

測量結果的 無線電傳輸技術

П. И. 叶夫多基莫夫、Б. X. 克里維茨基、

Ю. А. 舒米欣 編



國防工業出版社

測量結果的 無線電傳輸技術

П. И. 叶夫多基莫夫, Б. X. 克里維茨基,
Ю. A. 舒米欣 編

魏大公 譯



國防工業出版社

1959

內 容 簡 介

本書介紹一些有关无綫电遙測理論的問題。闡述了各种具体类型的測量結果无綫电傳輸系統，如各种采用不同調制方法的按頻率和按時間区分通路的系統等。

本書供对无綫电遙測問題有志趣者参考。

苏联 П. И. Евдокимов, Б. Х. Кривицкий, Ю. А. Шумихин
編 Техника передачи результатов измерений по радио
(Военное издательство министерства обороны Союза ССР
1955 年)

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092^{1/32} 5^{11/16} 印張 120 千字

1959 年 2 月第一版

1959 年 2 月第一次印刷

印数: 0,001—3,100 册 定价: (11) 0.90 元

№ 2692

目 录

序 言	4
第一部分 无綫电遙測导論	7
1. 无綫电遙測系統概述	7
2. 无綫电遙測系統的基本特性	15
3. 按頻率区分通路而副載波又采用調幅制的无綫电遙測 系統的特点	32
4. 用于遙測的无綫电路原理	48
第二部分 按頻率区分通路的无綫电遙測系統	101
1. 副載波頻率調幅和載波頻率調頻时按頻率区分通路的 无綫电遙測系統	101
2. 副載波頻率調相和載波頻率調幅时按頻率区分通路的 无綫电遙測系統	117
3. 副載波頻率和載波頻率調頻时按頻率区分通路的 无綫电遙測系統	122
第三部分 按時間区分通路的无綫电遙測系統	131
1. 副載波頻率和載波頻率調頻时按時間区分通路的 无綫电遙測系統	131
2. 原始視頻脉冲采用脉冲振幅調制和載波頻率采用調頻时, 按時間区分通路的无綫电遙測系統	135
3. 成对的原始視頻脉冲間的時間間隔調制及載波頻率調幅 时按時間区分通路的无綫电遙測系統	151
4. 原始視頻脉冲采用寬度調制和載波頻率調頻时按 時間区分通路的无綫电遙測系統	171

序 言

无綫电遙測是无綫电技术中較年青的一个部門。它研究有关如何用无綫电傳輸各种測量結果的問題。

无綫电遙測是在有綫遙測的基础上产生的，而有綫遙測在动力系統和工业中已被广泛地用来对各种联动装置的工作进行远距离控制。

在无綫电遙測系統中，被測出的物理量，被轉換为电信号，用无綫电傳輸出来，而后再在接收站記錄下来。无綫电遙測系統由以下各部分组成：1) 变被測数值为电信号的傳感器；2) 傳感器的电压变换器（初級調制器）；3) 无綫电發射装置；4) 无綫电接收装置；5) 把接收机的輸出电压变为便于觀測和記錄的数值的終端轉換器；6) 記錄装置。

通常都必須把測得的大量数值的結果在同一時間傳輸。因此，无綫电遙測的發展，只是在找到了多路无綫电通信的有效方法后才成为可能的。

无綫电遙測最初的用途是把气象数据自探测气球（无綫电高空測候仪）傳輸至地面控制站。

П. А. 莫尔昌諾夫教授最初于 1930 年所設計的梳状无綫电高空測候仪得到了推广。С. А. 維尔諾夫曾用專門的无綫电高空測候仪来研究宇宙綫的性質。現在无綫电遙測用于获得关于飞机和導彈試飞过程的数据，将必要的参数用地面記錄装置記錄下来；用于探测大气的上層及其他目的等。

有关无綫电遙測問題的文献基本上仅限于一些少量的期

刊論文。

本書所收集的一些論文，是從外國期刊上譯出的。本書第一部分討論無線電遙測的一般問題，第二部分則分別敘述各種實際已經制成的無線電遙測系統。

本書一些論文中所討論的制定電路的方法，會引起我們相當的重視，因為這些方法，是根據實驗數據得來的，但這種制定電路的方法是否最合乎理想，有時還是一個引起爭論的問題。對所述各系統的技术特性應抱批判態度，因為，這一類材料常常是廣告性質的。

本文集的編者不打算把一切有關無線電遙測的文獻都收羅在這本書內。列舉的一部分已發表的材料，其目的只是借此為例說明無線電遙測的方法和原理。

書中採用以下一些縮寫字：

АМ—調幅

СМ—調頻

ФМ—調相

АИМ—脈沖振幅調制

ШИМ—脈沖寬度調制

КИМ—脈沖編碼調制

ФИМ—脈沖相位調制

第一部分 无綫电遙測導論

1 无綫电遙測系統概述

飞机和導彈在作飞行試驗时，必須把一系列的物理量及其在飞行中的变化測量和記錄下来。

直接在飞机和導彈上来記錄这些測量結果往往是不可能或者是不易作到的。在此种情况下，必須把电气仪表測得的数值用无綫电遙測的方法傳輸到地面接收站，并在接收站內将其記錄下来。

为了某一目的而選擇无綫电遙測系統时，必須考虑到一系列的因素，特別是該系統将在其中工作的那些条件。

下面討論一些对選擇无綫电遙測系統有影响的因素。

无綫电遙測系統的类型

首先簡短地介紹一下現在采用的各种类型的无綫电遙測系統。

这些系統可以分两大类：按頻率区分通路的系統和按時間区分通路的系統。

在按頻率区分通路的系統中，变化的非电量轉变为变化的頻率不同的电压。用所得的电压調制發射裝置。在这个系統中每个被測数值是按單独的通路和其他通路傳輸的数据同时，連續不断地沿同一无綫电路傳輸出去。

在按時間区分通路的系統中調制發射裝置的傳感器按順

序与發射裝置接通，即在每次接通的瞬間仅有一个被测数值傳出。

这两大类基本系統的每一类又各有多种不同的形式。还有运用这两种傳輸原理的混合系統。例如，可以按照一定的時間序列使几組按頻率区分的通路与發射机接通。此时，該組的所有被测数值都在給該組規定的時間間隔內同时調制發射裝置。另一方面，在按頻率区分通路的系統中，可沿一些通路在同一時間連續地傳輸被测数值，而在其余的通路內，則可实行以時間区分并按順序傳輸一系列的被测数值。

在按頻率区分通路的多路系統中，某一副載波的調制与一个傳感器示数的傳輸相对应。

副載波按頻率範圍配布，以用来同时連續地調制載波。副載波和載波可按振幅、相位和頻率进行調制；調制时可采用某一种脉冲調制法（按脉冲振幅、位置、寬度或重复頻率进行調制）。

按時間区分通路的多路系統在結構上更是种类繁多，尽管对构成这种多样性的元件只提出了一个任务——把傳感器順序接通到發射裝置上。轉換的方法如下：1）用簡單的电刷式轉換器；2）用触点列，这些触点由于梳状裝置的作用，按照一定的序列閉合着；3）用带光电管的迴旋光束；4）用在真空管內迴旋的电子束；5）用带脉冲綫路的电子轉換器；6）用沒有活动接触部分的靜电或电磁轉換器。

調制的方法也有多种：1）射頻載波的直接調幅或調頻；2）副載波的調頻或調相，而副載波自身則又用来調制射頻載波調幅度、頻率或相位。

脉冲調制时所产生的脉冲，按振幅、位置、寬度或重复

頻率發生變化。在利用成對脈沖傳輸的時候，可借改變各對脈沖間的時間間隔來實施調制。

在按時間區分通路的一切多路系統中，用接收裝置和記錄裝置與發射裝置同步的方法，以達到正確地按相應通路分配信號和保證能分別地分析每個被測參數。同步的方法也是極為多種多樣的。為要傳輸振幅、相位或頻率應不同於其他信號的同步信號，可使用一個或數個通路。

每一種系統和這種系統的不同類型都有其優點和缺點。

對選擇無線電遙測系統有影響的因素

影響選擇某種無線電遙測系統的最重要因素有：

- 1) 應傳輸的物理量的性質（加速度、壓力、機械應力、溫度、應力級等）；
- 2) 應傳輸量的數目；
- 3) 每個數值變化的最大的可能速度；
- 4) 發射部分的設備的最大容許重量和尺寸（包括變機械量為電氣量的儀器）；
- 5) 對該系統所要求的一般測量精度；
- 6) 系統發射部分所需之工作持續時間。

系統和調制方法的選擇

考慮了上述因素之後，就可以確定應否採用按時間區分或按頻率別分的通路系統。通常按頻率區分的系統具有6~10個通路。再增加通路就要加寬頻帶，使通路濾波器複雜化，不易消除通路間交叉失真。這些情況都使通路的可能數目受到限制。按頻率區分的系統，其優點是能傳輸按數千赫計的

頻率变化的参数。

在按時間区分的系統中，通路的数量可大大增加，但在采用机械式轉換通路的条件下，被傳輸参数变化頻率的上限受到轉換裝置的最大容許轉換速度的限制。实际上每个傳感器的接通頻率应比被测数值变化的最高頻率大一倍（通常，轉換器每轉一周每个通路同發射机接通一次）。

混合系統（其作用原理上面已經談到）在下述条件下亦可使用：如果沿一些通路所傳輸的参数变化速度比按時間区分的系統所应有的容許速度大，而比按頻率区分通路的系統所应有的容許速度小。

采用这样的系統所得之記錄不是連續的。所需的通路数目和参数变化的最大速度，基本上决定应选择按頻率区分通路的或是按時間区分通路的系統。

容許重量和尺寸同样也对系統的選擇有影响。脉冲系統要求有大量的电子管，而且一般地它要比連續輻射系統复杂。在脉冲系統中最宜使用电子轉換器，因为在有大量的通路时它能容許高的轉接速度。这种系統的再生設備和記錄仪器可以是很輕便的。

从尺寸方面考虑，按頻率区分通路的系統和大多数按時間区分通路的脉冲調制系統，不能認為是最合乎理想的，因为每个通路最低限度要求有一个电子管。

在按時間区分通路連續輻射系統中，轉換可借極簡單的裝置在輸入管的电路中进行，这样調制器和發射裝置的电子管总数可以減到两个。

調制种类的選擇对系統精度的影响比对系統其他特性的影响要大得多。調幅、調相、調頻和脉冲調制的一切优缺点，

在将其使用于无线电遙測系統中时也是同样的。

載波頻率的選擇

电离層对无线电通訊的影响給傳輸被測量造成严重的困难。电离層的回波能对地面站所接收的无线电信号引起振幅、相位和時間的改变，因之造成誤差。用200兆赫以上的頻率时，电离層的回波几乎可全部消失。因此无线电遙測最好使用200兆赫以上的頻率。

使用定向接收天綫可减小，因地面、建筑物和树木的回波所产生的誤差，而且可以改善信号杂音比。根据上述理由，无线电頻率愈高，使用定向天綫就愈有利。但是，采用十分狹銳的定向接收天綫是不便利的，因为，縮小天綫波束的寬度，会使天綫难于指向运动着的發射机。当然，可以采用能保障天綫自动跟踪信号到来方向的装置，然而这会使天綫裝置的結構复杂化，不是我們所希望的。

用3000兆赫以上的頻率傳輸时，会發生无线电波被云或雨所吸收的情形。此外，对于这样的頻率也很难作成能用来保障非定向輻射的發射天綫。因此，实际上用于遙測的最高頻率為1000兆赫左右●。

影响最高載波頻率数值的另一因素是用于飞机上發射机內的电子管的类型。小体积發射机內使用磁控管或速調管是很困难的。在这样的發射机中可以使用三極管或五極管。但是現有类型电子管的效率随着頻率的增高則迅速降低。

選擇裝在活动物体內的發射机的天綫的尺寸和結構形式，应使天綫不致降低該物体的空气动力特性。对于用300

● 根据其他文献：可采用的最高頻率在2200~2300兆赫範圍之內。

~600兆赫頻率工作的發射機，可採用環狀和裂縫天綫，由於這種天綫的尺寸小，實際上對物體的空氣動力特性沒有影響。因此，在大多數的遙測系統中最好是採用300~600兆赫範圍的載波頻率。

按時間區分通路的系統

轉換方法的選擇

能夠用來順序接通傳感器的裝置之中，最簡單的裝置便是電刷或梳狀轉換開關。然而這兩種裝置只是在不要求傳輸迅速變化的數值時才適用。如果設每個通路在轉換器活動部分轉一整轉的時間內只與發射機接通一次，而且電刷或梳狀轉換器的轉速不超過3000或4000轉/分，即50~60轉/秒，則可傳輸變化頻率不超過25~30赫的數值。

同時需考慮到，機械接觸裝置會造成在這些裝置的電刷或接觸面上產生的電干擾。這些干擾的值使轉換電壓的低電平受到限制。如果轉換應變傳送器或其他裝置可產生數毫伏的電壓，而在轉換器之前不希望信號放大的話，則轉換干擾可能成為被傳輸數值讀數產生大誤差的原因。

在用於傳輸大量壓力計數據的遙測系統中（例如用於傳輸有關壓力沿機翼分布的數據），轉換最好用迴旋光束和光電管來實施。橫截面很小的光束借助於一面小鏡子迴旋，同時迅速逐一通過按圓周配置的一組一組的不大的裂縫。與此同時，另一面與第一面同步迴旋的小鏡子把通過裂縫的光束聚集起來，並使其射向光電管。每個裂縫的寬度與所測壓力成比例地改變。在光電管的輸出端有了電壓，其振幅順序地受到每個裂縫的光束的調制，並且與所測壓力的流動值成比例

地改变。可把这种轉換裝置的尺寸作得很小。在这种裝置內射綫的迴旋速度可以达到 10000 轉/分，比使用机械轉換器时高得多。

用迴旋电子束的轉換器的作用原理，与光綫轉換器相同，即在高真空管內电子束按一定的順序通过一組阳極。

此时应有一專門裝置，此裝置应保証或用一個信号連續对射綫进行調制，或用与阳極数目相等的信号順序地对射綫进行調制。利用电子束可實現非常迅速的轉換。后一种类型的轉換器既可用來順序“抽測”一系列电压的振幅，也可把按時間調制的信号区分为它的数个分量。电子轉換器在遙測中的使用受到限制，因为这种轉換器需要振幅相当大的調制电压。此外，用作使射綫偏向的裝置非常复杂而且尺寸也大。

使用普通电子管的脉冲裝置，可按所需之任一轉接速度（直至每秒 10^6 次）对任何振幅的电压进行良好的轉換。但是这种裝置不适用于有大量通路的遙測系統，此时裝置的尺寸是要受到限制的（这种情况是經常存在的），因为它結構复杂而不能制作得輕便一些。

因此，制造高速度轉換器，特别是对于机电傳感器的輸出电压很小，但却具有大量通路的系統，是一項很困难的任務。

通过由不同通路傳感器所产生的靜电場或电磁場轉換的方法，可以令人滿意地實現低电平电压的高速轉接。这两种場一般都很弱，但是經過仔細設計的結構，当每个通路內信号的电压为数毫伏时，可保証对一个通路以每秒接通 200 次的頻率，滿意地把 50 个以上的通路进行轉換。

因此，要做出在各种具体情況下，何种系統为好的結論，

即便是影响系統選擇的因素已經知道，也是很困难的，然而还是可以指出解决該問題的某些途徑。工作頻率的選擇首先取决于設計人对何种頻率範圍掌握得最好，以及可以采用何种类型的發射天綫。

遙測系統傳輸部分工作的必需持續時間，对該系統的綫路和机械結構的构成有重要影响。例如，如果遙測系統是用来試驗火箭的，即該系統仅应工作几分鐘，則其元件可以置于勉强状态；此处可采用輕便电源。

对系統所要求的一般精度，不仅对整个系統的選擇有很大的影响，同时对該系統各种元件的电气特性和机械特性亦有很大的影响。

系統的簡化是一个很重要的因素，因为簡單的系統更可靠。

遙測系統所以必須可靠，是因为它通常要保證記錄下个别試驗的全部数据；而且应考虑到在很多情況下，实验是不能重复（如發射火箭）的。在这样的实验之前要进行大量的、花費時間很大的准备工作，如果在記錄測量結果时，遙測系統發現誤差的話，这些工作的大部分就会成为徒劳无益的。

为了改进遙測系統，特别是为提高系統的精度而采用各种使系統复杂化的办法时，每次都必須特別注意，这样作是否会降低系統的可靠性。无綫电遙測系統傳輸部分所占的位置有一定限制，这也要求系統尽可能簡化。只有了解到对遙測系統的專門要求，才可为遙測系統選擇出最合适的方案。但不論何時系統愈簡單愈好。

看来，按時間区分通路，带机械轉換器的无綫电遙測系

系統將具有各種良好的指標，這種機械轉換器的輸出信號用於約 100 千赫的副載波的調頻，而副載波則對射頻載波進行調幅。載波頻率的調幅在此種情況下應這樣進行：即使巔值與平均值之比在射頻部分的輸出端上約等於 3。這種系統是很靈活的，而且可能有 50 條以上的通路。在此種情況下，一種最簡單的可能的裝置能保證 10% 左右的總精度；稍使系統複雜一些便可達到 2.5% 的精度。

如果被轉換的電壓電平約在 0.1 伏和 0.1 伏以上，系統中使用電刷或梳狀轉換器便更為合理（當然，如果這些轉換器的轉速足以適應該種情況的話）。

當轉換速度大或電壓電平小時，看來採用靜電式或電磁式轉換器最為合適。

2 無線電遙測系統的基本特性

為要確定無人駕駛飛機和導彈在其航程各階段上的飛行數據，就必須研究出專門的方法和技術裝置。

靶機和導彈的一些數據，與普通飛機的數據一樣，可以在地面利用風洞或在試車台進行試驗而獲得。

但是，風洞支柱和風洞壁以及風洞中的溫度和壓力的影響，都會在確定導彈的空氣動力特性時引起誤差。導彈在自由飛行時，所產生的振動可能與發動機工作時所引起的振動糾合在一起。

在評價操縱機構的工作時，必須考慮到高空與高速的影響。同時，高空中的灼熱氣體對無線電控制系統的作用，也是值得注意的問題。

使靶機和導彈處於非自由飛行狀態，即將其掛在母機的

机翼下，可以获得更为实际的数据。

但在自由飞行状态中，导彈会大大超越操縱它的飞机。在此种情况下，駕駛員对导彈的直接观测要受到限制。有关飞行的某些数据可借测照仪和其他光学仪器从随伴飞机上观测的方法而获得。

有关导彈飞行的一系列数据可借置于导彈內的摄影机对仪器照像的方法而获得。但是，如果所测之参数迅速变化的話，用这种方法不能得到滿意的結果；此外，所得之数据至早也得在飞行結束一小时之后才能将其分析出来。

自地面照像是获得导彈起飞和导彈在最初航程阶段上飞行状况的数据的一种最方便的方法。

利用以多普勒效应为原理的雷达可以測量导彈在航程的不同阶段上的速度。有关导彈所在位置的数据可由跟踪雷达供給；这些数据也借水下声波测距装置而获得，这种装置能把从导彈上落入水中的装藥爆炸的位置記錄下来。

利用这些方法所获得的有关导彈的速度和位置的数据有很大的价值，但是，却不能說明保証此种速度和位置的現象的本質。用遙測則可以把个别的飞行数据更好地进行綜合。

最簡單的遙測系統只能發出“是——不是”类型的情报，也就是說只簡單地通知观测員某些事件是否已經發生。通常这是在事件發生的一瞬間用改变調制音頻的方法来达到的。

这种傳輸方法的方便之处在于使观测者能確認發射机在相应事件發生之前和完成之后都在工作。在这样的發射机中对音頻的稳定度或对声压曲綫的圖形都不严格要求。

对机上仪器的电视观测是多路遙測的一种可能形式，借