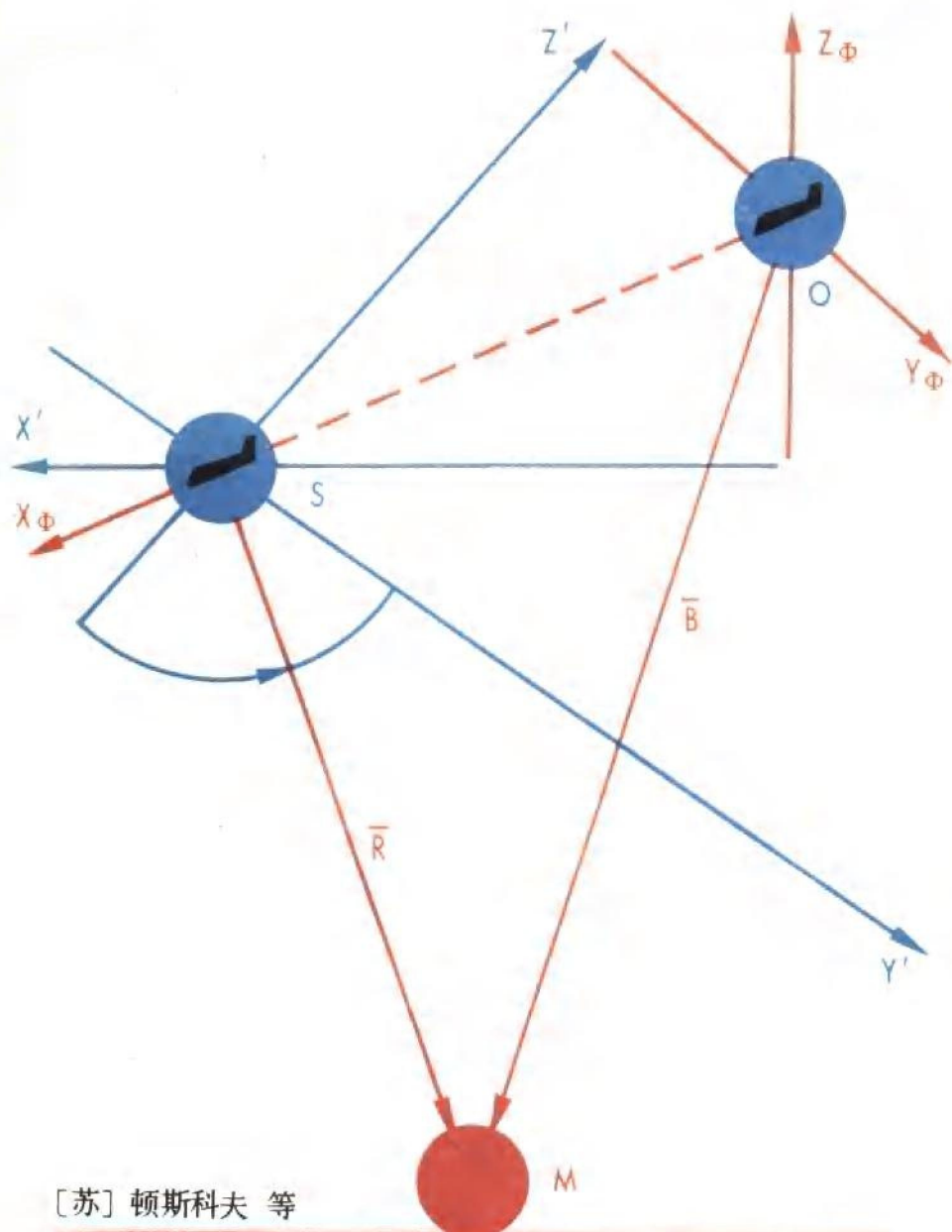




[苏] 顿斯科夫 等

雷达摄影测量

[苏] 顿斯科夫等

雷达摄影测量

周广森 译

郑家声 校

测绘出版社

В.И.Аковецкий, Г.Н.Донсков,
Ю.Н.Корнеев, Л.Б.Неронский
РАДИОЛОКАЦИОННАЯ
ФОТОГРАММЕТРИЯ
Москва, "НЕДРА", 1979

雷达摄影测量

[苏]顿斯科夫等

周广森 译

郑家声 校

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 8⁵/₈·字数 224 千字

1984 年 12 月第一版·1984 年 12 月第一次印刷

印数 1—2000 册·定价 2.05 元

统一书号: 15039·新 342

译 者 的 话

本书是苏联文献中介绍地面上处理侧视雷达和合成孔径雷达图象的原理和方法的第一部专著。全书共分六章，全面地介绍了苏联和其他国家的雷达摄影测量技术。

书中详尽地阐述了侧视雷达系统和合成孔径雷达系统的信息获取、图象处理和信号传输的原理；分析了雷达目标的反射特性和地面扫描雷达的分辨力、图象的构象特性和量测特性；推导出侧视雷达象片和合成孔径雷达象片的数学模型；研究了雷达图象的几何变形及其改正方法；讲述了雷达图象的判读方法和效果；从理论上系统地介绍了用雷达单张象片和立体象对测定目标坐标的解析法。

这种不受摄影条件（时间、气候）限制的全天候雷达摄影测量方法，可以用来测制和更新影象地图和数字地图，还可以利用在无线电波波段上获得的新增图象来普查自然资源。

本书是在总结实际经验并参考了大量的有关文献的基础上编著的。因此，它的理论坚实，内容丰富，文字简洁，较为完整地介绍了这门技术的基本理论和当代的成就与发展。

本书是遥感、摄影测量和雷达专业科技人员的必备读物，也是测绘、地质、农业、林业、海洋、环保等部门有关技术人员的参考书。

1982年12月

序 言

本书系统地介绍苏联和其他国家所发表的有关雷达摄影测量方面的文献，并且从理论研究上对这种新技术加以详尽阐述。

无线电电子学的迅速发展为航空-航天雷达地形摄影测量这种现代技术在国民经济各个领域中的应用奠定了基础。

雷达摄影测量是一门研究利用现代最完善的机载侧视雷达系统测制和更新地形图、判读地面目标、确定地面目标坐标和精确测量目标间距的应用科学。

书中主要是阐述摄影测量处理和雷达图象判读问题，并适当地介绍了获取图象所利用的雷达设备。

书中着重介绍了不同用途的雷达的构造原理，而不是罗列雷达本身的各种技术参数[86]。

书中编汇了1960年至1976年间苏联和其他国家文献所刊载的资料，以及作者在这方面理论研究所补充的资料。

本书是集体编写的：主编——Г.Н.顿斯科夫；第一章——В.И.阿科维茨基和Г.Н.顿斯科夫；§4, §5——В.И.阿科维茨基和Л.Б.涅隆斯基；§6, §7, §8, §9——Л.Б.涅隆斯基；§10, §12, §13, §23, §24——В.И.阿科维茨基和Ю.Н.高尔涅耶夫；§14, §15, §16, §17——Ю.Н.高尔涅耶夫；§18, §19——В.И.阿科维茨基和Г.Н.顿斯科夫；§20, §21, §22——Г.Н.顿斯科夫；§25, §26, §27——Ю.Н.高尔涅耶夫。

在编著一本内容包括地面上处理雷达图象的基本原理和方法的参考书方面，本书只能算是初次尝试。

目 录

序言	(Ⅲ)
第一章 总论	(1)
§1. 引言	(1)
§2. 雷达测量发展史	(4)
§3. 雷达方法的应用范围	(8)
第二章 雷达图象构成的原理	
§4. 雷达扫描地面的原理	(9)
§5. 雷达测量目标的特性	(21)
§6. 非相干侧视雷达系统的信号传输	(36)
§7. 合成孔径雷达的信号处理	(54)
§8. 合成孔径雷达系统的信号传输	(76)
§9. 地面扫描雷达的分辨力	(96)
第三章 单张雷达象片的数学模型	
§10. 侧视雷达象片的数学模型	(105)
§11. 合成孔径雷达象片的数学模型	(114)
第四章 雷达图象的量测特性	
§12. 雷达图象量测特性的评定标准	(121)
§13. 侧视雷达图象的变形	(122)
§14. 合成孔径雷达图象的变形	(134)
§15. 地面起伏的影响	(143)
§16. 地球曲率的影响	(146)
§17. 电磁波大气折射的影响	(151)
第五章 雷达图象的判读	
§18. 雷达象片判读的方法	(154)

§19. 室内直接判读法判释信息的效果·····	(157)
§20. 雷达图象的构象特性·····	(171)
§21. 雷达图象的判读标志·····	(182)
§22. 雷达图象室内判读方法·····	(188)
第六章 用雷达象片测定地面目标坐标的解析法	
§23. 概述·····	(192)
§24. 用低空拍摄的单张雷达象片测定目标坐标的解析 法·····	(196)
§25. 用高空拍摄的单张雷达象片测定目标坐标的解析 法·····	(218)
§26. 测定目标坐标的几种特殊情况·····	(231)
§27. 用雷达立体象对测定目标坐标的解析法·····	(235)
参考文献·····	(252)
主题索引·····	(263)

第一章 总 论

§ 1. 引 言

雷达摄影测量学，或者雷达测量学是摄影测量学的一个分支，它研究利用雷达象片编制地图的各种问题。

这门学科的产生是与人们要求用遥感方法经常地精确地研究外界环境的愿望相联系的。遥感方法规定用不同的技术手段收集目标的信息，这些技术手段包括对地面进行航空摄影、红外摄影、激光摄影、电视摄像和雷达摄影。航空摄影是最成熟又最完善的技术手段。然而，电视摄像、激光摄影、红外摄影等手段却存在着受气象条件限制的严重缺点。天然光照低时很难进行空中摄影，而有云层时不仅困难，甚至根本无法摄取航空景观。

文献[56]指出，在北半球上空适宜于航空摄影的天气条件的几率是很小的(见表1)。雷达航空摄影是全天候的，不受这种条件的限制。对地面进行雷达摄影，不论白昼，还是黑夜；不论晴空万里，还是乌云密布，都能顺利完成。

此外，雷达航空摄影与普通航空摄影比较有以下优点：

- 分辨率与雷达站至目标的距离（原则上）无关；
- 不需要直接飞越目标上空（在10公里距离以内）进行摄影；
- 低空飞行时摄取的地面范围也很大；
- 可以不用光学反差而用雷达对比度来发现目标；
- 可以从载体舱内向地面站用无线电波道远距离传输所取得的信息。

雷达航空摄影与其它类型空中摄影比较，其优点归结为侧视

雷达 (PJC BO) 在低空能获得近似于正射投影的雷达图象。

北半球云量平均值 表 1

国 家	夜 间 云 量 %			白 天 云 量 %		
	1 月—7 月			1 月—7 月		
	0-1 级	2-6 级	7-10级	0-1 级	2-6 级	7-10级
1	2	3	4	5	6	7
奥 地 利	23/32	11/19	66/50	20/19	25/31	55/50
比 利 时	22/39	6/16	72/45	6/10	10/21	84/69
大 不 列 颠	20/11	26/21	54/68	13/ 3	21/18	66/79
直 布 罗 陀	39/76	26/19	35/ 5	26/61	26/34	48/ 5
希 腊	33/85	26/ 7	41/ 4	20/75	23/20	67/ 5
丹 麦	16/19	20/19	64/62	9/12	23/25	68/64
印 度	67/10	20/23	13/67	50/ 3	30/15	20/82
约 旦	39/97	16/ 3	45/—	10/89	29/ 6	61/ 5
伊 拉 克	40/98	24/ 2	36/—	18/90	21/ 9	61/ 1
伊 朗	33/73	25/19	42/ 9	12/59	29/31	59/10
爱 尔 兰	18/10	15/21	67/69	8/ 4	18/12	74/83
冰 岛	16/12	17/20	67/68	9/11	28/21	63/68
西 班 牙	38/71	21/16	41/14	22/53	23/27	55/20
意 大 利	31/67	23/22	46/11	18/44	28/40	54/ 6
黎 巴 嫩	3/13	26/14	71/73	—/21	45/29	55/50
卢 森 堡	19/39	10/24	71/37	16/ 8	—/34	84/58
马 耳 他	29/92	46/ 8	25/—	15/84	51/16	34/—
荷 兰	21/31	9/18	70/51	15/ 5	16/31	69/64
挪 威	16/ 7	20/15	64/78	6/ 7	23/22	71/71
阿 曼	—	—	—	32/48	55/34	13/18
巴 基 斯 坦	66/40	17/27	17/33	48/30	25/29	27/41
葡 萄 牙	24/38	26/27	50/35	15/25	23/33	62/42
沙 特 阿 拉 伯	59/69	17/21	24/10	41/62	31/20	28/18
叙 利 亚	36/32	10/15	54/53	26/ 8	8/ 9	66/83
土 耳 其	15/77	17/13	68/10	7/52	18/37	75/13

芬 兰	21/16	11/34	68/50	8/ 4	20/33	72/63
法 兰 西	24/42	15/19	61/39	15/21	28/24	68/55
西 德	19/30	7/20	64/50	13/10	10/26	77/64
瑞 士	15/35	7/18	78/47	12/28	4/29	84/43
瑞 典	21/19	14/29	65/52	10/ 5	18/31	72/64
斯 里 兰 卡	40/33	30/32	30/45	13/ 7	46/30	41/63
南 朝 鲜	13/92	26/ 8	61/—	5/83	15/15	80/ 2
日 本	20/17	14/19	66/64	15/ 8	14/65	71/77

在缺点方面，应该指出，雷达航空摄影的分辨率较航空摄影的分辨率低。目前，按分辨率，雷达航空摄影可分为分辨率为3~10米精密的和分辨率在100米以内普通的两种。

专家们对各种类型航空遥感进行了比较分析，从中可以看出雷达摄影的特点(见表2)。

各种类型航空遥感比较分析

表 2

航空遥感的可能性	雷达摄影	红外摄影	航空摄影
不依赖于昼夜时间	10	10	5
不依赖于云量	9	2	1
穿透大气蒙雾	10	6	3
探测温差	1	10	2
勘察土壤成分	3	6	4
图象立体视觉	5	2	10
图象精度	5	6	9
图象判读	6	6	9
总 和	49	48	43

表2的分析表明，雷达航空摄影是有潜在能力的。若将雷达摄影的地面分辨率提高到0.3~3米，那么，从上述各种类型勘测外界环境及其资源的利用效率来看，雷达系统将成为第一流的遥感系统。

§ 2. 雷达测量发展史

雷达的现代发展水平是近八十年来在各国科学家一系列发明和研究的基础上形成的。

雷达装置的功能在于用无线电技术方法发现和测定各种目标的位置。俄国科学家所发表的很多独特见解和研究论文是研制具有这种功能的最新无线电技术方法的基础。A.C.波波夫的名字在雷达发展史上应居于首位，他第一次（于1897年）发现和阐明无线电波在其传播的路程上遇到物体而反射的特性，这种特性是现代雷达学的基础。

1904年德国工程师X.X.麦耶尔获得了根据金属目标回波发现金属目标的方法的专利权。

1907年俄国教授Б.Л.罗津格首先提出了用电子射线管接收图象，从而为现代电子射线管显示器奠定了基础。

1922年美国科学家A.捷伊洛尔和H.尤格发现了当船舶经过发射站和接收站之间时无线电通信中断。而后，苏联和其他国家科学家对超短波在地球表面上传播的继续研究，无线电导航方面的成就，都促进了雷达的发展。在苏联，从三十年代开始就由各个专家组（П.К.奥什布科夫，Ю.К.科罗温，Б.К.谢姆别里，等等）从事建立雷达站的工作。

1935年英国电离层科学研究员P.沃特逊一瓦特开始进行探测运动目标的试验；1938年进行英国第一台雷达装置的试制。

1935年美国也开始进行类似的工作。

第二次世界大战时期，雷达发展如此迅速，以致难以一一列举各个国家在此期间制造的所有无线电技术设备。

机载雷达在其发展初期供导航使用，用于对地面作一般观察。

第一台雷达装置称为平面位置指示器(ИРО)。该装置用于

详细研究下垫面和绘制地图，其分辨率不能识别微小目标。

五十年代初，顺着机身装有真实（长的）天线的侧视雷达（РЛС БО）出现了，此时天线长达5~17米，使地面分辨率提高了一个数量级。但是，这种雷达还是不能得到像航空摄影装置那样的图象分辨率，而增加天线长度实际上受机身长度的限制。

五十年代末，装有合成天线的侧视雷达出现了。这对提高雷达分辨率，使其接近于航空摄影装置的分辨率方面是新的重要措施。这样就可以采用雷达航空摄影测制不易达到的地区比例尺为1:250000，1:1000000的地图[1, 10, 20, 25, 127, 164]。

1963年得到的雷达航空摄影结果证明所采用的雷达摄影装置的分辨率是很高的。例如，载体的飞行高度等于21公里，当斜距为100公里时，分辨率高于4米。

正如研究所表明的那样，即使摄影条件在很广的范围内变动，结果也不会明显变坏。例如，飞行高度可以从60米变化至30公里，飞行速度可以从700公里/小时变化至3000公里/小时[1, 202]。

雷达技术的发展过程具有趋向缩短所用波长的特点。第一台雷达工作于米波波段（从8米至1.5米），以后采用分米波和厘米波。现阶段利用毫米波，不过，它有一系列的限制。缩短波长的趋势与缩小天线装置尺寸和天线方向图有关，因此，在同样功率下这种方法能够探测更远的距离，获得更高的分辨率和更高的抗扰性，但是也使其增加对气象条件的依赖性。

为测制地图所用的几种现代雷达站的特性列入表3[6]。

雷 达 站 特 性 表 3

雷达站名称	天线稳定性	波长 (mm)	天线 长度 (m)	制图地 带宽度 (km)	原始软 片宽度 (mm)	地面分辨率(m)		重量 (kg)	备 注
						航向	旁向		
PPT (平面位置指示器)	俯仰, 倾斜	—	6	至 180	35	—	—	—	复制软片宽 可达 241 mm
AN/APQ-69 合成孔径雷达	俯仰, 倾斜, 摇摆, 偏流角	—	17	45—90	—	0.12	—	114	雷达工作于 $H \leq 20000$ m
AN/APQ-102 合成孔径雷达	同 上	31	1.27	19;28;37; 56两带	127	15	15	196	水平偏振
AN/APS-73 侧视雷达	同 上	—	1.2	18—55	—	15	15	226	—
AN/APS-85 侧视雷达	—	30	6	从10至80 两带	125	100	100	320	保证向地面站 传输数据
AN/APS-94A 侧视雷达	—	25	5	25—90两带	70	7.7R (km)	30	346	同上
AN/APQ-86 合成孔径雷达	俯仰, 倾斜, 摇摆, 偏流角	30	1.5	20	—	15	15	193	—

AN/APQ-97 侧视雷达	完全稳定	8.6	5	.80	230	1.7R (km)	8	—	双 偏 振
AN/UPD-1 合成孔径雷达	俯仰, 倾斜 摇摆, 偏流角	—	1.5	40	35	10	10	320	载体降落后 在地面上处理软片
AN/UPD-2 侧视雷达	同 上	8.6	3	40; 25+90 两 带	70	3.5R (km)	15	215	经过几秒钟保证 向地面传输和记录
AN/UPD-10 合成孔径雷达	完全稳定	31	1.5	—	—	<10	<10	—	
时距图雷达	同 上	31	1	—	—	0.076	0.018 弧度	—	波长为 1.78 cm
SEASAT-A 合成孔径雷达	—	235	11	100	—	25	25	220	研究海洋学的 航天雷达
SPACE SHUTTLE 合成孔径雷达		30 250	12	63—100	—	25	50		用于多次运输的 航天飞机上

§ 3. 雷达方法的应用范围

雷达方法的特点在于它能获得其他技术手段难以获得，或者根本不能获得的必要信息，因此这种方法对于解决这些任务方面具有吸引力。雷达方法在获取周围环境及其自然资源信息的各种遥感方法中处于优越地位。

下面介绍利用雷达方法能够解决的主要任务：

(1) 在地图制图学方面，可以根据雷达图象测制和更新地形图，尤其是困难地区的地形图；

(2) 在测量学方面可以利用雷达图象研究陆地和水域；

(3) 在地质学方面可以利用雷达图象编制和更新广大地区的构造地质图；

(4) 在农业方面可以利用雷达图象编制作物分布图、土壤图、土地利用图；

(5) 在冰情侦察方面可以利用雷达图象精确地测定冰块位置、冰块间隙、洪水范围和水涯线，还可用于水文地质勘查。

第二章 雷达图象构成的原理

§ 4. 雷达扫描地面的原理

雷达方法摄取地面图象的基础在于：当以高频电磁波照射下垫面的要素时，一部分能量向发射方向反射(再辐射)，因此可以用相应的装置接收和记录。反射信号的电平取决于所探测的地面特性，这样，根据雷达象片所记录的无线电波反射的形状和强度，可以判读地面要素。为了获取这种信息，雷达站必须有产生电磁振荡并加以发射的装置，接收反射信号的装置，以及记录所摄取的雷达图象的装置。

雷达扫描地面的作用原理，在文献[20,61,81,86,164]中已有比较详细的阐述。但是，便于更详细地讨论雷达用于制图学方面的特点，这里简单地再介绍一下作用原理是必要的。

依照对地面扫描的方式，可区分为全景雷达和侧视雷达。两者构成原理大体相似，只是图象构成方式和一些技术特性有所不同。与侧视雷达相比，全景雷达的分辨率和图象精度都很差，尤其与最新发展的合成孔径侧视雷达相比就更差了，全景雷达不太适用于自然资源勘察和测制地图。因此，侧视雷达将是本文叙述的重点。

侧视雷达工作原理

侧视雷达工作原理可用示意图来说明，如图1所示。雷达站安置在飞机或者其他飞行器上。它的组成包括发射机、天线、天线转换器、接收机、摄影记录装置(ФРУ)、同步器和飞机导航仪的雷达跟踪部分。

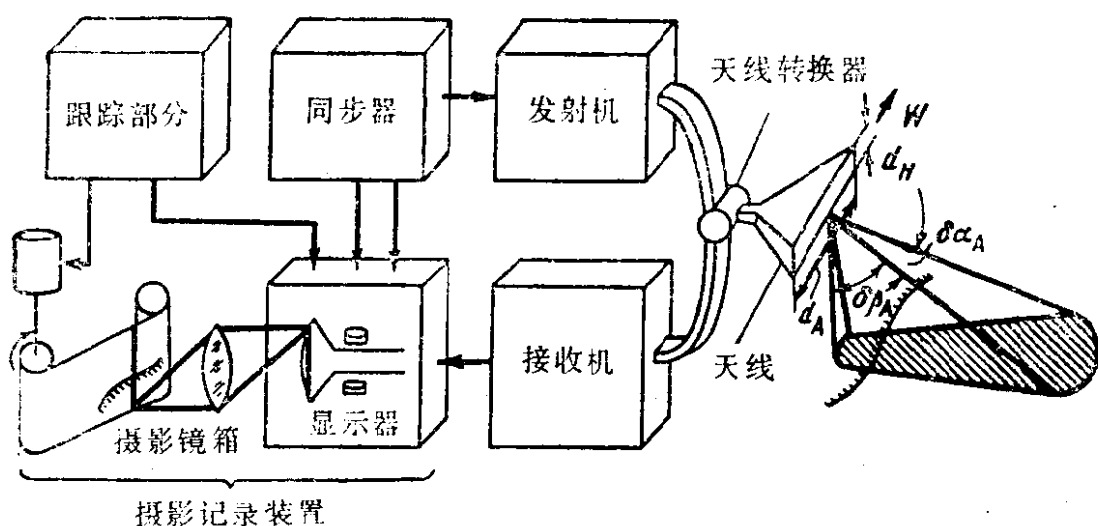


图 1

在发射机中，以电磁振荡周期性脉冲列(无线电脉冲)的形式激发探测信号。通常，这是宽度很小的脉冲，它是以固定周期不断重复出现的，并用同步器来控制^①。探测信号经过天线转换器(又称“接收-发射”变换开关)到达天线，并向空间发射。天线转换器用于在探测脉冲瞬间接通发射天线；而在其余时间，则使天线与接收机输入端相接通。

侧视雷达采用刀形射线天线。为使射线平面垂直于飞行方向(或者按规定角度配置)和射线方向往下对着地面，因此天线顺着机身安装(图2)。通常采用向载体飞行方向右边和左边的双边扫描。

当无线电脉冲照射地面或者目标时，在其表面上会产生电磁波的散射，同时也向雷达站一方反射。目标(雷达目标)反射信号对于探测脉冲的延迟就是无线电波传播时间(t_s)，

即
$$t_s = \frac{2R}{c} \quad (2-1)$$

① 为了提高雷达的作用距离，提高探测信号的平均功率，利用脉冲压缩技术：发射线性的宽频带的脉冲调频信号。接收时，这些信号变成为短脉冲。后面我们就不讲脉冲压缩技术，而仅在个别情况下指出应用这种方法的设备特点。