

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R RS.2043-0 建议书
(02/2014)

**9 600 MHz 附近卫星
地球探测业务(有源)中的
合成孔径雷达的特性**

**RS 系列
遥感系统**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2014年，日内瓦

© 国际电联 2014

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R RS.2043-0 建议书

**9 600 MHz附近卫星地球探测业务（有源）中的
合成孔径雷达的特性**

(2014年)

范围

该建议书提供了工作在 9 600 MHz 附近卫星地球探测业务（有源）中的合成孔径雷达的特性。该信息应有助于实现与相同或邻近频率范围内其他无线电业务的共用和兼容研究。该频率范围适用于用 100 MHz 到 1 200 MHz 不同雷达传输带宽实施的远程卫星遥感系统。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 有源星载微波遥感依据所要观察物理现象的不同需要特定的频率范围；
- b) 某些频段已划分给有源星载微波遥感业务；
- c) 雷达传感器的传输带宽与可实现的测量分辨率直接相关；
- d) 如ITU-R RS.2274报告所述，对高分辨率雷达的需求正与日俱增；
- e) 9 GHz频段的观测为研究地球及其自然现象提供了关键数据，其中包括与环境状况相关的数据；
- f) 只有9 600 MHz频段可提供最有利的状态，在传播条件优异的频段内提供可能的最高带宽，

认识到

ITU-R RS.1166 建议书为地球探测卫星业务（有源）传感器规定了性能和干扰标准，其中包括在 9 600 MHz 附近工作的合成孔径雷达，

建议

附件所述 9 GHz 频段内工作的典型星载合成孔径雷达系统的特性，应当用于 9 600 MHz 附近工作的地球探测卫星业务（有源）的共用和兼容性研究。

附件

在9 600 MHz附近工作的地球探测卫星业务（有源） 合成孔径雷达的特性

1 合成孔径雷达的原理（SAR）

合成孔径雷达（SAR）是一种星载相干侧视雷达系统，利用卫星的飞行路径模仿超大型电子天线或孔径，生成高分辨率的遥感图像。

原则上，SAR 是一种有源相控阵列天线。但 SAR 并未使用大量并列的天线单元，而是在时间复用条件下使用一个天线单元。天线单元不同的几何位置是平台移动的结果。

卫星沿飞行方向前进，其天底指向地球的中心。微波波束的发射垂直于飞行方向，照射出一条扫宽。范围是指垂直于飞行方向的横向轨道尺寸，而方位角是指与飞行方向平行的纵向轨道尺寸。扫宽是指侧视雷达收集数据的地表带，是范围尺寸内成像部分的宽度。扫宽的纵向范围由航空器与地面间的相对运动来确定，扫宽宽度的测量与扫宽纵向范围垂直。

随着时间推移，独立的发射/接收周期（加重复时间（PRT））逐步完成，各周期收集的数据存储于星载存储器内。信号处理使用合成孔径部件中连续脉冲接收信号的振幅和相位。在特定数量周期结束后，存储的数据重新组合，在飞星飞临的上空形成高分辨率图像。

2 合成孔径雷达（SAR）的操作模式

2.1 几何原理

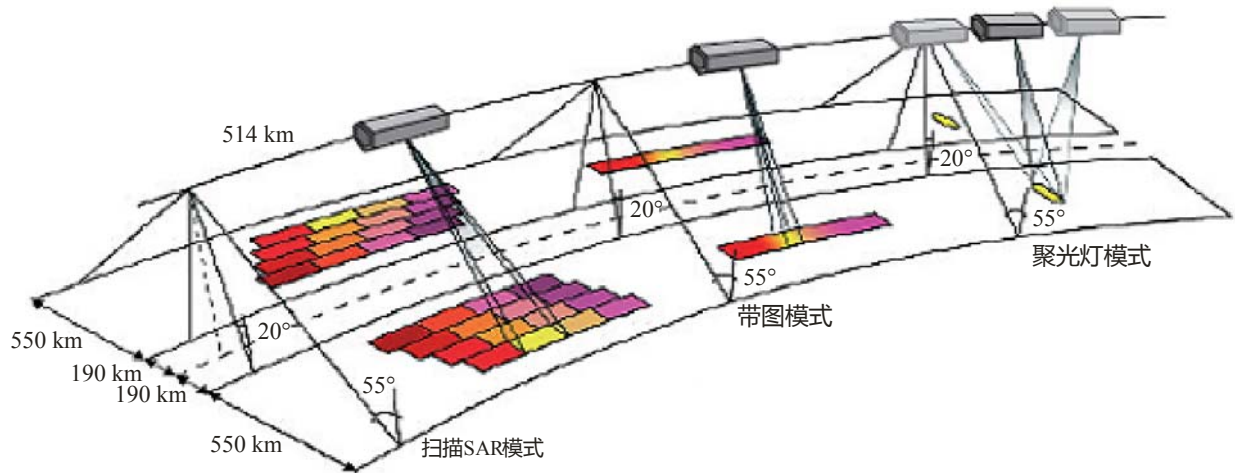
工作于 9.6 GHz 附近的 SAR 通过地面控制，按需进行开关，用于观察地球表面特定区域。在图 1 所示全部 SAR 模式中，完整的 1 200 MHz 线性调频脉冲宽度仅用于聚光灯模式。

根据《无线电规则》第 5.475A、5.476A、5.478A 和 5.478B 款，其它模式可使用 9 300-9 900 频段。

常规 SAR 带状图模式假设雷达天线指向平台轨迹的一个固定方向。带状图的图像宽度为扫宽的宽度，而图像的长度则是沿相关平台的飞行线路长度画出的等值线。在扫描 SAR 模式下，SAR 可通过将天线扫向不同位置，照射若干子扫宽。

图 1

9 GHz地球卫星探测业务（EESS）划分内的SAR系统操作模式



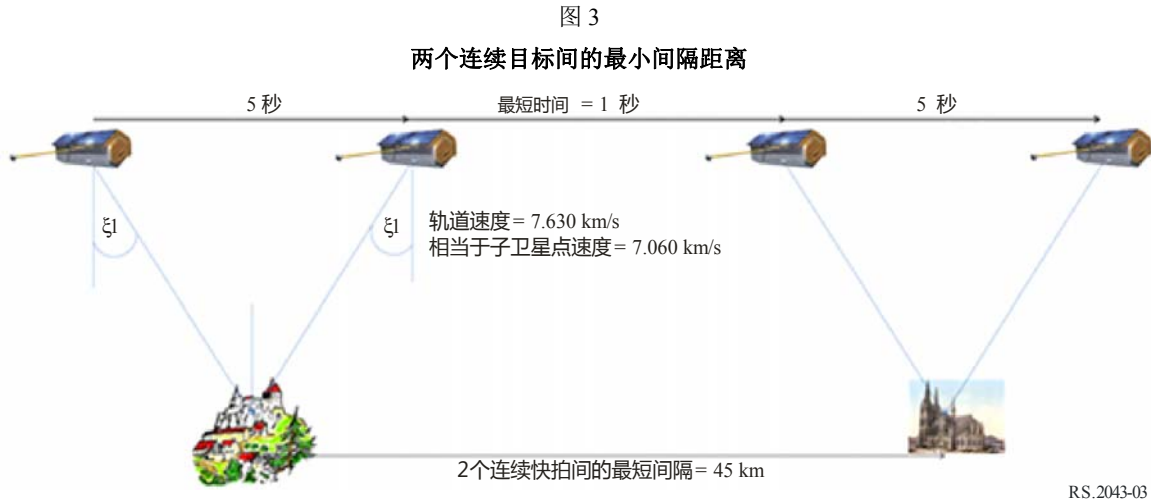
RS.2043-01

聚光灯模式是 SAR 模式中获得最高分辨率的方式，其通过电子方式调整雷达波束方向以对准目标，形成时间更长的合成孔径。聚光灯模式可将 SAR 的成像分辨率提高至 30 cm 以下。随着更多脉冲的使用，方位角的分辨率也有所提高。

聚光灯模式通常以降低空间覆盖面积为代价，由于雷达波聚焦于特定目标区域，因此 SAR 扫宽范围内的其它区域无法得到照射。此模式成像的详细几何原理，请参见图 2。

此模式通常会收集 20 公里，方位角 0.35 公里内的 49 至 65 条子扫宽数据。此数据将用于生成 5 公里乘 5 公里的图像。

所有 SAR 的开关均由地面命令控制，用于观察特定地面区域。“on”命令将触发约 5 秒的射频脉冲（线性调频脉冲）发射，根据观测目的不同，时间或可能更短。



其它 SAR 模式请参见 ITU-R RS.2178 报告。

图 4 展示了一颗 SAR-4 卫星 14 个轨道周期过程中子卫星点的地面轨迹。在各轨道周期过程中，地球旋转约 23.7° 。如果在某一位置的上方存在 (90° 仰角) 的路径，则前后的轨道将出现在该台站各最大仰角 (接近水平线) 中的较小值处。

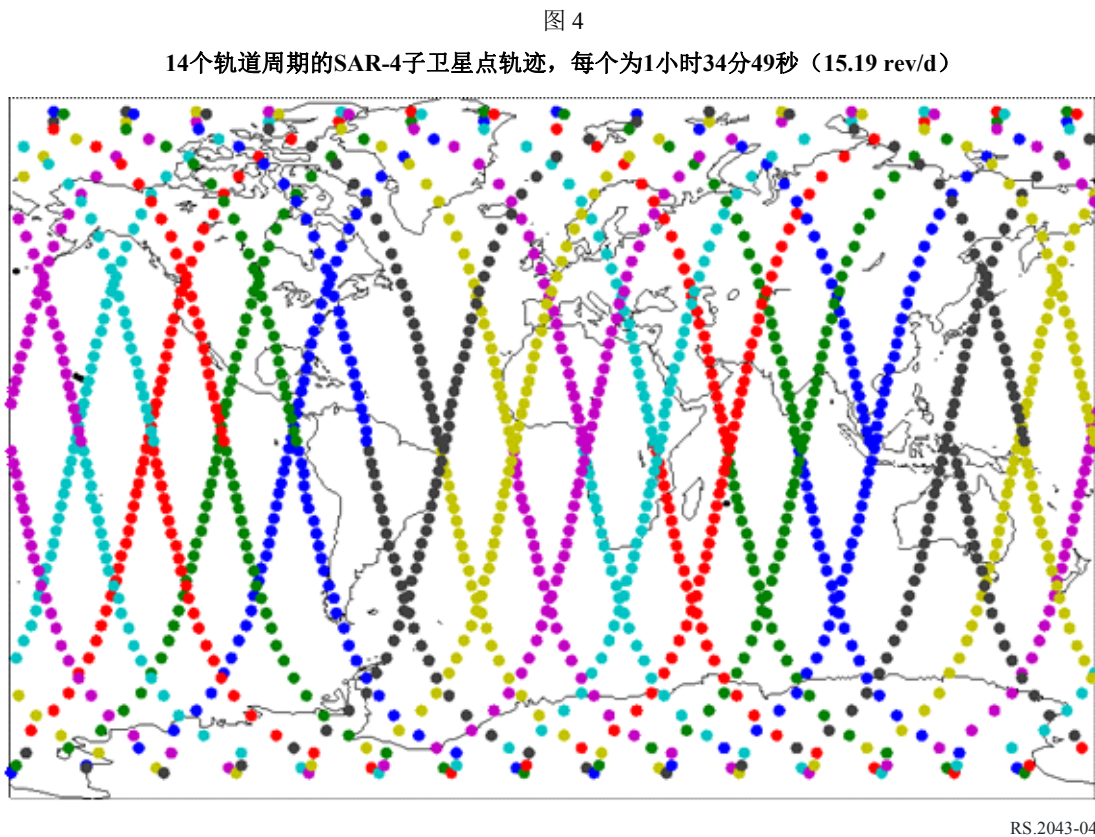


图 5 给出了三个典型纬度下的头顶路径及其相应的照射条件示例。在图 5 的各图片中，卫星轨道两侧均可看到蓝色区域。这显示出 SAR 仪器在聚光灯模式下一次可照射的区域。

由于卫星自身的运动，子卫星点将以 7.06 km/s 的速度沿子卫星轨迹¹移动。仅当目标进入此蓝色区域时（在卫星主波束旁瓣内）才会对其进行照射，根据目标实际位置与卫星轨迹之间的关系，最长照射时间为 5 至 7 秒。

如果同时考虑了主波束和旁瓣，则最大照射时间可能会更长。有害干扰的后果取决于考虑的业务和系统。下述信息是基于主波束照射。

¹ 地表子卫星点轨迹用航天器和地心间的虚线表示。

图 5
卫星照射区（卫星的头顶路径）

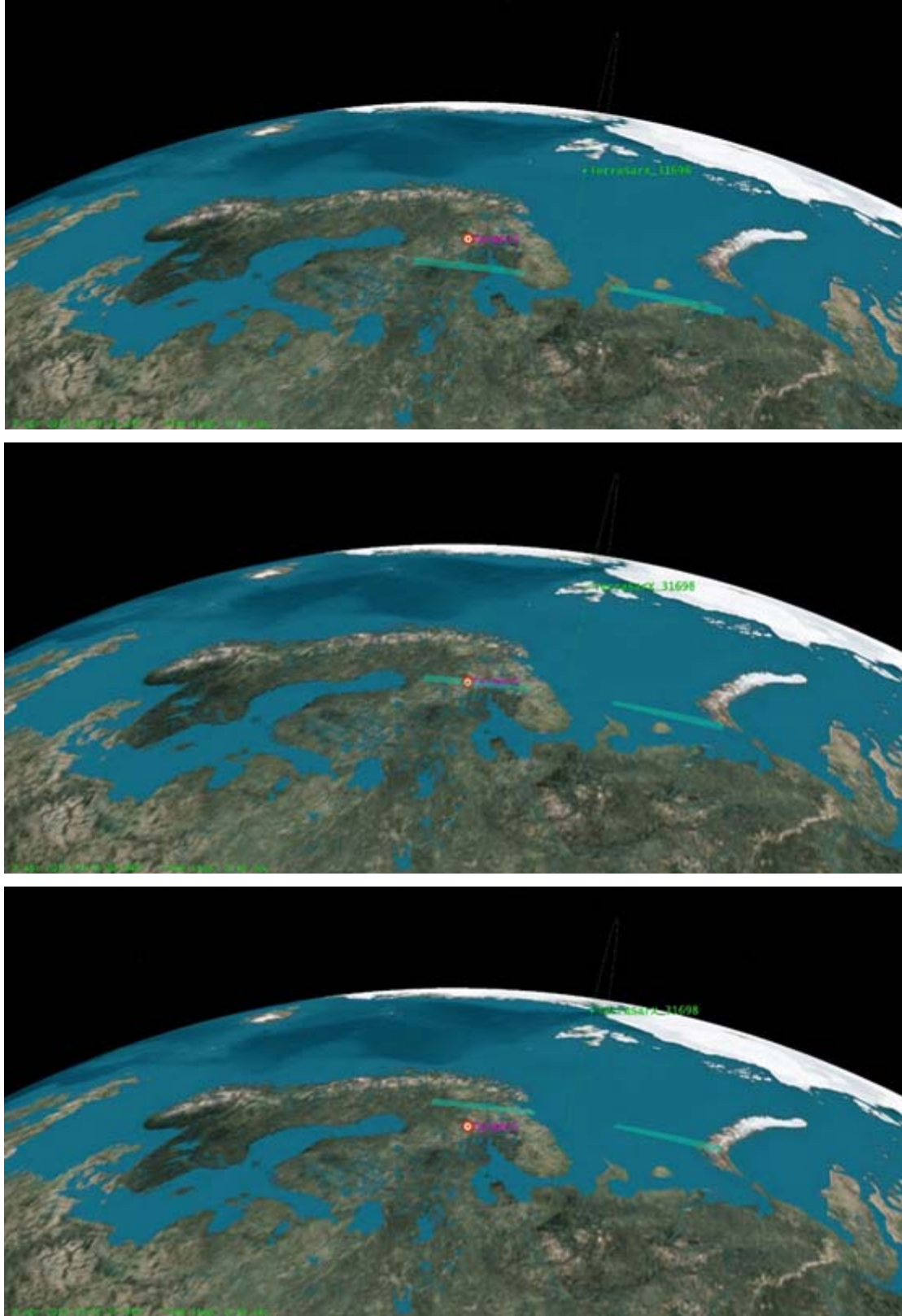


图 6 和表 1 列出了地球特定位置 11 天内可能的照射次数和累积的次数。子卫星点的轨迹将精确的不断重复这一路径。在高纬度每天最多可能有四次照射。如图 6 所示，每天照射的次数从 0 至 4 不等。

图 6
高纬度一个完整的11天周期内得到照射的机会
接入时间 - 2014 年 4 月 9 日 15:59:38

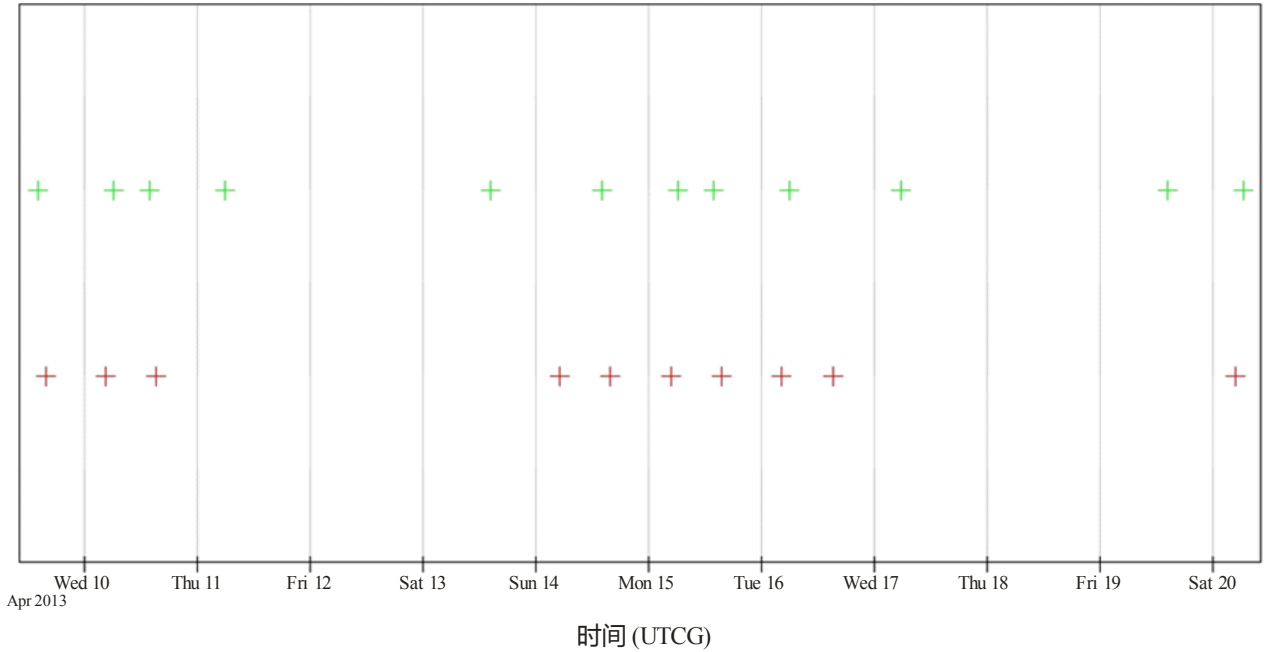


表1

高纬度一个完整的11天周期内的累积照射次数

起始时间 (UTCG)	结束时间 (UTCG)	时长 (s)
2013年4月9日 14:04:58.246	2013年4月9日 14:05:05.008	6.762
2013年4月9日 15:38:58.735	2013年4月9日 15:39:06.027	7.292
2013年4月10日 04:29:51.820	2013年4月10日 04:29:58.819	6.999
2013年4月10日 06:03:50.310	2013年4月10日 06:03:57.310	7.000
2013年4月10日 13:47:56.501	2013年4月10日 13:48:04.209	7.708
2013年4月10日 15:21:49.102	2013年4月10日 15:21:55.247	6.145
2013年4月11日 05:46:48.240	2013年4月11日 05:46:54.287	6.047
2013年4月13日 14:30:27.763	2013年4月13日 14:30:33.100	5.337
2013年4月14日 04:55:30.126	2013年4月14日 04:55:35.471	5.345
2013年4月14日 14:13:22.852	2013年4月14日 14:13:29.144	6.291
2013年4月14日 15:47:27.234	2013年4月14日 15:47:35.117	7.882
2013年4月15日 04:38:19.663	2013年4月15日 04:38:26.098	6.435
2013年4月15日 06:12:13.167	2013年4月15日 06:12:20.630	7.464
2013年4月15日 13:56:19.267	2013年4月15日 13:56:26.513	7.246
2013年4月15日 15:30:15.649	2013年4月15日 15:30:22.348	6.699
2013年4月16日 04:21:07.202	2013年4月16日 04:21:14.804	7.602
2013年4月16日 05:55:10.750	2013年4月16日 05:55:17.266	6.517
2013年4月16日 15:13:05.560	2013年4月16日 15:13:11.149	5.589
2013年4月17日 05:38:06.586	2013年4月17日 05:38:12.148	5.562
2013年4月9日 14:21:42.280	2013年4月9日 14:21:48.106	5.826
2013年4月20日 04:46:41.507	2013年4月20日 04:46:47.403	5.896
2013年4月20日 06:20:30.148	2013年4月20日 06:20:38.073	7.924
全球的统计数据	数值	
最短时长 (s)	5.337	
最大时长 (s)	7.924	
平均时长 (s)	6.617	
总时长 (s)	145.568	

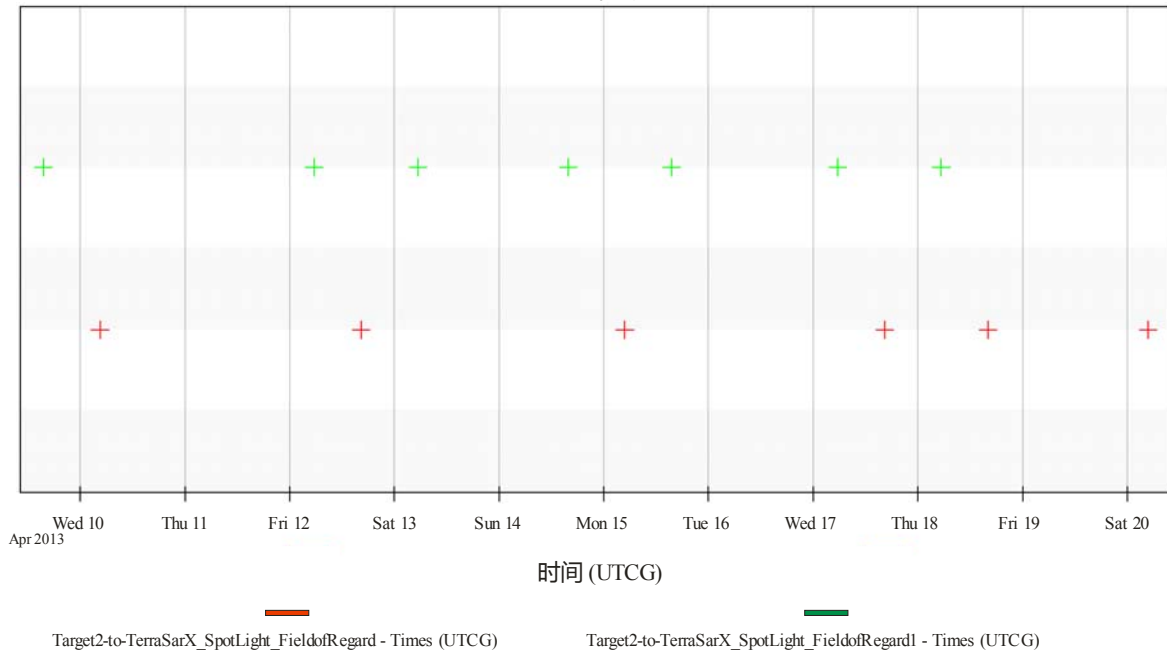
11 天内可能的总照射时长为 145.568 秒，占总时间的 0.02%。

图 7 和表 2 展示了中纬度雷达位置的条件。在这些情况下，每天可能的照射次数在 0 至 2 次之间。

图 7

中纬度一个完整的11天周期内得到照射的机会

接入时间 - 2014年4月9日 18:52:56



RS.2043-07

表2

中纬度一个完整的11天周期内的累积照射次数

起始时间 (UTC)	结束时间 (UTC)	时长 (s)
2013年4月9日 15:34:45.714	2013年4月9日 15:34:52.069	6.355
2013年4月10日 04:34:36.995	2013年4月10日 04:34:44.635	7.639
2013年4月12日 05:34:20.860	2013年4月12日 05:34:27.843	6.983
2013年4月12日 16:17:22.834	2013年4月12日 16:17:29.214	6.38
2013年4月13日 05:17:18.746	2013年4月13日 05:17:23.991	5.246
2013年4月14日 15:43:10.577	2013年4月14日 15:43:16.078	5.501
2013年4月15日 04:43:04.397	2013年4月15日 04:43:11.070	6.673
2013年4月15日 15:26:06.532	2013年4月15日 15:26:13.786	7.255
2013年4月17日 05:42:41.045	2013年4月17日 05:42:48.910	7.865
2013年4月17日 16:25:46.303	2013年4月17日 16:25:53.630	7.327
2013年4月18日 05:25:39.006	2013年4月18日 05:25:45.093	6.088
2013年4月18日 16:08:37.576	2013年4月18日 16:08:43.009	5.433
2013年4月20日 04:51:25.641	2013年4月20日 04:51:31.402	5.761
全球的统计数据	值	
最短时长 (s)	5.246	
最大时长 (s)	7.865	
平均时长 (s)	6.500	
总时长 (s)	84.506	

在此情况下，11天内可能的总接入时间降为84.5秒，占总时间的0.009%。

图 8 和表 3 展示了低纬度雷达位置的条件。在这些情况下，每天可能的照射次数在 0 至 2 次之间。

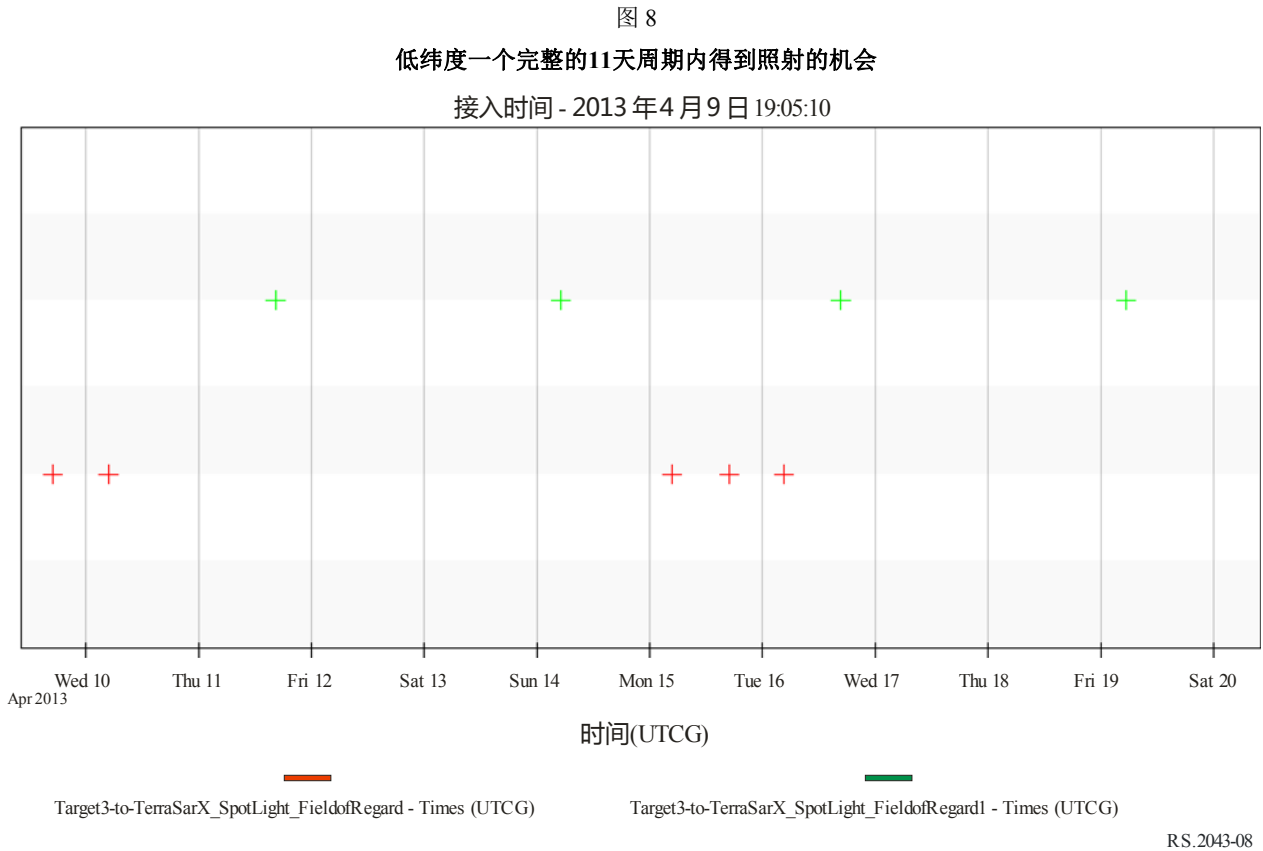


表3

低纬度一个完整的11天周期内的累积照射次数

起始时间 (UTCG)	结束时间 (UTCG)	时长 (s)
2013年4月9日 17:00:08.771	2013年4月9日 17:00:15.801	7.03
2013年4月10日 04:43:31.960	2013年4月10日 04:43:38.416	6.456
2013年4月11日 16:26:02.928	2013年4月11日 16:26:09.455	6.528
2013年4月14日 05:09:00.363	2013年4月14日 05:09:06.089	5.725
2013年4月15日 04:51:56.973	2013年4月15日 04:52:02.103	5.13
2013年4月15日 16:51:29.517	2013年4月15日 16:51:35.145	5.628
2013年4月16日 04:34:50.485	2013年4月16日 04:34:58.396	7.911
2013年4月16日 16:34:25.460	2013年4月16日 16:34:30.684	5.224
2013年4月9日 05:17:18.707	2013年4月9日 05:17:25.754	7.047
全球的统计数据	值	
最短时长 (s)	5.13	
最大时长 (s)	7.911	
平均时长 (s)	6.298	
总时长 (s)	56.679	

针对低纬度的目标，每天接入的次数被限制在 2 次以下，可能的总照射时长为 56.6 秒，占总时间的 0.006%。

3 EESS SAR传感器的技术特性

9 GHz 频段内星载有源传感器的技术特性请参见表 4。

所有 SAR 系统的对应天线增益模式请分别参见表 5 至 8。

表 5 给出了 SAR-4 的天线模式。SAR-1 至 SAR-3 系统的天线模式请参见 ITU-R RS.2094 报告。

表4

EESS SAR系统的技术特性

参数	SAR-1	SAR-2	SAR-3	SAR-4
轨道高度 (km)	400	619	506	510
轨道倾角 (度)	57	98	98	98
RF 中心频率 (GHz)	9.6	9.6	9.6	9.3-9.9 ^(*)
峰值辐射功率 (W)	1 500	5 000	25 000	7 000
脉冲调制	FM线性调频 脉冲	FM线性调频 脉冲	FM线性调频 脉冲	FM线性调频 脉冲
线性调频带宽 (MHz)	10	400	450	1 200
脉冲持续时间 (ms)	33.8	10-80	1-10	50
脉冲重复速度 (pps)	1 736	2 000-4 500	410-515	6 000
占空比 (%)	5.9	2.0-28.0	0.04-0.5	30
距离向压缩比	338	< 12 000	450-4 500	60 000
天线类型	开槽波导	平面阵	平面相控阵	平面阵
天线峰值增益 (dBi)	44.0	44.0-46.0	39.5-42.5	47.0
e.i.r.p. (dBW)	75.8	83.0	83.5-88.5	85.5
天线偏离天底的方向	20°至55°	34°	20°至44°	18.5°至49.3°
天线波束宽度	5.5° (El) 0.14° (Az)	1.6-2.3° (El) 0.3° (Az)	1.1-2.3° (El) 1.15° (Az)	1.13° (El) 0.53° (Az)
天线极化方式	线性垂直	线性HH或VV	线性水平/垂直	线性水平/垂直
系统噪声温度 (K)	551	500	600	500

(*) 最终数值取决于WRC-15议项1.12做出的决定。

表5

9.6 GHz附近的SAR1天线增益模式

模式	增益G(θ) (dBi)是离轴角θ的函数 (度)	角度范围 (度)
垂直 (仰角)	$G_v(\theta_v) = 44.0 - 0.397 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 24.5$ $G_v(\theta_v) = 9.5$ $G_v(\theta_v) = 22.5$	$\theta_v < 7.1$ $7.1 \leq \theta_v \leq 30$ $30 < \theta_v \leq 60$ $\theta_v > 60$
水平 (方位角)	$G_h(\theta_h) = 0 - 612.2 (\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -12$ $G_h(\theta_h) = 0 - 27.0 (\theta_h)$ $G_h(\theta_h) = -35$	$\theta_h \leq 0.14$ $0.14 < \theta_h \leq 0.44$ $0.44 < \theta_h \leq 1.3$ $\theta_h > 1.3$
波束模式	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

表6

9.6 GHz附近的SAR2天线增益模式

模式	增益G(θ) (dBi)是离轴角θ的函数 (度)	角度范围 (度)
垂直 (仰角)	$G_v(\theta_v) = 46.0 - 0.835 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31.0$ $G_v(\theta_v) = 26.0$ $G_v(\theta_v) = 10.0$	$\theta_v < 3.8$ $3.8 \leq \theta_v \leq 15$ $15 < \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
水平 (方位角)	$G_h(\theta_h) = 0 - 444.5 (\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -16$ $G_h(\theta_h) = -20.0 (\theta_h)$	$\theta_h \leq 0.3$ $0.3 < \theta_h \leq 0.7$ $\theta_h > 0.7$
波束模式	$G(\theta) = \{G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h), -3\} \max$	

表7

9.6 GHz附近的SAR3天线增益模式

模式	增益G(θ) (dBi)是离轴角θ的函数 (度)	角度范围 (度)
垂直 (仰角)	$G_v(\theta_v) = 42.5 - 9.92 (\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 31.4 - 0.83 \theta_v$ $G_v(\theta_v) = 10.5 - 0.133 \theta_v$	$0 < \theta_v < 1.1$ $1.1 \leq \theta_v < 30$ $\theta_v \geq 30$
水平 (方位角)	$G_h(\theta_h) = 0.0 - 9.07 (\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = +1.9 - 12.08 \theta_h$ $G_h(\theta_h) = -48$	$0 < \theta_h < 1.15$ $1.15 \leq \theta_h < 4.13$ $\theta_h \geq 4.13$
波束模式	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

表8

9.6 GHz附近的SAR4天线增益模式

模式	增益 $G(\theta)$ (dBi)是离轴角 θ 的函数 (度)	角度范围 (度)
垂直 (仰角)	$G_v(\theta_v) = 47.0 - 9.91(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35.9 - 0.83\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 11.0$	$\theta_v < 1.1$ $1.1 \leq \theta_v \leq 30$ $\theta_v > 30$
水平 (方位角)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45.53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -10.97 - 2.00\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35.0$	$\theta_h \leq 0.5$ $0.5 < \theta_h \leq 12$ $\theta_h > 12$
波束模式	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

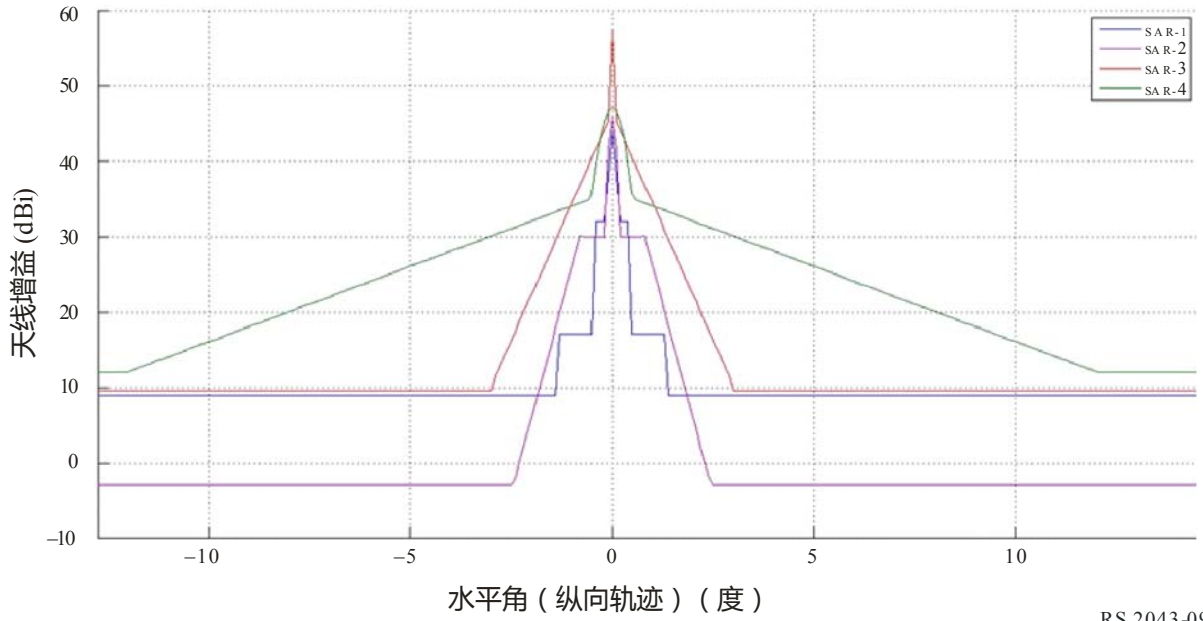
表9为需对平均旁瓣电平（低于峰值旁瓣3 dB）使用更精确模型的情况提供了另一种天线模式。

表9

9.6 GHz附近的SAR-4平均天线增益模式

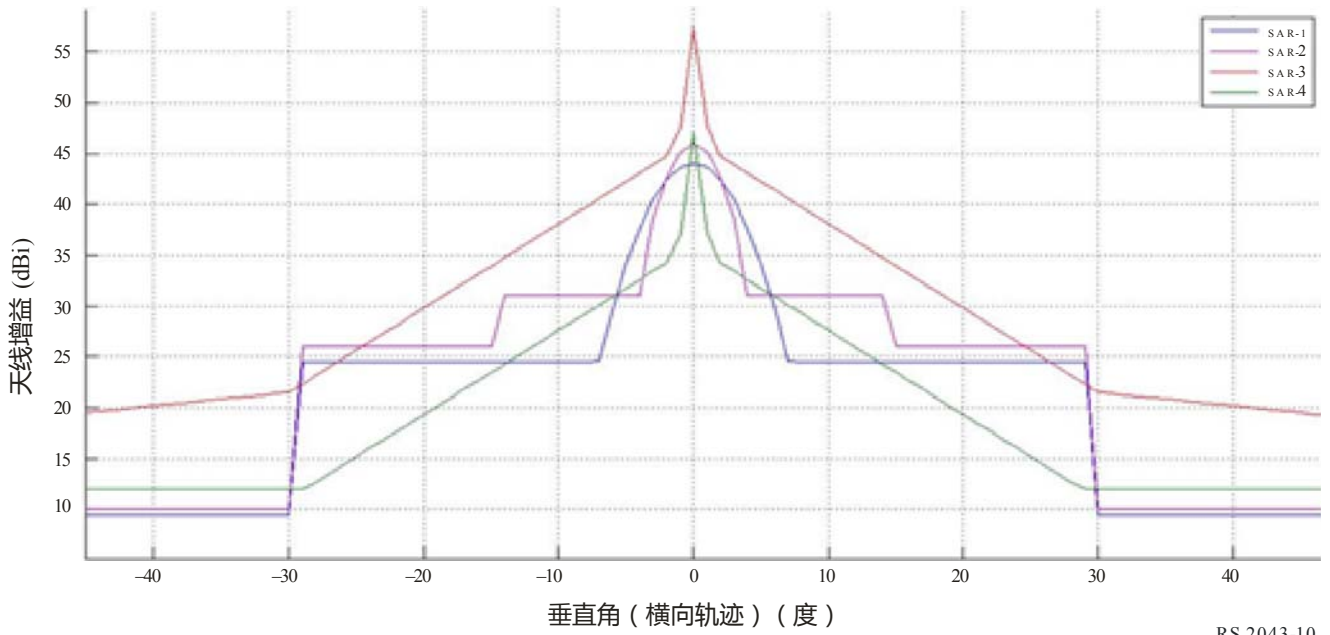
模式	增益 $G(\theta)$ (dBi)是离轴角 θ 的函数 (度)	角度范围 (度)
垂直 (仰角)	$G_v(\theta_v) = 47.0 - 9.91(\theta_v)^2$ $G_v(\theta_v) = 35.189 - 1.944\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 21.043 - 0.468\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 12.562 - 0.185\theta_v$ $G_v(\theta_v) = 3.291$	$\theta_v < 1.149$ $1.149 \leq \theta_v \leq 9.587$ $9.587 \leq \theta_v \leq 29.976$ $29.976 \leq \theta_v \leq 50$ $\theta_v > 50.0$
水平 (方位角)	$G_h(\theta_h) = 0 - 45.53(\theta_h)^2$ $G_h(\theta_h) = -11.210 - 4.022\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -26.720 - 0.953\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -35.031 - 0.388\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -41.936 - 0.158\theta_h$ $G_h(\theta_h) = -51.387$	$\theta_h \leq 0.542$ $0.542 < \theta_h \leq 5.053$ $5.053 < \theta_h \leq 14.708$ $14.708 < \theta_h \leq 30.00$ $30.00 < \theta_h \leq 59.915$ $\theta_h > 59.915$
波束模式	$G(\theta) = G_v(\theta_v) + G_h(\theta_h)$	

图9
纵向天线模式



RS.2043-09

图10
横向天线模式



RS.2043-10

图 11

SAR-4的简化版峰值和复杂平均纵向模式

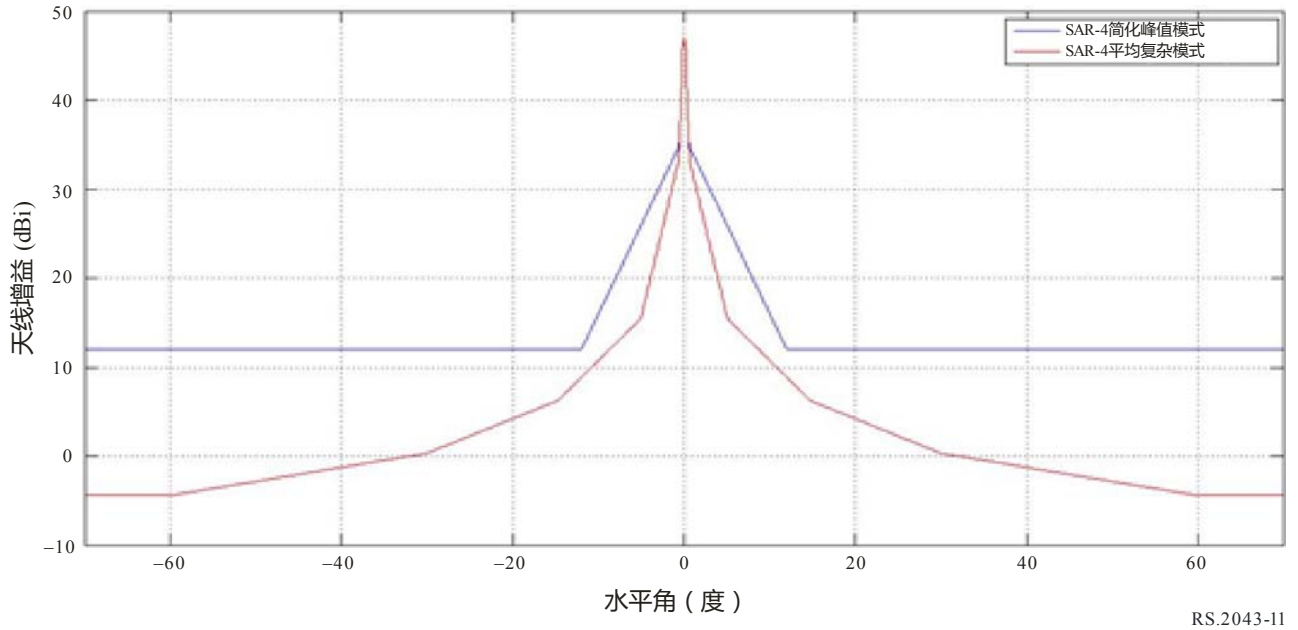


图 12

SAR-4的简化版峰值和复杂平均横向模式

