

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R RS.1165-3建议书

(12/2018)

**403 MHz和1 680 MHz频带内
气象辅助业务系统的技术特性和性能标准**

**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/zh>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/zh>）

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

注：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
2019年，日内瓦

©国际电联2019

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.1165-3建议书

**403 MHz和1 680 MHz频带内
气象辅助业务系统的技术特性和性能标准**

(1995-1997-2006-2018年)

范围

本建议书给出了403 MHz和1 680 MHz频带内气象辅助业务系统的技术特性和性能标准。本建议书覆盖了不同类型的MetAids 业务：无线电探空仪、空投探空仪和火箭探空仪。

相关ITU-R建议书和报告

ITU-R RS.1263-1建议书 – 在400.15-406 MHz和1668.4-1700 MHz频带工作的气象辅助业务的干扰标准

ITU-R P.528建议书 – 使用VHF、UHF和SHF频带的航空移动和无线电导航业务的传播曲线

ITU-R SA.1021建议书 – 确定卫星地球探测业务和卫星气象业务系统性能指标的方法

关键词

MetAids、无线电探空仪、空投探空仪、火箭探空仪

缩略语/术语

AFC	自动频率控制
AXBT	机载抛弃式深度温度仪
FM	调频
GDPS	全球数据处理系统
GFSK	高斯频移键控
GMSK	高斯最小频移键控
GOS	全球观测系统
GTS	全球电信系统
OECD	经济合作与发展组织
PTU	压力、温度和相对湿度
QAM	正交幅度调制
RDF	无线电测向
RNSS	无线电导航卫星业务
RR	《无线电规则》
WMO	世界气象组织

国际电信联盟无线电通信大会，

考虑到

- a) 通过无线电探空仪进行高空气象探测是世界气象组织（WMO）世界气象观测计划的基本组成部分；
- b) 许多国防部门为支持各类业务的运行，还在世界气象观测计划之外部署了无线电探空仪系统；
- c) 许多无线电探空仪系统被用于大气污染情况的本地与区域性监测，并用于跟踪因自然或人为灾难造成的危险排放物的移动轨迹；
- d) 用于气象辅助（MetAids）业务的无线电探空仪具有独特的无线电通信要求；
- e) 在400.15-406 MHz（称为403 MHz频带）和1 668.4-1 700 MHz（称为1 680 MHz频带）工作的MetAids业务无线电探空仪、空投探空仪、火箭探空仪均受到《无线电规则》（RR）第**5.379E**款提出的限制；
- f) 通过气球和火箭升空的MetAids业务无线电探空仪，可与地面或船载台站一起运行，在航空器上部署的空投探空仪由降落伞携带，火箭探空仪被火箭送入大气层；
- g) 无线电探空仪接收与发射的传输性能目标必须与附带的功能要求相一致，并符合与上述系统和满足上述要求所在频带相关的性能限制；
- h) MetAids业务典型系统的性能目标是，为发展必须在频率共用环境下工作的实际系统提供指导性原则；
- i) 具体的系统性能目标可以通过类似ITU-R SA.1021建议书中描述的方法来确定；
- j) 性能目标是确定干扰标准的先决条件；
- k) ITU-R RS.1263建议书为在403 MHz和1 680 MHz频带工作的气象辅助业务制订了干扰标准；
- l) 第**205号决议（WRC-15，修订版）**对在406-406.1 MHz频带工作的卫星移动业务系统保护做出了规定，

建议

- 1** 应将附件1中的技术和操作特性作为403 MHz和1 680 MHz频带气象辅助业务使用的典型技术和操作特性；
- 2** 在制订干扰标准和进行与其他业务共享方面的研究时，应考虑附件1表3中规定的性能标准。

附件1

目录

页码

附件 1.....	3
1 引言	4
1.1 日常气象操作	4
1.2 监测气候变化	5
1.3 其他用户	5
2 无线电探空仪的操作特性	5
3 世界气象组织报告的操作中所使用的射频频谱	6
3.1 世界气象组织调查的结果	6
3.2 西欧和北欧使用的射频频谱	7
3.3 北美和南美使用的射频频谱	7
4 操作要求	8
5 未来的频谱要求	8
5.1 特强高空风力	8
5.2 高度自动化的系统带来的人力资源节约	9
5.3 与无线电探空仪成本相关的问题	9
5.4 独立于国际NAVAID的系统.....	9
5.5 频谱阻塞	10
5.6 当前对频谱效率的改进	10
5.7 检错/纠错	10
6 气象辅助的可用性要求	11
6.1 传播条件	11
6.2 飞行中的关键时段	14
6.3 气象操作无线电探空仪的数据可用性要求	15
6.4 数据可用性要求一览表	18
7 在用的无线电探空仪系统的无线电通信特性	18

7.1	发射机的特性	18
7.2	接收系统	20
8	空投探空仪系统的无线电通信特性	24
8.1	空投探空仪的操作惯例	24
8.2	空投探空仪的系统特性	24
8.3	空投探空仪的未来规划	25
9	火箭探空仪系统的无线电通信特性	26
9.1	火箭探空仪的操作惯例	26
9.2	火箭探空仪的系统特性	26
9.3	火箭探空仪的下降曲线图	27

1 引言

1.1 日常气象操作

气象辅助¹主要用于高度在36 km以下的大气层内，对气象变量（压力、温度、相对湿度、风速和方向）进行高空就位探测。探测对国家的气象预报能力至关重要（因此公共恶劣天气预报服务与保护人民生命财产安全密切相关）。气象辅助和相关的跟踪系统能够在所需的各个高度范围，同时探测温度、相对湿度、风速和方向的垂直构成。这些气象变量在垂直方向上的变化包含了气象预报的大部分关键信息。气象辅助系统是唯一能够定期为气象学家提供其所需四项变量垂直分辨率的气象观测系统。确定某变量发生突变的高度十分重要。因此必须确保在无线电探空仪升空的整个过程中能够持续获得可靠的探测数据。

气象辅助观测结果是通过以下系统获得的：陆地台站或船上发射的升空气球搭载的无线电探空仪，由航空器投放并由降落伞搭载的空投探空仪，由火箭发射到大气层并在数据收集过程中由降落伞搭载的火箭探空仪。几乎所有国家都将无线电探空仪观测作为日常工作，每天要进行二至四次。观测数据将在数小时之内，通过WMO全球电信系统（GTS）立即被传送到所有其他国家。观测系统和数据传播都是在WMO世界气象观测计划的框架下组织进行的。

¹ 本建议书旨在介绍气象辅助（MetAids）业务中无线电探空仪、空投探空仪和火箭探空仪。当讨论涉及全部三种类型的系统时，使用气象辅助这一术语。当讨论仅涉及一个或两个具体类型的系统时，使用具体的系统名称（无线电探空仪、空投探空仪和火箭探空仪）。

无线电探空仪网络为实时就位探测提供了主要的全球性资源。《世界气象组织规则》（全球数据处理系统（GDPS）手册）要求进行无线电探空仪探测，并将探测结果发送到世界各地的国家、区域和全球性GDPS中心，用于数字气象预测。在21世纪前十年，全世界范围内的观测台站水平间隔都小于或等于250 km，且观测的频率为每天一至四次。但是，小范围天气现象（例如，雷暴、局部风力、龙卷风）和紧急环境事故实际需要每隔一至三个小时，便以50至100 km的分辨率进行局部高空观测。需要通过根据国家主管部门需求选定的各观测系统进行观测，其中包括气象辅助探测、风廓线雷达探测和卫星探测。

无线电探空仪对保持WMO全球观测系统（GOS）的稳定至关重要。卫星的遥感探测不具备无线电探空仪的垂直分辨率。成功地从这些卫星探测结果中导出垂直温度结构，通常需要直接根据无线电探空仪的数据或数字气象预报本身进行计算。对于后一种情况，无线电探空仪的探测结果可以确保这些预报的垂直结构能够随时间的变化保持准确和稳定。此外，无线电探空仪的探测结果可通过多种技术手段对卫星观测结果进行校准。因此，在可预见的将来，无线电探空仪对气象操作仍必不可少。

1.2 监测气候变化

在过去20年，大气层的温度和臭氧层在世界范围内都发生了巨大的变化，其许多大的变化都发生在距地球表面12至30 km的范围。对30 km以上高度进行日常的无线电探空仪观测，能够确定已发生的垂直变化的分布，从而能够对变化的原因进行评估。相似高度的臭氧层无线电探测仪探测结果可以确定臭氧层损耗的垂直分布，这些损耗目前出现于南北半球的冬季和春季。许多国家在这些季节至少每周放飞三次臭氧层无线电探测仪，以监视情况的发展。

气候变化的成功取样要求使用具有成熟系统误差特性的无线电探空仪。对高空探测时间序列一致性的要求意味着，新设计的无线电探空仪在投入使用之前，必须在实验室和自由大气层进行几年的高强度测试。

1.3 其他用户

气象辅助系统可由独立于主要民用气象组织的国家研究机构和其他用户部署。具体的调查对象将包括自由大气层中的环境污染、水文、放射性，重大天气现象（如冬天的风暴、飓风、雷暴等）以及对一系列大气物理和化学属性的调查。由于现有自动化技术使移动系统和船载系统的成功运行比过去容易许多，同时也不需大量熟练操作员和支持设备，因此这一用途不会随时间的推移而减少。气象辅助操作必须适合这些用户的要求，从而增加了该操作所需的射频频谱。当这些其他用户的升空发射台在气象组织发射站150 km的范围内时，这一点尤为重要。

2 无线电探空仪的操作特性

尽管许多无线电探空仪的操作通常是按照特定的时间表进行，但是可以根据特殊的操作要求、大气条件或测试要求在白天或夜晚的任何时间实施。为向每日的天气预报提供必要的观测信息，全世界都在使用气象无线电探空仪进行观测。标准观测名义上在协调世界时（UTC）0000和1200进行，但实际的发射时间根据各国惯例不同而异，且在有些情况下至少

比名义时间早三刻钟开始。如果无线电探空仪起飞前的准备工作出现了问题、当地空中管制规则对发射时间提出的限制或在首次起飞时出现了故障，则发射时间也可能推迟两小时。一些国家会在0600和1800 UTC这两个中间时间段进行常规观测。为观测异常天气或应测试的要求，天气观测部门通常会定期使用移动系统从临时站点发射额外的无线电探空仪和空投探空仪。为满足操作需求，对非用于气象观测的发射也做出了规划。

国家气象服务部门根据世界气象组织推荐使用的惯例和获得国际认可的程序，进行无线电探空仪网络的实施和操作。目前，定期提交报告的无线电探空仪数量为650台。一年内大约有500 000台与世界气象组织网络相关的无线电探空仪发射升空，且据估计另有350 000台无线电探空仪被用于国防和专门用途。

3 世界气象组织报告的操作中所使用的射频频谱

3.1 世界气象组织调查的结果

表1中给出了为世界气象组织气象数据交换每日报告信息的、由气象无线电探空仪台站使用的射频估计值。此信息是基于世界气象组织成员正在使用的《无线电探空仪目录》及《高空测风系统》。调查结果以区域划分，以说明世界范围内使用的差异。更多详细信息可从世界气象组织成员使用的《无线电探空仪目录》及《高空测风系统》中获得。频带分割的建议必须考虑到这样一个事实，即国际上为气象辅助划分的主用频带，并不是在所有国家都可用于该业务。例如，在澳大利亚，至少403 MHz频带中的一半目前无法用于气象辅助操作。

世界各地在划分给气象辅助（403和1 680 MHz频带）使用的两个主要频带的用法上存在很大的差异。在1680MHz频带运行的系统已在美国运行，但已被403 MHz系统所取代。1 680 MHz系统主要在日本和中国使用。这些系统向世界气象组织的全球电信系统提供气象数据。在这些国家中，其他用户主要将403 MHz作为非气象操作的频带。在欧洲，403 MHz频带被大量用于支持气象无线电探空仪的操作。俄罗斯和一些有合作协议的国家将1 780 MHz附近的频率用于无线电探空仪操作。使用1 780 MHz的国家应将其操作转移至这两个主要频带之一，以便能够利用现有的商用设备。

表 1

用于日常气象操作的无线电探空仪射频使用概述²

区域	站点的总数	活跃站点总数	静默站点数 ⁽¹⁾	使用400 MHz的活跃站点数	使用1 680 MHz的活跃站点数	使用1 780 MHz的活跃站点数 ⁽²⁾
欧洲和俄罗斯西部	192	154	38	112	28	14
亚洲和俄罗斯东部	471	288	183	95	158	35
非洲	237	60	177	58	2	0
北美洲	277	148	129	58	90	0
南美洲和南极洲	114	86	28	84	0	2
澳大利亚和大洋洲	191	90	101	81	9	0
船载系统	166	70	96	67	3	0
总计	1648	636	752	555	290	51

⁽¹⁾ 静默站点是操作已经暂停，但站点未来可能仍会再次投入运行的站点。

⁽²⁾ 1 780 MHz频带（1 774-1 790 MHz）已在一些国家使用，但《无线电规则》未将其分配给气相辅助业务。

3.2 西欧和北欧使用的射频频谱

在西欧和北欧地区，无线电探空仪网络很稠密，其中包括用于日常气象操作、环境监测和各种国防用途的台站。大部分无线电探空仪在403 MHz频带工作。目前这些无线电探空仪大部分是模拟的，但预计将来会转变为数字通信设备。预计在不久的将来，仍在使用的模拟系统将被数字系统取代。已为欧洲使用的所有数字无线电探空仪制定了涵盖频谱掩膜和传输功率基本要求的协同一致的欧洲标准。模拟无线电探空仪还没有统一的标准，其使用需各国批准。

3.3 北美和南美使用的射频频谱

美国的民用气象服务部门过去是1 680 MHz频带的主要用户，但正在将无线电探空仪操作移至400.15-406 MHz频带。美国的其他用户也使用403 MHz频带。此外，非气象用户还部署了大量403 MHz系统。大学或其他美国机构使用附加系统。

² 表中数据取自世界气象组织2016-05-18的Vol.A《遗产报告》。

4 操作要求

除准确性之外，无线电探空仪设计的主要要求还包括可靠性、强健性、重量轻、体积小和功耗低、有效利用频谱和频率稳定性。由于无线电探空仪通常仅使用一次，因此其设计应确保生产成本很低。传感器校准的易用性和稳定性也是重要的因素。无线电探空仪应至少能够通过200 km范围内的无线电链路提供数据，并能够在 -90°C 至 $+60^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内工作。由于电池的电压会随时间和温度而变化，因此无线电探空仪的设计必须使该设备能够容忍这些变化，并满足精度和射频飘移的要求。相关接地设备不应过于复杂或需要频繁的高技能维护。但宜保持无线电探空仪本身尽量简单，甚至不惜以增加接地设备复杂度为代价，因为后者发生故障更容易修复，且应尽量降低飞行设备的成本。

无线电探空仪全程的升空时间为90至120分钟，在使用降落伞的情况下其下降时间为升空时间的一半。无线电探空仪通常在下降过程中仍在发射。根据系统设计的不同，适于无线电探空仪接收的最大范围在200-350 km。升空速度约为5 m/s，其轨道取决于当时的风力条件。总之，在无线电探测台站四周半径约400至650 km的区域范围内，相同的下行链路频率不能复用。在高密度地区，一台无线电探空仪的有效区内会有十家以上的无线电探空仪运营机构。

西欧和北欧地区的无线电探空仪网密度很大。此外，气象和环境监测部门、各种研究活动以及国防部门都与气象观测部门共享这一频带。为避免在不同无线电探空仪台站之间产生干扰，需要在无线电探空仪运营机构之间进行协调。

5 未来的频谱要求

预计无线电探空仪将继续在403和1 680 MHz频带工作。我们必须认识到，尽管气象辅助在1 668.4-1 700 MHz（大于30 MHz）中有划分，但由于气象辅助与这一频带内的其他无线电业务不兼容，因此这一频带的大部分都无法为气象辅助所用。在世界其他许多地区，只有子频带1 675-1 683 MHz可用于气象辅助操作。下述因素可能会影响到国家对频带使用的选择。

5.1 特强高空风力

根据地理位置不同，高空风力的平均强度也不相同。在日本和西北欧许多海岸地区的地面和距地面16 km的范围内，其平均风力要比北半球其他地区高很多。在西北欧，无线电探空仪操作的情况就更加严峻，因为在冬天的大部分时间里，高纬度16至30 km处的风力通常比低空层更强。所以，须在大大超过150 km范围的基础上，以很低的仰角对无线电探空仪进行定期跟踪。这种强风条件可能会持续几周，且如果上层无线电探空仪数据在这一时间段内无法接收，则会在气候记录中出现巨大的漏洞。

冬季观测对臭氧层损耗调查十分重要，而通过这些条件下使用的载有臭氧传感器的无线电探空仪，尽可能多地获得高空层的信息也至关重要。因此，403 MHz的高层接收对在长时间、高空大风力条件下工作的无线电探空仪是必不可少的。无论使用NAVAID还是主雷达跟踪来测量高空风力，这一条均适用。

因此，对于定期会受到高风速影响的站点，将403 MHz频带用于气象辅助是出于两种原因。首先，403 MHz的传播特性在远距离产生更大的链路可靠性。其次，多径效应在地平线附近的仰角处会限制无线电经纬仪的精确性。因此，在无线电探空仪上使用RNSS接收机对于在这些恶劣条件下进行精确的测风是至关重要的。

5.2 高度自动化的系统带来的人力资源节约

过去，全球许多国家的气象服务部门都是通过加入NAVAID测风系统（主要是Loran-C系统）来获得403 MHz频带的气象辅助服务，从而提高其操作过程中的人力资源效率。在403 MHz频带工作的系统通常更容易操作也更易于维护。NAVAID测风系统无线电探空仪产生的额外成本被提高效率带来的节约所抵消，效率提高表现在单人操作、地面系统维护减少等方面。

但是，目前也在生产同时能在1 680 MHz 频带工作的GPS无线电探空仪。这些无线电探空仪提供的部分优势，以前只能从在403 MHz工作的、基于NAVAID系统的无线电探空仪处获得。传统的地面NAVAID系统，例如LORAN-C，已于1997至2001年在世界大部分地区停止使用。从长期看，如果GPS无线电探空仪的成本比过去的NAVAID无线电探空仪的成本高出许多，目前使用403 MHz系统的一些国家，可能重新恢复使用1 680 MHz的无线电经纬仪。在LORAN-C将继续运行的地区，LORAN-C无线电探空仪会继续得到使用。

5.3 与无线电探空仪成本相关的问题

在全球网络中使用无线电探空仪进行观测的最大限制就是成本。对于经济合作发展组织（OECD）的成员国来说，无线电探空仪的成本占无线电探空仪观测总成本的四分之一。成本结构在发展中国家则大不相同，在这些国家中，无线电探空仪的成本是最为重要的因素。鉴于气象数据的要求是全球性的，有些发达国家为确保高空观测的连续性，向一些发展中国家捐赠了系统和无线电探空仪的某些部分。因此有必要将无线电探空仪的价格尽量压低，以确保对气象学至关重要的观测连续性，包括与保护生命相关的各个方面。在无线电探空仪的总成本中，传感器和测风装置占很大比重，因此要有意识地尽量简化发射机的设计，从而将总价压低。发射机的成本约占目前无线电探空仪电子设备成本的15-35%。

1 680 MHz频带适用于大风出现频率低的国家和/或对使用403 MHz气象辅助频带基于RNSS的无线电探空仪成本有所担心的国家。1 680 MHz频带能够提供无线电测向测风的能力，而不必使用高成本的GPS无线电探空仪。使用无线电经纬仪或一次雷达的气象操作无线电探空仪是最基本的设计，其单位成本最低。尽管购买更为复杂的地面台站会使初期成本上升，但在采购了大量无线电探空仪后且人力资源成本所占比例不大时，可能会节约年度运营成本。

5.4 独立于国际NAVAID的系统

有些国家为能够独立于国际NAVAID系统工作的高空探测系统制定了国家规定。国际NAVAID系统在紧急情况下不一定可用。此时，1 680 MHz频带的无线电经纬仪或403 MHz频带的一次雷达均为可用方案。

5.5 频谱阻塞

在世界某些地区，单一频带可能无法满足气象辅助业务用户对频谱的需求。在这些地区将使用两条频带，为气象操作、国防工作、大气层研究和其他应用提供充足的频谱。无线电探空仪设计的最新进展使无线电探空仪的工作带宽减少了10倍或更多，从而缓解了阻塞问题。

5.6 当前对频谱效率的改进

提高无线电探空仪频谱效率的方法之一就是使用数字遥测技术。此类系统的优点主要在于所占带宽低，从而允许无线电探空仪同时使用更多的频谱。为数字无线电探空仪（表4中的类型B）引入的ETSI标准规定，占用带宽为200 kHz的频率漂移范围不应超过 ± 20 kHz。较新的无线电探空仪更进一步改进了这些技术规范，将频率漂移降低到了 ± 5 kHz以下。在一些设计中，频率漂移降低到了 ± 2 kHz，占用的带宽降低到了12 kHz。

有些国家继续使用LORAN-C作为测风的方法，因为这种方法的成本比使用RNSS要低。由于LORAN-C无线电探空仪的带宽很高，进行极高密度网络的操作（即间距为100 km）将是十分困难的。

世界气象组织鼓励世界上那些将甚宽频带雷达用于测风的地区使用更窄的频带系统，因为这些射频频谱要与其他系统共享。

1 680 MHz的频带系统还未用于间距如此小的网络，且并未要求主要供应商相应地完善发射机的稳定性。因此有可能在世界部分地区提高这一频带（需要大约8 MHz多的带宽）频谱的使用效率，但前提是这些变化的分阶段实施不会造成无线电探空仪成本的大幅上升。

频带分割的任何建议都必须考虑到这样一个事实，即国际上为气象辅助划分的主用频带，并不是在所有国家都可用于该业务。例如，在澳大利亚，至少403 MHz频带的一半目前无法用于气象辅助操作。

5.7 检错/纠错

通过提高频率稳定性、误码率（BER）性能和降低发射功率，提高了数字元天线系统的频谱效率。改善误码率性能的方法之一就是使用前向纠错（FEC）。编码过程中，在发射机的数据内加入一些比特，用于在接收时检测错误；例如分组编码、更具体的讲，里德-所罗门（RS）编码。RS编码被广泛地用于当今的数字通信，例如在光盘、移动和卫星通信中的应用。比特纠错码能够改善遥测链路的性能。

RS码用 $RS(n, k)$ 的形式表示，其中 n 为码字的长度， k 为数据字符的数量。编码器用 s 比特中的 k 个数据字符，并加入奇偶性字符，从而得出码字的长度 n 。其中有 s 比特的 $n - k$ 个奇偶性字符。总之，最大码字长度可以通过 $n = 2^s - 1$ 来计算。RS解码器最多可以更正码字中 t 个有差错的字符，其中 $2t = n - k$ 。使用RS编码可以将链路性能提高5 dB左右。

6 气象辅助的可用性要求

除无线电探空仪故障或气球提前爆裂之外，无线电链路不可用是数据不可用的主要原因，这可能会造成重复探测。无线电链路可用性下降有两个主要原因，即传播条件和干扰。

电信系统不可用的情况在整个操作过程中是统计上分散的，与此不同的是，无线电探空仪系统的不可用情况主要集中于测量的末段，即当无线电探空仪处于距地最高点时，且此时通常探空仪与接收机之间的倾距最大。

无线电探空仪的链路预算大部分由无线电探空仪与接收机之间的距离来控制，且该距离通常随高度的增加而上升。由任何原因引起的无线电探空仪链路可用性的降低（例如，干扰），主要会影响大高度的测量结果，而这些测量结果是收集数据中的关键部分（会因传输中无冗余备份而丢失），因此会限制无线电探空仪的实际工作范围。

无线电探空仪系统对大气压力、温度和相对湿度（PTU）进行就位测量。通过NAVAID或无线电测向（RDF）测出接收天线的方位角和倾角，便可确定风速和风向。

对于1 680 MHz的频带，无线电探空仪信号丢失10 s以上通常会造成地面接收机丢失跟踪目标。轨迹丢失的无线电探空仪很少能被重新捕获，因此即使干扰信号消失，此次飞行的所有信息也会丢失。无线电接收机将跟踪瞬时带宽（1.3 MHz）中最强的振幅信号。

6.1 传播条件

ITU-R P.528建议书与“使用甚高频（VHF）、特高频（UHF和）超高频（SHF）频带从事航空移动和无线电导航业务的传播曲线”相关。特别是300和1 200 MHz传播条件与403和1 680 MHz频带现场测试的对比结果比较令人满意。

在下述假设的基础上，根据无线电探空仪的具体情况，图1和图2对ITU-R P.528建议书传输损耗曲线做了推断：

- 时间可用性为97%（根据ITU-R P.618建议书公式，从ITU-R P.528建议书中95%的可用性推出）；
- 大陆性温带气候；
- 最大倾斜路径距离为300 km；
- 与天线高度方案A、C和E相应的接收天线为15 m，且发射天线的高度分别为1 000、10 000和20 000 m；
- 考虑到与ITU-R P.528建议书中描述频率的差异，403 MHz和1 680 MHz频带分别存在2.6和2.9 dB的额外衰减。

图1

403 MHz频带97%时间内的传输损耗

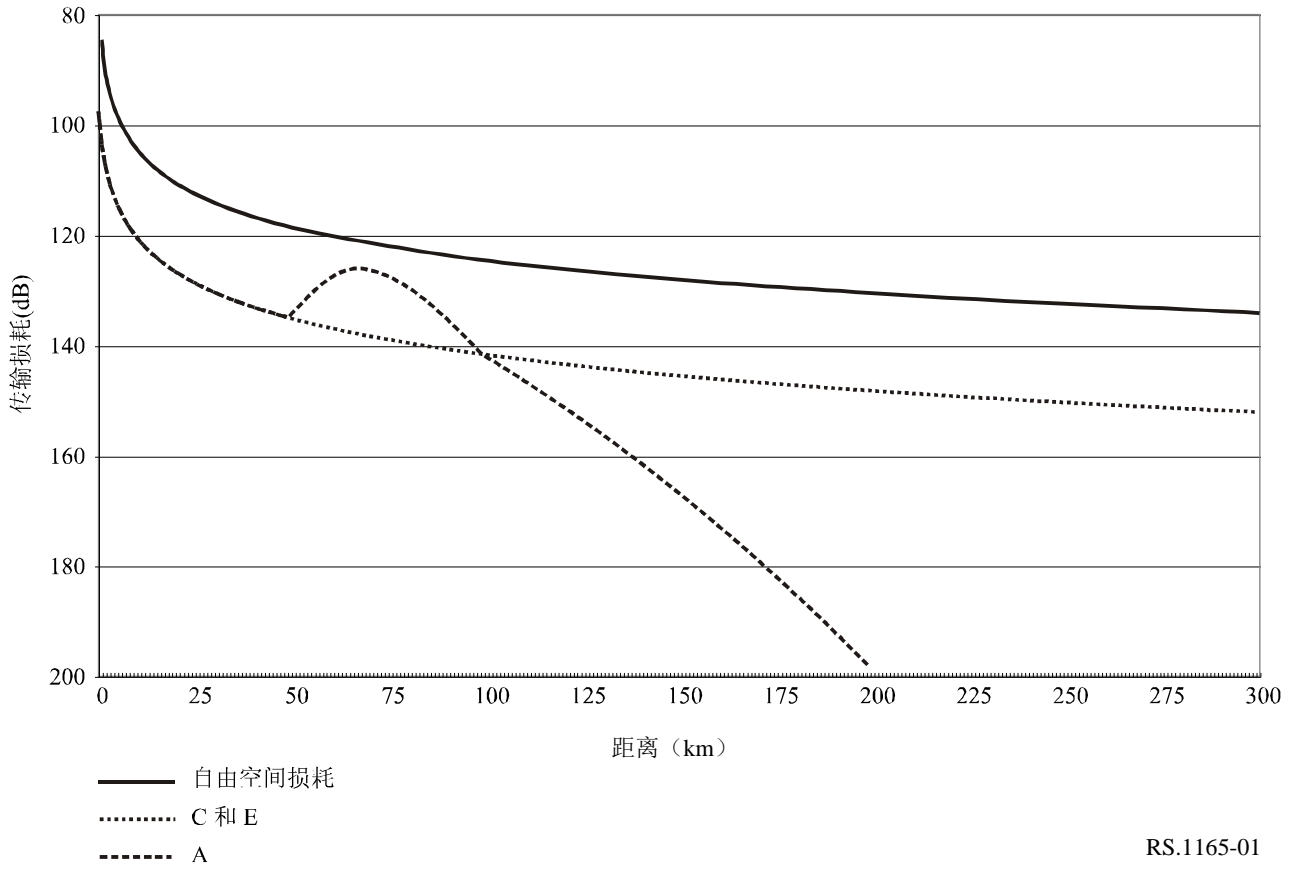
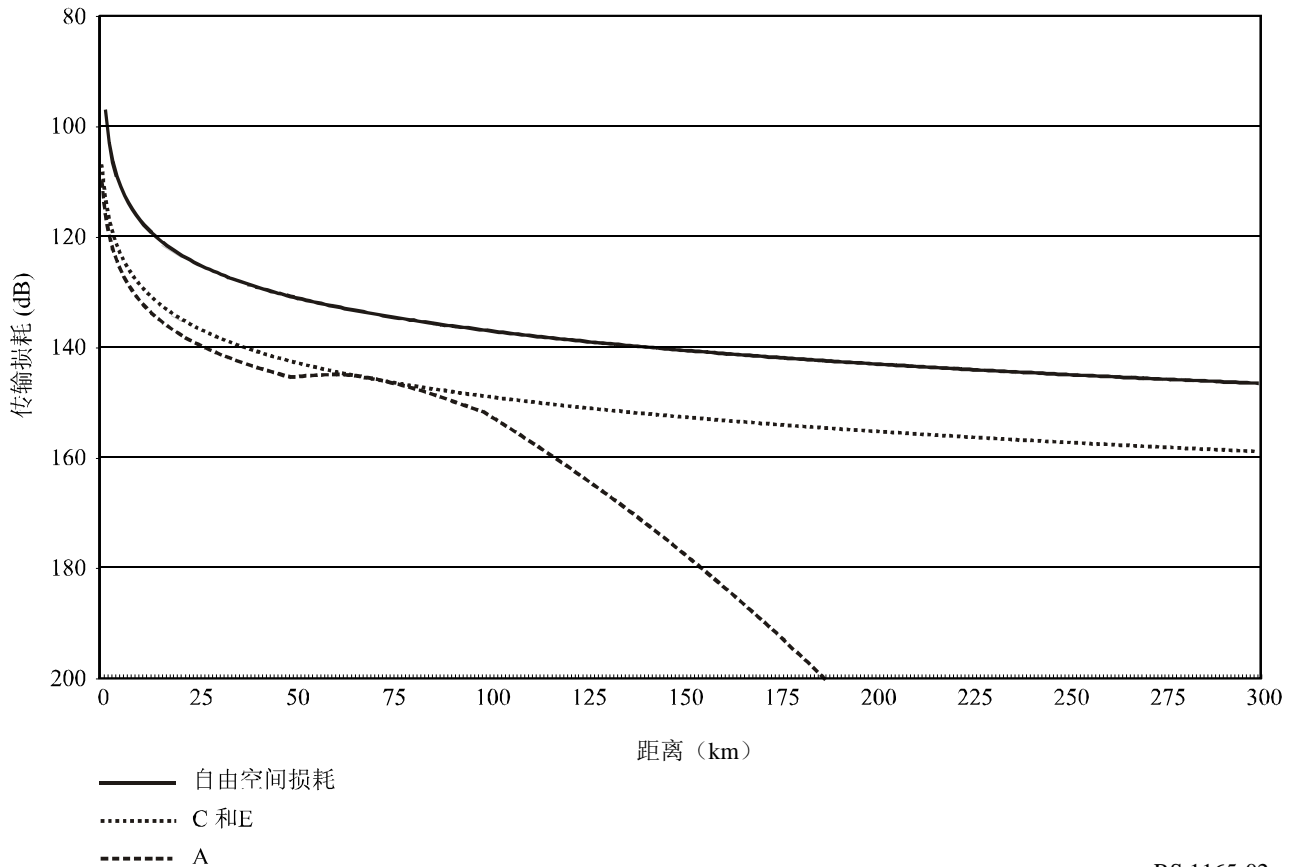


图2

1 680 MHz频带97%时间内的传输损耗



RS.1165-02

在这些曲线中我们注意到，在表示无线电探空仪操作的距离范围内，曲线C和E是相似的。另外，对与高度为1 000 m的无线电探空仪相对应的曲线A，50 km（大约）以下的传输损耗相似，而在更高的高度，却出现了明显的变化。但是，很可能在1 000 m的高度时，无线电探空仪的倾斜路径距离低于50 km，这意味着对于两个频带来说，与此无线电探空仪高度相关的传播曲线与用于更大高度的曲线相似，如蓝色曲线所示。

在此基础上，图3和图4为无线电探空仪操作达到95%的可用性留出了必要的余量，该数值所示为自由空间损耗曲线与传输损耗曲线之间的差。

图3

403 MHz频带97%的时间留出的必要余量

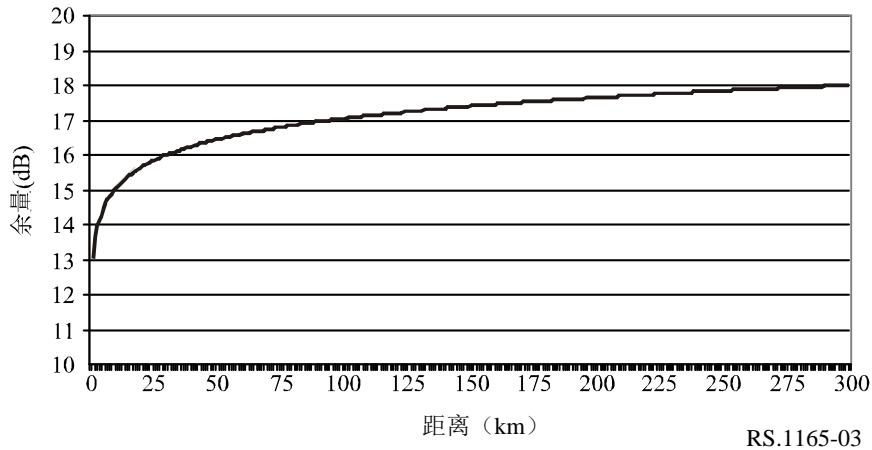
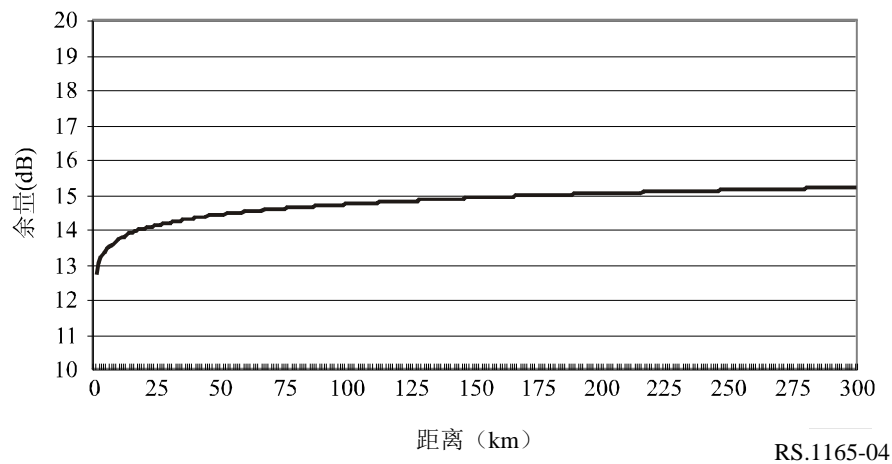


图4

1 680 MHz频带97%的时间留出的必要余量

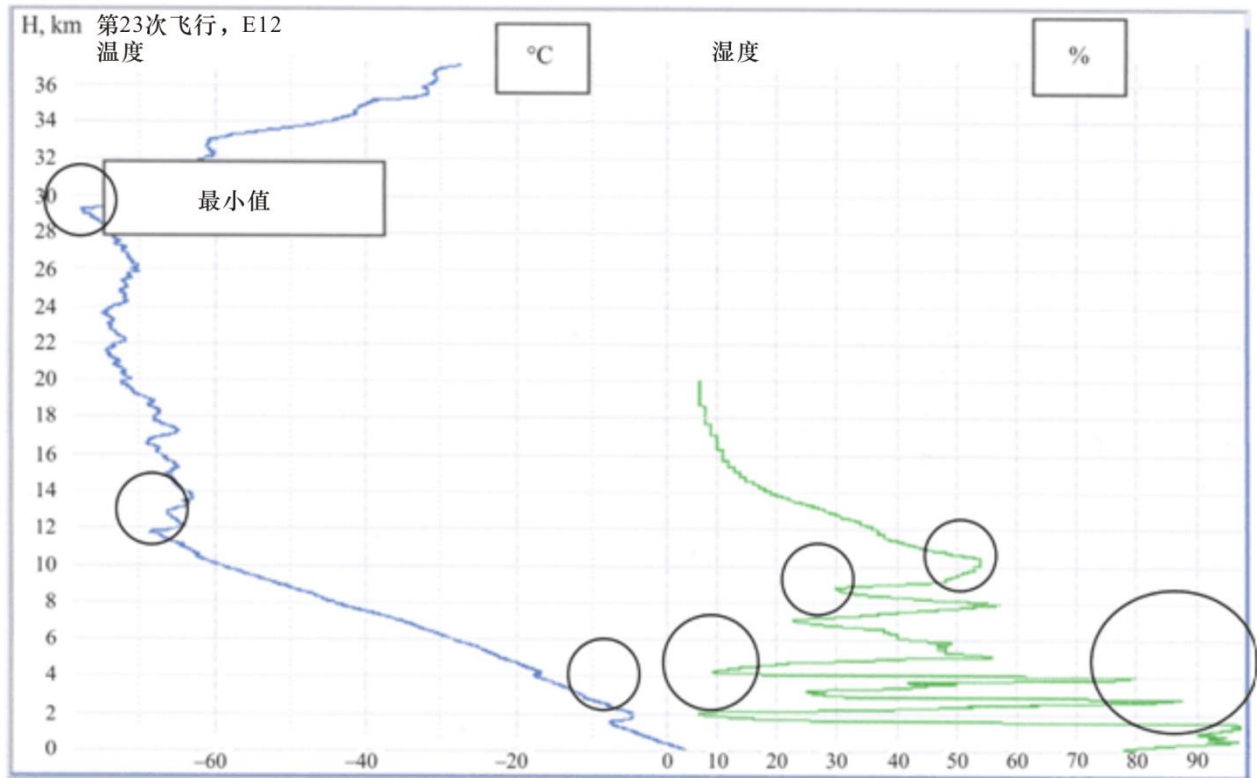


6.2 飞行中的关键时段

通常在所有无线电探空仪的飞行过程中都存在关键时段，这些时段的数据比其他时段的数据重要。但这些时间段无法用时间和高度来描述。图5中的实例摘自《世界气象组织/国际电联手册 – 气象学中无线电频谱的使用》（2002年版）。图中绘出了温度曲线以及无线电探空仪飞行中的湿度。整个飞行过程中的数据接收很重要，但因温度、湿度或风所产生的突然变化而造成的数据损失（如图5中的圆圈所示），也会对预报能力产生巨大影响，因为我们无法精确地确定这一特殊过渡点。对于干扰研究，必须假设所有数据曲线图具有同等的重要性。

图5

无线电探空仪温度和湿度分布的示例图



RS.1165-05

6.3 气象操作无线电探空仪的数据可用性要求

即使在气象网络内部，数据可用性要求也不相同。其他独立的气象业务可能会有不同的要求，但本建议书已经确定了四种不同的类别。第一类包括所有在403 MHz频带工作的无线电探空仪系统，在第7节中以系统A和B表示。第二类是在403 MHz频带工作的较新的数字无线电探空仪系统，第7节中以系统C表示。第三类是在1 680 MHz频带工作的较老旧的无线电探空仪系统。第7节中的系统C和D属于此类。第四类是正在1 680 MHz频带部署的新系统，第7节中的系统E属于这一类别。

6.3.1 在403 MHz频带工作的无线电探空仪系统

对在403 MHz频带工作的不同系统的要求也有所不同。

对在403 MHz频带工作的模拟无线电探空仪而言，丢失压力、温度、湿度和测风数据的最长可接受时间为4分钟。在数据丢失的时段内，无线电探空仪处理系统将插入数值。一旦数据丢失的时间超过4分钟，这些数据就会被视为丢失，且这些时间段的数据不会被用于任何产品。假设整个飞行时间为120分钟，则4分钟的不可用时间可折合为97%的所需链路可用性。该系统还有另外一种标准，即如果RNSS测风数据丢失的时间超过了30分钟，就可能安排发射新的系统升空。在整个飞行过程中所有层面的数据可用性都具有同等的重要性。在对大约65 000次飞行的无线电探空仪数据进行取样检查后，压力、温度、湿度和测风数据的可用性为98.5%。

对于在403 MHz频带工作的数字无线电探空仪，数据可用性要求如下：

- 在无线电探空仪发射时不允许丢失任何数据 (<100 m)；
- 对于风速数据：
 - 地面上空100 m至3 km的范围，数据可用性必须至少达到97%；
 - 3 km至飞行结束时，数据可用性必须至少达到95%；
- 在120分钟的飞行过程中，压力、温度、湿度和测风数据的可用性必须至少达到96%；
- 此外，不能允许连续5分钟以上数据丢失。

目前，大部分在403 MHz频带工作的用户正从使用较老旧的模拟无线电探空仪转向使用新型的数字无线电探空仪模型。最后，总而言之，从目前情况看，对在403 MHz频带工作的模拟和数字无线电探空仪系统的数据可用性要求为97%。

6.3.2 在1 680 MHz频带工作的较老式无线电探空仪系统

表2列出了建议用于在1 680 MHz频带工作的较老式无线电探空仪系统链路可用性要求。为实现目标，数据丢失一栏中的所有值都必须得到满足。这些数字并不累加；每种要求都仅适用于特定的时间段。除表2中的要求外，在飞行中的任一时刻，压力或温度数据丢失和/或被拒绝都不得持续三分钟以上。

表2

北美地区使用的无线电探空仪的气象操作性能目标

飞行时间 (分钟)	数据丢失的最大值不能超过探测数据的2% (每个站点，每月) ⁽¹⁾
0-120 (整个飞行)	15分钟 (12.5 %)
0-5	60秒 (20%)
5-15	2分钟 (20%)
15-30	3分钟 (20%)
30-60	6分钟 (20%)
60-120	12分钟 (20%)

⁽¹⁾ 不能满足2%要求的探测被认为是失败的飞行，且如果在发射后的30分钟内确定飞行失败，则需进行第二次发射。升空30分钟后，无法满足这一要求的飞行，会被视为失败的飞行。

上述数据可用性目标适用于因所有原因（干扰、操作员失误、设备故障、无线电探空仪故障和传感器数据差错）而丢失的数据。对后半程的飞行（60-120分钟），最多只能允许丢失20%的数据。此外，不满120分钟的飞行，也会被归入失败之列。包括干扰在内的许多因素都会缩短飞行的长度。干扰通常会造成接收机系统丢失对有用信号的锁定。如果在充分的时间（约为1秒或更短）内未能重新捕获信号，接收机自动频率控制（AFC）功能会将接收机重新微调至另一强度足以锁定接收机的信号。在RDF系统中，RDF天线使这一问题更加严重，因为小天线带宽会跟丢运动的无线电探空仪。对于这一系统，链路丢失0.8秒以上就会导致飞行失败。

6.3.3 在1 680 MHz频带运行的新型系统

近年来在1 680 MHz频带工作的无线电探空仪系统利用更新的技术，提高了的射频特性和无线电探空仪系统的性能。我们需要通过这些改变来提高数据的可用性和准确性，以使其能够用于对丢失过多数据敏感的复杂模式，其样板系统设计的可用性目标为98%。测试表明此系统能够满足可用性要求。与较老式的系统相同，可用性数值适用于各类数据丢失。最多2%的不可用率必须在各类数据丢失之间进行分配，其中包括由衰落和干扰引起的链路故障。

在1 680 MHz频带，无线电探空仪的部署具有其他特性和其他数据可用性要求。世界气象组织确定了两组需要加以考虑的额外的要求。

第一种新要求适用于由E类无线电探空仪和接收系统E组成的无线电探空仪系统。数据可用性的要求如下：

- 在整个120分钟的飞行过程中，以每分钟 300 ± 50 m速度上升的、最终倾距为250 km的所有无线电探空仪，不得丢失总计4分钟以上的气象数据。对因气球爆炸或超出范围而使飞行时间少于120分钟的情况，允许丢失的全部数据应为以分钟计算的实际飞行时间除以120，再乘以本文中对热力学数据或风速和无线电探空仪位置数据规定的最大数据丢失量而得出的比例。
- 此外，就小段数据的丢失而言，系统在任意5分钟的飞行时间内，丢失压力、温度、相对湿度、GPS位置或风速数据的时间不得超过15秒。不能满足上述任何一个条件都将导致飞行失败。

世界气象组织确定的第二项要求适用于一种本建议书中没有提及的系统。这种系统的数据丢失很容易发生在升空的初期，即升至1 km这一阶段（释放后200秒左右），此时在有风条件和不利几何条件下的无线电探空仪运动角速度可能过高，以致在有干扰时无法进行跟踪。这可能会导致边界层测风数据很差或丢失。1 km以上，丢失两个或多个标准等压层（约10-15分钟）被认为是不可接受的数据丢失，并会导致数据处理终止。曲线图中大于20 hPa的间隙应被标为丢失。从实际经验来看，正常情况下，这一系统数据丢失量对遥测和跟踪来讲都是可以忽略的。

对1 068MHz频带的更新型无线电探空仪系统的数据可用性要求为98%。

6.4 数据可用性要求一览表

表3

用于气象辅助业务的系统的性能标准

系统	接收机的位置	最大链路范围 (km)	系统最低信噪比 (S/N) (dB)	整个飞行过程中的数据可用性要求 (%)	短期数据可用性要求
在1 680 MHz工作的RDF无线电探空仪系统	地面	250	12	87.5	见第6.3.2小节
在1 680 MHz工作的RNSS无线电探空仪系统	地面	250	12	97	15秒/5分钟 (95%)
在403 MHz工作的数字无线电探空仪系统	地面	250	12	97	—
在403 MHz工作的数字无线电探空仪w/GPS	地面	250	12	97	—
在403 MHz工作的、有高增益接收天线的NAVAID无线电探空仪系统	地面或船上	250	12	97	—
在403 MHz工作的、有低增益接收天线的NAVAID无线电探空仪系统	地面或船上	150	12	97	—
在403 MHz工作的、有高增益接收天线和数字接收机的NAVAID无线电探空仪系统	地面或船上	250	7	97	—
在403 MHz工作的、有低增益接收天线和数字接收机的NAVAID无线电探空仪系统	地面或船上	250	7	97	—

7 在用的无线电探空仪系统的无线电通信特性

无线电探空仪系统包括无线电探空仪发射机和配备有一台接收机和一架天线的地面接收台站。

7.1 发射机的特性

表4和5中给出了目前在403和1 680 MHz频带内使用的发射机系统的典型特性。

表4

403 MHz频带无线电探空仪发射机的无线电通信特性

参数	类型A (模拟)	类型B (数字)	类型C (数字)	类型D (数字)	类型E (数字)
调谐范围 (MHz)	400.15-406	400.15-406	400.15-406	400.15-405.9900	400.25-405.875
飞行中的最大飘移 (kHz)	±800	±20	±2	±3	±5
额定输出电压 (dBm)	+24.0	+24.0	+18.5	20	18.5
最大天线增益 (dBi)	2	2	2	3	2
ITU-R发射类型	F9D	F7D	F1D	F2D	F1D
调制	FM	GMSK	GFSK	QAM	FSK
占用的带宽 (kHz) (-40 dBc电平)	200	61	27.6	15	28
带外发射 (dBc)	<-43	<-48	<49	<-37	<-48.5

表5

1 680 MHz频带无线电探空仪发射机的无线电通信特性

参数	类型G (模拟)	类型H (模拟)	类型I (数字)
调谐范围 (MHz)	1 668.4-1 700	1 668.4-1 700	1 675-1 683
飞行中的最大飘移 (MHz)	±4	±4	±1
额定输出电压 (dBm)	+24.0	+24.0	+23.8
最大天线增益 (dBi)	2.0	2.0	2.0
最小天线增益 (dBi)	<-10	<-10	-4
调制	AM, 100%	FM	FSK
调制处理机测试单元 (PTU) 信号 (kHz)	0.7-1.0	7-10	N/A
偏离 (kHz)	不适用	45 ± 15	< 50
测风	检测接收角	检测接收角	GPS
占用带宽	-40 dBc: 0.5 MHz -50 dBc: 1.0 MHz	180 kHz	120 kHz
信息速率 (bit/s)	1 200	1 200	2 400
带外发射 (dBc)	<-43	<-43	<-48

7.2 接收系统

7.2.1 403 MHz频带

表6给出了目前在403 MHz频带内使用的接收机的典型特性。表7给出了目前在403 MHz频带内的接收天线的典型特性。

表6
403 MHz频带接收机的特性

参数	系统A	系统B	系统C	系统D	系统E
类型	模拟	数字	数字	数字	数字
频率范围 (MHz)	400.15-406	400.15-406	400-406	400.15-405.99	400.25-405.875
调制	FM	GMSK	GFSK,	QAM	FSK
灵敏度 (所需的 S/N 或 E_b/N_0 的dBm值)	-104	-124	-122	-121	-119
所需的 S/N (dB)	12 ⁽²⁾	12	12 ⁽²⁾	12	12 ⁽²⁾
中频 (IF) 带宽 (kHz)	300	6	11	17	18.8
无线电探空仪的类型	A	B	C	D	E
接收天线类型 ⁽¹⁾	天线2	天线3	天线2	天线3	天线4

⁽¹⁾ 见表7。

⁽²⁾ 0.2数据损耗为12 dB, 0.02线路损耗为7 dB。

表7

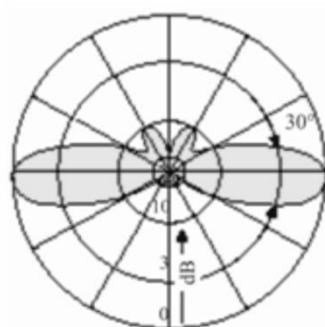
403 MHz频带接收天线的特性

	天线1	天线2	天线3	天线4
类型	全向 (偶极, 水平 极化)	定向角形 反射器, 六角	全向I (偶极)	可操纵的八木 天线
频率范围 (MHz)	397-409	400-406	400-406	400-406
水平增益 (dB)	全向	8	2.15	11
放大器噪声系数 (NF) (dB)	< 3.5	< 2.5	< 3.0	< 4.0
放大器增益 (dB)	13	20	20	38
带通滤波器插入损耗 (dB)	不适用	0.5	0.5	0.5
带通滤波器带宽 (MHz)	不适用	400-406	400-406	400-406

天线1和3是水平全向天线, 因此跟踪无线电探空仪信号不需移动天线或进行元件切换。天线2由一个六角形反射器阵列和一架偶极天线组成。角形反射器和偶极天线通过二极管开关控制, 使能达到最佳接收效果的、最适当的元件能与接收机相连。天线4是安装在可操纵桅杆上的八木天线, 用于跟踪天线方位角。天线4的主瓣高度约为20度。

图6

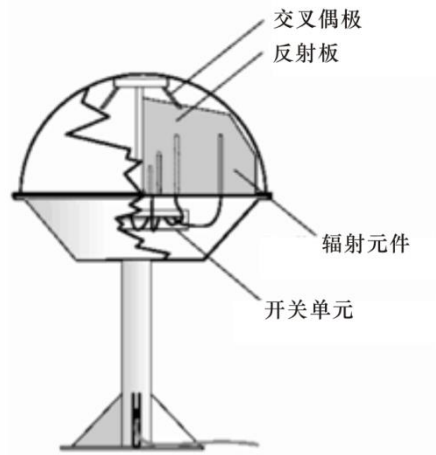
天线3辐射方向图



垂直方向图

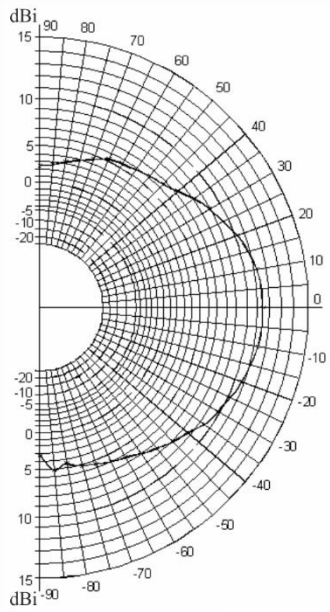
RS.1165-06

图7
天线2示意



RS.1165-07

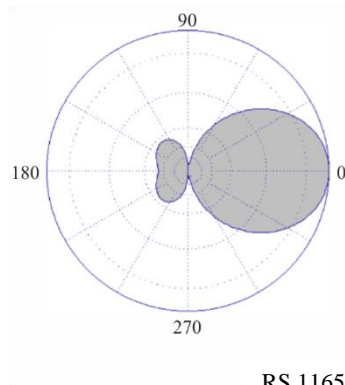
图8
天线2的辐射方向图 (H面, 12度角)



RS.1165-08

图9

天线4辐射方向图



RS.1165-09

7.2.2 1 680 MHz频带

表8给出了目前在1 680 MHz频带内使用的接收系统的典型特性。

表8

1 680 MHz天线和接收系统的特性

	系统G	系统H	系统I
类型	相控阵	锥形扫描	锥形扫描 ⁽¹⁾
频率范围 (MHz)	1 668.4-1 700	1 668.4-1 700	1 668.4-1 700
3 dB (度) 波束宽度 (度)			
(水平)	20	8.8	8.0
(垂直)	15	8.8	8.0
增益 (dBi)	16	28	26
侧辨衰减 (dB)	在平地, 当仰角 > 14°时, 镜面接地 反射方向> 20	视轴方向± 60°间 为15	>20
12 dB S/N的灵敏度 (dBm)	-110	-97	-106.8
自动增益控制 (dB)	110		123
IF带宽、PTU测量 (kHz)	300	180	150
– 跟踪 (MHz)	不适用	1.3	150
与无线电探空仪类型共同 使用 (s)	G	DH	I

⁽¹⁾ 当喇叭天线中旋转反射器围绕天线中线轴旋转主波束时, 系统不使用真正的锥形扫描。此系统在喇叭天线中有四个分立元件, 形成了上、下、左、右四个方向的分立波束, 用于信号电平的比较和跟踪。

8 空投探空仪系统的无线电通信特性

空投探空仪是航空器在高空通过降落伞投放的，用于绘制大气层曲线图的气象传感器元件。虽然这些探空仪也可以用于陆地，但它们主要用于无线电探空仪站无法操作的海域。空投探空仪被广泛地用于监测热带风暴、飓风和台风，因为航空器可以在穿越风暴时在关键点投放这些探空仪。空投探空仪将传感器数据发射至航空器上的接收机。一架航空器最多可同时从八台空投探空仪接收数据，且需要使用多信道接收机系统。

从航空器上投放，并挂在降落伞下降落的空投探空仪会快速地通过大气层。短时间的数据丢失都可能造成很大一部分的大气层数据丢失。虽然上升期的所有数据都很关键，但许多应用都将其他重点放在了空投探空仪落地前的最后数据点。最后数据点描述的是地面条件，这些条件对气象预报应用十分重要。

8.1 空投探空仪的操作惯例

空投探空仪投放的高度在3 000至21 400米之间，并在降落至地面之前受到跟踪。一架投放空投探空仪的航空器可以同时跟踪并从八个空投探空仪接收数据。这使航空器在穿越风暴时能够飞出一个图形，并释放空投探空仪来收集风暴内关键点的数据。空投探空仪使用RNSS接收机来计算风力。空投探空仪处的GPS数据将与测量的压力、温度和湿度数据组合，并一起发送。

空投探空仪最普遍的用途是监视热带风暴、飓风和台风中的条件，并可以在大型风暴远离陆地时就画出大气层的曲线图。这些数据对监视风暴的强度、预测其未来的强度以及对其进行跟踪至关重要。

全球也在使用空投探空仪进行海洋和陆地气象和气候研究。空投探空仪允许在无线电探空仪台站无法部署的地区，迅速部署高密度的传感器组件。使用这些设备则可以根据条件的变化，迅速对网络进行重新配置；而地面无线电探空仪台站无法迅速地对此做出响应。

8.2 空投探空仪的系统特性

空投探空仪系统是为航空器上安装的接收机设计的。1 680 MHz频带工作所需的严格定向天线是不实用的。空投探空仪是为在划分给气象辅助业务的403 MHz频带工作而设计的，该业务可以使用低增益的全向天线。表9和10分别包含空投探空仪发射机和空投探空仪接收机的典型特性。

表9
空投探空仪发射机的特性

参数	类型1
频率范围	400.15-406 MHz
发射机输出功率	21 dBm
天线类型	垂直单极天线
天线增益	水平方向2 dBi
	在顶点和最低点-10
调制	FM (640 BPS FSK 和 1 200 BPS AFSK)
发射带宽	15 kHz
工作高度	从地面至21 400米

表10
空投探空仪接收机的特性

参数	类型1
频率范围 (多信道)	400.15-406 MHz (多信道)
接收机信道数量	8
接收机灵敏度 (用于12 dB的S/N)	-121 dBm
数据接收的最小S/N	12 dB
IF 带宽 (3 dB)	18 kHz
天线类型	全向刀形天线
工作高度	从地面至21 400米

8.3 空投探空仪的未来规划

为提供更高级的应用，正在考虑对目前的空投探空仪进行一些调整。这些应用将能收集额外的数据和在数据收集困难的地区收集数据。

空投探空仪未来的首次改进旨在提高能力，使它在投入海中后发挥机载抛弃式深度温度仪 (AXB T) 的作用。除提供大气条件的曲线图外，AXB T空投探空仪还将提供海洋条件的数据，为气象预报部门提供额外的数据，用于预测模型。

目前也不考虑为飘移气球或无人驾驶飞行器部署的空投探空仪设计应用。这些系统能够在目前数据收集很少或根本没有进行数据收集的海域进行常规的数据收集。

9 火箭探空仪系统的无线电通信特性

航天局和其他用户使用火箭探空仪，他们的数据要求无法满足无线电探空仪或空投探空仪的使用要求。与空投探空仪一样，火箭探空仪系统在大气层中下降时收集大气层数据。与空投探空仪从航空器上投下不同，火箭探空仪被小型固体燃料火箭快速发射升空，并在它借降落伞向地面坠落的过程中收集数据。

9.1 火箭探空仪的操作惯例

用于大气层探测的火箭探空仪是通过小型固体燃料火箭部署的。低高度和大高度火箭探空仪系统均在使用。尽管它在只有其独特的数据性能才能满足数据需要时具有至关重要的作用，但其应用并不广泛。

低高度版本被用于迅速将测量元件部署在约1 000米左右的高度，以便对边界层的条件进行探测。在这一版本中，传感器在远地点被从火箭体内弹出。

大高度版本用于在气球搭载的无线电探空仪无法到达的高度（32 km以上）部署大气层探测器件。发射之后，火箭发动机迅速在低高度（~2 000 m）烧毁，并与投射器分离，再由投射器将火箭探空仪的有效载荷载至远地点（73至125 km）。到达远地点后，火箭探空仪的有效载荷从投射器中弹出，并借降落伞从大气层中坠落。除从火箭探空仪传输气象数据之外，降落伞上还有镀铝的聚脂薄膜（Mylar），以便雷达通过跟踪涂层，对大气层中的风况进行测量。从远地点部署到停止收集数据的14 km处一般用时100分钟。雷达表面跟踪是在无线电测定频带而不是划分给气象辅助业务的频带中进行的。

9.2 火箭探空仪的系统特性

火箭探空仪系统在403 MHz和1 680 MHz频带工作。下述各节描述了在403 MHz和1 680 MHz频带工作的系统的特性。表11包含在403 MHz频带工作的火箭探空仪发射机的特性，表12包含在1 680 MHz频带工作的火箭探空仪发射机的特性。

表11

在403 MHz频带工作的低高度火箭探空仪发射机

参数	类型1
可调谐范围（MHz）	400.15-406
发射机功率（dBm）	15.0
调制	GFSK
最大高度（相对于发射区的高度）（m）	~ 1 000
最大范围（km）	20

与在403 MHz频带工作的火箭探空仪系统一同使用的接收机系统的特性，请参见表6中的系统B。与在403 MHz频带工作的火箭探空仪系统一同使用的天线系统，请参见表7中的天线1。

表12

在1 680 MHz频带工作的火箭探空仪发射机

参数	类型1
可调谐范围 (MHz)	1 680-1 684
发射机功率 (dBm)	26.5
调制	FM
最大高度 (相对于发射区的高度) (km)	82

表13包括在1 680 MHz频带工作的火箭探空仪接收系统特性。

表13

在1 680 MHz频带工作的火箭探空仪天线/接收机

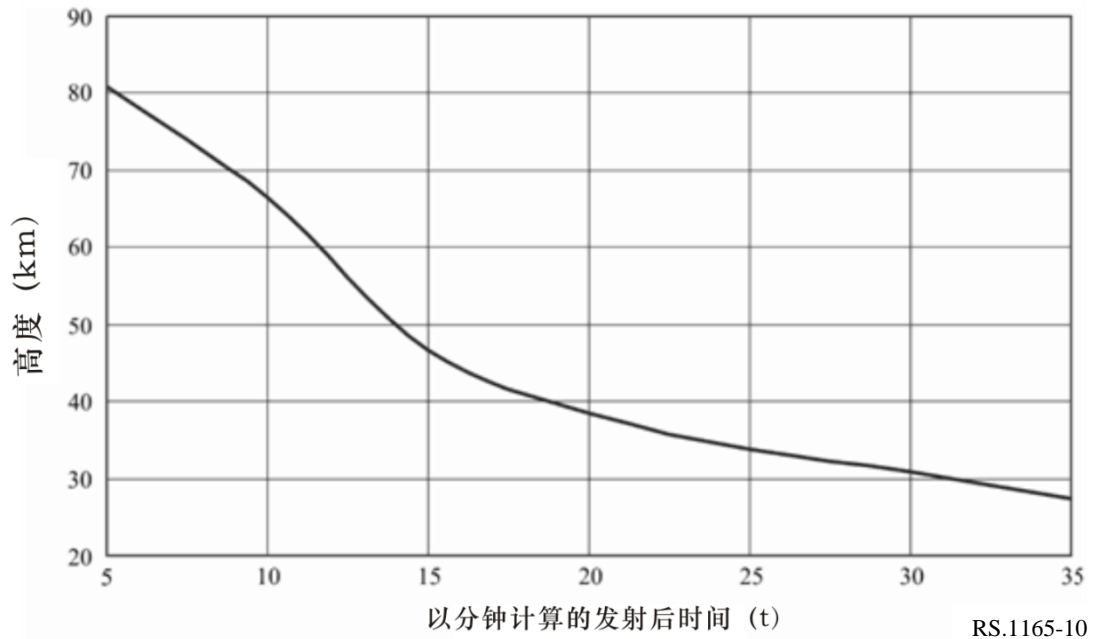
参数	类型1
可调谐范围 (MHz)	1 660-1 700
天线波束宽度 (度)	5.4
天线增益 (dBi)	29
天线极化	右旋圆极化
仰角 (度)	-5 至 95
接收机的噪声值 (dB)	6.4 dB
调制	AM和FM
最大范围 (km)	300

9.3 火箭探空仪的下降曲线图

火箭探空仪的下降是非线性的。下降曲线可能是为确定与其他无线电业务的兼容性而进行的计算或模拟的关键部分。图10和11是大高度火箭探空仪升空/下降的代表性曲线图。

图10

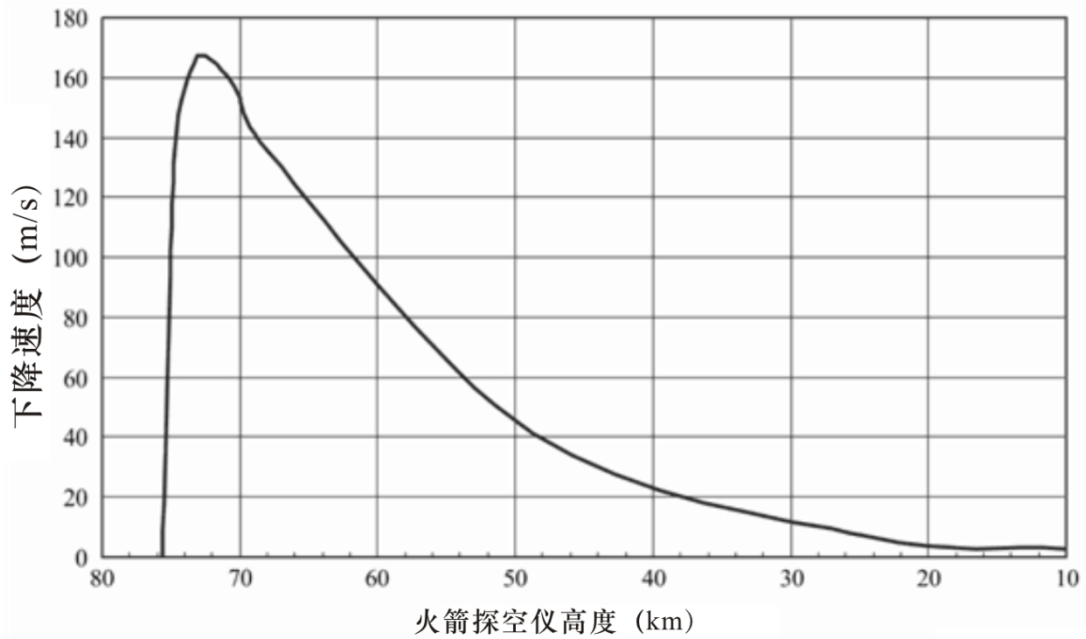
大高度火箭探空仪的下降曲线（时间与高度）



RS.1165-10

图11

大高度火箭探空仪的下降曲线（高度与下降速度）



RS.1165-11