

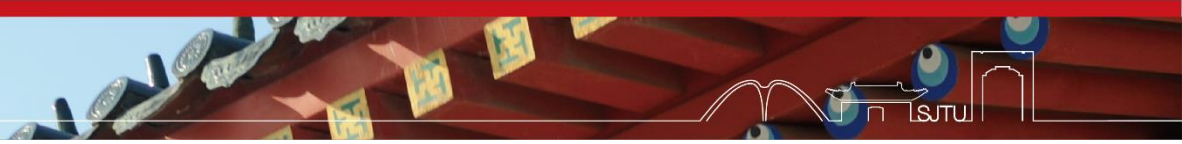


# Chap11 飞机环境监视系统



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



# Civil Avionics Systems

## Chap 11 Aircraft Environmental Surveillance System

**Prof. Xiao Gang**



Email: [Xiaogang@sjtu.edu.cn](mailto:Xiaogang@sjtu.edu.cn)

Office: Aerospace Room.A432

Tel/Fax:021-34206192

*Advanced Avionics and Intelligent Information Laboratory*

<http://www.avionics.icoc.in/>

1

## 概述

---

2

## ATC雷达系统

---

3

## 自动相关监视 (ADS-A)

---

4

## 广播自动相关监视 (ADS-B)

---





1

# 概述





## ➤ 概述

- ◆ 从地面空中交通管制需求：了解空中交通信息

机场场面交通信息

- ◆ 从飞行员需求：空中和机场场面交通信息（TCAS、…）

地形信息（山等）

气象信息（雷雨、湍流、风切变）





## ➤ ATC监视系统

### ◆ 对空中飞机监视：人工相关监视

雷达监视 RSR SSR

自动相关监视 ADS-A ADS-B

### ◆ 机场场面监视：雷达监视 SMR (ASR)

SSR

ADS: ADS-B

MDS 基于应答机的多点相关监视

A-SMGCS





2

## ATC雷达系统





- 雷达基本工作原理
- 雷达方程
- SSR的作用距离（通信方程）
- PSR概要
- SSR概要
- S模式SSR概要





- PSR —— 一次监视雷达
- SSR —— 二次监视雷达
- ATCRBS —— 空中交通管制雷达信标系统

SSR——询问机 (Interrogator)

应答机 (Transpodner)

SSR与应答机配合工作（可自成系统），SSR与PSR组合工作。





### ➤ 雷达基本工作原理

1、组成：发射机、接收机、天线、显示器、同步器等

2、测距： $R = \frac{1}{2} C t_R$

$t_R$  — 电磁波往返的时间；  $C$  — 光速  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

1 cm = 0.393 in

1 ft = 30.48 cm

3、测角：天线的方向性（波束）

度： $1/360$  密位： $1/6000$   $1^\circ = 16.7 \text{ 密位}$  1密位 =  $0.06^\circ$

4、都卜勒频率：

$$f_d = f_0 \frac{2V_r}{C} = \frac{2V_r}{\lambda_0}$$

$$V_r = \frac{1}{2} \lambda_0 f_d$$

$V_r$ ：径向相对速度

$f > f_0$ ：目标朝向雷达

$f < f_0$ ：目标离开雷达



### ➤ 雷达方程

目标点功率密度:  $P_1 = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_t(D_t)$

目标接收功率:  $\sigma P_1 = \frac{P_t G_t \sigma}{4\pi R^2}$

散射回功率密度:  $P_2 = \frac{\sigma P_1}{4\pi R^2} = \frac{P_t G_t \sigma}{(4\pi)^2 R^4}$

天线接收回波功率:  $P_r = P_2 A_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma}{(4\pi)^2 R^4}$

天线有效面积:  $A_r = \frac{\lambda^2}{4\pi} = G_r$

$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$

天线增益:  $G_r = G_t$

作用距离:  $R = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_r}}$

最大作用距离:  $R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{\min}}}$

其中  $R(m)$ 、 $P_t$ 、 $P_{\min}(W)$ 、 $\lambda(m)$ 、 $\sigma(m^2)$

讨论  $R$  与  $P_t$ 、 $P_{\min}$ 、 $\lambda$ 、 $\sigma$  的关系。

$P_{\min}$  可用最小输出信号噪声 功率比  $(S_s/N_o)_{\min}$  表示:

$P_{\min} = kT \Delta f F (S_o/N_o)_{\min}$



### ➤ SSR的作用距离（通信方程）

$$\text{应答接收机: } P_r = \frac{P_{ti} G_{ti} A_r}{4\pi R^2}$$

$$\text{询问: } R_{imax} = \sqrt{\frac{P_{ti} G_{ti} A_r}{4\pi P_{rmin}}}$$

$$\text{应答: } R_{rmax} = \sqrt{\frac{P_{tr} G_{tr} A_i}{4\pi P_{imin}}}$$

二次雷达的作用距离为  $R_{imax}$ 、 $R_{rmax}$  中较小者

通常:  $P_{imin} < P_{rmin}$ , 接收机灵敏度

$P_{ti} < P_{tr}$ , 发射的功率



### ➤ PSR概要

#### ◆ 组成

- PSR是脉冲雷达，是一个搜索雷达；
- PSR工作频率为L(1000-2000MHZ)和S(2000-4000MHZ)波段；
- PSR主要组成：

天线、收/发开关

发射机、调制器

同步器（定时）

接收机（高放HG、LNA，混频、中放、检波、视放）

显示器（PPI、CRT……）

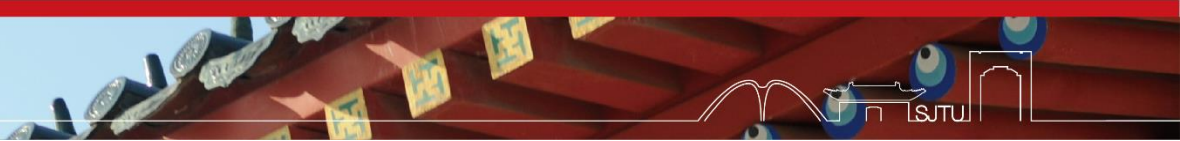




### ◆ 关键参数：

- $P_t$ ——发射机功率；
- PRF——脉冲重复频率(300-400)；
- $Pr_{min}(S_o/N)$ ——接收机的最小灵敏度(信/噪比)；
- $G_t$ ——天线增益;波束宽度、扫描速率(6-15转/分)和PRF对电磁波在目标的驻留时间都有影响。
- 脉冲宽度( $\tau$ )决定距离分辨率；
- 天波波束宽度 ( $\theta$ ) 决定角度分辨率；
- 显示器射束尺寸决定显示清晰度（显示器分辨率）；
- 天线波束形状决定覆盖特性（用扇形波束）。





### ➤ SSR概要

- SSR是空中交通雷达系统的主要组成部分，通常SSR与PSR协同工作，并共址安装在同一基座上。
- SSR的工作频率：询问 $1030\text{MHz} \pm 0.2\text{MHz}$ ；应答 $1090\text{MHz} \pm 2\text{MHz}$

### ◆ 询问机（SSR）主要组成

- 天线：定向天线(P1、P3垂直极化， $\theta$ 为 $2.8^\circ$ 左右)、无方向性天线(P2)；
- 副瓣抑制开关(P2)、收发开关(P1、P2、P3)；
- 发射机(1-2.5KW)、调制器(模式编码)；
- 接收机(f1、f2)、解码器；
- 定时器。





### ◆ 应答机组成

- 天线：无方向性天线；
- 收发开关；
- 发射机(500W)；
- 接收机：模式解码(P1、P3)；副瓣抑制比较电路(P1、P2)——YM。
- 经模式比较，将P3送至编码器，产生 (A/C) 码送发射机。





### ◆ SSR与PSR比较:

- Pti小:  $R \propto \sqrt{P_{ti}}$ ;  $R \propto \sqrt[4]{P_t}$ ;  $P_{ti} = 250KW$ ;  $P_t = 2.5MW$ ;  $R \approx 37KM$
- 杂波干扰小: 因频率不同, 地物、气象目标对1030MHz反射信号不会被1090MHz接收机接收;
- 目标稳定: 因与 $\sigma$ 无关;
- 高度信息准确: 高度来自于气压高度表;
- 方位精度差: 取决于天线波束;
- 信息丰富: 距离、方位, 飞机代码, 气压高度, 特殊代码;
- S模式更丰富





### ◆ 询问模式

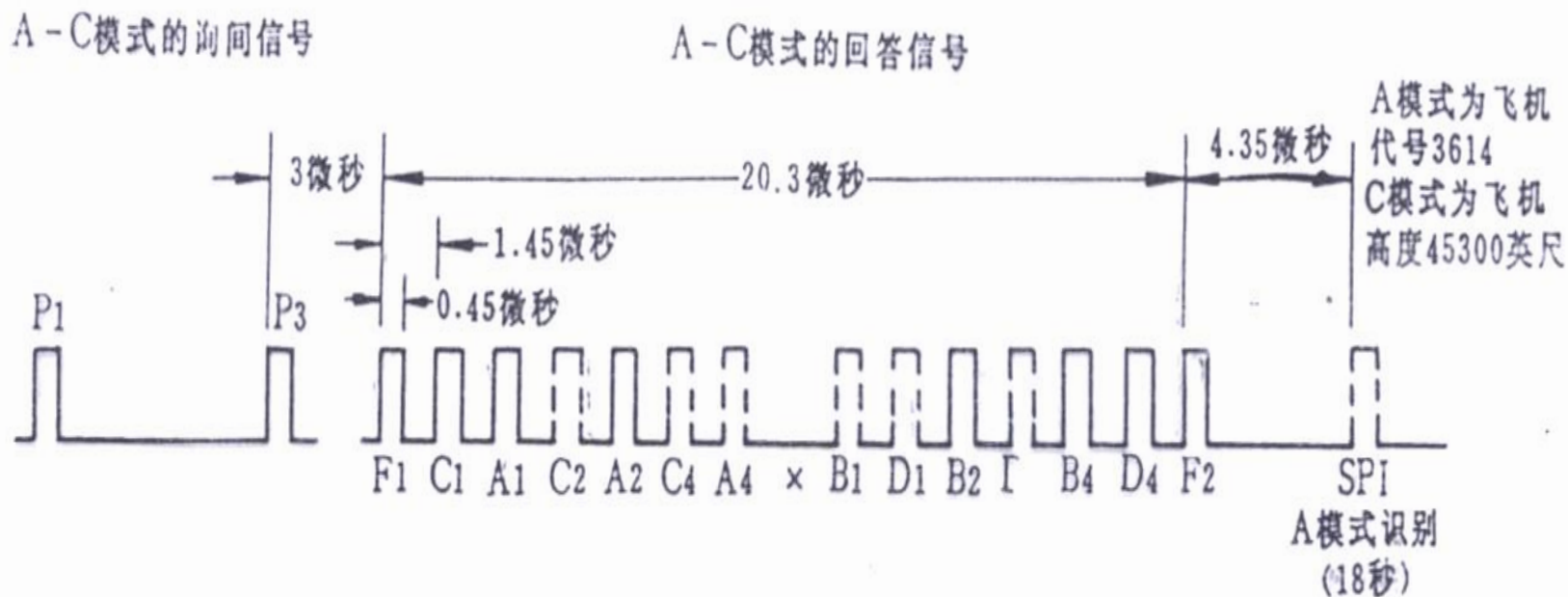
- 询问脉冲信号主要由两个脉冲组成(P1、P3)，两个脉冲间隔决定于询问模式，另外P2脉冲为副瓣抑制脉冲。
- 六种不同的询问模式：

模式	脉冲间隔 ( $\mu s$ )	用途
1	3	军用识别
2	5	
3/A	8	军民共用识别
B	17	民用识别
C	21	军民共用测高
D	25	备用



## 2 ATC雷达系统

- P1与P2关系：P1与P2问间隔 $2\mu\text{s}$ ，P1大于P2 9dB，应答机才予以回答。
- 图为通用A、C模式应答编码信号，A/C模式交替使用为1: 1。





### ◆ 应答码：应答码格式

- 应答码格式由一组脉冲组成：
- 框架脉冲F1、F2——恒为逻辑1，间隔为 $20.3\mu\text{s} \pm (0.1\mu\text{s})$
- 信息脉冲12个——顺序为C1、A1、C2、A2、C4、A4、B1、D1、B2、D2、B4、D4。
- F1与F2之中正有备份的X脉冲，X脉冲恒为逻辑0。
- F2之后 $4.35\mu\text{s}$ 处有一识别脉冲SPI。
- 各脉冲宽度均为 $0.45\mu\text{s} \pm (0.1\mu\text{s})$ ，信息脉冲间隔为 $1.45\mu\text{s}$ 。

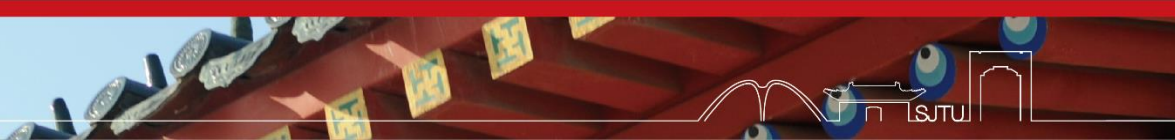




### □ 识别代码

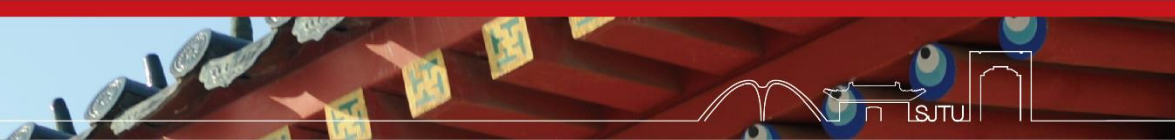
- 12个信息脉冲分为A、B、C、D四组，
- 第一位：A1、A2、A4； 第二位：B1、B2、B4；
- 第三位：C1、C2、C4； 第四位：D1、D2、D4。
- 其值：A1=1， A2=2， A4=4， B、C、D与A相同。
- 各个脉冲都有1、0两种状态， 共可组成212组合， 即可表示4096个识别代码。





- 例如应答码为3614，其组成如下：脉冲串为F1、C1、A1、A2、B2、B4、D4、F2
  - $A1=1, A2=1, A4=0, 1+2+0=3$ ;  $B1=0, B2=1, B4=1, 0+2+4=6$ ;
  - $C1=1, C2=0, C4=0, 1+0+0=1$ ;  $D1=0, D2=0, D4=1, 0+0+4=4$ ;
  - 最大识别码为7777。
- ❑ 紧急代码：7700--飞机故障；7600—无线电通信故障；7500—飞机被劫持。
- $A1=1, A2=1, A4=1, 1+2+4=7$ ;  $B1=1, B2=1, B4=1, 1+2+4=7$ ;
  - $C1=0, C2=0, C4=0, 0+0+0=0$ ;  $D1=0, D2=0, D4=0, 0+0+0=0$ 。
  - 以上代码地面显示终端：该机图像闪烁报警。

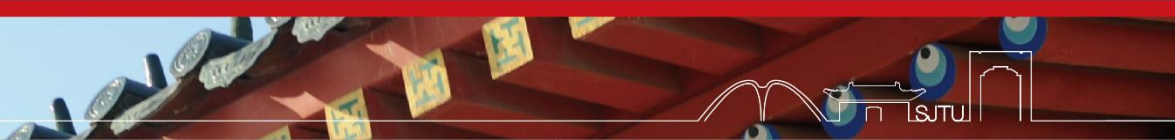




### □ 高度码:

- 高度编码脉冲串与识别代码格式不同，原12个信息脉冲分A、B、C、D四组，而高度码则用其中10个脉冲，以格雷码(Gray)编码格式进行，把10个脉冲分为3组。
- D4、A1、A2; A4、B1、B2、B4; C1、C2、C3。
- ICAO规定高度范围从-1000ft至126700ft(-304m-37000m);
- 高度编码增量为100ft，这只需1278组高度编就够了。
- 而用足A、B、C、D四组212(4096)个编码余量太大。目前实际使用高度从-1000ft至62700ft(-304m-19110m)。





- 故把10个脉冲分为3组：
- 表1-3，其中 D4、A1、A2为高度增量，为8000ft，8个格雷码；  
A4、B1、B2、B4为高度增量，为500ft，16个格雷码；
- 表1-4，其中 C1、C2、C4为高度增量，为100ft，5个格雷码；  
(C1、C4不能同时为1，但C1、C2、C4高必须有一个为1)
- 这样就有 $8 \times 16 \times 5 = 640$ 高度编码。
- 如第一组增加一个D2，即D2、D4、A1、A2，则有16个高度增量为8000ft的格雷码；就有 $16 \times 16 \times 5 = 1280$ 个高度编码，D1则不用。





表 1-3 高度增量 500 英尺格雷编码

A4 B1 B2 B4 (高度增量 500 英尺)	D4 A1 A2 (高度增量 8000 英尺)							
	000	001	011	010	110	111	101	100
0000	— 1000	14500	15000	30500	31000	46500	47000	62500
0001	— 500	14000	15500	30000	31500	46000	47500	62000
0011	0	13500	16000	29500	32000	45500	48000	61500
0010	500	13000	16500	29000	32500	45000	48500	61000
0110	1000	12500	17000	28500	33000	44500	49000	60500
0111	1500	12000	17500	28000	33500	44000	49500	60000
0101	2000	11500	18000	27500	34000	43500	50000	59500
0100	2500	11000	18500	27000	34500	43000	50500	59000
1100	3000	10500	19000	26500	35000	42500	51000	58500
1101	3500	10000	19500	26000	35500	42000	51500	58000
1111	4000	9500	20000	25500	36000	41500	52000	57500
1110	4500	9000	20500	25000	36500	41000	52500	57000
1010	5000	8500	21000	24500	37000	40500	53000	56500
1011	5500	8000	21500	24000	37500	40000	53500	56000
1001	6000	7500	22000	23500	38000	39500	54000	55500
1000	6500	7000	22500	23000	38500	39000	54500	55000



表 1-4 高度增量 100 英尺编码

尾数 1000 英尺			高度增减量(英尺)	尾数 500 英尺		
C1	C2	C4		C1	C2	C4
1	0	0	+200	0	0	1
1	1	0	+100	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0
0	1	1	-100	1	1	0
0	0	1	-200	1	0	0

## 2 ATC雷达系统

例如：脉冲串为F1、C1、A1、C2、B1、B2、F2

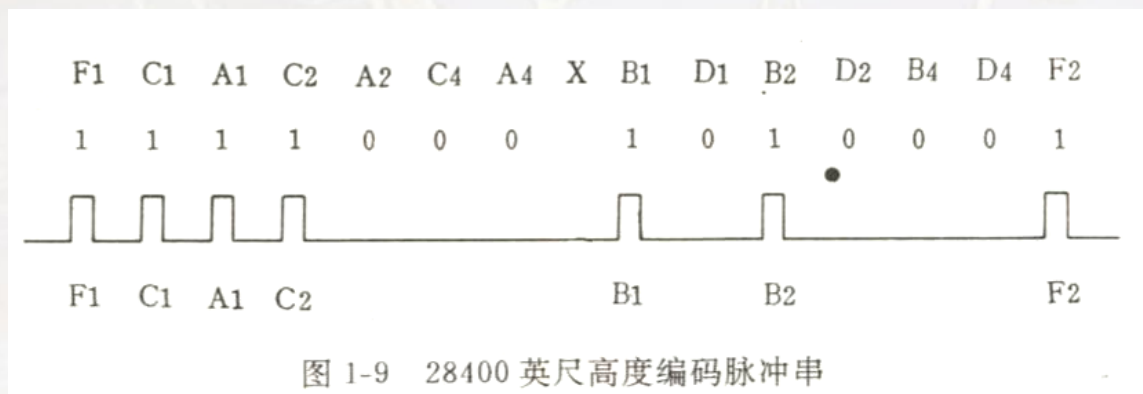
D4 A1 A2 A4 B1 B2 B4 C1 C2 C3

0 1 0 0 1 1 0                      1 1 0

28500ft

100ft

高度为 $28500 - 100 = 28400\text{ft}$





### ◆ SSR(A/C)模式存在的问题

- 同步窜扰：两架飞机靠的太近：3000m之内；

应答脉冲串为 $20.3\mu\text{s}$ ：空间距离 $R=3\times 10^8\text{m}/\text{S}\times 20.3\times 10^{-6}=6090\text{m}$

两架飞机又在一个波束内，则地面SSR接收到间隔重叠的两机应答信号，这叫应答码交织，又叫同步窜扰。

- 非同步窜扰(Fruit)
- 多路径反射  
固定目标反射所致
- 目标分辨力差



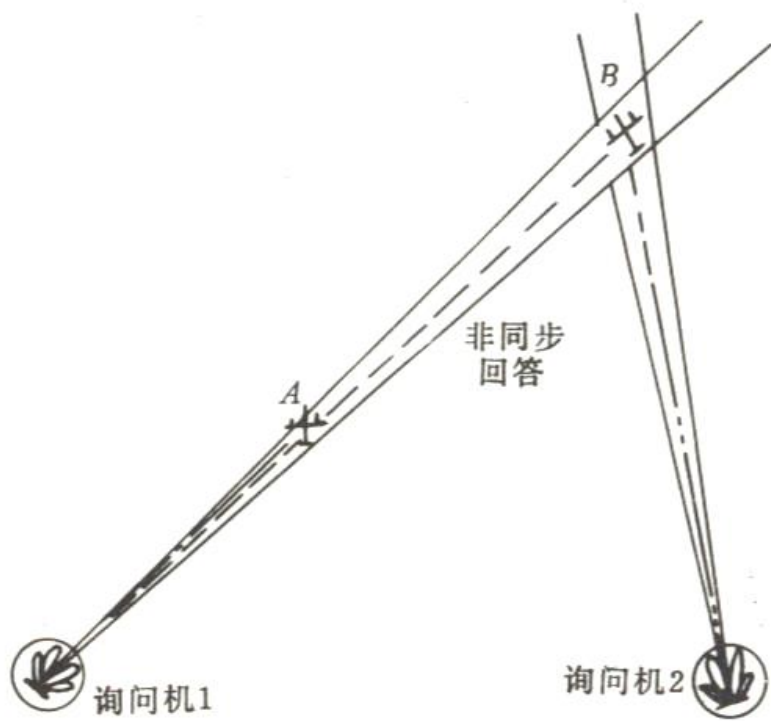


图 1-15 非同步窜扰示意图

①问A机，同步；②问B机，同步；

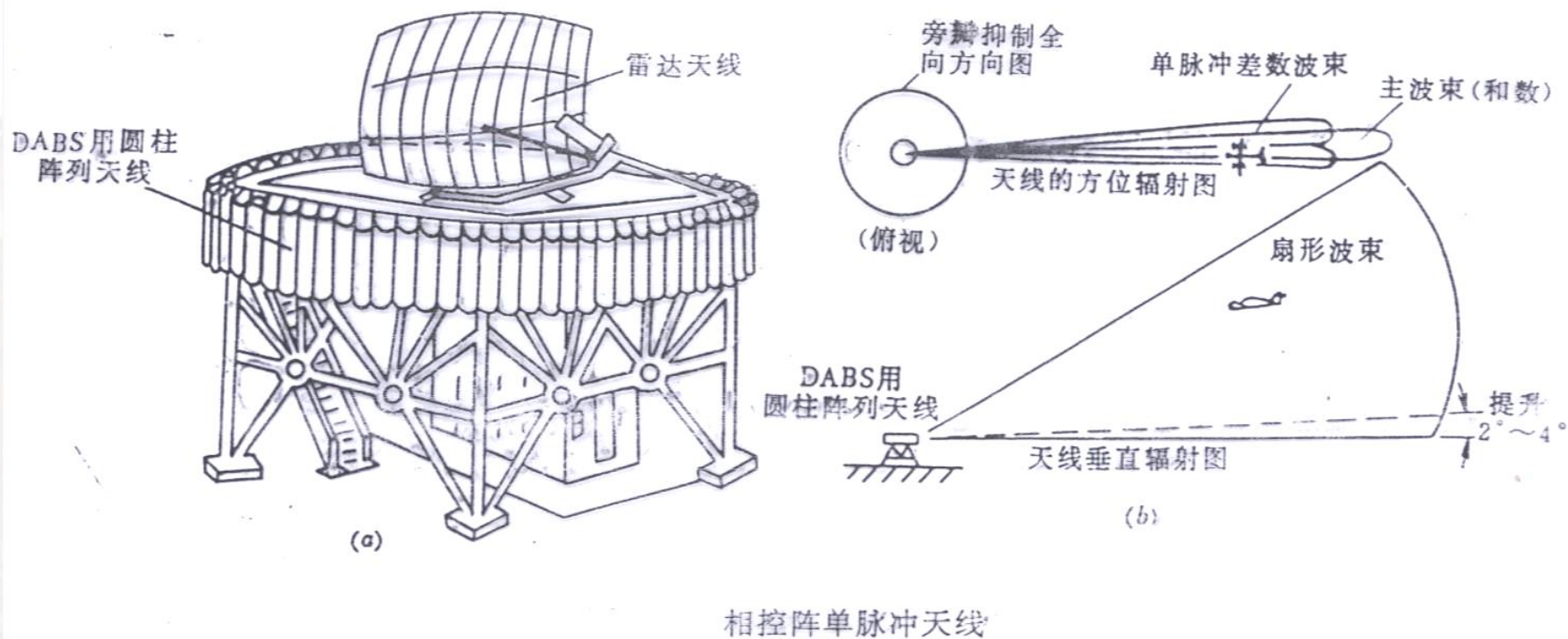
①的主波束有B机；

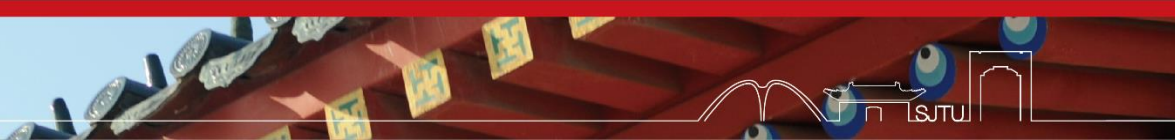
B机应答与1不同步；

这种B机的应答与询问机1不同步，  
使SSR画面不清晰，混扰了A机译  
码。

用非同步窜扰抑制电路可消除窜  
扰。

### ➤ S模式SSR概要





### ◆ 询问机

S模式SSR主要特点是单脉雷达体制，采用和、差信号，原理上可在单个回波脉冲上同时比较可得所需的角度和距离信息，提高了角分辨率，具有离散询址和双向数据能力，对飞机识别采用全球编码，共有224个识别码，增大了识别容量。

- 天线产生和、差波束，天馈系统用和差比较器得到和差信号，经多路中放到包络检波器、相位检波器送至视频和角跟踪系统，取得高精度的角精度(0.02密位)。
- 询问机的编码系统为了适应A/C模式和S模式兼容，应产生一种为兼容而设的S模式脉幅调制(PAM)询问信号和另一种专为S模式使用的差分相移键控(DPSK)询问信号。用于全呼叫和选择询问。





- 询问机的译码系统与应答机协调工作译出A/C回答信号信息和S模式回答信号信息。
- S模式询问机编码、译码系统功能比普通的A/C询问机的功能复杂，并由数据链功能，通常由专用计算机完成。
- S模式询问机的离散选择询问和单脉冲技术（和、差波束）相配合，提高了抗干扰能力，提高目标分辨率，并可实现双向数据链功能。





### ◆ 应答机

应答机也适应A/C模式和S模式兼容，应答地面询问机的各种询问信号，并能提供双向空对空数据交换与交通告警与避控系统(TCAS)配合工作。

S模式应答机与A/C模式应答机的天线、接收机、发射机功能相似，主要区别是处理单元较复杂，它既要对各种询问识别作出应答，又要处理数据信息和产生数据信息并通过接口与其他系统相连接。因此S模式应答机的核心是处理单元，它是一台专用计算机和相应的软件。





### ◆ S模式询问模式

两种询问信号：

- A/C模式和S模式兼容的脉幅调制(PAM)询问信号，频率为  $1030\text{MHz} \pm 0.2\text{MHz}$ 。
- 专为S模式使用二进制差分相移键控(DPKS)询问信号，频率为  $1030\text{MHz} \pm 0.01\text{MHz}$ 。

DPKS询问信号除询问飞机代码和高度，并可以上传数据用。



### □ PAM询问信号

只作询问飞机代码、  
高度（对A/C、S模式应  
答机）。

共六种，如右图：

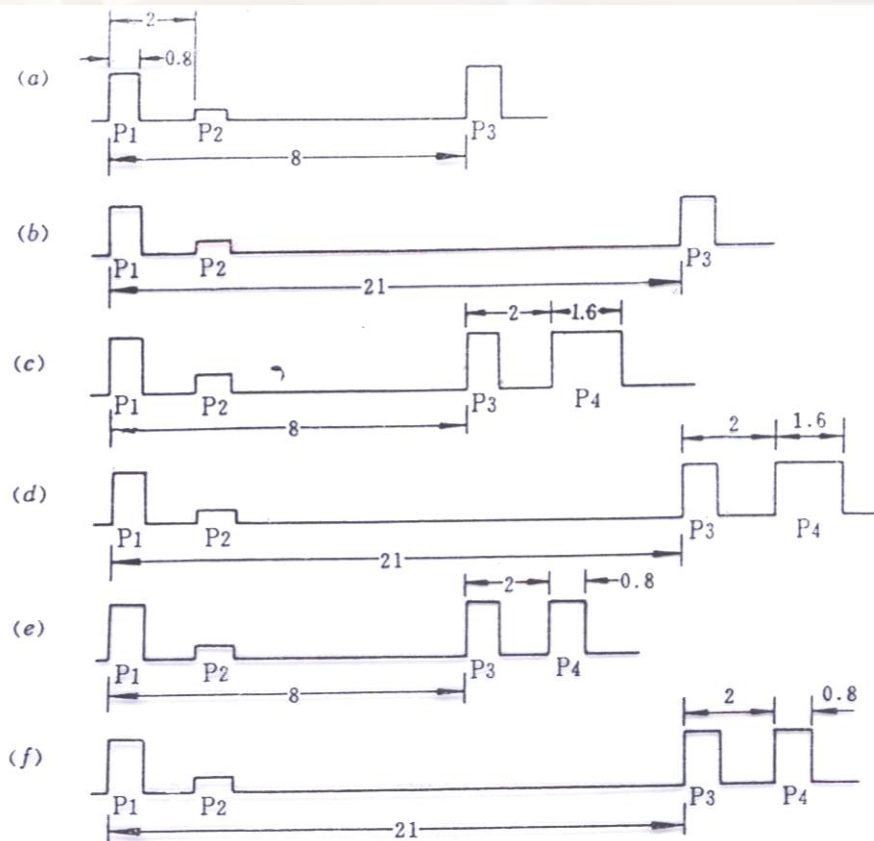


图 3-3 S 模式脉幅调制的询问信号(单位:微秒)

(a)A 模式; (b)C 模式; (c)A 模式/S 模式全呼叫; (d)C 模式/S 模式全呼叫;  
(e)仅 A 模式全呼叫; (f)仅 C 模式全呼叫。

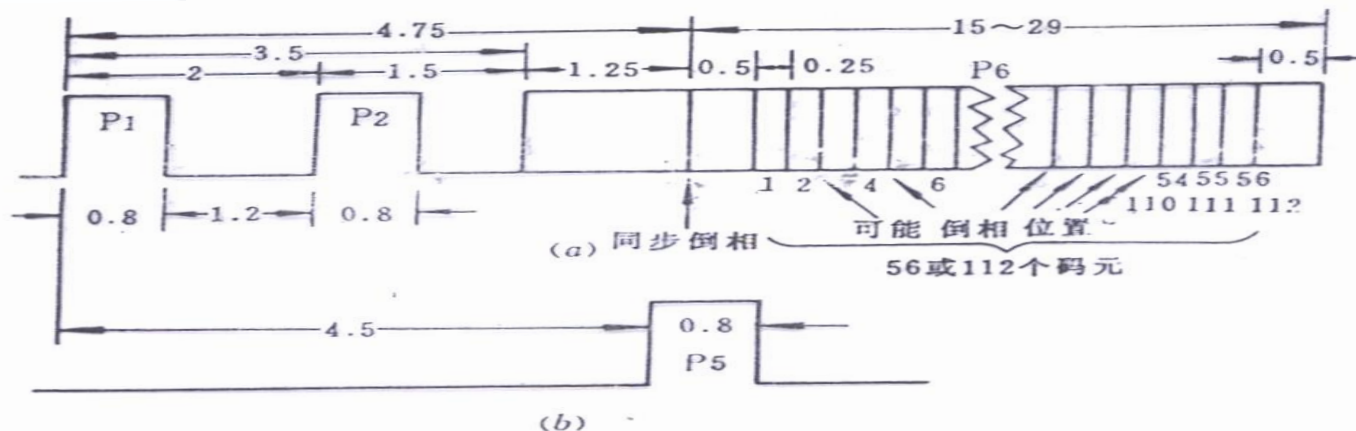


### □ DPKS询问信号

在A/C模式S模式全呼叫询问之后，地面询问机收到S模应答机S模全呼叫回答，已获该飞机位置和飞机地址码，并将该飞机地址字段作为S模式点名询问时使用。



DPKS询问信号由P1、P2和P6组成，如下图所示：



UF11格式

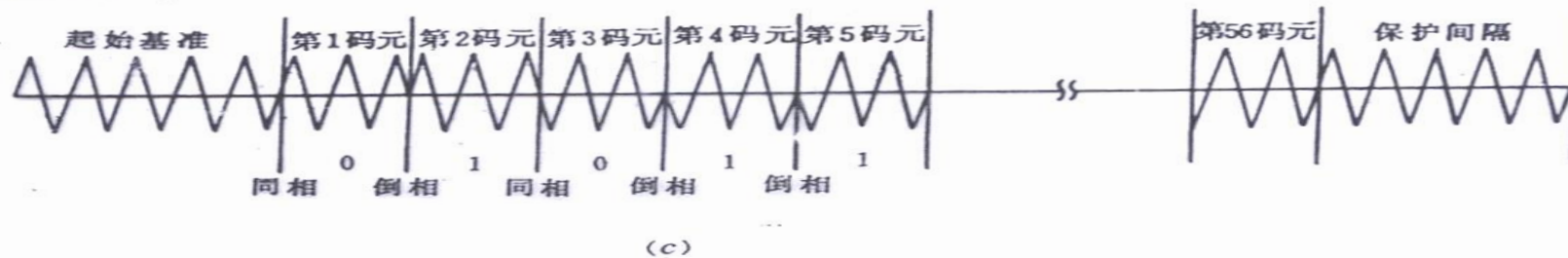


图 3-4 S 模式差动相移键控询问信号(单位:微秒)

(a) S 模式差动相移键控信号的组成; (b) S 模式的 DPSK 询问信号的旁瓣抑制脉冲;  
(c) P6 内逐个码元举例(01011)的波形。



- DPKS的频率精度高为了解调时不产生相位模糊。
- P1、P2脉冲对作用为副瓣抑制，使A/C应答机不应答。
- P5为S模式抑制信号，当波束不正对目标时，P6被P5覆盖，此时应答机就不回答。
- P6内有56或112个码元(bit)，作为数据块。



### □ S模式上传询问格式

询问机上传通信报文，以DPSK方法编码，其中P6内有56位短报文或112位长报文，其中最后有24位飞机地址和奇偶校验码，其中作为信息使用，下图为S模式上传询问格式。



## S模式

格式号

0	00000	- 3 -	RL:1	- 4 -	AQ:1	-- 18 --	AP:24	专门监视(短报文)	
4	00100	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24	要求监视飞机高度		
5	00101	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	AP:24	要求监视飞机代号		
11	01011	PR:4	II:4	-----19个1-----			24个1	仅S模式全呼叫	
16	10000	- 3 -	RL:1	- 4 -	AQ:1	-- 18 --	MU:56	AP:24	专门监视(长报文)
20	10100	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	MA:56	AP:24	要求监视飞机高度, 通信A	
21	10101	PC:3	RR:5	DI:3	SD:16	MA:56	AP:24	要求监视飞机代号, 通信A	
24	11	RC:2	NC:4	MC:80			AP:24	通信C加长报文	

图 3-5 S 模式上传输的询问格式





- 0号格式：专门监视(短报文);
- 4号格式：要求监视飞机高度;
- 5号格式：要求监视飞机代码;
- 11号格式：仅S模式全呼叫;
- 16号格式：专门监视(长报文);
- 20号格式：要求监视飞机高度，通信A;
- 21号格式：要求监视飞机代码，通信A;
- 24号格式：通信C加长报文;





### ◆ S模式应答信和下传回应格式

#### □ S模式应答机所发射的应答信号：

- 仅响应A/C模式(包括A/C模全呼叫)，则以A/C模式的脉幅调制(PAM)信号作回答。
- 长响应： A/C全呼叫； S模式点名呼叫； S模全呼叫； 则都以S模式脉冲调制(PPM)信号作回答。



## 2 ATC雷达系统



A - C模式/S模式全呼叫

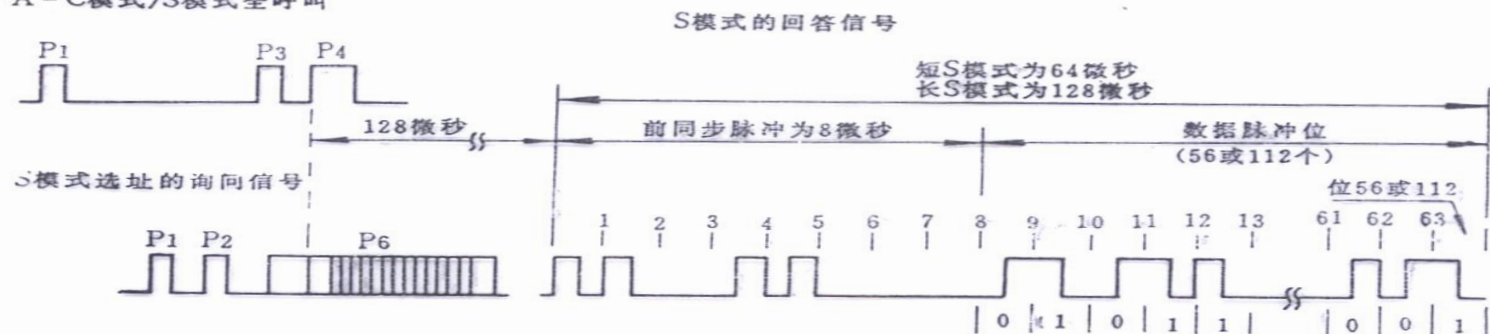


图 3-6 兼容的 S 模式询问和回答信号

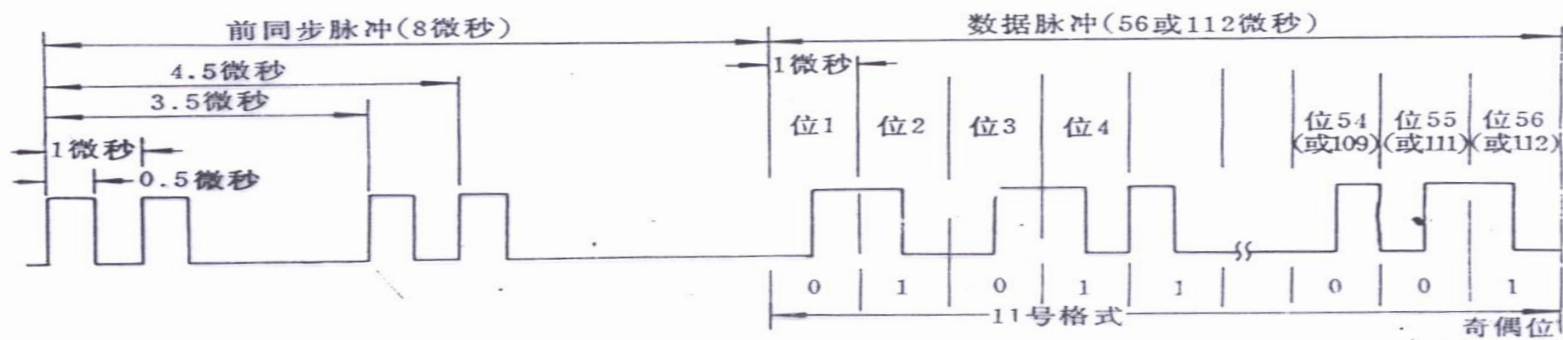


图 3-7 S 模式回答脉冲波形  
(回答数据脉冲对应位的顺序为 01011.....001)



### □ S模式下传回答格式:

- 标准S模下传应答格式如下图所示:

格式号	下传输格式						
0	00000	VS:1	-- 7 --	RI:4	-2-	AC:13	AP:24(飞机地址) 专门监视(短报文)
4	00100	FS:3	DR:5	UM:6		AC:13	AP:24(飞机地址) 报告飞机高度
5	00101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13		AP:24(飞机地址) 报告飞机代号
11	01011	CA:3		AA:24(公布的飞机地址)		PI:24(询问机识别)	全呼叫回答
16	10000	VS:1	-- 7 --	RI:4	-2-	AC:13	MV:56 AP:24(飞机地址) 专门监视(长报文)
20	10100	FS:3	DR:5	UM:6		AC:13	MB:56 AP:24(飞机地址) 报告飞机高度, 通信B
21	10101	FS:3	DR:5	UM:6	ID:13		MB:56 AP:24(飞机地址) 报告飞机代号, 通信B
24	11	1	KE:1	ND:4		MD:80	AP:24(飞机地址) 通信D, 加长报文

图 3-8 S 模式下传输回答格式



3

## 自动相关监视 (ADS-A)





- ADS-A
- ADS-A的功能
- ADS-A的合同
- 数据键的初始化
- AMSS的入网过程
- FOM (质量指标)





## ● 自动相关监视 (ADS)

ADS是一种监视技术，由飞机将机载导航和定位系统导出的数据通过数据链自动发送到地面交通管制部门，这些数据包括飞机识别，四维位置和所需的附加数据。

- ADS-A (Automatic Dependent Surveillance Addressing)
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast)
- 关键区别：ADS-A(C) 选址/应答（合同制、双向）

ADS-B      广播/接收（单向）

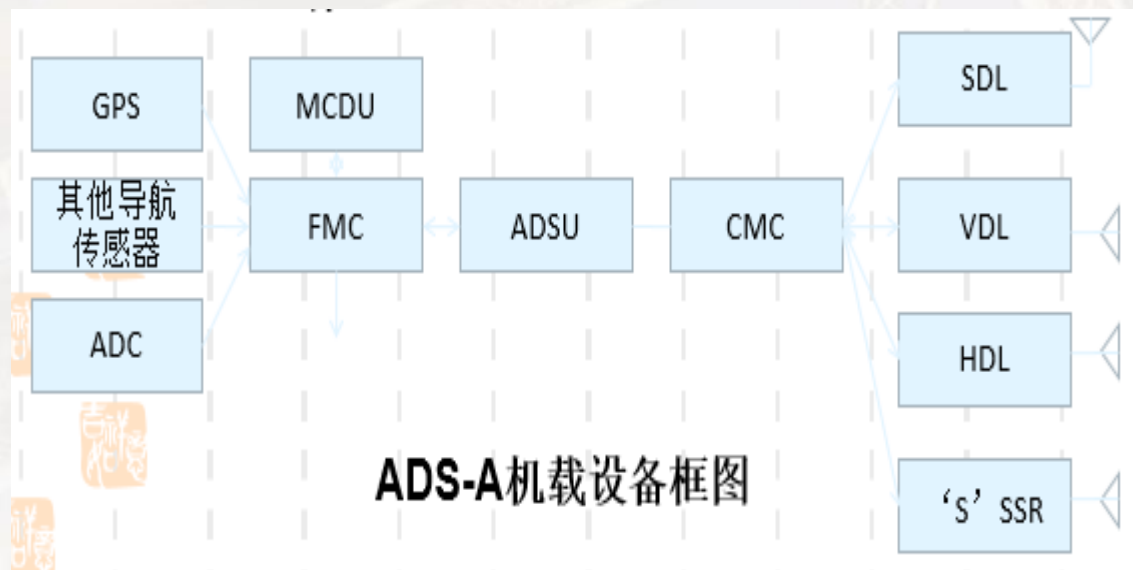


### 3 自动相关监视 (ADS-A)

#### ➤ ADS-A

#### ◆ ADS-A组成

- 机载设备
- 数据链
- ATC终端





#### ➤ ADS-A的功能

- ◆ 监视：雷达覆盖区之外的飞机，并为雷达提供增强和备份。
- ◆ 系统效益：改善了监视和ATC的FDPS能力，提高战术管制能力。
- ◆ 目前ADS-A首先用于海洋和内陆无雷达监视的空域



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

- ADS报告自动发出，无需驾驶员操作；
- 紧急情况下，允许驾驶员启动应急信息——语音；
- ADS地面接口：一架飞机可与地面4个ATC终端链接；
- ATC的FDPS可实现飞行数据验证、符合性验证、自动跟踪、冲突检测和解脱。
- ADS报告内容和格式：

基本报告 1个

附加报告 7个



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

### 3 自动相关监视 (ADS-A)



表1 ADS报告信息组成成分

信息分组		数据单元	位数	说明
基本信息组	基本ADS报告	纬度	21	导航系统现在位置的纬度
		经度	21	导航系统现在位置的经度
		高度	16	按气压高度提供的现在位置
		时间印记	15	发出位置报告的UTC
		质量指标(FOM)	7	导航系统定位质量指标
附加信息	地速矢量	航迹角	13	导航系统算出的航迹角
		地速	13	导航系统算出的地速
		垂直速率	13	CADC测出的垂直速率
	空速矢量	航向	13	导航系统的真航向
		马赫数/指示空速	13	CADC测出的飞行速率
		垂直速率	12	CADC测出的垂直速率
	计划剖面	下一个航路点的纬度	21	飞机导航系统中贮存的数据
		下一个航路点的精度	21	
		下一个航路点的高度	16	
		预测时间	14	
		再下一个航路点纬度		飞机导航系统中贮存的数据
		再下一个航路点经度		
		再下一个航路点高度		



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

附加信息	扩展的计划剖面	后继航路点纬度 后继航路点经度 后继航路点高度 (可扩展到第20个航路点的数据)	21 21 16 .....	飞机导航系统中贮存的数据
	短期意向	意向点的纬度 意向点的经度 意向点的高度 预测时间	21 21 16 14	飞机导航系统中寄存数据 (飞向非计划中给定的某个点的三维坐标和预定时间)
	中间意向	拟飞的的距离 拟飞的方位 拟飞的高度 预测时间	15 13 16 14	飞机导航系统中寄存数据 (飞向该中间点的距离/真航迹角/高度/预定时间)
	气象数据	风速 风向 大气温度 颠簸	9 10 12 4	飞机传感器测定和导航系统算出的数据
飞机标识	飞行标识码		6x8	ATC指定的飞机标识码, 即在飞行计划中填写的航班号码
	飞机标识地址码		24	ICAO对全世界航空器分配所指定的飞机地址码



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

表2 数据量值标示法

参数名称	有效范围	有效位			最高位定义值
		有效性验证位	符号位	数据有效位	MSB
纬度	$\pm 90^\circ$		1	20	$90^\circ$
经度	$\pm 180^\circ$		1	20	$90^\circ$
高度(ft)	$\pm 131064$		1	15	65536
距离(n-mile)	0~1818625			15	4096
时间印记(s)	0~3599875			15	2048
计划时间	0~16381			14	8192
航向/航迹角	$-180^\circ \sim +179.812^\circ$	1	1	11	$90^\circ$
速度(n mile/h)	0~4094.5			13	2048
马赫数(Ma)	0~4.0945			13	2048
垂直速度(ft/min)	$\pm 32736$		1	11	16384



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

风速(n mile/h)	0~254.5			9	128
风向	-180 ° ~ +179.296875 °	1	1	8	90°
气温	±511.5 ° C		1	11	265 ° C
颠簸	未定义			4	
飞行标识码	字符(8个字符)			48	
飞机地址码	2进制码			24	



### 3 自动相关监视 (ADS-A)



表3 信息组名称标号

上传电文 (合同申请/合同撤销用)	标号	下传电文 (报告/回答用)
撤销全部合同和断开	1	
撤销制定合同	2	
	3	确认
	4	无效通知
	5	不符通知
撤销应急方式	6	撤销应急方式
周期性合同申请	7	基本ADS报告
事件合同申请	8	
应急周期性合同申请	9	应急基本报告
侧向偏离变化时间申请	10	侧向偏离变化事件报告
报告率申请	11	
飞机标识申请	12	飞行标识报告
计划剖面申请	13	计划剖面报告
地速矢量申请	14	地速矢量报告
空速矢量申请	15	空速矢量报告



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

气象数据申请	16	气象数据报告
飞机地址申请	17	飞机地址报告
垂直速率变化事件申请	18	垂直速率变化事件报告
高度偏离事件申请	19	高度偏离事件报告
航路点变化申请	20	航路点变化事件报告
飞机意向申请	21	
	22	中间意向报告
	23	短期意向报告
空速变化事件申请	24	空速变化事件报告
地速变化事件申请	25	地速变化事件报告
航向变化事件申请	26	航向变化事件报告
FOM变化事件申请	27	FOM变化事件报告
航迹角变化事件申请	28	航迹角变化事件报告
高度层变化事件申请	29	高度层变化事件报告
计划剖面变化事件申请	30	计划剖面变化事件报告
扩展计划剖面申请	31	扩展计划剖面报告





## ➤ ADS的合同

飞机上ADSU和地面的ATC的FDPS可建立一个合同或一组合同：

合同信息、报告周期、报告条件

- ◆ 周期性合同：最基本的ADS合同，由地面FDPS申请
- ◆ 事件合同：发生地理事件、偏离事件、变化事件时启动的ADS报告。事件合同不影响任何周期合同。





#### ➤ 数据键的初始化

- ◆ 飞机上首先接通ATN的数据键
- ◆ 地面上通过AFTN把FDPS与地面各数据键连接
- ◆ ADSU与地面FDPS连接





#### ➤ AMSS的入网过程

◆ AES与GES连接 (ATN接通)

◆ AFTN和ATC的FDPS连接

◆ 建立合同

◆ 移交和断开连接

◆ ATN有开放链功能



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

- 各种信息组的字的组成

各种ADS（上传、下传等）报告各信息组，在行文时均按字节发送，长度不限，行文标头用两个字节

第一字节为信息名称的标号 8位（目前定义31个）

第二个字节为合同号

- 申请字的组成

第一个字节：申请信息标号（周期性合同 取7）

第二个字节：合同号（由ATC指定）

第三个字节：报告率（周期性合同 取11）

第四个字节：尺度因子/报告率基数

第五个字节：飞机标识码（周期性合同 取12）



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

- 撤销字组成

第一个字节	为申请撤销的标号	所有合同取1
		单个合同取2
		应急合同取6

第二个字节 为原合同号

- 应答字组成

第一个字节	为应答信息标号	确认取3
		否认取4
第二个字节	为申请合同号	申请验证不符取5



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

- 申请报告发送率字组成

第三个字节 标号11 最高报告率为1次/s

最低报告率为68分钟/次

- 申请加选字组成

第n个字节为加选字标号 (n为3、5、7……)

第n+1字节为加选字发送模数



### 3 自动相关监视 (ADS-A)

- 飞行识别字组成

第一个字节	飞行识别标号	取12
后六个字节	飞行识别码	ASC码

- 飞机识别字组成

第一个字节	飞行识别标号	取17
后三个字节	飞机标识码	

中国：头6位为011110，后18位自编。

如CA B-2456为011110 000000000000000001

也可为16进制编码780001

或 8 进制编码36000001





## ➤ FOM (质量指标)

5	4	3	2	(定位精度)	1
0	0	0	0	(表示故障)	0
1	1	1	1	(表示精度小于0.05海里)	1

第5位表示TCAS工作状态      0 不工作      1 工作

第1位表示系统余额          0 单套          1 双套





#### ◆ FOM (质量指标)

432	定位精度(95%)	对应手段
000	完全丧失定位能力	故障
001	<30 n miles	对应与INS运程飞行、无位置更新、11.5 小时INS或按NDB飞行
010	<15 n miles	对应于INS海洋飞行(北大西洋)7~7.5小时漂移率2 n mile/ hr
011	<8 n miles	对应于INS海洋飞行(北大西洋)用OMEGA修正, 3.5~4小时飞行, 或大陆飞行, 离VOR台50 n mile以外时
100	<4 n miles	对应VOR精度或INS海洋飞行2小时内
101	<1 n miles	对应DME~DME或其他RNAV; 用多台DME作位置更新
110	<0.25 n miles	对应LORAN~C地波的绝对精度
111	<0.05 n miles	对应GPS精度





#### ◆ 定位质量指标 (FOM) 定义法

432	定位精度(95%)	对应手段
000	完全丧失定位能力	故障
001	<30 n miles	对应与INS运程飞行、无位置更新、11.5 小时INS或按NDB飞行
010	<15 n miles	对应于INS海洋飞行(北大西洋)7~7.5小时漂移率2 n mile/ hr
011	<8 n miles	对应于INS海洋飞行(北大西洋)用OMEGA修正, 3.5~4小时飞行, 或大陆飞行, 离VOR台50 n mile以外时
100	<4 n miles	对应VOR精度或INS海洋飞行2小时内
101	<1 n miles	对应DME~DME或其他RNAV; 用多台DME作位置更新
110	<0.25 n miles	对应LORAN~C地波的绝对精度
111	<0.05 n miles	对应GPS精度





#### ◆ 周期性报告合同的申请

0 0 0 0 0 1 1 1	申请周期性合同, 标号7
0 0 0 0 0 1 0 1	合同号5
0 0 0 0 1 0 1 1	报告率, 标号11
1 1 0 0 1 0 0 1	标度因子64/报告率基数9
0 0 0 0 1 1 0 0	飞机标识信息组、标号12
0 0 0 0 0 0 1 1	报告率模数3
0 0 0 1 0 0 0 0	气象信息、标号16
0 0 0 1 0 0 1 1	报告率模数3
0 0 0 1 0 0 0 1	飞机信息组、标号17
0 0 0 1 0 0 1 1	报告率模数3
高位      低位	





#### ◆ 合同的确认

00000111	气象信息、标号16
00000101	报告率模数3
申请和确认只发一次	





#### ◆ 基本ADS报告

00000111	ADS报告, 标号7
00011001	纬度: 北36° 11.9'
10111101	
10110101	经度: 西95° 53.3'
11011110	
10000000	
10000011	高度: 14480ft
10001001	
00101101	时间印记: 48min35s
10001100	FOM: TCAS不工作
00001011	定位精度<1n mile, 双套导航系统工作





#### ◆ 加选信息组

00001100	飞机标识, 标号12
00001100	
00011110	
01110100	
11001010	CA942空空空
00001000	
00100001	
00010000	气象信息组, 标号16
00101000	风速: 40n mile/hr
00010101	风向122°
10111110	
11000000	气温-20 ° C
00010001	飞机标识, 标号17
01111000	
00000000	2446号飞机的24位地址码
00000001	





4

## 广播自动相关监视 (ADS-B)





- ADS-B概述
- ADS-B组成
- ADS-B功能
- ADS-B可传送的信息
- ADS-B报告
- ADS-B数据链





### ➤ ADS-B概述

- ◆ ADS-B是ADS技术的一种，以自发报告对外广播飞机自身信息并且接受其他飞机的广播信息，达到飞机间相互感知，也可实现地面ATC对飞机的监视。

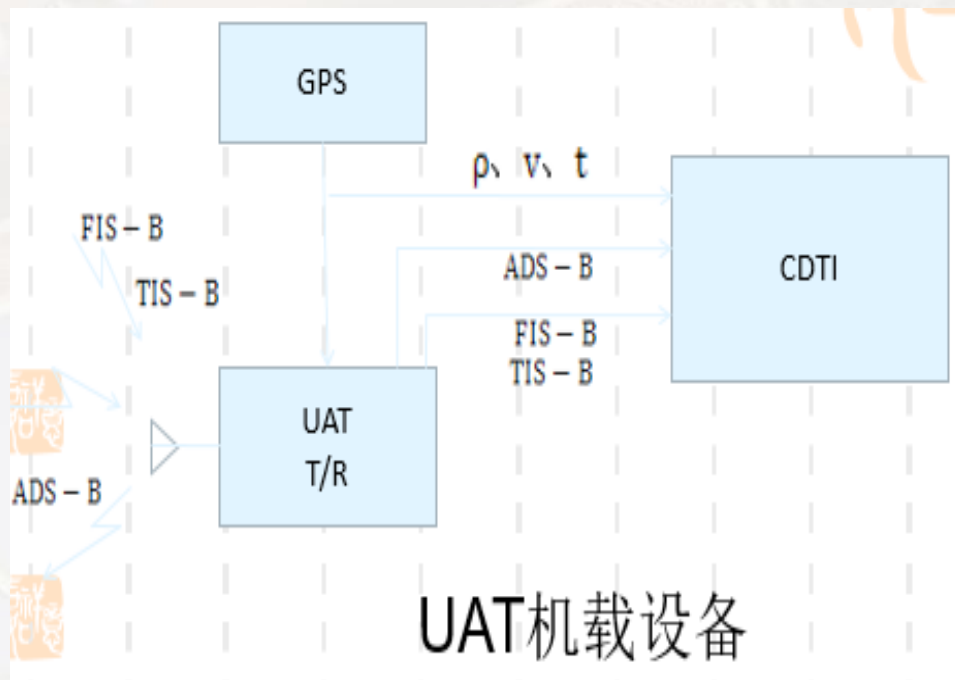


### ➤ ADS-B组成

◆ 机载设备：导航传感器、收发信机、显示单元

◆ 数据链：UAT、1090ES、VDL4

◆ ATC终端：伪雷达机载设备





### ➤ ADS-B功能

#### ◆ 空-空监视、地-空监视、地-地监视

- ADS-B是监视技术的一次飞跃 会促进空管制度变革
- 空管的责任由管制员单独负担到与驾驶员共同负担是 (Free flight)  
自助飞行的基础 (克服了点对点传送)
- 空管由地面向空中转移的基础
- 飞行员由瞎子变为看得见





### ➤ ADS-B可传送的信息

- ◆ 标识号：飞行标识、飞机标识类型
- ◆ 状态矢量：位置、速度、意向
- ◆ 状态和意向：紧急/优先状态；非法进入/油量不足、当前意图；航路意图
- ◆ 分类号：显示能力、冲突避免、精密进近
- ◆ 所需的信息广播：为引入新的应用而备用





### ➤ ADS-B报告

- ◆ 状态矢量 (SV) 报告：飞机的标识、4D、空速、地速等17项
- ◆ 模式状态 (MS) 报告：如呼号、分类、TCP等13项
- ◆ 条件报告 (OC)：为支持未来能力而提供



### ➤ ADS-B数据链

#### ◆ 1090ES

- 与“S”SSR和ACAS应答频率共享

#### ◆ VDL-4

- 除广播功能外，也可提供点对点服务
- STDMA、19.2Kbps

#### ◆ UAT

- 专为ADS-B设计
- TDMA
- 一帧为1s (GPS的UTC启始)
- 前段为188ms 用于地面发送
- 后段为812ms用移动用户 (空地共享)
- 帧前帧后各有12ms保护时间





### □ 三种体制的比较

1090ES和VDL4, ICAO制定了SARPS (标准建议措施); UAT在完善中。

AMCP: UAT用RS码

VDL4用CRC编码 (16位)

1090ES用24位CRC编码

- UAT: 总体优良; 用于GA飞机; 成本低
- VDL4: 传播特性好; 有承继性; 用于中、小型机 成本较低
- 1090ES: 技术并不优于UAT、VDL4; 但唯一标准化的ICAO链路; 无线电频谱获国际电联批准; 技术成熟

目前, 大型商用飞机首选1090ES (中短期), GA首选UAT。ADS-B无租用数据链费用。长久看, 会出现容量更高的数据链, 例如, 移动自主组网技术。



# 本章小结

WXR

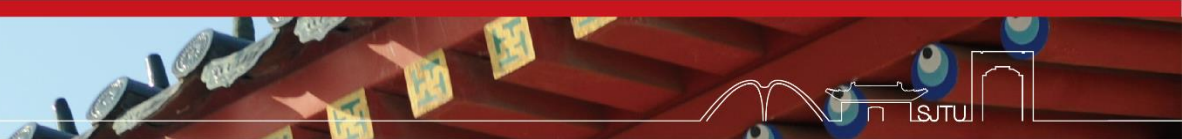
TAWS

TACS

ISS



上海交通大学  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



1. 阅读5~10篇论文，关于以下方向：

- ❑ IAESS/AESS/ISS
- ❑ ISS系统综合与仿真
- ❑ ISS全数字/半物理仿真

并选择其中一个方向做个5mins PPT介绍与交流。



Thanks!  
Questions?



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

上海交通大學