



技术管理

应用 6Sigma 改进方法 提高 TCAS 系统可靠性

葛忠汉 张智

(上海航空公司,上海 201202)

Appliance of 6Sigma to Improve TCAS System Reliability

Ge Zhonghan Zhang zhi

(Shanghai Airlines, Shanghai 201202, China)

摘要:在大型民用飞机中 TCAS 系统是重要的飞行安全运行的航电系统之一,其故障会对飞机正常运营造成很大的影响。应用 6Sigma 原理进行维修管理可以有效地改进 TCAS 系统的可靠性。结合航空公司波音 737NG 机队的运行中 TCAS 系统故障情况,介绍运用 6Sigma 方法的分析过程达到的实际改进效果。

关键词:TCAS 系统;改进;可靠性;6Sigma

【Abstract】 TCAS system is one of important flight safety avionics systems on the civil aircraft. The aircraft normal operation would be significantly affected if TCAS fault. 6Sigma principle of maintenance and management applications can be effectively improved TCAS system reliability. In this paper, introduce methods of analysis used 6Sigma in the TCAS system failures about their Airlines Boeing 737NG fleet operating and effected real improvement.

【Key words】 TCAS system; improved; reliability; 6Sigma

0 引言

TCAS 系统即飞机空中交通预警和防撞系统,是民用航空运输飞机安全运行的重要机载系统。它可以显示飞机周围的情况,并在需要时提供语音告警,同时帮助飞行员以适当机动方式躲避危险,有助于避免灾难性事故的发生。随着我国民航运输业的高速发展,现代航空运输日益繁忙和密集,尤其像北京、上海、广州等大城市的机场上空航路上的飞机比较集中。若 TCAS 系统不能正常工作,会对飞行安全带来非常严重的潜在隐患。确保飞机 TCAS 系统正常工作,对于提高航空公司安全运行品质具有很关键的作用。目前的大型民用客机常将 TCAS 系统作为飞机飞行前系统功能检查的项目之一。

由于 TCAS 系统是飞机航电系统中比较复杂,影响可靠性因素比较敏感的系统之一。以上海航空公司波音 737NG 飞机为例,根据可靠性统计报告,2008 年度 TCAS 系统机组报告故障为 39 次,并造成了 5 次不正常航班(其中 3 次取消,2 次延误;返航 3 次)。为此,应用数学工具,分析 TCAS 系统故障原因,研究寻找解决关键因素的措施,可以提高 TCAS 系统使用的可靠性,提升飞机航班的安全运行品质。

现就就以 2008 年度机组报告的 TCAS 系统故障统计数据作为改进缺陷对象,通过测量、分析、改进和控制等阶段过程,目标使 TCAS 系统故障率减少 40% 以上。

1 测量阶段

1.1 流程图,见图 1

1.2 运行图,见图 2

数据选取:2008 年上海航空公司 737NG 机队运行的总航班数为 49 914 个,机组报告 TCAS 系统故障总数为 39 次。故障率即:39/49 914。从中选取 7 896 个连续表现最好的点,利用贝叶斯方法计算短期表现。

1.3 Z 值计算

$$P(d) = 39/49\ 914 = 0.000\ 781; Zlt = 3.17$$

$$P(d) = 1/(7\ 896 + 2) = 0.000\ 127; Zst = 3.66$$

$$Zshift = Zst - Zlt = 3.66 - 3.17 = 0.49$$

1.4 控制技术图,见图 3

1.5 MSA

根据已知真实的非连续型数据 MSA 计算方法,分别 2 次从记录数据中抽出 20 个故障数据进行检查,得到:重复性=操作者一致性/全部;

$$\text{Oper A} = 20/20 = 100\%; \text{Oper B} = 20/20 = 100\%; \text{全部的重复性} = 40/40 = 100\%$$

$$\text{再现性} = \text{操作者之间的一致性} / \text{全部}; \text{再现性} = 19/20 = 95\%。$$

因此,测量系统真实可靠,可以相信采集的有关数据。

2 分析阶段

2.1 鱼骨图,见图 4

2.2 关键因素分析

(1)TCAS 系统故障按飞机号分类柏拉图,见图5。

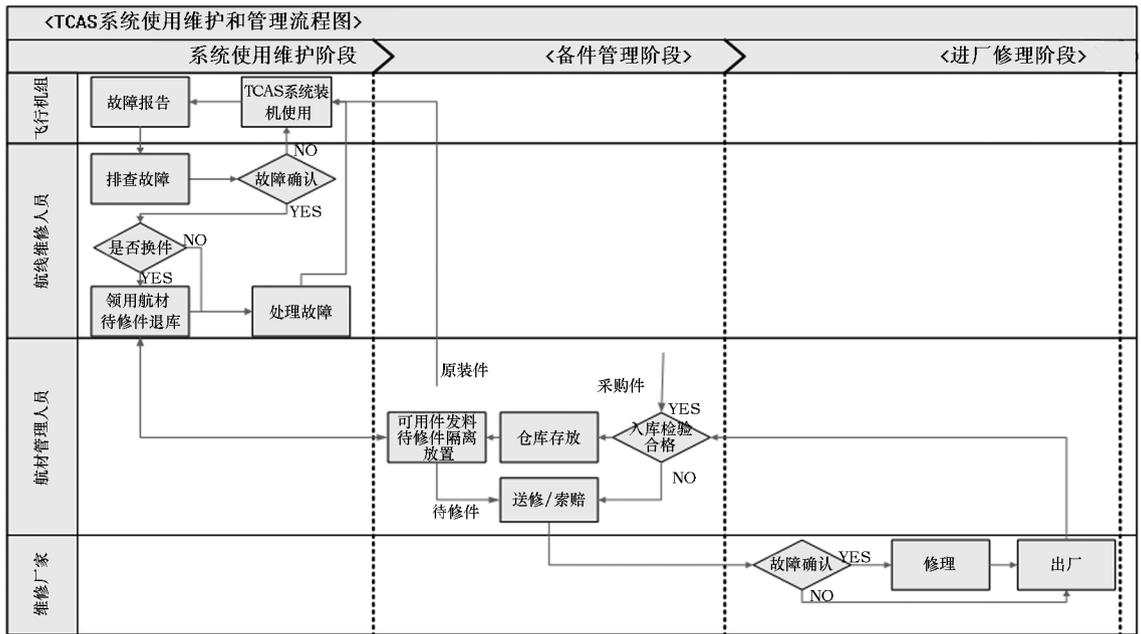


图1 TCAS 系统使用维护和管理流程图

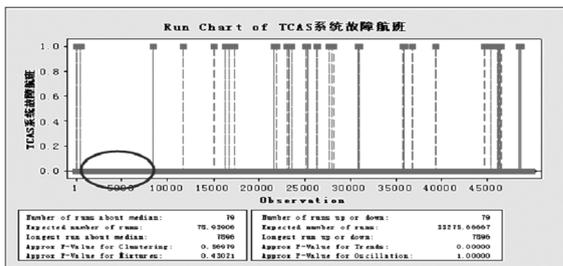


图2 TCAS 系统故障/无故障航班的运行图

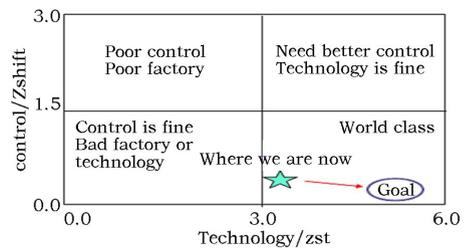


图3 技术控制图

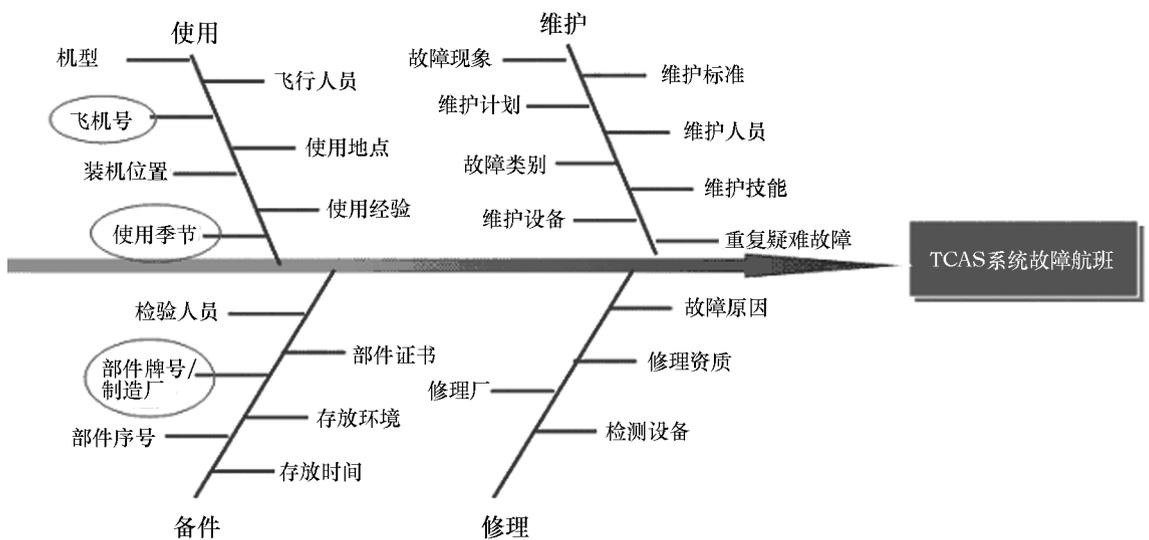
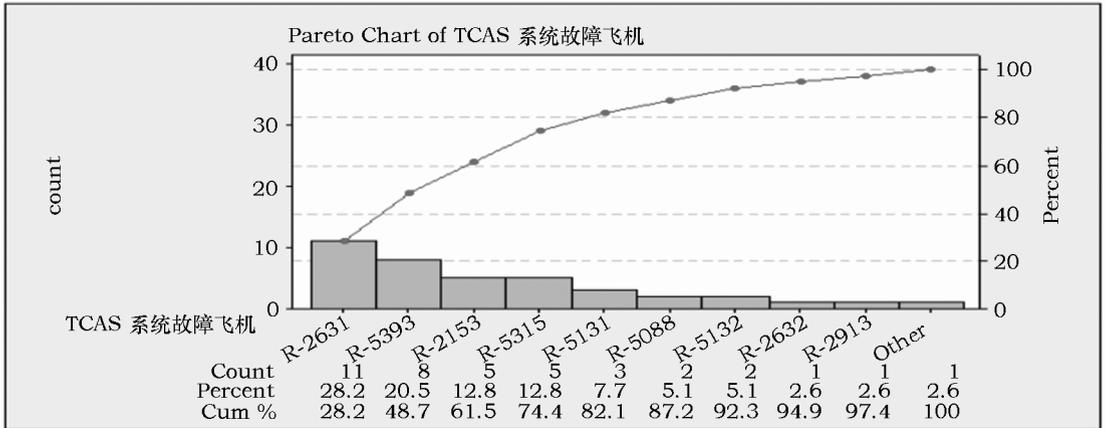


图4 鱼骨图



故障飞机分类可能有些差异

图5 TCAS 系统故障按飞机号分类柏拉图

对飞机号进行列联表独立性检验,见表1。

表1 飞机号列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
B2631、B5393	29	6 336	6 365
B2153、B5315			
其它飞机	10	43 539	43 549
All	39	49 875	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 133.147, DF = 1, P-Value = 0.000

Likelihood Ratio Chi-Square = 77.880, DF = 1, P-Value = 0.000

结论 A:P 值小于 0.05 说明 TCAS 系统故障发生与机号存在统计差异,具有相关性。

(2)TCAS 系统故障按季节分类柏拉图,见图6。

对季节进行列联表独立性检验,见表2。

表2 季节列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
春季	6	12 031	12 037
夏季	15	12 848	12 863
秋季	7	13 458	13 465
冬季	11	11 538	11 549
All	39	49 875	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 5.285, DF = 3, P-Value = 0.152

Likelihood Ratio Chi-Square = 5.276, DF = 3, P-Value = 0.153

结论 B:P 值大于 0.05 说明 TCAS 系统故障发生与季节不存在统计差异,不具有相关性。

(3)TCAS 系统故障与装机 TCAS 生产厂家关系,见图7。

对 TCAS 制造厂进行列联表独立性检验,见表3。

表3 TCAS 制造厂列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
COLLINS	25	44 504	44 529
HONEYWELL	14	5 371	5 385
All	39	49 875	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 25.567, DF = 1, P-Value = 0.000

Likelihood Ratio Chi-Square = 17.155, DF = 1, P-Value = 0.000

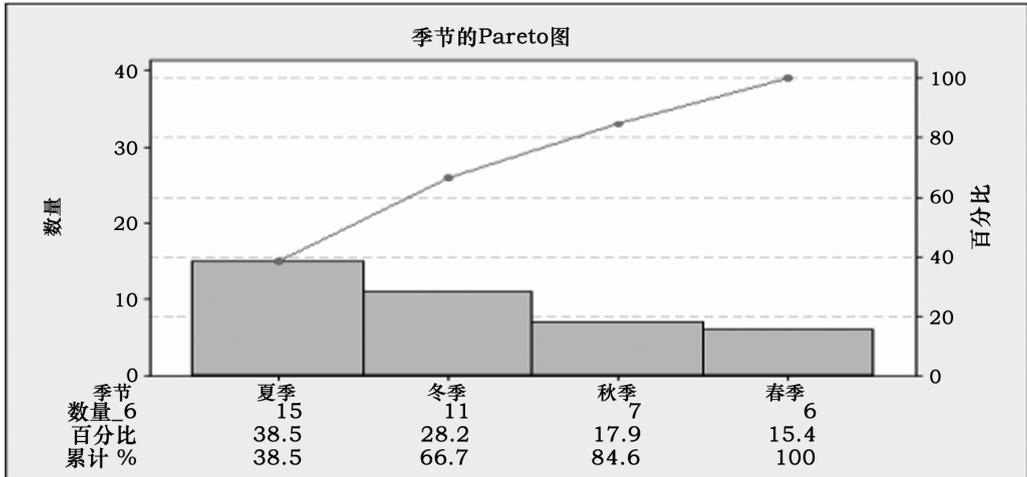
结论 C:P 值小于 0.05 说明 TCAS 系统故障发生与 TCAS 制造厂存在统计差异,具有相关性。HONEYWELL 生产的 TCAS 故障比例大。

根据以上分析,找到结论 A、C 两个关键变量飞机号、TCAS 制造厂/牌号。下面将进一步分析是什么原因按以上变量分组造成与 TCAS 系统故障有统计差异的。

(4)TCAS 系统部件故障类别柏拉图,见图8。

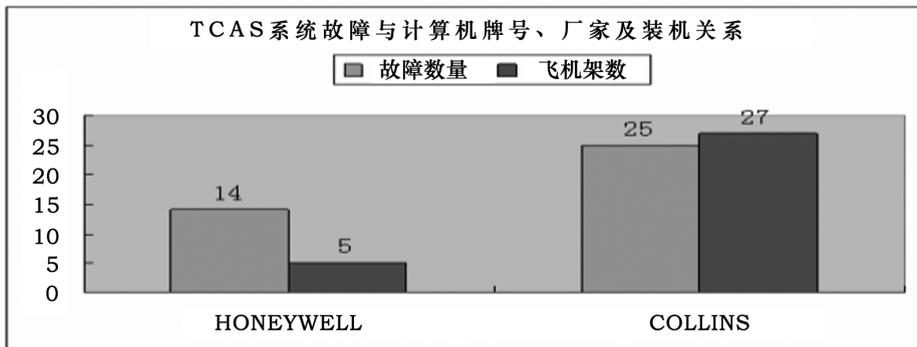
下面将重点研究 TCAS 天线、计算机本体、虚警这三类故障与 TCAS 制造厂、飞机号的关系。

对 TCAS 制造厂分组与天线进行列联表独立性检验,见表4。



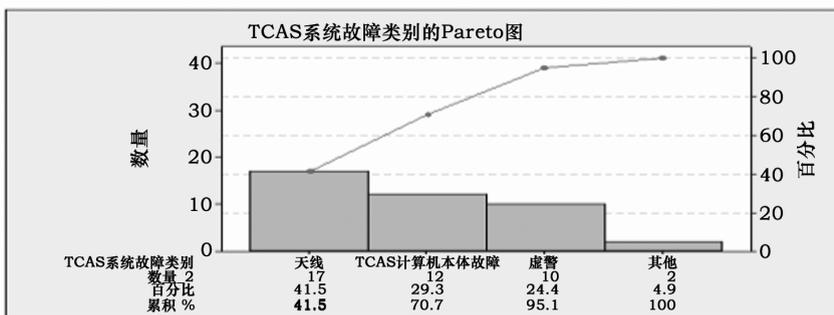
故障按季节分类可能有一些差异

图6 TCAS 系统故障按季节分类柏拉图



安装Honeywell公司TPA-100A型号TCAS计算机的飞机TCAS系统故障报告此书为14次, 而安装数量仅为737机队32架飞机中的5架, 故障比例明显偏大

图7 TCAS 系统故障与装机 TCAS 生产厂家关系图



TCAS系统故障按故障类别主要分为天线、TCAS计算机本体故障、虚警, 其所占比例为95.1%。我们将重点研究这三类故障分别与机号、TCAS计算机牌号/制造厂管理

图8 TCAS 系统故障类别柏拉图

表4 TCAS 制造厂分组与天线列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
COLLINS	13	44 516	44 529
HONEYWELL	4	5 381	5 385
All	17	49 897	49 914

Cell Contents: Count

Pearson Chi-Square=2.868, DF=1, P-Value=0.09

Likelihood Ratio Chi-Square=2.232, DF=1, P-Value=0.135

结论 D: P 值大于 0.05 说明故障类别为天线而引起的 TCAS 系统故障与 TCAS 计算机制造厂及相应生产的牌号部件不存在统计差异, 不具有相关性。

(5) 对 TCAS 制造厂分组与本体故障进行列联表独立性检验, 见表 5。

表5 TCAS 制造厂分组与本体故障
列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
COLLINS	9	44 520	44 529
HONEYWELL	3	5 382	5385
All	12	49 902	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 2.519, DF = 1, P-Value = 0.113

Likelihood Ratio Chi-Square = 1.920, DF = 1, P-Value = 0.166

结论 E:P 值大于 0.05 说明故障类别为本体故障而引起的 TCAS 系统故障与 TCAS 计算机制造厂及相应生产的牌号部件不存在统计差异,不具有相关性。

(6)对 TCAS 制造厂分组与虚警进行列联表独立性检验,见表 6。

表6 TCAS 制造厂分组与虚警列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
COLLINS	3	44 526	44 529
HONEYWELL	7	5 378	5 385
All	10	49 904	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 36.435, DF = 1, P-Value = 0
Likelihood Ratio Chi-Square = 19.649, DF = 1, P-Value = 0.000

结论 F:P 值小于 0.05 说明故障类别为虚警而引起的 TCAS 系统故障与 TCAS 计算机制造厂及相应生产的牌号部件存在统计差异,具有相关性。

为进一步验证分析结果,与其它航空公司交流,了解到他们也存在 Honeywell 相同产品 TCAS TPA-100A 计算机装在波音机队上使用时常虚警率普遍偏高的问题。鉴于此,联系 Honeywell 获知厂家通过全球机队的数据分析,推出 Mod6 的改装解决虚警。

(7)对飞机号分组与天线进行列联表独立性检验,见表 7。

表7 飞机号分组与天线列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
B2631、B5393 B2153、B5315	15	6 350	6 365
其它飞机	2	43 547	43 549
All	17	49 897	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 87.090, DF = 1, P-Value = 0.000

Likelihood Ratio Chi-Square = 50.045, DF = 1, P-Value = 0.000

结论 G:P 值小于 0.05 说明故障类别为天线而引起的 TCAS 系统故障与机号存在统计差异,具有相关性。

进一步收集信息,分析天线引起的故障情况:

原因分析:根据实际 TCAS 故障数据进一步分析,发现 2631、5393 上由于天线问题导致了故障多次反复出现,而天线引起的故障往往具有时稳时现,断续出现的特点,给排故工作带来很大的困难,同时容易造成不正常航班。最后确定的由于天线引起的故障总计 17 次,2 次及以上重复的 15 次,在上述故障中多发现故障接头有水汽和封胶开裂以及货舱积水对下天线的腐蚀等现象。

考虑措施:加强天线更换时接触面清洁,O 型密封圈安装,外部封胶等细节工作的质量,提高维修工艺。同时加强货舱积水检查,从而最大程度地减少对下天线的腐蚀。对于 TCAS 故障利用 TR220 等设备对关联系统进行较为全面的系统测试,以排除关联系统故障对 TCAS 系统造成的影响。

(8)对飞机号分组与计算机故障进行列联表独立性检验,见表 8。

表8 飞机号分组与计算机故障
列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
B2631、B5393 B2153、B5315	8	6 357	6 365
其它飞机	4	43 545	43 549
All	12	49 902	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square = 31.359, DF = 1, P-Value = 0.000

Likelihood Ratio Chi-Square = 18.774, DF = 1, P-Value = 0.000

结论 H:P 值小于 0.05 说明故障类别为计算机故障而引起的 TCAS 系统故障与机号存在统计差异,具有相关性。

根据实际 TCAS 故障数据进一步分析,TCAS 计算机故障 12 次,其中 9 次是重复故障(串件引起),维修人员排查故障中为了准确判断故障,采取的排故措施一般是采取串件的方式,是主动性策略,如果

确是本体问题,将在后续航班中出现相似故障,再次出现时会将其更换,送厂家修理。

(9)对飞机号分组与虚警进行列联表独立性检验,见表9。

表9 飞机号分组与虚警列联表独立性检验表

	故障航班数	无故障航班数	All
B2631、B5393 B2153、B5315	6	6 359	6 365
其它飞机	4	43 545	43 549
All	10	49 904	49 914

Cell Contents:Count

Pearson Chi-Square=20.069,DF=1,P-Value=0.000

Likelihood Ratio Chi-Square=12.349,DF=1,P-Value=0.000

结论 I;P值小于0.05说明故障类别为虚警而引起的TCAS系统故障与机号存在统计差异,具有相关性。

根据实际TCAS故障数据进一步分析发现,虚警引起的故障在5315、5393上发生了6次,而此两架飞机上安装了Honeywell TPA-100A牌号为940-0300-001的TCAS计算机,根据前文调查分析获知的情报,飞机号分组与虚警的相关性实际是关联到了TCAS计算机制造厂及相应生产的牌号部件上,由此引起故障。

2.3 分析总结阶段

用头脑风暴思考方法提出的各种可能因素,通过图表工具、列联表进行独立性检验,并进一步综合分析原因,找到有效改进方向:

(1)HONEYWELL生产的TCAS计算机容易产生虚警情况的改进;

(2)针对飞机上TCAS天线故障原因特点的改进。

3 改进阶段

3.1 针对HONEYWELL生产的TCAS计算机容易产生虚警情况的改进

采取措施:对HONEYWELL的TPA-100A型TCAS计算机送修时执行CSB改装(此CSB改装属厂家支援项目,免费提供给用户)。

3.2 针对飞机上TCAS天线故障原因特点的改进

采取措施:

(1)对维修人员进行按飞机维护手册中TCAS天线更换使用操作和注意要点的培训。

(2)对TCAS上下天线做定期检查,并进行定期维护。

4 控制阶段

通过2008年的统计数据预测了改进后的流程,去除虚警和因天线重复发生的故障记录得到控制图9。

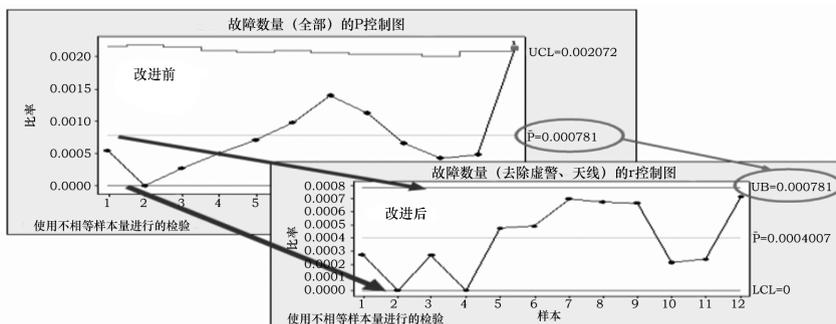


图9 流程改进前后的P控制图

从图9看出,改进后737机队TCAS系统故障率均值是万分之四,比目标值万分之三点六三略高些,如以公司737机队2008年49914个航班量计算,不到2条故障,可实现有效改进目的。

通过可靠性监控流程对TCAS系统进行持续性监控,观察采取改进行动后的使用情况。如果上一个月TCAS系统故障发生率大于万分之七点八一,按可靠性监控流程就会发出警告。从之后的机组报告的故障和相应机务维修时采取的措施及TCAS计算机的修理记录等信息收集统计结果看,未出现过

超警现象,基本上达到了改进预期效果。

5 结论

运用6Sigma的分析手段,通过对收集数据的数学方法验证,找到问题的主要因素,明确改进方向,实施有效改进措施,并控制改进措施的进展和落实。这在为降低B737NG机队TCAS系统故障率的应用中,起到了明显的作用。同理这种方法可以用来改进各种机载系统运行的可靠性,提高民用飞机运行的经济效益和安全水平。