

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R RA.1860 建议书
(01/2010)

**1-3 THz范围内射电天文
测量的优选频段**

**RA系列
射电天文**



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
2010年，日内瓦

© ITU 2010

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 RA.1860建议书

**1-3 THz范围内射电天文
测量的优选频段**

(ITU-R第145/7号课题)

(2010年)

范围

本建议书描述了在1 000至3 000 GHz频率范围的谱线和连续的射电天文观测，并建议主管部门在该频率范围的射电天文观测协调方面提供帮助。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 射电天文学家在越来越高的频率上研究宇宙射电源的无线电发射；
- b) 观测频率通常是由天体物理环境中存在的原子和分子的谱线频率决定的，而这些频率是由自然决定的；
- c) 是否能从地球表面进行观测取决于“窗口”处的大气是否足够透明；
- d) 射电天文学在THz频率上的发展促进了技术，特别是接收技术的进步，并预示着还将取得重要成果；
- e) ITU-R RA.314建议书讨论了1 000 GHz以下对射电天文业务有重要意义的频段；
- f) ITU-R RA.1630建议书探讨了10 THz至1 000 THz之间频率在天文学上的应用；
- g) 射电天文业务对1 000-3 000 GHz范围的使用引起越来越广泛的关注；
- h) 国际天文学联合会（IAU）负责维护和更新高达3 000 GHz的频率上对射电天文学至关重要的谱线列表；
- j) 应考虑到由于宇宙射电源和观测者的相对位移导致的谱线的多普勒频移；
- k) 射电天文学家还有必要在1 000 GHz以上频率进行连续观测，而用于此类地面观测的频段是由衰减较低的大气窗口决定的；
- l) 空间研究业务（无源）中使用空间电台的射电望远镜可以观测整个无线电频谱，包括由于大气吸收而无法从地球观测到的频谱；

m) 《频率划分表》对275 GHz以下频段的射电天文业务给予了保护，《无线电规则》(RR)第5.565款对275至1 000 GHz频段的射电天文业务给予了保护，

建议

1 主管部门在1 000 GHz至3 000 GHz频段射电天文观测协调方面给予帮助，特别是表1（空间观测）和表3（地面观测）中列出的观测项目。

附件1

1 有天文学意义的谱线

表1列出了各种具有天体物理学意义的分子发射的谱线的非多普勒偏移（“静止”）频率。根据宇宙射电源靠近或远离观测者的径向移动观测到的典型多普勒频偏，提供了静止频率中可以进行谱线观测的大体频率范围。表中使用了假设的多普勒范围 ± 300 km/s。表1列出的范围是建议的最小频段。

应当指出，由于射电天文观测的灵敏度高，从河外天体观测到若干高达 $z \sim 6$ 或更高（此处 z 表示“红移”，由 $z = (\lambda_{obs} - \lambda_0) / \lambda_0$ 定义，其中 λ_{obs} 是观测到的波长， λ_0 是非多普勒频移波长）的谱线。因此，需注意较大红移的谱线观测。

表1的源数据已于2009年经国际天文学联合会（IAU）大会批准，是从对银河系富含分子的两个区域方向的亚毫米谱线发射进行的观测研究^{1,2}；从喷气推进实验室（JPL）分子光谱数据库³；以及德国科隆大学负责维护的网上分子谱线目录（科隆分子光谱数据库）⁴中推导出来的。

2 大气吸收

对于毫米和亚毫米波长，地面观测的一个重要因素是大气使无线电信号衰减的程度。在1 000-3 000 GHz频率范围，信号衰减的主要原因是水汽吸收，还有就是氧、氮和臭氧的吸收。

¹ POLEHAMPTON, E. T. 等[2007年]红外空间天文台（ISO）长波红外摄谱仪（LWS）针对人马座B2*的高分辨率光谱观测。《皇家天文学会月报》（*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*）（*MNRAS*），第377卷，第1122页。

² LERATE, M. R.等[2006年]对猎户座KL区域进行的远红外分子和原子谱线观测。《皇家天文学会月报》（*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*）（*MNRAS*），第370卷，第597页。

³ <http://spec.jpl.nasa.gov/>。

⁴ <http://www.astro.uni-koeln.de/cdms/>。

对于地面观测站，大气衰减降低了观测到的宇宙射电源发射的信号电平，而增加接收到的信号的热噪声。基于这个原因，毫米波和亚毫米波射电天文台都设在海拔高且干燥的地点。尽管优化了观测位置，但1 000-3 000 GHz范围某些部分的衰减程度很高，因此除几个“窗口”外，这一谱区的多项观测任务只能从太空进行。表1记录了在建议的最小频段内由于较高的大气衰减而只能从太空观测到的谱线。

图1是在良好的天文观测点观测的1 000-3 000 GHz频率范围垂直路径上大气的透射率示例（即通过大气层沿最短视线垂直向上看）。数据是利用 am 大气模型进行计算⁵，假设所需的资料如下⁶：

- 观测点位置：塞罗Sairecabur，智利查南托（Chajnantor）阿塔卡玛大型毫米波/亚毫米波天线阵（ALMA）北-西北约35公里处。
- 海拔：5 525 m。
- 地面气压：532 mbar。
- 地面气温：285 K。
- 大气压/温度曲线：基于1998-2002年间在该地区超过187个无线电探空仪获得的数据。臭氧的高度分布曲线的依据是同一时期美国国家航空航天局（NASA）臭氧探空仪在厄瓜多尔加拉帕戈斯群岛上空采集的数据。
- 可降水（PWV）总含量：0.25 mm。根据扩展测量活动得到的数据确定，约25%的时间内该点的PWV约等于或小于该值。

计算出的透射率曲线与在该观测点通过傅立叶变换光谱仪（FTS）测量得到的大气亮度温度吻合。

表2列出了图2大气透射率超过20%、10%、5%和1%的频率范围（图2是表2中数据的图形表示）。由于大气吸收，较低的透射率将减弱从宇宙射电源接收的信号强度，而由于大气的热发射，将增加射电天文系统的噪声温度。因此，虽然可在透射率低至5%或更低时对相对较强的宇宙发射进行有用的地面观测，但对于地面射电天文测量，较大的透射率是非常有利的。

⁵ 见<http://www.cfa.harvard.edu/~spaine/am/>（2008年6月查询）。

⁶ 具体来说，计算中采用了PAINE, S. [2004年]《 am 大气模型》例4的Sairecabur曲线。次毫米波阵列技术备忘录#152（第三次修订版）。见http://sma-www.harvard.edu/private/memos/tech_no.html（2008年6月查询）。

表1

1 000至3 000 GHz频率范围内最具天体物理学意义的谱线

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 003.278	1 002.274	1 004.281	G	1 002.274	1 004.281
重水(HDO)	1 009.945	1 008.935	1 010.955	G	1 008.935	1 010.955
氨离子(Azanylidenium) (NH ⁺)	1 012.524	1 011.511	1 013.537	G	1 011.511	1 013.537
一硫化碳(CS)	1 027.314	1 026.287	1 028.341	G	1 026.287	1 028.341
氢氧根离子(Hydroxylum) (OH ⁺)	1 033.119	1 032.085	1 034.152	G	1 032.085	1 034.152
一氧化碳(CO)	1 036.912	1 035.875	1 037.949	G	1 035.875	1 037.949
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 062.983	1 061.920	1 064.046		1 061.920	1 064.046
甲酰基离子(Formylum)(HCO ⁺)	1 069.694	1 068.624	1 070.764		1 068.624	1 070.764
一硫化碳(CS)	1 076.078	1 075.002	1 077.154		1 075.002	1 077.154
氢硫基离子(Sulphydrylium) (SH ⁺)	1 082.909	1 081.826	1 083.993		1 081.826	1 083.993
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 095.627	1 094.532	1 096.723		1 094.532	1 098.462
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 097.163	1 096.066	1 098.260			
水汽(H ₂ O)	1 097.365	1 096.267	1 098.462			
一氧化碳(¹³ CO)	1 101.350	1 100.248	1 102.451		1 100.248	1 102.800
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 101.698	1 100.597	1 102.800			
水汽(H ₂ O)	1 113.343	1 112.230	1 114.456		1 112.230	1 116.175
水基阳离子(Water cation) (H ₂ O ⁺)	1 115.059	1 113.943	1 116.175			
一硫化碳(CS)	1 124.820	1 123.696	1 125.945		1 123.696	1 125.945
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 136.704	1 135.567	1 137.840		1 135.567	1 137.840
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 151.452	1 150.301	1 152.603		1 150.301	1 154.280
一氧化碳(CO)	1 151.985	1 150.833	1 153.137			
水汽(H ₂ O)	1 153.127	1 151.974	1 154.280			
水汽(H ₂ O)	1 158.324	1 157.165	1 159.482		1 157.165	1 159.886
甲酰基离子(Formylum) (HCO ⁺)	1 158.727	1 157.568	1 159.886			
重水(HDO)	1 161.953	1 160.791	1 163.115		1 160.791	1 165.935
水汽(H ₂ O)	1 162.912	1 161.749	1 164.075			
重水(HDO)	1 164.770	1 163.605	1 165.935			

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
氨(NH ₃)	1 168.452	1 167.283	1 169.620		1 167.283	1 169.620
一硫化碳(CS)	1 173.539	1 172.366	1 174.713		1 172.366	1 174.713
重水(HDO)	1 180.324	1 179.143	1 181.504		1 179.143	1 182.575
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 181.394	1 180.213	1 182.575			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 188.863	1 187.674	1 190.052		1 187.674	1 190.052
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 199.006	1 197.807	1 200.205		1 197.807	1 200.205
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 206.725	1 205.519	1 207.932		1 205.519	1 208.846
水汽(H ₂ O)	1 207.639	1 206.431	1 208.846			
一氧化碳(¹³ CO)	1 211.330	1 210.118	1 212.541		1 210.118	1 212.541
氨(NH ₃)	1 214.859	1 213.644	1 216.073		1 213.644	1 218.476
氨(NH ₃)	1 215.245	1 214.030	1 216.460			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 216.850	1 215.634	1 218.067			
重水(HDO)	1 217.258	1 216.041	1 218.476			
一硫化碳(CS)	1 222.234	1 221.012	1 223.456		1 221.012	1 223.456
水汽(H ₂ O)	1 228.789	1 227.560	1 230.018		1 227.560	1 231.633
重水(HDO)	1 230.403	1 229.173	1 231.633			
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 239.895	1 238.655	1 241.134		1 238.655	1 241.134
甲酰基离子(Formylium)(HCO ⁺)	1 247.735	1 246.487	1 248.982		1 246.487	1 248.982
重水(HDO)	1 259.072	1 257.813	1 260.331	G	1 257.813	1 262.731
重水(HDO)	1 261.469	1 260.208	1 262.731	G		
一氧化碳(CO)	1 267.014	1 265.747	1 268.282	G	1 265.747	1 268.310
重水(HDO)	1 267.043	1 265.776	1 268.310	G		
一硫化碳(CS)	1 270.903	1 269.632	1 272.174	G	1 269.632	1 272.174
重水(HDO)	1 277.676	1 276.398	1 278.954	G	1 276.398	1 278.954
重水(HDO)	1 291.642	1 290.351	1 292.934	G	1 290.351	1 294.666
重水(HDO)	1 293.372	1 292.079	1 294.666	G		
重水(HDO)	1 297.805	1 296.507	1 299.103	G	1 296.507	1 299.103

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 316.244	1 314.928	1 317.560	G	1 314.928	1 317.560
一硫化碳(CS)	1 319.545	1 318.226	1 320.865		1 318.226	1 323.387
一氧化碳(¹³ CO)	1 321.266	1 319.944	1 322.587			
水汽(H ₂ O)	1 322.065	1 320.743	1 323.387			
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 328.308	1 326.980	1 329.637	G	1 326.980	1 329.637
甲酰基离子(Formylium) (HCO ⁺)	1 336.714	1 335.378	1 338.051	G	1 335.378	1 338.051
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 340.739	1 339.398	1 342.080	G	1 339.398	1 342.080
重水(HDO)	1 353.777	1 352.423	1 355.130	G	1 352.423	1 355.130
一硫化碳(CS)	1 368.160	1 366.792	1 369.528	G	1 366.792	1 371.455
氚取代的 H ₃ 离子(Trihydrogen)(H ₂ D ⁺)	1 370.085	1 368.715	1 371.455	G		
一氧化碳(CO)	1 381.995	1 380.613	1 383.377	G	1 380.613	1 383.377
重水(HDO)	1 385.216	1 383.831	1 386.601		1 383.831	1 386.601
重水(HDO)	1 392.919	1 391.526	1 394.312		1 391.526	1 394.312
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 402.966	1 401.563	1 404.369		1 401.563	1 404.369
水汽(H ₂ O)	1 410.618	1 409.207	1 412.029		1 409.207	1 412.029
氰化氢(HCN)	1 416.691	1 415.275	1 418.108		1 415.275	1 418.162
一硫化碳(CS)	1 416.745	1 415.329	1 418.162			
甲酰基离子(Formylium)(HCO ⁺)	1 425.664	1 424.238	1 427.090		1 424.238	1 427.141
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 425.715	1 424.289	1 427.141			
一氧化碳(¹³ CO)	1 431.153	1 429.722	1 432.584		1 429.722	1 434.310
重水(HDO)	1 432.877	1 431.444	1 434.310			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 438.649	1 437.210	1 440.087		1 437.210	1 442.222
水汽(H ₂ O)	1 440.782	1 439.341	1 442.222			
重水(HDO)	1 444.829	1 443.384	1 446.274	G	1 443.384	1 448.460
氢硫基(Sulfhydryl) (SH)	1 447.012	1 445.564	1 448.460	G		
氮离子(Nitrogen ion)(N II)	1 461.130	1 459.669	1 462.591	G	1 459.669	1 462.591
Trihydrogen (D ₂ H ⁺)	1 476.606	1 475.128	1 478.083	G	1 475.128	1 478.083
重水(HDO)	1 491.927	1 490.435	1 493.419	G	1 490.435	1 493.419
一氧化碳(CO)	1 496.923	1 495.426	1 498.420	G	1 495.426	1 498.420

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	1 500.990	1 499.489	1 502.491	G	1 499.489	1 502.491
氰化氢(HCN)	1 505.042	1 503.537	1 506.547	G	1 503.537	1 508.768
重水(HDO)	1 507.261	1 505.754	1 508.768	G		
甲酰基离子(Formylium)(HCO ⁺)	1 514.582	1 513.067	1 516.096	G	1 513.067	1 516.096
重水(HDO)	1 522.926	1 521.403	1 524.449	G	1 521.403	1 524.449
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 535.134	1 533.599	1 536.669	G	1 533.599	1 536.669
一氧化碳(¹³ CO)	1 540.989	1 539.448	1 542.530		1 539.448	1 543.509
水汽(H ₂ O)	1 541.967	1 540.425	1 543.509			
重水(HDO)	1 577.178	1 575.600	1 578.755		1 575.600	1 578.755
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 593.357	1 591.764	1 594.951		1 591.764	1 594.951
水汽(H ₂ O)	1 602.219	1 600.617	1 603.821		1 600.617	1 607.568
甲酰基离子(Formylium)(HCO ⁺)	1 603.466	1 601.862	1 605.069			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 605.962	1 604.356	1 607.568			
一氧化碳(CO)	1 611.794	1 610.182	1 613.405		1 610.182	1 617.242
重水(HDO)	1 614.294	1 612.679	1 615.908			
重水(HDO)	1 615.626	1 614.010	1 617.242			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 620.852	1 619.231	1 622.472		1 619.231	1 622.472
重水(HDO)	1 625.408	1 623.783	1 627.033		1 623.783	1 627.033
氢硫基离子(Sulphydrylium)(SH ⁺)	1 632.518	1 630.884	1 634.151		1 630.884	1 636.274
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 633.484	1 631.850	1 635.117			
重水(HDO)	1 634.639	1 633.005	1 636.274			
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 644.497	1 642.852	1 646.141		1 642.852	1 646.141
重水(HDO)	1 648.801	1 647.153	1 650.450		1 647.153	1 652.418
一氧化碳(¹³ CO)	1 650.768	1 649.117	1 652.418			
水合氢离子(H ₃ O ⁺)	1 655.813	1 654.158	1 657.469		1 654.158	1 657.858
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 655.868	1 654.212	1 657.523			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 656.202	1 654.546	1 657.858			
水汽(H ₂ O)	1 661.008	1 659.347	1 662.669		1 659.347	1 665.247
水合氢离子(Oxonium)(H ₃ O ⁺)	1 663.584	1 661.920	1 665.247			

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
次甲基离子(Methylidyne) (CH ⁺)	1 669.170	1 667.499	1 670.840		1 667.499	1 673.021
水汽(H ₂ O)	1 669.905	1 668.235	1 671.575			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 671.350	1 669.679	1 673.021			
重水(HDO)	1 678.578	1 676.899	1 680.256		1 676.899	1 686.290
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 681.636	1 679.955	1 683.318			
重水(HDO)	1 684.606	1 682.921	1 686.290			
甲酰基离子(Formylium) (HCO ⁺)	1 692.313	1 690.621	1 694.006		1 690.621	1 694.006
水汽(H ₂ O)	1 713.883	1 712.169	1 715.597		1 712.169	1 721.701
水汽(H ₂ O)	1 716.770	1 715.053	1 718.486			
水汽(H ₂ O)	1 716.957	1 715.240	1 718.674			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 719.250	1 717.531	1 720.969			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 719.981	1 718.261	1 721.701			
一氧化碳(CO)	1 726.603	1 724.876	1 728.329			
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 753.800	1 752.046	1 755.554		1 752.046	1 755.554
重水(HDO)	1 759.978	1 758.218	1 761.738		1 758.218	1 765.585
一氧化碳(¹³ CO)	1 760.486	1 758.726	1 762.247			
水汽(H ₂ O)	1 762.043	1 760.281	1 763.805			
氨 (NH ₃)	1 763.525	1 761.762	1 765.289			
重水(HDO)	1 763.558	1 761.795	1 765.322			
氨 (NH ₃)	1 763.602	1 761.838	1 765.365			
氨 (NH ₃)	1 763.821	1 762.058	1 765.585			
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 769.877	1 768.107	1 771.647		1 768.107	1 771.647
甲酰基离子(Formylium) (HCO ⁺)	1 781.123	1 779.342	1 782.904		1 779.342	1 782.904
水汽(H ₂ O)	1 794.789	1 792.994	1 796.584		1 792.994	1 796.584
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 800.475	1 798.674	1 802.275		1 798.674	1 802.275
氨 (NH ₃)	1 808.936	1 807.127	1 810.744		1 807.127	1 812.188
氨 (NH ₃)	1 810.378	1 808.567	1 812.188			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 815.853	1 814.038	1 817.669		1 814.038	1 820.348
重水(HDO)	1 818.530	1 816.711	1 820.348			

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 824.554	1 822.729	1 826.378		1 822.729	1 826.378
羟基(OH)	1 834.745	1 832.911	1 836.580		1 832.911	1 843.187
羟基(OH)	1 837.741	1 835.903	1 839.578			
羟基(OH)	1 837.812	1 835.974	1 839.649			
一氧化碳(CO)	1 841.346	1 839.504	1 843.187			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 846.872	1 845.025	1 848.719		1 845.025	1 850.154
重水(HDO)	1 848.306	1 846.458	1 850.154			
重水(HDO)	1 853.873	1 852.019	1 855.727		1 852.019	1 855.727
氰化氢(Hydrogen cyanide)(HCN)	1 858.077	1 856.219	1 859.935		1 856.219	1 859.935
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 863.039	1 861.176	1 864.902		1 861.176	1 864.902
水汽(H ₂ O)	1 867.749	1 865.881	1 869.616		1 865.881	1 874.481
水汽(H ₂ O)	1 867.819	1 865.951	1 869.687			
甲酰基离子(Formylium)(HCO ⁺)	1 869.893	1 868.023	1 871.763			
一氧化碳(¹³ CO)	1 870.141	1 868.271	1 872.011			
重水(HDO)	1 872.609	1 870.736	1 874.481			
重水(HDO)	1 877.487	1 875.609	1 879.364		1 875.609	1 883.172
水汽(H ₂ O)	1 880.753	1 878.872	1 882.634			
重水(HDO)	1 881.291	1 879.410	1 883.172			
重水(HDO)	1 890.757	1 888.866	1 892.647		1 888.866	1 896.218
水汽(H ₂ O)	1 893.687	1 891.793	1 895.580			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 894.324	1 892.429	1 896.218			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 899.604	1 897.705	1 901.504		1 897.705	1 902.438
重碳离子(Carbon ion)(C II)	1 900.537	1 898.637	1 902.438			
重水(HDO)	1 909.602	1 907.693	1 911.512		1 907.693	1 911.512
水汽(H ₂ O)	1 918.475	1 916.557	1 920.394		1 916.557	1 922.353
水汽(H ₂ O)	1 918.485	1 916.567	1 920.404			
水汽(H ₂ O)	1 919.360	1 917.440	1 921.279			
水汽(H ₂ O)	1 919.360	1 917.440	1 921.279			
重水(HDO)	1 920.433	1 918.513	1 922.353			

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	1 929.255	1 927.326	1 931.184		1 927.326	1 932.259
重水(HDO)	1 930.329	1 928.398	1 932.259			
重水(HDO)	1 941.797	1 939.855	1 943.739			
氰化氢(HCN)	1 946.235	1 944.288	1 948.181		1 944.288	1 948.181
重水(HDO)	1 950.155	1 948.204	1 952.105		1 948.204	1 952.159
重水(HDO)	1 950.209	1 948.259	1 952.159			
亚氨基(Azanylidene) (NH)	1 955.027	1 953.072	1 956.982		1 953.072	1 960.579
一氧化碳(CO)	1 956.018	1 954.062	1 957.974			
亚氨基(Azanylidene) (NH)	1 958.198	1 956.240	1 960.156			
甲酰基离子(Formylium) (HCO ⁺)	1 958.621	1 956.662	1 960.579			
重水(HDO)	1 965.554	1 963.588	1 967.519		1 963.588	1 967.519
一氧化碳(C ¹⁸ O)	1 972.211	1 970.239	1 974.183		1 970.239	1 987.905
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 974.636	1 972.661	1 976.611	G		
亚氨基(Azanylidene) (NH)	1 978.464	1 976.485	1 980.442	G		
一氧化碳(¹³ CO)	1 979.727	1 977.747	1 981.707	G		
重水(HDO)	1 982.064	1 980.082	1 984.046	G		
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	1 985.919	1 983.933	1 987.905	G		
重水(HDO)	1 994.285	1 992.291	1 996.280	G	1 992.291	1 996.280
重水(HDO)	2 003.495	2 001.491	2 005.498		2 001.491	2 008.785
重水(HDO)	2 005.180	2 003.175	2 007.186			
次甲基(Methylidyne) (CH)	2 006.779	2 004.772	2 008.785			
次甲基(Methylidyne) (CH)	2 010.799	2 008.788	2 012.810		2 008.788	2 016.880
重水(HDO)	2 014.370	2 012.355	2 016.384			
水汽(H ₂ O)	2 014.865	2 012.850	2 016.880			
重水(HDO)	2 019.134	2 017.115	2 021.154		2 017.115	2 021.154
重水(HDO)	2 031.743	2 029.711	2 033.774		2 029.711	2 033.774
水汽(H ₂ O)	2 040.477	2 038.436	2 042.517		2 038.436	2 042.517
氧 (O I)	2 060.070	2 058.010	2 062.130		2 058.010	2 062.130
重水(HDO)	2 064.690	2 062.625	2 066.755		2 062.625	2 066.755

表1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
一氧化碳(CO)	2 070.616	2 068.545	2 072.687		2 068.545	2 076.519
水汽(H ₂ O)	2 074.432	2 072.358	2 076.507			
水汽(H ₂ O)	2 074.444	2 072.370	2 076.519			
一氧化碳(C ¹⁸ O)	2 081.311	2 079.229	2 083.392		2 079.229	2 085.118
重水(HDO)	2 082.718	2 080.635	2 084.801			
重水(HDO)	2 083.035	2 080.952	2 085.118			
重水(HDO)	2 087.226	2 085.139	2 089.313		2 085.139	2 091.330
一氧化碳(¹³ CO)	2 089.241	2 087.151	2 091.330			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 099.963	2 097.863	2 102.063		2 097.863	2 102.063
重水(HDO)	2 110.993	2 108.882	2 113.104		2 108.882	2 113.104
重水(HDO)	2 121.216	2 119.095	2 123.338		2 119.095	2 123.338
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 143.752	2 141.608	2 145.895		2 141.608	2 154.357
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 147.733	2 145.585	2 149.880			
重水(HDO)	2 149.224	2 147.075	2 151.373			
重水(HDO)	2 152.205	2 150.052	2 154.357			
水汽(H ₂ O)	2 164.132	2 161.968	2 166.296		2 161.968	2 166.296
一氧化碳(CO)	2 185.135	2 182.950	2 187.320		2 182.950	2 187.320
水汽(H ₂ O)	2 196.346	2 194.149	2 198.542		2 194.149	2 201.998
重水(HDO)	2 199.798	2 197.599	2 201.998			
重水(HDO)	2 204.707	2 202.503	2 206.912		2 202.503	2 206.912
重水(HDO)	2 213.707	2 211.493	2 215.921		2 211.493	2 215.921
水汽(H ₂ O)	2 221.751	2 219.529	2 223.972		2 219.529	2 223.972
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 227.872	2 225.644	2 230.100		2 225.644	2 230.100
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 242.198	2 239.956	2 244.440		2 239.956	2 244.440
水汽(H ₂ O)	2 264.150	2 261.886	2 266.414		2 261.886	2 266.414
重水(HDO)	2 269.686	2 267.416	2 271.956		2 267.416	2 271.956
重水(HDO)	2 278.017	2 275.739	2 280.295		2 275.739	2 280.295
重水(HDO)	2 283.942	2 281.658	2 286.226		2 281.658	2 288.499
重水(HDO)	2 286.213	2 283.926	2 288.499			

表 1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	2 291.309	2 289.018	2 293.601		2 289.018	2 293.601
重水(HDO)	2 296.248	2 293.952	2 298.544		2 293.952	2 302.002
重水(HDO)	2 297.652	2 295.355	2 299.950			
一氧化碳(CO)	2 299.569	2 297.269	2 301.868			
重水(HDO)	2 299.702	2 297.402	2 302.002			
一氧化碳(¹³ CO)	2 308.031	2 305.723	2 310.339		2 305.723	2 310.339
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 318.554	2 316.236	2 320.873		2 316.236	2 320.873
重水(HDO)	2 327.429	2 325.101	2 329.756		2 325.101	2 329.756
重水(HDO)	2 335.788	2 333.452	2 338.123		2 333.452	2 338.556
重水(HDO)	2 336.220	2 333.883	2 338.556			
重水(HDO)	2 343.735	2 341.392	2 346.079		2 341.392	2 368.266
水汽(H ₂ O)	2 344.290	2 341.945	2 346.634			
亚甲基(Methylene) (CH ₂)	2 344.726	2 342.381	2 347.071			
亚甲基(Methylene) (CH ₂)	2 348.622	2 346.274	2 350.971			
重水(HDO)	2 351.731	2 349.380	2 354.083			
重水(HDO)	2 355.192	2 352.837	2 357.548			
氨 (NH ₃)	2 357.210	2 354.853	2 359.568			
氨 (NH ₃)	2 357.727	2 355.369	2 360.084			
氨 (NH ₃)	2 358.563	2 356.205	2 360.922			
重水(HDO)	2 360.340	2 357.980	2 362.700			
氚取代的 H ₃ 离子 Trihydrogen (H ₂ D ⁺)	2 363.306	2 360.943	2 365.669			
氨基 (NH ₂)	2 364.268	2 361.903	2 366.632			
水汽(H ₂ O)	2 365.900	2 363.534	2 368.266			
重水(HDO)	2 382.166	2 379.784	2 384.548			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 388.325	2 385.936	2 390.713		2 385.936	2 393.964
水汽(H ₂ O)	2 391.573	2 389.181	2 393.964			

表1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	2 399.218	2 396.819	2 401.618		2 396.819	2 407.526
氨 (NH ₃)	2 400.018	2 397.618	2 402.418			
氨 (NH ₃)	2 400.578	2 398.178	2 402.979			
氨 (NH ₃)	2 402.265	2 399.863	2 404.667			
氨 (NH ₃)	2 405.121	2 402.716	2 407.526			
重水(HDO)	2 411.827	2 409.415	2 414.239		2 409.415	2 420.888
一氧化碳(CO)	2 413.924	2 411.510	2 416.338			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 418.469	2 416.051	2 420.888			
氮离子 (N II)	2 459.379	2 456.920	2 461.839		2 456.920	2 468.338
水汽(H ₂ O)	2 462.933	2 460.470	2 465.396			
重水(HDO)	2 463.054	2 460.591	2 465.517			
氟化氢 (HF)	2463.427	2 460.964	2 465.891			
重水(HDO)	2 465.872	2 463.406	2 468.338			
重水(HDO)	2 477.453	2 474.976	2 479.931		2 474.976	2 486.788
重水(HDO)	2 480.807	2 478.326	2 483.287			
重水(HDO)	2 484.303	2 481.819	2 486.788			
羟基 (¹⁸ OH)	2 494.674	2 492.179	2 497.169		2 492.179	2 516.847
羟基 (¹⁸ OH)	2 498.970	2 496.471	2 501.469			
羟基 (¹⁷ OH)	2 501.856	2 499.355	2 504.358			
重水(HDO)	2 502.167	2 499.665	2 504.669			
羟基 (¹⁷ OH)	2 506.186	2 503.680	2 508.692			
羟基 (OH)	2 509.965	2 507.455	2 512.475			
羟基 (OH)	2 514.333	2 511.819	2 516.847			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 526.741	2 524.214	2 529.268			
一氧化碳(CO)	2 528.166	2 525.638	2 530.694		2 524.214	2 531.838
重水(HDO)	2 529.308	2 526.779	2 531.838			

表1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	2 541.065	2 538.524	2 543.606		2 538.524	2 547.650
氨基(NH ₂)	2 545.105	2 542.560	2 547.650			
氨基(NH ₂)	2 553.966	2 551.412	2 556.520		2 551.412	2 563.471
重水(HDO)	2 558.905	2 556.346	2 561.464			
氨基(NH ₂)	2 560.910	2 558.349	2 563.471		2 575.089	2 582.211
重水(HDO)	2 577.667	2 575.089	2 580.244			
重水(HDO)	2 579.631	2 577.052	2 582.211		2 588.456	2 595.117
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 591.047	2 588.456	2 593.638			
重水(HDO)	2 592.524	2 589.932	2 595.117		2 595.690	2 606.031
重水(HDO)	2 598.288	2 595.690	2 600.886			
羟基(OH)	2 603.427	2 600.824	2 606.031		2 613.549	2 618.781
重水(HDO)	2 616.165	2 613.549	2 618.781			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 622.939	2 620.316	2 625.562		2 620.316	2 625.562
水汽(H ₂ O)	2 630.960	2 628.329	2 633.590		2 628.329	2 633.682
水汽(H ₂ O)	2 631.051	2 628.420	2 633.682			
水汽(H ₂ O)	2 640.474	2 637.833	2 643.114		2 637.833	2 644.963
一氧化碳(CO)	2 642.321	2 639.679	2 644.963			
水汽(H ₂ O)	2 657.666	2 655.008	2 660.323		2 655.008	2 660.323
水汽(H ₂ O)	2 664.561	2 661.897	2 667.226			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 666.732	2 664.065	2 669.398		2 661.897	2 677.662
重水(HDO)	2 669.415	2 666.745	2 672.084			
重水(HDO)	2 674.283	2 671.609	2 676.957			
氘化氢(Deuterated hydrogen) (HD)	2 674.987	2 672.312	2 677.662			
水汽(H ₂ O)	2 685.639	2 682.953	2 688.325		2 682.953	2 688.325
重水(HDO)	2 735.277	2 732.541	2 738.012		2 732.541	2 738.012
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 741.675	2 738.933	2 744.416		2 738.933	2 744.416
重水(HDO)	2 748.312	2 745.564	2 751.060		2 745.564	2 751.060
一氧化碳(CO)	2 756.383	2 753.626	2 759.139		2 753.626	2 759.139

表1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
水汽(H ₂ O)	2 773.977	2 771.203	2 776.751		2 771.203	2 776.751
亚甲基(Methylene) (CH ₂)	2 783.064	2 780.281	2 785.847		2 780.281	2 785.847
重水(HDO)	2 794.002	2 791.208	2 796.796		2 791.208	2 796.829
重水(HDO)	2 794.035	2 791.241	2 796.829			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 805.384	2 802.579	2 808.190		2 802.579	2 816.325
重水(HDO)	2 807.498	2 804.691	2 810.306			
重水(HDO)	2 809.406	2 806.597	2 812.216			
重水(HDO)	2 810.880	2 808.069	2 813.691			
重水(HDO)	2 813.511	2 810.698	2 816.325			
重水(HDO)	2 834.411	2 831.577	2 837.245		2 831.577	2 837.245
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 845.980	2 843.134	2 848.826		2 843.134	2 848.826
重水(HDO)	2 855.631	2 852.776	2 858.487		2 852.776	2 861.891
重水(HDO)	2 859.032	2 856.173	2 861.891			
一氧化碳(CO)	2 870.338	2 867.468	2 873.208		2 867.468	2 875.782
重水(HDO)	2 872.909	2 870.036	2 875.782			
水汽(H ₂ O)	2 880.025	2 877.145	2 882.905		2 877.145	2 890.914
水汽(H ₂ O)	2 884.279	2 881.395	2 887.163			
水汽(H ₂ O)	2 884.312	2 881.427	2 887.196			
水汽(H ₂ O)	2 884.941	2 882.056	2 887.826			
水汽(H ₂ O)	2 884.950	2 882.065	2 887.835			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 888.026	2 885.138	2 890.914			
重水(HDO)	2 900.172	2 897.272	2 903.072		2 897.272	2 906.294
重水(HDO)	2 903.391	2 900.487	2 906.294			
重水(HDO)	2 916.109	2 913.193	2 919.025		2 913.193	2 923.819
重水(HDO)	2 920.898	2 917.977	2 923.819			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 938.998	2 936.059	2 941.937		2 936.059	2 944.831
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 939.000	2 936.061	2 941.939			
重水(HDO)	2 941.889	2 938.947	2 944.831			

表1 (续)

种类	静止频率 (GHz)	建议的最低频率 (GHz)	建议的最高频率 (GHz)	备注	综合最低频率 (GHz)	综合最高频率 (GHz)
重水(HDO)	2 948.042	2 945.094	2 950.990		2 945.094	2 955.592
氨 (NH ₃)	2 948.411	2 945.462	2 951.359			
氨 (NH ₃)	2 948.669	2 945.721	2 951.618			
氨 (NH ₃)	2 949.480	2 946.531	2 952.430			
氨 (NH ₃)	2 950.815	2 947.864	2 953.765			
氨 (NH ₃)	2 952.640	2 949.687	2 955.592			
水汽(H ₂ O)	2 962.111	2 959.149	2 965.073		2 959.149	2 975.081
重水(HDO)	2 966.081	2 963.115	2 969.047			
水汽(H ₂ O)	2 968.749	2 965.780	2 971.717			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 969.868	2 966.899	2 972.838			
水汽(H ₂ O)	2 970.800	2 967.829	2 973.771			
水汽(H ₂ O)	2 970.801	2 967.830	2 973.772			
水合氢离子 (H ₃ O ⁺)	2 972.109	2 969.137	2 975.081		2 977.754	3 002.430
水合氢离子 (H ₃ O ⁺)	2 980.735	2 977.754	2 983.715			
一氧化碳(CO)	2 984.168	2 981.183	2 987.152			
重水(HDO)	2 984.559	2 981.575	2 987.544			
氨 (NH ₃)	2 989.643	2 986.653	2 992.632			
水汽(H ₂ ¹⁸ O)	2 990.139	2 987.149	2 993.129			
氨 (NH ₃)	2 991.555	2 988.564	2 994.547			
氨 (NH ₃)	2 994.786	2 991.792	2 997.781			
重水(HDO)	2 997.115	2 994.118	3 000.112	H		
氨 (NH ₃)	2 999.430	2 996.431	3 002.430	H		

注1 – “备注”中的G表示谱线在非常理想的大气条件下是可以从地面观测到的。

“备注”中的H表示建议的最高频率超过3 000 GHz。

建议的最低和最高频率分别对应+300 km/s和-300 km/s的多普勒频移。

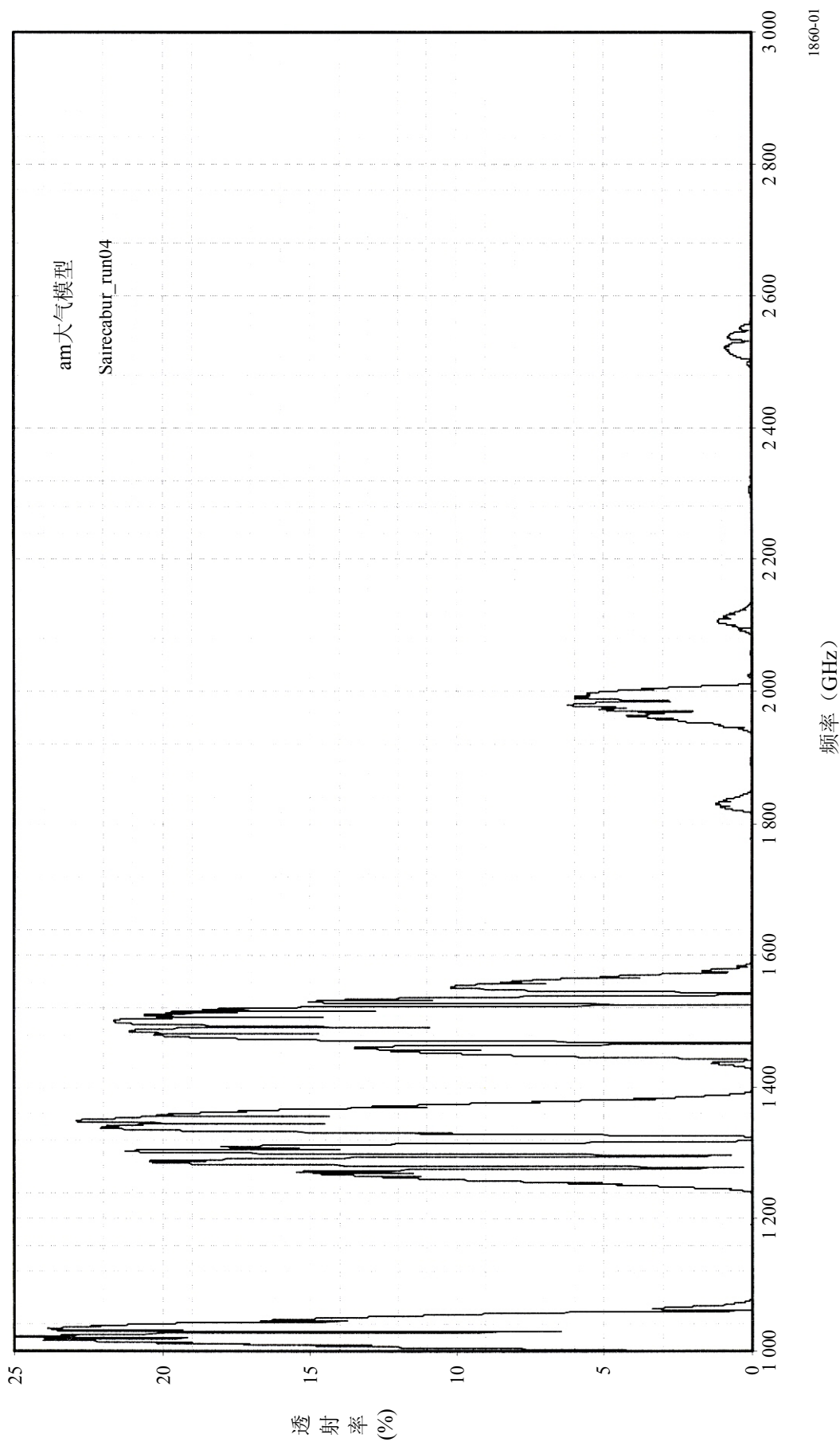
参考资料： 国际天文学联合会第 A.2 号决议（1991 年, 布宜诺斯艾利斯；2009 年修订， 里约热内卢）。

JPL 分子光谱数据库 (<http://spec.jpl.nasa.gov/>)。

科隆分子光谱数据库 (<http://www.astro.uni-koeln.de/cdms/>)。

图1

使用附件1第2段中的资料计算的穿过大气的垂直透射率



1860-01

图2

使用附件1第2段中的资料计算的穿过大气的垂直衰减

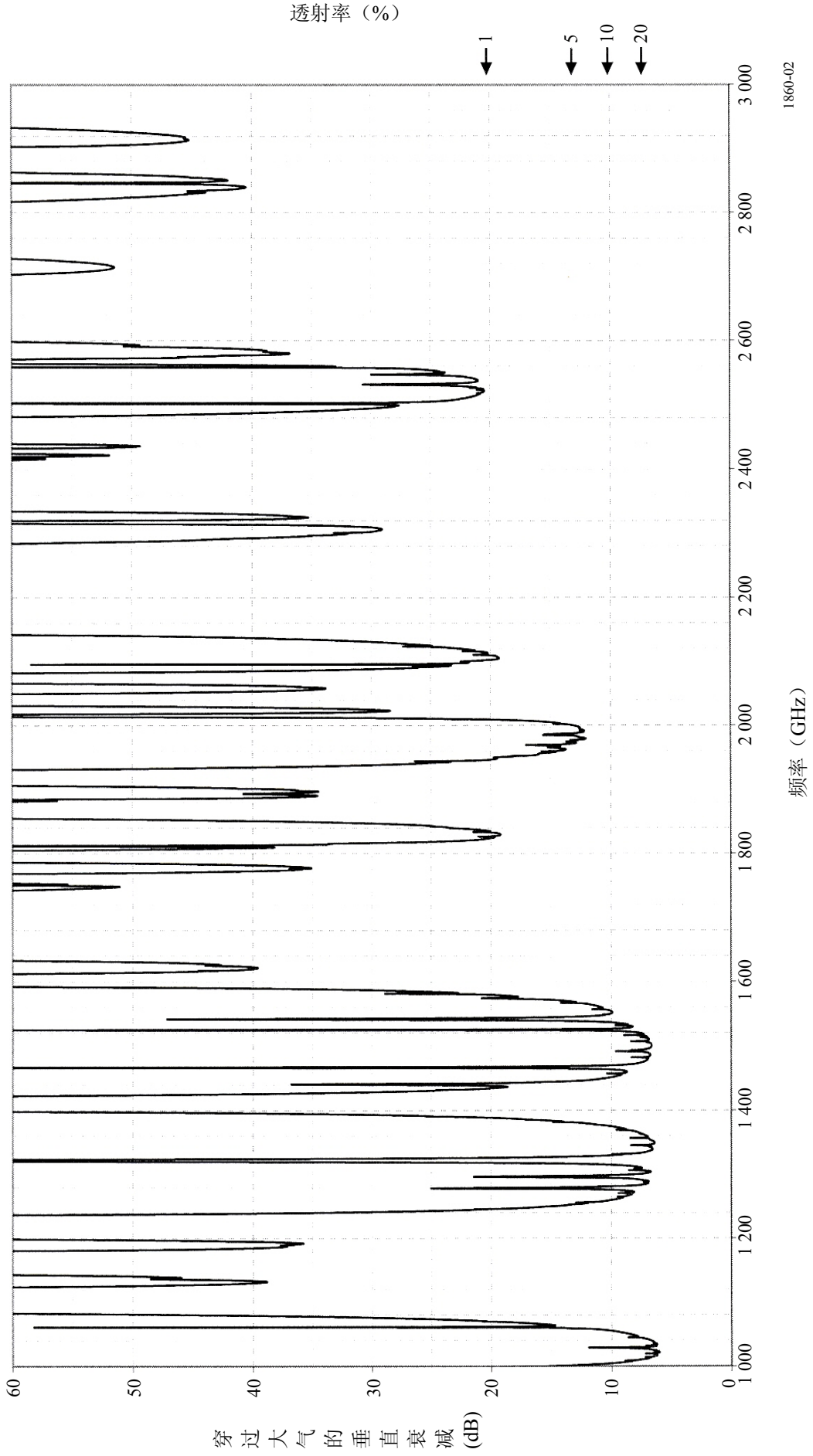


表2

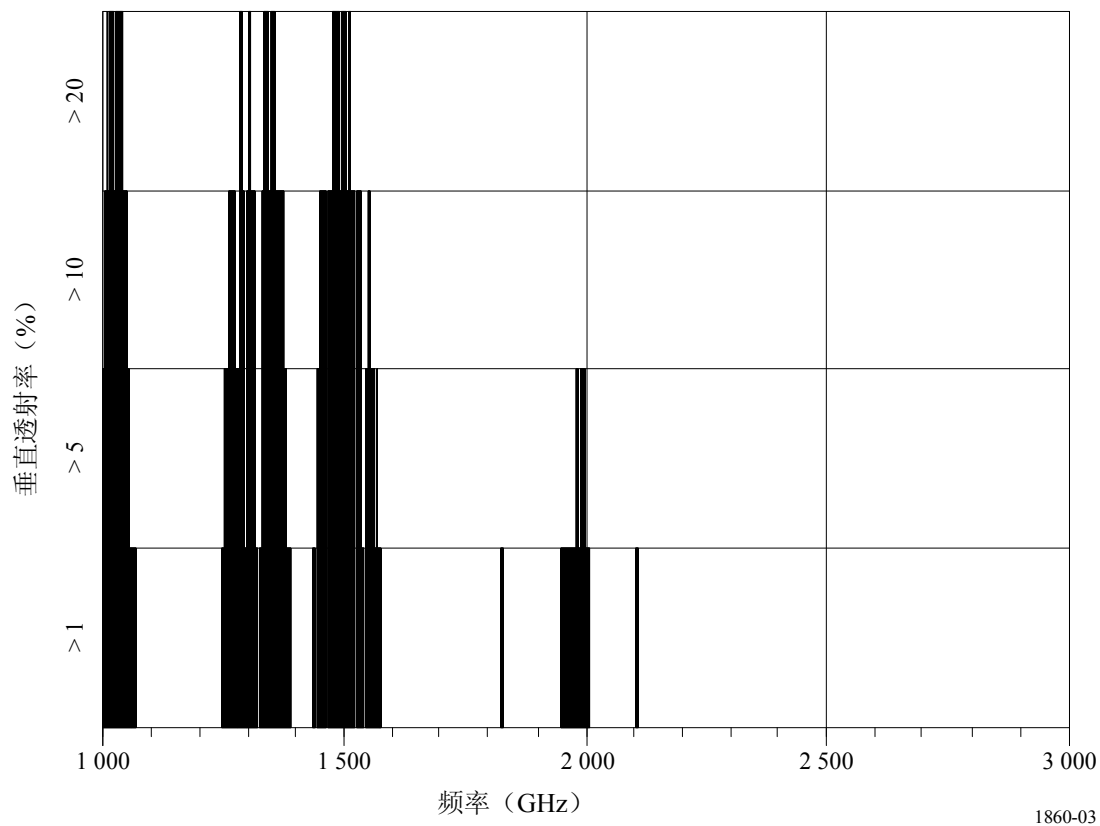
图1中大气透射率达到或超过规定值的频段 (GHz)

1%	5%	10%	20%
998.4-1 060.4	1 001.7-1 058.6	1 004.7-1 028.4 1 029.3-1 054.9	1 011.8-1 013.8 1 014.3-1 019.3 1 019.7-1 026.2 1 029.9-1 041.7
1 061.9-1 069.6	—	—	—
1 245.9-1 277.5	1 253.1-1 276.6	1 259.7-1 275.6	—
1 279.0-1 295.9	1 279.9-1 294.9	1 281.3-1 294.1	1 285.6-1 286.8 1 287.9-1 289.4
1 296.9-1 318.0	1 297.9-1 316.4	1 298.8-1 314.7	1 301.8-1 305.4
1 326.0-1 388.5	1 327.7-1 380.9	1 329.4-1 374.9	1 335.5-1 343.9 1 345.9-1 355.7 1 357.7-1 359.0
1 434.4-1 438.2	—	—	—
1 442.7-1 465.4	1 445.7-1 464.6	1 451.2-1 463.4	—
1 468.2-1 524.4	1 469.0-1 524.0	1 469.9-1 523.3	1 478.6-1 481.0 1 482.8-1 489.3 1 495.3-1 505.0 1 505.5-1 506.0 1 508.3-1 512.1
1 525.8-1 540.0	1 526.3-1 538.6	1 526.9-1 536.6	—
1 543.9-1 573.9	1 545.6-1 566.5 1 567.6-1 568.4	1 550.3-1 553.8	—
1 575.0-1 579.9	—	—	—
1 827.2-1 833.1	—	—	—
1 946.7-2 009.2	1 977.5-1 983.6 1 987.9-1 999.6	—	—
2 102.7-2 109.7	—	—	—

图3

表2的图形表示

大气窗口, 1-3THz



1860-03

基于在理想的天文观测点大气透射率超过5%的频率的考虑，为进行有用的观测，下列频段是建议用于保护在地球表面进行的射电天文观测的最低频段：

表3

建议用于地面射电天文
应用的最低频段

1 000-1 060 GHz
1 250-1 320 GHz
1 325-1 385 GHz
1 445-1 540 GHz
1 545-1 570 GHz
1 975-2 000 GHz

即使在海拔较高且干燥的地面天文观测点，由于过度的大气衰减，2 000 GHz以上用于射电天文应用的频段仅限于机载和空间应用。