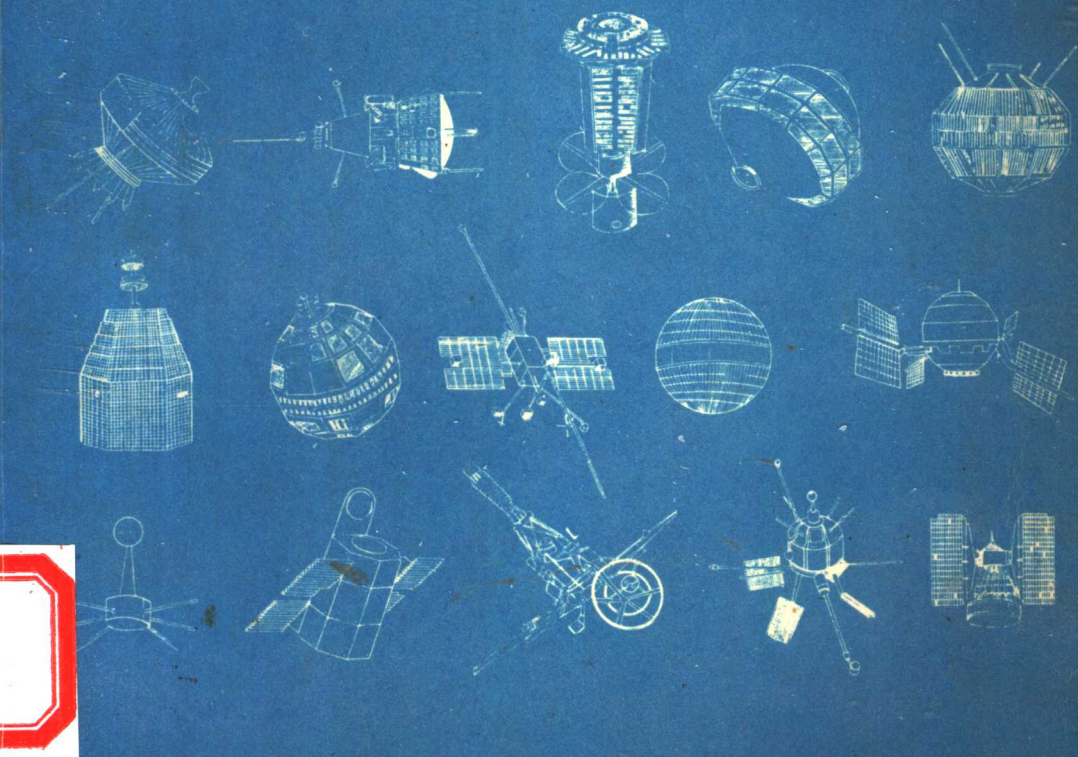


通信衛星

譯者 朱堯倫



徐氏基金會出版

星 衛 信 通

譯者 ~~蕭 國 榮~~ 倫

徐氏基金會出版

內政部登記證內版台業字第1347號

星 衛 信 通

中華民國五十九年 四 月 五 日初版

版權所有
不准翻印

出版者 徐氏基金會出版部
台北郵政信箱3261號
香港郵政信箱1284號

發行人 林 碧 鏗

台北郵政信箱3261號

譯 者 朱 堯 倫
國立台灣大學醫學院
綜合研究館
電子儀器室技佐

印刷者 長德印刷有限公司
台北市迪化街一段二四〇號
電話：513428•556361

定 價 新台幣 三十五元
港 幣 六 元

我們的一個目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識的傳播，是提高工業生產，改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。科學宗旨，固在充實人類生活的幸福也。

近三十年來，科學發展速率急增，其成就超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成事實。際茲太空時代，人類一再親履月球，這偉大的綜合貢獻，出諸各種科學建樹與科學家精誠合作，誠令人有無限興奮！

時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的急要責任，培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如生物、化學、物理、數學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。科學研究與教育的學者，志在將研究成果貢獻於世與啓導後學。旨趣崇高，立德立言，也是立功，至足欽佩。

科學本是互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的意外收穫。

我國國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年之間，所可苛求者。因此，從各種文字的科學圖書中，精選最新的基本或實用科學名著，譯成中文，依類順目，及時出版，分別充作大專課本、參考書，中學補充讀物，就業青年進修工具，合之則成宏大科學文庫，悉以精美形式，低廉價格，普遍供應，實深具積極意義。

本基金會為促進科學發展，過去八年，曾資助大學理工科畢業學生，前往國外深造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選譯出版世界著名科學技術圖書，供給在校學生及社會大眾閱讀，今後當本初衷，繼續邁進，謹祈：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者；

主動地精選最新、最佳外文科學技術名著，從事翻譯，以便青年閱讀，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世，助益學者。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。掬誠奉陳，願學人們，惠然贊助，共襄盛舉，是禱。

徐氏基金會敬啓

1964/8/10

譯序

阿基米德（西元前二八七——二一二）的澡盆，和牛頓（一六四二——一七二七）的蘋果，在科學史上建立了永不磨滅的功績。人們常常洗澡，祇有阿基米德才會發明測量比重的方法，蘋果常常落地，祇有牛頓才會發現萬有引力。一方面由於阿，牛已經有了廣博精深的科學知識，和隨時對周圍事物的注意；另一方面，假如他們也是一直住閣樓，沖淋浴；那麼，他們也許不會在那個時候，有那樣的發明，也許他們祇能有別的方面的成就。

所以，我們作為一個太空時代的人民，要發展現代的科學，最重要的兩條路應該是：努力吸收現代的科學知識，和隨時注意周圍的現象和性質。

譯者為了實現一位真摯朋友的願望，把一些新的科學知識轉介給國人。

我那真摯的朋友，張君慶篤，從小輟學從軍，一個人在台灣，難免有些苦惱。就在十八年前，刻苦自修，奮力向上。於四十五年考入成功大學，便充份地接觸到人情的溫暖，更加加強他對國家社會的抱負。他在寫給譯者的信上說：「知識分子所取於國家社會者多，則所謀貢獻亦應大。」五十三年公費留美，信中常常提到國家對他的恩典，和他想報效的方法。他在留美期間，花費了很多的時間和金錢，搜集了許多有關衛星通信，太空科學，和電子技術的新資料，或影印航寄，或整冊平寄，要譯者轉為介紹給國人，作為我們兩人對國家社會的貢獻——當然也含有委婉鼓勵譯者努力向上的用意。張君現已學成歸國，從事研究工作，以後在科學方面的貢獻，是可以期待的。

張君苦學的經過，很可以作為「某些」苦悶青年（如果有的話）的借鏡；他的心理過程，似乎也可供給「那些」家長們作參考。

本書包括：

- 一、歷年太空探測所得，必要的科學知識
- 二、歷年研究發展成功，必要的工程技術
- 三、一套完整的作業程序——需要，政策，計劃，方法，技術……費用和對未來的預測。

所以本書是高度的太空科學知識，工程技術，和企業管理的最佳結合。

由於美國名人推薦，本書出版不久，即影印航寄，在翻譯期間，雖然跑過許多圖書館和書店，並且三度清稿，但是疏漏錯誤的地方，仍屬難免，還望海內外高明通達的先生女士們多加指正。

譯者 登月後四日于國立台灣大學綜合研究館

通信衛星目錄

一、緒論	1 - 2
二、需要	3
三、主動與被動衛星的比較	7
四、軌道	13
(一)涵蓋	13
(二)時延	23
(三)太空環境	27
1. 真空 2. 紫外線 3. 礫塵 4. X線與加瑪線	
5. 宇宙線 6. 陷穽輻射	
(四)結論	47
五、頻率選擇	2-49
六、電源供應	55
七、姿態與軌道控制	69
(一)慣量系統	69
(二)環境產生的轉矩	74
(三)質量排出	79
(四)混合系統	81
(五)軌道建立	85
(六)衛星管制	90
八、結構與溫度控制	3-100
九、通信系統	115
(一)有效功率階度	115
(二)調制	118
(三)地面終端	123
(四)衛星轉發器	126
一〇、遙測、追蹤、與指揮	131
一一、系統運用	4-140
(一)六小時系統	141
(二)十二小時系統	152
(三)二十四小時靜止系統	159

四結論.....	166
一三可靠性.....	169
(一)可靠性預期.....	169
(二)太空飛器檢查.....	179
(三)結論.....	181
一三費用.....	184

一、緒論

近幾年來，有好些影響力，促使通信衛星系統加速建立，不祇是幾枚通信衛星推昇成功而已。現在已被承認：通信衛星系統的發展，在技藝上是切實可行的，在經營上是有利可圖的。因此已經具備了對通信衛星的需要，和滿足這些需要的技藝。

技術上能否實現，取決於下列的八項因素：

- (一) 火箭飛器的金屬和技術，這在飛彈計劃裡，已經有了很大的進展。
- (二) 經由進步的火箭發展計劃，使衛星的性能和可靠性更加進步。
- (三) 建造、發射、和與太空中衛星通信聯絡等經驗。
- (四) 對太空環境及其對裝備的影響逐漸增加了解。
- (五) 電力的供應，由太陽、核子、或化學燃料獲得能量。
- (六) 雜音極低的接收機。
- (七) 太空裡衛星姿態的覺察與控制技術。
- (八) 地面追蹤設備，和高速電子計算機，以便測定和控制準確的星曆 (Ephemeris) 。

依據美國電話電報公司的估計，1980年將需要約12,000個相當於雙向越洋話路的通信量，這一估計，是比照1961年度美國與越洋各點間550頻路產生的。預料那時資料傳輸和閉路電視，廣播電視，將需增加三十倍的頻路。當然，我們承認，實際的需要量，容易受到通信品質和價格的影響。

軍事編制的行政與後勤通信，亦有增加電路的需要，和那些加重系統需要的商業通信一樣。此外，軍事上為了一種特殊目的而有某種需要，亦會產生一種獨特的系統設計。例如，需要一種長移動距離 (Long-haul) 的軍事通信，包括與飛機之類的移動電台通信，這些報告內容比較簡短，消息却極端重要。也就是說，這消息必須面臨做人的探測 (即由衛星和地面組合施以妨阻或物理的破壞) 以決心阻碍其行進。

於是，我們需要某種變動的通信，利用一種在技術上和結構上有許多變化的通信設備，無論在手邊或在途中均可隨時變更。下面各章將敘述有關創設通信衛星系統的一些主要問題，及有關設計方面的可能利益 (Tradeoffs)。如何尋求最好的方法，以利用可資利用的，最近可資利用的金屬和技術，俾能滿足通信電路的預期需要。

一個通信衛星系統，包括大量的分系統 (Substem)，以複雜的方式相互關

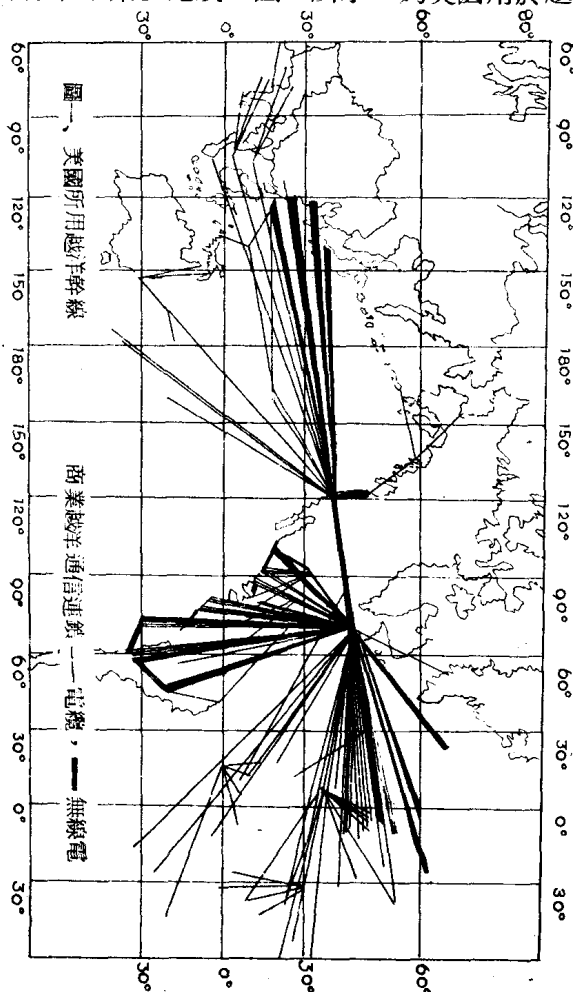
2 通信衛星

聯着。可能有很多不同形式的系統，如軌道高度，形狀，傾角的不同；操作頻率和頻帶寬度的不同；地面終端（Surface terminals）數量；推昇器程式；衛星形狀的不同等。每一系統的系統設計，應包含各種交互關係的攷慮，和一套分系統的選擇，俾能使整個系統感到樂觀（Optimize）。在許多情形下，做這些選擇需要預先搜集完整的技術資料，（例如各頻率）能否與其他通信事業共用，此後五年到十年，火箭的可靠性和價格如何）和稀少的，純理論性的，有關顧客需要的資料（例如，線忙時顧客能容忍的“等待時間”，它的基準是多久？各種品級的通信服務，定價是多少？）。

攷慮這些困難，本書依主要系統設計範圍，分章加以討論。每一項努力，均未忽視最後的操作需要，也未疏忽在某一範圍裡的決定，對其他範圍和總系統的重大影響。

二、需要

通信連鎖通常可分三種：(一)點對點幹線 (Point-to-point trunk)，即大量通信，集中到一中心點，經一單獨的幹線，載送到另一中心點，再經此點分散到所有的目的地。(二)點對移動 (Point-to-mobile)，即中央通信中心與空中的飛機海上的輪船之間通信。(三)移動對移動 (Mobile-to-Mobile)，即各飛機或輪船之間的通信。最主要的商用通信，係採用第一種系統，許多幹線業已架設完成。圖一所示，為美國用於越洋通信的幹線，



表一所列，為1960年這些幹線的聯絡密度。

通信連鎖可以傳遞三種方式的通信，(一)雙向電話 (two way telephone)；(二)單向紀錄消息傳輸 (One way record message transmissions)，例如電報，電傳打字；(三)單向電視 (One way television)。前兩種方式有世界性的需要，最近幾年將有急劇地增加；雙向電視，也許在1980年可以出現。一項主要的新事業正在成長，那便是傳送各種資料，例如大企業世界性作業的中心簿記。軍事通信需要的成長率也已迅速增加，現在應用於軍事通信無線電與電纜連鎖，已經或即將為例行的行政與後勤通信所飽和。特別地，點對移動，和移動對移動的兩種通信連鎖，在立即的將來，軍事

第一表 現在及預期越洋通信聯絡*

美國終端	終端區	電話 (千次)		電報 (二次) (二十字)		印字電報 (千分分鐘)		傳 (千分分鐘)		電視電路	
		1960	1970	1960	1970	1960	1970	1960	1970	1960	1970
紐約	歐西	899	5,200	22,541	35,000	900	5,000	1,600	4,800	1	1
	歐中	91	11,800	3,866	6,000	300	2,100	500	1,800	1	1
	歐東	7	70	1,258	3,000		50	40	100		
	斯堪的	60	420	2,204	8,500	100	400	150	500		
	納維亞										
舊金山	中東	5	200	2,344	7,500		250	20	150		
	非洲	3	50	1,872	6,000		225		100		
	亞洲	2	50	140	300		325	25	120		
	太平洋	540	2,600	1,577	2,000	500	2,800	1,100	4,000	1	1
	南太平洋	24	380	1,354	2,500			100	2,000		
邁阿密	亞洲	108	1,250	6,279	12,000		3,000	150	2,000	1	1
	馬來群島	24	360	1,988	4,000		300	25	1,130		
	中美洲	83	820	2,068	3,500	50	850	80	750	1	1
	西印度群島	1,123	5,000	5,451		1,200	4,900	3,000	3,250	1	1
	北美洲	105	1,000	6,293	12,000		1,200	75	800		
總計	南美洲	51	800	2,421	4,500		800	25	500		
	衛星平均頻帶寬度	3,127	20,000	61,476	115,000	3,000	22,600	6,000	21,000	6	3×10Mc

表中預期聯絡數字，是基於三種假定；聯絡數字的增加，是依據美國電話電報公司所預測的一般狀況，祇有古巴的通信成長率，係假定為卡斯特羅時期以前的一半。假定非洲，亞洲，中南美洲等開發中的國家工業化的進展速度和過去十年間進步比率相同。假定一九七〇年的電視，尚不能成為世界的連鎖；例如環球連鎖中，一種程式的電視機廣播，未必均能適合他種程式的電視接收機。最下一欄，是將所有分式的預期通信頻帶，化成公分母，作為衛星所需的頻帶寬度。由於單向電視電路需要約5兆赫的頻帶寬度，六條電路將需要30兆赫。用三個衛星分擔這些負荷，換句話說，一九七〇年電視通信的預期需要，每一衛星平均分擔10兆赫的頻帶寬度。

表中未包含的一類事業，是通信衛星用於娛樂和宣傳的廣播，這一事業，在技術上是可能的，可是對於未來的需要，還沒有一種預報，所以我們沒有資料可資應用。

聯絡將急劇地增加。最後可以預期，必會產生一種新的聯絡方式——通信衛星。這種衛星的用途很廣，例如用於海上或離島的救難任務。第一表包括這些新事業，和與世界“開發中國家”通信的預期業務。

通信服務的方式，已達到某種程度的需要，頻帶寬（或相近的）的選擇，即相同通信的頻路數目，決定於通信方式和服務所要求的品質。與這息息相關的，便是調制技術的選擇，調制技術包含調制百分比的選擇，即是情報頻帶寬對發射頻帶寬，也就是決定發射頻帶寬所利用的效率。

致慮通信中繼系統需要傳遞的所有通信方式，對於此系統所應提供的頻帶寬度，可以得到一個合理的推測，這些信號應適宜地包含電視傳輸，語音傳輸、和印字〔含數位資料（Digital data）〕傳輸。電視信號的頻帶寬度約需 5 兆赫。語音信號的頻帶寬度不一，由所要求的品質決定，例如：要得到高品質的語言，需要四仟赫的頻帶寬度，某些軍事通話祇須兩仟赫。典型的電傳打字電路，頻帶寬度約為 200 赫，資料連鎖（Data link）所需頻帶很寬，典型的高速連鎖（High-speed link）需用 20 仟赫。因此，約 100 個電傳打字信號，5 個語音信號，或者這些信號某些部份的適當混合，可以組成一個單獨的資料連鎖傳輸所需的頻帶寬度。

在第一表中，列舉了各種通信方式所需的頻帶寬度，和預期所需的頻路數，由此，可以推測一個最初的衛星通信系統，所需提供的頻帶寬度。此外衛星所需提供的頻路數目，雖隨選擇某對終端台而有所改變，然而儘量建造同樣的衛星，每一衛星的頻路數量相同，和大量的衛星以供給任一幹線兩點之間，最大預期聯絡的負荷，也許是經濟的。

由第一表的預測顯示，地面兩點之間，所需頻路的最大數量，應符合 1970 年 15 兆赫的情報頻帶寬度。選擇這個日期，是因為相信，今日所設計的衛星壽命，至少可以適用到 1970 年。

一對地面電台之間的雙向通信，至少需要四個不同的射頻頻路，並由護衛帶（Guard bands）隔開：一個由電台甲傳輸至衛星乙，一個由衛星乙傳輸至電台丙，另外兩個由電台丙傳輸回來。如果另外一對或多對電台利用同一衛星，則需要另外一組或多組的四射頻頻路（Four R.F. channels）。每一“中繼對”（Relay pair）（例如甲到乙，乙到丙）將使用一單獨的轉發器。究竟各“中繼對”分別使用各自的轉發器，還是所有頻率組合於一個轉發器，目前還在設計人的選擇之中。

關於一通信衛星的可靠性，須致慮兩種狀況：（一）消息的錯誤內容，（二）系統組成部份的驟然故障和逐漸剝蝕。也有一些有利的因素，例如，（一）衛星中

6 通信衛星

解調與重調(Demodulation and remodulation)技術可能改善，雖然，解調與重調，需要增加另外的配件，結果減低衛星的壽命。(二)系統可能改善。

在過去幾年中，具備寬頻帶特性的長壽命配件，已經逐漸應用。特別是行波管(Traveling wave tubes)，具備數以瓦計的功率輸出，壽命超過十年，非常適合通信衛星的需要。行波管可利用的頻帶寬度超過100兆赫。此外，衛星的電功率也受到限制，因為：(一)增加衛星重量，便會增加很高的費用；(二)電功率增高，可靠性通常減低；(三)電功率增高可能增加對其他業務的干擾。經營的地區也須加致慮，因為有效的輻射電功率，要靠天線的增益，而天線的增益，對某些地區而言，須由系統理論決定(即照射全球，或者利用窄角度束射天線，僅照射某些特殊地區)，而且要依賴準確的姿態控制系統。

需要致慮的調制方式，包括單側頻帶，雙側頻帶調幅；寬頻帶寬度，窄頻帶寬度調頻和調相；和各種譯碼系統(Encoding systems)。基本上，除了調幅和窄帶調頻調相外，所有這些調制方式，對情報頻帶寬度與傳輸波道頻帶寬度的比率，有效提供或多或少信號對噪音比(S/N ratios)的輸出。幸運地是：如果衛星能夠提供足夠寬的頻帶寬度，特殊的調制方法，傳輸頻路頻帶分配利用等方法，不需通信衛星設計人事先決定；只要衛星能提供夠寬的頻帶寬度，便可容許衛星使用人選擇調制方案，以適合他的特殊事業。且有足夠的彈性，俾使世界各不同部份的使用人，使用在同一衛星上各種完全不同的調制技術。

綜上所述，對於幹線通信，無論軍用商用，衛星波道的頻帶寬度，應當儘量加寬，也許達到100兆赫，使用現在的配件，容易獲得這種最大容量，以便容許使用人選擇正確方式的調制。

無論如何，至少有一種軍事上的需要，頻帶寬的致慮是完全不同的。美國指揮中心需要的一種，低情報率傳輸，(Transmissions of low-information-rate)，極緊急的消息，比如對遙遠的高機動性的單位(例如飛機或吉普)，對遙遠的堅固基地，或武器堡壘等，對於這種系統，地面或空中終端台，應用可操縱的定向天線是不切實際的。而且天線要用固定的，適當大小的，有諧振結構的，比如交叉偶極(Crossed dipoles)。因為此一業務的方式，是報告極少量的必要情報，情報的頻帶寬度可以很小，最多一個話路，也許只要低比率的數位資料便夠了。這一問題，將在第九章另加討論。

三、主動與被動衛星的比較

科學家們在利用被動反射器 (Passive reflectors) 作衛星中繼的研究上下了不少的工夫，因為構造簡單，很多地面電台可以同時使用一個被動反射器。從這些研究顯示，對於大容量幹線式商用或軍用通信而言，簡單的被動反射器沒有主動轉發器式 (Active repeater type) 的衛星切實可行。

業經致慮的被動反射器的程式包括穩定式和非穩定式兩種，穩定式反射器又可分為：(一)平板 (Flat plates) (二)直接回播 (Direct back-scattering) 反射器，如半月形透鏡或角形反射器，(三)短接天線 (Shorted antennas)，比如一系列諧振體或者一只短饋 (Shorted feeds) 拋物體形碟。然而，穩定式反射器需要準確的姿態控制，所以需要適宜的電子系統，因而否定了被動反射器應具備的原則：則簡單和可靠。

非穩定或非定向反射器，幾乎致慮包括每一件想像中的東西，比如一群角形反射器或半月形反射器，可是過去祇有兩種程式，被認為值得授權作進一步的研究和試驗；那便是個別的或成群的金屬球，和遍佈一個軌道的小型偶極體。

各種不同大小的，小至彈丸的，成群的球體，均被致慮過，可是兩項問題促使選擇個別的大球。球半徑小於 0.2 波長時，它的比較散播增益 (Comparative scatter gain) 非常之弱，要保持軌道上一群小球的實用效能，它必須保持相當的小值，不超過地面上發射天線和接收天線束射的交叉範圍，所以要達到目標是極端困難的。

利用一個大球進入軌道作為被動反射器的實驗衛星，已於 1960 年 8 月 12 日推昇 (Launch) 成功。這便是回音一號 (Echo I)，用 0.5 密爾的塗鋁膠囊 (Mylar) 做成直徑 100 呎的圓球，在圓形軌道中，高度 900 哩這一圓球已經顯然成功，可是由於圓球變形的結果，在它的反射信號中，產生很大的閃動。回音二號用鋁片加強結構，以抵抗變形的效應，可是重量增加，費用也就加大，這是一個值得致慮的問題。回音一號重 165 磅，包括 30 磅灌入的氣體。回音二號直徑 135 呎，重約 580 磅，包括所有支持及灌氣系統。

球如大於波長，則對頻率沒有重大的影響。在任一被動反射器中，有效增益為

$$g = \frac{4\pi\sigma}{\lambda^2}$$

上式 σ 是球的有效面積， λ 是波長。

$$\sigma = \frac{\pi d^2}{4}$$

上式 σ 是球的有效面積， d 是球的直徑。

偶極反射器已由林肯研究所依空軍的西方福特方案 (Project westford 因偶極子不能散播，經首次實驗失敗，該計劃曾遭擱置譯者註) 發展。在赤道或兩極上空散佈銅針，使成一個或多個環形軌道，環的寬度和厚度，等於發射天線束射和接收天線束射共同所對的立體角。軌道平均高度為 2,000 哩，使用略小於一度的典型束射寬度，環厚約需 35 哩。因為偶極子的直徑很小，平均散播面積對全面積的比率為

$$\frac{\sigma}{A} \cong 0.1 \frac{\lambda}{d}$$

上式 λ 是波長， d 是偶極子直徑。 λ/d 的值通常接近 10^3 ，比率約為 100，較同樣大小的球，提高了 26 分貝。上式 $\sigma/A = 0.25$

特別地，在軌道中運行的偶極子，散播的有效面積，由發射天線束射和接收天線束射的公有值所包括的偶極子數量決定。在環影環中 (Foroidal-ring)，公有值中偶極子的數量，對運行中偶極子的總數的比率為：

$$\frac{n}{N} = \frac{R\theta}{2n(Re+h)}$$

上式 n = 公有值中偶極子數量

N = 軌道中偶極子總數

θ = 地面天線有效束射角

R = 地面天線束射帶範圍

Re = 地球半徑

h = 偶極子帶的高度

假定 $R\theta$ 的乘積，比偶極子帶大得很多，公有束射中的偶極子有效散播面積，可用下式表示

$$\sigma = 8.085 \times 10^{-3} \frac{WR\theta}{\rho d^2 f (Re+h)}$$

W = 軌道中運行的偶極子總數

ρ = 偶極子物質的密度

f = 頻率

一群散佈的偶極子在軌道上運行，信號通過此帶的散播速度，促成都卜

勒頻率擴散 (Spread of dopper frequencies), 增加通信的噪音。而且, 因為從發射機到接收機經過不同的散播器, 產生不同的距離, 信號到達同一配件的時間也就不同。由這些效應的研究顯示, 一複徑時延擴散 (multi-path time delay spread) 高達 2 毫秒 (Ms), 當載波頻率為八千赫 (KMC) 時, 都卜勒效應產生的頻率擴散, 預期高達五千赫。雖然, 如頻率越程 (Freq. hopping) 等可以用來為窄頻帶通信克服這些效應, 寬頻帶通信, 仍會發生嚴重的阻碍。

被動反射器的基本問題, 在於全方向性的輻射方式, 洲際通信發射距離所需的能量, 受到相當大的損失。被動反射器所需功率為

$$P_R (\text{被動}) = P_T G_T \left(\frac{\lambda^2}{4\pi R_1^2} \right)^2 \left[\frac{4\pi\sigma}{\lambda^2} \right] G_R \left(\frac{\lambda^2}{4\pi R_2^2} \right)$$

主動轉發器所需功率為

$$P_R (\text{主動}) = P_T G_T \left(\frac{\lambda^2}{4\pi R_1^2} \right)^2 (g_r A g_t) G_R \left(\frac{\lambda^2}{4\pi R_2^2} \right)$$

上式 P_T = 地面發射機功率

$G_T G_R$ = 地面發射機, 接收機天線增益

$R_1 R_2$ = 發射機, 接收機到中繼衛星的距離

A = 通過中繼衛星的功率增益

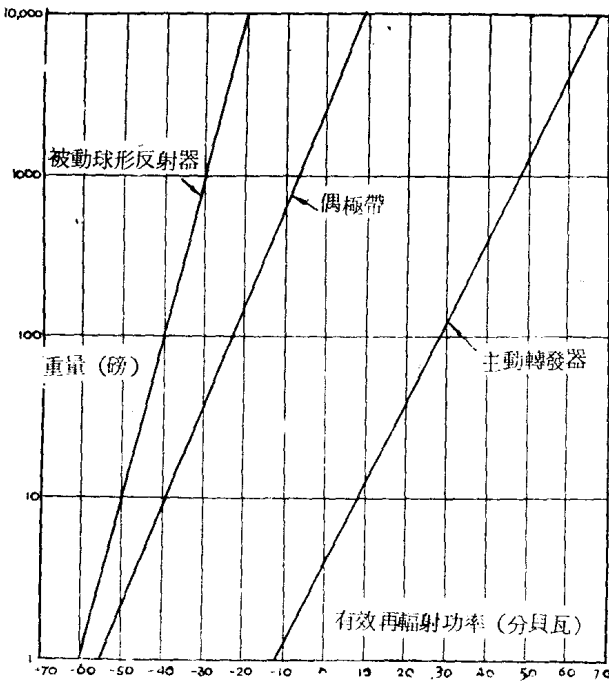
λ = 波長

$g_r g_t$ = 中繼接收天線和發射天線的增益

σ = 被動中繼衛星的散播面積

由上式可以明瞭, 到達中繼或來自中繼的太空損失, 主動中繼和被動中繼相同, 可是由括弧中各項證明, 主動中繼的功率增益較大。因為使用被動中繼, 僅僅增加有效散播面積, 才能增加接收功率; 使用主動中繼時, 衛星天線增益和轉發器放大, 均可增加 P_R 值。

在增加 P_R 的兩種方法中, 拿它的公有因素 "重量", 作次比較, 是很有用的, 因為在任一情況下, 祇有增加重量, 才能增加中繼容量。圖二所示, 即為被動衛星和主動衛星所需重量的比較, 圖上的重量, 僅攷慮到通信部份: 即對被動中繼而言, 並未包括載運, 展開, 或支持所需的齒輪結構; 對主動衛星而言, 僅包含轉發器, 天線系統, 電源供應等, 必要重量。可由圖上看出, 要增加被動衛星的體積, 以獲得指定的輻射功率, 即需增加驚人的



圖二、衛星的重量與再輻射功率的比較

重量。圖三的曲線指出，我們能力所及，發射進入足夠高度軌道的載重量。由於目前各方面都在注意提供更大更大的推昇飛器 (Boost vehicles)，我們現在或者即將能夠發射進入軌道的重量也會迅速增加，然而因為進入軌道，每磅重量的費用很高，在通信衛星的設計中，重量的有效利用，必須保持一個目標。

圖四摘錄四種系統藉被動或主動轉發器發射的通信量。圖四曲線的計算，是基於下列系統假定完成的。

地面發射機功率	1 瓩
頻率	5 兆赫 (1,000 兆赫)
地面天線直徑	60 呎
相等的地面接收機溫度 (所有來源)	75° 愷氏
距離	紐約到巴
調制	調脈碼／調相 (Pcm/PM)
錯誤比率	10 ⁻⁶
地面接收機信號對噪音比	10 分貝

在所有的計算中，係假定衛星在紐約和巴黎之間，且與此兩都市距離相等，並假定衛星在各別的高度上。在一指定的高度，這種對稱的情形產生最大的通信容量，因此，依幾何學原理，無論在何種情形下，均能在此兩都市間，呈現最大的通信率。在1,000到10,000哩高度間，地球的涵蓋位置有細微的增加，即高度改變時，天線束射寬度所對地球表面的位置亦將改變，事實上，在交叉距離，束射的三分貝以下部份，照射地面電台。由曲線顯示，無論