

超高频电子管原理

洛 普 欣 著

李 超 凡 译

人民邮电出版社



73.10
5

73.69

超高频电子管原理

洛 普 欣 著

李 超 凡 译

林 为 干 校

人 民 邮 电 出 版 社

В. М. ЛОПУХИН
ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН ЭЛЕКТРОННЫМИ ПОТОКАМИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1953

超高频电子管原理

著者: 洛 普 欣
译者: 李 超 凡
校者: 林 为 干
出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条13号

(北京市书刊出版业营业许可証出字第〇四八号)

印刷者: 北 京 新 华 印 刷 厂
发行者: 新 华 书 店

开本 850×1168 1/32 1953年10月北京第一版
印张 8 28/32 页数 142 1959年8月北京第二次印刷
印刷字数 235,000字 印数 3,201—4,610册

统一书号: 15045·总 832—无 213

定价: (11) 1.85 元

內 容 提 要

电子注与高频电磁场相互作用的问题，是现代厘米波放大器和振荡器的基础。本书是现代研究电磁振荡与电磁波电子注激发的大量论文的总结。书中详细分析了速调管，反射速调管，磁控管，行波管及电子注管的放大和产生振荡的方法。本书可供学习无线电物理的学生及从事研究高频电子学问题的无线电工程师用。

2400/16

原 序

电子注与高频电磁场相互作用的计算问题是非常有现实意义的，因为它是现代厘米波振荡器和放大器的理论基础。

在無線电物理这个重要领域中，苏联学者起主导的作用。近几年来，研究电磁振荡与电磁波电子注激励的論文大量發表，但是，对現存的大多数論文沒有加以系統整理。所以，作者認為有必要写这本书，它在某种程度上或可补足諧振腔电磁振荡和电磁波电子注激励問題以及諸如用行波管和电子波管放大信号問題的專著的不足之处。

应当指出，作者的目的并非是要把全部有关电磁振荡与电磁波激励的論文作一完整的論述。本书的目的是研究电子注与电磁场相互作用这一个問題的各种可行的提法和解法的近似法。对在那些具体物理条件下才能这样地或那样地近似解决电子与电磁场作用問題的闡明，將有助于讀者更为有意識地和批判地对待某些高频电子学論文。

我們將依照这些不同的近似法进行叙述。

同时，在書中闡述具体的物理近似法的每一章里，都有产生厘米波振荡或具有放大作用的电子束管的計算来举例說明。所以，按其本身的内容來說，这本书包括用电子束管放大和产生厘米波的基本方法，且以放大和振荡的新方法为叙述的重点（行波管、电子波管）。

我們再一次声明，本书并未企圖完整地 and 全面地去闡明在高频电子管中所涉及各問題。例如，这里面完全沒有提到电子注噪音問題，而对于电子注空間电子电荷直流分量对电子束管工作影响的問題也研究得不够詳細。

作者已竭力避免繁多的数学推演与变换，集中注意所研究現象的物理内容。同时，为使本书能有更多的不同类型的讀者，解析某

些計算方法的重要运算已尽可能地作得詳細。同样地，高频电子学的基本术语也解釋得相当詳細。

書中引入的實驗材料是不完全的，只有作例子的价值。

本書可供學習無綫电物理的学生及从事研究高频电子学問題的無綫电工程师用。为了容易閱讀，書中全部計算都用实用單位制。

作者很感謝 C. D. 格沃茲多維尔、A. A. 富拉索夫，特別是 B. C. 魯科什科夫在审閱本書手稿时提出了一系列批評意見。

作 者

1952 年 9 月 10 日

目 录

原 序	
緒 論	1
§ 1. 研究电磁場与电子注相互作用問題的各种近似法	8
第一章 諧振腔激發的电場拟定近似法	27
§ 2. 諧振腔激發的能量計算。感应电流	27
§ 3. 直射速調管的理論	43
§ 4. 反射速調管的理論	55
第二章 諧振腔激發的电流拟定近似法	75
§ 5. 用已知电流激發諧振腔	76
§ 6. 用天綫及圓环激發諧振腔圓环的阻抗	88
第三章 單腔速調管通論	95
§ 7. 感应电流表达式的推导	96
§ 8. 电容器电压的积分微分方程和它的解	98
第四章 四端網絡鏈及分佈参数电系統的激發	104
§ 9. 复振幅法的解	106
§ 10. 电子器件以振盪电路鏈作負載时的情形	112
§ 11. 电子器件用分佈参数綫路作負載时的情形	122
§ 12. “分佈的”單腔渡越速調管的一般理論	125
第五章 任意諧振腔的激發	131
§ 13. 問題的提出。对流电流的微分方程	131
§ 14. 場方程与电子运动方程的結合解	135
第六章 帶週期性边界条件系統的电子学	144
§ 15. 極化位，沒有电子时的諧振腔与波导管的問題	146
§ 16. 复合諧振腔的电子效应	158
§ 17. 梳的电子效应	168
第七章 螺旋导綫的导波性。行波管	174
§ 18. 放置在波导管內的螺旋导綫的波导特性	179
§ 19. 电磁波在有电子注时沿同軸螺旋导綫（波导管內的螺旋导綫）	

的傳播	190
第八章 多电子系統統計性的計算, 电子波管	201
§ 20. 电子波管的構造与实验特性	201
§ 21. 富拉索夫理論。理論与实验的比較	207
§ 22. 計入电子速度分散的諧振腔激發	221
§ 23. 計入电子热运动的行波管理論	228
附 录	
I. 电子注空間电荷恒定分量的作用的估計	239
II. 多电子系統的电子溫度	256
III. 計入电子与其他微粒碰撞的項 $\left[\frac{\partial f}{\partial t} \right]_{1,2,3}^{\text{coll}}$ 的值的估計	260
IV. 級数 (3.8) 的收斂性的研究	263
V. 电子注电荷密度交变分量的作用的估計	267
VI. 方程組 (8.5), (8.6), ..., (8.15), (8.16), ... 的完全性的証明	273
VII. 一些常数的值	275
俄中名詞对照表	



緒 論

本書專研究电子动能轉給电磁場时的电子注与电磁場相互作用的問題。

這一問題是現代厘米波振盪器和放大器（如磁控管、速調管、行波管、电子波管等等）的理論基础。

在厘米波振盪器和厘米波放大器的設計制造上以及理論上，我国（指苏联；下同——譯者）学者都有巨大的貢獻。例如，現已成为厘米波振盪器基本型式的多腔磁控管就是由苏联学者、工程师阿列克謝耶夫（Н. Ф. Алексеев）和馬里雅罗夫（Д. Е. Маляров）^[1]在1939年首先造成的，就連反动的資產階級科学界也不得不承認是他們最先發明的。又如在厘米波無線电技术中应用極广的反射速調管是科瓦連科（В. Ф. Коваленко）^[2]在1940年發明的，他并預言了反射速調管有頻率的电子調諧这一重要現象。

М. А. 邦奇-布魯耶維奇（М. А. Бонч-Бруевич）、布尼莫維奇（В. И. Бунимович）^[3]、諾依曼（М. С. Нейман）^[4]首先对作为厘米波波段諧振迴路的空腔諧振器（以下簡稱諧振腔——譯者）进行了实验的研究。

还在1938年，傑維雅特科夫（Н. Д. Девятков）^[5]就已經用了一段同軸綫做成的諧振腔作为厘米波波段三極管的振盪迴路。在我国学者的一些專利权中（例如巴巴特 Бабат^[6]的專利）都談到了行波管和电子波管作用原理的概念。

在超高频無線电物理問題的理論研究方面，我国学者的工作同样起显著的作用。例如，反射速調管第一个严密的理論是捷尔列茨基（Я. П. Терлецкий）^[7]作出的，而这种管子最完整的理論，即計及栅極間有一定的距离和反射極可能帶正电位的理論，則是由格沃茲多維尔（С. Д. Гвоздовер）^[8]建立的。單腔渡越速調管的理論也是他作出的。1936年，格林別尔格（Г. А. Гринберг）^[9]首先詳細地研

究了陰極有無限發射，大振幅和大渡越角的二極管电子学这一重要的理論問題。加里宁(В. И. Калинин)^[10]建立了利用电子有一定的渡越時間的(即利用“电子慣性”)厘米波段振盪器的一般电动力学理論。

还在1934年，弗連凱里(Я. И. Френкель)^[11]就已經在他的著作里詳盡地敘述了諸如球形、矩形六面体等等的一些最簡單的諧振腔的理論，比国外开始研究這些問題的時間要早好几年。

諾依曼^[12]在1938—1939年發展了許多諧振腔的理論；而对某些問題，例如环形諧振腔的計算、电磁波經由諧振腔壁上小孔輻射的計算等等，這方面的外国文献未發表以前很久，諾依曼就已作出了。

用任意电流(指电流的分佈——譯者)来激發波导管的問題是基孙科(Г. В. Кисунько)^[13]、吉洪諾夫(А. Н. Тихонов)和薩馬爾斯基(А. А. Самарский)^[14]解决的，他們得到的式子比美国人得到的更为普遍。

皮斯托里科尔斯(А. А. Пистолькорс)^[15]、列昂托維奇(М. А. Леонтович)和列文(М. Л. Левин)^[16]、阿希耶节尔(А. И. Ахиезер)和留巴尔斯基(Г. Я. Любарский)^[17]、吉洪諾夫和薩馬爾斯基^[18]等成功地發展了天綫在自由空間和波导管的輻射理論。螺旋導綫行波管最一般的理論是洛莎科夫(Л. Н. Лошаков)^[19]作出的。电子波管的理論是从富拉索夫(А. А. Власов)^[20]所提出的多电子注系統的敘述中作为一个極其特殊的情形而得出的，而美国的著者們則是从較基本的和近似的方程推出的。

因此，仅从上面大略举出的我国学者的成就(此处所列举的是很不完全的)就可以看出，毫無疑問，有关厘米波無綫电物理学和电子学的許多实用上和理論上的問題都是最早在苏联得到解决的。上述某些論文將在以后作更詳細的研究。

厘米波振盪器和厘米波放大器可以称为电子減速器，这是因为电子束与电磁場相互作用后在平均上減緩了电子的速度。以后我們

只限于研究电子束型的減速器，即速調管、行波管和电子波管等。电子束型放大器和振盪器的电子注与电磁場相互作用的問題具有以下的特点：1) 电子的运动可以算作是非相对論性的（就是說，不必考虑相对論的修正因数——譯者）。因为，上述管子的电子平均速度只不过几百伏，因而 $\frac{v_0}{c} = 1.98 \times 10^{-3} \sqrt{V_0} \ll 1$ （其中 v_0 米/秒是被直流电压 V_0 伏加速的电子的速度， $c = 3 \times 10^8$ 米/秒）；2) 在某些情况，例如在振盪刚开始或小信号放大的情况下，系統中的电子速度的和电子流的交变分量与它們的恒定分量比起来很小；3) 一般說来，与电子注压縮的出現相联系的庫侖場并不能認為很小，能否略去庫侖場应視提出問題时的具体物理条件而定；4) 在許多問題中，必需考虑到电子注的統計性質，例如在因速度不同电子有分散时，它就显现出来了。

我們要指出，电子減速器，即厘米波放大器和厘米波振盪器的問題在某种意义上也就是电子迴旋加速器、同步加速器或波导加速器等类型的电子加速器問題的另一面。在加速器里面，电磁場不断地把能量傳給电子注，最后使电子的速度極近于光速 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒，能量达几百万电子伏特。在这种情况下，电子的运动具有相对論性，因此必須考虑到电子質量随速度的变化，反之，在这里通常可以略去庫侖作用以及电子注对外部电源在加速器中所建立的电場的反作用。对于电子迴旋加速器或同步加速器类型的加速器來說，其理論的主要困难在于要解析在怎样的条件下，电子的稳态軌道才能在某种微弱扰动的影响下是稳定的，这些扰动可能是由于电子同气体分子相碰撞或聚焦磁場的微弱起伏以及其他原因所引起的。

由此可見，就其本身的特性來說，加速器的問題根本上有別于減速器，上述的一些基本特征正足以說明这一区别。以后我們只限于研究厘米波振盪器和厘米波放大器的理論問題。現在，讓我們談談書中所要討論的一系列典型的物理問題

1. 用电子注在諧振腔內激發电磁振盪

用电子注在諧振腔內激發电磁振盪的問題通常是以下列方式提出的。用一束电子注穿过諧振腔，这电子注在諧振腔入口处的密度和速度都是已知的。

理論上要解決的問題是：諧振腔內發生怎樣的振盪，振盪的振幅如何，电子注在腔內如何受到調制等。假如平均在一个週期內，在出口处从管內輸出的电子动能小于入口处所加入的，則系統的激發必要条件显然就得到滿足，即电子动能轉給了电磁場。上述問題对速調管（厘米無綫电波的小功率振盪器和放大器）的理論有着重大的意义，因为每个速調管都有諧振腔，而諧振腔中有密度調制的电子注穿过。这諧振腔就起着从电子注接收能量的作用。

下面將指出，視具体条件之不同，在解決諧振腔的激發問題時可以作一些簡化（略去电子排斥的庫侖力，假設在电子注运动的空間內电磁位沒有滯后現象等）。至于在那种情形下才可以用那种近似法，將在書中相应的章节中再加以說明。

2. 行波管的厘米無綫电波放大

在称为行波管的厘米波放大器中，电子注与电磁行波相互作用，此行波具有縱向电场分量 E_z 。实验証明，假如电子注电子的平均速度 v_0 接近在系統內沒有电子时傳播的电磁波的相速度 u_0 ，那么，行波管就是一个厘米波放大器，在系統入口 $z=0$ 处所加入的信号就随座标 z 按指数律增長。理論应当闡明电子注与接近于电子平均速度傳播的电磁波相互作用的特性；这些理論也应当解答行波管放大系数的問題，放大系数依賴于电流，頻率以及电子注和电磁波慢波器的其他参数的問題。建立这些理論之時，最重要的是求得电子运动方程和电磁場方程的联立解。

要計入行波管电子注电子的热运动，就必须对电磁場方程和电子注电子分佈函数的运动方程結合起来求解。

3. 用电子波管放大厘米無綫电波

在电子波管内，有好几束平行的电子注在相互作用，这些电子注的平均电子速度各不相同。像在行波管里面那样，在电子波管内也可以使輸入信号放大。

为了要建立电子波管的理論，就应当把电磁場方程和电子运动方程結合起来求解。此外，这一理論还应当顧及这种系統的統計性質，因为这些相互作用的电子注是服从統計規律性的多电子系統。为了正确地描写在电子波管内所發生的現象，在描写电磁場与电子相互作用时，应当舍弃“均速法”（即不能假定在同一截面上电子的速度是相同的——譯者），而必須計及电子注电子的速度分佈。富拉索夫^①的理論給出对等离子区型的多电子系統，包括电子波管在內的正确說明。

上述問題大致指出了本書以后講述的总方向。我們要注意，企圖完整地論述厘米波电子束型的放大器或振盪器，就会發生許多有趣而复杂的問題。例如在諧振腔和波导管內的电磁波怎样通过孔隙輻射，負載（即攝取能量的耦合元件）对諧振腔振盪过程的影响，天綫与波导管的匹配問題，行波管的“入口”、“出口”同信号輸入裝置、信号輸出裝置的匹配問題等。这些問題在本書內沒有討論。我們只研究对一切电子束型的振盪器和放大器的理論真正起决定性作用的一个問題，即电子注与电磁場相互作用的問題。現在，讓我們把全書通用的一些实际处理問題的近似法說明一下。

1. 我們把問題都算作是非相对論性的（ $v_0 \ll c$ ，其中 v_0 是电子注的平均电子速度， $c = 3 \times 10^8$ 米/秒是真空中光速）。前已指出，对于所有电子束管（速調管、行波管、电子波管），这一假設是很准确的。

2. 全部問題都以經典理論的方法进行研究，不用量子論。当能量作用显著地超过“量子能”时，这样作是可以的（系統的量子能等

^① 这个理論在本書的 § 21—§ 23 里有說明。

于 $h\omega$, 其中 $h=1.05 \times 10^{-34}$ 焦耳 $\times$ 秒, ω 是电磁振荡的角频率)。当电子的动能大大地超过能量 $h\omega$ 时, 我们总可以用经典理论来研究电子同电磁场的相互作用。显而易见, 对于我们要研究的厘米无线电波来说, 要满足这一条件是绰绰有余的。对于热作用来说, 如果 $kT \gg h\omega$ ($k=1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/度, T 是绝对温度), 就可用经典方法。在气体放电管一般的放电情况下, 等离子区的 T 值约等于 10^4 度, kT 约等于 1.38×10^{-19} 焦耳, 因而上述不等式 $kT \gg h\omega$ 在厘米无线电波的情形下满足得很好。电子注内的电子除了作定向运动外, 还会作混乱的热运动, 热运动的能量以温度 T 表征, T 约等于阴极发射电子的温度, 相当于 2×10^3 度左右。这样, 厘米波段的电子注对不等式 $kT \gg h\omega$ 也满足得很好。

最后, 我们指出, 应当采用经典统计力学去研究气体放电等离子区的电子。事实上, 经典统计力学是用于非简并的电子气体, 而对简并的电子气体则应当用量子统计力学。气体非简并的条件是 $T \gg T_0$, 这里 T_0 是“简并温度”, $T_0 \sim \frac{h^2}{mk} N^{2/3}$, 其中 $h=1.05 \times 10^{-34}$ 焦耳 $\times$ 秒, $m=9.11 \times 10^{-31}$ 千克, $k=1.38 \times 10^{-23}$ 焦耳/度, N 是电子浓度, 单位是米³, T_0 是绝对温度。

让我们来研究一下一束电子注, 它的电流密度是 j 安/米², 速度是 v_0 米/秒 $=5.93 \times 10^5 \sqrt{V_0}$ (V_0 是用以加速电子的直流电压, 单位是伏)。电子注的电子浓度是 $N=j/ev_0$, $e=-1.60 \times 10^{-19}$ 库, 所以 $N \approx \frac{10^{13}}{\sqrt{V_0}} j$ 安/米²。

例如, 设 $j=10^4$ 安/米², $V_0=10^2$ 伏——这相当于具有很大浓度 $N=10^{16}$ 米⁻³ 的电子注——我们得到 $T_0=10^{-5}$ 度。在实际情况中, 气体放电等离子区的 $T \approx 10^3-10^4$ 度, 因此, 可以很准确地把电子气体算是非简并的。

3. 我们建立的理论只限于电磁场的交变分量。由电子注的恒定分量所形成的场, 我们把它算作或者是远小于交变分量, 或者是由于离子本底抵消了电子电荷而等于零 (离子本底与电子注有相同的

平均电荷密度)。

如附录 I 所指出, 第一个假设在有些场合是对的。例如, 当电流密度 j_0 不太大时, 渡越速調管諧振腔兩栅極間的空間就是这样。

第二个假设牵涉到用离子本底抵消平均电子电荷。假如事前裝置一些專門机构以調整管內的离子濃度, 保証有所謂“电子注加氣聚焦”^[21], 那么, 在这样的实验条件下, 第二个假设就可滿足。

下面就来談一下調整正离子濃度的簡單方法中的一个例子。設电子从陰極 K 發射出来, 然后为栅極 (或膜片) S_1 所加速, 沿管軸穿过金屬管 T 后, 落到電極 S_2 上, S_2 与 S_1 有相同的电位。

假如管 T 內有一些气体 (即使是很微量的), 那么, 管 T 內就会有离子产生。

实验表明^[22], 假如金屬管 T 的电位等于或大于 S_1 和 S_2 的电位, 那么, 由于空間电荷的影响, 电子注就会显著地散焦。这就証实了, 在上述条件下, 离子从管 T 內的空間向外扩散。

但是, 假如設法使管 T 的电位比 S_1 的电位低几十伏, 那么, 电子注沿管軸运动时就几乎完全不会發生散焦現象。在这种情况下, 离子不会消散而恰恰抵消了电子空間电荷。

在行波管或电子波管的实际工作条件下, 一般是用縱向磁場使电子注聚焦, 这个磁場不許电子作徑向运动; 于是, 电子只能平行于电子注的軸綫运动。

就上述意义而言, 縱向磁場与离子本底等效。

可是, 应当強調說明, 忽略了电子注恒定分量的作用, 就会使我們放过一些重要的效应。其中首先是关于电子注临界电流的現象。事实上, 电子电荷的恒定分量关系到电子注的徑向及軸向的“电位垂”。說它是电位“垂”, 是因为电子注負电荷使电子渡越空間的电位下降。

当电子注电流不断增加时, 將使軸向及徑向的电位垂到达某种临界状态。达到临界状态的特征是: 当再行增加入口处的电子注电流时, 出口处的电子注电流 (即陽極电流) 反而急剧地下跌。这时

候入口处的电子注电流就叫做临界电流。

当电流大于临界值时，出口处的电子注电流之所以急剧减小，是由于电子注电子的速度在空间电荷的电场作用下变为零和电子注电流的重新分配所引起的。可以证明（见附录 I），在到达临界状态时，大部分电子达不到阳极；它或者返回阴极，或者从电子注逸出，落到包围电子注的电极上。

在用离子本底抵消空间电荷恒定分量时，实际上就不会有临界电流。

但是，在用磁场使电子注聚焦时却仍有临界电流存在，这是因为磁场虽然保证了电子轨道的直线性，但却不能消除电子注内的电位垂。

临界电流是行波管或电子波管这一类电子束管的重要特征，这类管子的电子注都很长，它或是穿过螺旋导线，或是穿过金属管。

在第八章会证明，要把电子波管用到更短的波段（毫米波）就必须增大电子注电流。因此，临界电流就确定了电子波管能用作放大器或振荡器的最高频率。

但附录 I 里面将对一些与电子注恒定分量的影响有关的效应进行估计（在排斥力作用下电子注截面积的扩大；纵向恒定磁场的聚焦作用；轴向及径向电位垂引起的临界电流效应）。

除上述通用于全书的物理限制外，视研究电磁场和电子注相互作用时所用的具体处理方法之不同，在书中的个别部分，将补充一些其他的物理假设。

§ 1. 研究电磁场与电子注相互作用问题的各种近似法

在这一节里，我们要讲述以后要利用到的，电磁场与电子注相互作用问题中的各种近似法的意义。

我们早已指出，电子注是一个复杂的多电子系统，其中的电子参与热运动，具有某种速度分布，它们彼此碰撞并同其他微粒相

碰。因此，电子注就具有一些統計特性，这些特性在某种程度上类似于等离子区的特性（等离子区是这样的一个多电子系統，其中的平均电子电荷被平均离子电荷抵消）。

所以，对于一系列的問題，特别是描述利用所謂电子注加气聚焦（这在上面已談过）的电子束管时，把电子注与等离子区相类比是完全合理的。

但是，应当記住，一系列的参数，例如表征电子杂乱运动动能的电子温度 T_e ，一般來說，在等离子区里和在电子注中取不同的，即使在等离子区与电子注兩者中的平均电荷密度 ρ_0 和平均电子速度 v_0 相等的情况下也是如此（电子温度 T_e 与杂乱运动动能的关系見附录 II）。在低压的情况下（大小为 10^{-2} — 10^{-3} 毫米水銀柱），等离子区的电子温度取决于一系列的因素，如气体压力、电場强度、电子濃度等。

在气体放电的实际情况下，例如在輝光放电陽極区的等离子区里面，当气体压力和电子濃度取值合理时，电子温度 T_e 可达上万度。

对于以平均速度 v_0 穿过等离子区的电子注，电子的速度分佈具有复杂的性質^[23]。从实验上証实，在陰極附近，电子速度分佈函数具有以温度 T_e 表征的麦克斯韋分佈函数的形狀，在这个速度分佈上再叠加上平均速度为 v_0 的徙移运动。在这种情况下，电子注电子的温度 T_e 接近陰極的温度（約为 2000°K ）而与放电电流关系不大。

其次，我們可以用各种不同的方法来估計等离子区（其中电子平均速度为零）的电子同其他微粒的碰撞与估計电子注（其中电子具有某一个平均的徙移速度）的电子同其他微粒的碰撞。这时候，重要的是如下一个事实：电子定向运动的动能，它的大小是几百电子伏特，超过电子混乱运动的动能很多倍（我們記得，从关系式 $eV_0 = \frac{3}{2}kT$ 推得 $1\text{eV} = 7733^\circ\text{K}$ ）。

在估計电子注电子同陽性离子碰撞的作用时，我們必須顧及这一个事实。