

原子能文庫

主編 鄭振華

第25—28冊



943
徐氏基金會出版

原子能文庫

主編 鄭振華

第25—28冊

13.3713
061

徐氏基金會出版

徐氏基金會啓事

一、凡對本書任何一部份，或本會所出版之其他書籍，能在內容及文字方面，提供建議，致使讀者更易迅捷了解書中意義者，如被採納，當致酬美金十二元五角至一百二十五元（折合新臺幣五百元至五千元），以示謝意。

二、本基金會爲了提倡及鼓勵我國同胞研究科學的興趣，進一步希望達到發展科學的目的，特公開徵求下面各類有關的中文創作及翻譯稿件。

甲、自然科學類：

數學，化學，物理學，及生物學。

乙、技術及工程類：

機械工程，電機及電子工程，無線電，電視，電信，汽車修理，鐘錶修理及製造，房屋建築，木工，水泥工等以及機械工程，電機工程及土木工程的製圖。

丙、醫學類：

個人及家庭保健衛生等一般醫學常識及教育方法。

凡是應徵的稿件必需採用通俗而流暢的筆調，使得社會一般人士及中等以上學校的學生容易吸收及了解爲原則，至於科學同技術方面的名詞應以國立編譯館所譯經教育部審定公佈的名詞爲標準。

稿酬：應徵稿件經過本會審查接受者，一律按每一千字新臺幣一百元（美金二元五角）核付稿費，如果本會認爲

內容特佳，並得提高其稿酬。

三、獎助：經本會接受付給稿費以後之創作及譯稿，其版權即屬於本會所有，並由本會出版，分別在臺灣、香港、星加坡等地區銷售。

本會將在各該書籍出版以後的第二年年底，核計其總銷售量，並分別贈與作者及翻譯者下面三種獎金。

1. 銷數佔第一位者：獎給新臺幣二十四萬元（美金六千元）
2. 銷數佔第二位者：獎給新臺幣一十六萬元（美金四千元）
3. 銷數佔第三位者：獎給新臺幣八萬元（美金二千元）

獎助辦法實行期間：自即日起，每年頒獎一次，暫實行三年。

應徵者請直接向香港郵政第一二八四號信箱徐氏基金會接

序

民國五十七年四月十三日，中美原子能委員會假台北市聯合舉辦原子能應用示範展覽會。會中展出一部原子能文庫（Understanding the atom series），凡四十餘冊，執筆者均為美國當代的原子能學者與專家。此文庫以通俗與淺顯文字，介紹有關原子能基本知識。國立清華大學核子工程學系四年級同學為響應推廣原子能和平用途，利用課餘時間，協力逐譯此文庫，並蒙該系主任翁寶山博士協助解答質疑與校對；復蒙徐氏基金會資助，陸續出版。預計在核四同學畢業之前，可全部譯竣付印。

我國正力圖發展與推廣原子能和平用途，此文庫之逐譯，適逢其時。希望不久的將來，原子能將為我國帶來繁榮與福祉，更希望有志青年，多參與發展原子能的工作。

鄭 振 華 民國五十七年國慶日
於行政院原子能委員會

本會出版之「原子能文庫」蒙國立清華大學原子科學研究所所長鄭振華教授賜任主編，熱心籌劃，嘉惠後學，純盡義務，不受報酬。至深榮感，敬表謝忱。

徐 氏 基 金 會 謹 啓

目 錄

把原子放入軌道

一切始於反饋.....	3
美國開始傾力於太空研究.....	5
太空中的 SNAP	5
優良太空動力廠的條件.....	10
核子、太陽及化學能的競爭.....	11
何謂“壯舉”？.....	14

反應器太空動力廠如何工作

把零件裝配在一起！.....	15
百萬瓦特的功率.....	17
變熱能為電能.....	21
排除廢熱	26
人員與設備的屏蔽.....	30
核安全	33

改進滋生反應

沸騰的液態金屬.....	35
沸騰的電子	37
布累登與朗肯.....	38
其他理想.....	40

太空核反應器

原著 William R. Corliss

譯述 鍾 仁 賢

有一天，大約在十五年後，一枚火箭推動載人的太空船，將從它環繞地球的軌道，射入另外一個橢圓形的轉移軌道（transfer orbit），而達到火星，需要七個月的時間。星際太空船裏的人需要電力來做許多事情，因為，根據以往的經驗；一個人僅僅可以四十天不吃東西，四天不喝水，四分鐘不呼吸空氣。第一的火星旅行，必需而且也能夠攜帶足夠量的食物，但是，在探險的太空船內，沒有足夠的空間來容納所需要的水和空氣，除非，我們把少量的水和空氣，一次又一次的反覆加以使用。水和空氣的淨化及再生都需要電力。太空船內的儀器及無線電也需要電力。船艙內保持到適當的溫度更需要電力。

長距離的太空飛行需要大量的動力供給。化學能——包括來自火箭燃料，蓄電池的液體和氫——單位質量所含的能量不夠大（焦耳／仟克或瓩—小時／磅）；因此，對於長期太空任務而言，它似乎太重了些（雖然對於低動力或短期間的任務甚佳）。類似地，太陽動力對於某些任務也有些限制的。太陽供給的能量，在地球表面上有1400 瓦特／米² 或150 瓦特／呎²，當太空船飄向火星時就會漸漸的減少，因為火星距離太陽有地球的1.5倍遠，所以太陽能密度會減少了1.5 的平方，即2.25 倍。因此，太空船在火星附近操作時，需要大量的鏡片或太陽電池來吸取足夠的太陽能。

在長期需要大量動力的情況下，最佳的電力來源是用核反應器，它利用那些包含在可裂鈾裏面的能量。就每單位質量所產生的能量而言，鈾235（U²³⁵）是最佳化學燃料的十萬倍。

本書敘述核反應器太空電廠的基本原理，說明它對於太空探險及用途方面的貢獻。並且把它同化學燃料，太陽電池以及放射性同位素

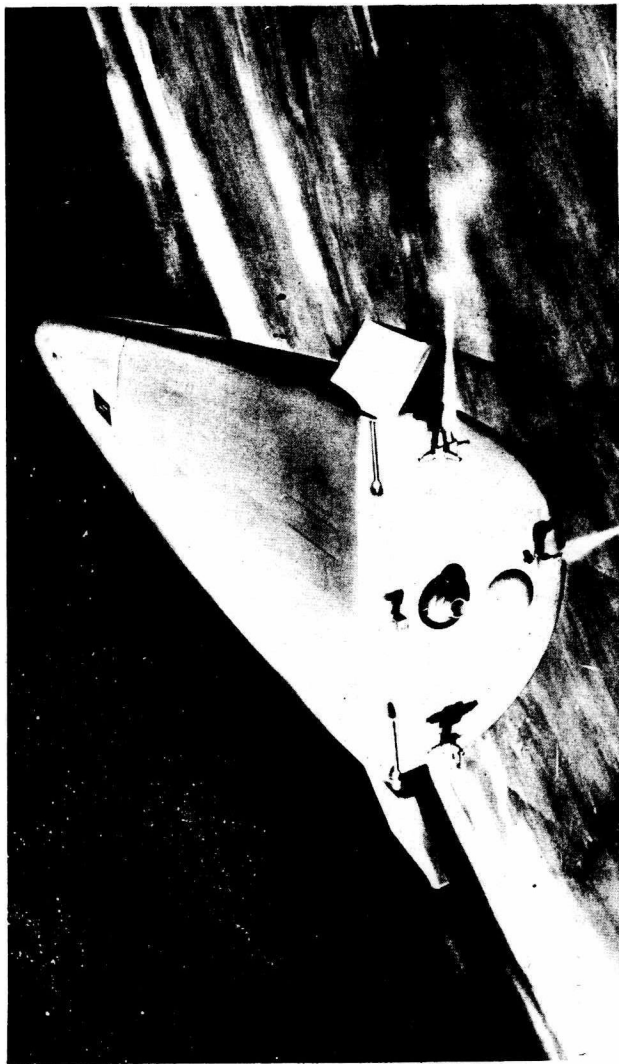


圖1 畫家想像之中，一艘擔任星際任務的太空船，由環繞地球的軌道射向火星。太空船重450000磅，包括15000磅重返地球用的艙首（上端）。旅途中可能要用核動力供給電力。

能量系統作一比較。

把原子放入軌道

一切始於反饋

第二次世界大戰的末期，很明顯地，發明了兩項重要的技術。德國發明了一種大型的火箭，V-2。實現了多年以前美國火箭實驗家羅勃·戈達（Robert Goddard），德國太空先驅賀曼歐伯茲（Hermann Oberth）以及有遠見的俄國人康斯坦丁糾可夫斯基（Konstantin Ziolkovsky）等人的預言。第二項發明是原子彈，引進了一項新式而又十分精密的能量形式，也許可以用來推動太空船，操作設備和維持船內人員的生命。

在一九四〇年代的末期，許多科學家和工程師考慮到把火箭和原子結合起來的可能性。然而，那時候太空旅行仍然是個夢想，此外，甚至於還沒有把核動力應用到發電上面去。舉國的興趣專注到別的事情上。唯一的例外是反饋計劃（Project Feedback），冷戰中軍事偵察衛星的研究，美國空軍所主辦而由蘭得公司（Rand Corp）在加利福尼亞州的散塔莫尼卡（Santa Monica）地方從事研究。反饋計劃中，最熱門的題目是，從分裂的鈾裏面和由放射性同位素中，來獲取衛星的能源。

某些衛星需要相當高的動力——幾千瓦特——使得美國原子能委員會（AEC）從一九五一年起，開始致力於核能電廠的研究。一九五二年完成，研究的結果是——核分裂和放射性同位素的電力廠應用到衛星上，就技術上而言，都沒有什麼問題。那時候，還沒有製造出可以投擲衛星的火箭，雖然第一枚洲際彈導飛彈早已發展成功了。同時無可置疑的，太空方面需要核動力。雖然那時還沒有任何的太空探險計劃，可是理論上的研究還在繼續進行着。



圖2 戈達博士在他的實驗室中檢視一枚到過7500呎高空的火箭（1932年）

美國開始傾力於太空研究

美國正式的太空科學研究，開始於一九五五年，當時美國的總統艾森豪爲了響應國際地球物理學年而宣布開始進行前鋒衛星計劃（Vanguard satellite program）。前鋒衛星重僅數磅由太陽電池供給電力，然而，這項計劃也是朝著大型衛星的方向發展。爲了適應這項裝置的需要，AEC 於一九五五年開始了 SNAP 計劃（Systems for Nuclear Auxiliary Power 簡稱 SNAP 意即核子輔助動力系統）。馬丁公司（Martin Corp）負責設計 SNAP - 1，它利用放射性同位素銻 144（ Ce^{144} ）衰變時所生的熱來產生 500 瓦特的電力。同時，Atomics International Division，北美航空公司（North American Aviation）也開始設計 SNAP - 2，一種反應器生熱式電力廠可以產生三千瓦特（或三瓩）的動力。（註 1）

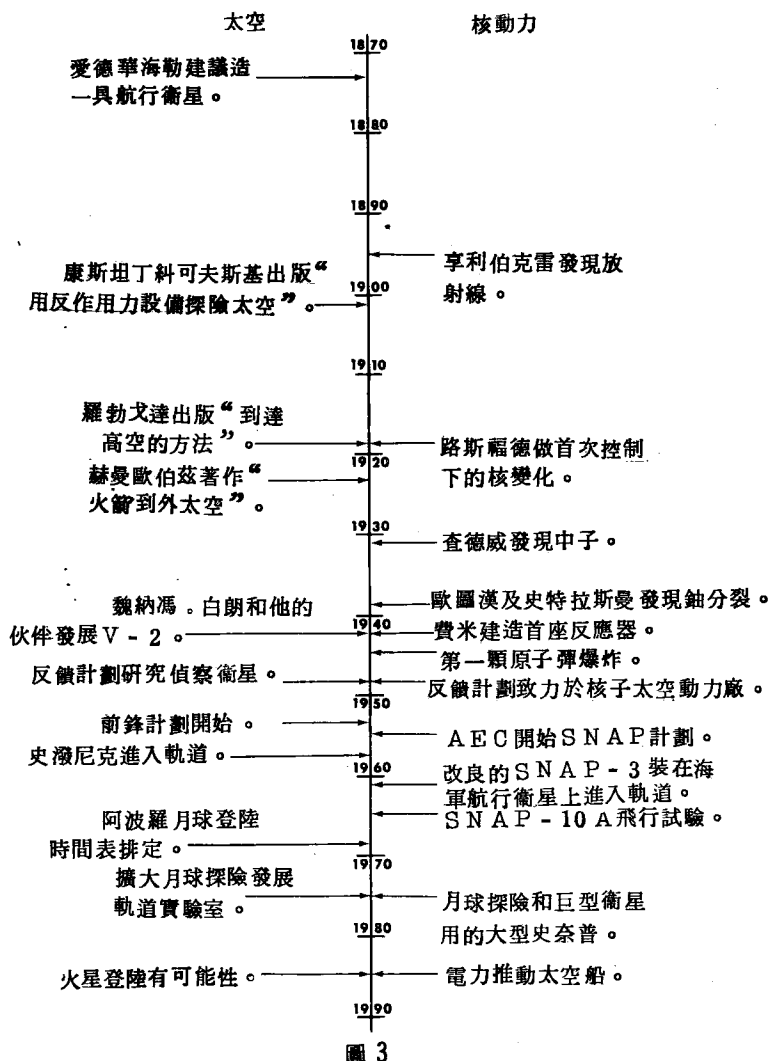
緊接着，AEC 和國家航空及太空總署（NASA）攜手合作，開始發展 SNAP - 8。三百瓦特“分裂電池式”的史奈普 - 10，設計中包括一具傳導冷却式反應器而在它的表面裝上熱電元（thermo-electric elements）。爲了符合國防部的要求，一九六一年開始計劃一座具有 500 瓦特動力的傳導冷却式 SNAP - 2 反應器，在輻射屏蔽後面的圓錐殼，裝有一個熱電式發電機，編號爲 SNAP - 10A。性能更優越的是 SNAP - 50。對這些隨意的計劃編號，爲了避免混亂起見，請參閱 SNAP 摘要表，上有雙號 SNAP 的一般情況及各種特性。每一種類操作的進一步情形，以後還會討論到。

太空中的 SNAP

第一座進入太空中的 SNAP 反應器動力廠具有 500 瓦特的 SNAP - 10A，一九六五年四月三日由加利福尼亞州的范登堡空軍基地射入

（註 1）單號的 SNAP 動力廠用的是放射性同位素來當燃料。雙號的 SNAP 動力廠用核子分裂反應器來當熱源。單號動力廠的更詳細情形，請閱本叢書中的“放射性同位素動力”Power from Radioisotopes

太空與核動力的 紀述史料



軌道。一枚擎天神愛琴那(Atlas-Agena) 投擲火箭把攜帶有反應器的衛星，射入一個近於圓形的軌道，高度約 1300 公里或 800 哩，開始那段時間繞地球一圈要花 111.5 分鐘。這枚衛星帶有一具小型電離子推動器和其他次要的實驗器材，這些都要消耗一部分的動力。還有些動力用來當衛星通訊之用，剩下的就“棄置”於動力吸收器內。

反應器很成功地運轉了四十三天。五月十六日，當衛星繞行第 555 圈時，地面上的衛星追蹤站收不到通訊信號，也無法用無線電來操縱衛星。第 574 圈時，再次收到了信號，這時候衛星通訊系統用的是預先留下來的蓄電池，而反應器此時的動力輸出為零。將所發生的事情加以分析的結果，顯示出；反應器關閉的最可能原因，也許是太空船內電力系統發生了故障，使錯誤的命令導致了反應器的關閉。那時候，有一項類似的試驗，一對同類型的反應器在加州散塔蘇珊那(Santa Susanna) 地方，不用調整它的控制系統，而能成功地運轉了一年以上。

一九六一年六月，首座放射性同位素(單號)動力廠投擲成功。裝置在海軍航行衛星上的 SNAP-3，利用鈾 238(Pu^{238}) 來產生 2.7 瓦特的動力。這座動力廠現在還在運轉，到目前為止已有另外三座進入軌道。

SNAP 計劃的歷史，比起其他類型的動力廠，要輝煌得多。說得更深刻點，它是探險、克服困難以及向綜合技術挑戰的歷史。每當我們討論到在太空中，如何從分裂的鈾裏面把熱能轉變為電能，以及怎樣才是優越的太空動力廠時，很明顯地，我們就明白為什麼大量的勞力和金錢要花費在下列的技術上：

1. 建造小巧而重量很輕的核反應器。
2. 利用液態金屬當冷却劑，由小型反應器中有效地提取熱。
3. 發展熱電偶以及研究熱離子動力產生器。
4. 製造小型的高速渦輪和發電機。
5. 經過廣泛的試驗，證明了核動力廠用在太空上十分的安全可靠。

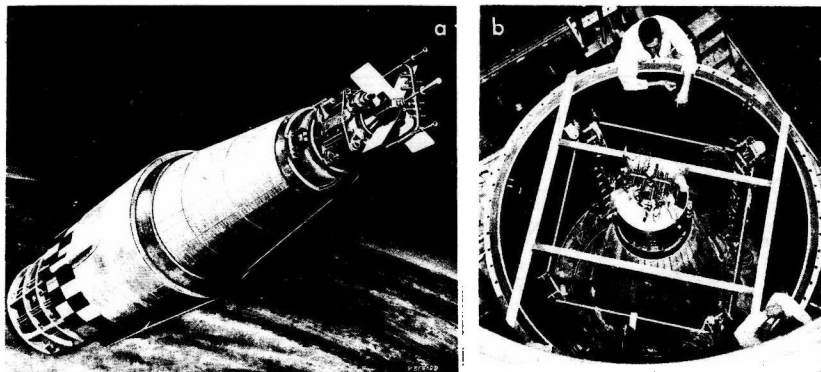
SNAP 反應

	電 功 率	質 量， 仟 克 (磅)	比 重， 仟 克 / 瓩 (磅 / 瓩)	整 體 的 效 率 %
SNAP - 2	3	668(1470)	223(490)	5.4
SNAP - 4	—	—	—	—
SNAP - 6	—	—	—	—
SNAP - 8	35	4460(9800)	127(270)	7.8
SNAP - 10	0.3	—	—	—
SNAP - 10A	0.5	427(960)	908(2000)	1.6
技術改良過的 SNAP 2, -8, -10	0.5 - 150	—	0.5 瓩時 680(1500) 150 瓩時 91(200)	9 (轉動機包 括在內) 3 (熱電式)
SNAP-50	100-1000	300 瓩時 2700(6000) 1000 瓩時 9000(20000)	300 瓩時 9 (20)	15
熱離子和更 進步的觀念	100-1000	—	4.5(10)	隨種類而不同

器摘要表

有用的年代	核心類別	爐心冷劑	轉換計劃	情況和可能的應用
—	氫化物	NaK	朗肯循環式 渦輪發電機	停止研究的太空動力廠
—	—	水	朗肯循環式 渦輪發電機	停止研究的水下動力廠
—	—	NaK	各種的	已完成的水下動力廠研究系列。
—	氫化物	NaK	蘭金循環式 渦輪發電機	發展中的技術。軌道實驗室、月球基地、通信衛星，深遠的太空任務。
—	氫化物	無	熱電式	早期的設計用傳導冷卻式反應器；改變成傳導式熱轉移設計的史奈普-10A。
1965	氫化物	NaK	熱電式	完成，1965年4月進入軌道。巨型衛星。
1970年代	氫化物	NaK	渦輪發電機 或熱電式	在SNAP系統改良計劃下，已獲此項技術。
1975-1980	快中子， 氮化物	Li	朗肯循環式 渦輪發電機	技術正在發展中，軌道實驗室，月球基地，火星任務，電力推動）。
1980年代	隨種類 不同	隨種類 不同	隨種類不同	此項技術現已被列入各種進步觀念計劃中。

圖4 (A) 軌道中的 SNAP-10A 很成功地運轉着。
 (B) 這座安置在地球上的複製品，在假想的太空情況下，
 繼續產生電力達一年以上。



優良太空動力廠的條件

火箭的載運量（旅客和儀器），和太空船一樣，十分有限。良好的太空動力廠必須是不太重的，但這只是複雜的問題之一。餘如，太空動力廠要花費多少錢？使用起來是否安全？而且，可能最須要考慮的是，它到底能維持多久不用修理？當我們對太空動力廠作一番估價時，要注意到下列的要求：

須求因素 意義何在

重量要輕 動力廠的比質量（每單位動力的質量）要儘可能的低，而且要比化學能或太陽能當動力時低很多。

成本要低 動力廠的製造及發展費用要低，維持總經費在預算範圍之內。

可靠性 動力廠很可能要運轉一年以上，在這期間不但無人加以照顧，還要冒著隕石，高度真空和其他的太空危險。

核子安全 在意外的情況下，地球的乘客可能會受到輻射污染而遭到危險。

適合性 動力廠的特性，必須符合某些設計上或操作上的目的。

有效性 火箭和載運物準備發射時，動力廠必須已準備完成。

這些因素，都是動力廠工程師們日以繼夜想要解決的。可是，因素之間彼此有關，如果我們把某一因素加以改良，則必須犧牲另外一個因素。例如：重量問題可藉提高動力廠的操作溫度而予以減低，但在高溫之下，設備很容易毀壞掉。因此，工程師必須把這些因素做適當的“交易”。比如：“必須節省多少重量來增加一個月的壽命？”在“平衡狀況”下，我們就能夠得到一個重量輕，成本低、特別安全可靠性甚高的動力廠。然而，就實用的立場而言，有些地方必須優先考慮，而後折衷一下。（當我們開始尋找合適重量及壽命的物質時，“交易”方法亦可當做指引。）

核子、太陽及化學能的競爭

通常，一個太空艙設計師，只要求動力廠符合他的設計書，才不管它燒的燃料是鈾 235 還是煤油。核子動力要和太陽能及化學能一較長短的話，無疑的，“勝利者”必須是具有最小的重量，如果其他因素不變的話。

典型的核反應器太空動力廠由三個主要部份組成：(1)一座精細的分裂反應器，用來產生熱量。(2)一個能量轉換器把熱量轉成電力。(3)一具冷却器把不可用的熱量輻射掉。還有一股熱量轉送流，把熱量從動力廠的某一部份帶到另外地方。不同於它的競爭者——太陽電池及燃料電池，SNAP 動力廠是一種“熱機”，它的作用可由熱力學定律來加以敘述。

除了幾個攜有同位素發電機兼帶太陽電池和蓄電池的海軍航行衛星，以及反應器推動的 SNAP-10A 衛星之外，所有兩百多個射入太空的無人衛星，都是用太陽電池和蓄電池動力的。美國發射成功的載人太空船，用的是蓄電池和燃料電池。到底這些競爭者——這些其他類型的動力廠——如何工作呢？