

适用于高密度点云测图应用的双波长波形处理机载激光雷达扫描系统

RIEGL VQ-1560i-DW

- 绿光和红外激光波长下同步测量，增强了目标的特征
- 超高激光发射频率，每个通道高达 1 MHz
- 有效地面测量速率达 1,330,000 点/秒
- 可按多种不同点密度进行数据采集
- 卓越的多目标探测能力
- 多波束收发 (MTA) 技术可在空中同时发射 20 个激光脉冲
- 波形实时处理技术、全波形智能记录
- 集成高性能惯导系统 (IMU/GNSS)
- 集成中画幅相机
- 可搭载两台相机
- 用于 RIEGL 数据记录仪的高速光纤数据接口
- 外壳轻巧紧凑、坚固耐用，易于安装在飞机和其他稳定平台上

VQ-1560i-DW 是机载激光雷达扫描系统，配备了两个不同波长的 LiDAR 通道（绿光和红外）。两个波长获取的扫描数据可以互为补充，每个波长都能够生成独立的反射率分布图。

VQ-1560i-DW 所采集到的数据除了参与到通常的数据解算中，也可用来开发应用于农、林业植被测绘等新型应用领域中的复杂数据的处理和评估算法。不论在商业领域还是在科研领域，VQ-1560i-DW 都可以为使用者提供先进的技术方

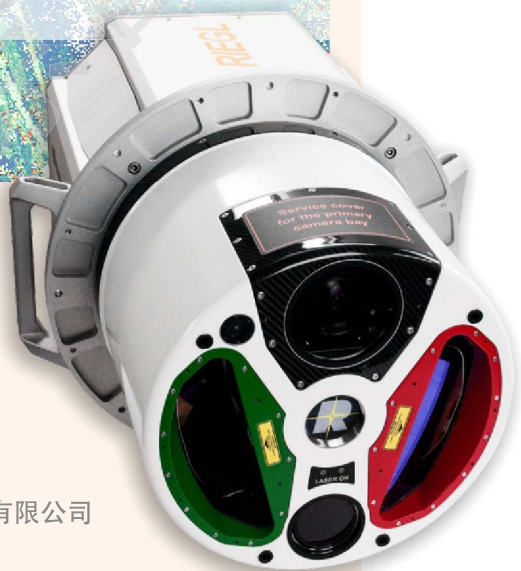
VQ-1560i-DW 每个通道最大激光发射频率高达 1 MHz，有效地面测量速度达 1,330,000 点/秒。

当两个激光雷达通道同时开启时 VQ-1560i-DW 能够以最高的效率工作，作业海拔一般为 8300 ft。除此之外，它的每个通道也可以独立运行。这种通道选择功能搭配相匹配的测量程序以及多样的扫描参数设置，可以最大限度满足扫描难度高的特殊场景的应用需求。

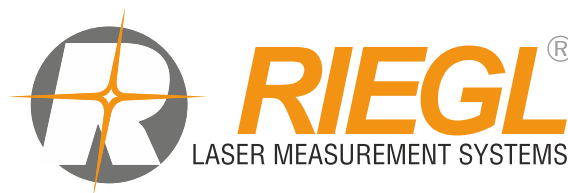
该系统还包括一套高性能惯导单元和最多两台可选配的相机，主相机可以是 1.5 亿像素的 RGB 相机，副相机可以选热红外相机或 NIR 相机。整套系统可以很方便地通过特定的转接环与飞机舱口或者稳定支架连接。

应用领域：

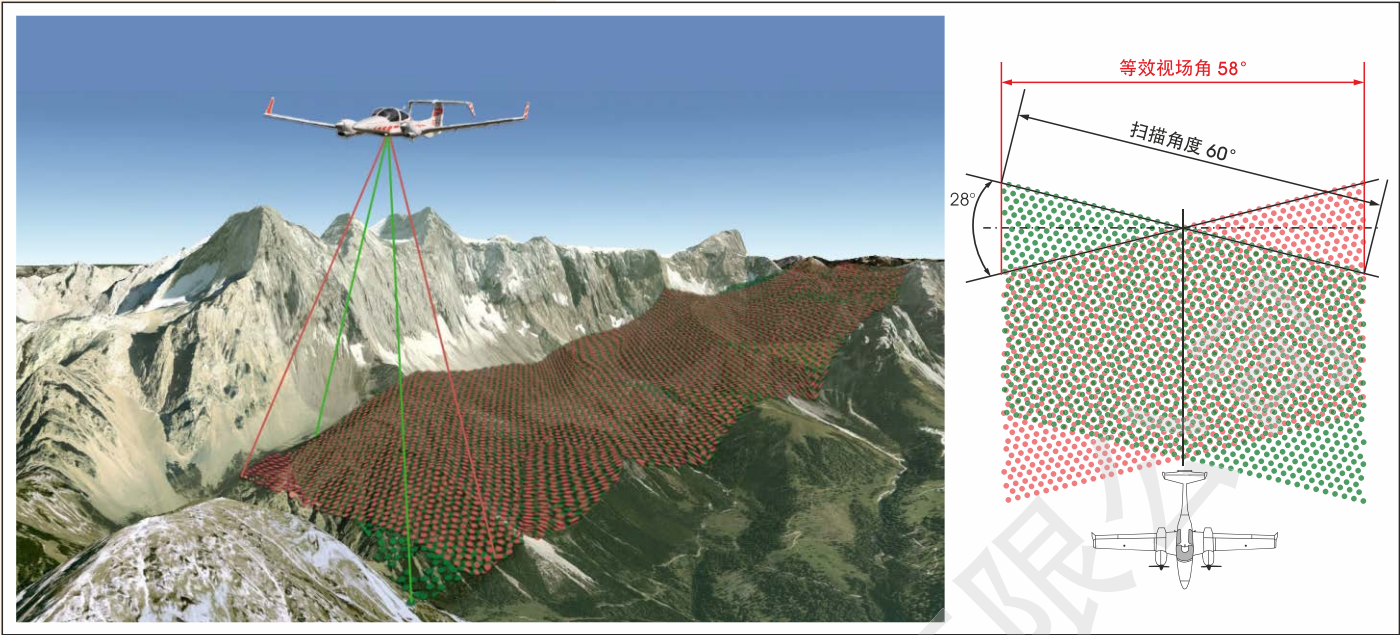
- 科学研究应用
- 农林林业调查
- 植被测图
- 冰川与雪地测图
- 湖岸和河岸测绘
- 高密度点云测图
- 廊道测绘



北京富斯德科技有限公司
www.fs3s.com



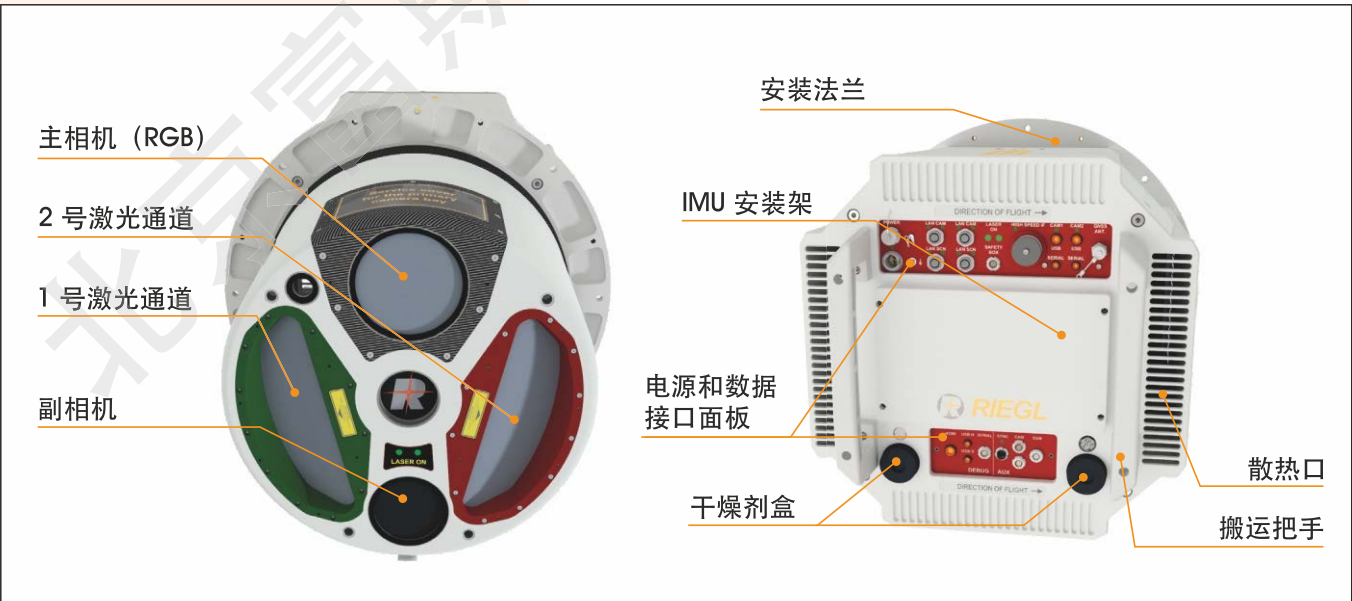
RIEGL VQ-1560i-DW 扫描模式



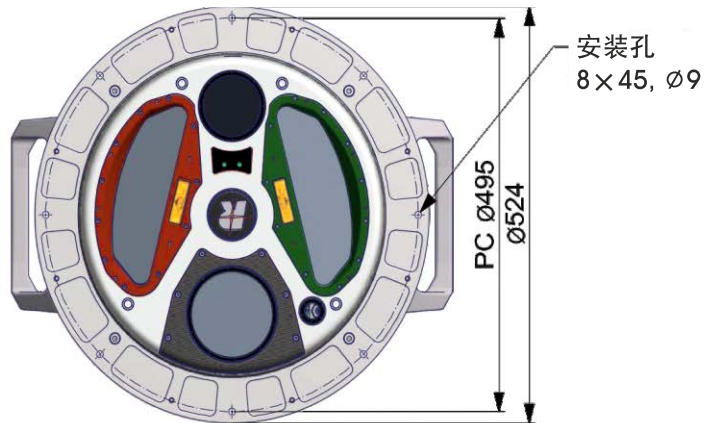
对于每个单独通道，其扫描线都是平行线。两个通道的扫描线相互间呈 28 度夹角，为起伏不定的测区地表提供最佳的点密度分布。

扫描线倾斜角	+/-14°
在天底方向上的前/后扫描角度	边缘处 +/-8°

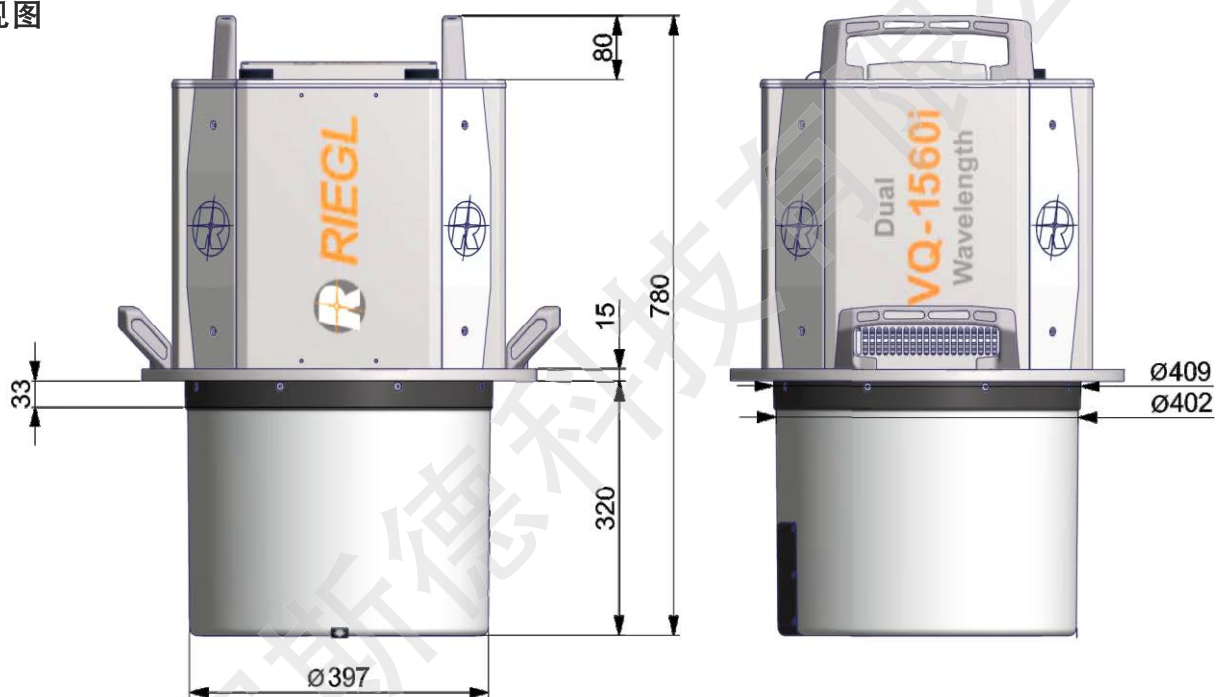
RIEGL VQ-1560i-DW 外观结构



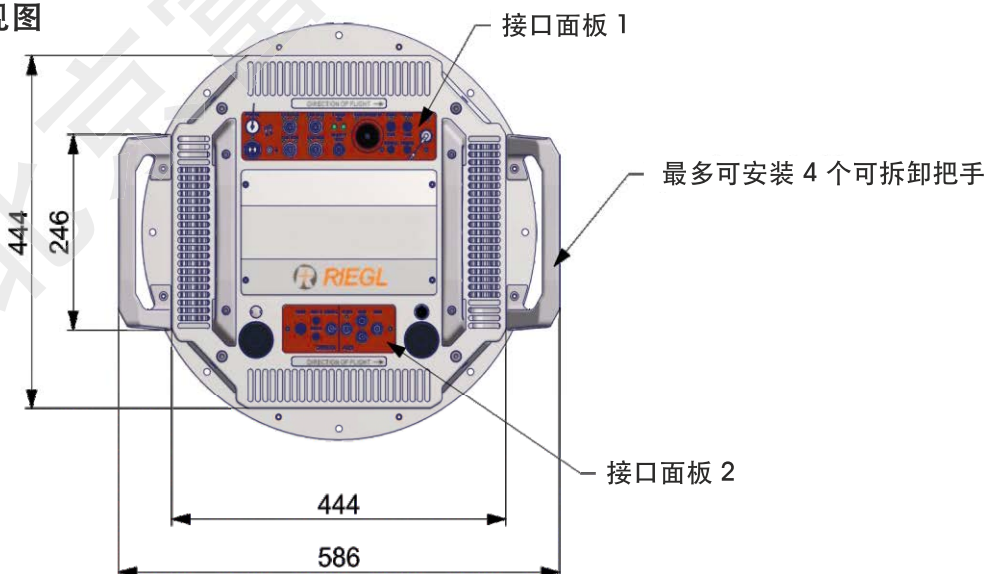
底视图



侧视图

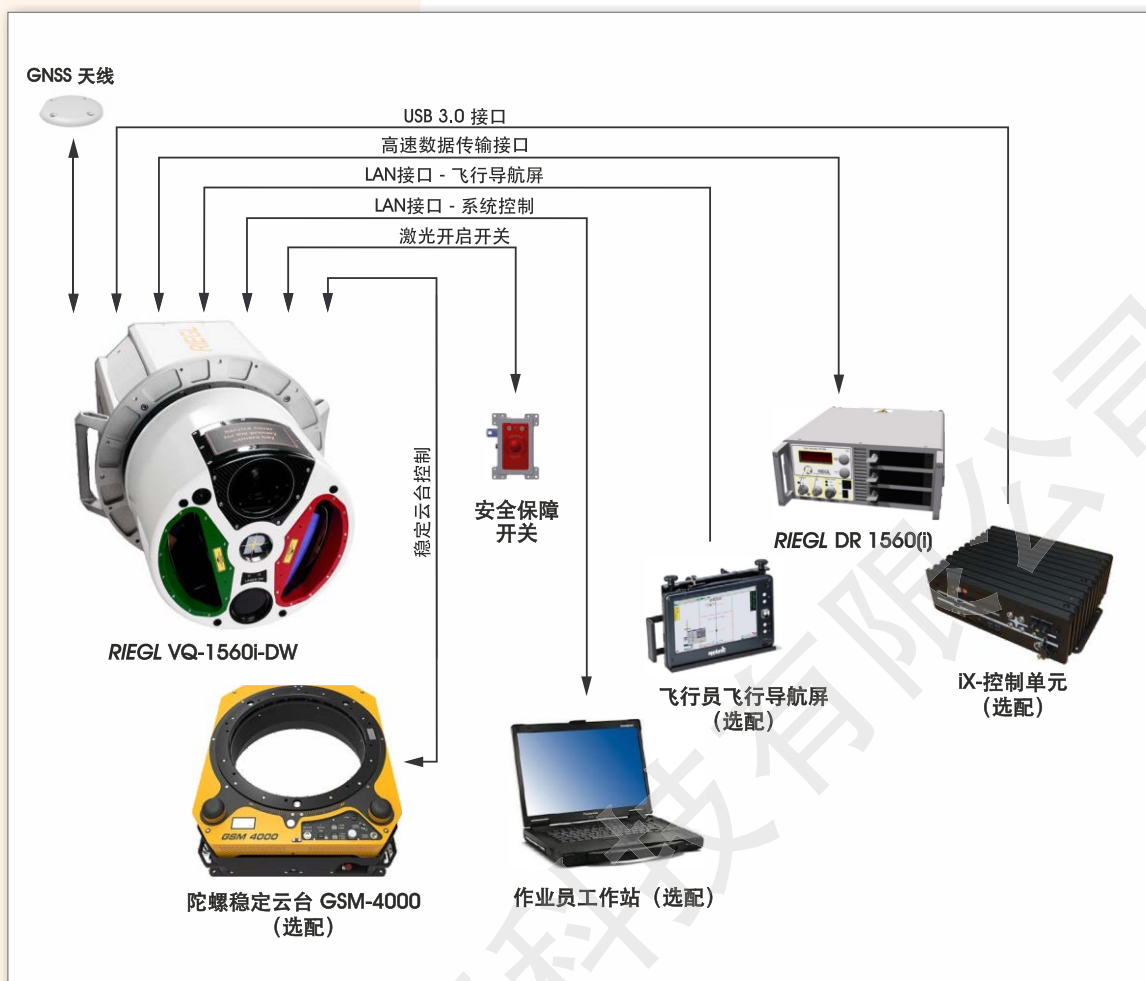


顶视图



单位: mm

RIEGL VQ-1560i-DW 系统组成



最精简的系统组件，便于轻松快速地在飞机上安装

RIEGL VQ-1560i-DW 安装示例



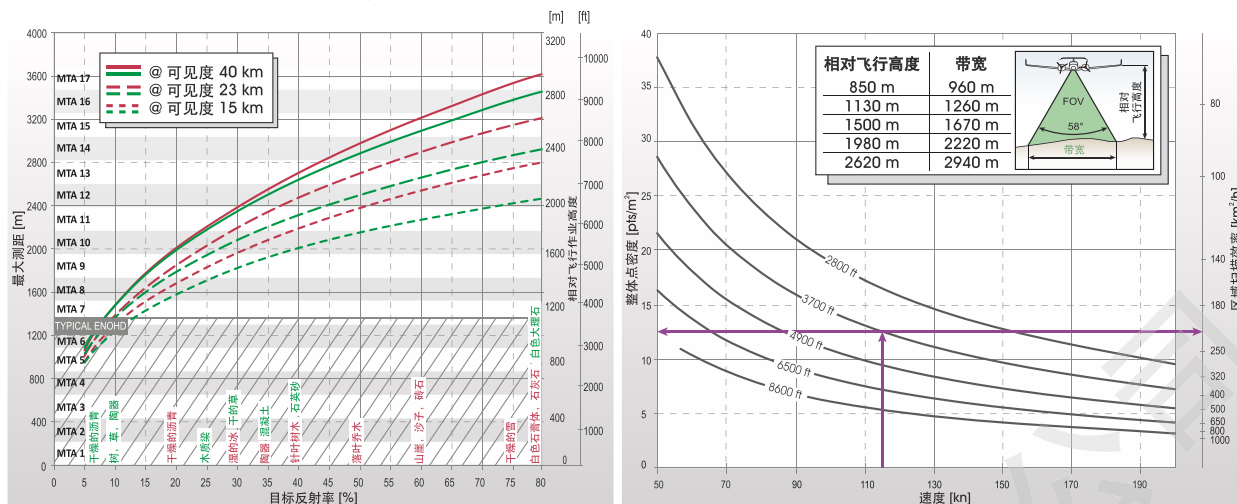
RIEGL VQ-1560i-DW 安装在
固定翼飞机 DA42 MPP 机鼻舱中



RIEGL VQ-1560i-DW 安装与
陀螺稳定云台 GSM-4000 集成
用于直升机或固定翼上

RIEGL VQ-1560i-DW 测距和点密度 - 绿光和红外激光通道

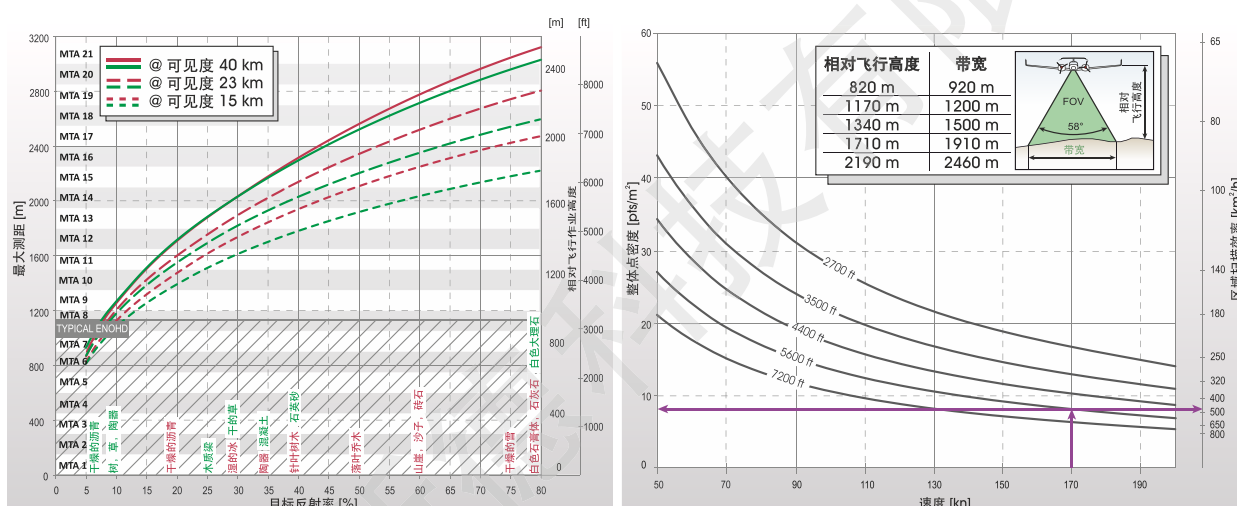
PRR = 2×700 kHz, 激光功率为 100%, 绿光和红外通道



示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 $2 \times 700,000$ 个脉冲, 激光功率为 100%
飞行高度为海拔 3,700 ft, 速度 115 kn

作业成果: 点密度约 12.5 pts/m²
作业效率约 215 km²/h

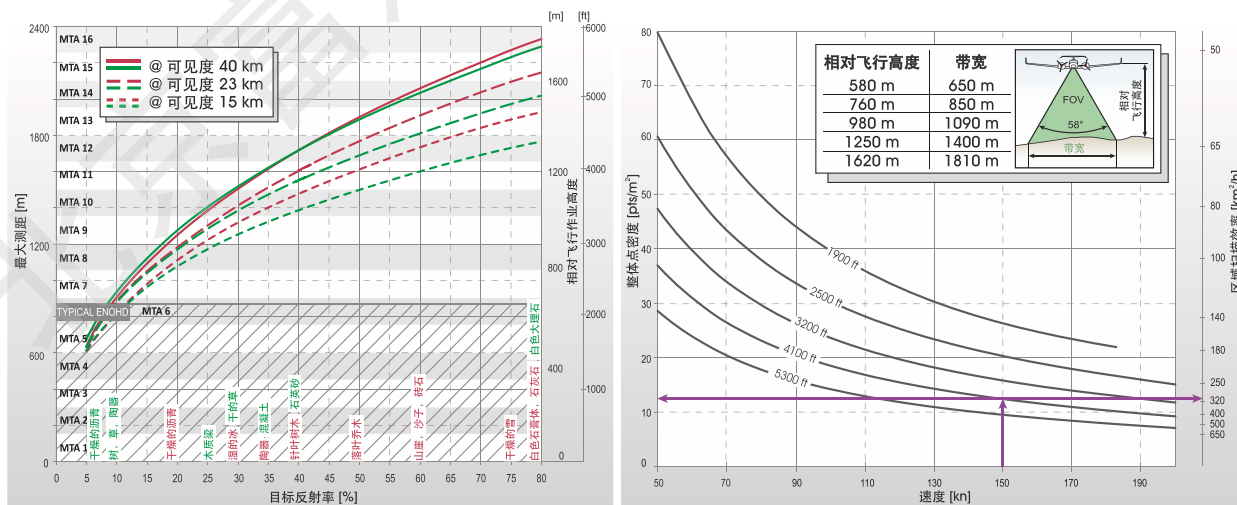
PRR = 2×1000 kHz, 激光功率为 100%, 绿光和红外通道



示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 $2 \times 1,000,000$ 个脉冲, 激光功率为 100%
飞行高度为海拔 5,600 ft, 速度 170 kn

作业成果: 点密度约 8 pts/m²
作业效率约 480 km²/h

PRR = 2×1000 kHz, 激光功率为 50%, 绿光和红外通道



示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 $2 \times 1,000,000$ 个脉冲, 激光功率为 50%
飞行高度为海拔 4,100 ft, 速度 150 kn

作业成果: 点密度约 12.3 pts/m²
作业效率约 310 km²/h

上述作业航高数据在满足以下假设条件时获得:

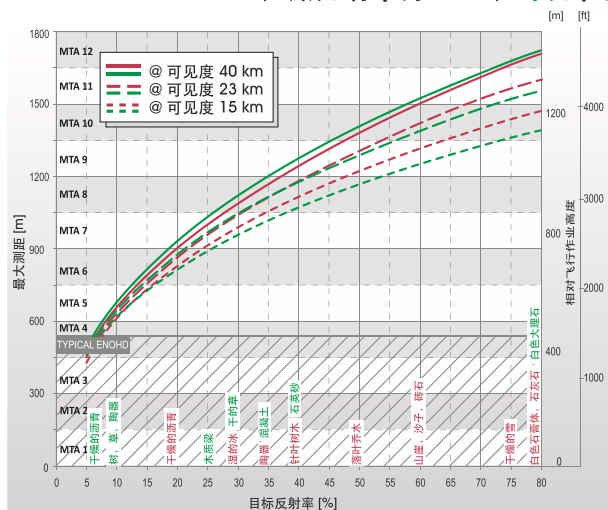
- 模糊度经由 MTA 处理
- 目标尺寸大于激光光斑
- 有效视场角 58°
- 环境亮度均匀
- 横滚角不超过 $\pm 5^\circ$

ENOHD 典型值: 在假设角度步进为 0.012° 且飞机速度高于 10 kn 的情况下计算得出。

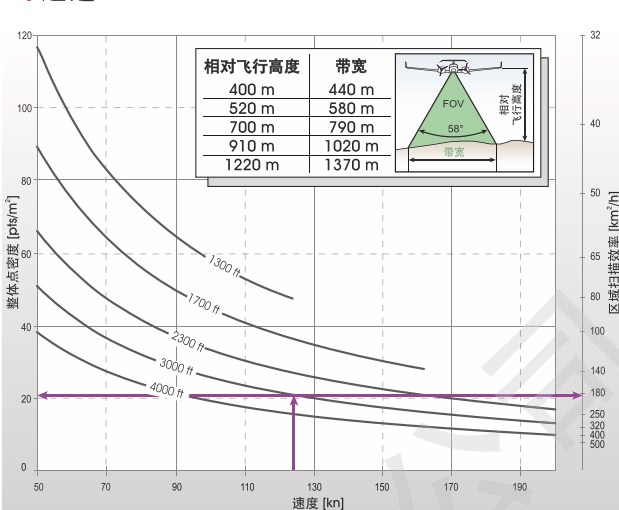
作业效率数据在满足以下假设条件时获得:

- 在横滚角不超过 $\pm 5^\circ$ 或航高最多降低 20% 的情况下
下能保证航线重叠度为 20%。

PRR = 2×1000 kHz, 激光功率为 25%, 绿光和红外通道

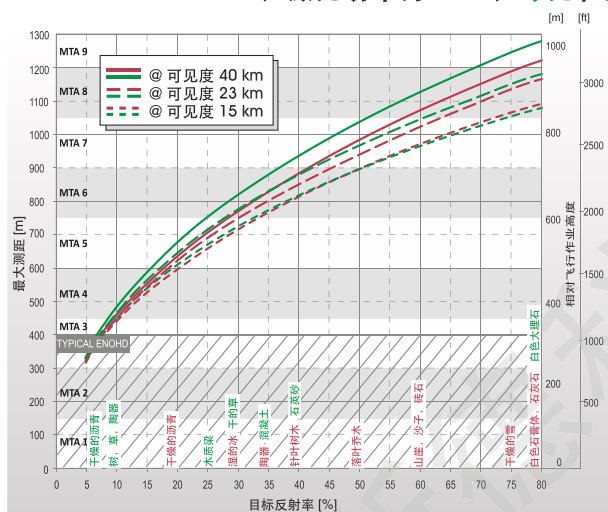


示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 $2 \times 1,000,000$ 个脉冲, 激光功率为 25%
飞行高度为海拔 3,000 ft, 速度 125 kn

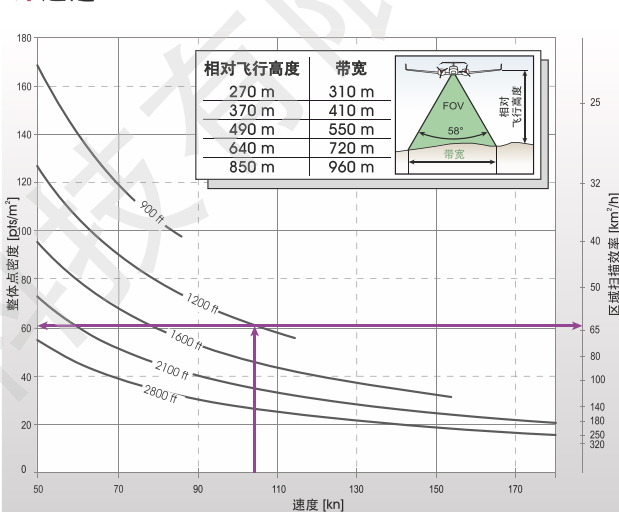


作业成果: 点密度约 20.2 pts/m²
作业效率约 190 km²/h

PRR = 2×1000 kHz, 激光功率为 12%, 绿光和红外通道



示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 $2 \times 1,000,000$ 个脉冲, 激光功率为 12%
飞行高度为海拔 1,200 ft, 速度 105 kn



作业成果: 点密度约 60.2 pts/m²
作业效率约 64 km²/h

上述作业航高数据在满足以下假设条件时获得:

- 模糊度经由 MTA 处理
- 环境亮度均匀
- 目标尺寸大于激光光斑
- 横滚角不超过 $\pm 5^\circ$
- 有效视场角 58°

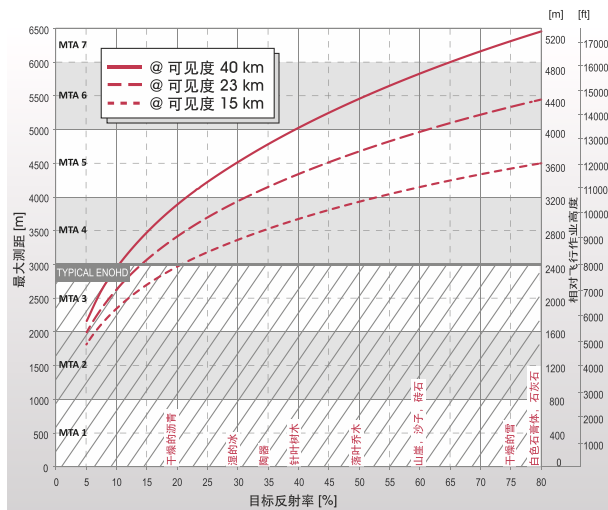
ENOHD 典型值: 在假设角度步进为 0.012° 且飞机速度高于 10 kn 的情况下计算得出。

作业效率数据在满足以下假设条件时获得:

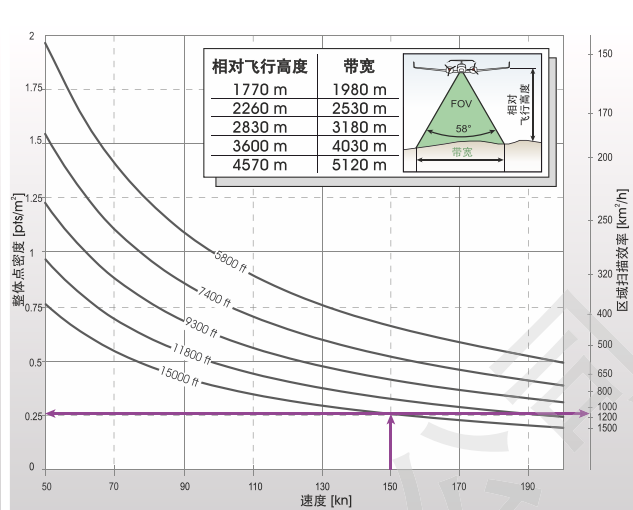
- 在横滚角不超过 $\pm 5^\circ$ 或航高最多降低 20% 的情况下能保证航线重叠度为 20%。

RIEGL VQ-1560i-DW 测距和点密度 - 仅红外激光通道

PRR = 150 kHz, 激光功率为 100%, 仅红外通道

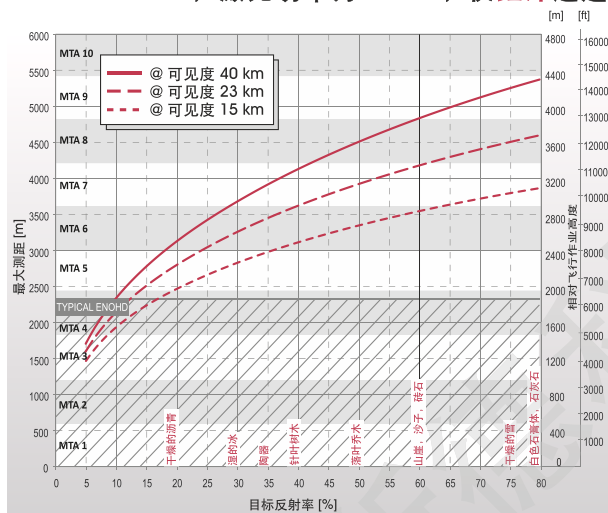


示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 150,000 个脉冲, 激光功率为 100%
飞行高度为海拔 15,000 ft, 速度 150 kn

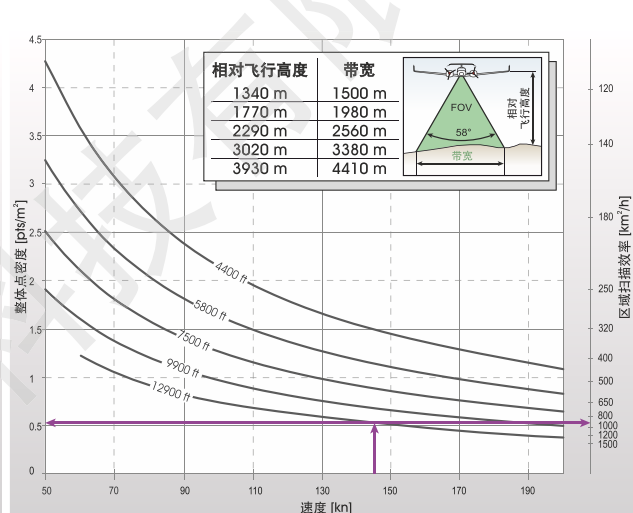


作业成果: 点密度约 0.25 pts/m²
作业效率约 1130 km²/h

PRR = 250 kHz, 激光功率为 100%, 仅红外通道

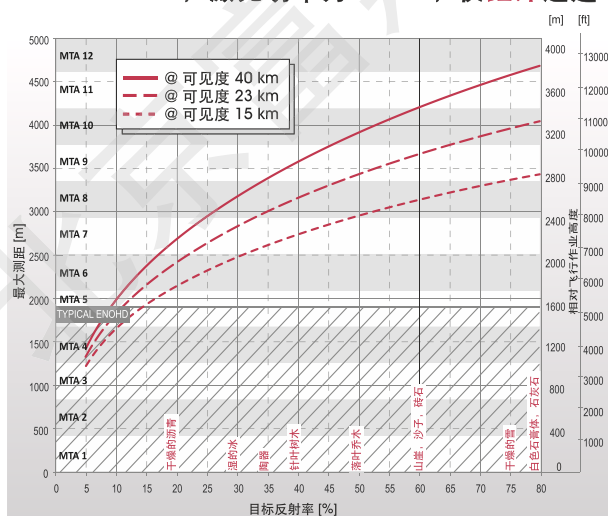


示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 250,000 个脉冲, 激光功率为 100%
飞行高度为海拔 12,900 ft, 速度 145 kn

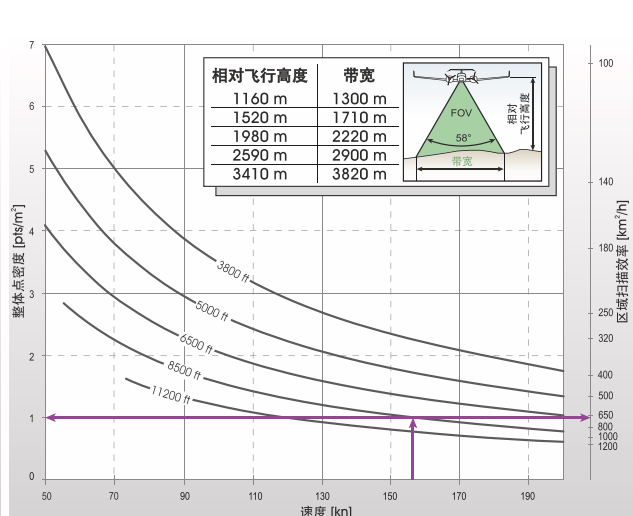


作业成果: 点密度约 0.5 pts/m²
作业效率约 950 km²/h

PRR = 150 kHz, 激光功率为 100%, 仅红外通道



示例: VQ-1560i-DW 每秒发射 350,000 个脉冲, 激光功率为 100%
飞行高度为海拔 8,500 ft, 速度 155 kn



作业成果: 点密度约 1 pts/m²
作业效率约 670 km²/h

上述作业航高数据在满足以下假设条件时获得:

- 模糊度经由 MTA 处理
- 目标尺寸大于激光光斑
- 有效视场角 58°
- 环境亮度均匀
- 横滚角不超过 ±5°

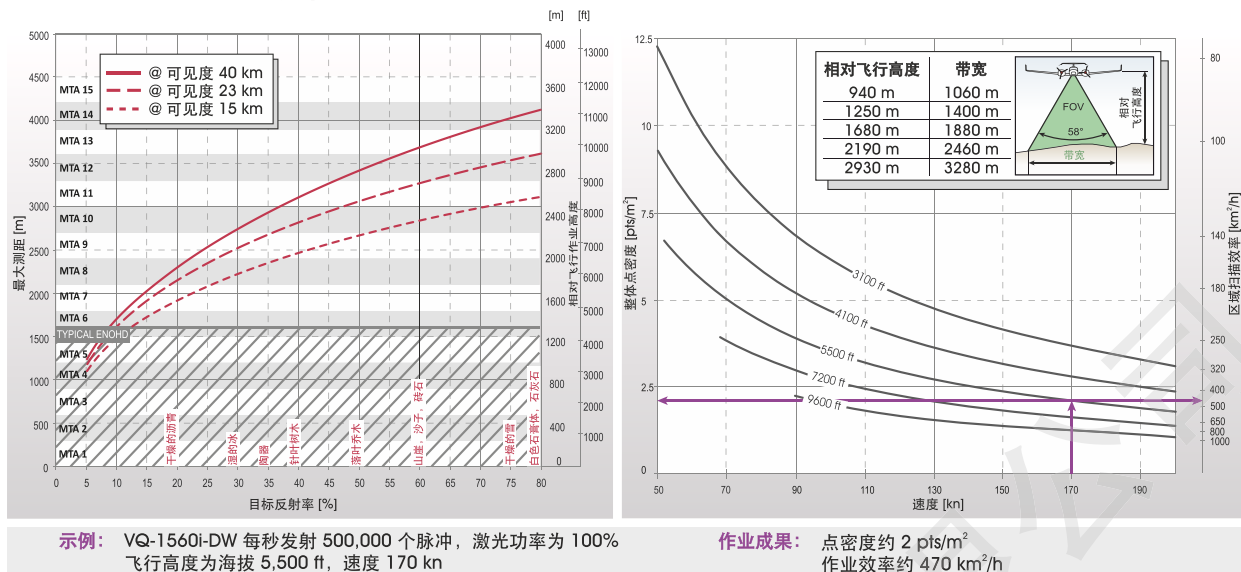
ENOHD 典型值: 在假设角度步进为 0.012° 且飞机速度高于 10 kn 的情况下计算得出。

作业效率数据在满足以下假设条件时获得:

- 在横滚角不超过 ±5° 或航高最多降低 20% 的情况下能保证航线重叠度为 20%。

RIEGL VQ-1560i-DW 测距和点密度 - 仅红外激光通道

PRR = 500 kHz, 激光功率为 100%, 仅红外通道



上述作业航高数据在满足以下假设条件时获得:

- 模糊度经由 MTA 处理
- 目标尺寸大于激光光斑
- 有效视场角 58°
- 环境亮度均匀
- 横滚角不超过 ±5°

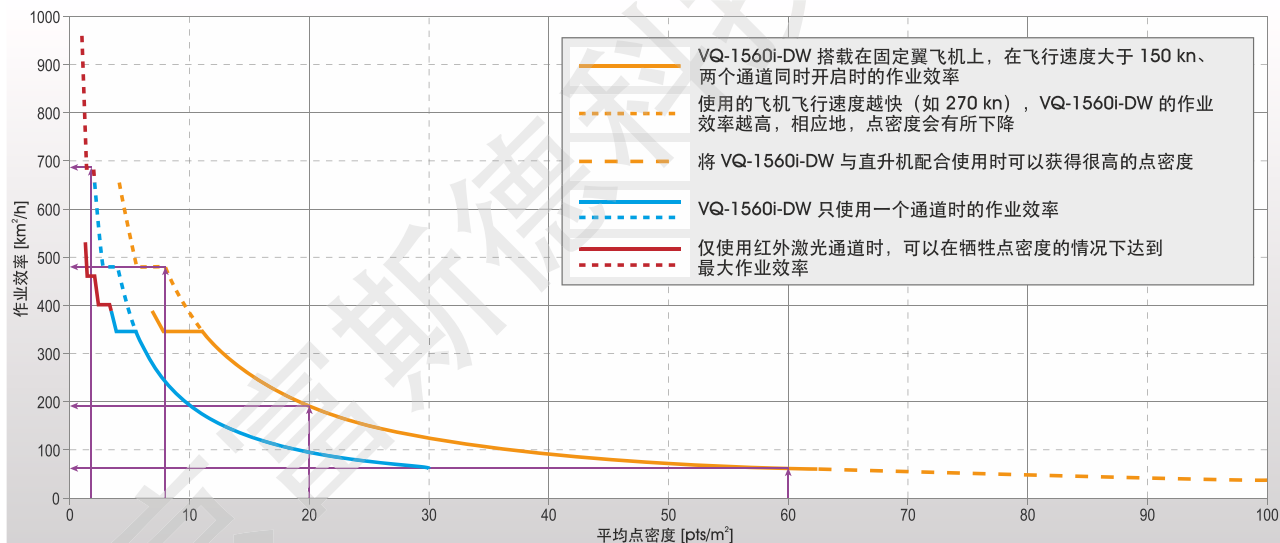
ENOHD 典型值: 在假设角度步进为 0.012° 且飞机速度高于 10 kn 的情况下计算得出。

作业效率数据在满足以下假设条件时获得:

- 在横滚角不超过 ±5° 或航高最多降低 20% 的情况下
下能保证航线重叠度为 20%。

RIEGL VQ-1560i-DW 作业效率

RIEGL VQ-1560i-DW 的频道选择功能可以保证它应用的灵活性。



示例¹⁾

平均点密度	2 pts/m ²	8 pts/m ²	20 pts/m ²	60 pts/m ²
飞行高度	1520 m (5000 ft)	1370 m (4500 ft)	1000 m (3300 ft)	351 m (1150 ft)
地面速度	270 kn	210 kn	115 kn	110 kn
带宽	1700 m	1540 m	1130 m	400 m
作业效率	670 km ² /h	480 km ² /h	192 km ² /h	64 km ² /h
测量速度 ²⁾	466,000 点/秒	2 × 666,000 点/秒		
通道	仅红外通道	绿光和红外通道		
影像 GSD ^{3) 4)}	114 mm	103 mm	75 mm	26 mm
相机曝光间隔 ⁴⁾	3.5 s	4.1 s	5.4 s	2.0 s

1) 采用 20% 的目标反射率和 20% 的重叠进行计算

2) 每个激光脉冲仅提供一次测量时的频率, 对于植被区域而言可能更高

3) 地面采样距离

4) 采用 1 亿像素的 CMOS 相机, FOV 为 56.2° × 43.7°, 航向重叠为 60%

RIEGL VQ-1560i-DW 技术参数

出口分类

尽管拥有双波长的 VQ-1560i-DW 激光雷达系统并未作为水文测量设备研发，但由于集成了绿光激光，所以在一定程度上具备水文测量功能。

激光产品分类

The following clause applies for instruments delivered into the United States: Complies with 21 CFR 1040.10 and 1040.11 except for conformance with IEC 60825-1 Ed.3., as described in Laser Notice No. 56, dated May 8, 2019.

必须配备适当的应急装置以保障安全使用该激光设备。

测距能力

The VQ-1560i-DW is subject to export restrictions as set up by the Wassenaar Arrangement. It is classified as dual-use good according to position number 6A8j3 of the official Dual-Use-List to be found on site <http://www.wassenaar.org>. Within the European Union, Regulation (EU) No. 2021/821 implements the export restrictions of the Wassenaar Arrangement. The corresponding position number is **6A008j3**

依照 IEC60825-1:2014 归类为 3B 级激光产品



对应不同的激光功率、激光脉冲重复度和目标反射率

激光功率: 绿光和红外激光通道	100%	100%	50%	25%	12%
激光脉冲重复频率 (PRR) ¹⁾	2 × 700 kHz	2 × 1000 kHz			
最大测量距离 ^{2) 3)} 目标自然反射率最低 20% 时 目标自然反射率最低 60% 时	2000 m 3100 m	1700 m 2700 m	1300 m 2000 m	940 m 1500 m	680 m 1120 m
最大相对飞行 作业高度 ^{2) 4)}	2500 m 8300 ft	2200 m 7250 ft	1600 m 5300 ft	1200 m 4000 ft	910 m 3000 ft
NOHD @ 绿光激光, 0.72 mrad ENOHD @ 绿光激光, 0.72 mrad	280 m 1120 m	240 m 940 m	165 m 650 m	115 m 450 m	80 m 320 m

1) 平均值, 取整值。
2) 平均条件和平均环境亮度的范围; 在晴天作业时的测量距离会缩短并且飞行高度可能会大大低于阴天。
3) 最大射程, 是指在大气能见度为 40 公里, 激光束垂直入射, 目标扁平且尺寸超过激光束直径时, 所能达到的射程。通过 MTA 进行距离模糊度处理。
4) 反射率 $\rho \geq 60\%$ 时的值, 最大有效视场角 58° , 横滚角不高于 $\pm 5^\circ$ 。
5) 单脉冲条件下, NOHD 依据 MPE: IEC60825-1:2007。
6) 单脉冲条件下, ENOHD 依据 MPE: IEC60825-1:2007。
7) 计算出的 NOHD 和 ENOHD 的角度递进为 0.012° , 并且飞机速度高于 10 kn, 绿光激光发散度为 0.72 mrad, 红外激光发散度为 0.25 mrad。
当减小角度递进幅度或绿光激光的发散度时, NOHD 和 ENOHD 的值会增加。

激光功率: 仅红外激光通道	100%			
激光脉冲重复频率 (PRR) ¹⁾	150 kHz	250 kHz	350 kHz	500 kHz
最大测量距离 ^{2) 3)} 目标自然反射率最低 20% 时 目标自然反射率最低 60% 时	3800 m 5800 m	3100 m 4800 m	2700 m 4200 m	2300 m 3600 m
最大相对飞行 作业高度 ^{2) 4)}	4700 m 15500 ft	3900 m 12900 ft	3400 m 11200 ft	2900 m 9600 ft
NOHD ^{5) 7)} ENOHD ^{6) 7)}	370 m 2450 m	290 m 1900 m	240 m 1600 m	200 m 1350 m

1) 平均值, 取整值。
2) 平均条件和平均环境亮度的范围; 在晴天作业时的测量距离会缩短并且飞行高度可能会大大低于阴天。
3) 最大射程, 是指在大气能见度为 40 公里, 激光束垂直入射, 目标扁平且尺寸超过激光束直径时, 所能达到的射程。通过 MTA 进行距离模糊度处理。
4) 反射率 $\rho \geq 60\%$ 时的值, 最大有效视场角 58° , 横滚角不高于 $\pm 5^\circ$ 。
5) 单脉冲条件下, NOHD 依据 MPE: IEC60825-1:2007。
6) 单脉冲条件下, ENOHD 依据 MPE: IEC60825-1:2007。
7) 计算出的 NOHD 和 ENOHD 的角度宽度为 0.012° (激光光斑不会重叠), 并且飞机速度高于 10 kn。
当激光光斑存在重叠时, NOHD 和 ENOHD 的值会增加, 例如用于电力线扫描。

最小测距 ⁸⁾

精度 ^{9) 10)}

重复精度 ^{10) 11)}

激光脉冲重复频率

有效测量速率

回波信号强度

激光波长

激光发散度

可接收回波次数

100 m

20 mm

20 mm

高达 $2 \times 1,000$ kHz

高达 2×666 kHz @ 扫描角度 60°

每个回波都含有强度信息

绿光 (532 nm) 和近红外 (1064 nm)

绿光激光可定制: 约 0.7 mrad ~ 约 2 mrad ($1/e^2$) ¹²⁾

近红外激光: ≤ 0.18 mrad ($1/e$) ¹³⁾, ≤ 0.25 mrad ($1/e^2$) ¹⁴⁾

通过在线波形处理: 几乎无限 ^{15) 16)}

监测数据输出: 第一次回波

8) 测距能力限制, 不考虑激光安全性问题! 对于可以有效反射的物体最小测距是 250 m。

9) 精度表示测量值与真值的接近程度。

10) 1σ @ 250 m 的标准差, 在 RIEGL 测试条件下。

11) 重复精度, 也称为再现性或可重复性, 表示多次测量后能达到相同结果的程度。

12) 如要求提供设置小发散度的许可证, 需签署免责声明。

13) 在光强衰减为最大值的 $1/e$ 时的点上测量。0.18 mrad 相当于距离每增加 1000 m, 激光束直径增加 18 cm。

14) 在光强衰减为最大值的 $1/e^2$ 时的点上测量。0.25 mrad 相当于距离每增加 1000 m, 激光束直径增加 25 cm。

15) 取决于激光脉冲重复率, 每个激光脉冲最多 15 个目标。

16) 激光脉冲的能量在击中目标物后会被消耗。如果单束激光击中多个目标物, 其测量距离可能会因此缩短。

续表见下页

扫描仪性能

扫描机制
扫描模式
扫描线倾斜角度
在天底方向前/后扫描角度
扫描角度
扫描速度
角度步进 $\Delta\varphi$
角度测量分辨率

旋转棱镜
单通道呈平行线, 通道之间相互交叉
 $\pm 14^\circ = 28^\circ$
边缘处 $\pm 8^\circ$
每个通道的扫描角度为 60° , 等效视场角 58°
 $40^{1)} \sim 600$ 线/秒
 $0.006^\circ \leq \Delta\varphi \leq 0.180^\circ$ ^{2) 3)}
 0.001°

1) 最小扫描速率取决于选择的激光发射频率和激光能量等级。
2) 最小角度步进取决于选择的激光发射频率和激光能量等级。

3) 最大角度步进主要取决于最大扫描速率。

数据接口

配置
监测数据输出
数字化数据输出
同步

TCP/IP Ethernet (10/100/1000 Mb/s)
TCP/IP Ethernet (10/100/1000 Mb/s)
与 RIEGL 数据存储单元 DR1560(i) 之间通过两路玻璃光纤连接
串行 RS232 接口; TTL 输入, 用于 1 pps 同步脉冲
接受不同数据格式的 GNSS 时间信息

一般技术参数

电源/功耗

主要尺寸 (法兰直径 × 高度)
重量

20 - 32 V DC / 典型值 250 W
最大 550 W, 取决于集成的可选组件
京 524 mm × 780 mm (无搬运把手)
约 60 kg, 不包括相机, 但包括 IMU/GNSS 系统
约 65 kg, 包含可选组件

防护等级
最大飞行高度 (作业/不作业)
温度范围 (作业/不作业)

IP54
海拔 5600 m (18500 ft) ⁴⁾ / 海拔 5600 m (18500 ft)
 $0^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C} / -10^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$

4) 平均海平面

集成的 IMU/GNSS 系统 ^{5) 6)}

IMU 精度 ⁷⁾
横滚/俯仰
偏航
IMU 采样率
位置精度

0.0025°
 0.005°
200 Hz
 $0.05\text{ m} \sim 0.1\text{ m}$

VQ-1560i-DW 可选组件

主相机
传感器分辨率
传感器尺寸 (对角线)
相机镜头焦距
视场角 (FOV)
接口
数据存储

RGB
1.5 亿像素, CMOS 相机
67.2 mm (中画幅)
50 mm
约 $56.2^\circ \times 43.7^\circ$
USB 3.0
iX 控制单元

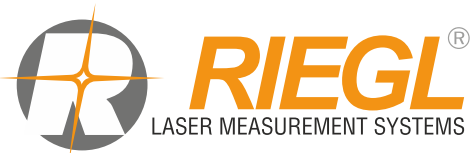
副相机

包括热能和红外摄像机等不同的相机类型都可以集成, 详情请咨询

5) 建议的 IMU 既未列入欧洲出口管制清单 (即理事会条例 428/2009 的附件 1), 也未列入加拿大出口管制清单。若需要可提供部分有关条例的详细信息。

6) RIEGL VQ-1560i-DW 激光扫描系统支持不同的 IMU/GNSS 系统, 详情请咨询。

7) 1 σ , 无 GNSS 中断, 使用基站数据进行后处理。



北京富斯德科技有限公司

www.fs3s.com / 010-58076899 / 58076040 / info@fs3s.cn

www.fs3s.com