



A. П. 西維尔斯、H. A. 苏斯洛夫 著

雷达基础

雷 达 基 础

A. П. 西維尔斯、H. A. 苏斯洛夫 著

葛崇岳、楊仕驊 譯

姚承業 校



國防工業出版社

1959

內 容 簡 介

書中闡明雷达的基本原理。陈述雷达探测目标的条件，陈述測量距离、測定方位、高低角和高度以及进行距离跟踪和方向跟踪的方法。述及雷达的干扰与反干扰，雷达指向标和目別識別系統的运用，以及雷达偵察和雷达数据傳輸等問題。

本書的对象是高等学校雷达專業的学生和广大的无綫电技術人員。

苏联 А. П. Сиверс, Н. А. Суслов 著 “Основы радиолокации” (“Советское радио” 1956年第一版)

*

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
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 $1/25$ 8 $^{22}/25$ 印張 196 千字

1959 年 8 月第一版

1959 年 8 月第一次印刷

印数: 0,001—4,550 册 定价: (11) 1.40 元

NO. 3017

目 次

序	5
第一章 雷达概說	7
第二章 雷达探测目标	18
1. 雷达工作距离的基本方程	18
2. 大地的球面性和无线电波在大气中的折射作用对雷达工作 距离的影响	21
3. 无线电波在大气中的衰减对雷达工作距离的影响	24
4. 无线电波由地面或水面反射的现象对雷达工作距离和定向 特性的影响	26
5. 反射无线电波能量的目标	34
6. 鉴别率系数和雷达参数的关系	37
第三章 目标距离的测定	41
1. 概述	41
2. 脉冲测距法	41
3. 距离读数	45
4. 脉冲法的基本指标	47
5. 脉冲法测距产生误差的原因	50
6. 提高脉冲雷达距离读数精确度的方法	60
7. 调频测距法	70
8. 利用调频法测量多个目标的距离	75
9. 相位测距法	77
第四章 目标方位的测定	83
1. 角坐标测定法概述	83
2. 公尺波中最大值法方位的测定。方法的精确度	87
3. 公尺波中等强信号法方位的测定	92
4. 等强信号法的精确度	99
5. 公分波中方位的测定	104
6. 全景雷达方向图的最佳形式	107
7. 全景雷达方位测定的精确度	111
8. 全景雷达的方位分辨率	120
第五章 目标高度和高低角的测定	122
1. 概述	122

2. 利用地面反射作用时, 高低角和高度的測定	122
3. 使用平面波束測定高低角和高度	130
4. 目标高度的計算公式	134
第六章 距离、方位和高低角同时測定	135
1. 概述	135
2. 針状波束对空間的扫探	135
3. 扫探周期	139
4. 使用針状波束的雷达中角坐标的測定誤差	141
5. 使用V形波束的雷达系統	143
第七章 对單个目标方向和距离的跟踪	148
1. 对目标方向的自动跟踪	148
2. 对目标距离的自动跟踪	158
第八章 对雷达的干扰和反干扰的方法	163
1. 概述	163
2. 对雷达的自然干扰	163
3. 雷达屏蔽	164
4. 干扰發射机的使用及反干扰的方法	167
5. 运用相干脉冲法的活动目标选择系統	170
第九章 雷达指向标和識別系統	179
1. 概述	179
2. 二次无綫电定位的基本方程	179
3. 回应器的基本綫路	182
4. 回应器的分类和应用范围	186
5. 联合系統和独立系統	188
6. 信号編碼	189
第十章 雷达偵察	191
1. 概述	191
2. 偵察接收裝置	192
3. 測向裝置	200
第十一章 雷达数据的傳輸	205
1. 概述	205
2. 傳輸系統分类	208
3. 天綫角位置旋轉速度傳輸法傳輸系統	209
4. 天綫角位置相移傳輸法傳輸系統	213
5. 天綫角位置正弦余弦傳輸法傳輸系統	218
6. 傳輸系統的高頻部分	221

雷 达 基 础

A. П. 西維尔斯、H. A. 苏斯洛夫 著

葛崇岳、楊仕驊 譯

姚承業 校



國防工業出版社

1959

內 容 簡 介

書中闡明雷达的基本原理。陈述雷达探测目标的条件，陈述測量距离、測定方位、高低角和高度以及进行距离跟踪和方向跟踪的方法。述及雷达的干扰与反干扰，雷达指向标和目別識別系統的运用，以及雷达偵察和雷达数据傳輸等問題。

本書的对象是高等学校雷达專業的学生和广大的无綫电技術人員。

苏联 А. П. Сиверс, Н. А. Суслов 著 “Основы радиолокации” (“Советское радио” 1956年第一版)

*

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
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 $1/25$ 8 $^{22}/25$ 印張 196 千字

1959 年 8 月第一版

1959 年 8 月第一次印刷

印数: 0,001—4,550 册 定价: (11) 1.40 元

NO. 3017

目 次

序	5
第一章 雷达概說	7
第二章 雷达探测目标	18
1. 雷达工作距离的基本方程	18
2. 大地的球面性和无线电波在大气中的折射作用对雷达工作 距离的影响	21
3. 无线电波在大气中的衰减对雷达工作距离的影响	24
4. 无线电波由地面或水面反射的现象对雷达工作距离和定向 特性的影响	26
5. 反射无线电波能量的目标	34
6. 鉴别率系数和雷达参数的关系	37
第三章 目标距离的测定	41
1. 概述	41
2. 脉冲测距法	41
3. 距离读数	45
4. 脉冲法的基本指标	47
5. 脉冲法测距产生误差的原因	50
6. 提高脉冲雷达距离读数精确度的方法	60
7. 调频测距法	70
8. 利用调频法测量多个目标的距离	75
9. 相位测距法	77
第四章 目标方位的测定	83
1. 角坐标测定法概述	83
2. 公尺波中最大值法方位的测定。方法的精确度	87
3. 公尺波中等强信号法方位的测定	92
4. 等强信号法的精确度	99
5. 公分波中方位的测定	104
6. 全景雷达方向图的最佳形式	107
7. 全景雷达方位测定的精确度	111
8. 全景雷达的方位分辨率	120
第五章 目标高度和高低角的测定	122
1. 概述	122

2. 利用地面反射作用时, 高低角和高度的測定	122
3. 使用平面波束測定高低角和高度	130
4. 目标高度的計算公式	134
第六章 距离、方位和高低角同时測定	135
1. 概述	135
2. 針狀波束对空間的扫探	135
3. 扫探周期	139
4. 使用針狀波束的雷达中角坐标的測定誤差	141
5. 使用V形波束的雷达系統	143
第七章 对單个目标方向和距离的跟踪	148
1. 对目标方向的自动跟踪	148
2. 对目标距离的自动跟踪	158
第八章 对雷达的干扰和反干扰的方法	163
1. 概述	163
2. 对雷达的自然干扰	163
3. 雷达屏蔽	164
4. 干扰發射机的使用及反干扰的方法	167
5. 运用相干脉冲法的活动目标选择系統	170
第九章 雷达指向标和識別系統	179
1. 概述	179
2. 二次无綫电定位的基本方程	179
3. 回应器的基本綫路	182
4. 回应器的分类和应用范围	186
5. 联合系統和独立系統	188
6. 信号編碼	189
第十章 雷达偵察	191
1. 概述	191
2. 偵察接收裝置	192
3. 測向裝置	200
第十一章 雷达数据的傳輸	205
1. 概述	205
2. 傳輸系統分类	208
3. 天綫角位置旋轉速度傳輸法傳輸系統	209
4. 天綫角位置相移傳輸法傳輸系統	213
5. 天綫角位置正弦余弦傳輸法傳輸系統	218
6. 傳輸系統的高頻部分	221

序

雷达是无綫电科学中的一个部門，它的任务是用无綫电技术方法測定目标的坐标。

早在1897年，偉大的无綫电發明者亞历山大·史契潘諾維奇·波波夫就曾經通过无綫电裝置發現过一个本身沒有无綫电設備的遙远的目标(一艘軍艦)。当“中尉依里英”号巡洋艦从“欧洲”号和“非洲”号軍艦之間的海面駛过时，两軍艦間的无綫电联系曾为之中断。波波夫当时便重視这一現象，并在其所作的实验报告中指出了利用无綫电發現目标的可能性。从而在人类历史上开辟了用无綫电設備發現目标的新紀元。

为了将波波夫發現的这一原理运用到实际中去，在制造技术設備和解决与此有关的科学問題上进行了大量的工作。這項工作中的主要环节就在于掌握超短波技术和脉冲技术。

我国科学工作在上述各方面取得有决定意义的成就。这里首先应当提到的是Б. А. 維建斯基 (Б. А. Введенский) 在超短波傳播方面所进行的工作。在1922年他第一个实现了公尺波信号的發送；1928年他求出了計算直接能見度內的場强的公式，而在1935到1937年間他又求出了超短波的繞射公式。

1936年Д. Е. 瑪梁洛夫 (Д. Е. Маляров) 和Н. Ф. 阿列克謝耶夫 (Н. Ф. Алексеев) 在М. А. 邦奇-布魯也維奇 (М. А. Бонч-Бруевич) 的领导下制成了現代公分波雷达發射机中广泛运用的多腔磁控管。雷达超外差机的本地振蕩器內所使用的回复式速調管則是由В. Ф. 柯瓦連科 (В. Ф. Коваленко) 于1940年首次提出的。Н. Д. 杰維雅特科夫 (Н. Д. Девятков) 于1938到1939年間制成了公分波接收机的本地振蕩器和放大器內广泛运用的圓片抽头式三極管。

在接收超短波微弱信号方面，В. И. 西福罗夫 (В. И. Сифоров)，В. А. 卡切尔尼可夫 (В. А. Котельников) 和Н. Н. 克雷洛夫 (Н. Н. Крылов) 等人的工作具有重大的意义。

在脉冲技术方面，М. А. 邦奇-布魯也維奇早在1918年便設計了多諧振蕩器和觸發脉冲發生器綫路；А. А. 安德羅諾夫 (А. А. Андронов) 和 С. Э. 哈依金 (С. Э. Хайкин) 在1937年對多諧振蕩器進行了分析；Л. А. 梅耶羅維奇 (Л. А. Меерович)，Н. Н. 克雷洛夫，Я. С. 伊茨霍基 (Я. С. Ицхоки) 和 С. А. 德羅波夫 (С. А. Дробов) 在脉冲過程的理論方面完成了重要的工作。

早在1907年Б. Л. 羅津格 (Б. Л. Розинг) 就倡議用電子射綫管研究迅變過程。Л. И. 曼捷里士坦姆 (Л. И. Мандельштам) 和 Н. Д. 巴巴列克西 (Н. Д. Папалекси) 提出了干擾測距法，這是各種連續波雷達所使用的測距方法的基礎。1932到1933年間Ю. К. 柯羅文 (Ю. К. Корвин) 對雷達作了初步探討。1941年Ю. Б. 柯布查列夫 (Ю. Б. Кобзарев)，П. А. 波果列爾科 (П. А. Погорелко) 和 Н. Я. 車爾涅佐夫 (Н. Я. Чернецов) 因發明“飛機探測裝置”而榮獲斯大林獎金。所有以上工作，給製造蘇聯的現代雷達裝置奠定了基礎，從而加強了我們祖國的國防力量，並解決了一系列國民經濟方面和科學方面的任務。

現時雷達的廣泛應用，使得有必要出版一本簡述雷達基本原理的書籍。本書便是這方面的初步嘗試。

本書的對象是高等學校雷達系的学生，但著者希望本書對廣大的無線電專業人員也有所裨益。

書中的序，以及第一、二、七、八、十各章為 А. П. 西維爾斯 (А. П. Сиверс) 所寫，其餘各章則由 Н. А. 蘇斯洛夫 (Н. А. Суслов) 寫成。

著者感謝蘇聯科學院通訊院士 В. И. 西福羅夫在審閱本書時所提出的寶貴意見。著者謹向擔任本書校訂工作的 Н. Н. 克雷洛夫教授表示謝忱。

謹希讀者提出本書的缺點，並請將意見惠寄。對此著者預為致謝。

第一章 雷达概說

无线电波在两种导电性質不同的介質的邻接边界会發生反射，这种現象就是測定目标坐标的无线电定位术的基础。

用无线电定位术来測定目标坐标的装置叫做雷达。圖 I.1 就是雷达的方块圖。从圖中可以看出，雷达的組成部分是：發射机、接收机、發射天綫、接收天綫、显示器和定时装置。雷达發射机通过發射天綫發射电波，电波傳播到待測定位置的目標处，如果目标的尺寸大于或等于輻射波的波長，而它的导电性質又与空气不同，那么，它就会把

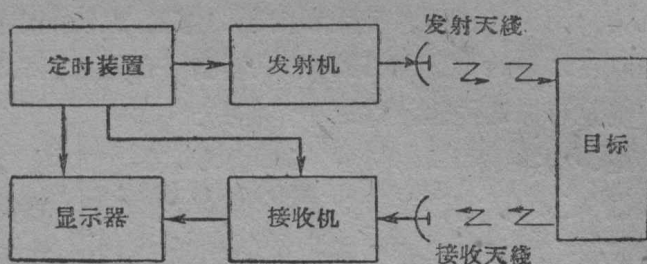


圖 I.1 雷达方块圖。

投射到它上面的电波反射回来。从目标反射回来的电波由雷达的接收天綫接收并送到接收机的輸入端，由接收机輸出端得到的訊号加于显示器，供測定目标的坐标。定时装置用以控制雷达各部分的工作。

在近代雷达中，一般只应用一部收發两用的天綫。这种雷达的方

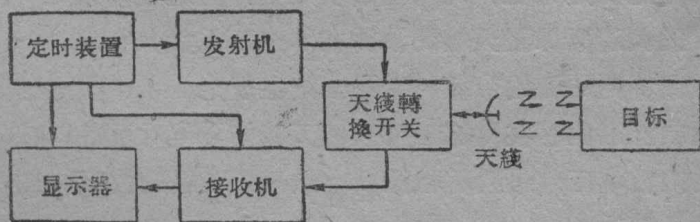


圖 I.2 公用收發天綫的雷达方块圖。

塊圖如圖 I.2 所示。雷达天綫由一个快速而自动的天綫开关反复从發

射机的輸出端轉接到接收机的輸入端。

雷达用以測定空中、水上或地面的目标的位置。空中目标通常是指飞机，但云层和其他类似的目标，也可以用雷达来定位。水上目标一般是指船只、飄浮的冰山等等。在陆地上，雷达可用以測定城市、

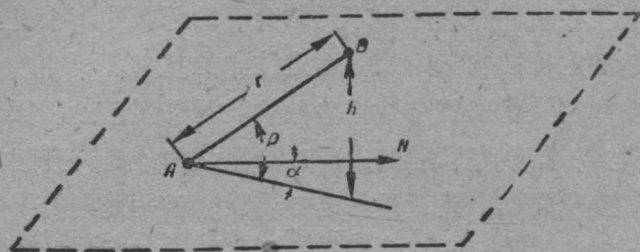


圖 I.3 确定目标位置的諸坐标。

村庄、建筑物、湖泊、江河、丘陵和山巒的位置，以及測定海岸綫等。

利用配置在 A 点的雷达(圖 I.3)，只要測出 B 点目标的三个坐标，就可以完全确定目标的位置，这三个坐标是：

- 1) 斜距(r)；
- 2) 方位角(α)，即目标方向与子午綫在水平面上的夹角；
- 3) 高低角(β)，即雷达所处的水平面与目标方向在垂直面上的夹角。

第三个坐标(高低角)可以用目标的高度，即目标到雷达所处的水平面的距离来代替。

有的雷达可以同时測定这三个坐标，有的能測定其中的两个，也有的只能測定一个坐标。

現將雷达測定方位角的原理闡明如下：雷达收發天綫（公用的或分开的）的构造要保証天綫的波瓣在水平面上成一窄束。

天綫由專門的机构带动，它的波束在規定的水平扫探区内来回扫探。如果扫探区内存在目标，那么当天綫的波束对准目标时，接收机輸出端的回波电压就最强。根据回波最强时天綫的位置，我們就可以測出目标的方位。

測定目标高低角的原理，可以用同样的方法来解釋。此时，雷达天綫的設計要保証天綫的波瓣在垂直面上成一窄束。天綫由專門的机

构带动，它的波束在规定的垂直扫探区内上下扫探。同样，当天线波束对准目标时，回波最强。根据这时天线的位置，就可以测出目标的高低角。

目标的斜距（距离）可以用脉冲法，也可以用连续发射法来测定。

使用得最广的是脉冲法。使用这种方法时，雷达发射机周期性地，每隔一个比较长的时间（间歇）发射出一组短促的“搜寻”无线电脉冲



圖 I.4 脉冲制雷达发射机发射的信号。

冲（高频振荡串），如图 I.4 所示。搜寻脉冲传播到目标处，就被目标反射。当发射机发射搜寻脉冲时，接收机通常不接天线。在发射搜寻脉冲的间歇时间内，接收机和天线接通，并接收目标的回波。测出从发射搜寻脉冲到接收该脉冲回波的时间 t ，就可以确定目标的距离。由于无线电波的传播速度 v_0 是已知的，因此确定了时间 t 后，就有可能根据下式很容易地算出到目标的距离：

$$r = \frac{v_0 t}{2} \quad (\text{I.1})$$

可以看出，时间 t 的测量必须极其精确。如果规定距离 r 的误差 $\Delta r \leq 15$ 公尺，则要求测量时间的误差

$$\Delta t \leq \frac{2\Delta r}{v_0} = \frac{2 \times 15}{3 \times 10^8} = 10^{-7} \text{ 秒。}$$

如果雷达的分辨率相当高，测距精确（误差不大于 10~15 公尺）时，利用脉冲法能很简便地同时测出大批目标的距离。这是脉冲法的优点。

脉冲法的主要缺点是不可能测定很小的距离。这是因为在发射脉冲的同时不可能接收回波。可能测定的最小距离取决于下式：

$$r_{\text{min}} > \frac{v_0 \tau}{2}$$

式中 τ —— 搜寻脉冲的宽度。如：当 $\tau = 1$ 微秒时，就可以得出 $r_{\text{min}} > 150$ 公尺。

当利用連續波法測距时，連續波的一个参数按照一定的規律变化。

圖 I.5 是連續波雷达的方塊圖，它利用調頻的方法来測定到目标

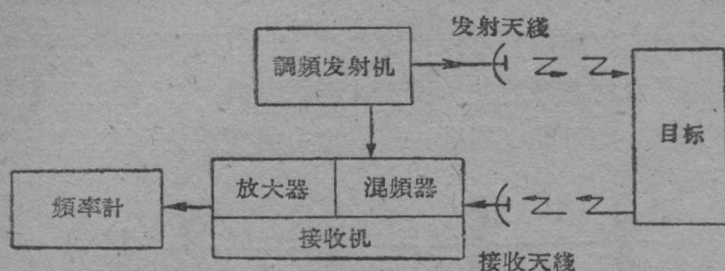


圖 I.5 用以測距的調頻式連續波雷达方塊圖。

的距离。許多无綫电測高器就是利用这个原理进行工作的。調頻發射机發射出信号，傳播到目标后，从而产生回波。接收天綫接收到的回波能量与發射机的振蕩一同导至接收机的混頻器。在无綫电波往返于雷达——目标間（总路程为 $2r$ ）的一段时间 t 內，發射机信号的頻率已經变得与回波頻率不同了。因此，在混頻器的輸入端，就可得到一差頻信号。差頻信号經放大后，加到頻率計上。測量差頻的数值（大小取决于距离 r ），就可以求出从雷达到目标的距离。假定雷达發射机的頻率按圖 I.6 所示的規律变化，則差頻 F'_0 为：

$$F'_0 = \frac{\partial f_{\text{nep}}}{\partial t} t = \frac{2\Delta f_M}{T/2} \cdot \frac{2r}{v_0} = \frac{8r\Delta f_M}{Tv_0},$$

由此得出：

$$r = \frac{F'_0 Tv_0}{8\Delta f_M} = \frac{F'_0 v_0}{8F\Delta f_M},$$

式中 f_{nep} ——發射机信号的頻率；

Δf_M ——發射机頻率受調变化的幅度；

F ——調制頻率；

T ——調制周期。

調頻式連續波法的优点是能够測出極小的距离。此外，由于它的頻带窄，所以設備也較簡單。

这种方法的缺点是不易同时測定几个目标的距离。

由于上述的特点，这种方法通常都用在无綫电測高器中，來測定

唯一的目標（地面）的距離。

為了表示雷達的特性，採用下列基本指標：

1. 雷達配置的地點及其任務。

2. 測定目標的坐標數及其名稱。

3. 雷達的作用範圍（最大可測距離和最小可測距離）；水平面上的

的掃描範圍與垂直面上的掃描範圍（或最小可測高度和最大可測高度）。

4. 分辨率（每個坐標的）。分辨率是雷達分別測定相鄰目標的能力。距離分辨率定義為在同一方向、可以分別測定坐標的兩目標間的最小距離 Δr_c （圖 I.7）。角坐標分辨率定義為到雷達的距離相同，但可以分別測定坐標的兩目標方向間的最小角差 $\Delta \alpha_c$ （圖 I.8）。

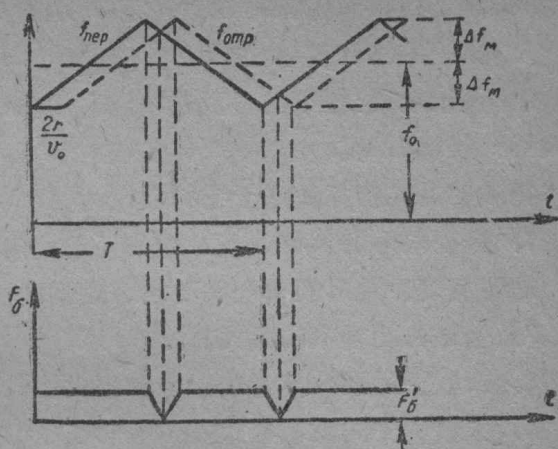


圖 I.6 闡明圖 I.5 所示雷達測距原理的時間圖。

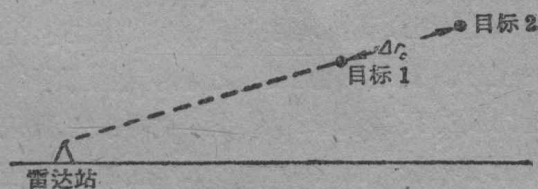


圖 I.7 雷達距離分辨率示意圖。

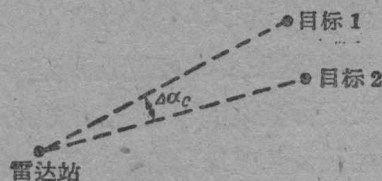


圖 I.8 雷達角坐標分辨率示意圖。

5. 雷達的工作速度。工作速度定義為掃描規定空間地區所需的時間，或對單個目標的最大跟蹤速度。

6. 測定各個坐標時的精確度。

7. 測定目标角坐标的方法（观察法或自动測定法）。
8. 雷达的抗扰度。
9. 使用数据：重量、規格、电源、在各种条件下的工作能力、迁移性能、展机時間。

雷达的基本指标决定于它的技术指标，其中主要是：

1. 發射信号的种类（是脉冲波还是連續波）及其指标（載波頻率、脉冲寬度、重复頻率及脉冲波形或調制性質和調制頻率）。
2. 發射机的功率和程式。
3. 接收机的灵敏度、選擇性和程式。
4. 天綫的方向圖和程式。
5. 显示器的数量和程式。

按照配置的所在，雷达可分为飞机雷达、艦艇雷达和地面雷达。

按照用途，雷达有下列几种主要程式：

1. 远程警戒雷达（在远距离上發現艦艇或飞机的雷达）。这种雷达的首要任务是在尽可能大的距离上發現目标，也就是要尽可能地增大工作距离。通常对于这种雷达不要求能很准确地測定目标的位置，同样，也不要求有很高的分辨率来确定目标的数量与性質。

2. 地面和艦艇上用以指揮与引导歼击机的雷达。这种雷达应能确定敌我飞机的坐标。雷达所得到的数据傳到指揮所、指揮所根据这些数据用无线电向我方歼击机下达命令，引导我机进入能向敌机發起攻击的区域。与前者相較，此种雷达的工作距离可以較小，但其精确度与分辨率却必須較高。

3. 探照灯用雷达。

4. 炮瞄雷达。炮瞄雷达应能保証精确測定一架敌机或一艘敌艦的坐标。雷达所得的数据傳到地面、艦艇或飞机的火炮上，使之对准这个目标开火。由于在很多情况下，目标（如飞机）移动得很快，所以雷达在确定目标瞬时坐标时，不仅要准确，而且还要迅速。这种雷达的工作距离应选择得很恰当，只須稍稍大于火炮的有效距离。不待細說，这种雷达的分辨率也应当很高。

5. 歼击机“截击”雷达。这种雷达用来准确而迅速地确定一架