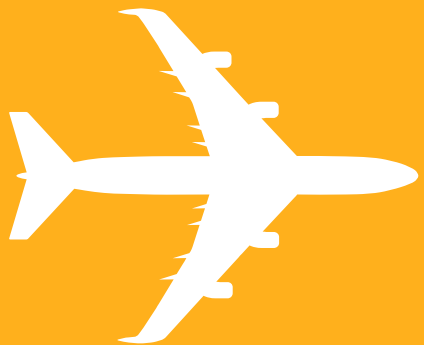




# 说案例讲通报——方向舵

737系列飞机



波音737飞机于1967年首飞至今，其良好的运营效率为客户的成长提供了强有力的支持，但上世纪90年代发生的几起严重飞行事故，围绕737方向舵设计引起了业内巨大的争议与讨论最终以波音重新设计方向舵，得以结束，其时间跨度之长，波及面之广是波音737自问世以来前所未有的。



## 一、事件回顾



## 二、通报解析



## 三、相关内容

# 01

## 一、事件回顾

01

联合航空585号班机空难

02

事故调查

03

后续空难事件

04

事件影响

## 联合航空585号班机空难

1991年3月3日，联合航空585号班机从丹佛国际机场前往科罗拉多泉机场，近地面1000尺时，这架飞机开始毫无预兆的失控旋转，时速高达370公里，飞机垂直尾翼的方向舵向右倾斜，并立即失速翻滚翻滚，十秒内直接坠毁，飞机上25名乘客和机员全部罹难。

当日，联合航空一架737-200型(机身编号N999UA)，载着20名乘客及5名机组人员，操纵飞机的是52岁的哈洛葛林机长，副机长是派翠西亚艾德森，42岁的她是联航史上第一批女性飞行员。上午九点四十，从丹佛起飞仅17分钟，联合航空585号已准备降落，但在空中出现问题，飞机沿途遇到多次强大乱流，天气预报显示科罗拉多泉会有强劲阵风，在科罗机场，航管员詹姆斯雷菲准备让585号班机进场准许降落于35跑道，越靠近机场，越是颠簸，近地面1000尺时，这架飞机开始毫无预兆的失控旋转，时速高达370公里，于接近降落之际，突然向右倾侧，并立即失速翻滚。由于事出突然且接近进场高度不足，机员顿时手足无措，无法作出应变。飞机于10秒内垂直坠毁于机场跑道四哩外一处空地上，随即爆炸起火，粉碎性解体，全机25人即时丧生(20名乘客，5名机组人员)。

## 事故调查

美国国家运输安全委员会(NTSB)负责调查此宗事故长达1年9个月。调查人员一开始认定机件故障是飞机坠毁的原因。由于飞机突然向右倾侧直至坠毁，因此调查人员集中调查是否垂直尾翼的方向舵出了问题。他们取出方向舵内的液压器，可是装置内没有曾经磨损的痕迹;而装置内的润滑油亦没有异样。

调查人员转而向天气因素研究，资料题示，飞机在航程中曾遭遇过不稳定的气流，而当天机场附近亦有强烈的回转气流(rotor winds)。可是，这些简单因素都被认为不足以导致这般严重的空难。其后调查人员又调查是否是人为错误导致空难。他们聆听过飞行记录仪，发觉机员都没有致命的犯错，只是当时飞机离地距离不足，机组最后没法应变这次突发事故。

因此，于1992年12月8日，NTSB公布了第一份调查报告，并没有得出结论。这份报告只说出"NTSB经过彻底的研究，都无法找出决定性证据去证明联合航空585号班机失事的原因"。往后几年，这次事故成为了一宗悬案。

## 后续空难事件

公布报告两年后，1994年9月8日，美航427号班机靠近匹兹堡，正准备进行最后的进场，由于受到另一架飞机的气流影响，飞机坠毁，132名乘客机组人员无一幸免。这起事故让负责调查的专家想起585号班机空难，于是调查人员决定将这两起空难集中一起调查，一直没有进展。



# 对于上面几起事故，起初各方参与了调查，但得出了不同的结论

## 全美航空与飞行员协会

全美航空公司和飞行员协会，认为是方向舵动力控制组件次级阀门出现堵塞引发的，多在非指令情况下自行偏转造成的

## 波音公司



波音公司坚持认为737方向舵PCU没有问题

不置可否，无法判断，但对于发生的争议，基于对方向舵PCU的怀疑，FAA还是下达了一系列适航指令

## NTSB与FAA



## 事件影响

最后直至五年后对东风航空517号班机事故进行调查及实验，得到突破性进展，花了十年，才找出585与427号班机离奇失事的原因，是航空史上最漫长的调查。

导致事故的原因是飞机方向舵的液压器在经历极端温差时，移动737方向舵的液压阀有可能会卡住。在后续的调查中，最有突破的发现是来自波音工程师检测资料，数据显示，当时的阀反转了，证实阀不仅会被卡住，而且可能发生反转，意思是机师若试图推动方向舵修正翻转，方向舵可能会往反方向移动，造成致命的意外。

调查结果出台后，有关单位大刀阔斧的改革以增进737及航空业的安全，设计新的训练规程协助机师应付不寻常的飞行事件，737机队机师必须接受处理方向舵满舵与翻转的训练，FAA也指示波音重新设计方向舵双伺服液压阀，以消除反转的可能性，波音花费巨大金额更换世界各地数千架737的方向舵PCU等部件。



## 达成协议

2000年，9月13日FAA与波音就重新设计方向舵的问题达成协议，一旦FAA下发了适航指令，波音必须在五年内对所有现役飞机进行改动，并使用新的设计方法生产后续的737飞机。由于重新设计的工作需要好几年才能完成，FAA还要求波音为飞行员制定新的方向舵故障处置训练程序。

# 02

---

## 二、通报解析

Enhanced Rudder Control System (RSEP)

**01**

增强型方向舵介绍

**02**

PPR与RPL

**03**

QRH（快速检查单）的修改

**04**

偏航阻尼器的通报改装

# 01

## Enhanced Rudder Control System (RSEP)

在安装RESP之前，737方向舵主PCU是一个在活塞杆上具有两个活塞的单级串联作动筒，正常情况下作动筒用两个液压系统输入进行操纵。在“A”系统或“B”系统失去压力的情况下，剩下的任何一个系统仍能响应操纵系统的作动。在满足一定条件下自动或人工打开下，备用系统通过备用方向舵PCU也参与进来。但是在这里波音只考虑了A或B液压系统失效的冗余控制，却忽略了A或B系统发生液压活塞卡滞造成的单液压系统失效，对于这种几乎不可能发生的液压卡滞故障，因为主方向舵PCU是单级串联作动筒，一旦发生了就是致命的事件。

# 01

## Enhanced Rudder Control System (RSEP)

在最终调查结果出来后，2000年9月，FAA终于发布了AD 2002-20-07 R1，要求波音更改737方向舵控制系统。这个改装主要有如下内容；

一个新的 P5-3 飞行控制面板，方向舵和垂直安定面小的结构改装，P6 板新增两个跳开关，新增一个继电器，改装方向舵控制扭力管，对备用方向舵PCU进行更改，新增一个方向舵减压器，改进主方向舵PCU，和两个PCU 控制杆。

每个方向舵输入 路径发生譬如PCU活门堵塞或PCU输入杆脱开时超控组件允许超控，假如一个PCU输入路径发生堵塞，飞行员可以继续作动脚蹬给扭力管以输入扭矩，迫使 超控机构克服弹簧负载离开凸轮凹槽。在发生卡滞时，必须施加不小于18磅的脚蹬力才能实现超控作动。

最重要的改变是增加对方向舵PCU发生卡滞的监控，当新方向舵控制系统检测到主方向舵出现故障时，它自动激活备用PCU，以增加对方向舵的控制。新的方向舵系统称作增强型方向舵控制系统Enhanced Rudder Control System (RSEP)。

# 01

## Enhanced Rudder Control System (RSEP)

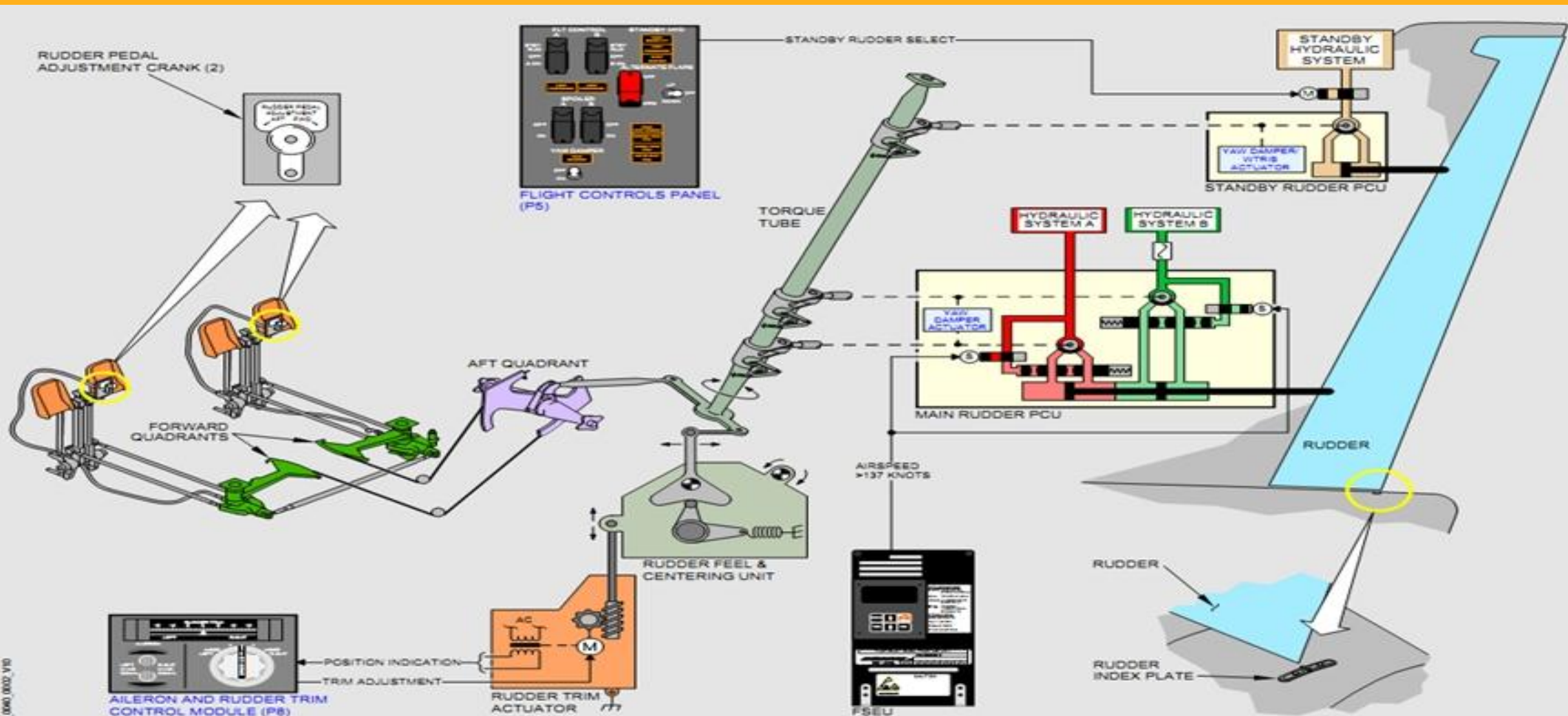
只要备用方向舵PCU 在工作，则 STANBY RUDDER ON（备用方向舵接通）灯亮。如果此灯不是由于机组行为而亮，或液压系统故障，任意这两种情况都有可能发生过。最可能的原因是压差监视器故障意外启动了备用泵并向备用PCU 供电。在这种情况下，三个PCU 控制活门向方向舵供电。应避免全方向舵输入，以防止方向舵载荷过大。有这种情况的非正常检查单。第二种原因可能是在两个主PCU 控制活门之间的压差指示了一个卡阻状态。这种情况无需完成非正常检查单，因为使用备用方向舵PCU就能达到理想的方向舵操纵。



FLIGHT CONTROLS PANEL (P5)



RESP



737-6293\_0000\_0002\_V02

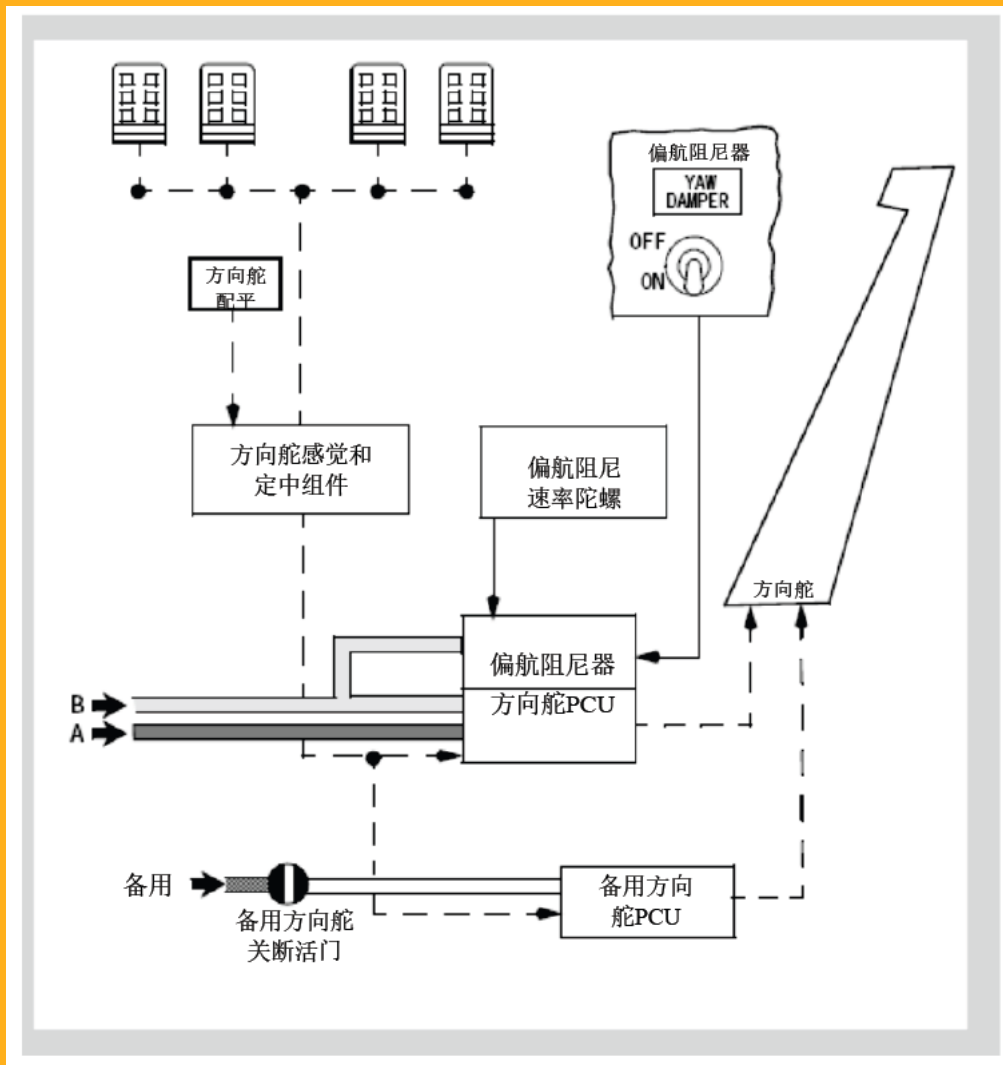
USE FOR TRAINING ONLY. DO NOT USE FOR MAINTENANCE

EXPORT CONTROLLED - 98991

BOEING PROPRIETARY, CONFIDENTIAL, AND/OR TRADE SECRET • Copyright 1985 - 2010 • Boeing. All Rights Reserved

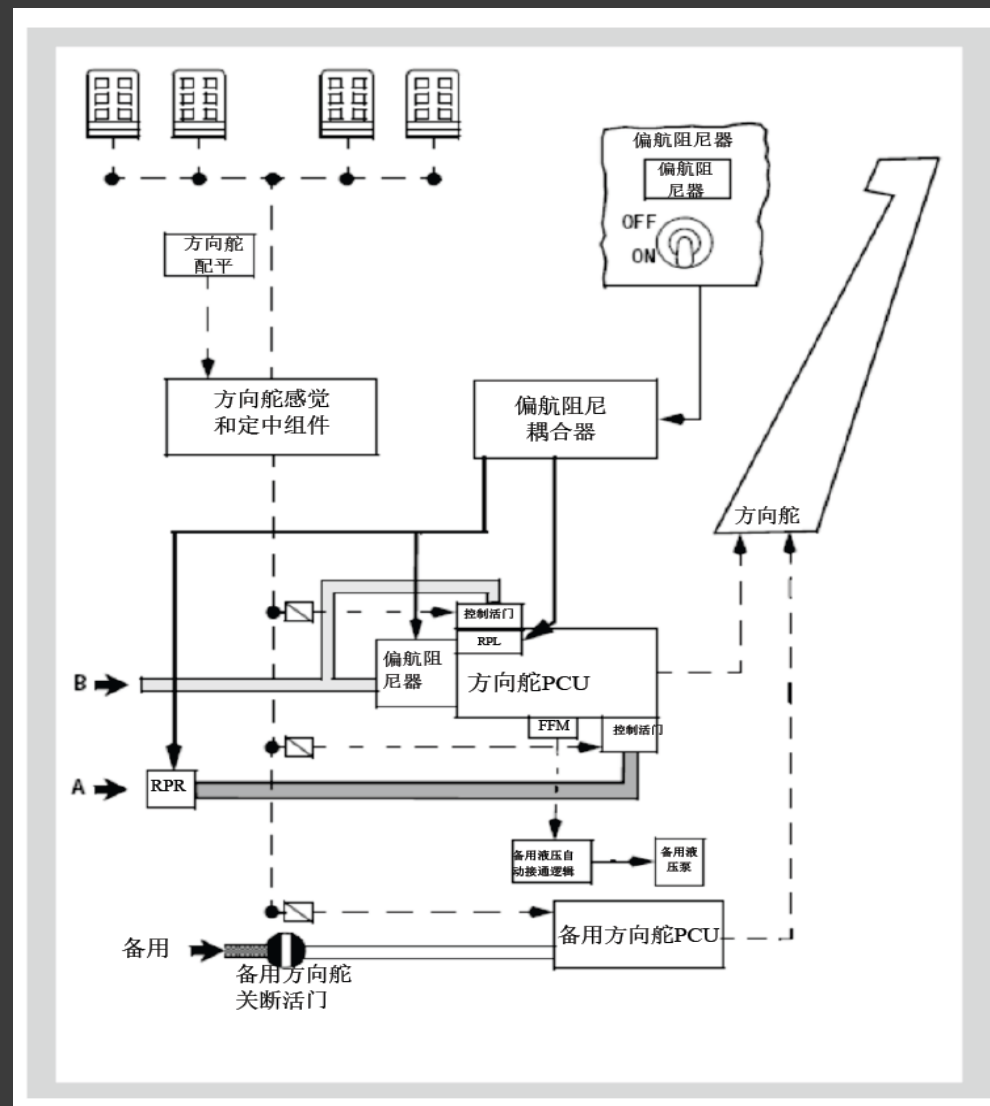
RUDDER CONTROLS (27-21)

## 改装RESP前

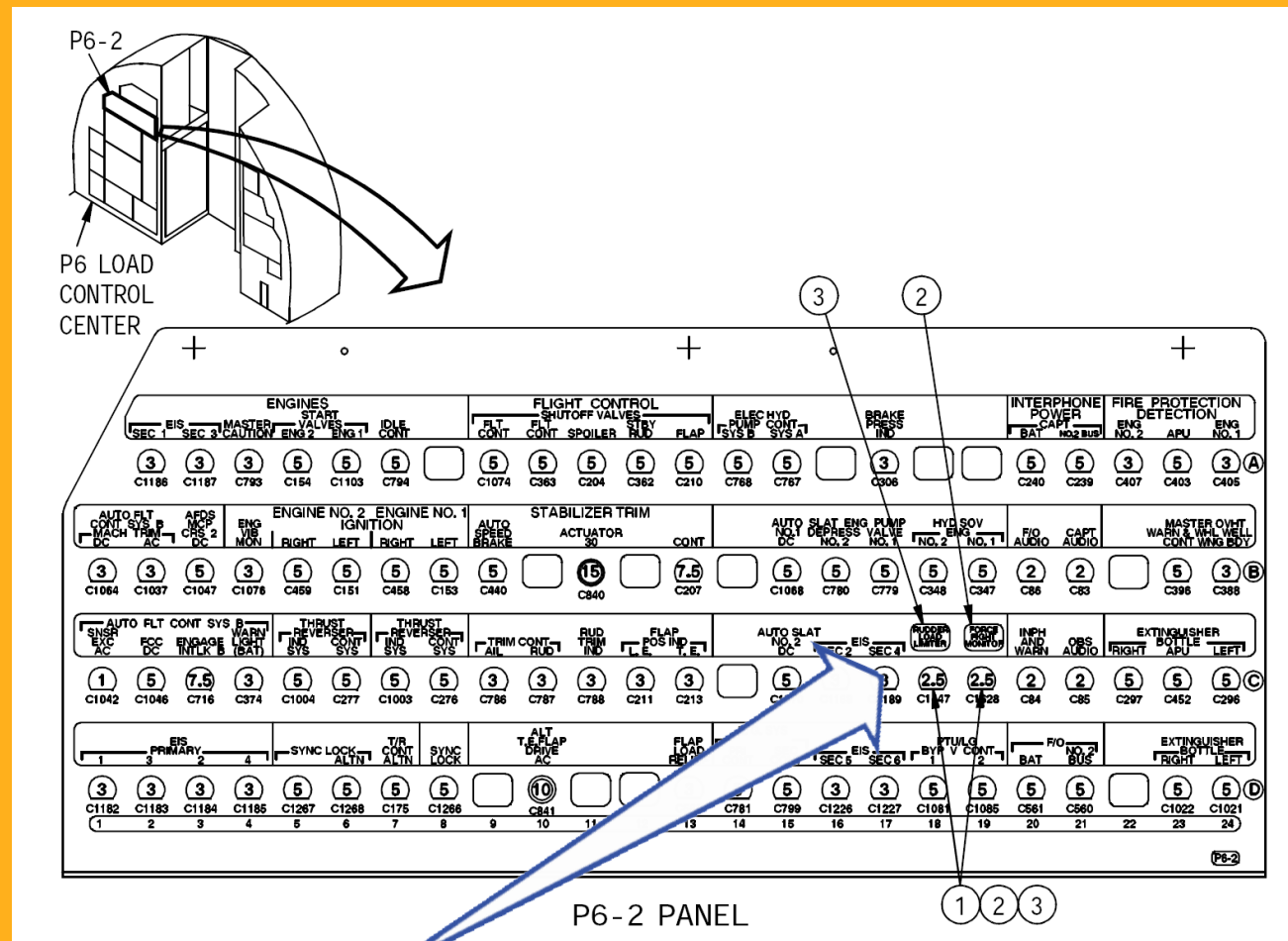


VS

## 改装RSEP后



由于方向舵主PCU内增加了一个压差监控器（FFM）用以探测A系统与B系统作动筒之间的压差，所以在P6-2面板增加新的跳开关并标注“Force Fight Monitor（压差监控器）”及“Rudder Load Limiter（方向舵载荷限制器）”。如果测到该情况持续5秒以上，FFM将自动接通备份液压泵向方向舵辅助PCU供压，此时飞行操纵面板上的STBY RUD ON灯亮。



# 01

## Enhanced Rudder Control System (RSEP)

### 落实增强型方向舵机型对应的通报

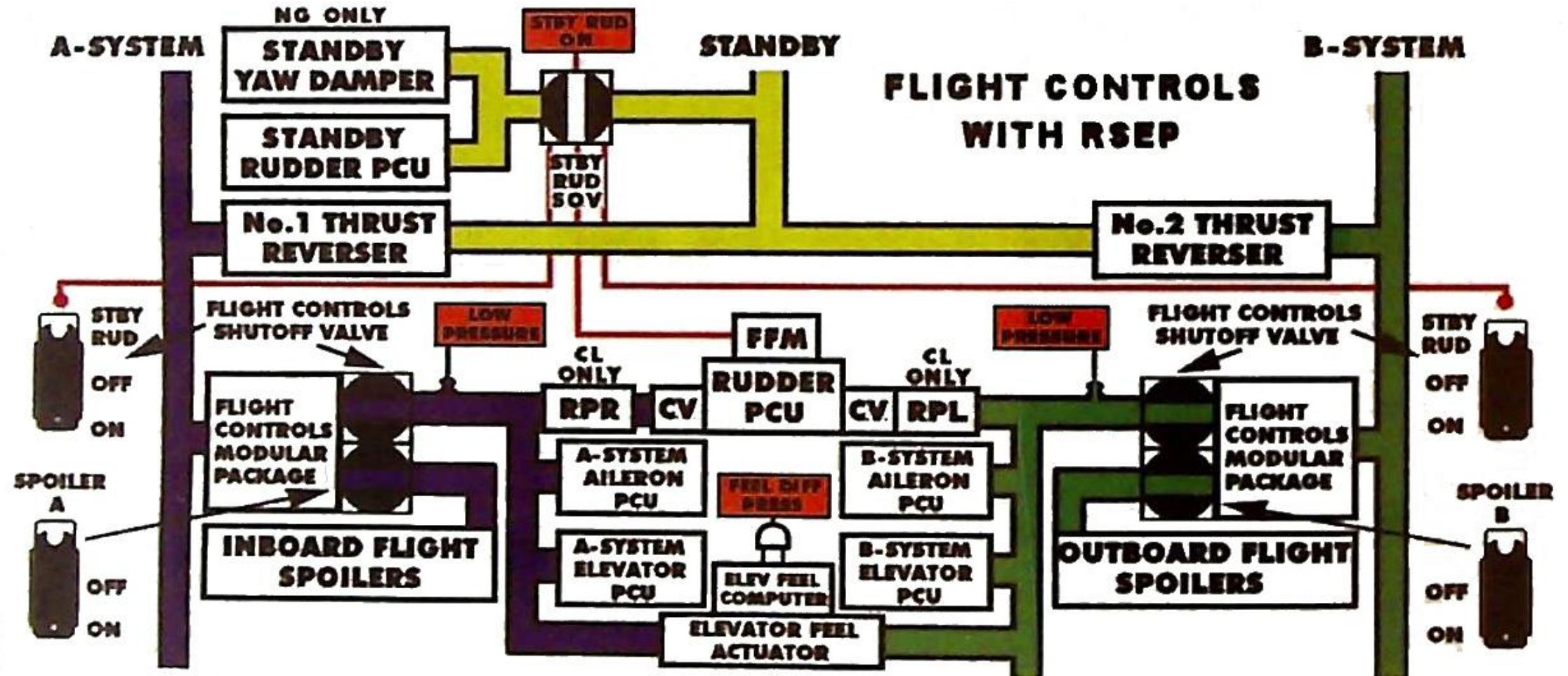
| 机型                  | 通报号         |
|---------------------|-------------|
| 737-100/200         | 737-27-1252 |
| 737-300/400/500     | 737-27-1255 |
| 737-600/700/800/900 | 737-27-1253 |

在安装RESP之后，体现在

- 1、主方向舵PCU 包括一个用来探测A 和B 作动筒之间相对压力（力操纵）的一个力操纵监控器(FFM)。如果任一系统A 或B 输入卡阻或脱开可能会出现这种情况。使用FFM 输出可自动接通备用液压泵，打开备用方向舵关断活门给备用方向舵PCU 增压，**STBY RUD ON**（备用方向舵接通），主警告和飞行操纵（**FLT CONT**）灯亮。
- 2、主方向舵PCU 包括两套独立的输入杆，两套独立的控制活门，以及两套独立的传动器；一套由液压系统A 控制，一套由B 控制。备用方向舵PCU 由单独的输入杆和控制活门控制，由备用液压系统提供动力。所有三个输入杆都有各自的卡阻超控机械装置，如果在一输入杆或下游机械部件受阻或卡阻的情况下，该装置能使输入指令继续传输至剩余的活动无阻的输入杆上。

01

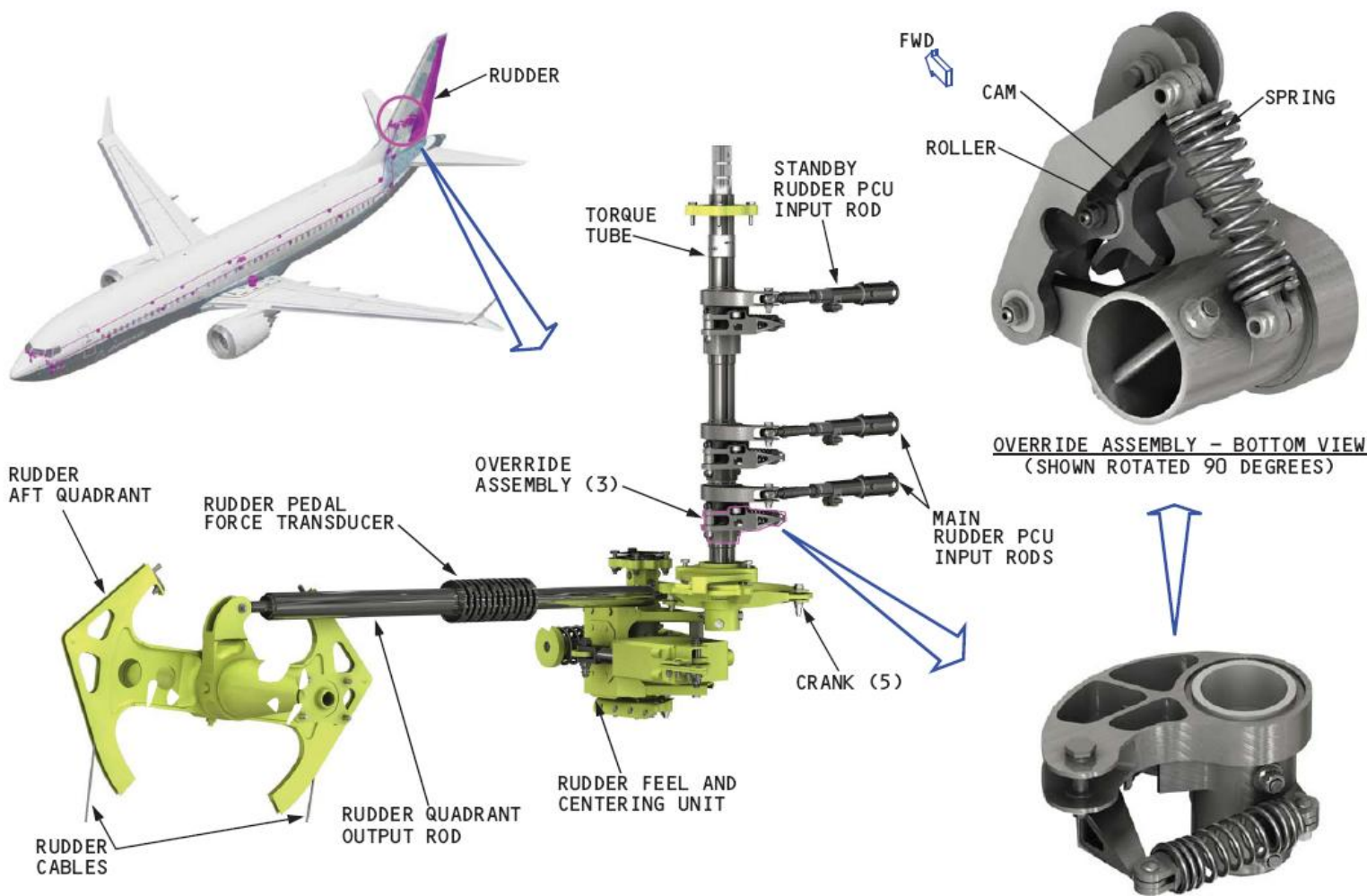
## Enhanced Rudder Control System (RSEP)





## 737MAX的方向 舵PCU

737MAX配有三个独立的液压作动的PCU和超控机构。他们分别是两个主PCU和一个备用PCU，基本延续了RESP的改装设计。



## 02

## PPR与RPL

在安装RESP之前，为了降低各种PCU失效模式造成的影响，作为增强型方向舵的临时替代方案，波音发布了737-27A1281。

方向舵减压器（RPR）与主方向舵PCU 液压系统A 上游管路相连接，也就是一个减压活门。方向舵限压器（RPL）安装在主方向舵PCU 液压系统B中，作为PCU 的一部分。当不需要满舵效能时，RPR 和RPL 限制液压压力至方向舵。对于737-300/400/500液压压力从3000PSI减压到1000PSI；对于737-100/200/200ADV液压压力从3000PSI减压到1400PSI。缺偏航阻尼器耦合器（YDC）分别控制主方向舵PCU 的液压系统A 和液压系统B 的RPR 和RPL。

波音公司之所以对波音7 37 CL飞机的A 液压系统供压口到方向舵控制组件( PCU )之间加装方向舵压力减压器, 其目的是在大部分的飞行过程中降低方向舵的权限,这种功能可在起飞后和着陆前的飞行过程中限制满舵效能。以减小方向舵最大铰链力矩的静平衡点。经过RPR 后, 作用在舵面上的压力由原来的3000 PSI降低到1000PSI。由于偏航阻尼系统使用的是液压B 系统, 所以这一改装并不影响偏航阻尼系统工作的液压环境。

需要指出的是**RPR与RPL只安装在了737CL上。**

## 02

## PPR与RPL

为了能够对系统进行必要的逻辑控制,系统引入了无线电高度(RA)和发动机转速N1信号,飞机的电路连接随之也发生了较大的变化。无线电高度信号用于触发减压器RPR的工作,当飞机起飞到离地100英尺后,RPR控制向方向舵PCU输出低压;当飞机降落到离地面70英尺时,RPR控制向方向舵PCU输出高压,从而保证飞机在起降过程中的近地模式下具有较好的机动性能。考虑到在单发飞行中需要方向舵满偏转,系统中引入了N1信号以监控发动机的工作,当左右发动机N1值之差大于45%时,RPR控制向系统提供高压。同时系统引入了惯导姿态信号以增加飞机操纵的协调性,从而提高了飞行质量。

当飞机在某些特定关键阶段需要使用方向舵全效能时,RPR可向方向舵PCU提供系统全压(从1800PSI提高到3000PSI)。这些关键阶段包括:

- 1、起飞过程中高度低于1000英尺RA。
- 2、进行过程中高度低于700英尺RA。
- 3、当左和右发动机之间N1值相差超过45%
- 4、B 液压系统丧失压力

为关于加装**RPR** 的理论, 概念上比较新, 比较难以理解。在讨论这个问题之前, 需要了解以下几个专用名词:

1、静平衡点( **BLOWDOWN** ) : 指方向舵的**PCU**的最大铰链力矩和舵面上的空气动力达到平衡时的点, 因此,**PCU**不可能使舵面偏转通过该点;

2、交叉速度 (也叫过度速度) ( **CROSSOVERSPEED** ) :

飞机满舵输入时对飞机全横向控制所需要的静平衡速度, 它随飞机的总重、襟翼位置和迎角的不同而变化;

3、落地速度( **BLOCKSPEED** ) :

也称之为阻挡机动速度, 指在飞机降落过程中, 推荐的在襟翼收上或放下时使用的飞行速度。

波音**737** 飞机飞行时, 其方向舵的行程被方向舵控制部件**PCU**的静平衡点所限制, 方向舵处于哪一个静平衡点主要取决于当前空速, 而比较高的飞行速度能导致方向舵操纵行程的减小, 飞机型号、飞机的侧滑角和马赫数也是影响方向舵静平衡点的因素。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/878120077105006046>