



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116451988 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 18

(21) 申请号 202211569369.5

(22) 申请日 2022.12.08

(71) 申请人 中国民航大学

地址 300300 天津市东丽区津北公路2898号

(72) 发明人 齐心歌 张荣 汪磊 齐凯 张楠 赵丁仪

(74) 专利代理机构 北京盛广信合知识产权代理有限公司 16117

专利代理师 孙俭

(51) Int. Cl.

G06Q 10/0635 (2023.01)

G06Q 10/0639 (2023.01)

G06Q 50/26 (2012.01)

G06Q 50/30 (2012.01)

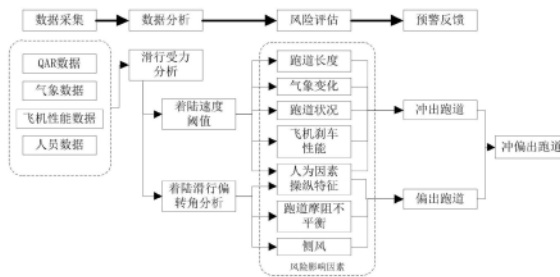
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,包括:获取飞行数据,基于飞行数据构建冲出及偏出跑道阈值计算模型,获取飞机冲偏出跑道的风险影响因素;基于风险影响因素数据对冲出及偏出跑道阈值计算模型进行修正;基于修正后的模型,得到最优冲出及偏出跑道阈值数据,所述最优冲出及偏出跑道阈值数据包括最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据;获取实测数据,通过最优冲出及偏出跑道阈值数据对实测数据进行判断,得到风险预测数据。本发明技术方案能够对着陆冲偏出跑道风险进行实时有效的准确预测,有效降低着陆阶段冲偏出跑道发生概率。



1. 一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在于,包括:获取飞行数据,基于飞行数据构建冲出及偏出跑道阈值计算模型,获取飞机冲偏出跑道的风险影响因素;基于风险影响因素数据对冲出及偏出跑道阈值计算模型进行修正;基于修正后的模型,得到最优冲出及偏出跑道阈值数据,所述最优冲出及偏出跑道阈值数据包括最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据;获取实测数据,通过最优冲出及偏出跑道阈值数据对实测数据进行判断,得到风险预测数据。

2. 根据权利要求1所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在於,

所述飞行数据包括:QAR数据、气象数据、飞机性能数据、人员数据。

3. 根据权利要求1所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在於,

所述冲出及偏出跑道阈值计算模型包括冲出阈值计算模型及偏移阈值计算模型。

4. 根据权利要求3所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在於,

生成冲出阈值计算模型的过程包括:

获取机场跑道的长度数据,基于长度数据得到飞机的着陆滑行距离数据,对着陆滑行距离数据进行分析计算,得到飞机接地速度数据,其中所述飞机接地速度数据为未修正的最优冲出阈值数据。

5. 根据权利要求3所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在於,

生成偏移阈值计算模型的过程包括:

获取机场跑道的宽度数据,对所述宽度数据和飞行数据进行分析计算,得到偏航角数据,其中所述偏航角数据为未修正的最优偏移阈值数据。

6. 根据权利要求4所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,其特征在於,

对冲出阈值计算模型进行修正的过程包括:

基于风险影响因素数据对冲出阈值计算模型中的 V_B 进行修正,得到过渡段滑行距离 S'_T :

$$S'_T = k \left(\frac{V_{jd} + C_V V_B}{2} - V_W \right) \Delta t$$

式中, C_V 为针对实际操作中 V_B 的修正系数,

飞机的修正着陆距离 S'_L 为:

$$S'_L = S_A + S'_T + S_B$$

基于飞机的修正着陆距离 S'_L ,逆推得到最优着陆速度阈值 V'_{jd} :

$$V_{jd}' = \frac{2 \left\{ S_L' - \frac{H_{LK}}{\left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{F_N}{W}\right)} + \frac{W \left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{P}{W}\right)}{\rho g(n-1)C_L} - k \int_{V_B}^{V_W} \frac{V_W W (V-V_W)dV}{g \left[(P - \mu_B W) - (C_D - \mu_B L) \frac{V^2 S_W}{2\rho} - (W\phi) \right]} \right\}}{k \times \Delta t} + 2 V_W C_V V_B$$

式中, H_{LK} 为飞机经过跑道入口时的垂直高度; P 为发动机推力; F_N 为法向加速力; D 为气动阻力; g 为重力加速度; ϕ 为跑道坡度; μ 为跑道摩擦系数; L 为升力; ρ 为大气密度; V 为气流相对速度; S_W 为机翼面积; C_L 为升力系数; C_D 为气动阻力系数; S_A 为下滑拉平段的水平距离; W 为飞机的重量; n 为过载因子; k 为速度的单位系数; V_B 为采取全部减速措施的速度; V_W 为沿跑道中线的风速分量; Δt 为过渡段的时间; μ_B 为刹车的摩擦系数; 其中所述最优着陆速度阈值 V_{jd}' 为修正后的最优冲出阈值数据。

7. 根据权利要求5所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法, 其特征在于,

对偏移阈值计算模型进行修正的过程包括:

基于风险影响因素数据对偏移阈值计算模型中的偏航角 α 进行修正得到最优偏航角阈值数据 α' :

$$\alpha' = \frac{1}{2I_t} \left(\frac{1}{2} W + W_2 \right) [C_w (\mu_1 F_1 + \mu_2 F_2) t^2]$$

式中, C_w 为偏航角的修正系数, 其中所述偏航角的修正系数通过对飞行数据、气象变化概率进行综合分析并拟合得到; W 为主起落架间距; W_2 为沿x方向, 主起落架到转动中心的距离, F_1 、 F_2 分别为左、右两侧轮胎所受地面垂直反力; μ_1 、 μ_2 分别为跑道左、右两侧摩擦因数; t 为飞机滑行时刻; I_t 为t时刻机体竖向的惯性矩。

8. 根据权利要求1所述的一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法, 其特征在于,

获取风险预测数据的过程包括:

通过最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据分别对实测数据中的实测速度数据及偏移数据进行判断, 根据所述判断结果生成冲出风险数据及偏移风险数据, 对冲出风险数据及偏移风险数据进行整合, 得到风险预测数据。

一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法

技术领域

[0001] 本发明属于民航安全领域,特别是涉及一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法。

背景技术

[0002] 对航空不安全数据的统计表明,冲偏出跑道是导致进近着陆事故的第二大主要原因,其中83%的冲偏出跑道发生在着陆阶段。在2011年的全球跑道安全研讨会上,国际民航组织指出:全球每年因冲偏出跑道事件而造成的经济损失大约为9亿美元。空客对2001-2020年20年间的商业航空事故统计分析表明,冲偏出跑道事故是造成飞机机体损毁的主要原因,占比36%。目前国内外诸多学者与研究机构从不同角度对冲偏出跑道风险进行了大量研究。

[0003] 目前针对着陆阶段冲偏出跑道的风险评估主要集中在对致因因子的定性分析,但是较少将飞行QAR数据以及人为因素分析应用到冲偏出跑道风险的定量分许中。因此,本发明基于上述因素耦合作用,提出一种基于飞行数据的冲偏出跑道事件风险实时预测方法,对着陆冲偏出跑道风险进行实时预测,进而降低着陆阶段冲偏出跑道发生概率。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,以解决上述现有技术存在的问题,能够对着陆冲偏出跑道风险进行实时有效的准确预测,进而降低着陆阶段冲偏出跑道发生概率。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,包括:

[0006] 获取飞行数据,基于飞行数据构建冲出及偏出跑道阈值计算模型,获取飞机冲偏出跑道的风险影响因素;基于风险影响因素数据对冲出及偏出跑道阈值计算模型进行修正;基于修正后的模型,得到最优冲出及偏出跑道阈值数据,所述最优冲出及偏出跑道阈值数据包括最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据;获取实测数据,通过最优冲出及偏出跑道阈值数据对实测数据进行判断,得到风险预测数据。

[0007] 可选的,所述飞行数据包括:QAR数据、气象数据、飞机性能数据、人员数据。

[0008] 可选的,所述冲出及偏出跑道阈值计算模型包括冲出阈值计算模型及偏移阈值计算模型。

[0009] 可选的,生成冲出阈值计算模型的过程包括:

[0010] 获取机场跑道的长度数据,基于长度数据得到飞机的着陆滑行距离数据,对着陆滑行距离数据进行分析计算,得到飞机接地速度数据,其中所述飞机接地速度数据为未修正的最优冲出阈值数据;

[0011] 可选的,生成偏移阈值计算模型的过程包括:

[0012] 获取机场跑道的宽度数据,对所述宽度数据和飞行数据进行分析计算,得到偏航

角数据,其中所述偏航角数据为未修正的最优偏移阈值数据。

[0013] 可选的,对冲出阈值计算模型进行修正的过程包括:

[0014] 基于风险影响因素数据对冲出阈值计算模型中的 V_B 进行修正,得到过渡段滑行距离 S'_T :

$$[0015] \quad S'_T = k \left(\frac{V_{jd} + C_V V_B}{2} - V_W \right) \Delta t$$

[0016] 式中, C_V 为针对实际操作中 V_B 的修正系数,

[0017] 飞机的修正着陆距离 S'_L 为:

$$[0018] \quad S'_L = S_A + S'_T + S_B$$

[0019] 基于飞机的修正着陆距离 S'_L ,逆推得到最优着陆速度阈值 V_{jd}' :

$$[0020] \quad V_{jd}' = \frac{2 \left\{ S'_L - \frac{H_{LK}}{\left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{F_N}{W} \right)} + \frac{W \left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{P}{W} \right)}{\rho g (n-1) C_L} - k \int_{V_B}^{V_W} \frac{W}{g} \frac{(V-V_W) dV}{\left[(P - \mu_B W) - (C_D - \mu_B L) \frac{V^2 S_W}{2\rho} - (W\phi) \right]} \right\} + 2 V_W C_V V_B}{k \times \Delta t}$$

[0021] 式中, H_{LK} 为飞机经过跑道入口时的垂直高度; P 为发动机推力; F_N 为法向加速力; D 为气动阻力; g 为重力加速度; ϕ 为跑道坡度; μ 为跑道摩擦系数; L 为升力; ρ 为大气密度; V 为气流相对速度; S_W 为机翼面积; C_L 为升力系数; C_D 为气动阻力系数; S_A 为下滑拉平段的水平距离; W 为飞机的重量; n 为过载因子; k 为速度的单位系数; V_B 为采取全部减速措施的速度; V_W 为沿跑道中线的风速分量; Δt 为过渡段的时间; μ_B 为刹车的摩擦系数;其中所述最优着陆速度阈值 V_{jd}' 为修正后的最优冲出阈值数据。

[0022] 可选的,对偏移阈值计算模型进行修正的过程包括:

[0023] 基于风险影响因素数据对偏移阈值计算模型中的偏航角 α 进行修正得到最优偏航角阈值数据 α' :

$$[0024] \quad \alpha' = \frac{1}{2I_t} \left(\frac{1}{2} W + W_2 \right) \left[C_w (\mu_1 F_1 + \mu_2 F_2) t^2 \right]$$

[0025] 式中, C_w 为偏航角的修正系数,其中所述偏航角的修正系数通过对飞行数据、气象变化概率进行综合分析并拟合得到。 W 为主起落架间距; W_2 为沿 x 方向,主起落架到转动中心的距离, F_1 、 F_2 分别为左、右两侧轮胎所受地面垂直反力; μ_1 、 μ_2 分别为跑道左、右两侧摩擦因数; t 为飞机滑行时刻; I_t 为 t 时刻机体竖向的惯性矩。

[0026] 可选的,获取风险预测数据的过程包括:

[0027] 通过最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据分别对实测数据中的实测速度数据及偏移数据进行判断,根据所述判断结果生成冲出风险数据及偏移风险数据,对冲出风险数据及偏移风险数据进行整合,得到风险预测数据。

[0028] 本发明的技术效果为:本发明针对民航冲偏出跑道事件的风险影响因素及其发生概率进行计算及验证,更好地保证飞机着陆滑行过程的可靠性和安全性。风险实时预测方法可以依据实际情境确定接地速度、接地角度阈值,一旦着陆过程中外界环境突然发生变化,环境数据可实时回传到风险预测系统,系统可及时准确的提供飞机着陆操控策略,能够

对着陆冲偏出跑道风险进行实时有效的准确预测,降低冲偏出跑道事件发生的概率。

附图说明

[0029] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本申请的进一步理解,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0030] 图1为本发明实施例中的基于飞行数据的冲偏出跑道事件风险实时预测方法流程图;

[0031] 图2为本发明实施例中的冲偏出跑道事件风险分析数据流程图;

[0032] 图3为本发明实施例中的飞机着陆阶段示意图;

[0033] 图4为本发明实施例中的飞机二维运动受力示意图。

具体实施方式

[0034] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0035] 实施例一

[0036] 如图1-4所示,本实施例中提供一种基于飞行数据的着陆冲偏出跑道风险实时预测方法,包括:

[0037] 获取飞行数据,基于飞行数据构建冲出及偏出跑道阈值计算模型,获取飞机冲出跑道的风险影响因素;基于风险影响因素数据对冲出及偏出跑道阈值计算模型进行修正;基于修正后的模型,得到最优冲出及偏出跑道阈值数据,所述最优冲出及偏出跑道阈值数据包括最优冲出阈值数据和最优偏移阈值数据;获取实测数据,通过最优冲出及偏出跑道阈值数据对实测数据进行判断,得到风险预测数据。

[0038] 针对冲偏出跑道事件的实时预测方法,本发明从冲出跑道与偏出跑道两个方面建立分析模型,具体分析流程见图1。

[0039] 方法模型主要包含四个板块:数据采集、数据分析、风险评估及预警反馈。数据采集部分包含QAR数据、气象数据、飞机性能数据、人员数据等;对采集的数据进行分析,具体数据流程见图2,建立飞机滑行阶段的示意图(见图3)及受力分析图(见图4),并对着陆速度阈值和偏航角阈值进行计算;通过分析评估板块分析相关的致因因子如表1、表2所示,其中表一为冲偏出跑道风险涉及到的飞行数据汇总;表2为本发明实施例中的冲偏出跑道风险影响因素汇总。

[0040] 表1

飞行数据类型	参数	
飞行状态数据	CAP DISP ROLL ATT	滚转姿态
	CAP DISP PITCH ATT	俯仰姿态
	CAP DISP HEADING	航向
	TRACK	航迹
	AIRSPD	速度
	ALT	高度
	VERT ACCEL	垂直加速度
	VERT SPD	下降率
操作指令数据	THROTTLE RATE	油门功率
	FLAP HANDLE POSN	襟翼位置
	SPD BRAKE HANDLE POSN	扰流板位置
	RUDD POSN	方向舵位置
	ELEV POSN	升降舵位置
	PITCH TRIM POSN	配平位置
	RUDD PEDAL POSN	方向舵踏板位置
	CONTRL COLUMN POSN	操作杆位置
信息数据	LT/RT/NOSE GEAR DOWN	起落架位置
	LOC DEV (ILS)	航向道偏离
	G/S DEV (ILS)	下滑道偏离
	WIND DIR TRUE	风向
	WIND SPD	风速

[0041] 表2

风险影响指标维度	指标内容
操作类	操作失误：起飞襟翼位置不正确、着陆襟翼位置不正确、起落架未放下、着陆时减速板未打开或打开时机晚、反推未打开或开启时机晚、中断起飞程序错误、油门手柄功率设定不正确、着陆后未收油至慢车、配平位置不正确、Vr 前带杆、标准操作程序遗忘或执行错误、复飞意识欠缺 技术欠缺：进近不稳定、着陆姿态不当、中断起飞决策缓慢、操作杆过大横向输入、拉平高度判断不准确、拉平至接地时间长、刹车使用不当、带杆量粗猛、着陆收油门过快、修正偏差不及时
数据类	起飞滑跑时航向偏差、下滑道和航向道偏差、下降率大、着陆载荷大、跑道入口高度高、着陆速度大、进近速度大、滑行速度大、转弯速度大、着陆滚转角大、着陆姿态小、拉平高度高、警告提示、着陆滑跑时方向偏离
环境类	跑道污染面积、跑道积水厚度、强侧风、顺风风切变、强气流、机组资源管理不佳、飞机设备故障

[0042] 对所提出的阈值计算模型进行修正；最后，通过实时预测平台的开发，实现对冲偏出跑道事件风险的预警反馈。具体分析如下：

[0043] (1) 针对冲出跑道事件，根据冲/偏出跑道事件的风险影响因素，分析外部影响因素及内部操作因素对滑行距离的影响；以机场跑道长度为基准，确定其着陆滑行距离，分析得到飞机接地速度阈值。

[0044] 冲偏出跑道风险分析

[0047] 飞机着陆滑行阶段冲偏出跑道通常具有冲出跑道(Over run)和偏出跑道(Veer-off)两种情况,因此冲偏出跑道风险即两者结合:

$$[0048] \quad R_{RE} = R_{OR} + R_{VO} \quad (1)$$

[0049] 式(1)中, R_{RE} 为冲偏出跑道风险, R_{OR} 为冲出跑道风险, R_{VO} 为偏出跑道风险。本发明中,基于跑道长度确定着陆速度阈值, R_{OR} 被认为是着陆速度 V_B 大于阈值 V_{BT} 的风险;同时,基于着陆滑行距离和偏航角确定偏转距离 D_{VO} ,偏转距离大于跑道中线与边缘的距离 D_w 即认为偏出跑道。因此,

$$[0050] \quad R_{OR} = R(V_B > V_{BT}) \quad (2)$$

$$[0051] \quad R_{VO} = R(D_{VO} > D_w) \quad (3)$$

[0052] 数据流程分析

[0053] 针对冲偏出跑道事件,涉及到的数据来源主要包括:飞行QAR数据、气象数据、机场数据、飞机性能数据等,其中部分气象数据,如风速、风向等也包含在QAR数据中。QAR数据及气象数据储存于地面数据基站,通过译码服务器进行编译后,进入数据库;风险实时预测平台从数据库中读取数据,以超限值及测量值为依据,结合机场数据库(包括跑道情况、地面气象情况等),得到地速及偏航角的临界值,实现对冲出跑道及偏出跑道子模块的实时风险分析。将接地操纵参数参考阈值及现场实时数据,上传监控终端服务器,并提供给机场、飞行员及管理部门,作为操纵特征分析的原始数据,为冲偏出跑道事件风险降低措施的提出提供依据。并逐步建立地空数据链,实现参考阈值实时上传飞机操控系统,为着陆及进近操作提供理论支持。数据流程图见图2。

[0054] 飞机着陆速度阈值分析

[0055] 飞机着陆是指飞机从机场入口50ft高度处开始下降、接地、滑跑并最终停止在跑道上的过程。一般将着陆阶段划分为三个阶段:下滑拉平段 S_A ,过渡段 S_T 和减速滑跑段 S_B ,具体如图3所示,飞机的着陆距离

$$[0056] \quad S_L = S_A + S_T + S_B \quad (4)$$

[0057] 其中:

$$[0058] \quad S_A = \frac{H_{LK}}{\left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{F_N}{W}\right)} + \frac{\frac{W}{S_w} \left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{P}{W}\right)}{\rho g(n-1)C_L} \quad (5)$$

$$[0059] \quad S_T = k \left(\frac{V_{jd} + V_B}{2} - V_W \right) \Delta t \quad (6)$$

$$[0060] \quad S_B = k \int_{V_B}^{V_W} \frac{W}{g} \frac{(V - V_W) dV}{\left[(P - \mu_B W) - (C_D - \mu_B L) \frac{V^2 S_w}{2/\rho} - (W\phi) \right]} \quad (7)$$

[0061] 式中, H_{LK} 为飞机经过跑道入口时的垂直高度; P 为发动机推力; F_N 为法向加速力; D 为气动阻力; g 为重力加速度; ϕ 为跑道坡度; μ 为跑道摩擦系数; L 为升力; ρ 为大气密度; V 为气流相对速度; S_w 为机翼面积; C_L 为升力系数; C_D 为气动阻力系数; S_A 为下滑拉平段的水平距离; W 为飞机的重量; n 为过载因子,其大小由飞机的气动特征决定,一般取值为1.2; k 为速度

的单位系数,换算常数用英制单位时为3.849,国际单位为0.07716; V_{jd} 为着陆速度; V_B 为采取全部减速措施的速度; V_w 为沿跑道中线的风速分量(逆风为正,顺风为负); Δt 为过渡段的时间; μ_B 为刹车的摩擦系数。

[0062] 其中,对于式(6), V_B 为采取全部减速措施的速度,全部减速措施通常包括反推装置、扰流板、机轮刹车等,且 V_B 与 Δt 密切相关,对于自动驾驶飞机,现有模型认为 Δt 可取值为0.54s。但在实际的刹车过程中,由于全部减速措施未必同时采取,且受到飞行员操作的影响,因此本发明基于飞行数据对 V_B 进行修正,得到过渡段滑行距离为

$$[0063] \quad S'_T = k \left(\frac{V_{jd} + C_V V_B}{2} - V_w \right) \Delta t \quad (8)$$

[0064] 式中, C_V 为针对实际操作中 V_B 的修正系数,可由飞行数据测量值拟合得到,同时,由于飞行员的操作特征差异,可针对操作特征得到不同的修正系数。

[0065] 因此,飞机的着陆距离为:

$$[0066] \quad S'_L = S'_A + S'_T + S_B \quad (9)$$

[0067] 对于冲出跑道事件,以跑道长度作为着陆距离阈值 S'_L ,基于式(4)-(9),逆推得到最优着陆速度阈值 V_{jd}' 为

$$[0068] \quad V_{jd}' = \frac{2 \left\{ S'_L - \frac{H_{LK}}{\left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{F_N}{W} \right)} + \frac{\frac{W}{S_W} \left(\frac{C_D}{C_L} - \frac{P}{W} \right)}{\rho g(n-1)C_L} - k \int_{V_B}^{V_W} \frac{W}{g} \frac{(V-V_W)dV}{\left[(P - \mu_B W) - (C_D - \mu_B L) \frac{V^2 S_W}{2\rho} - (W\phi) \right]} \right\}}{k \times \Delta t} + \quad (10)$$

$$[0069] \quad 2 V_W - C_V V_B$$

[0070] 影响因素分析。

[0071] 式(4)-(10)中涉及影响着陆距离的参数包括飞机重量 W ,气象因素包括沿跑道中线的风速分量 V_w ,飞机性能影响因素包括刹车的摩擦系数,跑道状况包括跑道摩擦系数 μ 等。通过分析上述外界影响因素以及人为操作因素对着陆过程的影响(以及其他风险影响因素的参数),将数据实时上传冲偏出跑道事件风险实时预测平台,得到着陆速度阈值,作为着陆操作的理论指导。

[0072] (2)针对飞机着陆后偏航角过大,导致的偏出跑道事件,建立着陆滑行阶段飞机受力模型,基于飞行数据,以跑道宽度为基准,得到偏航角阈值,分析其影响因素及飞行员操纵特征的耦合作用。

[0073] 对飞机着陆滑行偏航角进行分析,根据现有的滑行理论模型,经过受力分析得到飞机在道路两侧摩阻不平衡时的偏航角。选取飞机着陆滑跑阶段,以飞机的转动中心为原点 O ,以飞机滑行前进方向为 x 轴,以前进方向垂直设为 y 轴,建立坐标系 xOy 。机体二维平面运动受力情况见图4,图中: α 为飞机着陆滑行时偏离跑道中线的角度; W 为主起落架间距; W_1 为沿 x 方向,前起落架到转动中心的距离; W_2 为沿 x 方向,主起落架到转动中心的距离。

[0074] 飞机着陆滑行过程中偏航角 α 的计算见式(11)

$$[0075] \quad \alpha = \frac{1}{2I_t} \left(\frac{1}{2} W + W_2 \right) (\mu_1 F_1 + \mu_2 F_2) t^2 \quad (11)$$

[0076] 式中, F_1 、 F_2 分别为左、右两侧轮胎所受地面垂直反力; μ_1 、 μ_2 分别为跑道左、右两侧摩擦因数; t 为飞机滑行时刻; I_t 为 t 时刻机体竖向的惯性矩。

[0077] 由于在实际滑行过程中, 侧风也会有较大影响, 式 (11) 仅考虑了跑道两侧摩擦不平衡的情况, 因此需要对式 (11) 的偏航角进行修正得到最优偏航角阈值 α' :

$$[0078] \quad \alpha' = \frac{1}{2I_t} \left(\frac{1}{2} W + W_2 \right) [C_w (\mu_1 F_1 + \mu_2 F_2) t^2] \quad (12)$$

[0079] 式中, C_w 为考虑侧风等其他因素影响时, 偏航角的修正系数, 本发明中, 依据飞行数据、结合气象变化概率等综合分析并拟合得到。

[0080] 因此, 偏转距离为

$$[0081] \quad D_{v0} = S'_L \times \tan \alpha' \quad (13)$$

[0082] 当偏转距离 D_{v0} 大于跑道中线与边缘的距离 D_w 时, 即认为偏出跑道。

[0083] 机型确定时, W 、 W_2 、 I_t 均为定值, 可查机型手册或机场手册获得。因此, 由式 (11) 可以看出飞机滑行偏航角 α 与跑道中心线两侧摩擦系数 μ_1 、 μ_2 以及滑行速度有关, 即摩擦系数是影响飞机滑跑阶段的主要因素。同时, 机型改变、气象变化以及人员操作特征也对飞机偏出跑道事件概率有一定影响, 通过对历史数据的分析计算, 得到偏航角修正系数 C_w 。

[0084] (3) 开发冲偏出跑道事件风险实时预测系统, 输入相关参数后, 得到最优接地速度、接地角度及飞机操控方案, 降低冲偏出跑道事件发生概率。

[0085] 实时预测平台开发, 将机型数据、机场数据、人员操纵特征等内容提前嵌入到平台内, 根据飞行过程中外界因素变化, 及时输入出现改变的参数 (包括气象参数: 风速、风向、雨雪冰; 机场跑道数据: 跑道长度、摩擦系数等), 计算着陆速度阈值, 得到最优接地速度、接地角度及飞机操控方案, 作为着陆操作的理论支持。

[0086] 以上所述, 仅为本申请较佳的具体实施方式, 但本申请的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此, 本申请的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

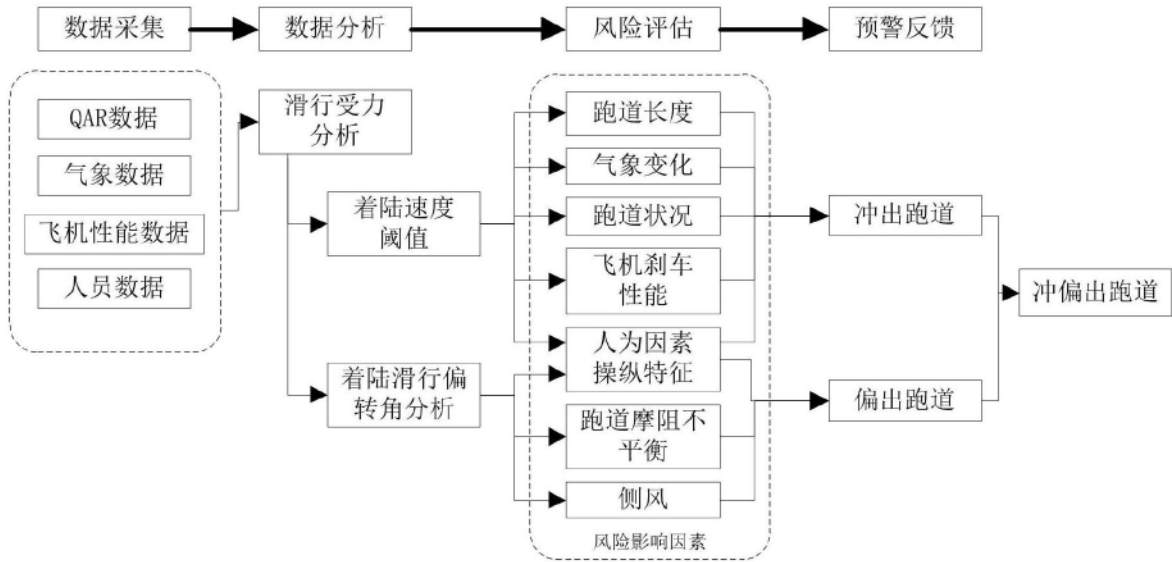


图1

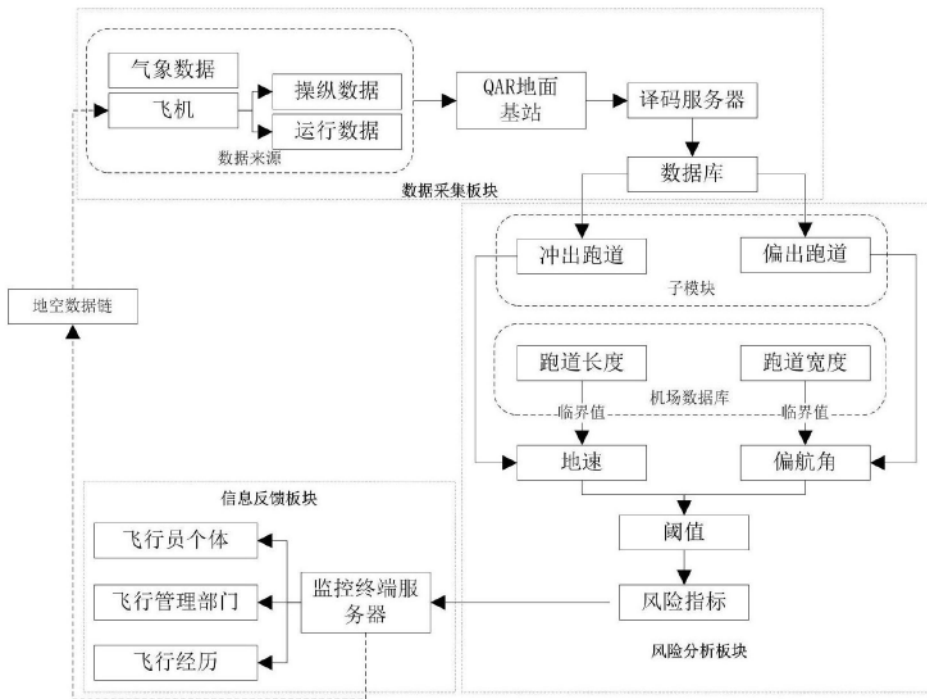


图2

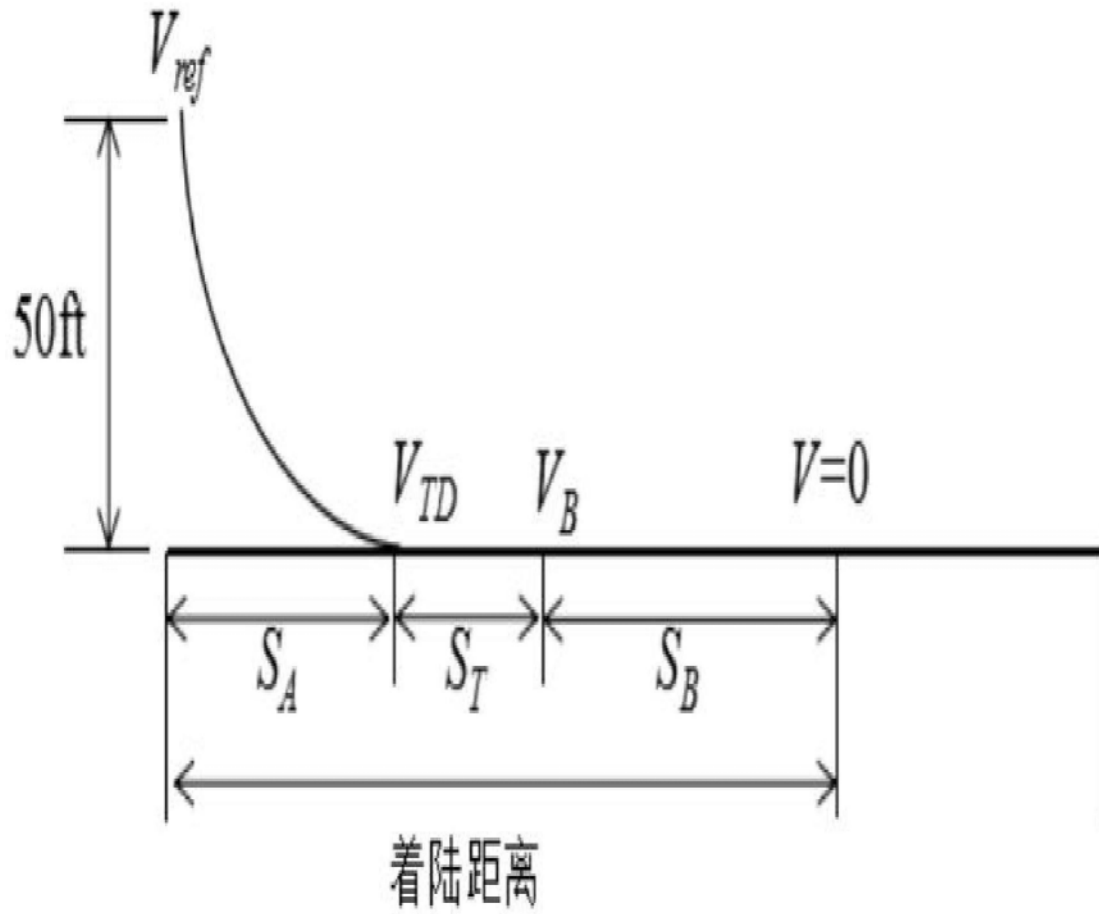


图3

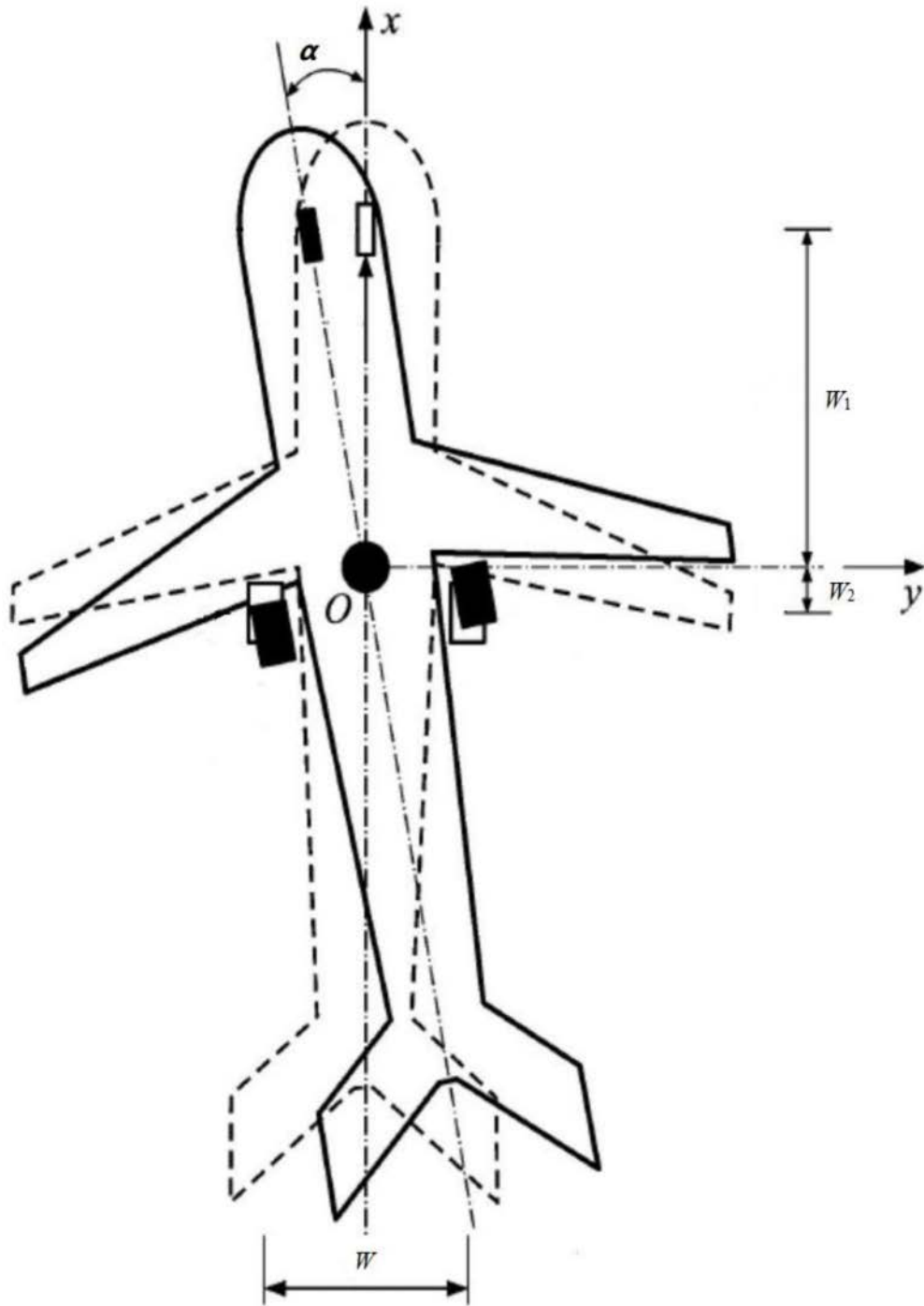


图4