

测量

在最小垂直间隔中测量 RVSM

自 2011 年 11 月起，全世界范围在 29 000 ~ 41 000 ft(1 ft = 304.8 mm) 的航空垂直间隔的最小距离，由最小 2000 ft 降低到 1000 ft。这一区间实行后，在 RVSM(Reduced Vertical Separation Minimum) 空间里飞机之间的垂直间隔只有 1000 ft。

文 | 顶柱科技 (TingChu Technologies)

为了安全有效地控制空中交通，RVSM 的目标是在考虑到季风和最佳飞行模式下使飞机在最佳油耗状态下飞行，同时在保证安全的前提下使空中通行能力提高了大约 85%。尽管降低了飞机间的垂直间隔，但在空中飞行时，飞机发生碰撞的可能性才为平均每 1 亿飞行小时 2.5 次。那么这和 V-STARS 测量系统有什么关系呢？因为在航空航天行业中，空气动力团队要求使用飞机的静态接口测量的数据用于评估 RVSM 数据。

测量要求

所有的商业飞机有空速管和静态接口用于探测飞机的速度、高度及马赫数值。数据传感器和静态接口的安装需要很高的测量精度。这些曲面上的重要区域外形测量越精确，传感器的灵敏度就越精确。但是 RVSM 的测量过程面对许多挑战：精度要求很高，全局测量公差为 $\pm 0.127\text{ mm}$ ；必须是非接触测量；飞机的每个测面有大约 3 m^2 需要测量；需要点密度达到 $6\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ ；必须在飞

机安装在轮子上时测量；测量过程不能干涉到周围的生产；尽管存在飞机的移动和振动，测量也需要保证精确；需要及时进行分析，生成报告满足工程要求，用作后续修理及返工的依据。

测量过程

依据 RVSM 的测量要求可知，只有 V-STARS 的多相机摄影测量系统能够满足条件。测量实例以测量飞机静态接口位置为例。

考察完现场测量环境后，对测量进行合理的规划。为了实现测量目的，测量之前必须在测量物体上定位靶点。通常而言，靶点一般贴在需要测量的点或面上。为了测量过程的自动化，必须在测量区域添入编码点。这些点可以被 V-STARS 软件自动识别，且可以帮助软件确定拍照时相机的方位，它也可以将物体绑定在一个统一的坐标轴系统。为了确定一个摄影测量的长度基准，一个已知的距离是必须的。通常这个距离来自于—根经过校准的碳纤维基准尺或者殷钢基准尺。一旦物体上的靶点定位完成后就可以开始摄影。简单而言，摄影的目的就是从尽可能多的角度在尽可能

静态接口的位置



图 1 空气动力团队要求使用飞机的静态接口测量的数据用于评估 RVSM 数据

多的照片中拍摄到每一个靶点。为了提高测量的精度，通常尽可能在贴近地面以及高处拍照。照片的数量取决于测量的复杂性以及要求的精度。

首先，需要使用 INCA 3 相机在单相机模式下对测量区域进行测量，单相机模式下完成拍照，将图片经过 V-STARs 软件处理后，得到数据结果。单相机测量模式完成后，即可进入多相机测量模式。使用 V-STARs 的两个 INCA 3 相机和装在升降设备上的一个 PRO-SPOT 投点器，投点器上装有能投射出 23 000 个点的幻灯片。调节相机位置，确保多相机模式下，相机能够完整地拍到 PRO-SPOT 投点器投射出的测量点。所有准备工作完成后，可以开始进行实时测量。在测量区域没有添加任何测量标靶的情况下，PRO-SPOT 投点器投射在机身表面的点密度达到 23 000 点，测量中重复这一过程直到整个区域被完整覆盖。所有的测量分析处理都是在 SA 软件中进行的。数据是以 XYZ 的格式从 V-STARs 中导出的，然后直接导入 SA 软件，这一过程可以直接在 SA 软件中完成。

测量过程结束后，使用 SA 进行数据化处理。我们利用 SA 中的关系匹配特征功能对齐数据。稀释 SA 中点的数量，但使用超过 10 万点对齐。SA 的报告输出能力允许单个静态接口和全局曲面的分别生成。报告结果会指出某个接口与设计数据是否一致，以及与周围的曲面匹配情况。同时，为了满足要求，软件也能够检测到哪些垫片是错误的。利用 SA 测量计划的自动分析功能可以产生高重复性和高精度的数据。当采集成千上

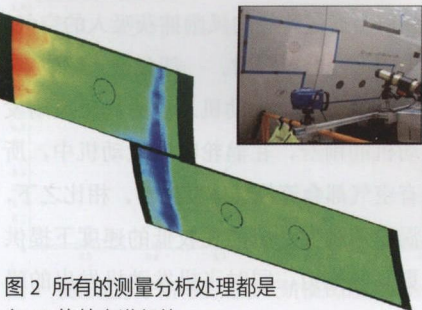


图 2 所有的测量分析处理都是在 SA 软件中进行的

相关链接

V-STARs 摄影测量系统介绍



图 3 V-STARs M 摄影测量系统组成

美国 GSI 公司 (Geodetic Systems, Inc) 作为全球非接触式工业摄影测量的领导者，从事摄影测量系统研发超过 30 年，John Brown 先生作为其技术创始人于 1985 年便推出 STARS——基于胶片的摄影测量系统，并于 1994 年推出 V-STARs 摄影测量系统，如今已发展到第七代，全世界销售超过 700 套摄影测量系统。

V-STARs M 摄影测量系统组成：两台或多台工业相机、定制工业校准镜头、防膨胀基准尺、数据图像处理软件、目标靶、PRO-SPOT 投点器等。

V-STARs 摄影测量系统具有很高的精度和严格的可靠性，可以完成绝大部分极具挑战的测量工作。碳纤维基准尺用来进行整个测量空间的尺度缩放。碳纤维工具的热膨胀系数非常的低，所以其长度几乎不受温度影响。V-STARs 软件用于快速解算相机拍到的图片，准确得到反射点 3D 坐标数据。编码点及目标点等配件：Code 编码布放在整个测量空间中用来联合解算，其数据不参与最终分析，但在测量过程中不可或缺，它是各图片间关联的公共点。PRO-SPOT 投点器在被测表面上投射出一片高亮、高密度的目标点，使得 V-STARs 能够真正意义上实现非接触高精度测量。

万数据时，产生异常点是很常见的，但是在使用关系拟合的时候，使用 SA 测量计划功能可以自动移除异常点。在使用测量计划选项前，对数据进行手动对齐和清理，而 SA 的编程能在很大程度上减少这个过程的时间。

测量结论

在彻底考查其他测量技术之后，我们可以得出这样的结论：摄影测量系统是唯对飞机的移动、振动免疫的，因为摄影测量系统是一次性地拍摄整个区域的；飞机上的编码点可以将重复测量的区域进行拼接；只有 V-STARs 摄影测

量系统和投点器的结合使用能够快速精确地测量如此大的区域；使用 SA 软件可以让我们使用超过 10 万个点进行曲面的拟合并且生成必要的报告；SA 软件的脚本撰写以及自动化可以让我们加快测量的速度。

V-STARs 摄影测量系统使用范围广泛，可用于零件和工装的建造和检查、表面测量、逆向工程测量、在不稳定的环境中受到振动和运动的测量、重型工程测量。广泛用于航天航空、汽车、工程测量、研究所研究等众多领域。其可用于采矿、冶金、机器、车辆和船舶制造等方面，还可用于动态目标的研究。MM