



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109977517 A

(43)申请公布日 2019.07.05

(21)申请号 201910208992.X

(22)申请日 2019.03.19

(71)申请人 北京瑞斯克企业管理咨询有限公司
地址 100020 北京市朝阳区望京街2号楼21层2112

申请人 四川函钛科技有限公司

(72)发明人 李彤 綦麟 刘柳

(74)专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 武君

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

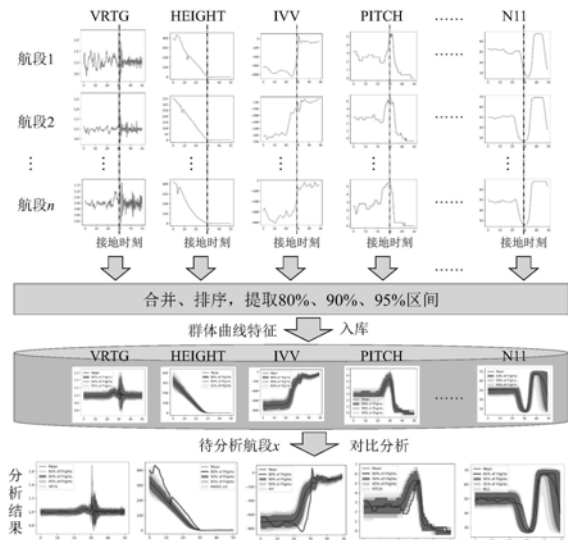
权利要求书2页 说明书7页 附图10页

(54)发明名称

一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法,属于数据分析领域。该方法为:针对一些比较重要的典型QAR参数,首先将不同航段的参数曲线按接地时刻对齐,接着对每个航段取接地前30秒到接地后20秒,共50秒的数据,并对不同航段该参数的值进行排序,并分别取中间的80%、90%、95%部分代表群体水平,绘制出对应的条带图。然后针对某个具体航段,对比其QAR参数曲线与群体曲线的区别,从而帮助飞行员发现自己的操作与大众操作之间的差异,有助于分析重着陆事件的发生原因。



1. 一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法,其特征在于:该方法为:

针对典型QAR参数,首先将不同航段的参数曲线按接地时刻对齐,接着对每个航段取接地前30秒到接地后20秒,共50秒的数据,并对不同航段该参数的值进行排序,并分别取中间的80%、90%、95%部分代表群体水平,绘制出对应的条带图;

然后针对某个具体航段,将其QAR参数曲线叠加到对应参数的群体曲线带状图上,进行对比分析。

2. 根据权利要求1所述的一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法,其特征在于:

所述典型QAR参数为VRTG、IVV、PITCH、PITCH控制命令、ENGINE、WIND和无线电高度。

3. 根据权利要求2所述的一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法,其特征在于:

所述VRTG的变化曲线具体对比分析为:

选择着陆载荷较大,即VRTG峰值 $\geq 1.6g$ 的重着陆航段,分析它们的VRTG曲线与群体曲线的差异,结果表明,这些航段的VRTG峰值都远远超出了95%区间上界,接着观察这些航段的VRTG曲线在50英尺之前的变化,若曲线波动较小,说明这些航段在进近着陆时气流相对平稳,从而进一步说明飞行员操作导致重着陆的可能性更大;

所述IVV的变化曲线具体对比分析为:

在50英尺至接地这段时间,这四个航段的下降率IVV曲线呈现出较为明显的“下凸”特点,而平均曲线则呈明显“上凸”特点,两种不同的曲线特点代表了两种截然不同的操作模式,飞行员可据此有针对性地加强训练,从而控制好着陆前的下降率;

所述PITCH的变化曲线具体对比分析为:

着陆载荷更大的重着陆航段,其PITCH曲线往往会明显偏离群体曲线,在快进入50英尺高度的时候,这些重着陆航段的PITCH往往会出现明显的下降;

所述PITCH控制命令曲线具体对比分析为:

飞行员的推拉杆操作模式分为两类,一类是操作比较“剧烈”的,另一类是相对比较“柔和”的;若只从推拉杆的量来看的话,重着陆和非重着陆航段似乎不存在显著的区别;然而,如果将注意力集中在50英尺高度前几秒到接地这个区间,重着陆航段飞行员的总体操作是推杆量大于拉杆量,而非重着陆航段飞行员的总体操作是拉杆量大于推杆量,将这种特征提取出来,有助于进行重着陆事件预测;

所述ENGINE的变化曲线具体对比分析为:

跟发动机转速比相关的QAR参数有两个,分别是N11和N12,它们分别对应1号和2号发动机转速比,转速比越高,发动机输出动力越强;

重着陆和非重着陆航段的N11值都是在进入50英尺高度之后开始下降,N11从开始下降到降低到最小值所需要的时间相同,而重着陆航段由于50英尺接地时间明显比非重着陆航段短,导致起发动机转速还没有下降到最低点飞机就接地,其N11曲线的最低点会出现在接地之后,使得曲线整体出现右移;

所述WIND的变化曲线具体对比分析为:

将风速分解为径向风和侧风,径向风用WIN_ALG表示,侧风用WIN_CRS表示;分析某些重

着陆航段,发现在50英尺至接地期间径向风和侧风都发生切变,飞行员的推拉杆操作比较猛烈,飞机的俯仰姿态变化比较剧烈,说明风速对飞行员的操作造成了一定的影响;

所述无线电高度曲线具体对比分析为:

在50英尺至接地这段时间,接地前相同的时刻,即接地前3秒、2秒和1秒,重着陆航段的无线电高度明显高于非重着陆航段,说明重着陆航段的下降速度明显高于非重着陆航段,且重着陆航段的曲线明显偏离了群体曲线;

重着陆航段的无线电高度基本上呈直线下降的特点,与之相比,非重着陆航段的曲线更接近“下凸”的二次曲线,即越接近接地时刻,下降越平缓,无线电高度曲线的变化特点有助于刻画飞机的着陆平稳性。

一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析 方法

技术领域

[0001] 本发明属于数据分析领域,涉及一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法。

背景技术

[0002] 飞行安全一直是民航业的重点关注对象,根据波音公司1959~2016年重大飞行安全事故数据显示,进近和着陆阶段是最容易发生重大安全事故的飞行阶段,事故及不安全事件的发生率明显高于其他飞行阶段。虽然着陆阶段平均只占飞行时间的1%,但其事故发生率却高达24%,因此,着陆阶段是飞行安全保证的关键阶段。

[0003] 重着陆作为一种飞行安全事故,是指当飞机着陆瞬间,起落架与地面产生的冲击载荷(一般用垂直加速度表示)超过规定限度的事件。在着陆阶段的安全事件中,重着陆是其中一类发生频繁的不安全事件,作为一类风险事件,重着陆不仅会给乘客带来不好的飞行体验,损害航空公司形象,重着陆频发会加速机翼、起落架、发动机结构的疲劳损伤甚至断裂,增大着陆安全事故的发生几率,给航空公司带来巨大经济损失,情况严重时会引起灾难性事故后果,对旅客生命安全造成威胁。

[0004] QAR参数曲线的可视化方法能够帮助飞行员直观地了解自己的飞行动态,并能够综合多个参数曲线对重着陆的成因进行分析。然而该方法的一个缺点是很难在多个航段之间进行横向比较,即飞行员无法知道自己的操作曲线在整体操作曲线中处于什么位置,与“平均”水平相差多大,为了弥补这种缺点,提出了基于个体与群体差异化分析的方案, Li等人已经开展了类似的工作,她们采用聚类和离群点检测方法,从海量的飞行QAR数据中找到哪些参数异常的飞行曲线模式,但还存在一些缺陷:首先, Li等人没有将她们的方法应用到重着陆分析中;其次,她们所分析的是全行段曲线,不能反映航段局部的细粒度曲线模式。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法。

[0006] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种基于QAR参数曲线的个人重着陆与群体飞行模式对比分析方法,该方法为:

[0008] 针对典型QAR参数,首先将不同航段的参数曲线按接地时刻对齐,接着对每个航段取接地前30秒到接地后20秒,共50秒的数据,并对不同航段该参数的值进行排序,并分别取中间的80%、90%、95%部分代表群体水平,绘制出对应的条带图;

[0009] 然后针对某个具体航段,将其QAR参数曲线叠加到对应参数的群体曲线带状图上,进行对比分析。

[0010] 进一步,所述典型QAR参数为VRTG、IVV、PITCH、PITCH控制命令、ENGINE、WIND和无线电高度。

[0011] 进一步,所述VRTG的变化曲线具体对比分析为:

[0012] 选择着陆载荷较大,即VRTG峰值 $\geq 1.6g$ 的重着陆航段,分析它们的VRTG曲线与群体曲线的差异,结果表明,这些航段的VRTG峰值都远远超出了95%区间上界,接着观察这些航段的VRTG曲线在50英尺之前的变化,若曲线波动较小,说明这些航段在进近着陆时气流相对平稳,从而进一步说明飞行员操作导致重着陆的可能性更大;

[0013] 所述IVV的变化曲线具体对比分析为:

[0014] 在50英尺至接地这段时间,这四个航段的下降率IVV曲线呈现出较为明显的“下凸”特点,而平均曲线则呈明显“上凸”特点,两种不同的曲线特点代表了两种截然不同的操作模式,飞行员可据此有针对性地加强训练,从而控制好着陆前的下降率;

[0015] 所述PITCH的变化曲线具体对比分析为:

[0016] 着陆载荷更大的重着陆航段,其PITCH曲线往往会明显偏离群体曲线,在快进入50英尺高度的时候,这些重着陆航段的PITCH往往会出现明显的下降;

[0017] 所述PITCH控制命令曲线具体对比分析为:

[0018] 飞行员的推拉杆操作模式分为两类,一类是操作比较“剧烈”的,另一类是相对比较“柔和”的;若只从推拉杆的量来看的话,重着陆和非重着陆航段似乎不存在显著的区别;然而,如果将注意力集中在50英尺高度前几秒到接地这个区间,重着陆航段飞行员的总体操作是推杆量大于拉杆量,而非重着陆航段飞行员的总体操作是拉杆量大于推杆量,将这种特征提取出来,有助于进行重着陆事件预测;

[0019] 所述ENGINE的变化曲线具体对比分析为:

[0020] 跟发动机转速比相关的QAR参数有两个,分别是N11和N12,它们分别对应1号和2号发动机转速比,转速比越高,发动机输出动力越强;

[0021] 重着陆和非重着陆航段的N11值都是在进入50英尺高度之后开始下降,N11从开始下降到降低到最小值所需要的时间相同,而重着陆航段由于50英尺接地时间明显比非重着陆航段短,导致起发动机转速还没有下降到最低点飞机就接地,其N11曲线的最低点会出现在接地之后,使得曲线整体出现右移;

[0022] 所述WIND的变化曲线具体对比分析为:

[0023] 将风速分解为径向风和侧风,径向风用WIN_ALG表示,侧风用WIN_CRS表示;分析某些重着陆航段,发现在50英尺至接地期间径向风和侧风都发生切变,飞行员的推拉杆操作比较猛烈,飞机的俯仰姿态变化比较剧烈,说明风速对飞行员的操作造成了一定的影响;

[0024] 所述无线电高度曲线具体对比分析为:

[0025] 在50英尺至接地这段时间,接地前相同的时刻,即接地前3秒、2秒和1秒,重着陆航段的无线电高度明显高于非重着陆航段,说明重着陆航段的下降速度明显高于非重着陆航段,且重着陆航段的曲线明显偏离了群体曲线;

[0026] 重着陆航段的无线电高度基本上呈直线下降的特点,与之相比,非重着陆航段的曲线更接近“下凸”的二次曲线,即越接近接地时刻,下降越平缓,无线电高度曲线的变化特点有助于刻画飞机的着陆平稳性。

[0027] 本发明的有益效果在于:本发明与Li等人的工作主要存在以下区别:

[0028] (1) 研究目标不同:Li等人的工作主要是为了发现QAR参数曲线中的异常模式,然后将其反馈给飞行专家作进一步分析,其工作主要应用于超限事件检测、异常飞行操作模

式发现等方面。而本发明工作的主要目的是通过个体QAR参数曲线与群体曲线的对比分析，帮助飞行员找到重着陆的发生原因，其目的更加明确。

[0029] (2) 考虑的时间范围不同:Li等人的工作考虑了从起飞到着陆的整个飞行阶段,通过重采样(Re-Sampling)将每个航段归一化为长度相同的特征向量,然后对向量进行聚类操作,从而发现异常操作模式。而本发明工作聚焦于着陆阶段,虽然该阶段只占整个航段的1%左右,但其对于着陆安全来说至关重要,本发明通过对着陆阶段提供细粒度的分析,更有助于发现着陆安全事故的原因。

[0030] 本发明提出了基于个体与群体差异化分析的重着陆研究方法,针对一些比较重要的典型QAR参数,首先将不同航段的参数曲线按接地时刻对齐,接着对每个航段取接地前30秒到接地后20秒,共50秒的数据,并对不同航段该参数的值进行排序,并分别取中间的80%、90%、95%部分代表群体水平,绘制出对应的条带图。然后针对某个具体航段,对比其QAR参数曲线与群体曲线的区别。本发明给出了VRTG、IVV、PITCH、PITCH控制命令、风速、无线电高度等参数的个体与群体对比结果。通过本发明所提出的个体与群体差异化分析方法,能够帮助飞行员发现自己的操作与大众操作之间的差异,有助于分析重着陆事件的发生原因。

附图说明

[0031] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚,本发明提供如下附图进行说明:

[0032] 图1为基于个体与群体差异化分析的整体框架;

[0033] 图2为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的VRTG曲线;

[0034] 图3为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的VRTG曲线;

[0035] 图4为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的IVV曲线;

[0036] 图5为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的IVV曲线;

[0037] 图6为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的PITCH和IVV曲线;

[0038] 图7为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的PITCH曲线;

[0039] 图8为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的PITCH控制命令曲线;

[0040] 图9为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的PITCH控制命令曲线;

[0041] 图10为曲线围成的面积示意图;

[0042] 图11为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的N11曲线;

[0043] 图12为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的N11曲线;

[0044] 图13为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的WIND曲线;

[0045] 图14为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的WIND曲线;

[0046] 图15为重着陆航段($VRTG \geq 1.6g$)的无线电高度曲;

[0047] 图16为非重着陆航段($VRTG < 1.5g$)的无线电高度曲线。

具体实施方式

[0048] 下面将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0049] 1算法介绍

[0050] 本发明所提出的方法主要基于着陆阶段的个体QAR参数曲线与群体对比,其整体框架如图1所示。具体来说,首先针对一些比较重要的典型QAR参数,将不同航段的参数曲线按接地时刻对齐(如图1中的垂直虚线所示)。接着对每个航段取接地前30秒到接地后20秒,共50秒的数据,从而保证不同航段的数据长度一致。然后在每个时刻针对某个具体QAR参数,对不同航段该参数的值进行排序,并分别取中间的80%、90%、95%部分代表群体水平,绘制出对应的条带图。最后针对某个需要进行分析的航段,将其QAR参数曲线(图1中最下方的红色曲线)叠加到对应参数的群体曲线带状图上,进行对比分析。

[0051] 2结果分析

[0052] 2.1 VRTG曲线

[0053] 首先选择了4个着陆载荷较大(VRTG峰值 $\geq 1.6g$)的重着陆航段,分析VRTG曲线与群体曲线的差异,结果如图2所示。图2上方给出了该行段的VRTG峰值,以便分析者对该重着陆的情况有一个直观印象。图2上方的“[50ft→0ft]time”表示该航段飞机从50英尺高度下降到接地时刻所用的时间,可以看到,这几个重着陆航段的时间都比较短,在5秒左右。图2中的红色实线表示该航段的VRTG参数变化曲线,蓝色实线是由群体的平均值构成的曲线,三条颜色逐渐变浅的蓝色条带分别对应群体VRTG曲线的80%、90%、95%区间。可以看到,这四个航段的VRTG峰值都远远超出了95%区间上界。图2中的三条紫色竖线的含义:从左往右分别代表被分析航段的飞机处于50英尺高度、接地瞬间、完全接地三个时刻,在图2中也给出了相应的文字标注。需要注意的是,群体分析中利用接地时刻(中间的竖线)对不同的航段进行对齐,而不同航段进入50英尺高度的时间和完全接地的时间往往不一样,因此图2中的左右两条竖线只对应被分析的航段,不代表群体的50英尺高度时刻和完全接地时刻。通过观察VRTG曲线在50英尺之前的变化,可以看到图2中右上图对应航段的VRTG曲线较为平稳,而其他三个航段则波动更明显,说明该航段在进近着陆时气流平稳,因此飞行员操作导致重着陆的可能性更大。

[0054] 作为对比,随机选取了4个着陆载荷较小的非重着陆航段,结果如图3所示。可以看到,在50英尺到完全接地的这段时间内,这几个航段的VRTG曲线都在包线内。在进入50英尺高度之前,上面两个航段的VRTG曲线更为平稳,说明着陆气流较为平稳,下面两个航段的VRTG曲线则波动较大,说明气流波动较大。同时,对比图2,可以看到图3中的几个航段的50英尺至接地时间约在8~10秒,明显高于重着陆航段。

[0055] 2.2 IVV曲线

[0056] 通过第2章的IVV曲线可视化分析,发现50英尺高度至接地这段时间飞行员对IVV的控制至关重要,因此这里也给出了个体与群体的IVV曲线对比结果。选取图2中的四个重着陆航段,其IVV曲线结果如图4所示,从图4中可以明显地看到,在50英尺至接地这段时间,四个航段的IVV值(IVV为负数,这里只考虑绝对值大小)明显高于群体水平,上面两个航段的IVV曲线偏离更远,因此其重着陆载荷也更大。在50英尺至接地这段时间,这四个航段的IVV曲线呈现出较为明显的“下凸”特点,而平均曲线则呈明显“上凸”特点,两种不同的曲线特点代表了两种截然不同的操作模式,飞行员可据此有针对性地加强训练,从而控制好着陆前的下降率。此外,还可以看到图4中右上图的航段,其进入50英尺时的IVV最大,达到了一800ft/min,因此其接地所用时间也较短,只过了4.75s就接地了。左上角航段虽然进入50英尺时的IVV不算很高(大约-700ft/min),但是在进入50英尺之后,飞机的下降率并没

有立刻减小,而是出现了短暂的上升,所以其接地时间也很短,只有4.75秒。下面两个航段,飞机进入50英尺时的IVV均在700左右,且进入50英尺高度之后IVV已经开始下降,所以接地时间稍长,均为5.25秒。

[0057] 作为对比,给出了4个非重着陆航段的IVV变化曲线,如图4所示。可以看到,在50英尺至接地这段时间,这四个航段的IVV变化曲线基本都在80%区间内,此外,与重着陆航段IVV曲线“下凸”的特点相比,非重着陆航段的IVV曲线具有明显的“上凸”特点,即进入50英尺高度之后,IVV先迅速减小,使得飞机的下降速度尽早放缓,然后IVV的减小趋势逐渐趋于平稳,使得落地前的瞬时IVV控制在 $0\sim-200\text{ft}/\text{min}$ 范围内。在进入50英尺高度的时刻,这四个非重着陆航段的IVV大约在 $-600\sim-700\text{ft}/\text{min}$ 之间,略小于重着陆航段,但区别不是很大。由于非重着陆航段的IVV控制策略是“先紧后松”,因此其在50英尺至接地这段时间内的平均IVV比重着陆航段更小,所以其50英尺至接地时间也更长,大约在8~9秒之间。

[0058] 2.3 PITCH曲线

[0059] 飞机的IVV通常受其俯仰姿态(PITCH)的影响,因此也给出了个体与群体的PITCH曲线对比结果。选取图4中的四个重着陆航段,其PITCH曲线结果如图6所示。为了便于进行关联分析,将图4中的IVV曲线也加入到了图6中,左侧为IVV曲线,右侧为该航段对应的PITCH曲线。可以看到,上面两个载荷更大的航段,其PITCH曲线明显偏离了群体曲线,此外,在快进入50英尺高度的时候,这两个航段的PITCH都出现了明显的下降,这也解释了为什么左边的IVV曲线在进入50英尺高度前会上升。另外,在进入50英尺高度之前,第二个航段($\text{VRTG}=1.688$)的平均俯仰姿态约为 2.5° ,而第一个航段($\text{VRTG}=1.695$)的平均俯仰姿态约为 3° ,因此第二个航段在进入50英尺之前的IVV明显高于第一个航段,这说明,在进近阶段需保持合适的俯仰角以实现IVV的控制。

[0060] 第三个航段在进入50英尺高度之前,俯仰角变化较为剧烈,在进入50英尺高度时,俯仰角已经达到了 4° ,飞行员可能是为了避免擦尾,先将俯仰角减小然后在拉升,但这时候高度已经低于50英尺,减小俯仰角必然会失去对IVV的控制效果,因此可以看到图6中左图中IVV曲线会在中途偏离群体曲线。通过观察这四个航段50英尺至接地区间的PITCH曲线,发现其存在以下共同特点:曲线上升较晚,且上升曲线基本呈直线或者略微“下凸”曲线。

[0061] 作为对比,针对图5中的4个非重着陆航段,给出其个体与群体对比的PITCH曲线,如图7所示。可以看到,图7中的PITCH曲线基本都是在50英尺高度时刻开始上升,若单独观察50英尺至接地这段曲线,可以发现其共同特点是前期上升势头明显,之后逐渐平稳或略微下降。对比图5不难发现,这种俯仰变化模式的好处是前期能够迅速将IVV降低下来,后期再逐步调整使得飞机能够以较小的IVV接地,且50英尺至接地时间又不至于太长。

[0062] 2.4 PITCH控制命令曲线

[0063] 飞机的俯仰姿态主要是通过飞行员的俯仰控制命令(对应QAR中的PITCH_CPT和PITCH_F0参数)来进行控制的,分别针对图6和图7中的4个重着陆和非重着陆航段,给出其PITCH控制命令的个体与群体对比曲线,如图8和图9所示。由于通常只有一名飞行员作为主操作,因此图8和图9中只给出了主操作飞行员的操作曲线,PITCH_CPT对应机长,PITCH_F0对应副机长。

[0064] 此外,也给出了非重着陆航段对应的PITCH控制命令曲线,如图9所示。

[0065] 从图9中可以看到,飞行员的推拉杆操作模式大致可以两类,一类是操作比较“剧

烈”的,如图8中左边一列以及图9中的左下图所示。另一类是相对比较“柔和”的,如图8和图9中的右下子图所示。若只从推拉杆的量来看的话,重着陆和非重着陆航段似乎不存在显著的区别,例如图9中的左下子图的推拉杆操作也比较剧烈,但最终的着陆载荷却很小。然而,如果将注意力集中在50英尺高度前几秒到接地这个区间(即图9中横坐标20~30s对应区间),并考虑蓝色曲线(平均值)和红色曲线围成的面积,将红色曲线高于蓝色曲线部分的面积定义为 S^+ ,将红色曲线低于蓝色曲线部分的面积定义为 S^- ,如图10所示。可以看到,在图10中20~30s这个区间,重着陆航段的 S^+ 要明显高于 S^- ,而非重着陆的航段则恰好相反, S^- 要明显高于 S^+ 的,说明在这个区间,重着陆航段飞行员的总体操作是推杆量大于拉杆量,而非重着陆航段飞行员的总体操作是拉杆量大于推杆量,将这种特征提取出来,将有助于进行重着陆事件预测。

[0066] 2.5 ENGINE曲线

[0067] 飞机在接地前几秒,飞行员通常会根据飞机报告的无线高度提前将飞机引擎拉低,待飞机完全着陆后,再反推引擎,给飞机提供反向动力,使飞机能够快速减速至安全速度。在QAR参数中,可以通过飞机引擎的转速比来反映引擎的工作状态,进而反映飞行员对引擎的操作情况。跟发动机转速比相关的QAR参数有两个,分别是N11和N12,它们分别对应1号和2号发动机转速比,转速比越高,发动机输出动力越强。

[0068] 分别针对图8和图9的重着陆和非重着陆航段,给出了N11的个体与群体对比曲线,如图11和图12所示,由于N11与N22曲线基本相同,因此这里没有给出N12的曲线变化。可以看到,N11曲线的总体变化趋势是:进入50英尺高度之后,N11的值先减小并逐渐降低到最小值(25%左右),然后再增加到最大值(发动机反推辅助减速)并保持一段时间,最后再减小。对比图11和图12,可以看到重着陆航段的N11曲线与平均值曲线相比出现了明显的整体右移,而非重着陆航段则没有出现明显的右移。此外,非重着陆航段的N11取消最小值点基本都是出现在接地时刻附近,而重着陆航段的最小值点都出现在接地时刻之后。通过分析发现原因如下:重着陆和非重着陆航段的N11值基本都是在进入50英尺高度之后开始下降,且仔细观察可以发现,N11从开始下降到降低到最小值所需要的时间基本是相同的(发动机减速性能相同,图12右侧的两个航段曲线的“波谷”更宽是因为飞行员延迟了发动机反向加速的时间),而重着陆航段由于50英尺接地时间明显比非重着陆航段短,导致起发动机转速还没有下降到最低点飞机就接地了,所以其N11曲线的最低点会出现在接地之后,使得曲线整体出现右移。若没有个体与群体的曲线对比分析,则很难发现这种规律,这也体现了本章所提的个体与群体差异化分析方法的优点。

[0069] 2.6 WIND曲线

[0070] 由于天气也是导致重着陆事件的原因之一,因此分别针对图11和图12的重着陆和非重着陆航段,给出其风速变化的个体与群体对比,结果如图13和14所示。与前面章节类似,将风速分解为径向风和侧风,图13和图14的左侧为径向风(用WIN_ALG表示),右侧为侧风(用WIN_CRS表示)。从图13和图14中可以看到,重着陆载荷最大的两个航段,其着陆期间的风速都不大,基本都在80%区间以内,且接地前没有出现风切变,说明风速不是导致该重着陆的主要原因。第三个重着陆航段($VRTG=1.676g$) 在50英尺至接地期间径向风和侧风都发生了切变,因此可以看到图8中飞行员的推拉杆操作比较猛烈,且图6中飞机的俯仰姿态变化也比较剧烈,说明风速对飞行员的操作造成了一定的影响。图4中径向风变化较为剧

烈,但侧风相对稳定。相比之下,图14中的非重着陆航段风速相对更稳定一些,没有出现风切变。由于这里样本较少,仅从图13和图14中还无法得到风速影响重着陆的结论,需要对更多的样本进行统计分析以进一步验证。

[0071] 2.7无线电高度曲线

[0072] 在飞机进入跑道以后,无线电高度可精确反映飞机距离跑道的高度,针对图13和图14中的重着陆和非重着陆航段,分别给出无线电高度(HEIGHT)的个体与群体对比曲线,如图15和图16所示。由于无线电高度反映的是飞机距离地面的高度,而飞机在进入跑道头以前,地面可能会有起伏,所以可以看到图15和图16中的曲线在前半段会有明显的波动。不过,当飞机进入跑道头以后(通常认为是50英尺高度之后),可以认为无线电高度是比较准确的,因此着重关注50英尺至接地这段时间内的无线电高度变化。从图15和图16中可以看到,在50英尺至接地这段时间,接地前相同的时刻(如接地前3秒、2秒、1秒),重着陆航段的无线电高度明显高于非重着陆航段,说明重着陆航段的下降速度明显高于非重着陆航段,且重着陆航段的曲线明显偏离了群体曲线。此外,重着陆航段的无线电高度基本上呈直线下降的特点,与之相比,非重着陆航段的曲线更接近下凸的二次曲线,即越接近接地时刻,下降越平缓,这也是平均曲线的特点。可以看到,无线电高度的变化曲线特点能够较好地刻画飞机的着陆水平。

[0073] 最后说明的是,以上优选实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述,但本领域技术人员应当理解,可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变,而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

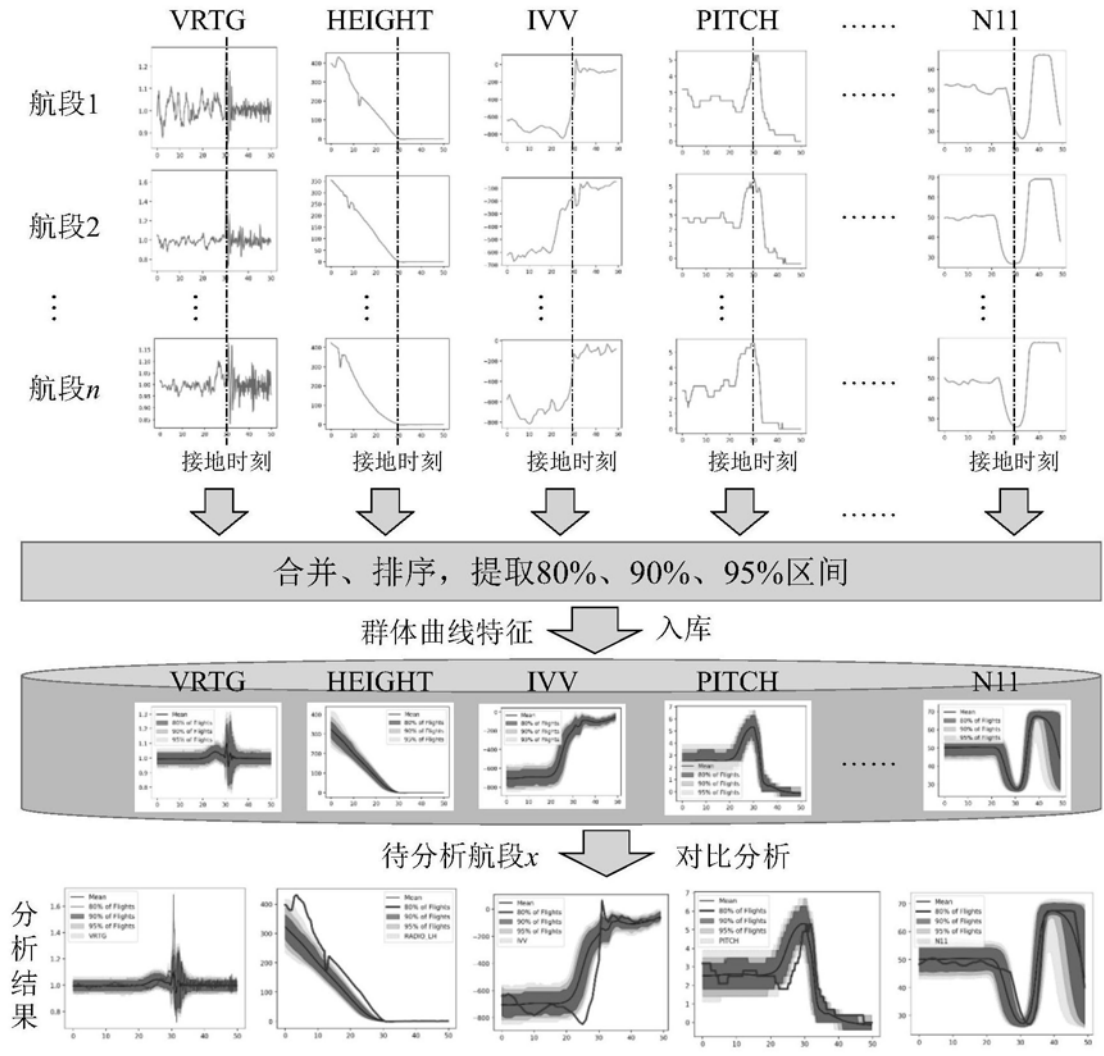
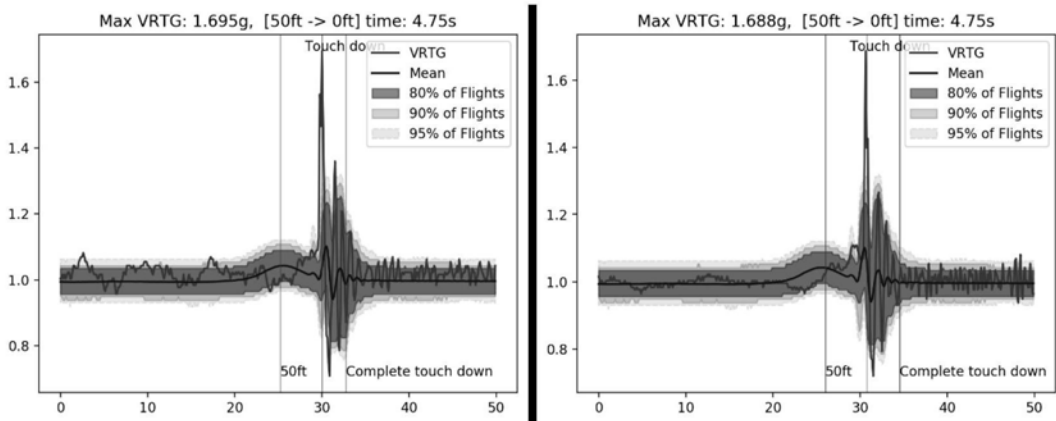


图1



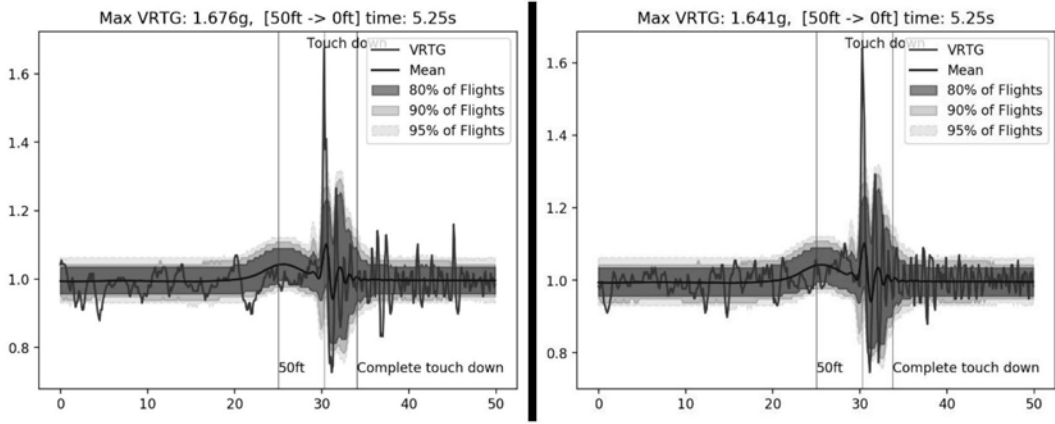


图2

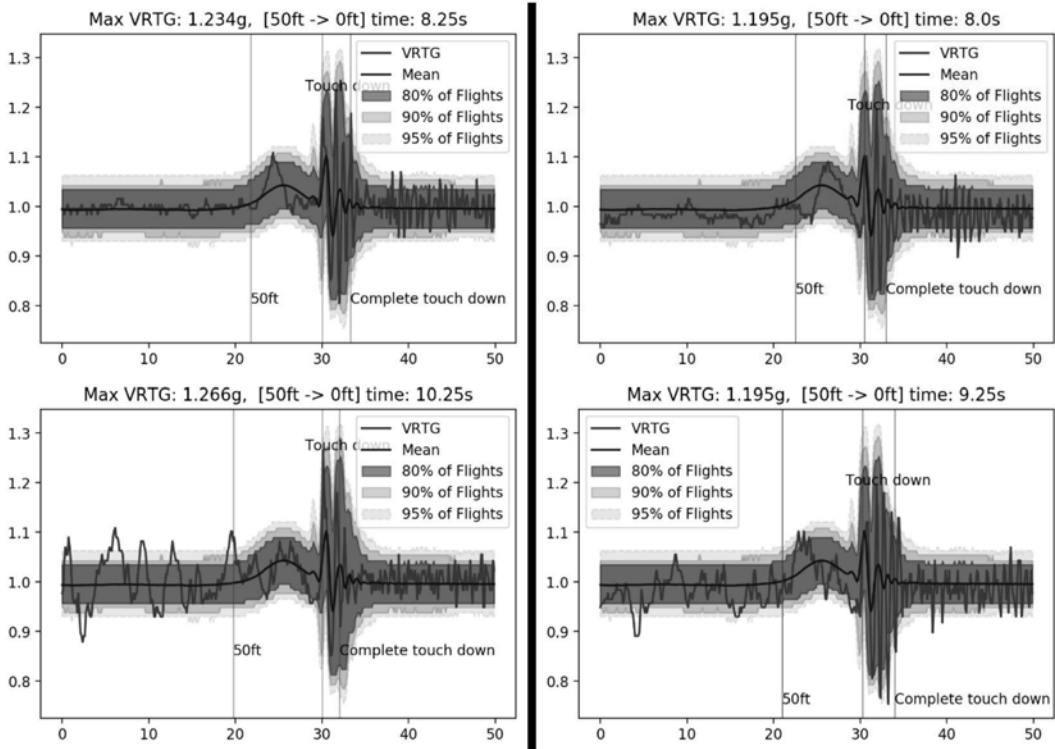


图3

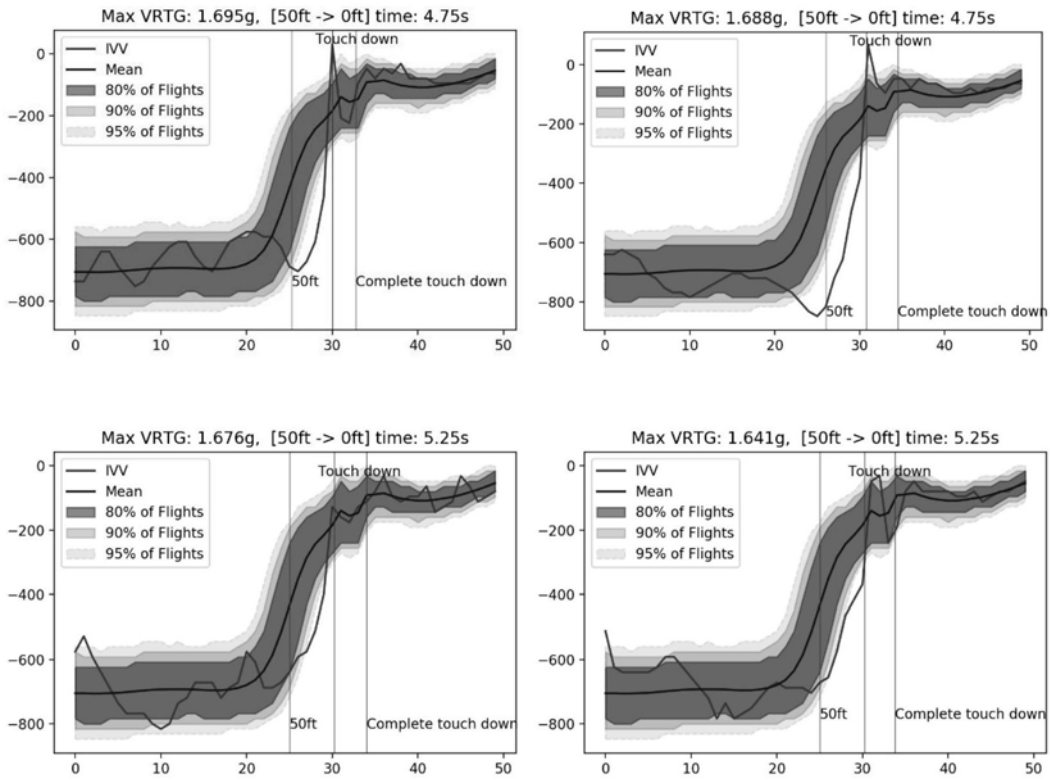


图4

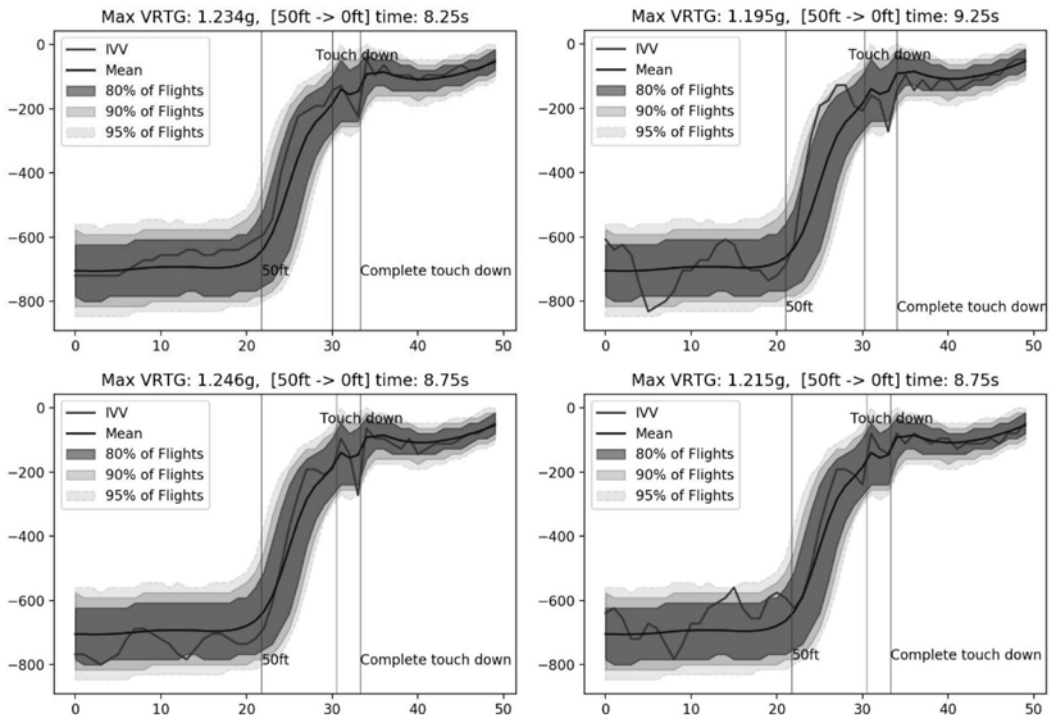


图5

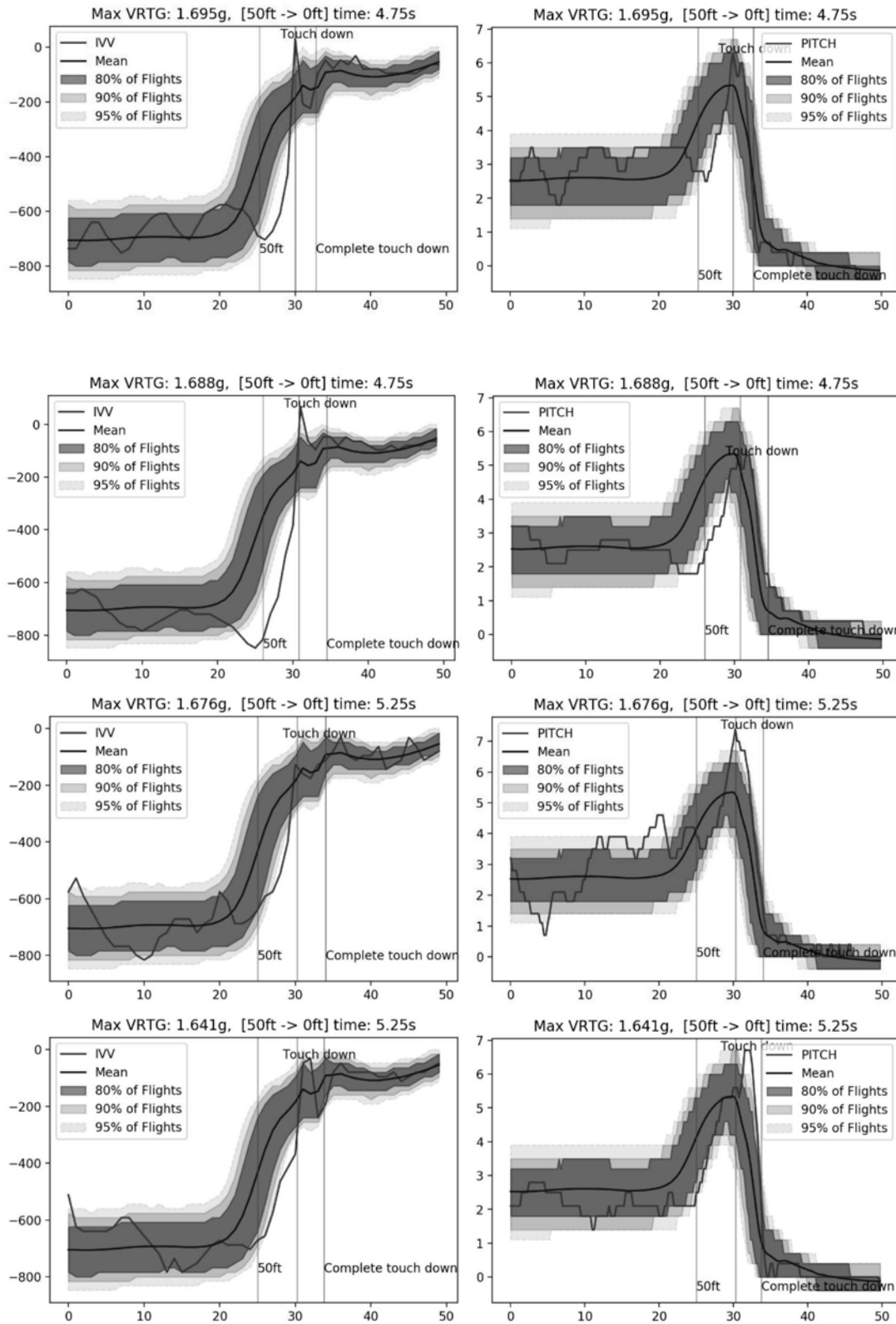


图6

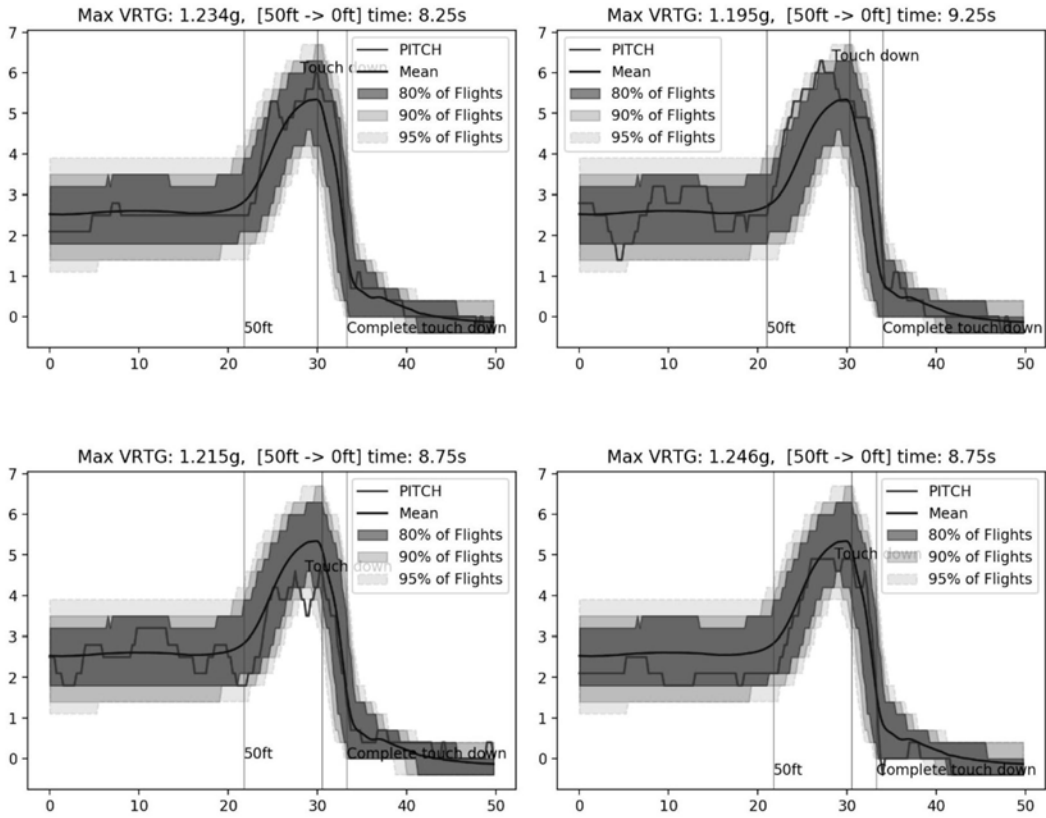


图7

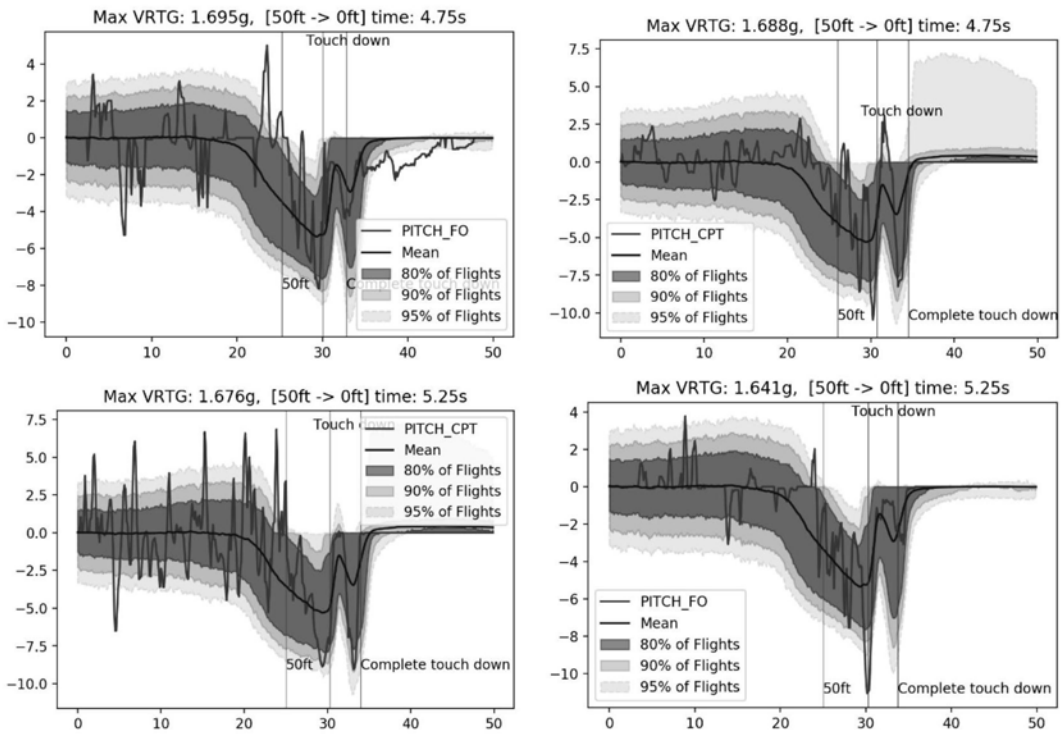


图8

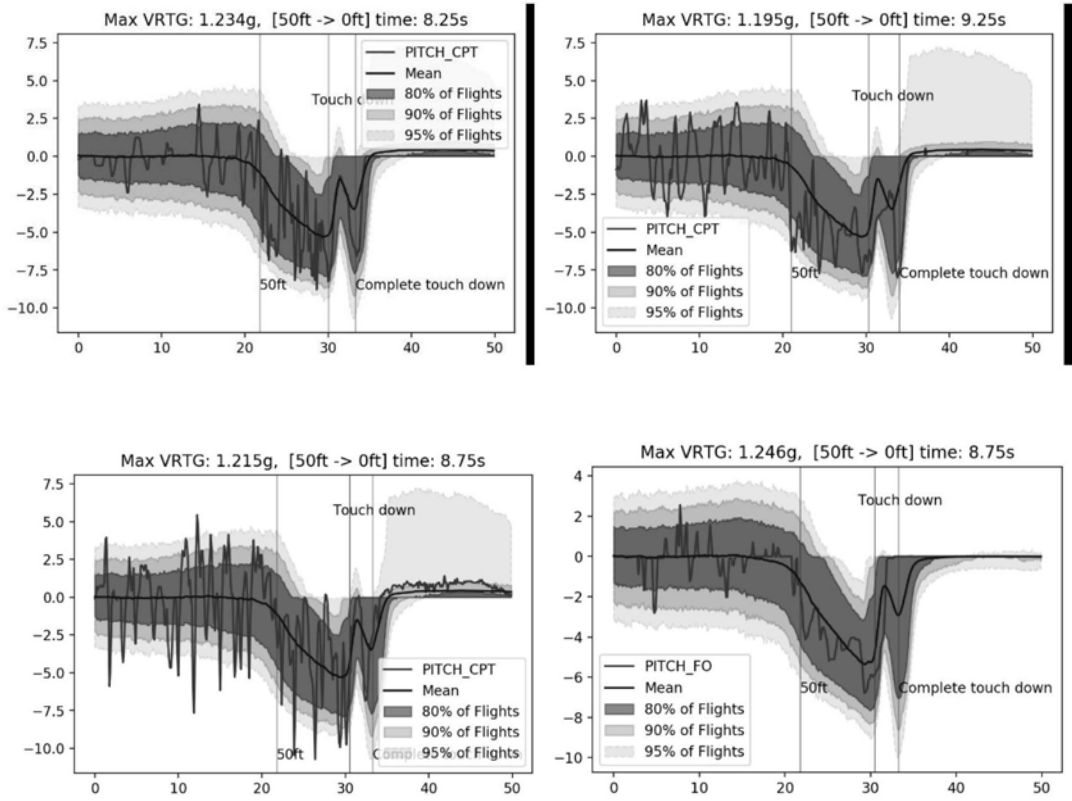


图9

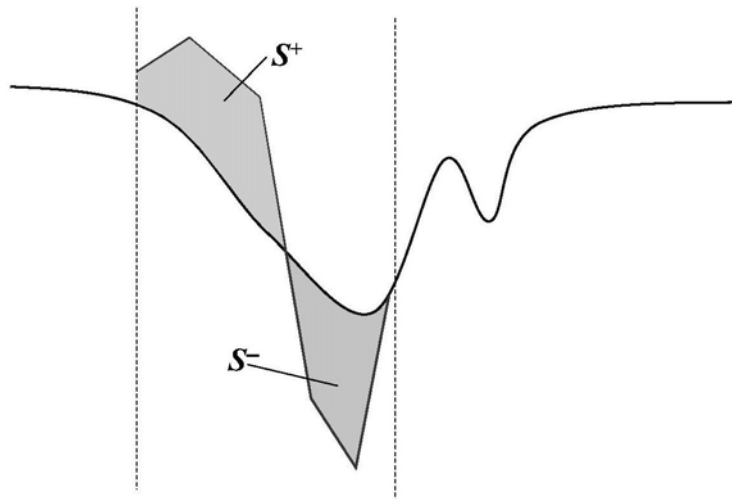


图10

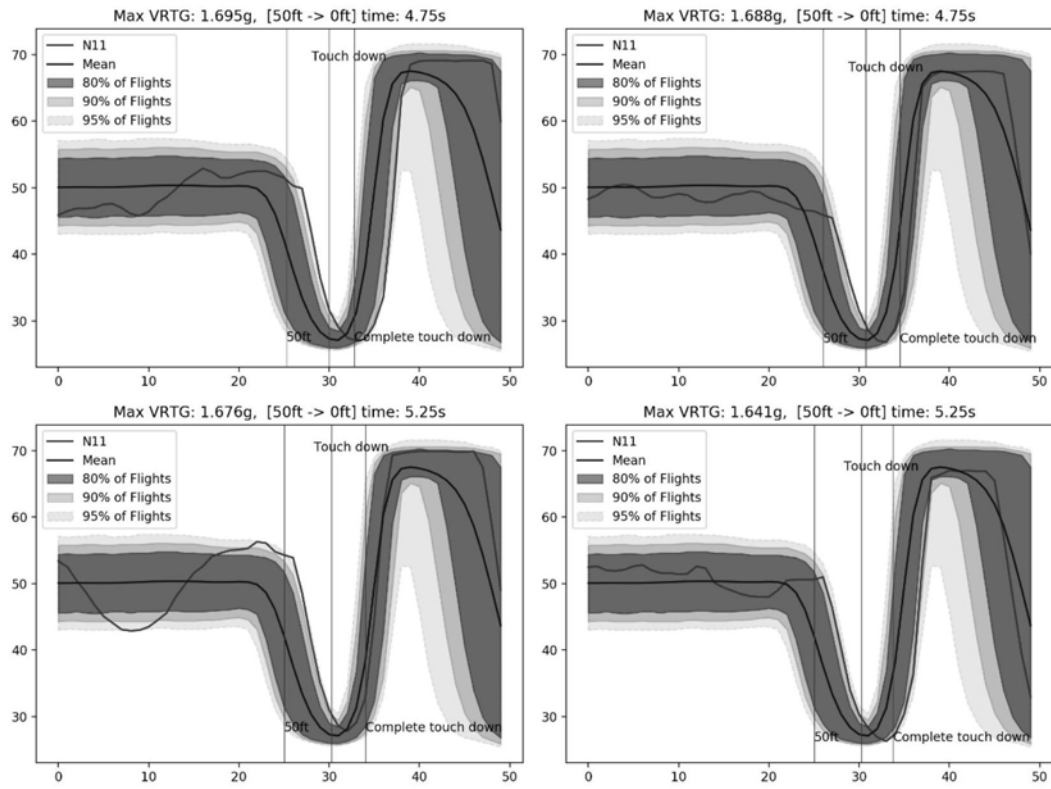


图11

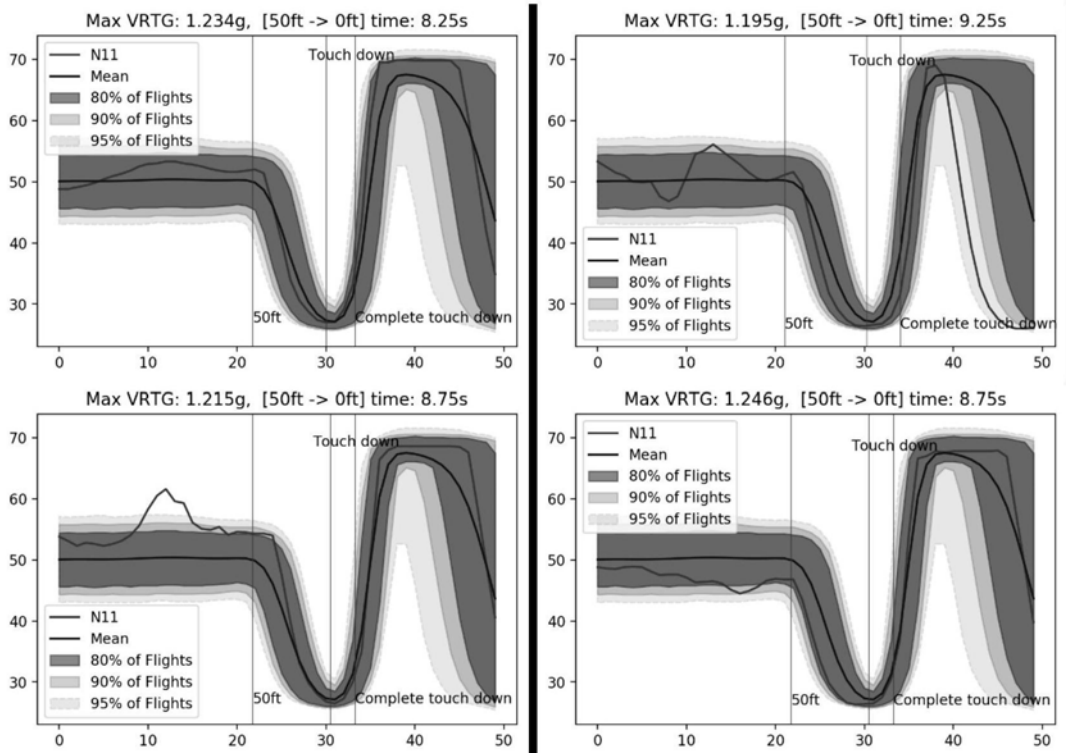


图12

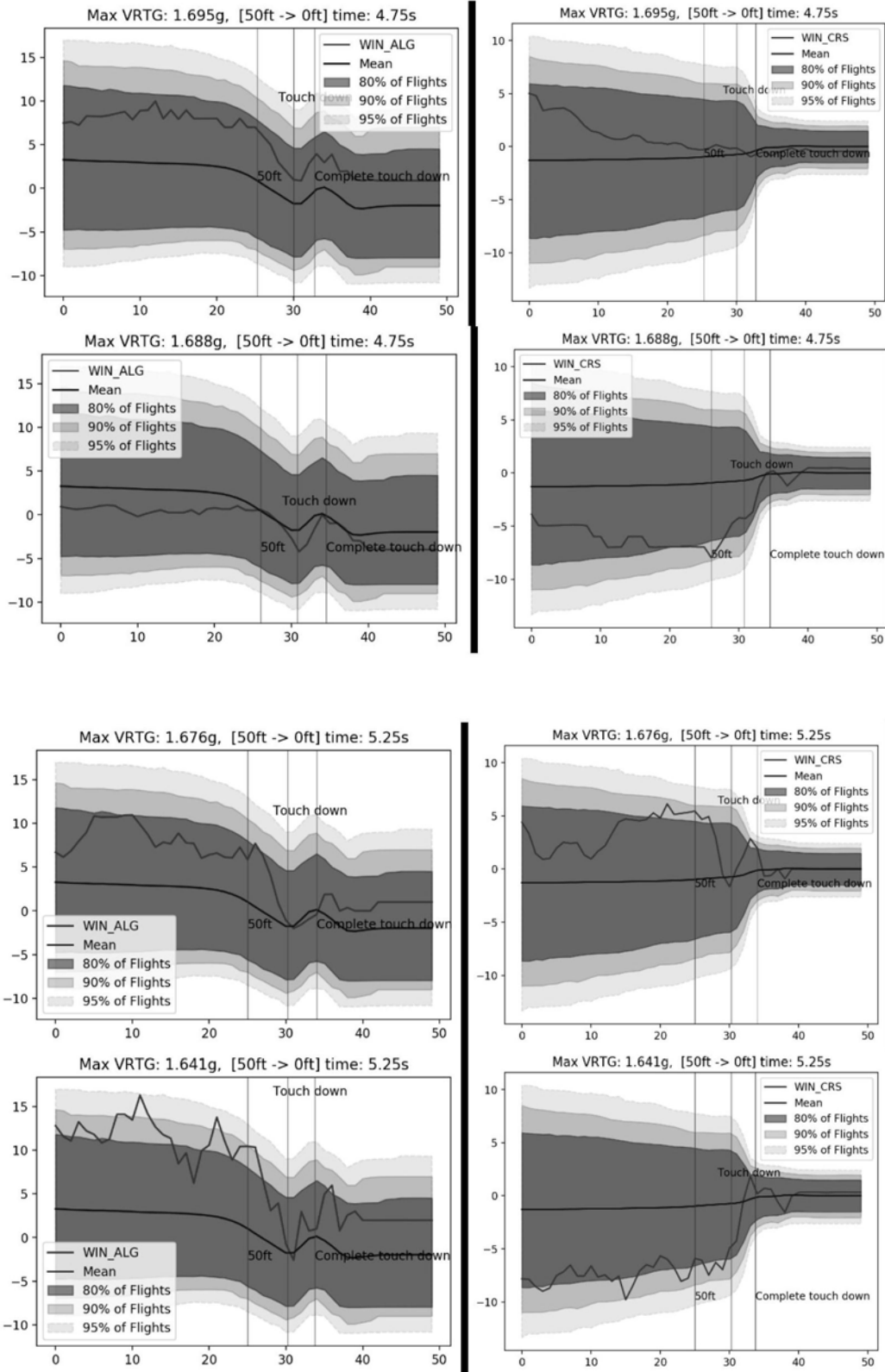


图13

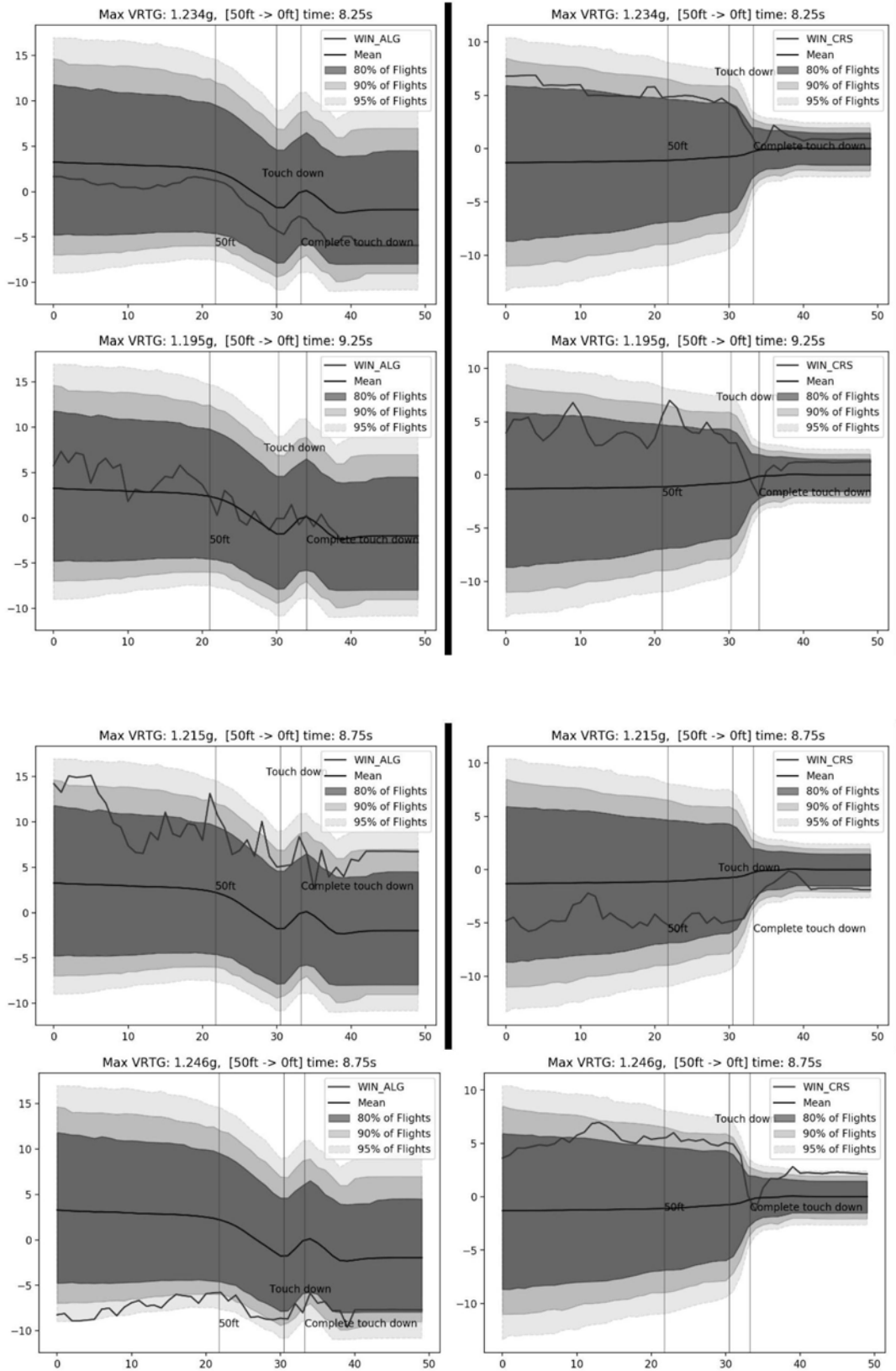


图14

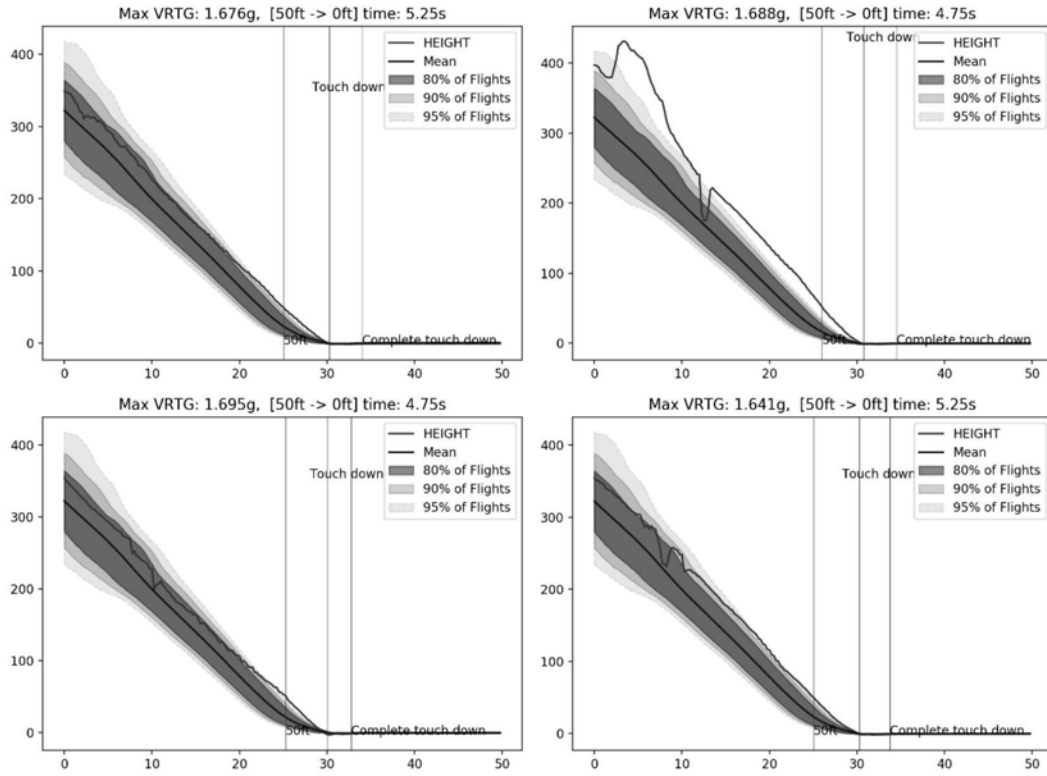


图15

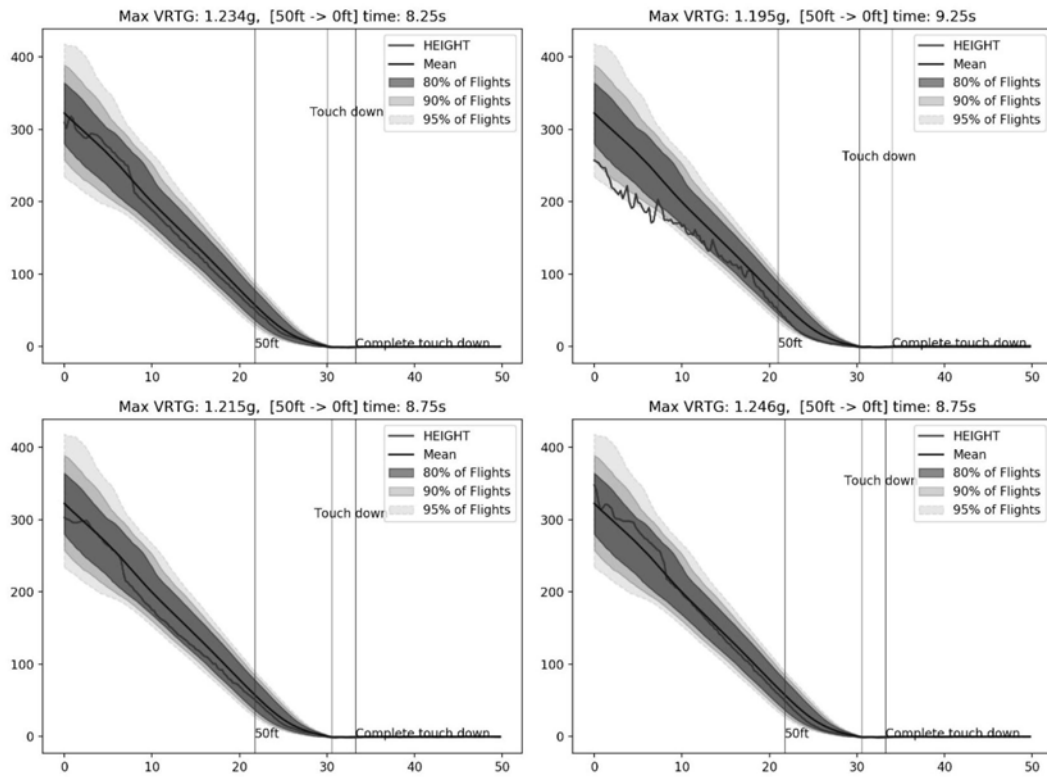


图16