

航天科技 知识解读

徐 矛◎编著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

航天科技知识解读

徐 矛 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书既是叙述航天科学技术基础知识的简明读物,也是通过介绍我国的航天科技活动,展示新中国建国以来航天事业取得的辉煌成就和颂扬爱国主义精神的读物。内容包括天体(含人造天体)运行的动力学原理和火箭推进原理、航天器的运行轨道、航天系统工程的组成、我国航天基础设施的建设和发展等,以我国发射应用卫星、载人航天、深空探月三项航天工程为主线,介绍了工程实施概况和相关航天科技知识。

本书可作为中学、大学在校学生的课外读物;同时,也是航天部门的非专业人员、从事科技宣传报导工作的传媒工作者和航天科技活动爱好者,了解航天科技知识的一本参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

航天科技知识解读 / 徐矛编著. —北京:国防工业出版社,2010.12
ISBN 978-7-118-07294-5

I. ①航... II. ①徐... III. ①航天学—普及读物
IV. ①V4-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 002674 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 700×1000 1/16 印张 24½ 字数 365 千字
2010 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

PREFACE

前言

我国高科技领域的航天事业,始创于建国初期的 1956 年。回顾我国这半个多世纪航天事业的发展历程,更是白手起家,从无到有,从陋至盛。走的是一条独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勇攀高峰的道路,取得了辉煌的成就。世界近代史和世界外交史,反复证实了一条简单而又明了的真理:“落后就要挨打”、“弱国无外交”。中国人民永远不会忘记英法联军火烧圆明园、丧权辱国的《南京条约》、《马关条约》、八国联军攻占北京、《二十一条》、“九一八事变”、“七七事变”等一系列刻骨铭心的奇耻大辱。站立起来的中国人民在老一代领导人发展“两弹一星”的决策指引下,经过几代航天人的不懈努力,迅速创建了航天工程的基础设施,并不断得到改进和完善;研制了航天系列产品,迈上了发展应用卫星、载人航天、深空探测三个台阶,取得了令世人瞩目的成就,实现了为祖国争光,为民族争气,为社会造福,使我国在世界高科技领域中占有一席之地。值得可喜的是,在实践中造就和培养了一大批航天科技人才,使航天事业得以一代一代传承下去,青年的一代又不断补充进来,形成蓬勃发展的的大好局面。更加值得珍惜的是,在我国几十年的航天科技活动中,铸造了宝贵的“两弹一星”精神、“载人航天”精神。这是一笔无以估量的精神财富,将永远激励我国科技队伍为赶超世界先进航天科技水平,为振兴中华而不断努力奋斗。

本书是想通过对半个多世纪中国航天之旅的回顾,从航天领域这个侧面,颂扬我们祖国 60 多年来的伟大成就,介绍航天科技的发展状况,介绍各航天系统工程项目在国家经济建设、国家安全、科技进步所起的作用,同时向

读者介绍有关航天科技方面的一些基本原理和基础知识,使更多的人,尤其是青年人,了解和关心航天事业,吸引更多的人投身到航天事业中来,成为航天事业的参与者和接班人。

全书共分5章。第1章简要介绍天体运行的基本定律和动力学基本原理,介绍航天器运行轨道与火箭推进原理等基础知识和有关航天的一些预备知识。第2章介绍我国航天系统工程如何在艰难条件下创业,包括研制系列运载火箭,建设航天发射场和建立航天测控通信网,为实现把卫星送上天而奋力打造“天梯”。第3章介绍自1970年4月我国发射第一颗“东方红”1号卫星以来,30多年来发射的各个应用卫星系列的功能、原理、发展状况和对社会所起的作用等。第4章介绍我国载人航天工程中各大系统的实施情况和后续任务,反映出中国航天人攀登世界航天科技高峰的勇气和成就,实现中华民族的千年飞天梦,登上我国航天事业发展的第二个台阶。第5章介绍我国“嫦娥”探月工程的目标和众多技术难点,以及实施中如何突破难点,登上我国航天事业发展的第三个台阶,圆满完成绕月探测任务。对后续的“落”、“回”两步作简要提示。

本书既可作为一部爱国主义教材,从中学习我国几代航天人如何克服困难,攀登世界科技高峰的爱国激情和无私奉献精神,又可作为一部航天科普知识教材,学习航天基础知识,拓宽科学知识面,从中受益。

在本书编著过程中,参考了许多专家、学者的著作和撰写的文章(见参考文献),也参考了有关网站(如 www.cctv.com、www.cnsa.gov.cn、www.cmse.gov.cn 等)提供的文章、视频、图片资料等,在此表示衷心感谢。中国载人航天工程首任总设计师王永志院士审阅了书中第4章的内容;舒昌廉专家对本书的编写给予指导,审改了书中前四章的内容。在此,一并表示诚挚的谢意。

由于编著者水平所限,不少不妥之处恳请读者指正。

编著者



目录

CONTENTS

第1章 基本原理 基础知识

1.1 天体运行的动力学原理	1
1.2 牛顿的伟大发现	5
1.3 宇宙速度	7
1.4 有关航天器轨道运行的基础知识	12
1.5 航天器的发射轨道与运行轨道	32
1.6 火箭推进原理及推进装置	50

第2章 艰难创业 奋建天梯

2.1 航天工程的组成	67
2.2 我国航天工程的创建和成就	71
2.3 航天运载火箭	77
2.4 航天发射场	108
2.5 航天测控通信网	125

第3章 众星璀璨 造福社会

3.1 卫星的基本保障系统	150
3.2 通信卫星及其应用	170
3.3 气象卫星及其应用	180
3.4 地球资源卫星与环境监测卫星	189
3.5 返回式遥感卫星	202
3.6 导航卫星	206
3.7 空间科学探测卫星	216
3.8 技术试验卫星	220

第4章 载人飞天 千年梦圆

4.1	概述	224
4.2	航天员系统	227
4.3	载人飞船系统	235
4.4	飞船运载火箭系统	243
4.5	空间应用系统	249
4.6	载人航天发射场系统	259
4.7	载人航天测控通信系统	265
4.8	载人航天着陆场	271
4.9	中国人千年梦圆	277
4.10	“神舟”七号实现太空漫步	285
4.11	我国载人航天的后续任务	298

第5章 突破难关 嫦娥奔月

5.1	月球概况	306
5.2	人类的探月之路	312
5.3	中国的绕月探测工程	319
5.4	“嫦娥”1号卫星	325
5.5	“嫦娥”1号卫星的运载火箭	332
5.6	“嫦娥”1号卫星的发射场	336
5.7	“嫦娥”1号卫星的远距离测控通信	340
5.8	“嫦娥”1号的奔月轨道	346
5.9	“嫦娥”1号的飞行控制	352
5.10	天文现象与空间环境对探月的影响	357
5.11	“嫦娥”1号的数据解析	360
5.12	“嫦娥”1号运行一年硕果累累	365
5.13	中国月球探测工程展望	372

结束语	382
-----------	-----

参考文献	384
------------	-----

第1章 基本原理 基础知识

1.1 天体运行的动力学原理

1.1.1 天文学的出现

人类自进入文明社会以来,对天上的太阳、月亮和众多星星给予特别的关注,因为这些天体与人们的生活和生产密切相关,人们总是力图了解它们的运动规律和各种物理现象,以此来指导人类的生活和生产。于是,就诞生了天文学。天文学是人类社会中出现最早的自然科学学科之一,它主要是探索、研究天体、宇宙空间的力学现象和物理现象的一门科学。我国是世界文明古国之一,有着数千年延绵不断的发展历史。在古代,我国天文学就有很多辉煌的成就。这些成就大体上可以归纳为三个方面,即天象观察、仪器制

作和编订历法。

我国最早的天象观察,可以追溯到几千年以前。无论是对太阳、月亮、行星、彗星、新星、恒星,以及日食和月食、太阳黑子、日珥、流星雨等罕见天象的观察,在我国古籍里有着大量的记载,这些记载至今仍具有很高的科学价值。

我国古代在创制天文仪器方面,也做出了杰出的贡献。我国最古老的天文仪器是土圭,也叫圭表(图1-1)。圭表的主要功

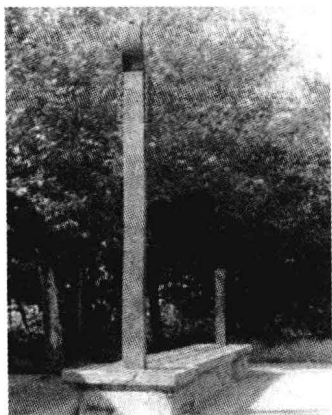


图1-1 现存河南登封的圭表

能是测定冬至日所在,并进而确定回归年的长度。此外,通过观测表影的变化可确定方向和节气。它最初出现在什么年代,已无从考证。

东汉时期伟大的科学家、天文学家张衡(公元 78—139)创制的世界上第一台用水力推动的浑天仪(公元 117),是我国古代天文仪器杰出的代表作(图 1-2),他还科学地剖析过月食的成因等。



图 1-2 张衡和他发明的浑天仪复制品

据考证,我国历法最早可能始于夏商,周代的历法在商代的基础上又有发展。经历代上百次修改,形成了建立在科学的太阳、地球、月球运行规律基础上的廿四节气历法(农历),一直沿用至今。几千年来,历法的编制对我国社会的农耕生产、日常生活起居和社会进步起到重要的推动作用,功不可没。

1.1.2 “地心说”与“日心说”

在欧洲,天文学的发展却经历过一个曲折的过程。对天体运行的规律,早在古希腊时代,哲学家亚里士多德(公元前 384—前 332)就提出过“地心说”。公元 2 世纪,希腊天文学家托勒密(公元 90—168)(图 1-3)对“地心



图 1-3 托勒密

说”又加以推演论证,使它进一步系统化了。他认为地球是静止不动地居于有限的宇宙中心,太阳、月球和其他所有星球都是围绕着地球旋转。当时的教会借助这种理论,说上帝创造了地球,并创造了宇宙的一切。这种理论独据欧洲长达1300年,也限制了欧洲天文学的发展。

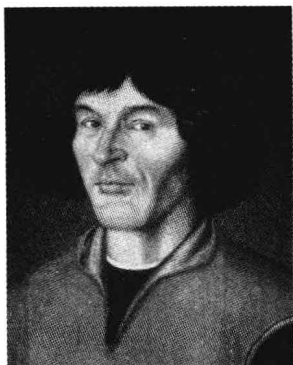


图1-4 哥白尼

直至15世纪,波兰天文学家哥白尼(1473—1543)(图1-4)通过长达30年对天体的观测,对盛行欧洲的“地心说”提出挑战,于1510年—1514年间写下了《天体运行论》手稿。手稿提出:太阳是宇宙的中心,所有行星都围绕太阳按圆形轨道运转;地球同时也绕着自转轴自转;人们每天看到的太阳由东向西运行,是因为地球每昼夜向东转动一周的缘故,而不是太阳在移动;天上星球的不断移动,是因为地球本身在转动,而不是星体围着“静止”的地球转动;月球是地球

的卫星。

哥白尼知道,这些学说与宗教教义水火不容。因而迟迟不能下决心出版自己的著作。直到1543年他逝世前,在朋友劝说下才出版了《天体运行论》,使这部伟大科学巨著得以问世。

哥白尼创立的“日心说”,从根本上改变了旧的宇宙观,在科学发展史上具有划时代的意义,也为通向近代天文学铺平了道路,成为近代天文学的奠基人。

1.1.3 天体运行的开普勒定律

在哥白尼之后,欧洲的天文学有很大的发展,其中做出过重要贡献的有丹麦天文学家第谷(1540—1601)(图1-5)、英国天文学家伽利略(1564—1642)(图1-6)和德国天文学家开普勒(1571—1630)(图1-7)。第谷在临终前将自己多年积累的天文观测资料全部交给了开普勒,再三叮嘱开普勒,

要继续他未完成的工作,并将观测结果出版。开普勒首先用很长的时间对第谷遗留下来的大量火星观测资料进行了分析,结果发现火星的轨道并不是像前人所说的正圆轨道。在经过多次实验后,开普勒确定火星的轨道为椭圆轨道,而太阳正处在椭圆的焦点之一。接着,他测出地球绕太阳的轨道也是一个椭圆。

开普勒进一步确定行星绕太阳运动的速度和行星与太阳之间的距离存在一定的关系。于是,开普勒于 1609 年发表了两条关于行星运动的定律:

开普勒第一定律:一切行星都沿各自的椭圆轨道运动,太阳在椭圆的一个焦点上。

开普勒第二定律:在相等时间内,太阳和运动着的行星的连线,所扫过的面积都是相等的。



图 1-5 第谷

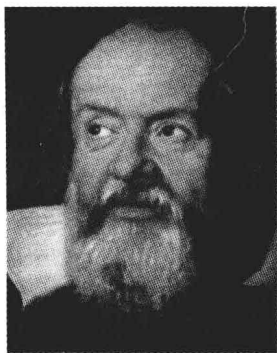


图 1-6 伽利略



图 1-7 开普勒

如图 1-8 所示,用公式表示,当 $\Delta t_{A-B} = \Delta t_{C-D}$,则有

$$S_{AB} = S_{CD} \quad (1-1)$$

式中: Δt_{A-B} 、 Δt_{C-D} 分别为行星从 A 点到 B 点和从 C 点到 D 点所需的时间; S_{AB} 、 S_{CD} 分别为行星在 A、B、C、D 各点与太阳中心的连线,从 A 点到 B 点和从 C 点到 D 点所扫过的面积。

1618 年开普勒发表了第三条定律。

开普勒第三定律:各行星绕太阳公转周期的平方与它们的椭圆轨道半长

轴的立方成正比。用公式表示为

$$a^3/T^2 = K \quad (1-2)$$

式中: a 为行星绕太阳公转轨道的半长轴; T 为行星绕太阳公转的周期; K 为常数。

开普勒对行星运动三定律的发现,为经典天文学奠定了基础,并导致数十年后牛顿万有引力定律的发现,进一步得出这一系统的数学解。所以说,开普勒对世界天文学做出过重大贡献。

伽利略对自由落体运动的研究和对运动物体惯性及运动的相对性的研究,有力地支持了哥白尼的日心学说,并为牛顿力学的建立打下了基础。他还是天文望远镜的发明者。

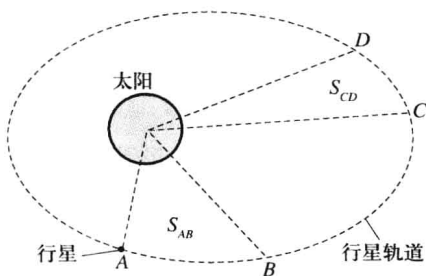


图 1-8 开普勒第一、第二定律示意图

1.2 牛顿的伟大发现

1.2.1 牛顿万有引力定律

牛顿(1642—1727)(图 1-9)近代天文学家、数学家、物理学家。他出生



图 1-9 牛顿

在英格兰一个农民家庭。出生后三个月父亲便去世。两岁时母亲改嫁。母亲把他送到外祖母家抚养。11岁继父去世,牛顿才回到母亲身边。他从少年起就喜欢读书,手不释卷。在舅父的支持下,18岁时进入剑桥大学。

1665年,剑桥大学授予牛顿学士学位,1669年,26岁的牛顿就成为剑桥大学著名的数学教授。牛顿善于观察思考,刻苦钻研。他

继承和总结了伽利略、开普勒等人的理论和实践,终于发现了对人类具有划时代意义的万有引力。他认为一切物体之间都有互相吸引的力。太阳吸引行星,行星吸引行星,以及地球吸引地面上一切物体的力,都是具有相同性质的力。他用数学的方法,证明了开普勒定律中太阳对行星的作用是吸引力(向心力),并求得向心力数值的大小。

1687年,牛顿出版了《自然哲学的数学原理》,书中除发表运动三大定律外,还发表了万有引力定律。

牛顿万有引力定律:两物体之间存在着互相的吸引力,其大小与两物体质量的乘积成正比,与两物体之间的距离平方成反比。用公式表示为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-3)$$

式中: F 为引力; m_1 、 m_2 为两物体的质量; r 为两物体之间的距离; G 为万有引力常数。从实验得到: $G = 6.6726 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 。

1.2.2 牛顿运动三定律

牛顿的《自然哲学的数学原理》是一部力学的经典著作。牛顿在这本书中,从力学的基本概念(质量、动量、惯性、力)和基本定律(运动三定律)出发,建立了经典力学的完整而严密的理论体系。

牛顿运动第一定律:如果物体处于静止或作恒速直线运动,在没有外力作用情况下,它仍将保持静止或继续作匀速直线运动。

牛顿运动第二定律:物体在外力作用下,将产生运动加速度。加速度的大小与力的大小成正比;与物体的质量成反比;加速度的方向与力的方向相同。用公式表示为

$$a = \frac{F}{m} \quad (1-4)$$

式中: a 为物体运动加速度(m/s^2); F 为作用在物体上的合外力($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$),其单位又称牛顿或牛(N),也可以取 $\text{kg} \cdot \text{km}/\text{s}^2$ 为单位,此时称为千牛(kN);

m 为物体质量(kg)。

牛顿运动第三定律:两个物体的相互作用力,总是大小相等方向相反。

牛顿运动三定律构成经典力学的理论基础,是解决物体运动问题的基本理论依据,也是人造天体轨道设计的基本理论依据。

1.3 宇宙速度

1.3.1 第一宇宙速度

月球在地球引力的作用下,以自身的规律绕着地球运行,成为地球的卫星。既不需要动力,又永远伴随着地球,以椭圆轨道作不间断运行。

那么,需要有多大的速度才能成为绕地球运行的卫星呢?为了讨论问题简便,首先假设地球是一个质量均匀的球体,其半径为 R ,并且不考虑地球表面大气产生的阻力和其他干扰力,卫星仅在地球引力作用下运行。

设有一个质量为 m 的卫星以半径为 r 的圆轨道绕地球运行,运动速度为 V 。由动力学知识可知:要维持卫星围绕地球作圆轨道运行,同时受两个力的作用:第一,向心力,即地球对卫星的引力,其大小见式(1-3),力的方向指向地心;第二,卫星在与地心连线的切线方向具有一定的速度。因为速度方向不断变化,加速度指向地心,卫星受离心力(或称惯性力)作用,其大小为 mV^2/r ,离心力的方向与向心力相反。当离心力与向心力相等时,二者处于平衡状态,卫星就绕地球作不间断的圆轨道运行。用公式表示为

$$F_{\text{离心}} = mV^2/r \quad (1-5)$$

$$F_{\text{向心}} = GM_e m/r^2 \quad (1-6)$$

式中: M_e 为地球的质量。

由式(1-5)和式(1-6)相等,化简得

$$V = \sqrt{\frac{GM_e}{r}} \quad (1-7)$$

在地面附近的高度上,可认为 $r = R$ (R 为地球平均半径),式(1-5)就成为

$$F_{\text{离心}} = mV^2/R \quad (1-8)$$

此时,地球引力成为熟知的 mg_0 ,即

$$F_{\text{向心}} = \mu m/R^2 = mg_0 \quad (1-9)$$

式中: μ 为地球引力常数, $\mu = GM_e$; g_0 为地球表面的引力加速度。这时的 V 记为 V_1 ,由式(1-8)和式(1-9)相等,化简得

$$V_1 = \sqrt{\frac{\mu}{R}} = \sqrt{g_0 R} \quad (1-10)$$

已知: $g_0 \approx 9.80665 \text{ m/s}^2$ (地球表面引力加速度的标准值); $R \approx 6.37103 \times 10^3 \text{ km}$; $\mu = GM_e = 3.986032 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$,代入式(1-10),得

$$V_1 \approx 7.90 (\text{km/s})$$

V_1 就是卫星环绕地球表面作圆周运动所需要的速度。称为第一宇宙速度,又称环绕速度。卫星在获得这一水平方向的速度以后,不需要再加动力就可以依靠惯性,环绕地球运行。应注意以下 4 个问题:

(1) 卫星的环绕速度与卫星的质量无关,只与卫星到地心的距离有关。即无论多大质量的卫星,相同 r 值的两个卫星,其环绕速度是相同的。但从发射卫星所需要的能量来看,卫星质量越大,要获得环绕速度所需的能量越多。

(2) 随着卫星的高度增加,即式(1-7)中的 r 变大,卫星在该高度作圆轨道运行所需的速度 V (指与地面成水平方向的速度,下同)将下降。如离地面 1000km 高度的卫星,要绕地球作圆轨道运行,只需 7.36km/s;在 35800km 高度的圆轨道,速度只需 3.07km/s。但从发射卫星所需能量来讲,卫星高度越高,为了克服地球引力的作用,所需的总能量还是增加的,要有更大运载能力的火箭才能在该高度达到此速度。月球到地球的平均距离为 384400km,它绕地球运行的平均轨道速度为 1.03km/s。

(3) 当卫星的速度(指近地点时速度)大于该高度对应的圆轨道环绕速

度,而小于脱离速度(在1.3.2节中介绍)时,卫星的轨道不再是圆轨道,而是椭圆轨道。且近地点的速度越大,椭圆的偏心率就越大。

(4) 前面曾假设不考虑大气阻力,而实际上地面以上是有大气层的,离地面越近,大气密度越大,对卫星的阻力也越大。卫星运转中受大气阻力的影响,速度会逐渐下降,导致轨道高度逐渐下降,甚至进入稠密大气层,使卫星被烧毁。故实际上发射圆轨道卫星一般都在离地面 150km ~ 200km 高度以上。高度越高,卫星运行的寿命越长。

1.3.2 第二宇宙速度

从地面上发射一个物体,能使该物体脱离地球引力场所需的最小速度,称为第二宇宙速度,又称脱离速度(亦称逃逸速度)。

设一个质量为 m 的物体在地面附近具有第二宇宙速度 V_2 。由动力学知识可知,物体的动能为

$$E_k = \frac{1}{2} m V_2^2 \quad (1-11)$$

正如通常研究两个互相吸引物体的相互作用势能的情况一样,以相距引力中心体无穷远处的势能定义为零势能^①。一旦这样定义零势能的位置,那么,在地面附近物体的势能都是小于零的负值。飞行物体从离地心 r 处运动到无穷远处(r 逐渐增大趋于无穷),这一过程中飞行物的势能从一个负值逐渐提升到零。总的势能提升量为^②

$$GM_e m / r$$

在地面处, $r = R$, 从地面发射飞行物到脱离地球引力场过程中,势能的提

① 实际上在太阳系中飞行的航天器,当离地心足够远处,地球引力小到可以忽略不计,就可以被看作无穷远。通常认为当距地心 9.29×10^5 km 以外,便被认为已经脱离地球引力场,以后就在太阳引力作用下运动。从地心以 9.29×10^5 km 为半径作一球,称此球为地球引力的“影响球”。

② 要克服引力,把质量为 m 的物体从 r 处移到无穷远处($r = \infty$),需要对物体做的功为

$$A = \int_r^{\infty} F ds = \int_r^{\infty} (GM_e m / r^2) dr = GM_e m / r$$

这就是说,无穷远处的势能,比 r 处的势能高出 $GM_e m / r$ 。

升量为

$$GM_e m/R$$

于是,根据机械能守恒原理,如果地面附近的飞行物具有的动能正好等于上述势能提升量,它就足以靠消耗自身的动能,来提升势能而运行到无穷远处,即脱离地球的引力范围。于是要求 V_2 至少应满足

$$\frac{1}{2} m V_2^2 = \frac{GM_e m}{R} \quad (1-12)$$

化简式(1-12),得

$$V_2 = \sqrt{\frac{2GM_e}{R}} = \sqrt{2g_0 R} \approx 11.18 \text{ (km/s)}$$

一旦物体在地面获得大于 V_2 的速度,物体将会沿着一条抛物线轨道,脱离地球引力场,而成为太阳系的一颗行星。

需要说明一点:这里求得的第二宇宙速度以及前面的第一宇宙速度,都是相对于地心而言的。考虑到地球自转所带来的自转速度,故发射时采取顺着地球自转方向发射,充分利用地球自转产生的牵连速度,将会以较少的能量获得第一宇宙速度或第二宇宙速度。

地球自转产生的牵连速度,与发射点的位置(纬度)和发射方向有关。在赤道上最大,在南极、北极为零;地球向东自转,因此向正东发射最有利。在不同纬度上由于地球自转而产生的速度的大小,按在赤道上的速度值乘以 $\cos\phi$ (ϕ 是发射点纬度)得到。发射时在赤道上的最大的牵连速度为 0.465km/s (此时发射方向为正东)。就此而言,发射场设在低纬度地区较为有利。

同样,不同高度对应有不同的脱离速度。表 1-1 给出不同高度卫星的圆轨道速度和该高度处的脱离速度。其中月球一项是指月球绕地球轨道的平均速度,而非绕月球表面的月球卫星的环绕速度。月球卫星绕月面的环绕速度为 1.68km/s 。