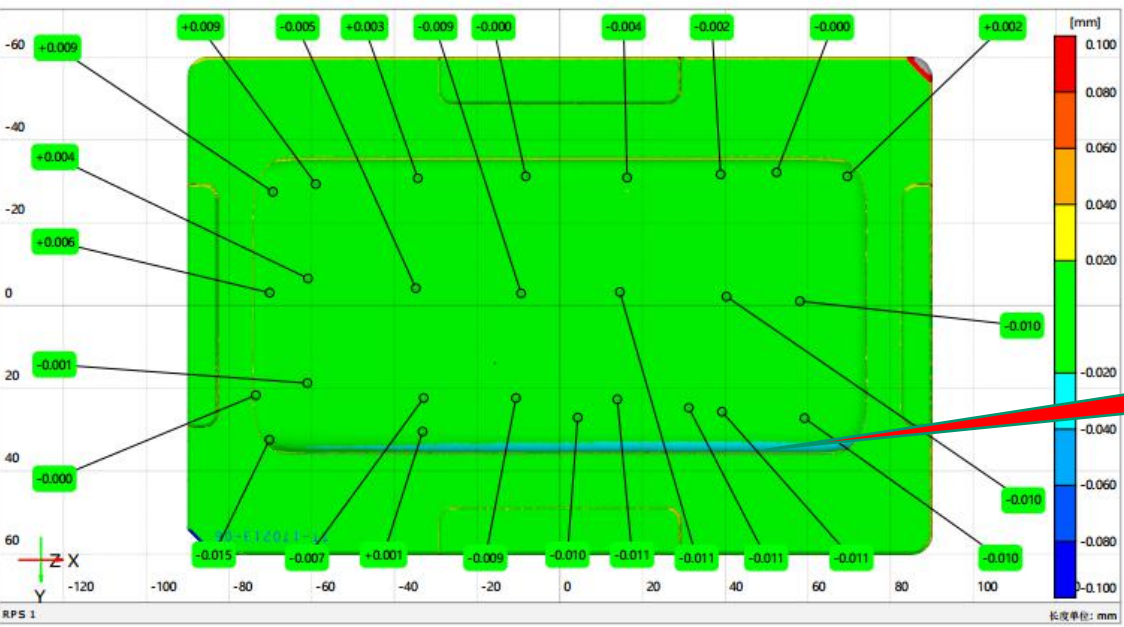


彩色图为模仁的扫描资料与CAD通过基准对齐以后的比对结果呈现。结合最右边的彩色条，可以看出：从黄色到红色均表示实际模仁高于CAD，从淡蓝色到深蓝色表示实际模仁低于CAD。

Generated with GDM Inspect Professional 2016



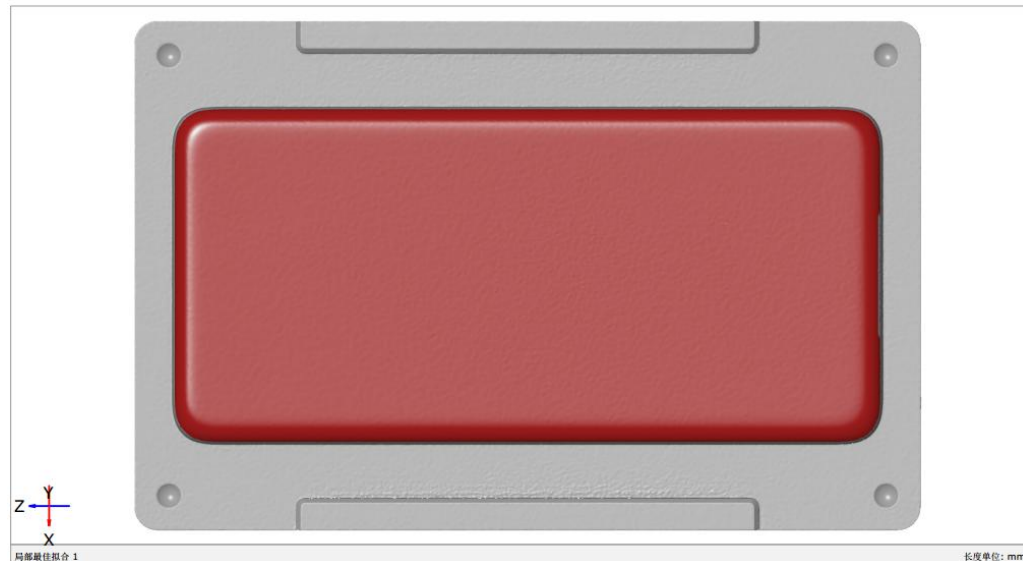
Surface comparison



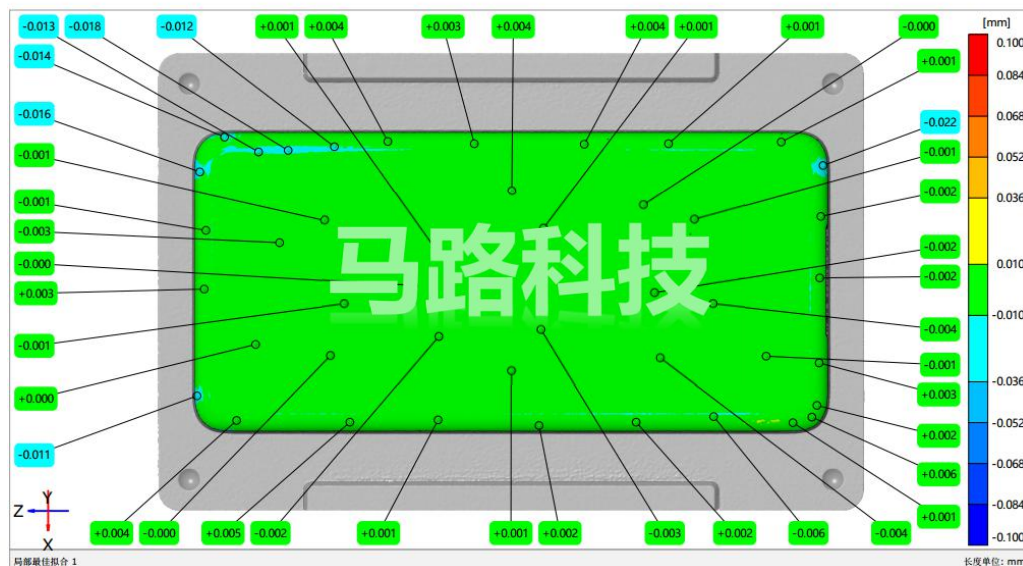
圆弧曲面局部加工出现过切，利用CMM检测设备很难直观体现。



# 模具加工品质检测



成型面 曲面形状分析



通过对成型面进行局部最佳拟合定位，仅对成型面的形状准确性进行分析。



# 模具实际装配分析

使用GOM参考点系统

单件装配到整个磨具坐标系

很方便量测到模具内部

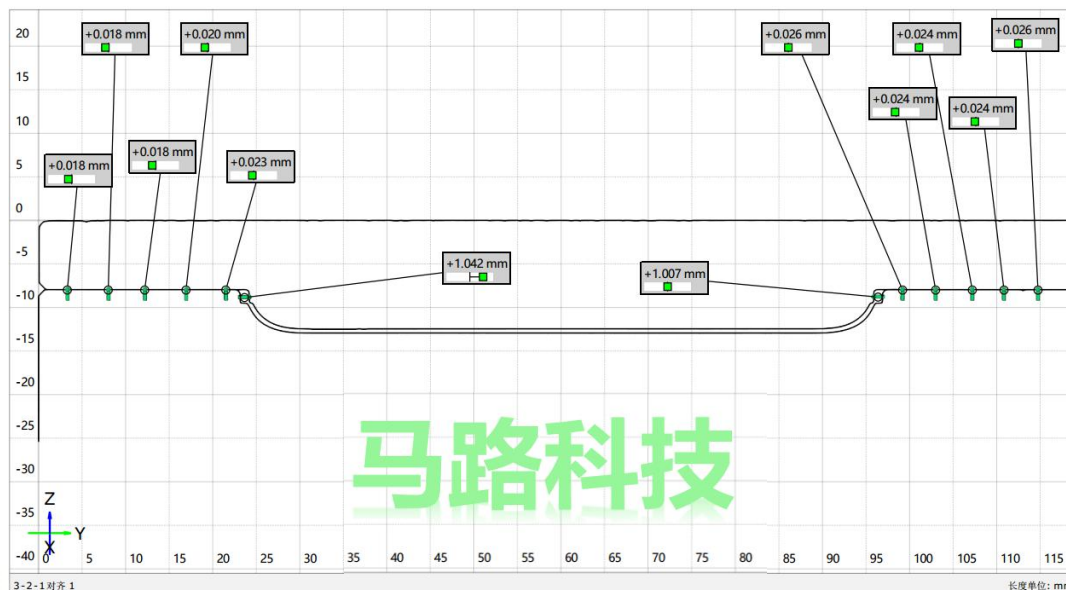
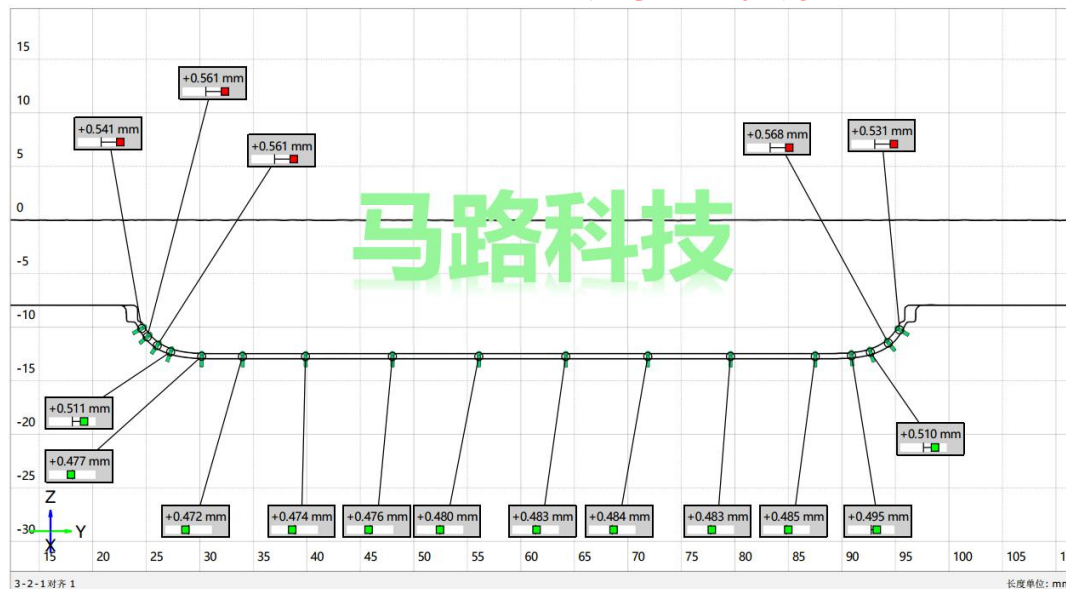


- 将公母模，滑块等安装在一起
- 虚拟侧壁厚度分析
- 模具内腔材料部分厚度分析
- 测试模具缺陷和损坏

对于已经稳定批量生产的模具,进行数据合模备份

用以确定模具生产中的状态

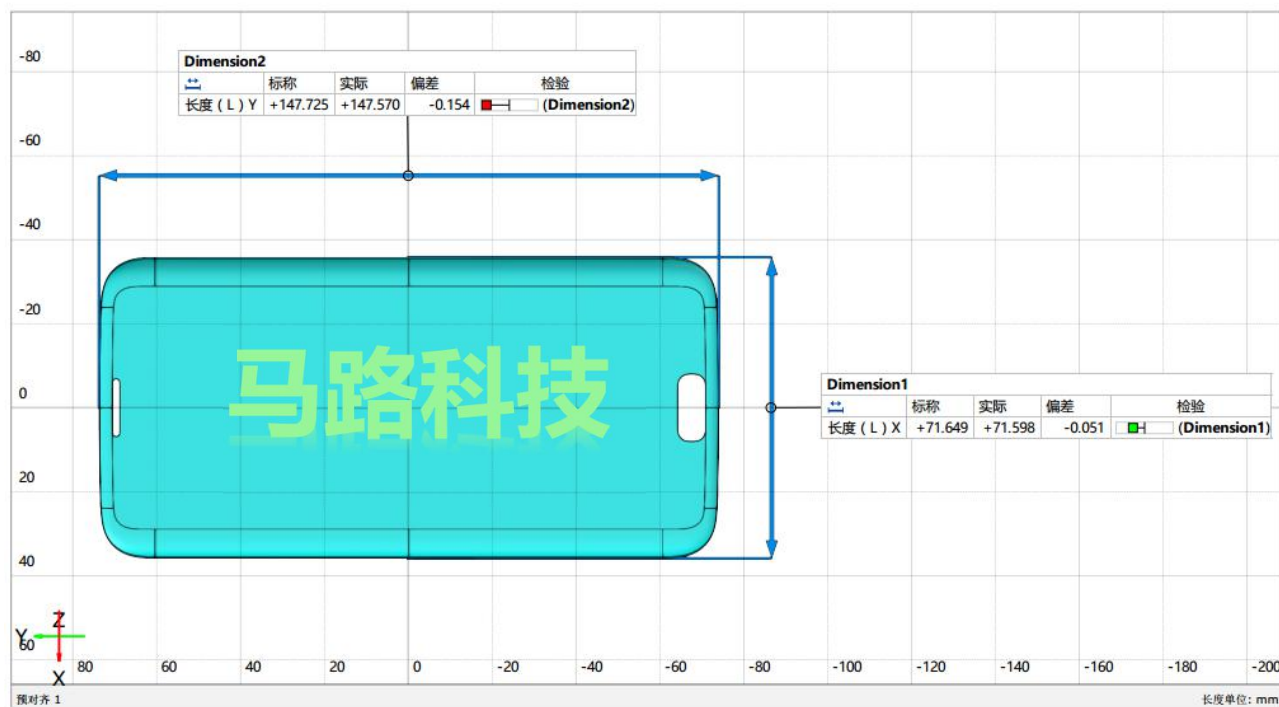
为今后的模具设计与调整积累经验



## 2D线性尺寸分析

- 完整的 FAI 三次元检测报表
  - 位置尺寸
  - 距离尺寸
  - 角度尺寸
  - 直径尺寸
- 几何特征的建立
  - Best-Fit
  - Cheby-Fit
  - 手动建立
- 虚拟标尺
- 3D尺寸量测或2D剖面尺寸量测
- 自定义报表内容及格式

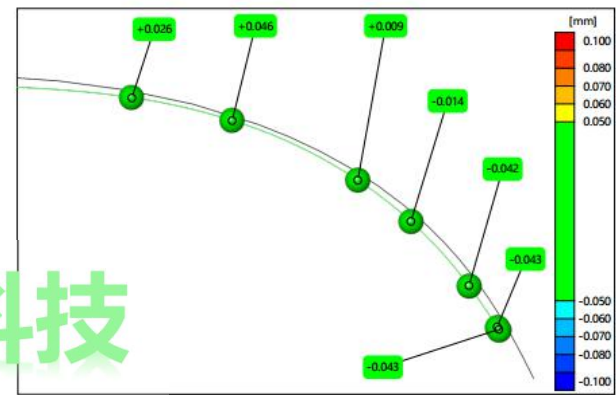
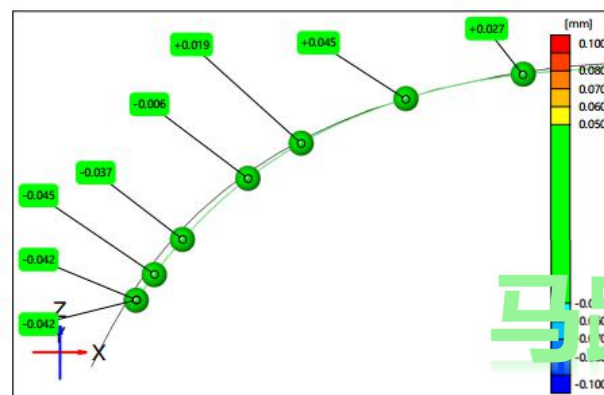
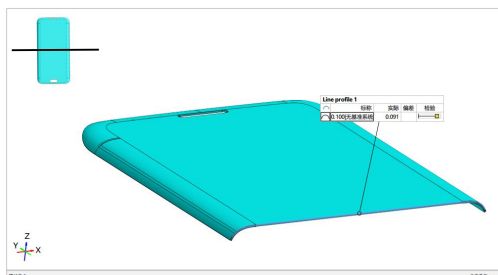
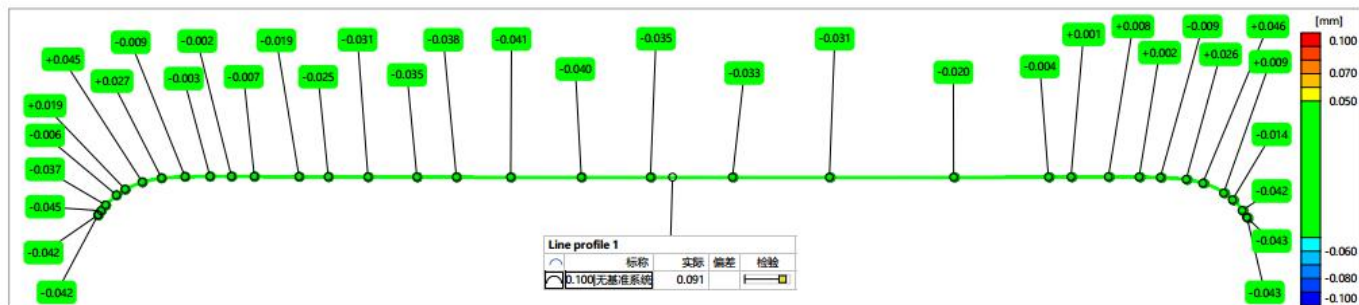
2D Dimension



# 几何公差与尺寸(GD&T)

例：线轮廓度量测，除量测线轮廓度步骤方便之外，平面度的取样率也是一个重点。光学式对于线轮廓取样点数高，约几千点至几万点的取样率，并且可以通过色彩偏差分布的情况直观分析。

Line profile-1



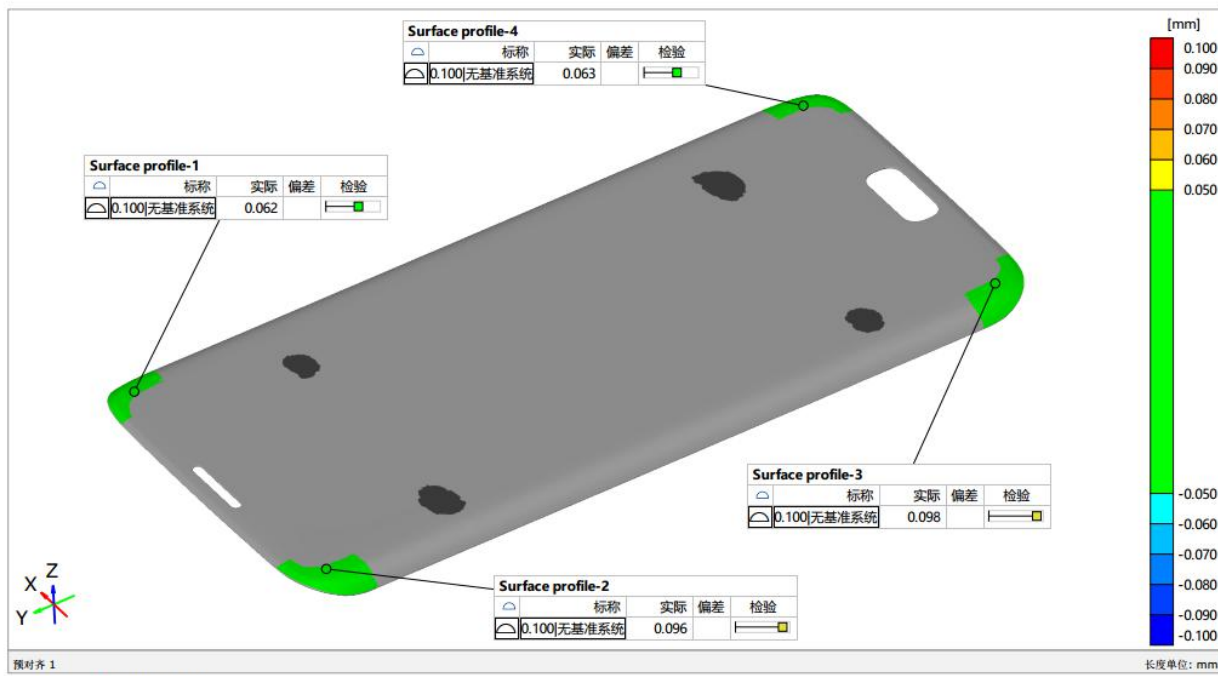
预对齐 1

长度单位: mm

马路科技

# 几何公差与尺寸(GD&T)

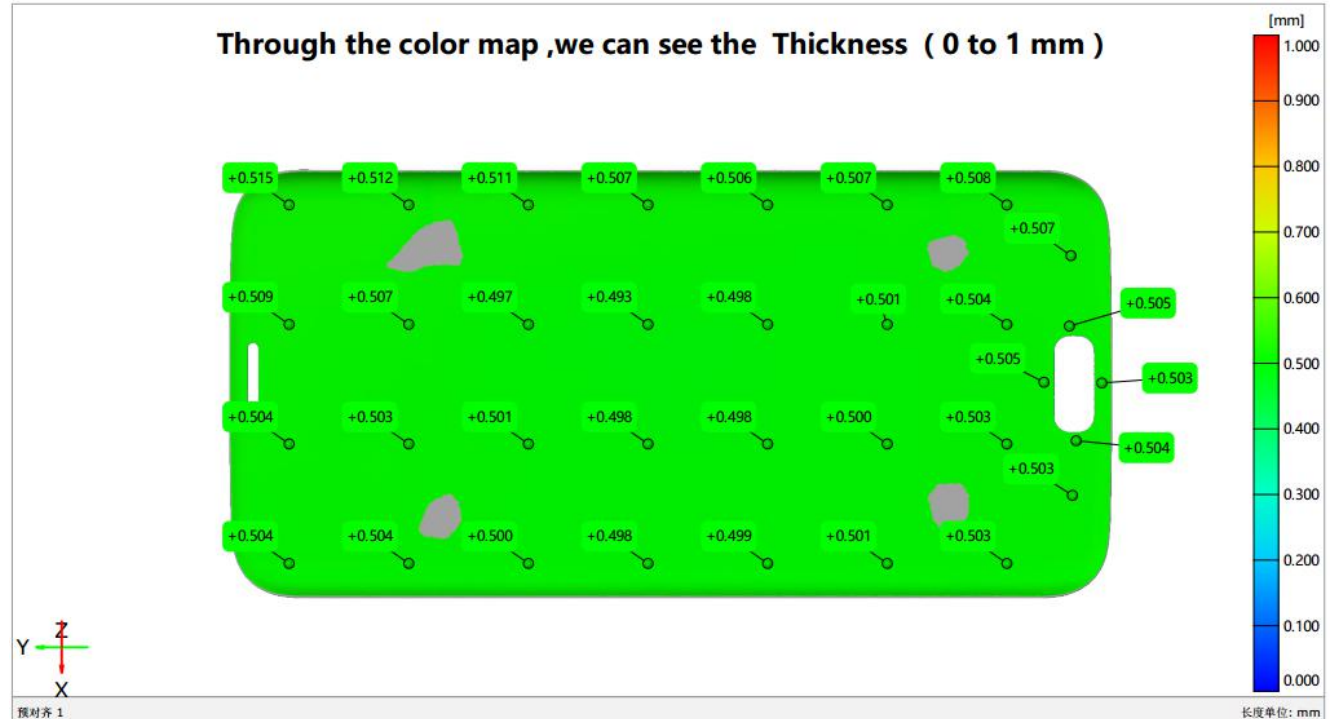
Surface profile-凸



例：曲面轮廓度量测，除量测曲面轮廓度步骤方便之外，曲面轮廓度的取样率也是一个重点。光学式对于曲面轮廓度取样点数高，约几千点至几万点的取样率，并且可以通过色彩偏差分布的情况直观分析。

# 肉厚分析

Thickness analysis



全域产品肉厚分析，快速分析产品材料肉厚问题，方便工程人员判断产品强度或成本问题。

# 重覆件全尺寸检测

完全不需编辑任何程序，所有检测内容与资料制作过程步骤，都自动记录下来，作第二件检测报告时，仅须导入量测资料重新更新运算，即可快速完成第二件报告。

优点：

- 无需透过程序编写, 来达成自动化
- 所有量测内容均相同
- 检测报告可直接输出Excel档, 与厂内FAI表格整合
- 大幅提升量测效率

Element	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
Dimension1	长度 (L) X	+71.649	+71.598	-0.100	+0.100	-0.051		
Dimension2	长度 (L) Y	+147.725	+147.570	-0.100	+0.100	-0.154		-0.054
Dimension3	长度 (L) X	+15.920	+15.919	-0.100	+0.100	-0.001		
Dimension4	长度 (L) Y	+6.520	+6.552	-0.100	+0.100	+0.032		
Dimension5	长度 (L) Y	+3.202	+3.185	-0.100	+0.100	-0.017		
Dimension6	长度 (L) X	+27.864	+27.827	-0.100	+0.100	-0.037		
Flatness-1		+0.000	+0.135	+0.000	+0.100	+0.135		+0.035
Flatness-2		+0.000	+0.163	+0.000	+0.100	+0.163		+0.063
Line profile 1		+0.000	+0.091	+0.000	+0.100	+0.091		
Line profile 2-1		+0.000	+0.034	+0.000	+0.100	+0.034		
Line profile 2-2		+0.000	+0.096	+0.000	+0.100	+0.096		
Line profile 2-3		+0.000	+0.036	+0.000	+0.100	+0.036		
Line profile 2-4		+0.000	+0.035	+0.000	+0.100	+0.035		
Line profile 3-1		+0.000	+0.114	+0.000	+0.100	+0.114		+0.014
Line profile 3-2		+0.000	+0.095	+0.000	+0.100	+0.095		
Surface profile-1		+0.000	+0.062	+0.000	+0.100	+0.062		
Surface profile-2		+0.000	+0.096	+0.000	+0.100	+0.096		
Surface profile-3		+0.000	+0.098	+0.000	+0.100	+0.098		
Surface profile-4		+0.000	+0.063	+0.000	+0.100	+0.063		

预对齐 1 长度单位: mm

马路科技



# ATOS与传统CMM硬件系统比较

项目	ATOS	CMM
设备概述	为光学式量测设备，利用特定排列规则的光栅投影在工件表面，藉此创造三维曲面特征资料，再由左右光学CCD将投影光栅变化的影像撷取进来，经过立体影像计算，可以得到量测范围的三维曲面网格资料(点资料)。	为机械式量测设备，藉由机械式的定位机构，传回探针的三维位标，并依探针圆球半径补正回接触位置。
量测方式	为光学非接触量测方式，直接量测曲面坐标位置，精度高，对于软性材质工件亦可得到精确的量测资料。	接触式量测，待测工件必须具备基本刚性，圆球补正容易产生误差。(易划伤玻璃，电镀产品)
移动性	为可移动式量测设备，测头重量13kg，整体设备装箱后约为30KG，可以人工于厂内移动或以一般载具长距离移动。对于笨重不易移动的工件，可以移动量测设备至工件放置处作量测。	为固定式床台，固定位置后无法移动，只能在固定地方作量测。工件尺寸及重量受限于床台的规格。
自由度	没有床台轴向上的限制，以标签点为定位基准，可以移动或翻转工件达到从任意角度量测工作的目地，测头亦可在量测过程中任意改变量测位置或角度。容易取得完整的工件扫描资料。	系统的自由度取决于床台的三轴向机构，对于特殊量测位置或角度会受限于床台的轴向而无法测量。
量测范围	藉由更换测头的倍率镜头，可以改变量测范围的大小。可视量测工件的尺寸大小作量测范围的弹性调整。从38mm ~ 2000mm共有10组量测范围可以选择搭配。	工件大小与重量受限于床台的行程及荷重。
校正方式	随机搭配各个量测范围的校正板，可于客户端由操作者随时对系统作校正，校正方式容易，可确保每次系统量测时的精度。	须由原厂技师和特殊校正设备才能作校正，定期的校正维护费用高。



# ATOS与传统CMM软件系统比较

项目	GOM inspect professional	PC-DMIS
全域色彩图比对	透过全域扫描进而与CAD进行比对。使用者可以全面性的了解产品的变异与问题所在。不会造成有漏判的问题。	CMM为单打点的功能。有点测到的位置才有比对结果产生，未点测到的位置则无比对结果。时常会遇到万一没点测到的位置但又有问题的情况。
断面线比对	Gom inspect professional, 提供完整断面线比对，可在软件里面直接剖切断面线，进而比对，无须实际剖切成品比对。	无断面检测相关功能
曲面轮廓度量测	曲面轮廓度量测，除量测曲面轮廓度步骤方便之外，曲面轮廓度的取样率也是一个重点。光学式对于 <b>曲面轮廓度取样点数高，约几千点至几万点的取样率。</b>	CMM曲面轮廓度量测的方式较光学是麻烦。另外，量测时间也提高许多，因此只能够减少量测点数来提高效率。
FAI 全尺寸检测功能	Gom inspect professional 为一完整全尺寸检测功能软件，各式尺寸量测均可在Gom inspect professional 并且量测后可自动出CSV的全尺寸报告，最后可以方便与内部报告整合。	CMM量测全尺寸后，需透过手动的方式来整理所有的量测尺寸数据，填入数据耗时又会有人为输入错误的风险。
多人员同时检测	藉由免费Gom Inspect软件，可供所有品管人员操作使用。如遇到一个较大的案子，需要同时多人进行检测工作时，则可由免费软件来达成多人同时检测需求	无多人同时检测应用





# 中国区消费性电子产业部分客户

富士康  
捷普绿点  
光宝集团  
贝尔罗斯  
伟创力  
华硕、和硕  
致伸科技  
启碁科技  
广达计算机  
正达国际  
仁宝集团  
纬创集团  
比亚迪  
正威集团  
巍强集团  
立讯精密  
英华达  
可成集团  
及成科技  
良维科技

Apple  
华为  
三星电子  
LG中国  
魅族科技  
HTC  
Nolato  
Balda  
Fischer  
PCH  
Cosmo  
Molex  
Amphenol  
YKK  
KKM  
华孚科技  
广盛高尔夫  
兆利科技  
凯赫威  
圣马丁  
三环集团

伯恩光学  
蓝思科技  
宏益玻璃  
正达光电  
米亚  
濠玮科技  
恒信  
大富科技  
长盈精密  
通达集团  
联懋塑胶  
美律电子  
立讯精密  
万德集团  
英济电子  
优威王  
信濠组件  
新至升集团  
汉达  
联丰科艺  
美泰电子

Beats  
歌尔声学  
瑞声声学  
晟扬精密  
萤智模具  
雷迪克光学  
兄弟科技  
建准集团  
奥林巴斯  
勤德五金  
得意电子  
新基德  
德龙健伍  
工承精密  
得润电子  
莱尔德  
万宝至  
德昌电机  
佳能集团  
闾晖实业  
怡安科技

太乙  
日胜  
泽鑫精密  
晖美塑胶  
东裕电子  
精泉科技  
金宝  
蓝海精密  
佑兴塑胶  
鞍兆电子  
金箭印刷  
明翔包装  
裕锦环保  
怡安科技  
建升集团  
新日兴  
兆利科技  
科力通  
富铭辉  
应华集团  
明安国际



马路科技

3D打印+3D扫描专家

# 中国区汽车制造部分客户

- 奇瑞汽车商用车研究院
- 奇瑞汽车乘研一院
- 奇瑞汽车乘研二院
- 奇瑞汽车乘研总院
- 奇瑞汽车竞争对手分析中心
- 长城汽车模具
- BYD汽车
- 北京现代汽车
- 北京IAT汽车设计
- 广天设计
- 长安福特汽车技术中心
- 东风汽车商务车研究院
- 东风股份
- 长安铃木汽车
- 上海亿丰模具
- 河北兴林模具
- 克比模具
- 一汽模具有限公司
- PSA标志雪铁龙集团中国
- 天津宇傲汽车

- 北汽集团技术研究院
- 常州今创集团
- 新伟祥
- 普什模具
- 东风日产汽车模具公司
- 重庆隆鑫摩托
- 大长江摩托
- 唯科塑模
- 上海泛亚汽车
- 广汽集团技术中心
- 广汽日野汽车
- 东风日产乘用车研究院
- 天津汽车模具有限公司
- 芜湖瑞鹄汽车模具
- 一汽技术中心
- 上海大众汽车
- 芜湖奇瑞汽车
- 福田汽车
- 佳景汽车设计
- 浙江飞鹏设计

- 北京华冠汽车设计
- 北京华丽达汽车设计
- 双杰汽车设计
- 上海东普汽车
- 柳汽集团
- 哈尔滨风华电子
- 柳州五菱汽车
- 德尔福派克电器
- 天津本田
- 武汉鹤座椅
- 吉林型车辆厂
- 北京汽车研究总院
- 上海吉泰交通
- 上海宏旭模具
- 苏州百思德模具
- 上海联成
- 广东东箭集团
- 广东提爱思
- 信邦实业
- 北京奔驰



马路科技

3D打印+3D扫描专家

# GOM Customers

## Consumer Goods

- 3B Scientific **DE**
- Adidas **DE, USA, KR + 13 suppliers**
- Apache Footwear **DE**
- Asics **JP**
- Balda **CN**
- BenQ **CN**
- Blaupunkt **DE**
- Bosch **DE, CH**
- Braun **DE, CN**
- Ching Luh Shoes **CN**
- Ecco **DK**
- Embraco **BR**
- FisherPrice **USA**
- Fuji **JP**
- Green Point **CN, TW**
- Head Tyrolia **AT**
- Hitachi Taga **JP**
- Lego **DK**
- LG Electronic **KR**
- Luxottica **IT**
- Mattel Tools **MY**
- Microsoft **USA**
- Nolato **SE**
- Oakley **US**
- Olympus **JP**
- Playworks **USA**
- Samsung, **KR**
- Siemens **DE, DK**
- SonyEricsson **SE**
- Sony **JP, USA**
- Sun Microsystems **USA**
- VDO **DE**
- Vertu **UK**
- Villeroy+Boch **LU, DE**
- Walt Disney **USA**

## Research

- BAM **DE**
- EPFL Lausanne **CH**
- ETH Zürich **CH**
- Forschungszentrum Karlsruhe **DE**
- Fraunhofer **DE**
- GKSS Geestacht **DE**
- Imperial College **UK**
- Int. Automotive Research Centre, **UK**
- Istanbul Technical University **TR**
- IUC **SE**
- Kaitech **KR**
- KTH **SE**
- KU Leuven **BE**
- Laurence Livermore National Lab **USA**
- Max Planck Institute **DE**
- Nagasaki Industrial Research Center **JP**
- Naval Research Lab **USA**
- Nottingham University **UK**
- PCC Leoben **AT**
- Queen Mary College **UK**
- RWTH Aachen **DE**
- Sandia National Lab **USA**
- Shenyang Aircraft Research Inst **CN**
- TU Delft **NL**
- TU Dresden **DE**
- TU Eindhoven **NL**
- TU Graz **AT**
- TU München **DE**
- Uni Padova **IT**
- US Army Research Lab **USA**
- Warwick University **UK**

## Material Supplier

- ACTech **DE**
- Alcan (Alusuisse) **CH**
- Arcelor **BE**
- BASF **DE**
- Bayer **DE**
- DuPont **US**
- Hydro (VAW) **DE**
- Salzgitter **DE**
- Tata Steel **IN**
- Thyssen Krupp **DE**
- Thyssen Nirosta **DE**
- Tokai Rubber Industries **JP**
- Voest Alpine Stahl **AT**

## Other

- Alfa Laval **SE**
- Bundeskriminalamt **DE**
- Corning **US**
- EXXON **US**
- Hidrostal **CH**
- Sea Ray Boats **US**

