

卫星云图的接收和分析

中国科学院大气物理研究所



科学出版社

卫星云图的接收和分析

中国科学院大气物理研究所

科学出版社

1971

内 容 简 介

本书主要介绍从现代气象卫星上接收云图的方法和云图在天气预报中的应用。全书共分六章：包括气象卫星的观测原理、卫星云图的接收方法、云图的定位、云图的一般分析方法以及我国几类天气系统的卫星云图分析等。本书对六十年代发展起来的卫星气象学作了比较全面的介绍。书中文字力求通俗易懂，内容选取着重联系实际，并附有近百幅典型的卫星云图照片。另外书后附有有关卫星气象方面的名词解释以及英汉名词对照，供使用者参考。

本书主要对象是从事卫星气象工作方面的接收人员和天气预报人员。对于一般气象工作者及其他有关人员也有参考价值。

卫星云图的接收和分析 (凭证发行)

科学出版社出版

北京西直门外三里河路2号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971年11月第一版 1971年11月第一次印刷

定价：2.67元

毛主席语录

我们也要搞人造卫星。

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。

我们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。

前 言

伟大领袖毛主席发出的“**我们也要搞人造卫星**”的伟大号召胜利地实现了。1970年4月24日我国成功地发射了第一颗人造地球卫星,雄壮的“东方红”乐曲响彻了宇宙太空;今年3月3日我国又成功地发射了一颗科学实验人造地球卫星。这是战无不胜的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曲雄伟壮丽的凯歌,是我国人民在伟大领袖毛主席和党中央领导下,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**所取得的又一丰硕成果。

我国的人造地球卫星上天,极大地鼓舞着全国和全世界革命人民,给妄图称霸世界的美帝国主义和社会帝国主义以沉重的打击,粉碎了他们垄断空间技术的迷梦;我国的人造卫星上天,也给我国的卫星气象工作开辟了广阔的前景。

然而,长期以来,叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在科技界的代理人疯狂反对毛主席关于“**独立自主、自力更生**”的伟大方针,拚命推行一条反革命修正主义的科研路线,竭力宣扬买办洋奴哲学、爬行主义,对抗毛主席的无产阶级革命路线。卫星气象工作曾被他们吹得玄而又玄,似乎只有依靠外国人,只有靠从外国进口成套设备才能开展起来。

“**无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。**”史无前例的无产阶级文化大革命中,广大气象工作者批判了刘少奇的反革命修正主义路线,遵照伟大领袖毛主席关于“**我们不能走世界各国技术发展的老路,跟在别人后面一步一步地爬行**”、“**我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国**”以及“**古为今用,洋为中用**”的教导,在党的“九大”精神的鼓舞下,贯彻执行“**鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义**”的总路线和“**提高警惕,保卫祖国**”、“**备战、备荒、为人民**”的伟大战略方针,独立自主、自力更生,开始了卫星气象的研究工作,并协同有关单位研制成功了整套气象卫星云图接收设备,投入了日常观测、使用,得到了我国自己接收的云图照片。根据一年来的云图接收和分析工作,并批判地吸取了国外气象卫星的有关情况,我们编写了《卫星云图的接收和分析》一书。由于我们学习毛泽东思想不够,这项工作也仅开展一年多的时间,实践经验甚少,因此,无论是在我们的工作中,还是在本书里,都可能存在不少错误,我们恳切地希望同志们提出宝贵意见,以便改进我们的工作,使之更好地适应社会主义建设事业飞跃发展的需要。

目 录

前 言

第一章 气象卫星的观测原理·····	(1)
1.1 引言 ·····	(1)
1.2 气象卫星观测的特点 ·····	(2)
1.3 气象卫星的轨道 ·····	(5)
1.4 卫星的姿态 ·····	(12)
1.5 气象卫星的简单介绍 ·····	(15)
1.6 气象卫星上的电视照相机 ·····	(19)
第二章 卫星云图的接收·····	(25)
2.1 卫星云图接收的一般原理 ·····	(25)
2.2 地面接收站的选定 ·····	(26)
2.3 地面接收站的主要设备 ·····	(27)
2.4 接收前的准备工作 ·····	(31)
2.5 卫星图片接收的操作规程 ·····	(44)
2.6 关于接收中的几个问题 ·····	(45)
第三章 电视云图的定位方法·····	(50)
3.1 电视云图定位的操作步骤 ·····	(50)
3.2 定位表的制作方法 ·····	(53)
3.3 θ 角的求法 ·····	(55)
3.4 定位网格的制作方法 ·····	(56)
3.5 云图定位的误差及其他的定位方法 ·····	(59)
第四章 卫星云图的分析·····	(62)
4.1 卫星云图照片 ·····	(62)
4.2 云的识别方法 ·····	(63)
4.3 卫星云图上能识别的云的种类 ·····	(65)
4.4 卫星云图上云的分布(云系) ·····	(67)

4.5 地表面特征的分析	(69)
4.6 从卫星云图上所能识别的中、高纬度天气系统.....	(71)
4.7 热带云系	(79)
4.8 根据卫星云图推论对流层风场的方法	(83)
第五章 我国几类天气系统的卫星云图分析.....	(87)
5.1 我国的锋面云带分析	(87)
5.2 我国气旋的卫星云图分析	(88)
5.3 南支西风带波动的分析	(89)
5.4 西太平洋上热带气旋的发展和定位问题	(90)
5.5 夏季西太平洋 500 毫巴副热带高压脊的分析	(93)
5.6 夏季大陆上雷暴的分析	(94)
第六章 气象卫星的辐射观测.....	(95)
6.1 扫描辐射仪的观测原理	(95)
6.2 扫描辐射仪	(98)
6.3 有关扫描辐射仪探测中的几个问题	(100)
6.4 红外云图的定位和分析	(101)
6.5 卫星探测大气温度垂直分布的初步结果	(110)
附 录	
名词解释	(116)
与卫星气象有关的一些术语(英汉对照)	(123)
附表 1. 有关艾萨-8、艾托斯-1、雨云-4 气象卫星的资料表	(127)
附表 2. 卫星照片上各类云的外貌	(129)
附表 3. 卫星云图照片识别的步骤	(131)
附图: 第四、五、六章云图照片与天气图	(133)

毛主席语录

感觉只解决现象问题,理论才解决本质问题。这些问题的解决,一点也不能离开实践。

事物发展的根本原因,不是在事物的外部而是在事物的内部,在于事物内部的矛盾性。

第一章 气象卫星的观测原理

1.1 引言

气象卫星是利用人造地球卫星从外空对地球和大气进行气象观测的一种工具。由于气象卫星能够观测到世界各地的气象变化,而且观测资料可储存在卫星内,做到严格保密,因而最初气象卫星的发射是用于进行秘密军事侦察的。尤其是美帝国主义一直把研制和发射气象卫星作为窃取全球气象情报为其侵略目的服务的工具。从五十年代末,美国已开始秘密研制气象卫星,早期的泰罗斯气象卫星完全控制在美国的军事部门手中。从1960年到现在十年间,美国先后发射了28个气象卫星,或带有重要气象探测仪器的卫星。美帝国主义这样花费昂贵的代价,大量而频繁地发射气象卫星,主要是为了适应它不断扩大侵略战争的需要,为军事目的服务。正如伟大领袖毛主席指出的:“美国确实有科学,有技术,可惜抓在资本家手里,不抓在人民手里,其用处就是对内剥削和压迫,对外侵略和杀人。”我们知道,美帝国主义在世界各地有许多军事基地和驻军,军舰在海洋上到处横行,在印度支那等地不断发动侵略战争,不断把战火向其他地方蔓延。在美帝基地上也都装备有接收卫星气象观测资料的设备,以获取被侵略地区的重要气象情报。

美帝国主义发展气象卫星的真正目的是为其全球侵略计划服务的,但是它为了掩盖这种侵略本质,经常打着“科学考察”“为全球气象服务”等幌子,吹嘘气象卫星给各国带来种种“利益”。揭穿其虚伪欺骗性,就可以看出它窃取全球气象情报的真实目的。实际上气象卫星通过APT设备向世界各地直接发送云图等资料是有限的,大量的观测资料都是先储存于卫星上,以后当卫星飞越美国本土上空时,由一些专门的地面站接收。美国国内设有专门的分析处理机构,整理、汇编这样窃取的全球气象情报。美国从发射气象卫星以来,窃取了我国领土上空的大量气象情报。

1966年以后苏修也发射了气象卫星,同样也是为了适应其社会帝国主义对外扩张和侵略政策的需要。苏修的气象卫星是完全保密的,观测资料只能由专门的接收站接收。

在“独立自主、自力更生”方针的指引下,去年我国成功地发射了第一颗人造地球卫

星,“东方红”的胜利凯歌响彻云霄,今年我国又成功地发射了第二颗科学实验人造地球卫星,这是给美帝苏修一个沉重的打击;并且给我国气象卫星的发展开辟了广阔的前景。我们深信,我国人民在毛主席无产阶级革命路线的指引下,一定能在不久的将来,赶上和超过世界先进水平。

1.2 气象卫星观测的特点

毛主席教导我们:“离开具体的分析,就不能认识任何矛盾的特性。我们必须时刻记得列宁的话:对于具体的事物作具体的分析。”气象卫星作为一种气象观测工具,跟一般常用的气象观测仪器相比较,有如下一些特点:

1. 气象卫星观测的对象是全球的大气现象,而不是象一般观测仪器所观测的只是某一地点或某一地区内的天气现象。卫星在空间一定的轨道上运行,地球在轨道下方,不断地自西向东自转,这两种运动的结果使卫星能够周期性观测到地球上的每一地点(图1.1)。这使得地球上资料缺乏的地区,例如占全球面积五分之四的广阔海洋、荒无人烟的沙漠和偏僻的山区,都可以从卫星得到气象资料。

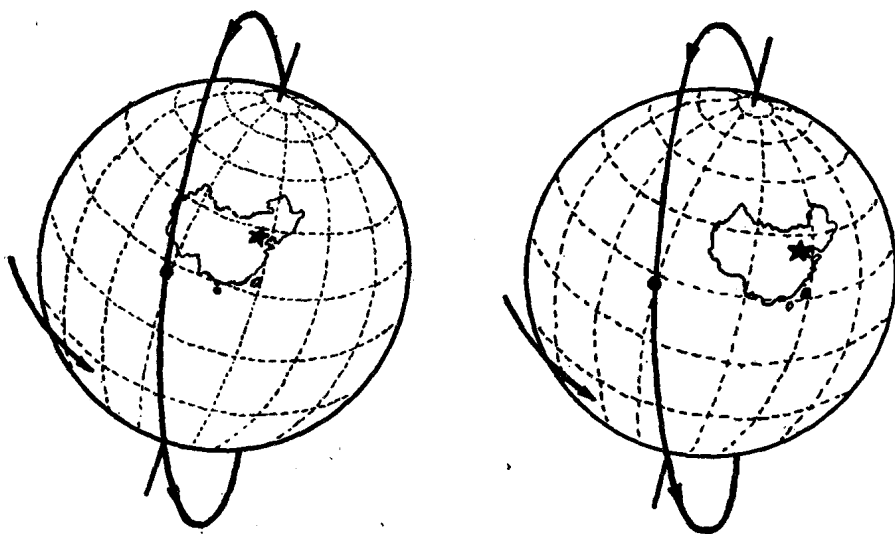


图 1.1 气象卫星的全球观测

除了从卫星上直接探测全球各地区的资料以外,卫星还可以担负对海洋漂浮站、船舶、气球以及自动气象站的定位、资料收集和转播工作。在地球上空飞行的卫星通过一定的无线电设备,可以追踪平移气球和漂浮站的移动,从而推算出风场和洋流情况,并能迅速收集它们的观测资料,以后再转发给地面专门的资料收集和处理中心。

2. 气象卫星作为一个天体是在空间一定的轨道上运行(图1.2),因而是在固定的路线上进行观测,而不象飞机观测等可以自由操纵,改变观测路线,但是我们可以根据气象观测要求,对卫星的轨道(卫星的高度、倾角和轨道的形状等)作适当的选择。例如为了得

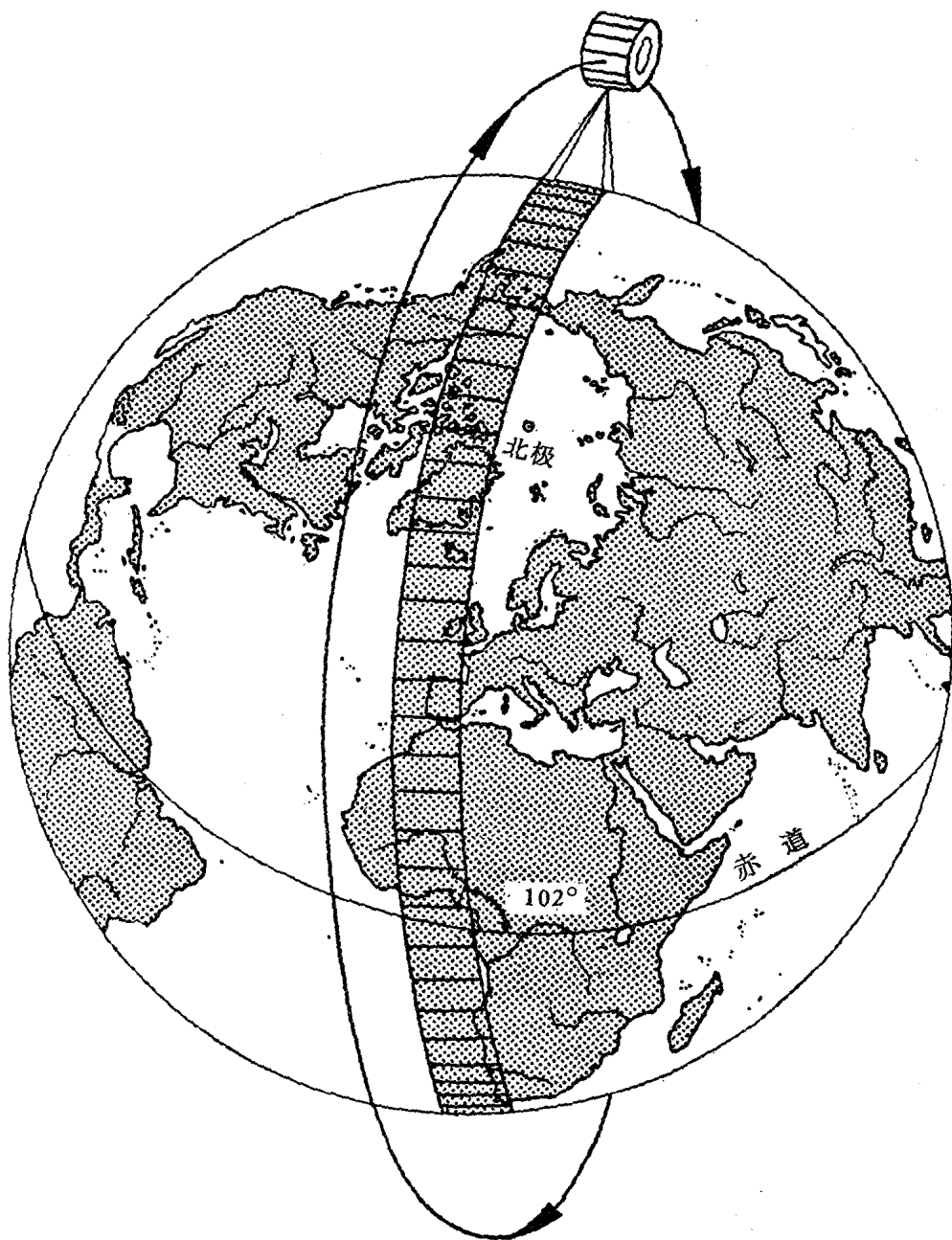


图 1.2 气象卫星沿轨道进行观测

到较大面积的观测,可以选取较高的卫星高度,反之,为了使拍摄的物体更加清晰,可以选取较低的轨道。利用椭圆形的轨道能够得到不同高度上的气象资料以进行比较。圆形的轨道可以使拍摄的图片面积具有同样大小。不同的轨道倾角决定着观测地区的范围,例如,为了观测低纬地区,可选较小的倾角;为了观测中高纬大范围地区,应选取较大的倾角。总之,虽然卫星的轨道在空间一经确定一般不易改变,但我们根据不同的观测目的和要求,可以发射不同轨道的卫星。

3. 气象卫星采用遥测感应的方式。一般气象观测工具是放在大气层里面读取数据的。卫星观测相反,它的感应元件是在大气层的外面来测量或感应下面大气中的气象要素。拿温度观测来说,不论是把温度计放在地面百叶箱中或探空仪中观测,感应元件和大气是直接接触的;但在卫星上却是通过感应来自地面或各高度大气层的电磁波辐射实现地面和各层温度测量的。

4. 卫星是在空间从上而下观测地球和大气的。用卫星观测云的时候,如果上面和下面有几层云存在,只能看到高云的特征。底下的云层便不容易看出。只有当高云很薄时,才能透过高云看到下面的中低云。

此外,卫星的视角对云的观测影响也很大,我们用图 1.3 来说明。在图上举出三种情

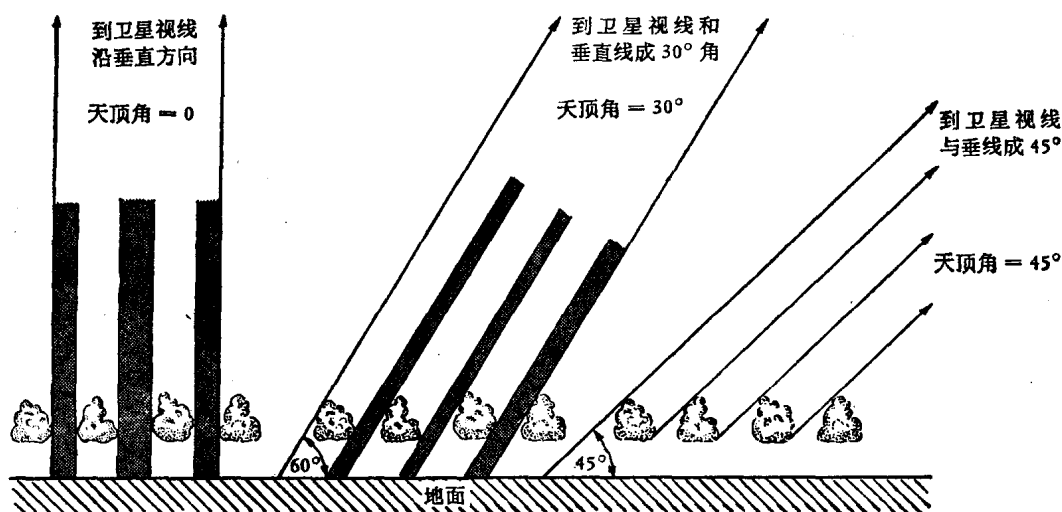


图 1.3 三个不同视角情况下的卫星观测

况,假定云的分布均占二分之一面积。由于卫星的视角不同,所拍摄到的云图差别却甚大。当卫星天顶角为零度时,卫星垂直处于当地上空,照相机正对地面,此时所拍摄的云图表现为晴空区和云区相间出现。晴空区和云区的面积各占二分之一,和实际情况相符。当天顶角为 30 度时,由于云层部分遮住了晴空区的视线,所拍摄到的云图上晴空区甚小,往往不容易分辨,但尚可由亮度的差别识别出来,即照片上云区亮度较暗的地区实际上是晴空区,如果天顶角为 45 度,云层完全遮住了晴空区的视线,所拍摄的照片便看不见有晴空区了。这个特点很重要,在后面第四章云图分析中,会讲到在一张图片边缘部分的云系,一般都不表示真实的云量分布。

5. 由于气象卫星是在地球大气之外的空间进行观测的,它对于某些气象要素观测特别合适。例如辐射观测,可以测量从地球-大气系统反射的太阳辐射以及从地球-大气系统放射的红外长波辐射,可以直接测量太阳辐射的能量输入和变化,从而计算地球-大气系统的热平衡状态。

6. 气象卫星可以代替一般的气象通讯网,进行各种气象资料的转播工作。如果卫星处于几万公里的上空,由于绕地球旋转一周所需要的时间和地球自转一周所需要的时间一样,为 24 小时,看起来卫星好象固定在天空的某一点。利用这种卫星可以作为通讯中

继站,用无线电波转播各种天气资料,如天气图、预告图、云图等(图 1.4)。地面通讯中心只要先把资料发送给卫星,通过卫星就可以转播给更远的接收地点。转播气象资料是气象卫星应用的一个重要方面。

概括起来说,气象卫星是在空间一定的轨道上通过卫星携带的测量仪器和感应元件对电磁波辐射的感应实现气象观测的。其中,卫星是在空间固定的轨道上进行观测这一点,是气象卫星观测最基本的特征。

气象卫星是一种多目的探测工具,利用不同的技术可以探测到许多气象要素和大气现象。从目前气象卫星的探测在业务应用中看,主要包括下列七个方面的内容:

- (1) 白天、夜晚云图(电视图片和辐射图片)。
- (2) 在无云区的冰和雪覆盖。
- (3) 云顶或无云区地表面的辐射温度和云顶的高度。
- (4) 温度垂直分布的廓线。
- (5) 经过地球-大气系统反射和散射的,返回空间的太阳短波辐射总量的分布。
- (6) 地球-大气系统向空间放射的长波辐射总量的分布。
- (7) 利用卫星云图估计风速。

本书从天气分析和天气预报的要求出发,主要讲(1)、(2)两个方面的内容,对于(3)、(4)、(7)方面,由于我们的工作进行不多,只作简单的介绍。(5)、(6)方面的内容主要用于研究地球的气候变迁问题,例如地球增暖问题等,这里不作介绍。至于气象卫星对其他气象要素的探测,例如臭氧、雷暴活动、水汽分布、降水分布等,由于这方面的工作还处于试验阶段,这里也不介绍。

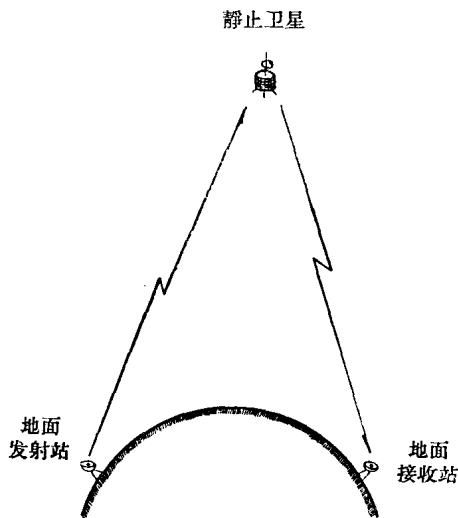


图 1.4 利用气象卫星转播气象资料

1.3 气象卫星的轨道

1.3.1 卫星的发射

在宇宙空间里,有无数的恒星、行星、卫星等等,例如太阳就是一个恒星,地球是一个行星,月亮是地球的卫星,这些星球我们统称为天体。所有的天体都处于运动状态中,在空间按一定的路线运动,正象飞机沿一定的航线,火车沿固定的铁轨运行一样。我们把天体运动所遵循的这种路线叫做轨道。人造地球卫星和月亮一样也是围绕着地球运转的,它和一切天体的运转规律一样,也是沿着一定的轨道运动。为什么人造地球卫星能够离开地面进入轨道,并不停地在它的轨道上有规律地运动呢?

我们知道,从地面抛出一个物体,因为受到地球的引力,会落回地面。但如果增加向水平方向抛出的速度,不但使物体走的路线越远,而且路线弯曲程度也越小,越是加快物体的速度,它走的路线就越平直(图 1.5)。如果物体具有这样的速度,使飞行路线的曲率略

小于地球表面的曲率,它就会不再落到地球上来了,成为人造卫星,围绕地球运行。根据计算,如果不考虑空气阻力,当物体具有 7.9 公里/秒的水平速度时,它就能成为在地球表面附近沿圆形轨道运行的人造地球卫星。在此

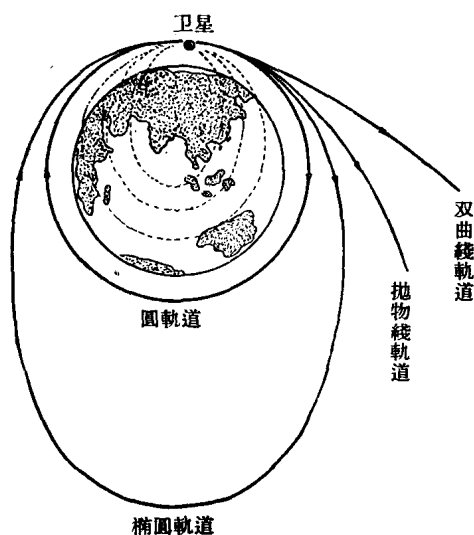


图 1.5 不同初始速度所形成的轨道形状

情况下,作用在卫星上的两个力,一个离心力,一个地球的引力是互相平衡的。所以卫星既不会离开地球飞走,也不会掉到地球上来了,只能一圈又一圈绕地球飞行。如果物体得到的速度大于 7.9 公里/秒,物体所受的离心力也会增大,平衡的圆周运动就要受到破坏,卫星走的路线更加平直,而成为一个在圆轨道之外的椭圆轨道。随着速度的加快,轨道也就相应的成为一个比一个大的椭圆,当速度达到 11.2 公里/秒时,轨道就不再是一个闭合的椭圆,而是一条永远张开的曲线——抛物线。这时卫星摆脱了地球引力飞出地球,成为象地球一样围绕着太阳运行的人造行星了。如果卫星的速度比 11.2 公里/秒再大一些,轨道成为比抛物线张得更开的双

曲线了。为了使卫星达到上述各种宇宙速度,必须利用多级火箭(一般是三级)把卫星送入高空进入轨道。一旦当卫星进入轨道后,就不再需要任何推力,它完全按照天体运动的规律绕地球运行了。

总之,当卫星由火箭加速获得一个速度之后,在地球引力作用下,它们运行的轨道可能是圆形、椭圆、抛物线或双曲线,轨道的形状完全决定于火箭把它们送上轨道那一瞬间的速度。

1.3.2 气象卫星轨道的主要参数

决定卫星在轨道平面内的运动和空间位置的参数很多,我们这里主要介绍对气象卫星来说最主要的几个参数:即卫星的倾角、高度和周期。这几个参数在后面第二章中讲接收时还要用到。

1.3.2.1 卫星的倾角: 卫星的轨道平面是卫星运行轨道所处的平面,它是通过地球中心的。轨道平面和赤道平面的夹角叫做倾角[图 1.6(1)],单位是度。当卫星的轨道平面和赤道平面重合卫星处于赤道上空运行时,倾角是 0° 。一般倾角都是从赤道平面到轨道平面反时针计算的。如果卫星是从西向东顺地球自转方向运动,则倾角处于 0° 到 90° 之间,具有这种倾角的轨道,我们称为前进轨道。我国第一颗人造地球卫星的倾角是 68.5° ,即属于此种轨道。如果卫星从东向西逆地球自转方向运动,则倾角在 90° 到 180° 之间,这种轨道称为后退轨道[图 1.6(1)]。轨道的倾角对卫星的观测和发射有很大的影响,倾角越大,观测的区域越大。从气象上看,为了观测全球的天气变化,应有较大的倾角。但从发射卫星的观点看,倾角越大,从地球上发射同样重量的卫星所需要的能量就越大。在赤道上,顺着地球自转方向发射一个卫星,由于利用了地球自转的力量(速度为

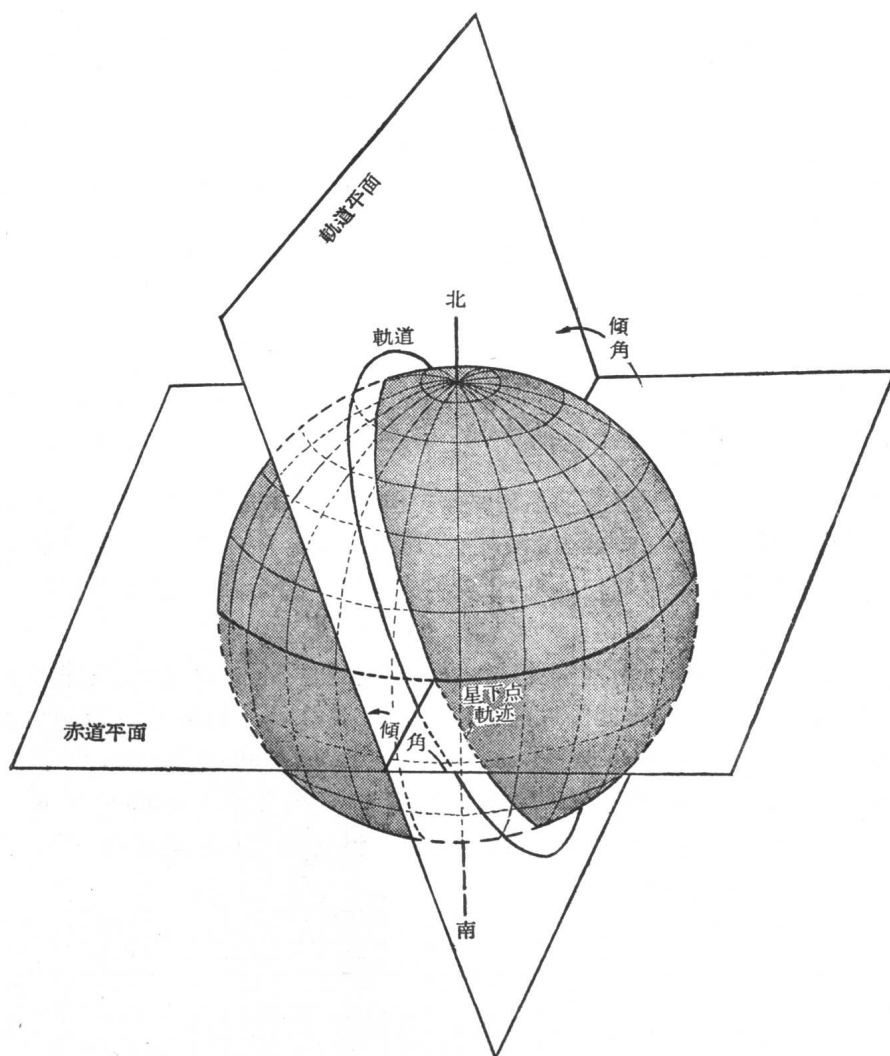


图 1.6(1) 卫星的轨道参数

456 米/秒), 发射时差不多可以省 13% 的能量。随着轨道倾角增大, 利用地球自转的部分也越来越小。当倾角为 90° 时, 发射时一点也用不上地球的自转力, 还要克服地球自转力的作用, 因而要花费更大的能量。

1.3.2.2 卫星的高度: 卫星离地球表面的距离叫卫星的高度, 一般以公里为单位。如果卫星在近于圆形的轨道上运动, 则卫星无论飞到那个地区的上空, 高度都大致一样。如果卫星是在一个椭圆的轨道上运动, 则卫星离地面的高度就不是一个固定的值。我们把卫星运行轨道距离地球最近的一点叫做近地点, 最远的点叫远地点 [图 1.6(2)]。我国的第一颗人造地球卫星的近地点是 439 公里, 远地点是 2384 公里。

什么样的卫星高度对气象观测比较合适呢? 这取决于照相机的视场和对卫星观测寿命的要求。如果卫星处于比较低的高度上(例如 200 公里), 由于空气的密度比较大, 卫星受到的阻力也大, 这会使卫星越飞越低, 最后燃烧在浓密的大气层中, 因而卫星的寿命不长, 只有几天。如果卫星处于很高的高空, 例如几千公里以上, 卫星受到的大气阻力显著

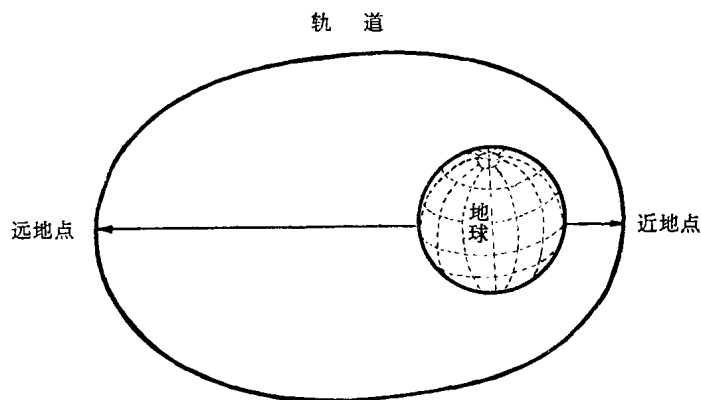


图 1.6(2) 卫星的轨道参数

减小,卫星的寿命将长达几万年以上不易坠落。但是这样高的高度对于观测不利,一方面是拍摄的物体不易看清,另一方面相邻轨道之间图片可能不相接,或者在图片边缘部分,由于视角过于倾斜,图片严重畸变,限制了资料的使用。因而,轨道高度一般选作 1400—1500 公里。

对于一定视场的照相机(目前都为 108°), 卫星高度不同,对应于地面拍摄的图片面积不同。卫星高度愈高,拍摄的图片面积愈大[图 1.7(1)]。例如对于 1100 公里高度的卫星,拍摄的图片面积为: $2350 \text{ 公里} \times 2350 \text{ 公里} = 5522500 \text{ 平方公里}$, 对于 1400 公里高度上的卫星,拍摄的图片面积为: $3200 \text{ 公里} \times 3200 \text{ 公里} = 10240000 \text{ 平方公里}$ 。

图片面积大小的计算公式由图 1.7(2) 决定。设 η_c 是照相机视场的一半, 弧长 d 是

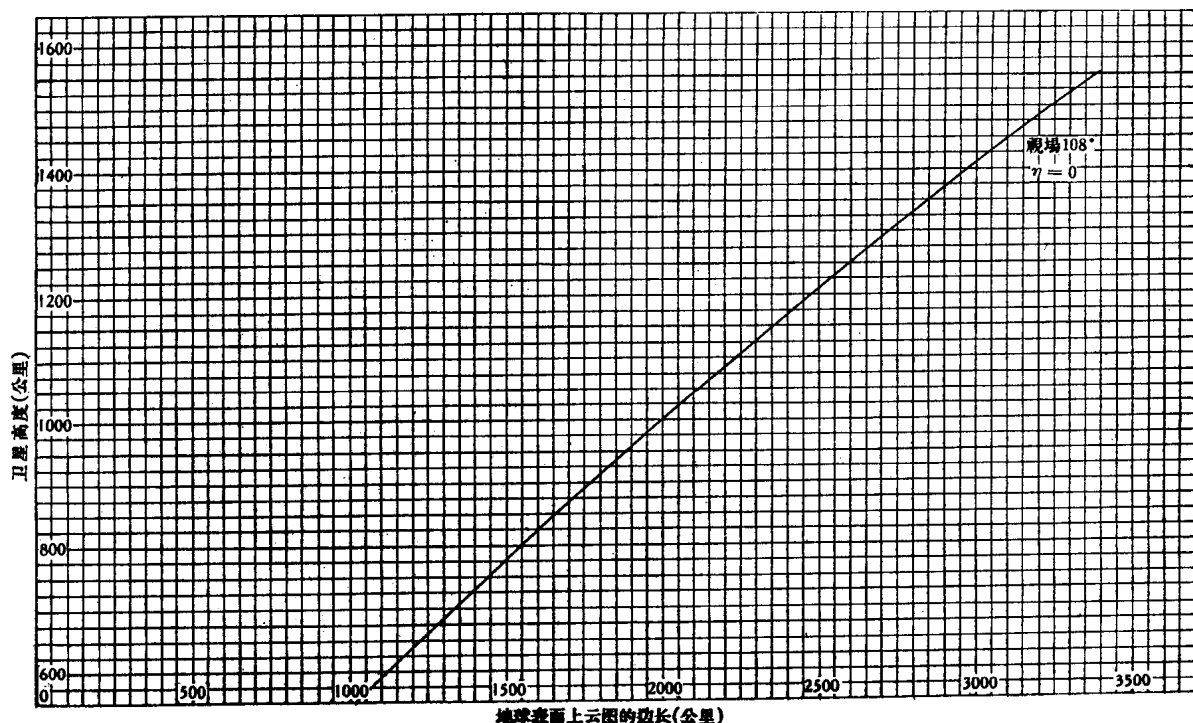


图 1.7(1) 图片拍摄面积和高度的关系

η_c 在地球上所截的弧长即图片边缘到星下点在球面上的距离。 δ_c 是 d 对应的圆心角。由此三角形利用正弦定理得

$$(1) \sin \beta_c = \frac{R+h}{R} \sin \eta_c, \text{ 求出 } \beta_c;$$

$$(2) \delta_c = 180^\circ - (\eta_c + \beta_c), \text{ 求出 } \delta_c;$$

$$(3) d = \left(\delta_c \times \frac{\pi}{180} \right) \times R,$$

$$(4) \text{ 图片面积 } s = 2d \times 2d = 4d^2。$$

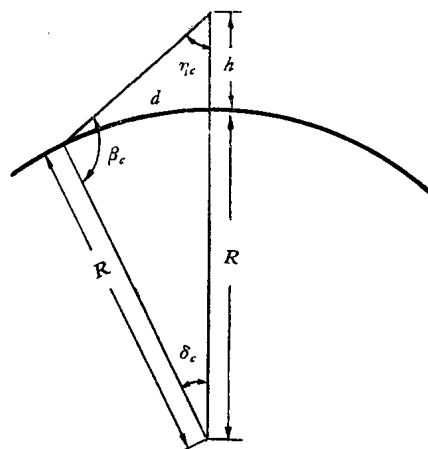


图 1.7(2)

1.3.2.3 卫星的周期: 卫星沿轨道绕地球飞行一周所需要的时间叫卫星运行的周期, 周期的单位一般用分。我国第一颗人造地球卫星的周期是 114 分钟。卫星的周期和高度有固定的关系, 周期随着卫星高度增加而增加。卫星离地面愈高, 围绕地球运行一周的时间愈长, 高度愈低, 绕地球一周的时间愈短。在卫星沿轨道运行的同时, 地球在轨道内不停地自西向东旋转。因为地球每 24 小时自转一圈, 所以每小时转 15° , 根据相对运动原理, 如果把地球看作不动, 卫星轨道每小时向西后退 15° , 因而卫星绕地球一周回到原来起点时, 对应的已不是原来的地点, 而是偏西一定经度的地点。例如, 假设卫星的周期恰好是 2 小时, 卫星旋转一圈又回到空间的同一起点之后, 原来对应的地面那一点已向东移动了 $2 \times 15 = 30$ 个经度, 在习惯上也可认为对应于这一地点卫星向西退了 30° 。这一点在以后推算过某一观测点的卫星轨道时很重要, 要记住, 由于地球的自转, 下一条轨道总是比前一条轨道更偏西。卫星围绕地球一周所转过的度数 (30°) 也叫卫星在赤道上的截距。知道了截距以后, 可以推算出以后任意一条轨道过赤道的位置。在每天的卫星报上给出了每一个卫星的周期和截距。

一般给出的轨道参数数值, 仅是初始轨道值。由于地球引力的影响, 以及空气的阻力, 太阳、月亮的引力、磁场、光压等作用, 这些轨道参数会发生变化, 但对气象卫星而言, 这些参数的变化是极其缓慢的。

1.3.3 近极地太阳同步轨道

从气象上讲, 希望卫星能得到同一时刻的各地气象资料, 并且和一般天气图的时间一致 (即世界时 00、06、12、18 时)。要做到这一点是困难的, 即使同时有几个卫星在全球同时进行观测也难以达到和上述标准时间完全一致。目前只要求和主要天气图时间相差不超过 ± 3 小时就行了, 为此这只须发射两个气象卫星就可办到。此外, 为了便于业务使用以及确保在每天照相时有适当的照明条件, 应使卫星每天在固定的时间 (同一地方时) 经过每个地点上空, 例如, 让卫星在每天地方时九时经过北京。这样拍摄的云图可和 08 时 (世界时 00 时) 相配合使用, 它们的时差固定为一小时。要做到这一点, 要求卫星的轨道平面和太阳保持固定的相对取向。这样的轨道就称太阳同步轨道。为达到太阳同步, 要求卫星的轨道必须是圆形的, 并且高度和倾角有一定的关系。

1.3.3.1 圆形轨道: 圆形轨道不但是为实现太阳同步轨道的重要条件之一, 同时从

气象观测上看,也有许多优点。圆形轨道可使在资料处理时,不需要对高度的变化进行订正。因为圆形轨道使得拍摄的图片具有相同的面积和尺度,并且星下点也总是等速在地面上运动,这就使图片定位方法大为简化,也给轨道预告带来方便。为了达到圆形轨道,卫星进入轨道时的速度必须正好等于该高度上的环绕速度,并且速度要严格的水平(平行于地表面),否则将是一个椭圆。要完全达到这个要求是不容易的。实际上在椭球状的地球上并不能得到精确的圆形轨道,气象卫星的轨道并不是一个真正的圆,而是一个偏心率很小近于圆形的椭圆。由于这个偏心率极小,在一般问题处理中,可以近似地看做是圆形轨道。

1.3.3.2 轨道平面的进动: 为了实现太阳同步轨道,对一定高度的卫星,还要求按一定的倾角发射,即朝一定的方向发射。目前处于太阳同步轨道上的气象卫星都是朝西北偏北方向发射,即卫星运动方向和地球自转方向相反。实际倾角的大小决定于卫星的高度,卫星愈高,这个角度愈大。卫星愈低,这个角度愈小。例如对于 1100 公里的雨云卫星倾角为 98.9° , 对于 1400 公里的艾萨、艾托斯卫星,倾角为 102° , 这种倾角的圆形轨道为什么能实现太阳同步呢? 这主要和卫星轨道平面的进动有关。

我们知道地球不是一个理想球体,而是一个在赤道地区有些微隆起的椭球体。这使得在赤道和两极处重力有一些差异,从而对轨道上运动的卫星产生一个引力,引力的方向在南北两半球都是指向赤道的。因此卫星的轨道在空间并不能固定不变,而是轨道平面围绕着地球作缓慢的转动。这种转动就叫做轨道平面的进动。轨道平面在天文坐标系中每天进动多少度(赤经),取决于轨道的倾角和高度。进动的方向和卫星在轨道上运动的方向相反。如果卫星是从西向东顺地球自转方向运动的(称为前进轨道),进动的方向是向西[图 1.8(1)],如果卫星是从东向西逆地球自转方向运动的(称为后退轨道),进动是从西向东。轨道平面的进动现象和陀螺旋转的情况相似。陀螺在地面旋转时,它的旋转轴也同时绕另一个中心旋转,但速度更慢,方向相反。我国第一颗人造地球卫星轨道平面进动的方向是自东向西,每天进动 2° 。对于倾角为 102° , 高度 1400 公里的气象卫星则轨道平面是每天向东进动 1° 。

1.3.3.3 太阳同步轨道的实现: 轨道平面除了上面谈到的由于地球是椭球体所造成的进动以外,还有另一种运动,这种运动由地球绕太阳公转产生的。当地球围绕着太阳公转时,轨道平面也一起跟着公转。地球绕太阳公转一圈约需 365 天,此时期内地球自身以及轨道平面相对于太阳也转动了一圈,每天轨道平面转动的数值为 $360^\circ/365 = 0.985^\circ \approx 1^\circ$ 。由于地球绕太阳公转方向是自东向西的,因而轨道平面转动的方向也是自东向西的,如果不考虑别的运动,这种运动的结果使卫星每天提早 4 分钟($24 \times 60/360$ 分)出现于同一观测点。

为了消除地球围绕太阳公转给轨道平面造成的影响,使卫星轨道平面始终和太阳保持同一相对角度,可以利用卫星在椭球地球上进动的特性去抵消它。因为轨道平面的转动是每天自东向西约 1° , 所以应使卫星产生每天自西向东 1° 左右的进动才能抵消(一年进动一周)。这就要求卫星必须是自东向西运动的,即后退轨道(倾角为 i , 则 $90^\circ < i < 180^\circ$), 此时轨道平面围绕地球的进动和地球以及轨道平面围绕着太阳的公转相互抵消,因而轨道平面相对于太阳的取向在整个卫星工作期间保持不变[图 1.8(2)], 因为一个地点的地方时由该点和太阳的取向决定, 因而达到太阳同步轨道的卫星就可以每天近于同一地方时出现于观测站上空。如果适当选定发射时间,则由这个时间所决定的轨道平面