



# 第七章 GNSS导航性能

中国民航飞行学院飞行技术学院

张光明 副教授

2009年12月29日



# 内容

- SIS的要求
- 完好性的概念
- 监视完好性的不同方式
- 监视精度
- 接收机类型
- 附件10对SIS的要求
- 可用性和连续性
- 基于完好性等级的运行

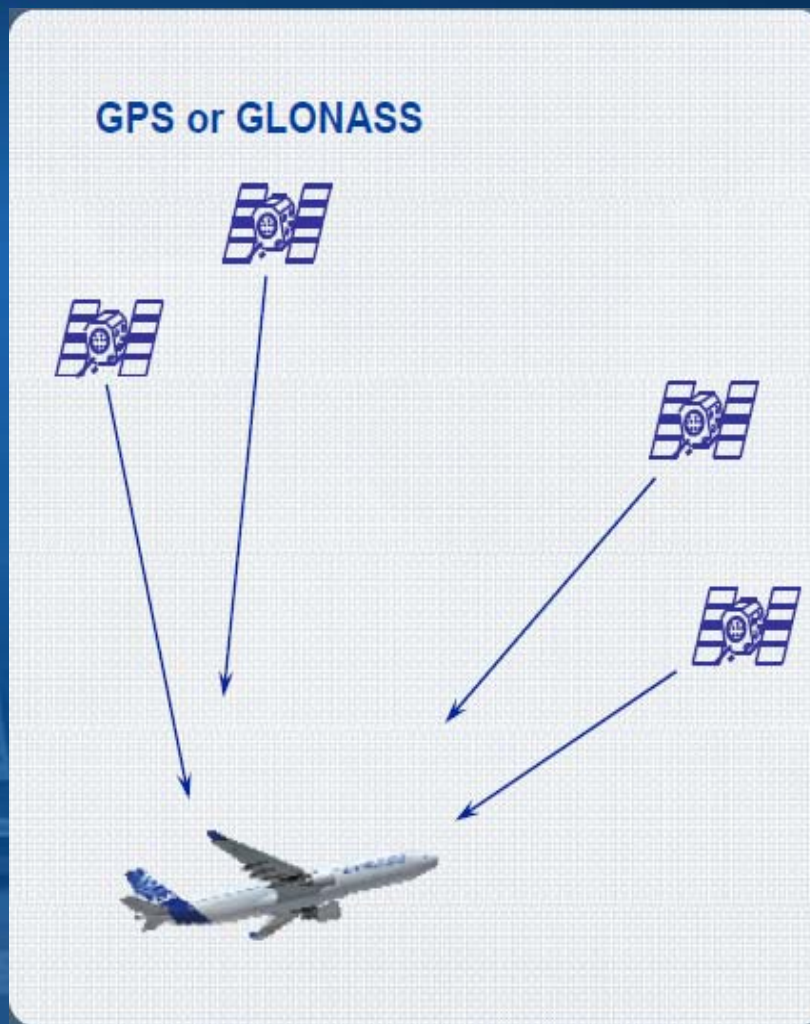


# SIS要求

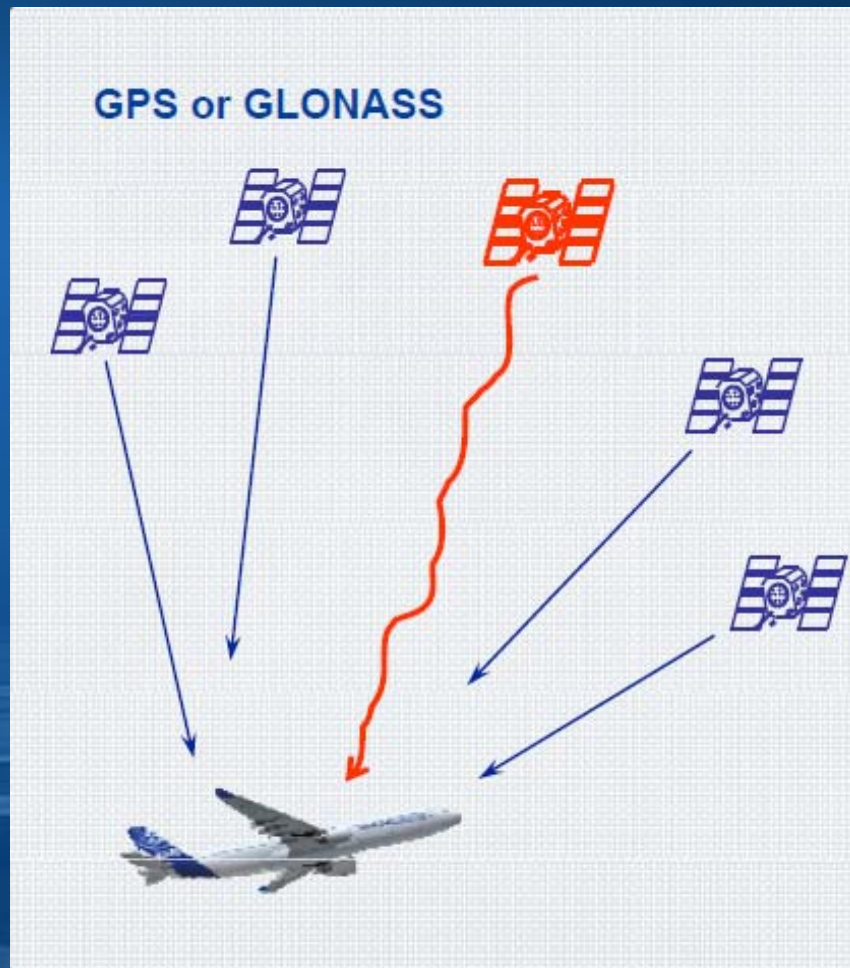
- 确保**SIS**能够用于安全可靠运行，需要考虑以下四方面：
  - 精度
  - 完好性
  - 可用性
  - 连续性



# 确信“SIS”可实现安全运行



# 确信“SIS”可实现安全运行



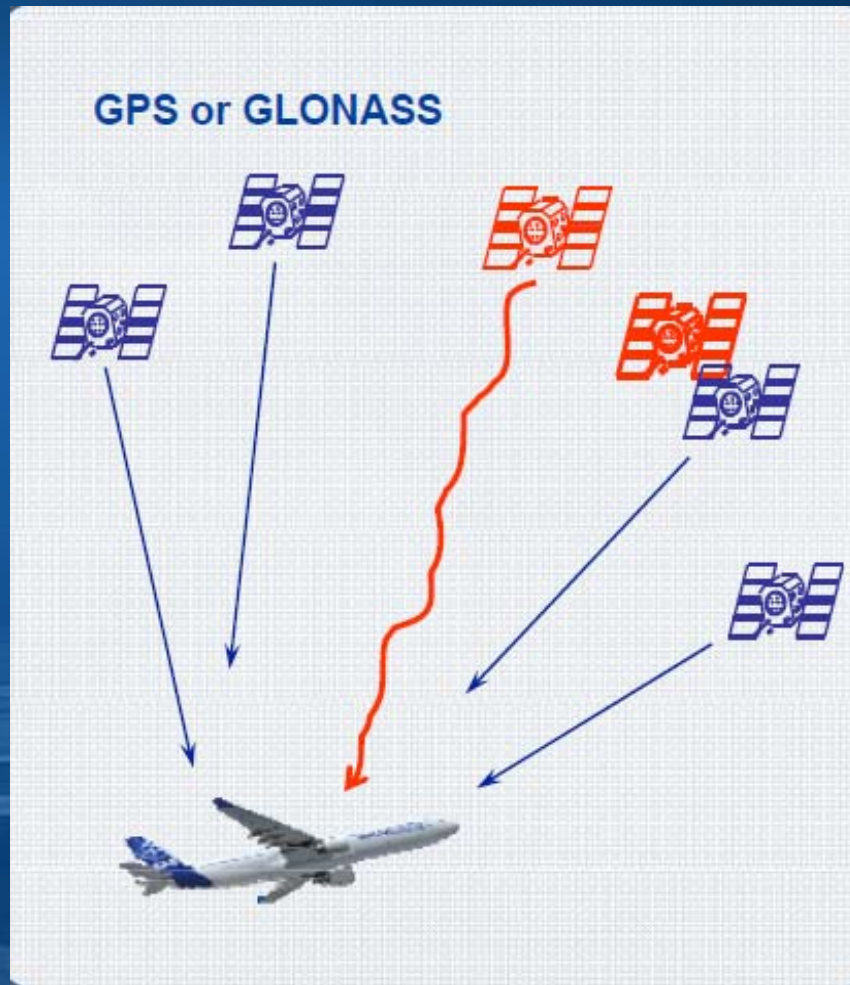
- 卫星可能广播

- 几个小时的错误信号

- 最终影响伪距测量精度，带来测距误差；
    - 伪距测量误差，会带来定位误差。

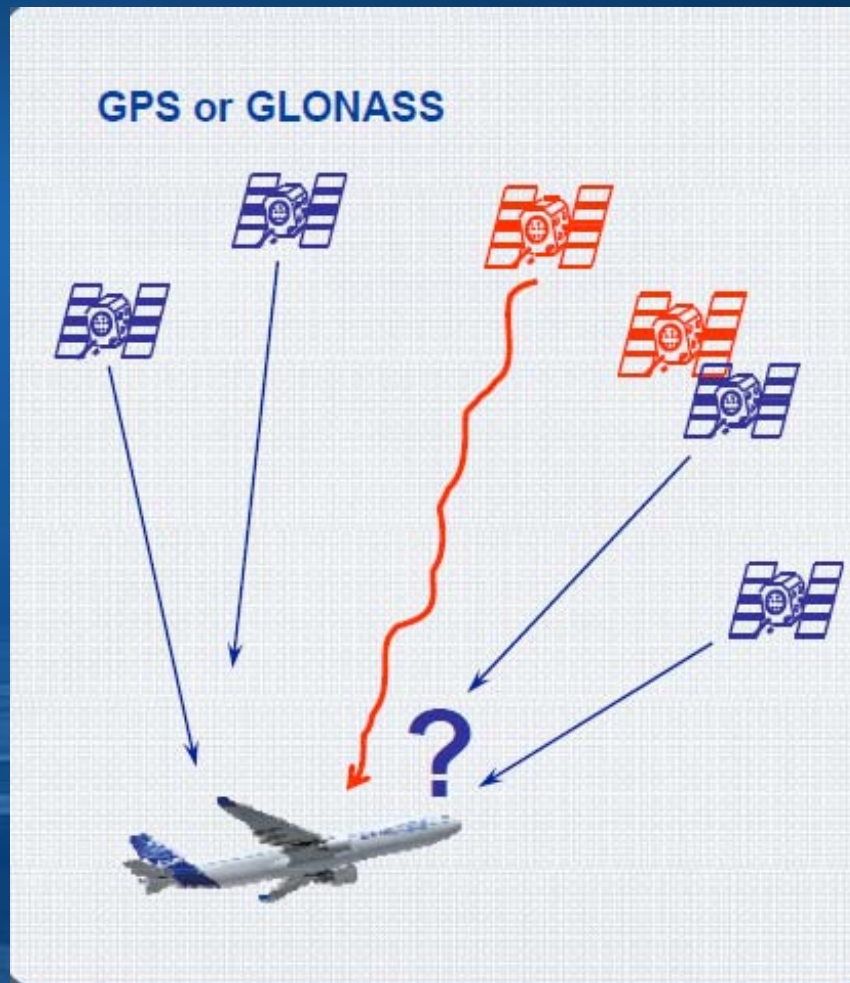


# 确信“SIS”可实现安全运行



- 卫星可能广播
  - 几个小时的错误信号
    - 距离误差
  - 错误的时钟或星历数据
    - 定位误差

# 确信“SIS”可实现安全运行



- 卫星可能广播
  - 几个小时的错误信号
    - 距离误差
  - 错误的始终或星历数据
    - 定位误差
- 用户需要
  - 知道计算的位置的质量
  - 出现异常时应予以告警

这是检查SIS的完好性



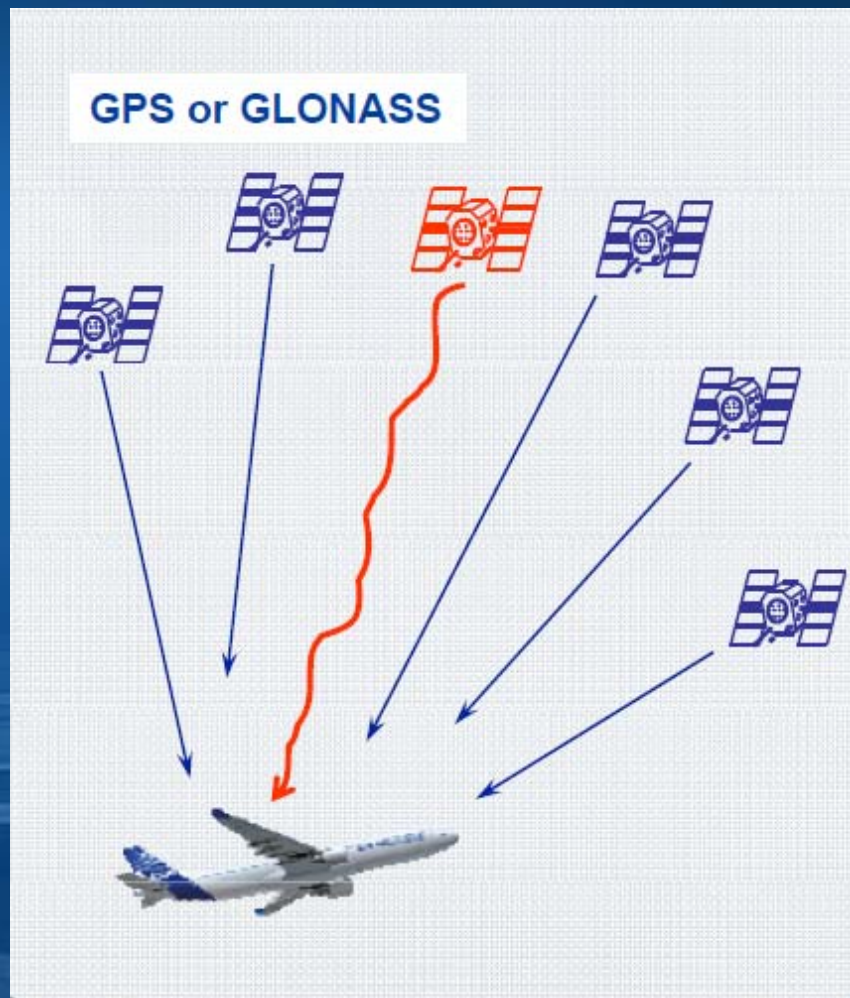


# GNSS完好性监视

- GNSS完好性监视技术，目的是监视GNSS定位的质量
- 多种技术：
  - 自主方式（ABAS）
    - 仅使用GNSS测量的冗余信息，实现接收机自主完好性监视（RAIM）
    - 使用来自其他传感器的附加信息，如气压高度表信息、惯性导航系统信息等，实现航空器自主完好性监视（AAIM）
  - 使用地面站，如地基增强系统（GBAS）
  - 使用地面站网络，如多个参考站的星基增强系统（SBAS）
- 所有的这些系统，应包括故障检测（FD）或故障检测与排除（FDE）功能。

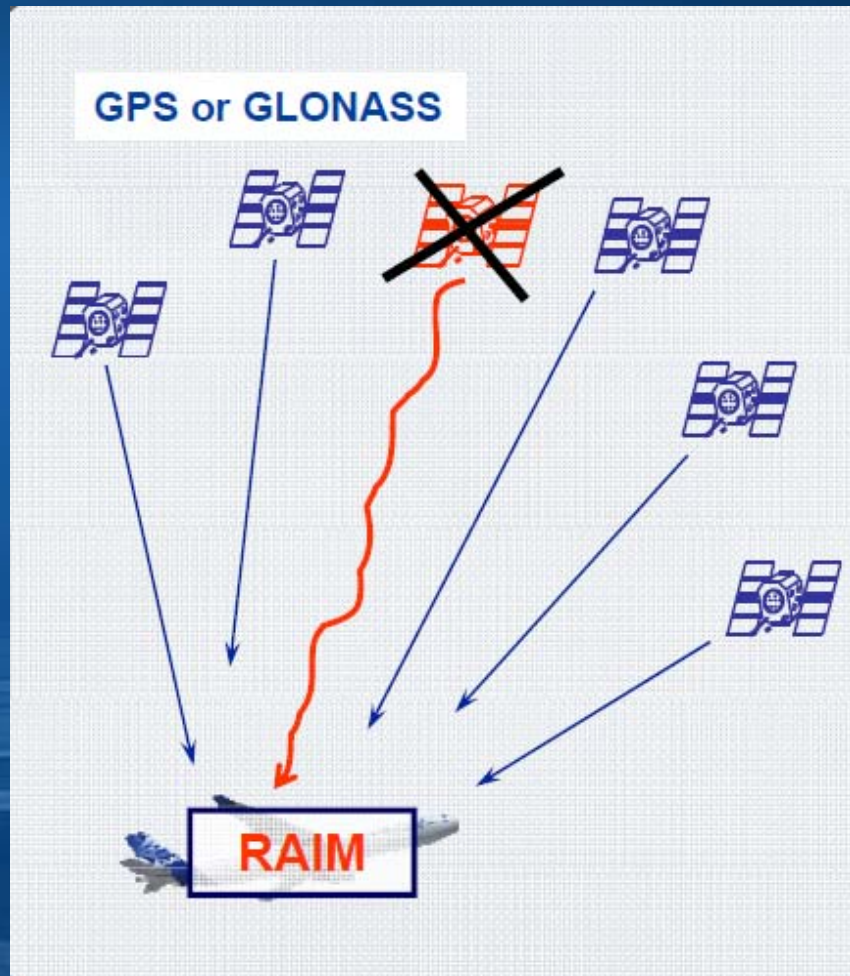


# 确信“SIS”可实现安全运行



- 4颗卫星确定3D位置和授时；
- 通常，航空器可以观测到更多的可用卫星（6~12颗）

# 确信“SIS”可实现安全运行



- 4颗卫星确定3D位置和时间
- 通常有更多的可用卫星（6~12颗）
- RAIM使用
  - 5颗卫星用于故障检测（FD）
  - 6颗卫星用于故障检测与排除（FDE）
- RAIM提供完好性监视和告警功能

机载RAIM功能确保完好性





# RAIM定义

RAIM是机载增强系统（ABAS）的一种方式，它只使用GPS信号、或者气压高度表辅助来确定GPS导航信号的完好性。该技术通过监测冗余伪距观测值的一致性来实现。接收机/处理器要执行RAIM功能，除了定位所需的卫星外，还至少需要接收到另外一颗具有合适几何构型的卫星信号。





# RAIM的可用性

- 取决于飞行阶段
  - 航路飞行的可用性，优于进近阶段
- **RAIM/ABAS**不足以用于**APV**或精密进近运行
- 根据特定地点、时间段的卫星历书数据，进行完好性预测
  - 预测工具：
    - 欧洲的“AUGUR GPS RAIM”预测网站  
<http://augur.ecacnav.com/augur/app/home>
    - FAA建设的RAIM预测网站  
<http://www.raimprediction.net>

## AUGUR GPS RAIM Prediction Tool - GPS Status

[GPS Status](#)[Terminal/Approach Tool](#)[Visibility Tool](#)[Route Tool](#)[Nav Domain Home](#)[Mirror Site](#)[Help](#)

如果能预测到在计划飞行的任何飞行阶段，失去**RAIM**超过**5**分钟，则应推迟或取消飞行计划，或者满足**RAIM**的区域重新制定飞行计划。

A minimum of 30 satellites are available during the query period.

B-RNAV en-route predictive RAIM check **not** required.

### Scenario Information

Start Time	30/11/2009 00:00:00 UTC
End Time	03/12/2009 00:00:00 UTC
Request Time	30/11/2009 14:28:20 UTC

### Current Almanac

GPS Week	536
GPS TOA	233472
Total Satellites	31
Unhealthy Satellite PRNs	[1]
Details	<a href="#">Full Text</a>   <a href="#">Sat Info</a>

### Current NANUs

No NANUs are currently active.

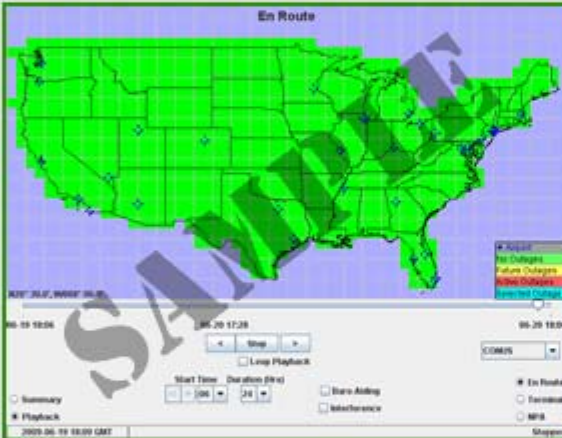
[AUGUR Disclaimer](#)



Current Status: **There is at least one Enroute or Terminal TSO-C129 outage**

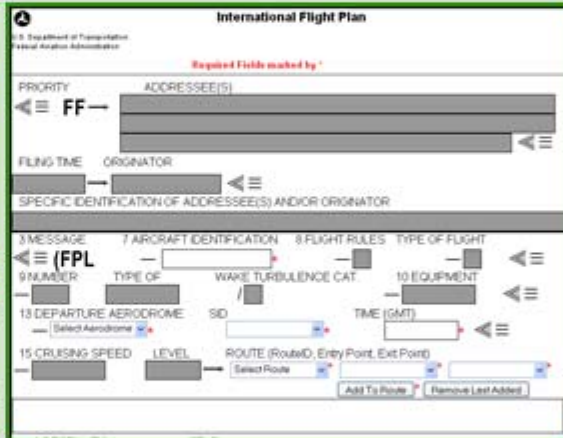
Select an option below:

### Grid Display Tool



[Help](#)

### ICAO Flight Plan Tool



[Java Test](#)

Select one of the images above to begin using that tool

## Summaries

Phase-of-flight	With Baro-Aiding	Without Baro-Aiding
En Route		
Terminal	<a href="#">view</a> 	
NPA*		





# SBAS和GBAS

- 监控卫星失效情况
- 用于监视**SIS**，并向用户发送如下信息：
  - 伪距修正量
  - 告警信息（如信号受到人为干扰）
- **SBAS和GBAS的完好性**
  - 修正量可用于所有飞行阶段
  - 传输给用户的数据，确保没有破坏



# 术语（附件10）

- 完好性

- 包括系统为用户提供及时和有效的告警能力（告警）。

- 精度

- GNSS位置误差，是指估算位置与实际位置之间的差异。对于一具体地点的位置估算，位置误差在精度要求内的概率不小于95%。



# 完好性风险

- 有可能提供的信号在容差之外，但

系统却没有告警

- 不同飞行阶段和不同导航规范规定的告警时间不同，如航路是5分钟，而CAT I精密进近是6秒钟





# 告警限制

- 告警门限
  - IMAL
  - HAL
  - VAL
- 所有飞行阶段，定义不同的值
- 告警门限，代表安全运行所允许的最大位置误差，位置误差用导航性能来体现。

# 完好性评估（SBAS和GBAS接收机）

- **NSE**:机载系统计算出的位置误差
  - 卫星几何构型
  - **SIS**质量（传播误差等）
- **VPL**或**HPL**: 在飞行中无故障情况下，机上计算的误差保护门限值，保护用户免除噪声影响。
- **HAL**或**VAL**: 为导航系统提供的最大位置误差，超出该值，监视系统发出告警信息。



# GNSS完好性概念

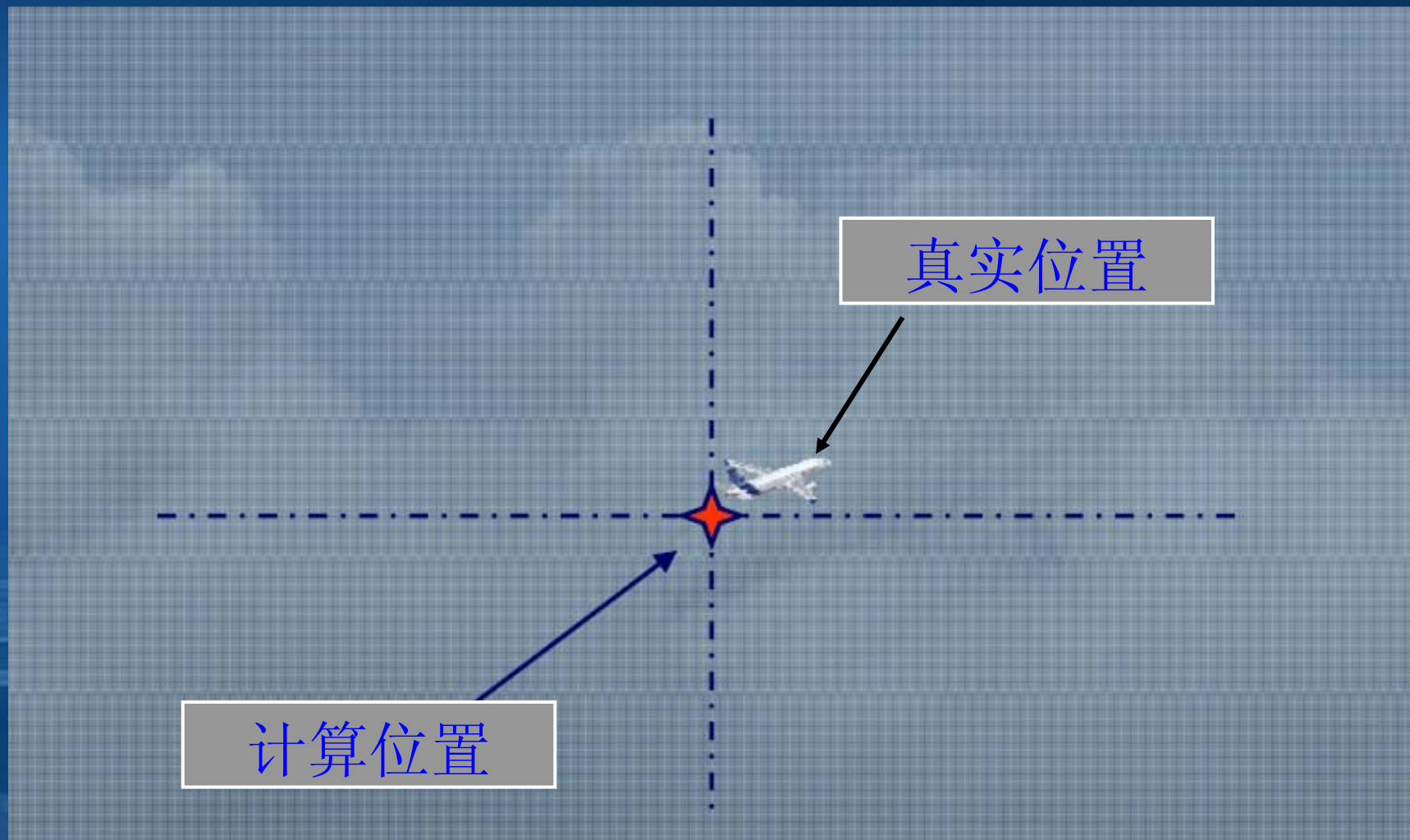


20/52





# GNSS完好性概念





# GNSS完好性概念

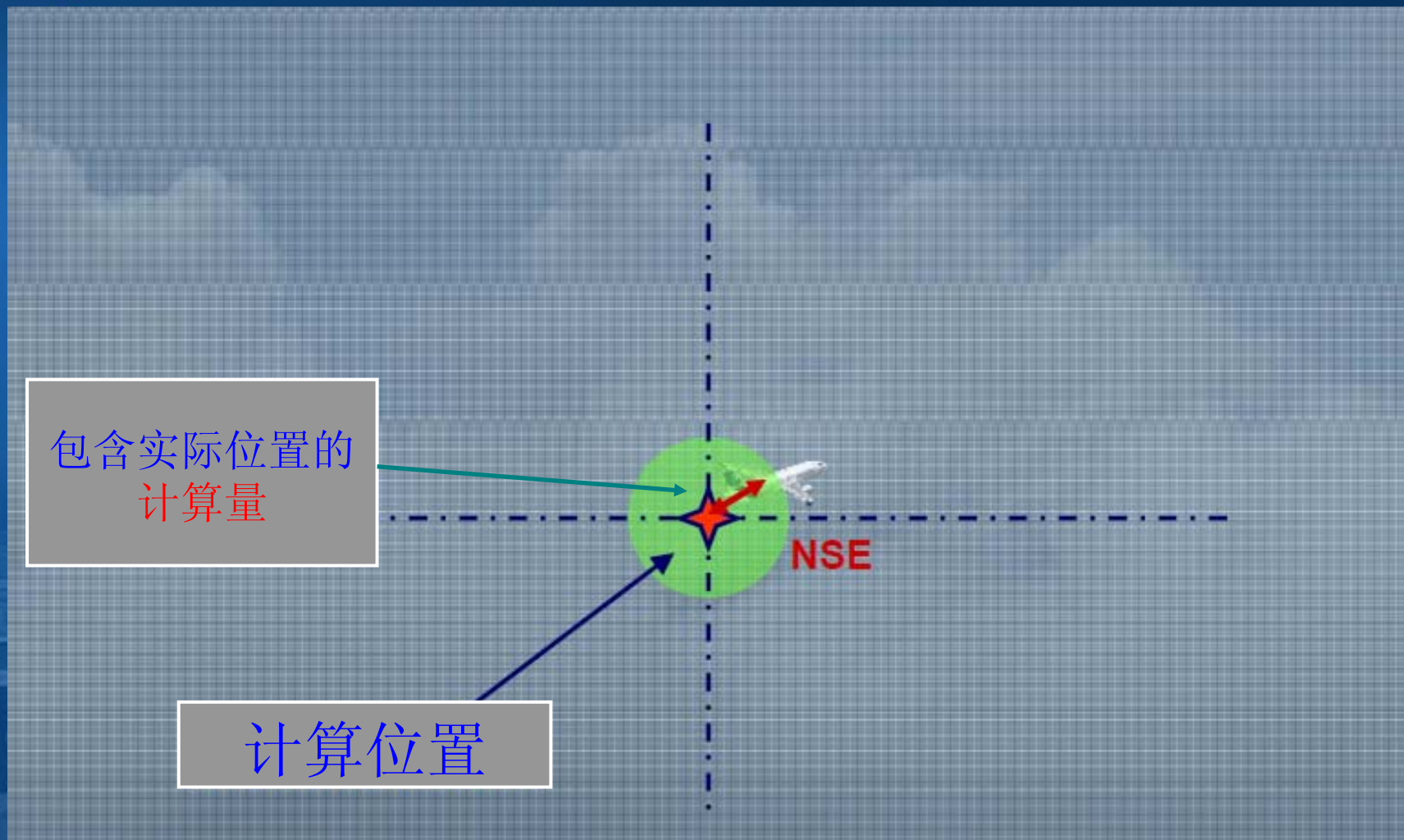


计算位置





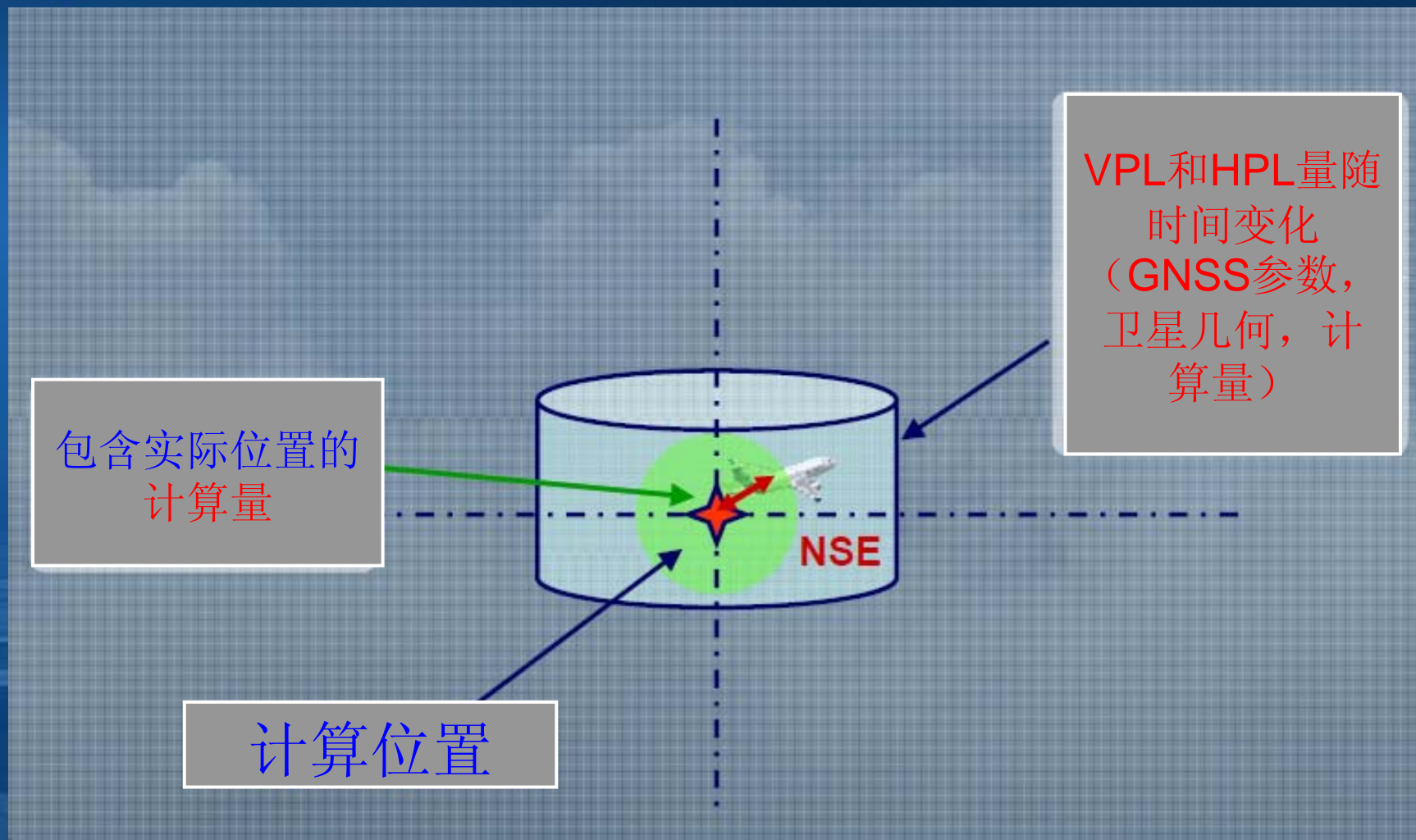
# GNSS完好性概念





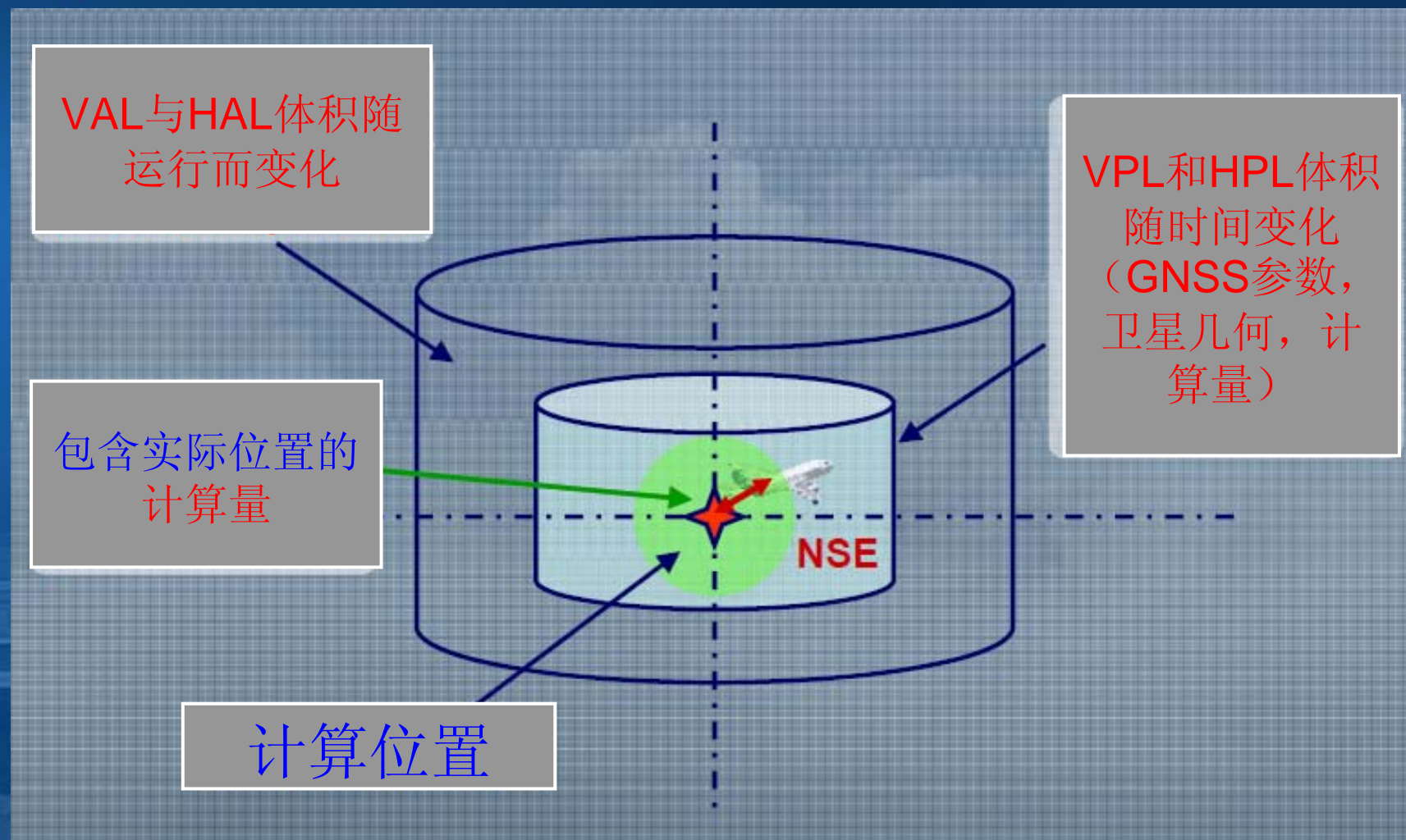


# GNSS完好性概念





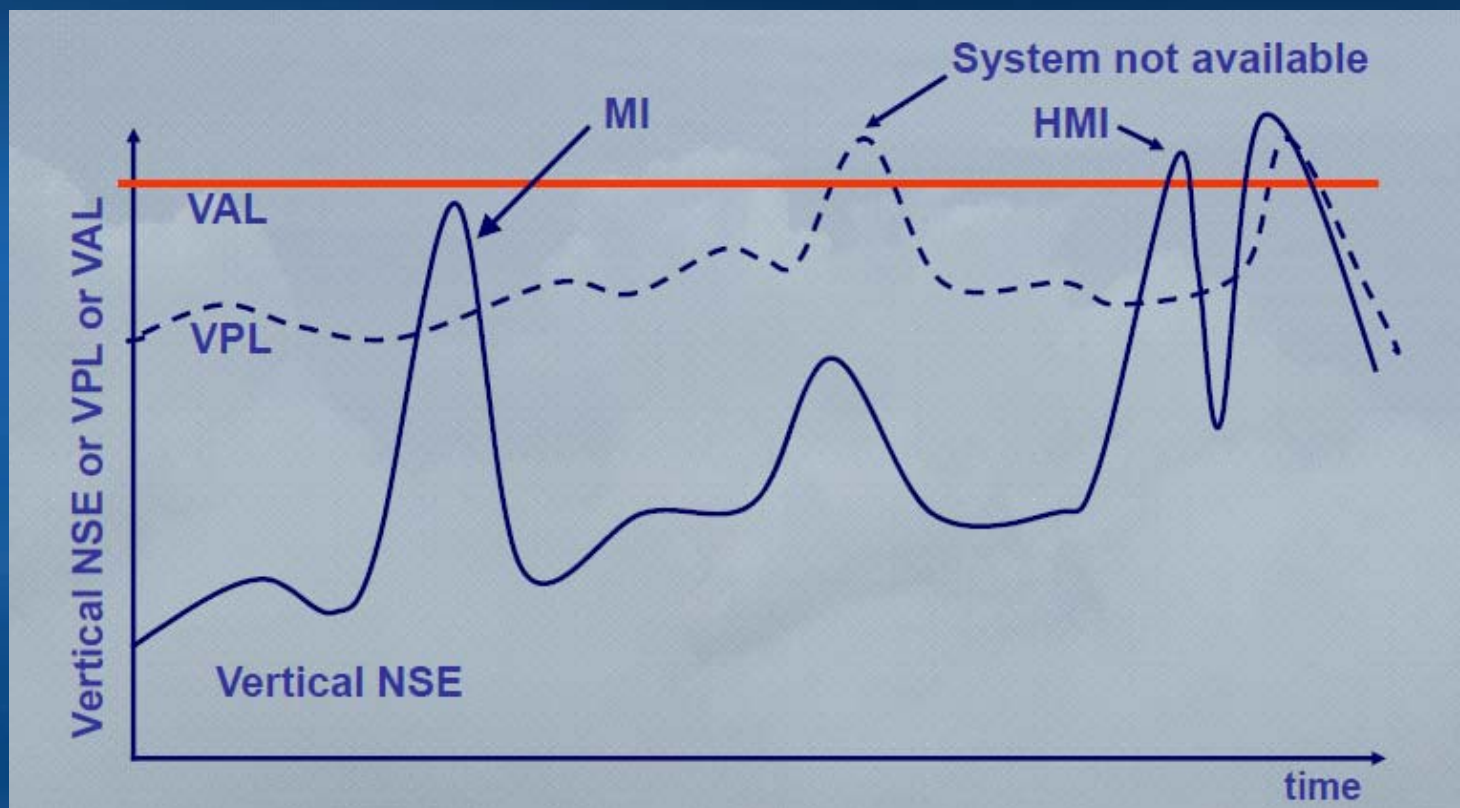
# GNSS完好性概念







# 不同类型非完好性事件



- MI: 虚假信息
- HMI: 危险的虚假信息





# 定位误差和误差分析

- 与ILS和VOR不同，GNSS误差随时间变化：
  - 卫星轨道
  - GNSS误差特征
  - 卫星几何
- 对于GNSS：
  - 几小时的位置误差可能改变
  - 系统精度的非连续性测量（输出非连续）
  - 很大程度上，依赖于误差分析和误差特征



# GPS SPS精度

## GPS SPS 定位精度

95%的时间，全球平均

水平位置误差	13m (43ft)
垂直位置误差	22m (72ft)



# 基本GNSS接收机

GPS SPS 定位精度  
95%的时间，全球平均

水平位置误差	33m (108ft)
垂直位置误差	73m (240ft)

- 术语“GNSS基本接收机”：  
附件10，RTCA/DO-208，  
(FAA) TSO-C129A EUROCAE ED-72A

29/52





# 术语（附件10）

- 连续性

- 系统服务的可用性是指，在预定运行期间，系统执行其功能而不受计划外中断的能力。

- 可用性

- GNSS可用性，利用可信赖的导航信息来进行导航的时间来描述。这些信息可以为机组、自动驾驶或其他系统所采用，实现对航空器的飞行管理。



# 基本GNSS接收机

- 完好性
  - 故障检测（FD）和故障检测与排除（FDE）
- 连续性
  - 使用替代信息源（INS、气压测高）
- 可用性
  - 使用替代信息源（INS、气压测高）
- 精度
  - 通过剩余误差估算



# SBAS机载接收机

- 必须能够能够在任何SBAS覆盖区域运行
  - WAAS
  - EGNOS
  - GAGAN
  - MSAS
  - COMPASS



# SBAS和GBAS接收机

- 比GNSS接收机定位精度高
  - GEO发送的差分修正量
- 完好性
  - GEO提供的FD和FDE
  - 接收机执行更加复杂的完好性监视处理
- SBAS能够满足用于APV和精密进近的运行要求



- GNSS组成要素和无故障GNSS用户接收机，应该满足ICAO附件10中规定的空间信号要求。



# ICAO GNSS要求-航路

运行	水平精度	垂直精度	完好性风险	告警时间	水平告警限制	垂直告警限制
航路/ 大陆	3.7km 2NM	N/A	$10^{-7}/h$	5mn	3.7km 2NM	N/A
航路/ 终端 小于30NM	0.74km 0.4NM	N/A	$10^{-7}/h$	15s	1.8km 1NM	N/A







# ICAO GNSS要求-终端区

运行	水平精度	垂直精度	完好性风险	告警时间	水平告警限制	垂直告警限制
Enroute/ Terminal Less than 30NM	0.74km 0.4NM	N/A	$10^{-7}/h$	15s	1.8km 1NM	N/A
Initial, intermediate, missed approach, SID	220m	N/A	$10^{-7}/h$	10s	1.8km 1NM	N/A
Final segment (NPA)	220m	N/A	$10^{-7}/h$	10s	556m 0.3NM	N/A
APV I	16m	20m	$2 \times 10^{-7}/app$	10s	40m	50m
APV II	16m	8m	$2 \times 10^{-7}/app$	6s	40m	20m
Cat I	16m	6 to 4m	$2 \times 10^{-7}/app$	6s	40m	15 to 10m

# ICAO GNSS概念 空间信号要求（附件10）

Typical operation(s)	Accuracy horizontal 95%	Accuracy vertical 95%	Integrity	Time to alert	Continuity	Availability
En-route	3.7 km (2.0 NM)	N/A	$1 \cdot 10^{-7}/h$	5 min	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-6}/h$	0.99 to 0.99999
En-route, Terminal	0.74 km (0.4 NM)	N/A	$1 \cdot 10^{-7}/h$	15 s	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-6}/h$	0.999 to 0.99999
Initial approach, Intermediate approach, Non-precision approach, Departure	220 m (720 ft)	N/A	$1 \cdot 10^{-7}/h$	10 s	$1 \cdot 10^{-4}/h$ to $1 \cdot 10^{-6}/h$	0.99 to 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-I)	16.0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ per approach	10 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-II)	16.0 m (52 ft)	8.0 m (26 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ per approach	6 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999
Category I precision approach	16.0 m (52 ft)	6.0 m to 4.0 m (7) (20 ft to 13 ft)	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ per approach	6 s	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ in any 15 s	0.99 to 0.99999

# 导航性能







# 不同的GNSS性能等级



- 不同GNSS性能等级描述，表示航空器位置不确定性概率为 $10^{-7}$ 的包容度。



# 不同的GNSS性能等级

LNAV/VNAV → Basic GPS (lateral) + barometric (vertical)



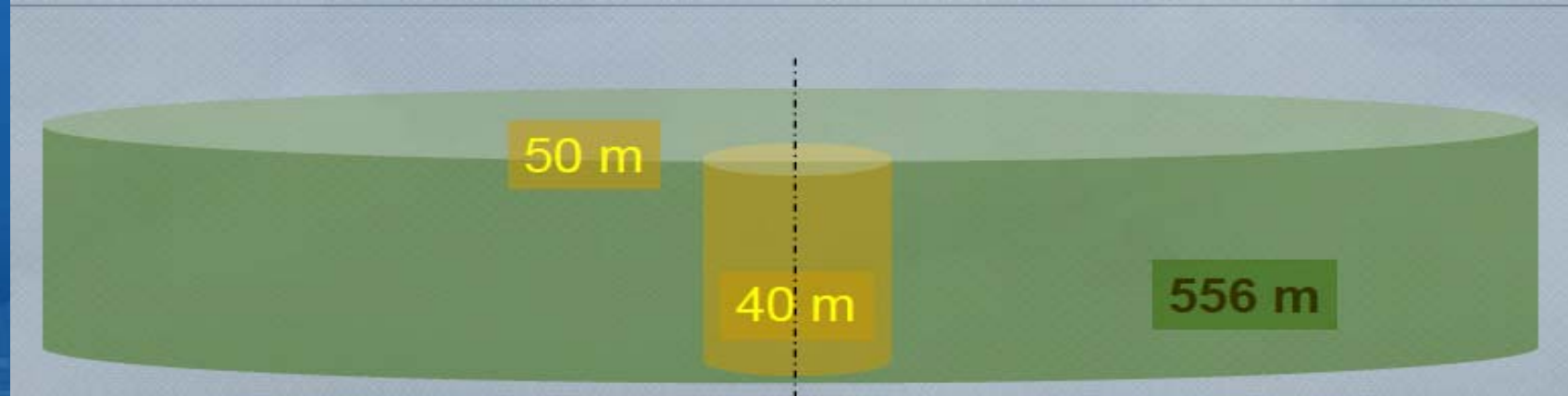
- 不同GNSS性能等级描述，表示航空器位置不确定性概率为 $10^{-7}$ 的包容度。



# 不同的GNSS性能等级

LNAV/VNAV → Basic GPS (lateral) + barometric (vertical)

APV I → SBAS: EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN



- 不同GNSS性能等级描述，表示航空器位置不确定性概率为 $10^{-7}$ 的包容度。



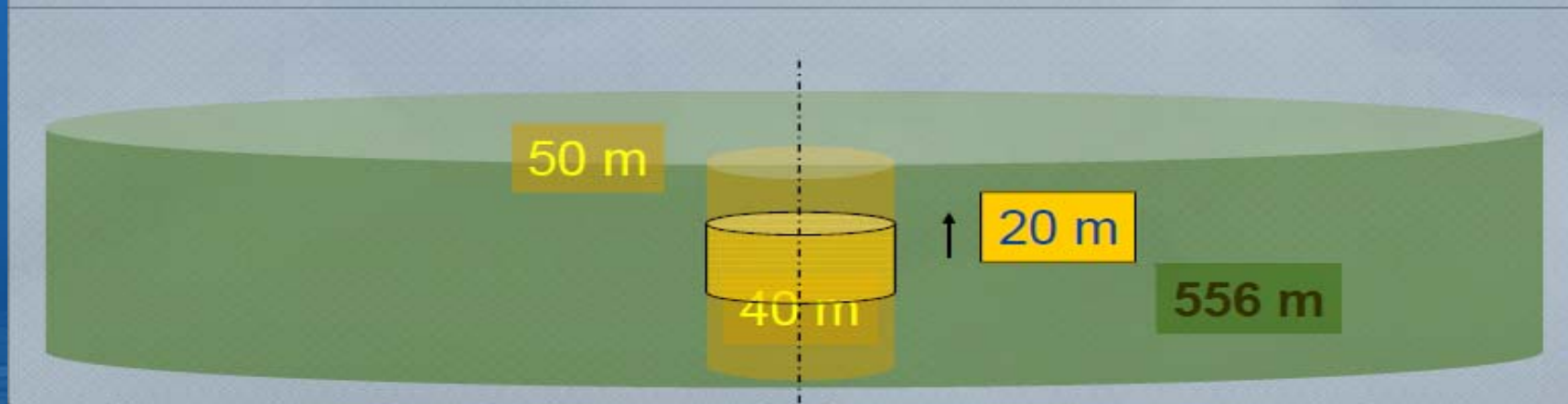


# 不同的GNSS性能等级

LNAV/VNAV → Basic GPS (lateral) + barometric (vertical)

APV I → SBAS: EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN

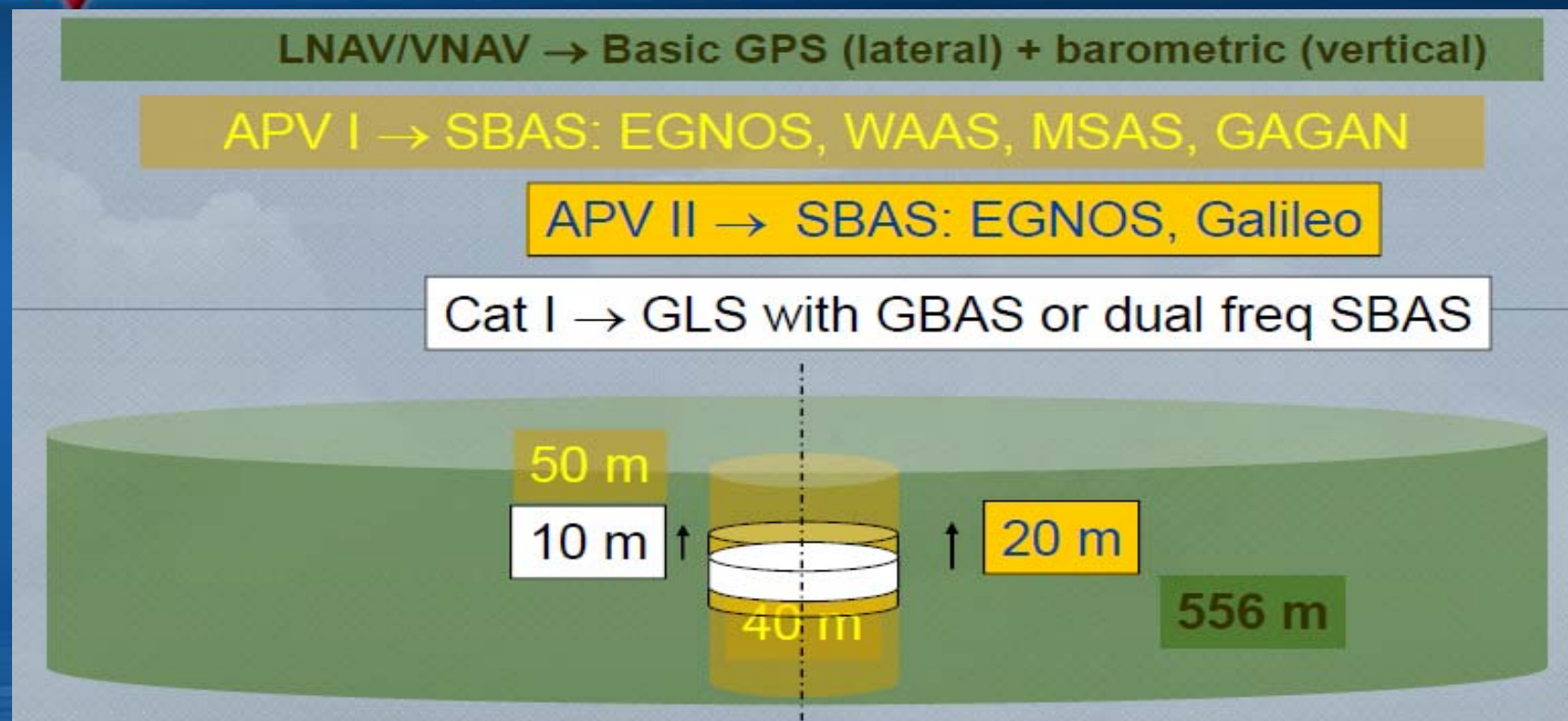
APV II → SBAS: EGNOS, Galileo



- 不同GNSS性能等级描述，表示航空器位置不确定性概率为 $10^{-7}$ 的包容度。



# 不同的GNSS性能等级



- 不同GNSS性能等级描述，表示航空器位置不确定性概率为 $10^{-7}$ 的包容度。



# 导航传感器与MDA和DA有关的

- HAL: 水平告警限制
- VAL: 垂直告警限制







# 导航传感器与MDA和DA有关的

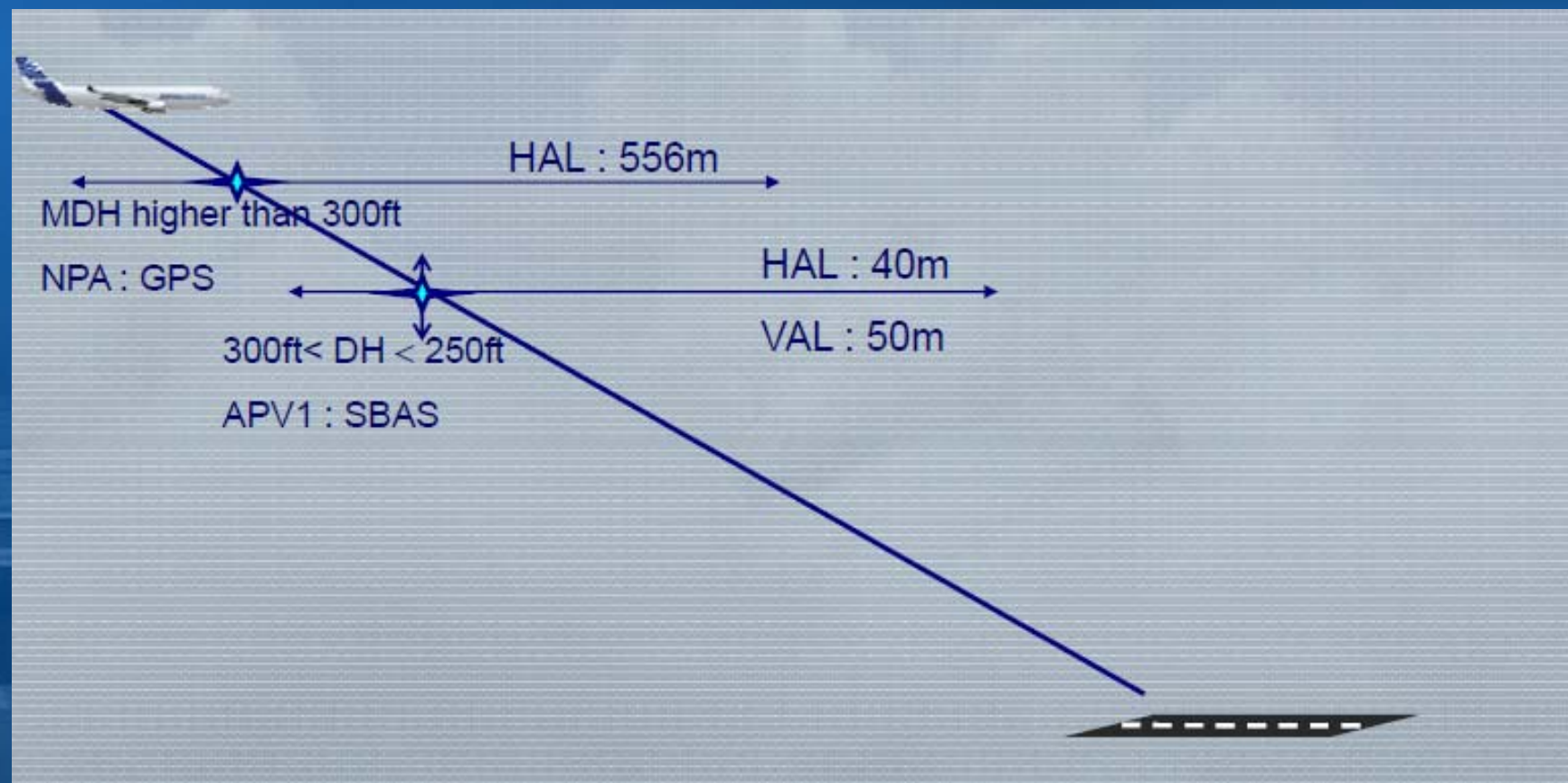
- HAL: 水平告警限制
- VAL: 垂直告警限制





# 导航传感器与MDA和DA有关的

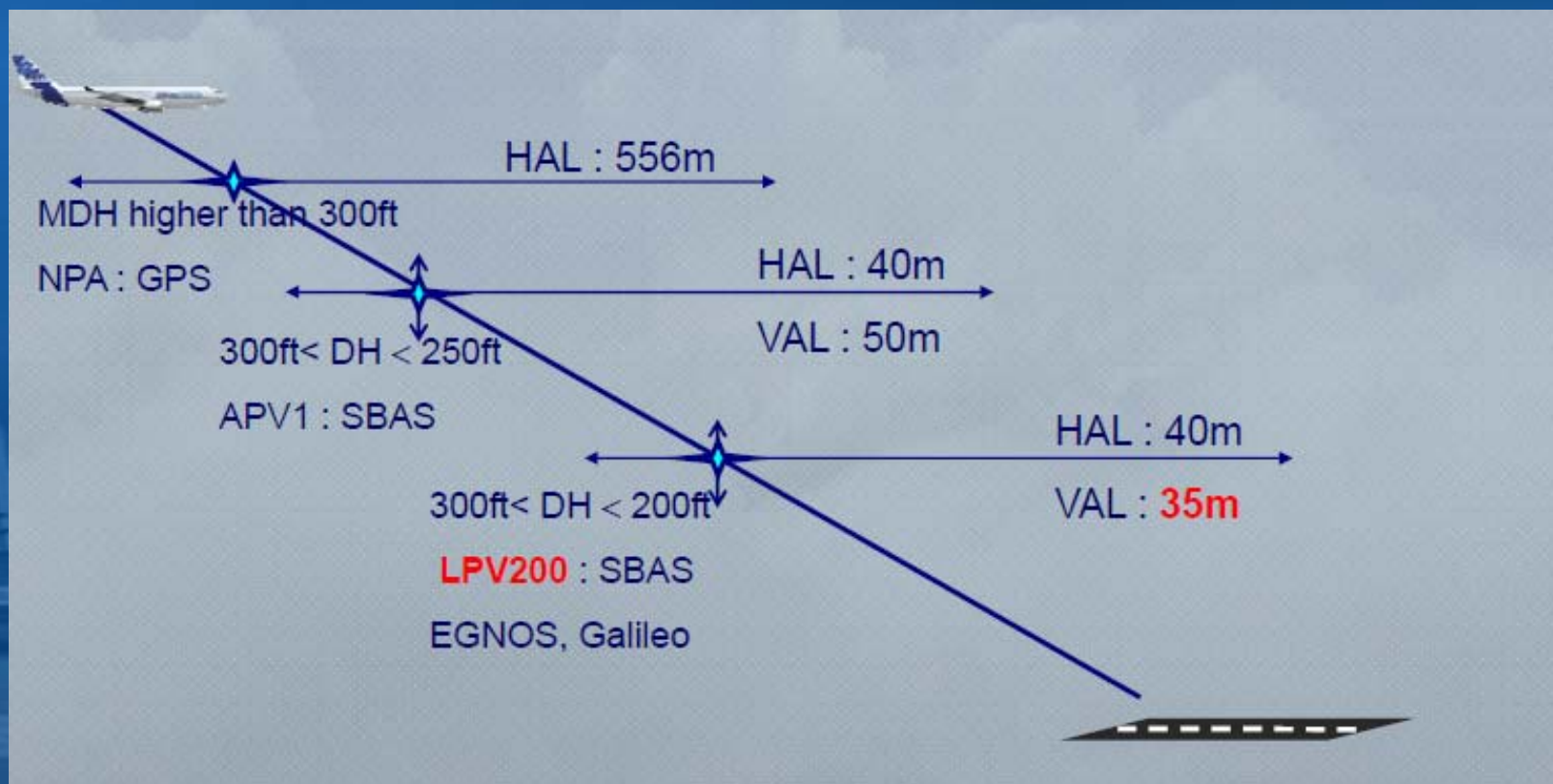
- HAL: 水平告警限制
- VAL: 垂直告警限制





# 导航传感器与MDA和DA有关的

- HAL: 水平告警限制
- VAL: 垂直告警限制

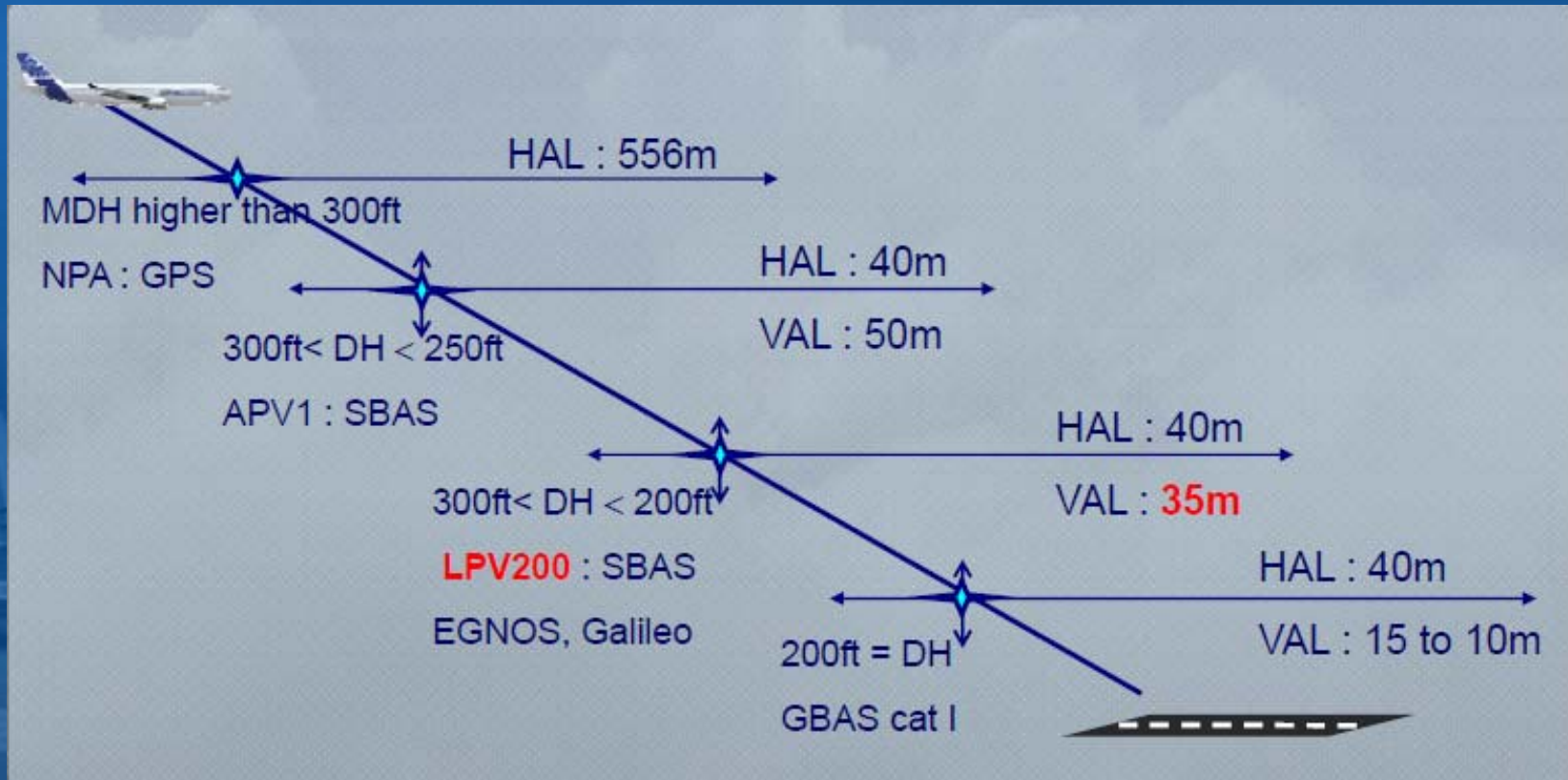






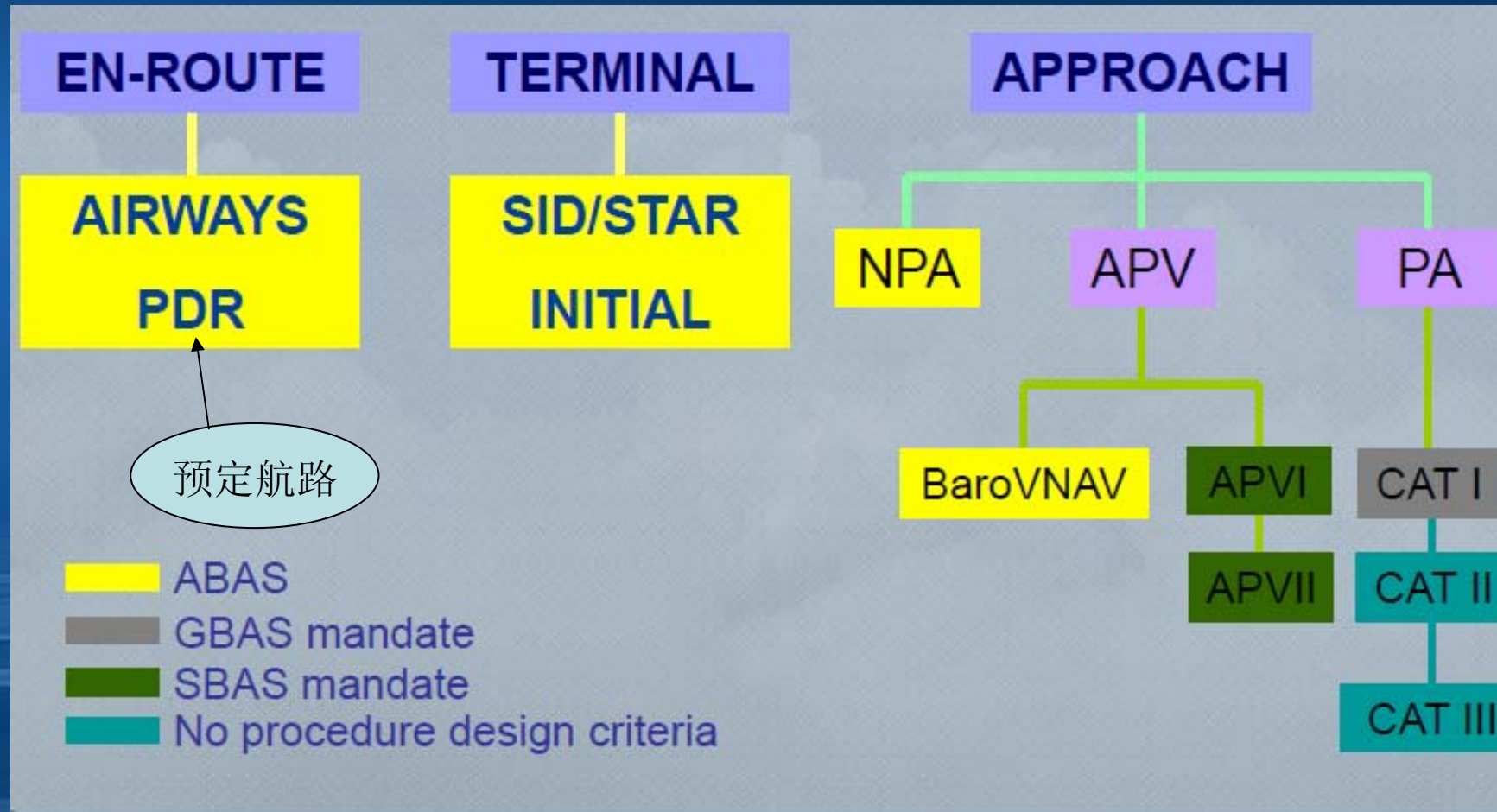
# 导航传感器与MDA和DA有关的

- HAL: 水平告警限制
- VAL: 垂直告警限制





# RNAV 运行





# GNSS数据记录

- 基于GNSS的运行需要相关GNSS数据的记录。
  - 事故或失事
  - 精度、完好性、连续性、可用性等级
- 该记录至少是两个星期的





# 结论

- 完好性概念是GNSS概念的重点
- 精度和完好性水平与运行联系在一起
- 需要记录GNSS数据



# 谢谢!

52/52

CHINA CIVIL AVIATION FLIGHT COLLEGE

中國民航飛行學院