

人造衛星六講

孫 方 鐸 編 著

正 中 書 局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國四十七年八月臺初版

中華民國六十六年六月臺五版

人造衛星六講

全一冊 基本定價 八角

(外埠酌加運費匯費)

編 著 者 孫 方 鐸

發 行 人 黎 元 譽

發 行 印 刷 正 中 書 局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

海 外 總 經 銷 集 成 圖 書 公 司

(香港九龍油麻地北海街七號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第一一九九號(4173)銘

(500)

弁 言

這本小冊子包括作者自去年六月至今年二月間所作有關人造衛星之六次專題講稿，其中**四次**係在臺灣省立成功大學所講，一次在空軍供應司令部，一次在陸軍汽車配件製造廠；部份講稿曾在台灣工程界及新生報南部版發表；茲特根據最近資料予以補充整理，并加重銓次，彙成此冊，以供關心此一問題者參考。

全稿六講：首四講述人造衛星之基本知識，第五講介紹美、俄兩國人造衛星的實況，第六講討論人造衛星的未來及其影響。此項講稿以通俗爲主，引用數理均以淺顯簡易者爲限，至原講中偶有涉及繁冗之數式與高等數學之處，整理時均另編入附錄，期能供讀者查閱而不致妨礙正文。此外若干有關人造衛星之資料，如國際地球物理年的概況，及人造衛星之實際觀測數據，均一併列入附錄以供參考。

當作者開始其第一講時，人造衛星尙未發射；迨結束其第六講時，蘇俄與美國發射成功之衛星已達三顆；當本稿整理將竣，準備付印之際，則已增至六顆；可見此一科學創造發展之速。目前之人造衛星仍在發軔時期，歐美方面尙未見有完整之著作可資譯述。其基本理論散見於力學、彈道學、火箭學諸書，及若干耑門期刊報告；至有關美俄衛星之報導，則散見於時下之報章雜誌之中；若干權威報告或屬祕密性質，多未發表，即偶有發表，亦非此間所得見。因之，在此時此地欲對人造衛星作有系統之介紹至爲困難。唯鑒於講演期間，一般聽衆所表現興趣之深，與求知之切，故姑以此稿付印，期能對此項科學新知之普及稍盡棉力。所有理論根據，資料來源，除於文中酌加註明外，另於書後附一參考文獻目錄，俾讀者可作進一步之研讀。以人造衛星所牽涉問題之廣，作者所知不過滄海一粟，原講掛一漏萬，闕略甚多；而此稿匆促付印，錯謬尤所不免，至祈讀者不吝予以指正。

此項講演大部分係在成功大學教授會、學生班聯會及成大機械工

程學會主持下進行。教授同人之鼓勵，諸同學之敦促，使作者不遑顧及一己之淺陋；而工學院諸同學於講演前代製掛圖，講演後復協助抄繕講稿，尤為熱心可感；至於書中插圖之繪製則張塘鑫君之助力最多，併此誌謝。

孫方鐸 民國四十七年六月於臺南成功大學

目 錄

第一講	人造衛星的由來和脫離地球問題·····	1
第二講	人造衛星的運行·····	10
第三講	人造衛星的發射火箭·····	26
第四講	人造衛星的用途·····	46
第五講	美國與蘇俄的人造衛星·····	65
第六講	人造衛星的未來發展和影響·····	97
補 篇	最近發射成功的人造衛星·····	121
附錄一	有關人造衛星的基本數式及其誘導·····	123
	二 國際地球物理年的介紹·····	135
	三 人造衛星實際觀測數據·····	143
參考文獻	·····	144

第 一 講

人造衛星的由來和脫離地球問題

「人造衛星」這一名詞之受到大眾的注意似乎是從一九五五年開始。那一年的七月廿九日，美國政府正式宣佈了它進行發射人造衛星計劃的決定。從這天起，全世界的人們都在密切注視着這一項空前計劃的發展。到了一九五七年十月至十一月間，蘇俄搶在美國之先，將兩顆人造衛星射入天空，於是人們對於人造衛星的興趣和關切乃進入高潮。

何以人造衛星能受到人們這樣普遍的注意和關切？第一、人類的文明雖早已進入機械時代，人類的製作也幾於「巧奪天工」；但是製造一個可以環繞地球運行足與天體相比的物體，畢竟是有史以來的第一次。無怪乎這一消息要聳人聽聞。第二、人造衛星對人類的影響太大。一枚環繞地球運行的人造衛星不僅代表着科學和工業上的一大進展；而且也深切影響到地球上的政治、軍事、社會、商業……以至全人類的文明。此所以人造衛星的發展不但為科學家和工程師們所注意；就是政界、軍界、實業界、以至一般社會人士，亦無不寄以最大的關切。

目前關於人造衛星的報導正瀰漫於各種報章雜誌。在以下各講中，本人希望能首先提供一些有關人造衛星的基本智識，例如「人造衛星何以能夠運行不墜？」「它將如何發射？」「它和火箭及飛彈的關係怎樣？」以及「一枚發射成功的人造衛星有些什麼可能的用途？」等等。然後就美俄兩國已經發射的衛星作一介紹，並加以比較。最後準備談談人造衛星未來的發展，以及它可能產生的各種影響。

一、何謂人造衛星？

天文學上所謂衛星（satellite）係指沿一定的軌道環繞一行星運

行的較小物體而言。像繞着地球運行的月球，即是地球的一個天然衛星。一個人造的物體從地面發射到天空，如果也能夠沿一定的軌道繞着一個行星運行，即可稱為「人造衛星」。當然，今日所謂人造衛星乃是指環繞地球運行的人造物體而言，它的全名應為人造繞地衛星（artificial earth-circling satellite），亦稱人造月（man-made moon）。

二、人造衛星的由來和發展

人造衛星起源於人類對太空的嚮往。人類有生以來即生活在地球的表面，並且為大氣所包圍；大氣以外的太空對人類乃是一個無限神祕之謎。因此如何衝出這大氣之幕，遨遊於太空之中，一探宇宙的奧祕，乃是人類的天然願望；而人造衛星的發射正是人類航行太空的第一步驟。

關於人造衛星和太空航行的問題雖然目前方纔受到人們熱烈的注意，但它的淵源却可以追溯到三百年前。當牛頓建立起天體力學的體系時，人造衛星的理論基礎便已奠定。不過關於此方面的進一步研討却始於二十世紀之初，像俄國的薩考斯基（Konstantin Z. Ziolkowsky）（註1.1），美國的高達（Robert H. Goddard）（註1.2），德國的奧伯特（Hermann Oberth）（註1.3）諸氏都曾就未來的太空航行提出具體的建議。但由於人類的工業能力和技術還未成熟，所

註 1.1 俄國數學教授，1903年發表「宇宙之火箭」一文，為研究以火箭用於太空航行之始祖；氏之專著尚有「火箭與太空探索」（1914年發表）等。

1.2 美國物理學教授，畢生從事火箭之試驗與研究，被譽為美國火箭學之父，著有「昇達極大高度之方法」（A Method of Reaching Extreme High Altitude），1919年發表。

1.3 德國火箭學家之先進，所著「星空火箭」（Die Raketz zu den Planetenräumen）（1923年發表）及「太空航行之路」（Wage zur Raumschiffahrt）為火箭與太空航行理論巨著。

以人造衛星和太空航行一响停滯在理論階段。直到二次世界大戰期間，火箭的長足進步方使人類獲得一項可以航行太空的工具。大戰末期德國的火箭已幾乎具有可以發射衛星的力量，而派奈夢德（Peenemünde）區的火箭試驗中心亦已着手進行衛星火箭（satellite rocket）的研究。如果不是大戰迅速結束，德國可能已成為世界上第一個發射人造衛星的國家。

戰後德國為盟軍所佔領，其火箭專家也分別被俘獲到美、俄兩國，由是促成了兩國火箭的發展，而人造衛星技術上的可能性也日益增加。在此期間，在美國的德籍火箭專家馮布倫氏（Wernher von Braun）（註1.4）曾經數度提出試放人造衛星的建議，可惜當時未能受到人們的重視。

一九五一年一項國際科學運動在國際科學協會理事會（International Council of Scientific Unions）倡導之下展開了準備工作。此一科學運動訂定一九五七年七月至一九五八年十二月為國際地球物理年（International Geophysical Year，簡稱IGY，詳見附錄二），計劃在此十八個月的期間，集合世界各國的力量，就地球物理學方面從事全球性的探測。為了實施高空探測這一項目，負責籌備工作的IGY特別委員會於一九五四年籲請參加的國家考慮人造衛星的發射。美國的科學界和政府經過慎重考慮以後，終於決定予以響應。一九五五年七月美國政府在華府正式宣佈準備在IGY期間發射一枚以至數枚無人的繞地小型衛星作為對IGY的貢獻；並將此項衛星發射的準備工作交由國防部負責進行，這就是所謂「前鋒計劃」（Project Vanguard）。此時若干消息顯示蘇俄政府亦在作同一準備，並且其着手還較美國為早。儘管蘇俄的官方未曾正式宣佈，但在許多場合蘇俄的科學家均曾透露他們發射人造衛星的企圖，並且聲稱也是對IGY的一項貢獻。從此以後全世界的人們都在以最大的關切和興趣注視着兩國衛

註 1.4 德國V-2 火箭發展工作之主持人，現在美國紅石兵工廠負責陸軍飛彈之發展。今年一月間美國第一枚人造衛星發射之成功乃氏之功績。

星的發展，而美國方面尤為大家注意的焦點，因為蘇聯的官方始終守口如瓶，而美國前鋒計劃的進展則為世人所共見。一九五七年十月蘇俄政府終於出其不意地搶先一步發射了人類有史以來的第一顆人造衛星，接着一個月後又放射出第二顆龐大而且載有生物的衛星。這兩顆衛星的連續發射，使得全世界為之轟動。美國此時急起直追，雖然「前鋒計劃」中的衛星幾次發射失敗，但終於在一九五八年初一連發射了三枚衛星到天空。這是人造衛星由理論到實際發射的一段經過。

顯然一個新的太空時代已經在美俄白熱化的衛星競賽之下揭幕。今後我們將在天空中看到更多更複雜的人造衛星，而此項衛星的繼續發展終必將人類引到太空之路。

三、脫離地球的方式

人類進入太空的第一障礙乃是地球的引力，亦即物理學上所謂「重力」(gravitation)。人類有生以來即生活在地球的重力場中，一舉一動無不受到重力的牽制。根據人們的日常經驗，一個自地面發射的物體，無論它是一塊石、一支箭、或是一顆槍彈，終必為重力所吸引而墜回地面；即使是一具裝有引擎的飛機，一旦燃料用盡，也得重行墜地。因此如何擺脫這種重力的束縛，使得一個自地面發射的物體能長期的置身於太空之中是人類久已渴望解決的問題。以下將試就這一問題的幾種解決方式作一介紹。

甲、離地遠遁的方式(圖1.1)

一個自地面發射的物體能否從此遠離地面一去不回？從理論上說，這是可能的。根據物理學上的智識，物體距地愈遠，其所受的重力也愈小。更確切地說，一個物體所受地球重力的大小和它對地心距離的平方成反比。這就是著名的「萬有引力定律」。按照這一定律，一個在地面上重二百磅的物體，到了四千哩的高空，將祇有五十磅的重量(地球半徑約為四千哩)；如到八千哩的高空，就祇剩下二十二磅多。因此一個物體如果能達到距地無窮遠的空間，那末它所受的地球重力即

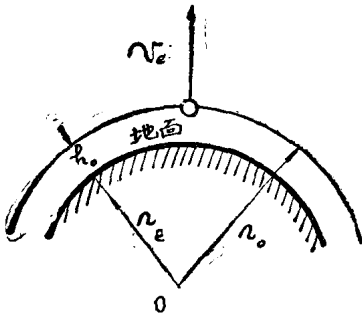


圖1.1 遁向太空

等於零，也就是說這一物體即不再受到地球重力的影響。那末如何可使一個物體到達無窮遠的距離呢？這要看它出發時的速度而定。根據人類的經驗，自地面向上投射的物體，其初速愈大，則所達到的高度也愈高，從理論上說，當初速達到某一定值時，其高度即可達於無窮，而這一物體亦即不再墜回地面。此一速度名爲「遁逃速度」(velocity of escape)，以下簡稱「遁速」。

遁速的大小可由下列數式計算：

$$\begin{aligned} \text{遁速} &= r_e \sqrt{\frac{2g_e}{r_o}} \\ &= r_e \sqrt{\frac{2g_e}{r_e + h_e}} \end{aligned}$$

式中 h_e 表投射點對地面之高度， r_e 表地球半徑， r_o 表投射點對地心的距離， g_e 表地球面上的重力加速度(32.2呎/秒²)。這一公式係假設物體僅受到地球重力的作用而得，換句話說，空氣的阻力和其它的外力都未計入，因此嚴格說來，祇有在真空之中始能適用(參閱附錄一)。

根據這一簡單公式，可知遁速的大小和物體投射點的高度有關：投射點距地愈遠則所需要的遁速愈小。如在地面上投射，則遁速約爲每秒7哩(約合每小時25,000哩)；如從距地三百哩處投射，則祇需每秒6.7哩的速度(約合每小時24,000哩)即可。但是你切不可爲一個物體如果想遁離地球應該從距地極遠之處投射。那樣雖然需要的遁速較小，可是將物體由地面送到投射點，愈高便愈困難。從「能量」的觀點來看，這一方面是沒有便宜可討的。

上式也顯示遁速的大小和物體的質量無關。換句話說，一粒塵沙和一具火箭要從地面上遁出地球的重力場，都至少非具有每小時25,000哩的速度不可。這一理論上的遁速約爲子彈速度的十倍，現代噴氣

飛機速度的二十餘倍。達到這一鉅大速度的困難阻止了人類過去遁離地球的任何企圖，同時也阻止了空氣的分子散逸到星空，而使得地球表面上永遠籠罩着一層大氣。

乙、環地運行的方式（圖1.2）

如果遁速一時不易達到，那末我們可以改用另一方式。在此方式中物體將不向上投射，而改沿水平方向出發。物體的慣性使它沿直線進行，而地球的重力則吸引物體使它趨近地心，結果是物體運動的軌跡彎成弧形。如果物體的出發點高達大氣層以外，物體的運動不受空氣阻力或其它外力的影響，那末在適當的初速之下，物體的離心力將和地心吸力達到平衡，而物體亦即沿一圓周繞地運行。此時的物體雖未能完全擺脫地球重力的束縛，但已可在空間作週而復始的長期運行和衛星之環繞行星相仿。這一物體即可視為一人造衛星。使人造衛星繞地作圓周運動所需要的初速稱為圓周速度（circular velocity），以下簡稱圓速。

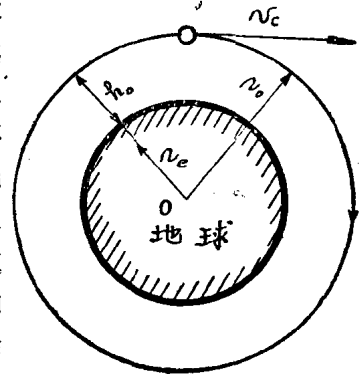


圖1.2 環地運行

如果仍沿用上節的符號，則圓周速度可以下列數式表示（參閱附錄一）：

$$\begin{aligned} \text{圓速} &= r_o \sqrt{\frac{g_e}{r_o}} \\ &= r_o \sqrt{\frac{g_e}{r_e + h_o}} \end{aligned}$$

由上式可知圓速的大小依然和物體的質量無關，而僅看它起點的高度如何：高度愈高，所需的圓速也愈小。在這裏我們也不能爲了求圓速的減低而企圖將物體的投射點提高到距地極遠之處。那樣就所需要的能量而言，也許會得不償失。

以圓速和在同一點出發的遁速相較，兩者的比例如下：

$$\text{圓速} : \text{遁速} = 1 : \sqrt{2} \cong 1 : 1.41$$

換句話說，圓速比遁速要小了百分之四十一。如在距地面三百哩處投射，則所需圓速約為每秒4.8哩（合每小時 17,200哩）。這一速度依舊鉅大，但是和遁速比起來已是一個較易達到的數字。因此人造衛星遂自然地成為太空航行的第一步驟。

丙、脫離地球的一般方式 如果投射的初速不能恰好等於圓周速度，投射的方向亦非水平，那末物體運行的軌跡如何？是否仍有繞地運行或離地遠遁的可能？根據力學和數學上的智識，如果一個物體以某一初速沿某一方向自地球的大氣層以外出發，那末它的軌跡有下列三種可能（圖1.3）：

- (1) 初速小於遁速，則軌跡為一橢圓；
- (2) 初速等於遁速，則軌跡為一拋物線；
- (3) 初速大於遁速，則軌跡為一雙曲線。

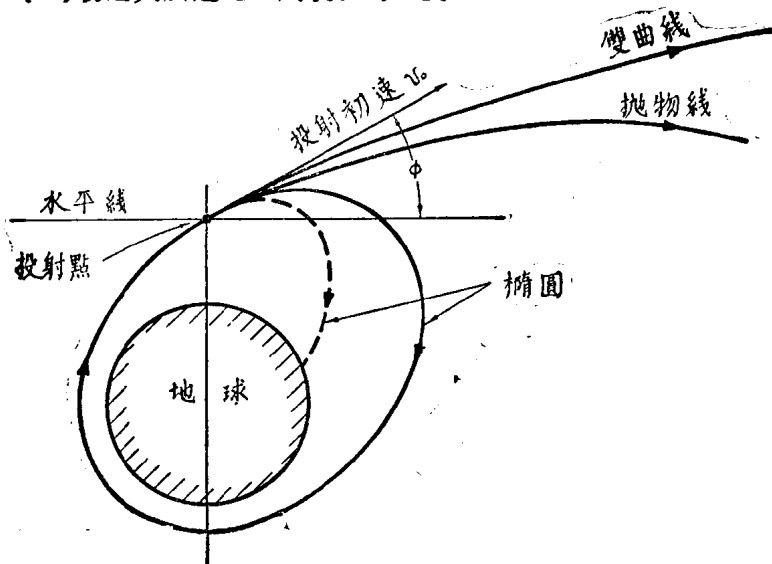
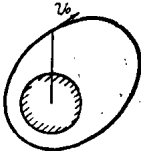
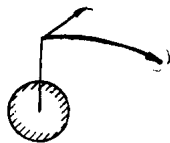
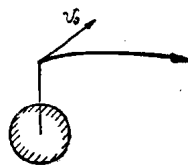


圖1.3 真空中投射體之軌跡

在上述三項情形中祇有橢圓是閉合曲線，因此也祇有在此情形下物體始有環繞地球作週而復始的運行的可能。在第二，第三兩種情形下，拋物線和雙曲線的軌跡都將向空間無限伸展，因此物體也將愈行愈遠，遁向星空。第一種情形使物體可能成爲一人造衛星；第二、三種情形則將使物體演變爲一人造流星（artificial meteor）。但即使在第一種情形下，物體是否能成爲一個人造衛星，還要看投射速度和方向而定。如果投射的初速太小，或是投射的方向太偏，那末一部份橢圓軌道可能距地太近（圖1.3 上虛線）。無論軌道和地面相交，或是進入近地的大氣層以內，都將使物體不能完成其環地運行而墜向地面。茲將上述結論列一簡表如次：

初 速	軌 跡	物 體
$v_0 < \text{遁速}$	橢 圓 	人 造 衛 星
$v_0 = \text{遁速}$	拋 物 綫 	人 造 流 星
$v_0 > \text{遁速}$	雙 曲 綫 	人 造 流 星

上述三種曲線均可歸納於幾何學上所謂圓錐曲線（conic sections）之內。此一結論似與常識不合。因為一個拋射物體的真空軌跡通常總被視為一拋物線，也許這就是拋物線這一名詞之由來。現在「拋物」的軌跡不必為「拋物線」而可為「橢圓」或「雙曲線」，豈非與常識不符？我們的解釋是在一般投射問題上，地面常視為一平面，而地球重力加速度 g 亦視為一恆值，由是可證明拋射體之軌跡為一拋物線，如普通物理學或一般彈道學上所示。

但在高空與遠程的投射問題上，則地球的曲率需要計入，而重力加速度 g 的數值亦因高度而變，如此則所得軌跡將為上述的三種圓錐曲線之一（正圓與直線亦可視為圓錐曲線之特例）。此種曲線之數學方程式可根據牛頓運動定律誘導得之（詳見附錄一）。

第二講

人造衛星的運行

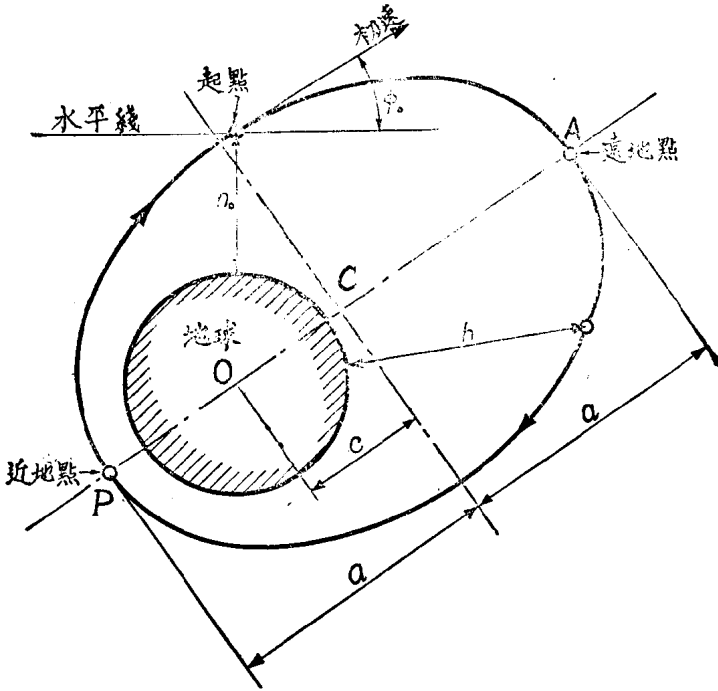
一、衛星的理論軌道

根據前章所述，如果人造衛星的投射方向水平，並且它的投射初速恰等於應有的圓週速度，那末它的理論軌道將為一正圓，而以地球的中心為其圓心。當衛星沿此圓周繞地運行時，它的運行高度不變，並且常和投射點的高度相等。

不過在實際發射時，投射的方向甚難絕對水平，而投射的速度也絕不易恰等於應有的圓週速度，因此衛星軌道成為正圓的機會極少。祇要投射方向稍有偏差，或是初速較圓週速度稍有出入，那末衛星的軌道即將成為橢圓而非正圓（圖2.1）此項橢圓係以地球的中心為其焦點之一。當衛星沿一橢圓軌道繞地運行時，它對地面的距離隨衛星的位置而變：有時較投射點為高，有時則較投射點為低。軌道上距地心最遠的一點名為遠地點（apogee）；最近的一點名為近地點（perigee），此兩點恰位於橢圓長軸的兩端。橢圓的中心在其兩焦點之間。此中心和焦點間的距離與長軸一半的比例稱為橢圓的偏心率（eccentricity）。用圖2.1上的符號則

$$\text{偏心率 } e = \frac{c}{a}$$

橢圓的軌道和地球的相對位置以及橢圓的長軸，焦距，和偏心率的大小等等都隨着投射點的高度、投射速度、和方向而定。橢圓軌道的偏心率愈大即示其焦點距中心愈遠，而遠地點與近地點對地的距離相差愈大。反之，橢圓的偏心率愈小，即示其焦點愈近於其中心，而橢圓軌道亦愈近於一正圓軌道。當偏心率為零時，橢圓軌道即成為一正圓。所以正圓軌道可視為橢圓軌道的一個特例。正圓軌道的形成既絕無



ϕ_0 : 投射角 h_0 : 起點高度 h : 軌道上任意一點之高度 AP: 橢圓長軸
 偏心率 = $\frac{c}{a}$

圖2.1 人造衛星的橢圓軌道

僅有，所以我們通常可能見到的一顆人造衛星的軌道常為一橢圓而非正圓。不過假如投射的方向與水平的偏角很小，並且投射的速度和應有的速度相差不多，那末這一橢圓軌道將和一正圓軌道相近。

二、衛星的運行速度

一顆人造衛星如果沿一正圓軌道運行，那末不但它的對地高度不變，它的速度大小也將不變。不過如果軌道為橢圓形，那末它的速度將隨其位置而變化：離地愈近，其速度愈大；離地愈遠，速度愈小。衛星

自遠地點移向近地點時，其速度逐漸增加，至近地點處達於最大；反之由近地點移向遠地點時，其速度逐漸減少，至遠地點處達於最小（圖2.2）。

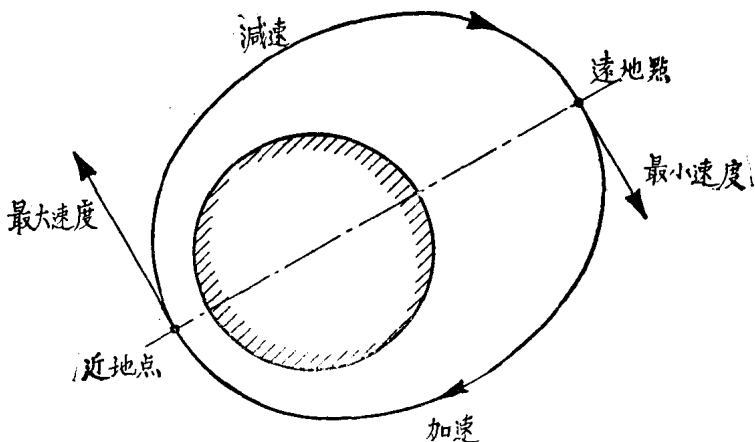


圖2.2 人造衛星速度的變化

三、衛星的運行週期

人造衛星繞地一周所經過的時間稱為它的運行週期（Period）。如果橢圓軌道的長軸之半已知為 a ，那末衛星的週期可用理論上的簡單公式計算而得：

$$\text{週期} = \text{常數} \sqrt{a^3}$$

此處 常數 $= 2\pi / r_e \sqrt{g_e}$ （符號意義見第一講）

如果週期已知，那末橢圓軌道的長軸也可根據上式估計（參閱附錄一）。

四、人造衛星軌道的傾角

人造衛星軌道所在的平面是一個通過地球中心的平面。軌道平面和赤道平面間的交角稱為軌道的傾角（angle of inclination）（圖2.3）。