



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103759915 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201410043799. 2

(22) 申请日 2014. 01. 29

(71) 申请人 中国商用飞机有限责任公司

地址 201210 上海市浦东新区张杨路 25 号

申请人 中国商用飞机有限责任公司上海飞
机设计研究院

(72) 发明人 曾飞雄 霍西恒 王大伟 南国鹏
李革萍 白穆

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 张兰英

(51) Int. Cl.

G01M 9/00 (2006. 01)

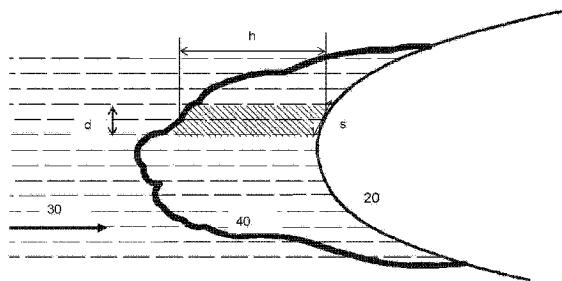
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

局部水收集系数的试验测量方法

(57) 摘要

本发明提供一种获取型材的实际局部水收集率的测试方法，包括如下步骤：在平行于水滴来流的方向，获取型材的横截面，在该横截面的面对水滴来流的外表面上以等间距 d 获取微元面 s，等间距 d 等于水滴来流的微元来流高度；开启液滴喷雾系统，使该液滴喷雾系统沿水滴来流方向朝型材的外表面喷射水滴；在指定时间 t 之后停止液滴喷雾系统的水滴喷射；利用测量装置将形成在型材外表面上的霜冰的对应于横截面的冰型绘制成二维冰型图；根据等间距 d 将二维冰型图中的冰型划分成对应于型材的微元表面 s 的微元柱面，计算冰型的微元柱面的面积，从而计算型材的相应微元面 s 的实际局部水收集率 W，则 $W=ds \cdot \rho_i$ ， ds 为冰型的微元柱面的面积， ρ_i 为冰型的微元柱面的霜冰密度。



1. 一种获取型材的实际局部水收集率的测试方法,所述方法包括如下步骤:

(1) 在平行于水滴来流(30)的方向,获取所述型材的横截面,在垂直于水滴来流(30)的方向上,在该横截面的面对水滴来流(30)的外表面上以等间距 d 获取微元面弧长作为型材外表面的微元面 s,所述等间距 d 等于所述水滴来流(30)的微元来流高度;

(2) 将所述型材放入一可模拟的环境中,启动试验,当该环境中的流场稳定后,开启液滴喷雾系统,使该液滴喷雾系统沿水滴来流(30)方向朝所述型材的外表面喷射水滴,同时进行计时;

(3) 在指定时间 t 之后停止液滴喷雾系统的水滴喷射,此时在型材的外表面上形成霜冰;

(4) 利用测量装置将形成在型材外表面上的霜冰的对应于所述横截面的冰型(40)绘制成二维冰型图;

(5) 根据等间距 d 将二维冰型图中的冰型(40)划分成对应于型材的微元面 s 的微元柱面,计算所述冰型(40)的所述微元柱面的面积,从而计算所述型材的相应微元面 s 的实际局部水收集率 W,则

$$W = ds \cdot \rho_i$$

式中,

ds 为冰型(40)的微元柱面的面积,

ρ_i 为冰型(40)的微元柱面的霜冰密度。

2. 如权利要求 1 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,在步骤(5)中,采用中线近似法计算所述微元柱面的面积,则

$$W = d \cdot h \cdot \rho_i$$

式中,

d 为所述等间距,即冰型(40)的对应于微元来流高度的微元柱面的宽度,

h 为冰型(40)的微元柱面的等效高度。

3. 如权利要求 2 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,在所述步骤(2)和(3)中,液滴喷雾系统喷射水滴满足如下条件:在低温环境下,水滴撞击在型材表面将不存在溢流,完全被所述表面所收集并形成所述霜冰。

4. 如权利要求 3 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述型材是飞机的机翼翼型,所述型材的外表面是所述翼型前缘的外表面。

5. 如权利要求 4 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述冰型(40)的微元柱面的等效高度 h 为所述微元柱面的 d/2 中线处的高度。

6. 如权利要求 1 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,在所述步骤(4)中,利用冰型测量卡板将形成在型材外表面上的冰型(40)绘制成二维冰型图。

7. 如权利要求 4 或 5 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述水滴来流(30)方向垂直于所述机翼的展向。

8. 如权利要求 4 或 5 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述水滴来流方向垂直于所述机翼翼型的前缘的纵向延伸方向。

9. 如权利要求 4 或 5 所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述水滴来流方向平行于所述飞机的飞行方向。

10. 如权利要求 1 – 6 中的任何一项所述的局部水收集率的测试方法,其特征在于,所述水滴来流方向垂直于所述型材的外表面。

11. 一种获取型材的局部水收集系数的试验测量方法,包括如下步骤,

(a) 根据权利要求 1 所述的方法获得型材的实际局部水收集率 W ;

(b) 在水滴来流的流速 v 、液态水含量 LWC 和测试时间 t 分别与权利要求 1 中的水滴来流的流速、液态水含量和测试时间相同的试验条件下,计算出微元来流高度为权利要求 1 中的微元来流高度 d 的理论最大局部水收集率 W_0

$$W_0 = d \cdot LWC \cdot v \cdot t$$

(c) 通过实际局部收集率 W 与理论最大收集率 W_0 的比值计算得到局部水收集系数 β

$$\beta = \frac{W}{W_0}$$

12. 如权利要求 11 所述的局部水收集系数的试验测量方法,其特征在于,在所述步骤(a)中,用如权利要求 2 – 10 中任何一项权利要求所获得的实际局部水收集率 W 来计算局部水收集系数 β 。

13. 如权利要求 11 或 12 所述的局部水收集系数的试验测量方法,其特征在于,该理论最大局部水收集率 W_0 通过冰风洞标定来验证其数据可靠性。

局部水收集系数的试验测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种型材的局部水收集系数的试验测量方法,尤其是机翼翼型的局部水收集系数的试验测量方法。

背景技术

[0002] 航空实践表明,飞机结冰是重要的飞行安全隐患之一,它成为了航空工业中必须关注的问题。飞机机翼的结冰状态与飞机机翼的局部水收集系数有关,该系数是机翼水滴撞击特性的重要内容,也是机翼防冰系统设计的重要设计输入参数。

[0003] 目前,机翼前缘的局部水收集系数通常是通过计算流体力学软件来获取,虽然目前该计算方法已经比较成熟,但是作为飞机防冰系统等领域的重要设计输入,仍然需要试验来进行测量或者验证。局部水收集系数 β 是指微元表面上的实际水收集率与该微元表面上的理论最大水收集率之比,国际上对于其试验验证并没有成熟的测试设备。目前公认的美国国家航空航天局 N A S A 的方法是采用染色的方法,即将防冰部件表面覆盖一层吸水纸,染色溶液通过喷雾系统雾化成水滴喷在防冰试件表面,再将吸水纸从试件表面剥落后的提取染料的量。数据的提取方法先后经历了比色计法、激光反射光谱法和 C C D (charge couple device) 反射计法。从吸水纸中提取染料的物理 / 化学数据,数据处理过程较复杂,运用工程难度很大。

发明内容

[0004] 为此,本发明要提供一种简便、快速的试验方法来获取型材、尤其是机翼翼型的局部水收集系数,同时能够获得比较精确的实际局部水收集率。

[0005] 为此,提供一种获取型材的实际局部水收集率的测试方法,所述方法包括如下步骤:

[0006] (1) 在平行于水滴来流的方向,获取所述型材的横截面,在垂直于水滴来流的方向上,在该横截面的面对水滴来流的外表面上以等间距 d 获取微元面弧长作为型材外表面的微元面 s ,所述等间距 d 等于所述水滴来流的微元来流高度;

[0007] (2) 将所述型材放入一可模拟的环境中,启动试验,当该环境中的流场稳定后,开启液滴喷雾系统,使该液滴喷雾系统沿水滴来流方向朝所述型材的外表面喷射水滴,同时进行计时;

[0008] (3) 在指定时间 t 之后停止液滴喷雾系统的水滴喷射,此时在型材的外表面上形成霜冰;

[0009] (4) 利用测量装置将形成在型材外表面上的霜冰的对应于所述横截面的冰型绘制成二维冰型图;

[0010] (5) 根据等间距 d 将二维冰型图中的冰型划分成对应于型材的微元表面 s 的微元柱面,计算所述冰型的所述微元柱面的面积,从而计算所述型材的相应微元面 s 的实际局部水收集率 w ,则

- [0011] $W=ds \cdot \rho_i$
- [0012] 式中，
- [0013] ds 为冰型的微元柱面的面积，
- [0014] ρ_i 为冰型的微元柱面的霜冰密度。
- [0015] 较佳地，在步骤(5)中，采用中线近似法计算所述微元柱面的面积，则
- [0016] $W=d \cdot h \cdot \rho_i$
- [0017] 式中，
- [0018] d 为所述等间距，即冰型的对应于微元来流高度的微元柱面的宽度，
- [0019] h 为冰型的微元柱面的等效高度。
- [0020] 较佳地，在所述步骤(2)和(3)中，液滴喷雾系统喷射水滴满足如下条件：在低温环境下，水滴撞击在型材表面将不存在溢流，完全被所述表面所收集并形成所述霜冰。
- [0021] 较佳地，所述型材是飞机的机翼翼型，所述型材的外表面是所述翼型前缘的外表面。
- [0022] 较佳地，所述冰型的微元柱面的等效高度 h 为所述微元柱面的 $d/2$ 中线处的高度。
- [0023] 较佳地，在所述步骤(4)中，利用冰型测量卡板将形成在型材外表面上的冰型绘制成二维冰型图。
- [0024] 较佳地，所述水滴来流方向垂直于所述机翼的展向。
- [0025] 较佳地，所述水滴来流方向垂直于所述机翼翼型的前缘的纵向延伸方向。
- [0026] 较佳地，所述水滴来流方向平行于所述飞机的飞行方向。
- [0027] 较佳地，所述水滴来流方向垂直于所述型材的外表面。
- [0028] 还提供一种获取型材的局部水收集系数的试验测量方法，包括如下步骤，
- [0029] (a) 根据上述方法获得型材的实际局部水收集率 W ；
- [0030] (b) 在水滴来流的流速 v 、液态水含量 LWC 和测试时间 t 分别与权利要求 1 中的水滴来流的流速、液态水含量、水密度和测试时间相同的试验条件下，计算出微元来流高度上述的微元来流高度 d 的理论最大局部水收集率 W_0 。
- [0031] $W_0=d \cdot LWC \cdot v \cdot t$
- [0032] (c) 通过实际局部收集率 W 与理论最大收集率 W_0 的比值计算得到局部水收集系数 β
- [0033]
$$\beta = \frac{W}{W_0}$$
- [0034] 较佳地，在所述步骤(a)中，用上述较佳的实施例所获得的实际局部水收集率 W 来计算局部水收集系数 β 。
- [0035] 较佳地，该理论最大局部水收集率 W_0 通过冰风洞标定来验证其数据可靠性。

附图说明

- [0036] 图 1 是用机翼翼型的展向方向的横截面示出水滴来流撞击机翼翼型前缘的轨迹；
- [0037] 图 2 是根据本发明的一个实施例的示意图，示出了机翼翼型前缘外表面的微元样式和形成在前缘上的冰型的微元样式。

具体实施方式

[0038] 本发明涉及的方法将基于模拟的低温环境下(通常低于-25℃)试验件某位置上的结冰量来获取局部位置实际水收集率,再通过理论最大水收集率来间接获取局部水收集系数。本发明的一个具体实施例将通过冰风洞试验来实现。

[0039] 由此可见,本发明涉及局部位置理论最大水收集率和局部位置实际水收集率。局部位置理论最大局部水收集率通过计算获得,局部位置实际局部水收集率通过试验获得。

[0040] 基本原理

[0041] 局部水收集系数 β 是微元表面上的实际局部水收集率与该微元表面上的理论最大局部水收集率的比值。理论最大的局部水收集率可以通过冰风洞试验的相关参数(流速、液态水含量、测试时间等)来计算获取,该计算值可以通过冰风洞标定来验证其数据可靠性,冰风洞标定采用外来高精度设备对流速等数据进行校核,确保其测量正确、精确。实际局部水收集率需要通过对冰风洞试验中的形成在被被测试验件上的冰型测量来获取。

[0042] 实际局部水收集率计算方法

[0043] 该计算方法基于两个假设:a. 在低温情况下,水滴撞击在翼型表面将不存在溢流(溢流现象:当喷雾装置喷射出的水雾中的水滴温度较高时,水滴撞击在翼型表面上不会马上发生冻结进而产生后流,随后由于风洞环境温度作用水滴后流过程中发生冻结,此成为溢流冰,且此冰一般为呈透明状的光冰),完全被表面所收集并形成霜冰,如图1所示中的水滴撞击轨迹10所示,其高度为 d_0 的微元射流撞击在翼型 20 的前缘表面的微元表面 S_0 上完全被该微元表面所吸收而没有形成溢流,而图中的轨迹 11 未撞击在表面上;b. 忽略机翼展向方向的影响,即仅用机翼沿展向方向的横截面(下文称横截面)所在二维平面来代表典型的表面水滴撞击特性,在本发明中指局部水收集系数。

[0044] 如图2所示,把翼型 20 表面在其平行于来流 30 的方向(如图2中的水平箭头所示)的横截面所在的平面中(即图2所示的平面)按照垂直于水滴来流 30 方向划分为对应于微元来流高度的等间距 d 的微元表面 s (用微元面弧长 S 表示),在指定时间 t 内微元表面收集的水量即可通过获取霜冰的微元柱形面积(图2中的阴影区域)来得到。获取微元柱形面积的方法可作自由选择,包括但不限于图像成形分析、曲线函数拟合积分、中线近似计算等,其中最便捷的简化算法是中线近似计算,即通过微元冰型的微元柱形面积等效高度 h 来近似面积积分。以下以此计算方法为基础描述本发明的一个实施例。

[0045] 实施方式

[0046] 1) 对选取的冰风洞试验设备进行标定,准备好待测翼型及冰型测量卡板;

[0047] 2) 设定合理的试验状态点(低温环境,通常低于-25℃),通过流速 v 、液态水含量 LWC 和测试时间 t 计算出微元来流高度为 d 的理论最大局部水收集率 W_0

$$[0048] W_0 = d \cdot LWC \cdot v \cdot t$$

[0049] 3) 将待测翼型放入经标定的冰风洞试验设备中,启动试验,在流场稳定后开启冰风洞试验设备中的液滴喷雾系统,以图2所示垂直于翼展方向的来流方向向翼型 20 前缘喷射液滴,并开始计时,其中,来流 30 的流速 v 、液态水含量 LWC 和测试时间 t 与获取理论最大局部水收集率时相同;

[0050] 4) 指定时间 t 后停止喷雾系统的液滴喷射,随后停止冰风洞试验设备;

[0051] 5) 利用冰型测量卡板,绘制形成在翼型表面上的冰型的二维冰型图,冰型的一个示例如图2中的附图标记40所示;

[0052] 以等间距 d 划分冰型 40, 获得形成在翼型的微元表面 s 上的微元柱面, 采用合适的方法来计算该微元表面 S 的实际局部水收集率 W ($W=ds \cdot \rho_i$), 若采用中线近似法, 即取该冰型 40 的微元柱面的中线处的柱形高度(即二分之一等间距 d 处的柱形高度)为微元柱面等效高度 h ,

[0053] $W=d \cdot h \cdot \rho_i$

[0054] 式中,

[0055] ds 为微元柱面的面积

[0056] d 为微元柱面的宽度, 即微元来流高度

[0057] h 为微元柱面等效高度,

[0058] ρ_i 为霜冰密度;

[0059] 6)通过实际局部收集率 W 与理论最大收集率 W_0 的比值计算得到局部水收集系数 β

[0060]
$$\beta = \frac{W}{W_0}$$

[0061] 也可以选择液滴来流方向垂直于机翼前缘, 在这种情况下, 把翼型表面在其垂直于机翼前缘表面的横截面所在的平面中按照垂直于来流方向的方向划分为等距 d 的微元表面 s (用微元面弧长 S 表示)。液滴来流方向还可以是除上述两种之外的其他方向, 例如, 平行于飞机的飞行方向, 微元表面的选择也是如此, 这可以在本发明的发明原理下根据具体需要进行选择。

[0062] 通过本发明中上述的方法, 通过试验在一个可控制的模拟环境中获取机翼的局部水收集系数。

[0063] 上述示例性的实施例示出了解决本发明要解决的技术问题的技术方案中的一个实施例。在该实施例的示例下, 其它符合本发明原理的等效和类似的手段都属于本发明保护的范围中。本发明的发明原理是, 首先将在一个三维空间中收集数据简化成在一个二维平面中收集数据, 由此, 先计算理论最大的局部水收集率, 然后, 在一个模拟环境中, 获取该局部位置横截面上的真实冰型, 从而计算出实际局部水收集率。从而得到该局部位置的水收集系数。

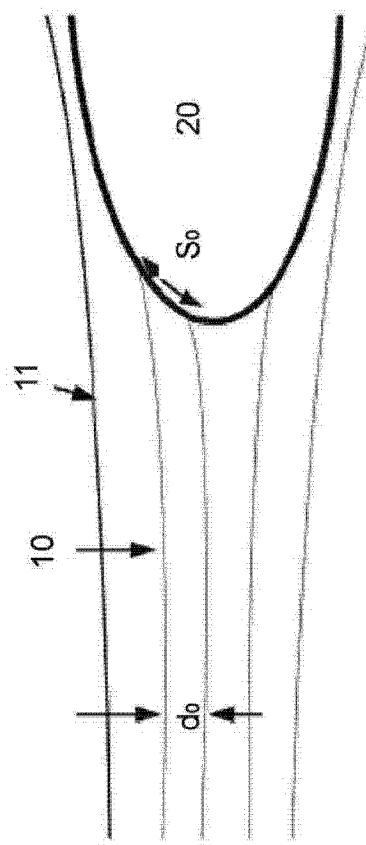


图 1

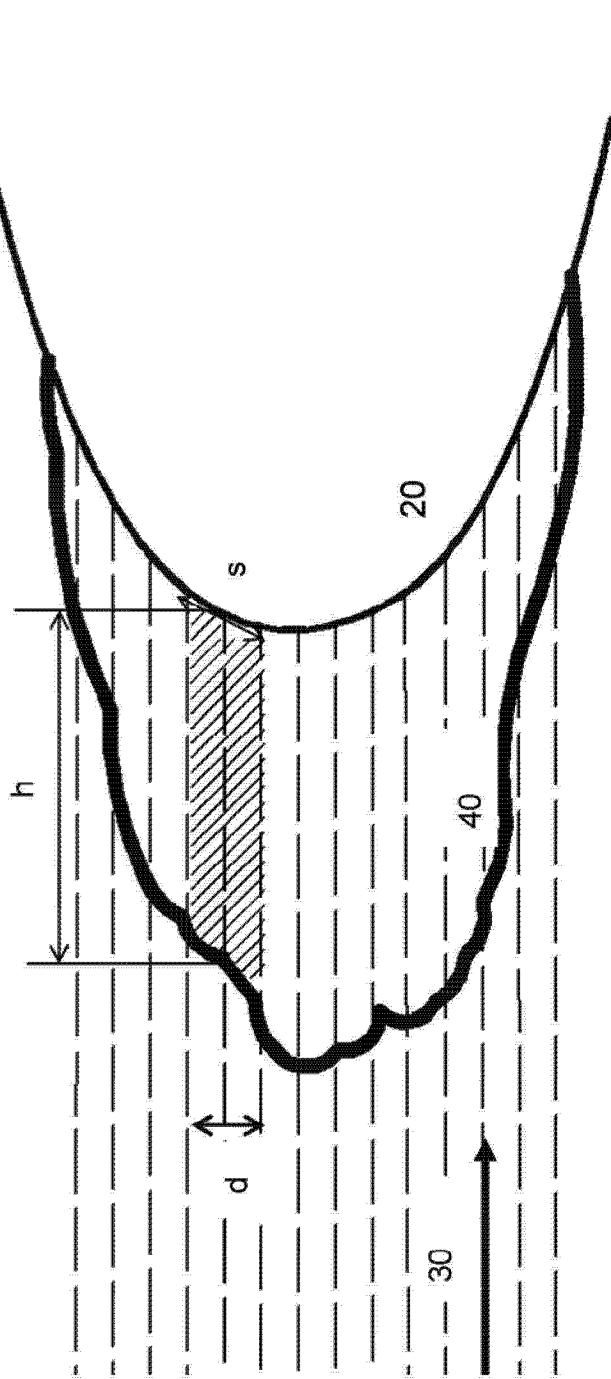


图 2