

绪论

1

民航监视技术的发展对管制工作的方式有怎样的影响？

人工相关监视：

通信（人工传送飞机的位置报告），程序管制

雷达监视：

一次雷达、二次雷达，雷达管制

自动相关监视（ADS）

数据链自动传送飞机位置信息

数据链管制

2

比较 PSR、SSR、ADS 和 MLAT 四种监视技术的优缺点。

1. 空管一次监视雷达（PSR）

优点：非协同式监视，可对不具备机载应答机功能的航空器实现监视

缺点：无航空器识别能力，建设、运行维护成本高

2. 空管二次监视雷达（SSR）

优点：协同式监视，可提供比空管一次监视雷达更多的监视目标信息。

缺点：建设维护成本高。

3. 广播式自动相关监视（ADS）

优点：提供更多的监视目标信息，定位精度高，数据更新率快，建设、运行维护成本低

缺点：由于其依赖全球导航卫星系统（GNSS）对目标进行定位，所以广播式自动相关监视系统本身不具备对目标位置的验证功能，如果航空器给出的位置信息有误，广播式自动相关监视地面站设备（系统）无法辨别。在全球卫星导航系统失效情况下，广播式自动相关监视系统不能正常工作。

4. 多点定位（MLAT）

优点：协同式监视，定位精度高，数据更新率快，不需要额外的机载电子设备，建设、运行维护成本低。

缺点：定位精度依赖于地面站的位置精度、站点布局和时间同步精度。

民航一次雷达

1

简述雷达的定义？

利用无线电波发现目标并测定其位置的设备。

2

雷达有哪些类型？

按雷达应用分类：军用雷达、民用雷达

按雷达工作方式分类：主动式（一次雷达）、应答式（二次雷达）、半主动式、被动式

按雷达波形分类：脉冲波雷达、连续波雷达、脉冲压缩雷达、编码雷达

按波长分类：米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达、毫米波雷达

按波段代号分类：L 波段雷达、S 波段雷达、X 波段雷达

按测量目标的参量分类：测高雷达（Z）、两坐标雷达（X，Y）、三坐标雷达（X，Y，Z）、测速雷达、目标识别雷达

按天线扫描方式分类：机械扫描雷达、相控阵雷达、频扫雷达

3

雷达一般由哪些部分组成？

发射机、接收机、天线、收发转换开关、信号处理、终端设备

4

雷达在距离、角度和速度的测量方面，分别应用了什么原理？

距离：通过雷达回波的时间测算距离（雷达信号传播速度为光速）。 $R = c \cdot t / 2$

角度：1.最大信号法 2.最小信号法 3.等信号法 让具有方向性天线 360 度旋转，当反射信号 1 最大 2 最小 3 相等 时，天线发射信号角方位即为目标的角方位。

速度：当目标和雷达站之间存在相对速度时，接收到回波信号的载频相对于发射信号的载频产生一个频移，即多普勒频移

$f_d = 2V_r / \lambda$

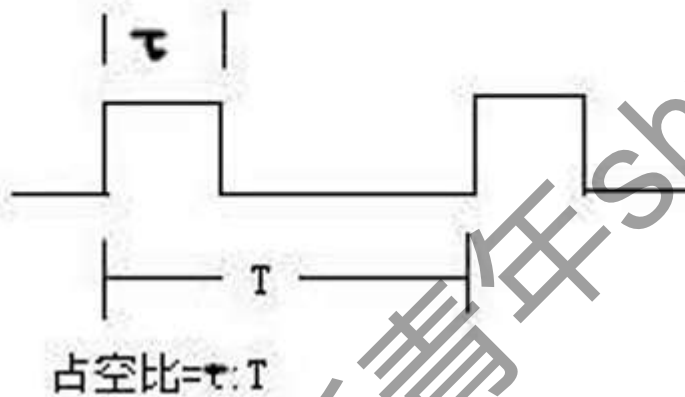
当目标向雷达站运动时， $V_r > 0$,回波载频提高;反之， $V_r < 0$,回波载频降低。

5

什么是雷达最小探测距离?

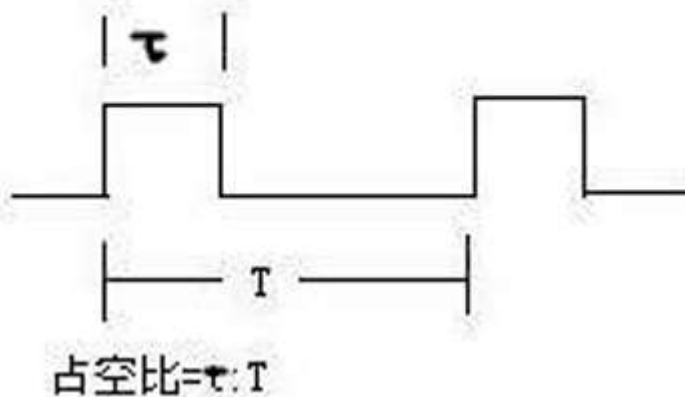
对于脉冲雷达，在脉冲高电平时发射电磁波，在低电平时接收电磁波，同时开关由发射转换为接收还需要一段时间 t_0 ，那么雷达最小探测距离为

$$R_{min} = \frac{1}{2} c \times (\tau + t_0)$$



对于脉冲雷达，在脉冲高电平时发射电磁波，在低电平时接收电磁波，同时开关由发射转换为接收还需要一段时间 t_0 ，那么雷达最小探测距离为

$$R_{min} = \frac{1}{2} c \times (\tau + t_0)$$



6

什么是接收机灵敏度？这个参数如何影响雷达的工作性能？

指接收机接收微弱信号的能力，用雷达最小可探测功率 S_{rmin} 表示
接收机灵敏度越高，接收机接收到的最小微弱信号越低，探测距离越远。

7

简述雷达分辨力与脉冲宽度之间的关系。

脉冲宽度加宽，会导致雷达距离分辨力变差。距离分辨力与脉冲宽度有密切的关系。在雷达显示器上，回波信号的波形与雷达发射脉冲宽度是成比例的。如果发射脉冲太宽，从第一个目标和第二个目标反射的回波，就会重叠在一起，分不清是两个目标。如果雷达采用很窄的脉冲，那么就可以分清两个反射回波，而且能测出两架飞机相隔的距离。在军事防空体系中，对雷达的距离分辨力要求很高。所以脉冲宽度要尽量采用窄一些的，但这样又与增大雷达作用

8

推导一次雷达方程。简述雷达峰值功率、天线增益、天线有效孔径面积、目标雷达散射截面积和接收机灵敏度等参数与雷达最大作用距离之间的关系。

雷达的作用距离是雷达最重要的性能指标。一次雷达是靠目标后向散射回波能量来探测目标的。

(1) 若雷达天线全向发射电磁波，则距离R处的功率密度：

$$\rho_0 = \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

(2) 由于雷达采用定向天线，它使发射功率的大部分集中在波束所指向的方向上。设发射天线的增益为G，那么R处的波束内的功率密度为：

$$\rho_1 = \frac{P_t G}{4\pi R^2}$$

(3) 若目标的雷达散射截面（Radar Cross Section, RCS）为 σ ，那么目标所散射的功率为：

$$P_\sigma = \frac{P_t G \sigma}{4\pi R^2}$$

(4) 目标散射是全向的，因此返回到雷达天线处的回波功率密度为：

$$\rho_2 = \frac{P_\sigma}{4\pi R^2} = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2}$$

(5) 若雷达天线的有效孔径面积为 A_r ，那么天线接收到的功率为：

$$P_r = \frac{P_t G \sigma A_r}{(4\pi R^2)^2}$$

令 $P_r = S_{r(min)}$ ，则

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G \sigma A_r}{16\pi^2 S_{r(min)}}}$$

(6) 由于 $A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$ ， $G_r = G$ ，因此雷达方程可写为：

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t \sigma A_r^2}{4\pi \lambda^2 S_{r(min)}}}$$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{r(min)}}}$$

9

在雷达信号处理过程中，如何采用门限电压的方式发现目标？有什么信号检测的方式可以改善雷达的发现性能？

雷达所接收的电磁波信号中不仅有目标回波信号，还有地面反射回波等干扰信号。我设定一个接收信号的电压值，当接收到的信号电压小于设定电压（一般杂波电压低），我们认为不是目标信号。

可以使用脉冲积累的方式改善雷达的发现性能，包括相参积累和非相参积累。可提升目标检测率，并降低虚警率。

10

简述航路监视雷达、机场监视雷达、精密进近雷达和场面监视雷达的特点。

航路监视雷达（RSR）

1. 一种远程搜索雷达
2. 作用距离约为 300~500 公里
3. 主要用于几件事连接各机场之间航路上和航路外的飞机活动，为管制部门随时提供在其管辖范围内的飞机活动情况。
4. 一般供区域管制用。
5. 通常将航路监视雷达连接成雷达网，以便各管制中心能了解全部空域内的空情，使区域管制更为有效，准确和及时。

机场监视雷达（ASR）

1. 也称机场调度雷达，是一种近程搜索雷达。
2. 以机场为中心，半径 100-150 公里范围内各种飞机的活动。
3. 机场近程上空的交通管制和导航，在能见度差的情况下，可以大大减小飞机起飞和着陆的时间间隔，提高起飞和进场着陆的效率，保证飞行安全。

精密进近雷达（PAR）

1. 精密进近雷达也称着陆雷达。
2. 作用是监视进近着陆空域内的飞机。
3. 作用距离约 60 公里。
4. 缺点是飞行员被动，需服从地面管制人员的指挥。

场面监视雷达（SMR）

1. 近距离监视雷达。
2. 监视机场的飞机和车辆活动。

11

简述一次雷达的优缺点。

优点：可在雷达荧光屏显示器上用光点提供飞机的方位和距离，不管飞机是否装有应答机，都能正确显示。

缺点：

1. 必须辐射足够大的能量电平，才能收到远距离目标的反射信号。由于距离和辐射能量的四次方成正比，因而雷达站造价高；
2. 除了飞机以外的其他固定目标（含地物目标）也将得到显示，这将干扰目标的显示。

- 3.不能对飞机识别，除非要求飞机作特技飞行。
- 4.不能显示飞机当时的高度。
- 5.回波存在闪烁现象
- 6.飞机完全处于被动发现状态，不能建立必要的数据链

民航二次雷达

1

简述民航二次雷达的工作原理。

二次雷达由地面询问雷达发射一定模式的询问信号，装在飞机上的应答机收到这个模式询问信号后，经过信号处理、译码，然后由应答机发挥编码的回答信号。二次雷达又称空中交通管制雷达信标系统，简称航管雷达信标系统（ATCRBS）。

2

什么是航管雷达？

航管雷达指航行管制雷达。其频率为 X 波段一次雷达+ L 波段二次雷达

3

二次雷达的滑窗法和单脉冲测角两种方式有什么区别？

滑窗法：雷达天线以 360° 全方位搜索扫描，当主波瓣照射到飞机，将许多应答信号返回雷达并被检测到。雷达设定一个起始窗和一个结束窗，对应各有一个确定的最小询问数和应答数。

单脉冲测角法是雷达信号最大方向（天线方向）加上/减去 目标偏离天线瞄准角的度数。

4

推导二次雷达方程。

询问方程:
$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G_t G'_t \lambda^2}{(4\pi)^2 P_{r(\min)}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

应答方程:
$$R'_{\max} = \left[\frac{P'_t G_t G'_t \lambda^2}{(4\pi)^2 P_{r(\min)}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

必须满足:
$$R'_{\max} \geq R_{\max}$$

5

二次雷达询问脉冲 P1, P2, P3 分别完成什么功能?

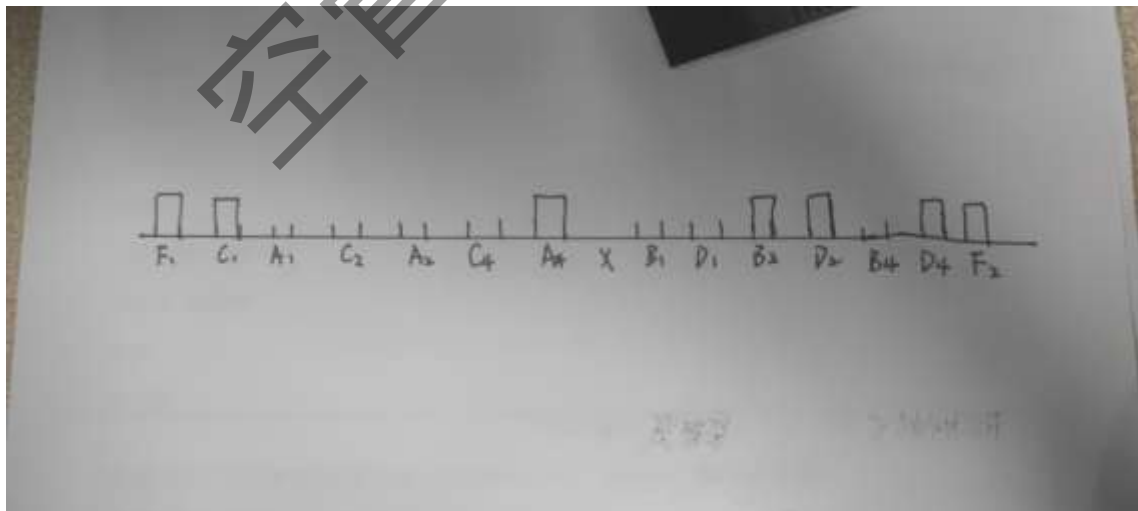
P1, P3: 询问信息脉冲, 由定向天线发射

P2: 抑制旁瓣脉冲, 用全向天线发射

6

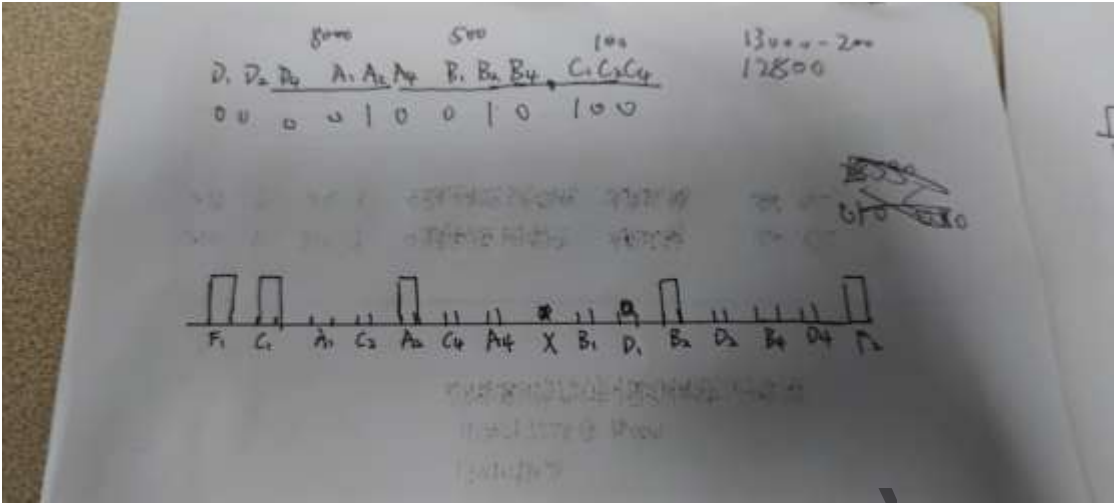
飞机识别代码 4216, 计算其对应的应答脉冲串 (画出应答帧结构)。

A4+B2+C1+D4D2



7

飞机当前气压高度 12800ft，计算其对应的应答脉冲串（画出应答帧结构）。



8

比较一次雷达和二次雷达各自的优缺点。

一次监视雷达 (PSR)	二次监视雷达 (SSR)
在作用距离相同时，辐射功率大	在作用距离相同时，地面 SSR 系统辐射功率小得多
干扰杂波较多	干扰杂波较少
存在目标闪烁现象	不存在目标闪烁现象
不能识别飞机	能识别飞机
不能获得飞机高度信息	能获得飞机高度信息
提供的距离精度较高	提供的距离精度较差

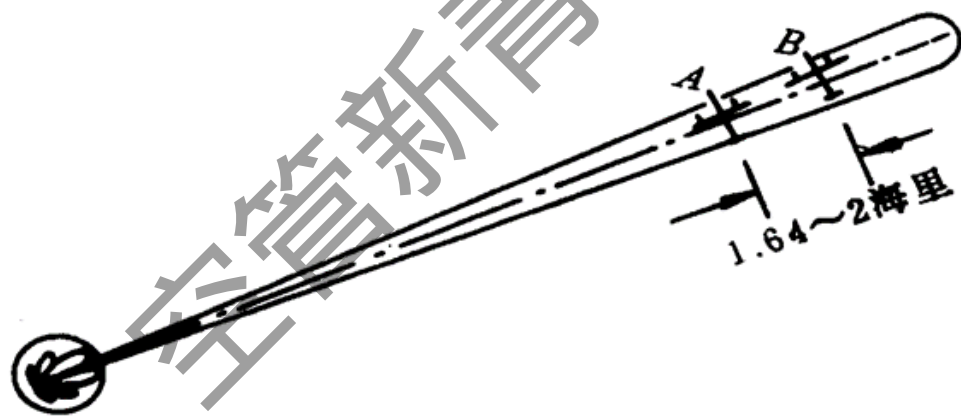
提供的方位精度较高	提供的方位精度较差
不需要应答机	需要应答机

9

什么是 A/C 模式二次雷达的同步窜扰与非同步窜扰问题？

同步窜扰：如果两架飞机处在询问波束同一方位上或波束范围内。设定两机高度差大于 300m，当斜距少于 1.64nm 时，地面接收机将收到间隔重叠的两机的回答信号。

非同步窜扰：当飞机处在两个以上地面询问机共同作用范围时，每个地面询问机除了对本站所询问飞机的回答脉冲同步接收外，还会收到因其他地面站询问飞机儿引起的非同步回答。



同步窜扰示意图

10

简述 S 模式二次雷达的特点。

单脉冲处理技术、选择性（S 模式）询问（ 2^{24} 个多址）、双向数据通信

自动相关监视

1

简述 ADS 的英文全称、基本工作原理和应用情况。

全称：Automatic Dependent Surveillance

基本工作原理：

航空器自动通过全球卫星导航系统（GNSS）以及机载导航设备来获得航空器位置、高度、识别代码等信息，实时向外以数据链的形式发送（A 为依靠契约发送，B 为广播式发送，C 为管制询问发送）。收到信息的航空器或地面设备自动的解读信息，呈现给其他机组或地面管制。

应用情况：

最早用于雷达无法实现覆盖的洋区，边远区域和空域。目前正在成为数据链通信的一大有利工具。

2

简述 ADS-A/C 的基本工作原理及其在 ATS 中的应用。

1. 在洋区和其他路基雷达覆盖范围以外的区域有效改善位置、安全、空余利用、效率。
2. 在 ADS 过渡区，ADS 与其他监视数据相融合。
3. 在雷达应用范围内应用 ADS，ADS 作为备份和辅助监视手段。

3

简述 ADS-B 技术的基本工作原理。为什么说 ADS-B 是实施“自由飞行”或者“自由航路”的可行手段。

基本工作原理：

航空器自动通过全球卫星导航系统（GNSS）以及机载导航设备来获得航空器位置、高度、识别代码等信息，实时向外以数据链的形式向外广播。收到信息的航空器或地面设备自动的解读信息，呈现给其他机组或地面管制员。

因为 ADS-B 四维位置信息和其他必要信息，来自于 GNSS 和机载设备，而无需地面设备的支撑。其次，ADS-B 为广播式发送信息，全程不需要管制员和机组操作，数据链信息到达终端后，自动翻译，将目标航空器的四维位置、航班代码等必要信息几乎无差错显示出来。

4

ADS-B 的信息来源主要有哪些？

飞行管理系统（FMS）、全球卫星导航系统（GNSS）、惯性基准系统（IRS）、惯性导航系统（INS）、大气数据机载雷达系统。

5

比较 ADS-B 的三种数据链（1090ES、UAT、VDL-4）特点。

表 5.8 3 种 ADS-B 链路的数据特性比较

链路类型	频率	信道比特率	传输率（每架）	调制方式	信息长	速率
1090ES	1090 MHz	单信道 1 Mb/s	6s	PPM	112 bit	1 Mb/s
UAT	978 MHz	978 MHz	1 次/秒	CPSFK	246 bits (短), 372 bits (长)	1.04167 Mb/s
VDL-4	118 ~ 137 MHz	每 25 kHz 信道 19.2 kb/s	1 ~ 20s 可选	GFSK/FM	192bits	19.2 Mb/s

6

中国民航对于 ADS-B 的实施规划中有哪四项基本原则？

- 1. 一个中心。以持续安全为中心。
- 2. 两个结合。近期与长远结合，引进与自主创新结合。
- 3. 三个同步。运输通用同步，空中地面同步，国际国内同步。
- 4. 四个优先。无雷达覆盖地区优先，支线机场优先，高空优先，洋区优先。

多点定位监视系统

1

简述多点定位监视系统的工作原理。

多点定位技术的定位原理是基于到达时间差 TDOA（Time Difference of Arrival）的双曲线、双曲面定位算法。将不同接收站收到同一应答信号的到达时间 TOA 配对，得到应答信号到不同站点的时间差 TDOA，即可转化成目标到不同接收站的距离差，依据双曲线、双曲面的定义，一个 TDOA 值对应包含目标位置的一条双曲线或一个双曲面，两条双曲线的交点，即是二维系统中目标的位置，三个双曲面的交点 则是三维坐标系统中目标的位置。

进行二维定位时，最少需要三个地面接收站；进行三维定位时，最少需要四个地面接收站。

2

MLAT 在机场场面的监视应用中相比于一次场面监视雷达有什么优势？

1. 造价低，维护成本低。
2. 正常情况下被动接收，满足无线电寂静。
3. 在不增加机载设备的前提下，通过多点接收机载应答机信号，利用到达时间差（TDOA）定位技术，实现了精确测量定位。
4. 解决了一次场面监视雷达系统固有的无标识问题以及机场的雷达覆盖盲区问题，实现机场区对飞机的精确定位和识别，改善繁忙机场的场面监视能力，提高机场的安全性。

3

MLAT 可以针对装有哪些种类应答机的目标进行跟踪？

S 模式、A/C 模式、ADS-B

4

MLAT 一般由哪些部分组成？

远端站、远端站和中心处理站链路、询问、多径修正机制

空管自动化系统

1

简述空管自动化系统的定义。

空管自动化系统是一个以计算机工作站为核心，由监视信息处理、航行情报信息处理、飞行数据处理、航迹预测、冲突检测与解脱、协同处理等关键部分组成，同时还包括管制员人机界面、记录/重演等系统组成的综合网络系统，也是一个实时反映航空器位置、高度和航向信息的综合信息处理工具系统。

2

空管自动化系统通过哪些冗余手段保障系统工作的可靠性？

多计算冗余（MCR）：主、备两台处理器都连接同样的外部数据源，都同时进行数据处理。只有处于主用的处理器才将处理结果输出给其他程序使用。

热备份冗余（HSR）：只有主用处理器接收外部数据输入并进行处理。处理完成后，主用处理器更新备用处理器数据库，两处理器完成数据同步后，主处理器输出结果。

冗余工作网 Operational LAN

旁路服务网 Service LAN

3

空管自动化系统的主要功能有哪些？

空管自动化系统的主要功能是对监视数据以及各种飞行计划和动态信息进行处理，实现信号与飞行动态、计划关联，提供空中飞行态势的显示和各种冲突及异常的告警。借助优化的人机界面，通过直观的图形工具和方便的自动化数据处理以及有效的预警功能，管制员能了解空中交通的实时信息，更有效地为所辖空域内航空器提供管制服务、情报服务和告警服务。

4

空管自动化系统中的飞行数据处理单元主要包括哪些功能？

飞行数据处理(FDP)重点是实现飞行计划处理、飞机位置外推、飞行计划冲突探测、电报管理、二次雷达应答机代码管理、飞机移交管理、空域管理和辅助流量管理等功能。

5

空管自动化系统中飞行数据处理单元需要处理哪些类型的信息？

1. 从管制员工作站上编辑、输入、修改的数据和飞行情报
2. 民航 AFTN 飞行情报报文
3. 从重复性飞行计划库（RPL）中获取的飞行计划
4. 从飞行情报网（FIN）接收的飞行情报报文
5. 通过用户附加设施接口传来的飞行计划信息、气象和航行情报信息

6

什么是飞行计划数据记录？

飞行数据记录（FDR）是系统对所有飞行计划在有效期内执行的各种活动的综合历史记录，也是系统处理飞行计划的依据。

飞行计划信息不仅可以从 **AFTN** 获取，还能从航班时刻表的输入中获取重复性飞行计划，以及从共用的非航班飞行计划数据库（**STEREO**）获取非 **gud** 飞行计划。

7

空管自动化系统中飞行计划的生成有哪三种方式？

1. 从 **AFTN** 获取
2. 从航班时刻表输入中获取重复性飞行计划
3. 从共用的非航班飞行计划数据库（**STEREO**）获取非固定飞行计划

8

什么是飞行计划的生命周期？通常系统定义的飞行计划生命周期中的状态有哪几种？

一个飞行计划从生成到消亡的整个生命过程，**FDP** 将实时使用定义的系统飞行计划生命周期的一系列状态、有限自动机状态转换的模型和流程实现飞行计划的处理。

通常系统定义的飞行计划状态有四种：

静止状态：所有计划状态的最初状态；

预激活状态：计划将要激活前的状态；

激活状态：飞机在管制区内飞行时所处的状态；

终止状态：所有计划的最终状态；

9

什么是 4D 航迹？

位置、高度、预计时间

10

RTP+MTP 和 **MRTS** 两种雷达数据处理方式有什么区别？分别应用在什么场景？

进近分部采用的雷达航迹处理方式是多雷达航迹处理(**MRTS**)，与区域分部 **RTP+MTP** 的方式不同。多雷达航迹处理(**MRTS**)的处理方式是 **MRTS** 处理器直接接收雷达送来的飞机点迹(**Plots**)进行融合计算生成系统航迹(**System Track**)，不采用 **RFP** 生成的单机航迹。而且，**MRTS** 的航迹处理模式也与

MTP 不同，它采用卡尔曼滤波技术对飞机进行追踪处理，生成航迹的精确度要比 MTP 胜出许多。

MRTS：进近分部

RTP+MTP：区域分部

11

为什么在雷达数据预处理的过程中需要进行坐标投影变换？

雷达探测到目标数据为本地坐标系中的斜距、方位角、高度等，这些测量数据需要首先转换成大地经纬度坐标数据，才能进行投影。

12

针对雷达数据质量监控的内容包括哪些？

1. 雷达数据的 CRC 校验错误包数，特殊字符检查等。
2. 从雷达对特定测试目标的探测结果，得到对雷达探测能力的判断。
3. 从雷达对同一目标的位置信息的实时校对，得到雷达的近似误差。
4. 报文数据项丢失统计及报文数据项内容核查。

13

什么是航迹外推？

当某一航迹失去相关点迹数据时，将其状态转入外推航迹状态，并将其输出的目标状态视为状态预测值，如出现新的相关点迹，恢复为正常航迹。

14

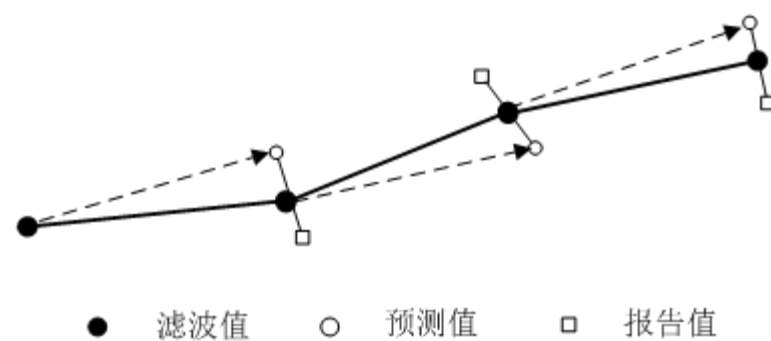
什么是相关门？相关门的尺寸和大小选择会对航迹生成产生怎样的影响？

相关门就是以某次雷达扫描的预测值为中心的一个空间区域，它是确定一个观测是与已知航迹相关还是新的目标的初步验证，落入相关门内的观测才进行下一步的航迹观测配对。如果只有一个观测值位于航迹波门以内且该观测值没有位于其他航迹波门之内，则该观测值和该航迹相关，然后用该观测更新航迹。如果多个观测值在航迹波门之内，或者一个观测值位于多个波门之内，就需要更进一步的相关逻辑处理。

确定相关门的形状和大小时，应使与航迹相关的观测落入波门之内的概率很高，同时减少无关的观测。相关门尺寸过大，虽然可以适应目标机动性的要求，但落入波门内的无关观测和虚假观测也会随之增加，航迹观测的相关处理

相应变得复杂。相关门尺寸过小，虽然较少了无关观测和虚假观测，相关处理相对简单省时，但容易造成无法和正确观测相关，不适应处理机动目标。因此确定相关门的形状和大小应该充分考虑各个相关因素，如目标模型误差，传感器探测误差，目标的运动速度和机动规律，雷达扫描周期，目标航迹的质量等。

15



如上图，描述航迹生成的具体过程。

1. 在本次航迹滤波值的基础上根据目标运动模型估计目标未来的状态获得航迹预测值和预测轨迹。
2. 以预测值为中心形成航迹波门，根据报告值与该航迹配对获得相关观测。
3. 利用该观测更新航迹，滤波把本次相关的观测和预测航迹估计合并进行处理形成新的目标参数和更新的航迹。

16

自动化系统多雷达数据融合过程中时空对准包含哪些内容？

包括时间轴对准和雷达头数据处理延时补偿

17

什么是多雷达数据系统中的航迹相关？需要解决什么问题？

当传感器获取的目标已经被跟踪，可以通过获取目标参数中的航迹号来识别同一个目标。雷达获取的航迹包括目标的相对坐标位置，航迹号，高度，SSR码和目标的特征性质等数据。由于航迹是已经被跟踪，一个目标航迹在其生命周期内可以通过一个唯一的航迹号来确认该航迹。在这种情况下相关处理就比较简单，而且很大程度上减少了程序的计算量。

问题：航迹关联算法需要解决多个本地航迹之间的关联，以及与系统航迹之间的关联问题。

多雷达数据融合中为什么要按照空域带划分进行处理？

为了使系统区域内的任一目标获得均等的处理概率，按一定层次一定规则刷新，将系统区域划分成若干个子区域顺序处理。

ATC 覆盖区与单雷达覆盖区情形不一样，覆盖区内有多部雷达，作不同步、不同心的圆周扫描，各航线飞机的 ADS 目标报告互相独立。

空管新青年shv