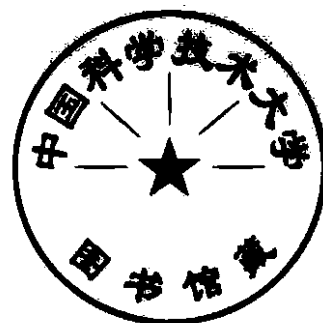


卫星通信工程

卫星通信工程

《卫星通信工程》翻译组 译



国防工业出版社

1970

内 容 提 要

全书共分六章，分别介绍了：卫星通信的概况；通信卫星的设计、轨道参数和有关技术；卫星通信的基础——宽频带性、信噪比、多元联接等；卫星通信调频方式的具体线路设计、能量扩散技术；地面站设备，包括大型微波天线、大功率发射装置、低噪声高灵敏度接收装置、电视制式变换及新型回波抑制装置的设计、使用等；最后介绍了卫星通信的测量问题。

供从事空间科学技术工作及电子工业战线上的广大工人、革命干部和革命工程技术人员参考。

卫 星 通 信 工 程

凭 证 发 行

《卫星通信工程》翻译组 译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 $1/32$ 印张 $10\frac{1}{4}$ 258 千字

1970 年 7 月第一版 1970 年 7 月第一次印刷 印数：0,001—2,000册

统一书号：15034·1218 定价：1.40 元

前 言

在伟大领袖毛主席的英明领导下，我们伟大的社会主义祖国，在一九七〇年四月廿四日成功地发射了第一颗人造地球卫星，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是我国发展空间技术的一个良好开端。用战无不胜的毛泽东思想武装起来的中国人民，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。西方资产阶级能做到的，我们东方无产阶级也能做到；西方资产阶级做不到的，我们东方无产阶级也一定要做到。

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”和“认真作好出版工作”的教导，为配合当前我国科学技术蓬勃发展的跃进形势，我们翻译出版了《卫星通信工程》，向广大工农兵提供有关卫星通信的一些参考资料。对原书中的反动观点、虚伪宣传，我们作了较大的删减，希革命同志们继续分析批判。

在毛泽东思想的光辉照耀下，在各单位的大力支持和协助下，使这本书在短期内出版了。但由于我们活学活用毛泽东思想还不够，业务水平还不高，本书还会有错误之处，请同志们批评指正。

让我们更高地举起毛泽东思想伟大红旗，突出无产阶级政治，坚决执行毛主席无产阶级革命路线，坚定不移地走自己工业发展道路，为进一步发展我国科学技术，加速社会主义建设，为人类做出更大的贡献而奋斗！

《卫星通信工程》翻译组

一九七〇年七月

毛主席提出“我們也要搞人造卫星”的 伟大号召实现了！

我国第一顆人造地球卫星发射成功

卫星重一百七十三公斤，用二〇·〇〇九兆周的頻率，
播送《东方紅》乐曲

这是我国人民在伟大領袖毛主席和以毛主席为首、林副主席为副的党中央领导下，高举“九大”团结、胜利的旗帜，坚持独立自主、自力更生方针，贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义总路线，以实际行动抓革命，促生产，促工作，促战备所取得的结果。

这是我国发展空间技术的良好开端，是毛泽东思想的伟大胜利，是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是无产阶级文化大革命的又一丰硕成果。

中国共产党中央委员会向从事研制、发射卫星的工人、人民解放军指战员、革命干部、科学工作者、工程技术人员、民兵以及有关人员，表示热烈的祝贺。

新华社四月二十五日讯 新闻公报

我们的伟大领袖毛主席提出：**我們也要搞人造卫星**。在全国人民迎接伟大的七十年代的进军声中，我们怀着喜悦的心情宣布：毛主席的这一伟大号召实现了！一九七〇年四月二十四日，我国成功地发射了第一颗人造地球卫星。

卫星运行轨道，距地球最近点四百三十九公里，最远点二千三百八十四公里，轨道平面和地球赤道平面的夹角六十八点五度，绕地球一周一百一十四分钟。卫星重一百七十三公斤，用二〇·〇〇九兆周的频率，播送《东方红》乐曲。

我国第一颗人造地球卫星发射成功，是中国人民在伟大领袖毛主席和以毛主席为首、林副主席为副的党中央领导下，高举“九大”团结、胜利的旗帜，坚持独立自主、自力更生方针，贯彻执行鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义总路线，以实际行动抓革命，促生产，促工作，促战备所取得的结果。

这次卫星发射成功，是我国发展空间技术的一个良好开端，是毛泽东思想的伟大胜利，是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是无产阶级文化大革命的又一丰硕成果。

中国共产党中央委员会向从事研制、发射卫星的工人、人民解放军指战员、革命干部、科学工作者、工程技术人员、民兵以及有关人员，表示热烈的祝贺。希望同志们更高地举起马克思主义、列宁主义、毛泽东思想伟大红旗，突出无产阶级政治，活学活用毛主席著作，不断提高阶级斗争、路线斗争觉悟，谦虚谨慎，戒骄戒躁，再接再厉，为进一步发展我国科学技术，加速社会主义建设，为人类做出更大的贡献而努力奋斗！

毛主席语录

我們也要搞人造卫星。

中国应当对于人类有較大的貢獻。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我們中华民族有同自己的敌人血战到底的气概，有在自力更生的基础上光复旧物的决心，有自立于世界民族之林的能力。

毛主席语录

洋为中用。

外国有的，我們要有，外国沒有的，我們也要有。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我們有益的經驗，我們需要的是这样一种态度。

目 录

第一章 概 论

1.1 宇宙业务术语及定义..... 7	1.4.2 随机卫星系统.....30
1.2 卫星通信发展史..... 8	1.4.3 位相卫星系统.....31
1.3 卫星通信用的电波.....11	1.4.4 静止卫星系统.....32
1.3.1 电波的传播.....11	1.5 国际卫星通信.....34
1.3.2 频率的分配和共用.....21	1.5.1 国际通信的发展.....34
1.3.3 调整距离.....25	1.5.2 卫星通信网.....35
1.4 通信卫星系统.....28	1.5.3 成本的評定.....38
1.4.1 通信范围的诸元.....28	参考资料41

第二章 通信卫星

2.1 卫星的轨道.....42	2.3.1 通信卫星的构成.....60
2.1.1 运动方程.....42	2.3.2 通信系统(中继器).....60
2.1.2 轨道面内的卫星运动.....45	2.3.3 天线系统.....63
2.1.3 轨道参数.....46	2.3.4 遥测指令系统.....65
2.1.4 摄动.....48	2.3.5 控制系统.....66
2.1.5 卫星的发射.....50	2.3.6 电源系统.....69
2.1.6 轨道控制.....52	2.3.7 温度控制.....71
2.2 宇宙环境.....54	2.3.8 可靠性.....72
2.2.1 真空.....55	2.4 通信卫星实例.....74
2.2.2 热环境.....56	2.4.1 实验卫星.....74
2.2.3 辐射线.....56	2.4.2 “闪电”卫星.....78
2.2.4 磁場.....58	2.4.3 国际商用通信卫星.....79
2.2.5 隕石与宇宙尘埃.....59	参考资料87
2.3 通信卫星技术.....60	

第三章 线路设计的基本项目

3.1 线路的标准.....88	3.3.2 地面站标准特性..... 127
3.1.1 标准参考线路.....88	3.4 载波功率与噪声
3.1.2 多路电话线路标准.....89	功率比..... 128
3.1.3 电视线路标准.....91	3.4.1 载波功率..... 128
3.2 多元联接.....97	3.4.2 噪声功率..... 132
3.2.1 概述.....97	3.4.3 载波接收功率与噪声
3.2.2 关于各方式..... 100	功率比及其备余量..... 138
3.2.3 交扰调制..... 110	3.4.4 地面站的性能指数
3.3 地面站的性能条件..... 121	(G/T)..... 140
3.3.1 位置的选定条件..... 121	参考资料 141

第四章 调频方式的线路设计

4.1 调频方式的改善系数..... 143	4.1.2 高灵敏度解调方式..... 147
4.1.1 门限电平..... 143	4.2 能量扩散..... 152

4.2.1	能量扩散的必要性	152	4.3.3	在IS-Ⅱ号卫星 系统中的设计例	177
4.2.2	扩散信号引起的频偏	154	4.4	电视视频电路	186
4.2.3	扩散信号的消除	158	4.4.1	通信诸元	186
4.2.4	扩散信号对 交扰调制的效应	160	4.4.2	在IS-Ⅱ号卫星 系统中的设计例	189
4.3	多路电话线路	167	参考资料		190
4.3.1	通信诸元	167			
4.3.2	线路噪声	172			

第五章 地面站设备

5.1	系统的组成及其功能	191	5.4.2	大功率行波管	242
5.1.1	概述	191	5.4.3	大功率速调管	245
5.1.2	可靠性	192	5.4.4	大功率放大器	246
5.1.3	通信系统的组成	195	5.4.5	宽频带调制器	248
5.2	天线设备	200	5.5	接收设备	249
5.2.1	概述	200	5.5.1	低噪声接收机的构成	249
5.2.2	天线种类	202	5.5.2	参量放大器	251
5.2.3	卡塞格伦天线辐射系统	208	5.5.3	脉泽	261
5.2.4	饋电系统电路	218	5.5.4	其它低噪声接收机	265
5.2.5	驱动控制系统	220	5.5.5	高灵敏度解调器	266
5.2.6	天线实例	225	5.6	终端设备	270
5.3	卫星跟踪设备	230	5.6.1	电话载波终端设备	270
5.3.1	概述	230	5.6.2	电视视频终端设备	272
5.3.2	多个喇叭跟踪方式	231	5.6.3	电视伴音终端设备	275
5.3.3	高次模式检测跟踪方式	235	5.7	有关设备	277
5.3.4	程序控制跟踪方式	240	5.7.1	回波抑制设备	277
5.4	发射设备	242	5.7.2	电视标准制式转换设备	281
5.4.1	概述	242	参考资料		293

第六章 卫星线路的建立和测量

6.1	概论	295	6.3.3	门限电平测量	302
6.2	使用管理	296	6.4	卫星通信线路的建立试验	304
6.3	地面站性能的测量	297	6.5	日蚀对静止卫星的影响	307
6.3.1	天线系统的增益和接 收系统噪声温度比(G/T) 的测量	297	6.5.1	卫星的地球日蚀	307
6.3.2	频带外辐射量的测量	301	6.5.2	太阳对卫星的干扰现象	308
			参考资料		309

附 录

附录 I	求静止卫星的仰角、距 离、方位的世界地图	310	附录 III	IS系统卫星通信地面站	312
附录 II	IS系统性能参数表	311	附录 IV	标准地面站电气性能 一览表	314

插 图

第一章

概 論

1.1 宇宙业务术语及定义

二十世纪后半叶，人类实现了人造卫星。这些卫星被利用于科学研究、宇宙观测、宇宙航行、气象观测、大地测量、通信和广播等方面。值得注意的是，这些全是以某种形式使用电波作为达到各自目的的手段。

下面，首先介绍一下宇宙业务术语及定义。

以宇宙飞船（宇宙飞行器）为对象的无线电通信，统称为宇宙通信，而其业务称为宇宙通信业务。宇宙通信的形式可分为三种：（1）地面站和宇宙站之间；（2）宇宙站相互之间；（3）通过宇宙站转发或反射来进行的地面站相互间的无线电通信。特把第三种称为卫星通信业务，本书将详细说明。

共同进行一定的宇宙业务的一群地面站和宇宙站，称为宇宙通信系统。而对于卫星通信业务，则使用卫星通信系统这个术语。设置在大气层主要部分之外的宇宙飞行器，或大气层之外的天体（月球、行星等）上的宇宙业务站称为宇宙站。地面站是指设在包括船舶在内的地球表面上或飞机上进行宇宙通信的站。对于进行卫星通信业务的地面站和设在地球卫星上的宇宙站，分别称为卫星通信地面站和卫星通信宇宙站。

关于宇宙业务的种类，除卫星通信外，还有宇宙研究、卫星广播、卫星无线电导航和卫星气象业务等。其中，卫星广播业务，是指直接播送广播节目的，也就是说，它不同于作为地面广播工具而采用的卫星通信业务（宇宙中继或卫星中继）。再有，广播节

目由各地面站直接或间接传送给几个地面广播电台的时候，有直接分配和间接分配之分。另外，有关宇宙术语，还有宇宙遙测、维护用宇宙遙测、宇宙远距离指令以及宇宙跟踪等。

在卫星通信系统中，除通信卫星之外，还包括卫星的发射、管理、控制所必需的跟踪、遙测、指令、监视等地上设施，这些統称为宇宙部分。而将地面站通信设施称为地面部分。此外，接收来自宇宙的噪声（包括太阳电波噪声在内）的射电天文业务电台，称为射电天文台。但是，从广义说，过去曾把射电天文业务包括在宇宙通信之中。

1.2 卫星通信发展史

人造卫星出现以来，在宇宙空间探索等科学研究方面和通信、气象、大地测量等实用研究方面，都取得了许多成就，但本节只扼要地介绍一下世界宇宙通信的发展情况（见表 1-1）。

从宇宙中的天体不断有叫做宇宙噪声的电波传到地球上。宇宙噪声，与大型天线的设计和校正用电波源有着密切的关系，这一点将在下一章讲述。自从用短波定向天线收测到宇宙噪声之后，便开始了射电天文学的研究^[1.1]。太阳也是强大的噪声电波源，虽然它能反映太阳活动，但是它也会干扰卫星通信。有人接收到伴随德林杰现象产生的强大噪声，并测了它的强度和入射角^[1.2]。

除了这些自然界的电波外，第二次世界大战后，应用雷达技术，于 1946 年第一次收测到月球的回波^[1.3]，经进一步观测而弄清了月球表面的电波性质。1957 年，利用月球反射进行了接收电话无线电波的试验^[1.4]；1959 年 5 月，利用月球中继在英国和美国之间进行了国际通信的试验，第二年 6 月，在美国和加拿大之间也进行了这种试验^[1.5]。虽然这些试验对科学研究有一定的价值，但由于接收到的信号場强很弱、多种失真、传输延迟时间长、共视月球的时间有限，因而还不能作为通信用。

实现人造卫星以来，又进行了多次的通信试验，下面介绍其中几个主要的例子。首先，关于宇宙通信形式（1）方面，1959年12月，利用低轨道“斯科尔”卫星（1958 Z 1），第一次试验用甚高频电波来传送磁带录音。1960年4月，NASA●把气象卫星“泰罗斯1号”（1960 B 2），发射到高度约700公里、倾角为 48.3° 、周期为99.2分的轨道上，在约两个月的时间内，它发回了22,952张气象照片。

关于宇宙通信形式（3），即卫星通信方面，1960年8月，把用铝箔覆盖聚对苯二甲酸乙二醇酯塑料的，直径为30米的气球卫星“回声1号”（1960 I 1），发射到高度约1,600公里、倾角为 47.2° 的圆轨道上，试验在1千兆赫和2.5千兆赫频段用调频传送电话和电视，查明了传送特性^[1.6]〔见2.4.1（1）节〕。1963年5月，利用散布约四亿条偶极子卫星来进行了散射通信〔见2.4.1（2）节〕，也属于无源中继试验。

1960年10月，把“信使1B”卫星（1960 N 1）发射到高度约1,000公里、倾角为 28.3° 的轨道上。这个卫星进行了延迟中继的通信，即使用约2千兆赫的频率，把地面站发来的通信信息，首次在宇宙站进行高速磁带录音，在接近地面接收站时，把它发回地球。这是使用放大器的有源中继的第一次试验。

1962年7月，发射了“电星1号”卫星（1962 AE 1）。同年12月发射了“中继1号”卫星（1962 Br 1）（见2.4.1节）、它使用的频率和地上业务一样，也是4和6千兆赫。“电星”卫星，起初供美国的安多弗地面站、英国的贡希利地面站和法国的普勒默-博杜地面站之间，做调频转发电视和多路电话试验用，取得了一些技术成果^[1.8]。1963年11月23日，日本茨城卫星通信站（见书末照片1）^[1.9]和美国加利福尼亚州的莫哈维地面站，通过“中继1号”卫星，进行了横跨太平洋的电视传送^[1.10]。1964

● NASA 是美国国家航空和宇宙航行局的简称。

表1-1 主要的宇宙通信試驗記錄

时 间	宇 宙 通 信 内 容	国 家	宇 宙 业 务
1932	测量银河噪声	美	射电天文通信方式
1938.8	测量太阳噪声	日	射电天文通信方式
1945.10	同步卫星通信设想(文章)	英	宇宙通信形式(3)
1946	利用雷达检测月球回波	美	宇宙通信形式(3)
1957	利用月球反射进行无源中继	美	宇宙通信形式(3)
1957.10	利用“人造卫星1号”进行电波观测	苏, 其它国家	宇宙通信形式(1)
1958.12	利用“斯科尔”卫星进行磁带录音传播	美	宇宙通信形式(1)
1960.4	利用“泰罗斯1号”卫星传送气象照片	美	宇宙通信形式(1)
1960.8	利用“回声1号”卫星进行电话电视无源中继	美	宇宙通信形式(3)
1960.10	利用“信使1B”卫星延迟中继	美	宇宙通信形式(3)
1962.7	利用“电星1号”卫星进行横跨大西洋的有源中继通信	美, 英, 法	宇宙通信形式(3)
1962.8	“东方”3号、4号卫星进行地面与卫星通信, 发回电视	苏	宇宙通信形式(2)(1)▶
1963.5	利用无数散射的针状偶极子(卫星)进行无源中继通信	美	宇宙通信形式(3)
1963.11	利用“中继1号”卫星进行横跨太平洋有源中继通信	美, 日	宇宙通信形式(3)
1964.8	利用同步卫星“辛康3号”进行奥林匹克运动会电视转播	日, 美	宇宙通信形式(3)
1965.4	利用同步卫星“晨鸟号”进行半实验商业通信	美, 英, 法, 德, 意	宇宙通信形式(3)
1965.4	利用“闪电1A”卫星进行国内电视中继	苏	宇宙通信形式(3)

年1月增加了“中继2号”卫星(1964 3 A),一些国家进行了试验。当时,技术上的中心课题是通信天线的高效率化和高频段化、脉泽和参量放大器的低噪声化和宽频带化、改善高灵敏度调频解调器的性能以及建立精确跟踪系统等。

“电星”和“中继”都是低轨道卫星。它的缺点是:可通信时间短,而且远地点周期性变动。1963年7月,发射了同步卫星2号(辛康2)(1963 31 A),增加了实现国际通信的可能性。1964年8月,又发射了同步卫星3号(1964 47A),被用来作电视转播东京奥运会实况,由于采取了正极性同步信号、压缩频带等技术措施,获得了良好的结果^[1.11][见2.4.1(5)节]。

在这以前,可以说是卫星通信的试验时期。1965年4月,发射了一个半试验半实用的同步卫星“晨鸟”(1965 28 A),从此,卫星通信进入了实用阶段。

接着,从1966年12月开始,发射了以“应用技术”卫星1号(1966 110A)为首的一系列“应用技术”卫星,开始了新的试验性研究。这个新的试验性研究,除巩固卫星技术外,还包括开辟利用毫米波及研究新的通信系统等计划。

1965年9月,苏联也把它的第一颗通信卫星“闪电1A号”(1965 30 A)发射到远地点高39,152公里、倾角65°、周期11小时38分的高椭圆轨道上,并且在国内建立了25个小型地面站,开始了电视传送等中继通信^[1.12]。苏联在1962年8月,发射了载人宇宙飞船“东方”3号(1962 AM 1)和“东方”4号(1962 AN 1),进行了编队飞行,第一次进行了宇宙业务形式(2)的通信和由宇宙站传送电视。

主要的宇宙通信实验见表1-1。

1.3 卫星通信用的电波

1.3.1 电波的传播

(1) 无线电“窗”

宇宙通信所使用的电波频率范围很宽,从长波段到毫米波段,目的不同,使用电波的频段也不同。宇宙业务的形式(1)和(3)的电波,需要穿过地球的对流层和电离层。一般说,低频电波会被电离层吸收而衰减,临界频率以下的电波会被电离层反射。而10千兆赫以上的电波,会被大气吸收,由于云、雾,特别是雨而引起显著的衰减(见图1-1)。电波中衰减影响较小的频率范围称作无线电“窗”。有关部门认为,卫星通信用的频率,以1~10千兆赫为最实用。这个范围的无线电波,可看作是自由空间传播。在宇宙业务形式(2)时,卫星在数百公里以上高度的电离层之外,也可以看作是自由空间传播。

(2) 自由空间传播

要理解宇宙通信的概念,需首先讲述一下最基本的自由空间传播时宇宙业务站的接收功率。接收功率 P_R 可由下式表示:

$$P_R = \frac{P_T G_T A_R \eta}{4\pi d^2} = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1.1)$$

式中 P_T ——发射功率;

G_T ——发射天线增益;

d ——传播距离;

A_R ——接收天线的开口面积;

G_R ——接收天线的增益;

η ——天线效率;

λ ——波长。

式(1.1)中的 $\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$ 称为自由空间传播损耗。还有,式中的 G_R 用下式表示:

$$G_R = \left(\frac{4\pi A_R}{\lambda^2} \right) \eta \quad (1.2)$$

假设发射和接收天线都是全向的,那末根据上式则 $P_R \propto P_T / f^2 d^2$, 其中 f 是频率。再假定发射和接收天线有一方是定向的,则

$P_R \propto P_T/d^2$ ，也即 P_R 和频率无关。两者都是定向天线的话，则 $P_R \propto P_T f^2/d^2$ 。

至于噪声，有接收机内部噪声和外来噪声之分。前者随频率增加而逐渐增大，后者则以天电和宇宙噪声为主，都有随频率增加而急剧减小的特点。

图 1-1 是为了说明上述概念而给出的相当于月球和地球之间

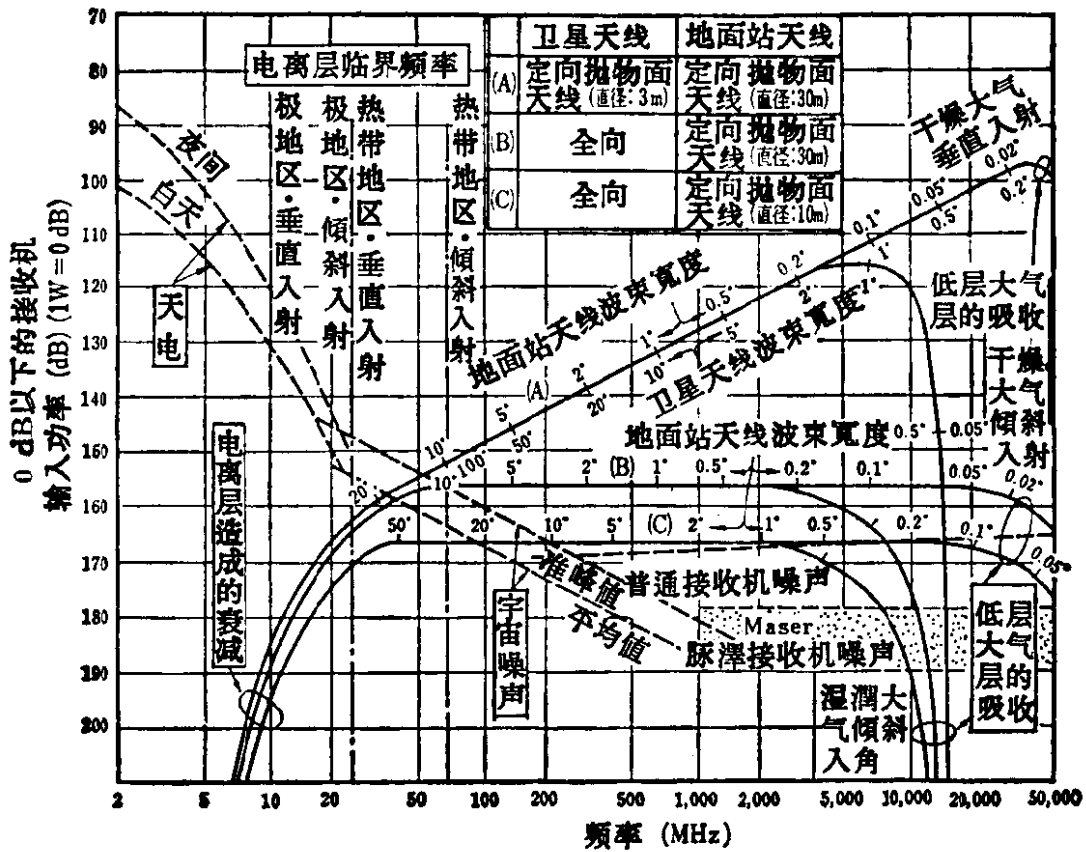


图1-1 宇宙业务形式 (1) 时接收功率的频率特性。
 距离: 400,000公里, P_T : 1瓦, 接收机频带: 1千赫

距离的通信实例，也即 $d = 400,000$ 公里时，和在很宽频带范围内的 P_R 与噪声强度的特性。

在宇宙业务形式 (1) 时， P_R 如式 (1.1) 所示，与 d^2 成反比。图 1-2 作为一个例子，给出了比到月球的距离还远的深空的通信中所需的发射功率[见式 (1.7)]。从图 1-2 可看到，在行星间距离的通信中，宇宙站也必须架设定向天线。

下面比较一下图 1-3 (a)，(b) 所示的卫星通信中有源中