

文章编号: 2096-1618(2021)05-0553-05

一种优化的高原机场跑道利用率计算方法研究

高 勇¹, 宋一鑫¹, 唐顺仙²

(1. 民航机场建设集团西南设计研究院有限公司, 四川 成都 610202; 2. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要: 针对处于复杂气象环境的高原机场, 提出一种联合风速、风向、云底高度和主降/次降能见度的机场跑道利用率计算方法, 利用该方法计算的跑道利用率, 准确性明显高于传统的仅采用风速和风向计算结果的准确性。以某高原机场为例, 首先对气象观测资料和机场运行记录数据进行匹配和预处理等操作; 其次, 结合提取的机场跑道可用状态数据, 对云量、云状和云底高度等参数的特征进行统计, 进而分析它们与机场跑道状态间的内在联系; 最后, 设计了3种方案, 即侧风和云底高度, 侧风和主导能见度, 联合侧风、主导能见度和云底高度等进行实现, 并将各自的计算结果与真实机场跑道利用率进行对比分析。研究结果表明, 采用联合侧风、主导能见度和云底高度的计算方案与真实值之间的相关性最高且标准差最小, 证明了优化方案设计的合理性和可靠性。

关键词: 高原机场; 跑道利用率; 侧风; 主导能见度; 云底高

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2021.05.013

0 引言

作为现代化交通运输的重要组成部分, 航空运输业相比于陆路和水路运输业而言, 其快捷、安全和高效的优势体现得淋漓尽致。随着中国经济实力的不断增强, 国家发展改革委将积极为“十四五”重大基础设施工程提供政策支持, 拟重点加快实施多地的机场改扩建工程以及推进一批支线新机场的建设, 从而有效提升民航运输能力和服务力^[1]。对于已建或待建机场, 准确地对机场跑道利用率进行计算或评估是十分关键的, 这一指标能够为机场建设以及运行提供有效的辅助决策, 也为机场运营效率和跑道利用率的进一步提高提供重要的科学依据, 同时也可作为机场方案设计和航班时刻排布提供有效的支撑^[2]。

在民航相关规范中, 提出了机场跑道利用率的概念, 即跑道风力负荷, 同时也给出了明确的计算方式和准确的量化要求。然而实际机场跑道的状态并不只受风速和风向的影响, 也会受多种气象要素的影响^[3]。特别是处在复杂气象环境中的高原山区机场, 在满足跑道风力负荷的条件下, 可能由于能见度和云底高度等气象条件的限制, 将会造成实际机场跑道利用率远低于传统方法的计算值。在高原危险气象条件下, 若机场规划和飞行程序设计时没有准确的机场跑道利用率计算方法, 这将会造成机场盲目降低运行标准, 用来处理超净空山体, 从而造成巨大的投资浪费^[4]。同时, 高原影响飞机飞行安全的因素很多, 机场跑道状态的正确判断对飞机起飞和降落的安全性十分重要^[5]。

目前, 国内外对气象因素影响机场跑道利用率计算的研究并不多。何池^[6]分析了贵阳龙洞堡机场通航前后气象因素对跑道利用率的影响, 并提出了综合利用云底高、垂直能见度、风向、风速、跑道能见度等10个参数的机场跑道利用率评估方法。这种评估方案要求如此之多的观测参数, 对待建或新建机场是十分困难的, 同时也需考虑过多参数中几类参数的缺失对计算结果的影响。宋一鑫^[7]提出了一种将机场主导能见度引入到跑道利用率计算的方法, 并将此方法的结果与基于侧风的传统跑道利用率计算方法的结果进行对比, 最后得到新方法具有明显优势的结论。然而, 以上的研究只给出了跑道利用率评估的方案, 却没有给出基于此方案的机场跑道利用率计算值与真实跑道利用率统计值的对比结果, 在一定程度上影响评估方案的科学性及稳健性。此后, 靳辉辉等^[8]利用主成分聚类方法对各机场跑道利用率进行有效的评估, 然而其分析导致机场利用率低的原因对象集中在非气象因素, 例如: 跑道长度、航空公司数量和停机位数量等10个方面。

随着民航局对机场跑道利用率计算及评估的精准度要求越来越高, 基于以上分析, 提出一种优化的高原机场跑道利用率计算方法, 并利用机场跑道自动站气象观测资料对跑道利用率进行计算, 最后结合真实的机场跑道运行记录数据, 对跑道利用率的计算值与真实值进行对比分析, 以此对优化方案的科学性和稳健性进行检验。

1 数据集及预处理过程

1.1 数据集

用到的气象观测资料来源于P机场自动气象站

获取的风速、风向、主导能见度、云量、云状和云底高,以及真实的机场跑道利用率等数据,它们的时间分辨率均为1 h。

对于风速和风向数据,其单位为 m/s,在利用此数据集时,首先对出现缺测或异常的数据进行剔除,然后再与其他数据集进行时间匹配。主导能见度是指观测点四周一半或以上的视野范围内都能达到的最大水平能见度距离,单位为 m。对于云量数据集,民航领域一般将云量分为 8 份,即 8 为满天云,而 0 则为无云;对于云状数据集,一般将云的类型分成 15 类,即 { 'FG', 'Cb', 'Tcu', 'Cu', 'Fc', 'St', 'Fs', 'Sc', 'Ns', 'Fn', 'As', 'Ac', 'Cs', 'Cc', 'Ci' }。另外,将无云天气用代码 0 表示,而对于有云天气,但是未查找到对应代码或因记录时书写错误等原因,用代码 99 表示;对于云底高度数据,其单位为 m,在无云天气的时刻用 99999 表示。

除了机场跑道气象自动站观测数据外,还需要获取机场跑道真实的利用率数据,即 P 机场飞行计划动态记录数据集,这个数据集详细地记录了本机场所有飞机计划起飞和降落的时间,以及实际起飞和降落的时间信息。若航班产生了延误,则延误的原因(天气、流量管控或其他)也会被详细地记录在这个数据集。从这个数据集中,就可以提取机场跑道的真实利用率信息。此外,为更加简洁地表示 15 种云状类型,在处理数据集时用 1~15 代替。考虑到 P 机场能够提供的机场运行记录表数据的时间范围有限,故文中所用数据集的时间范围为 2018 年 10 月~2019 年 11 月。

1.2 预处理过程介绍

主要研究内容是分析气象因素,如风速、风向、云量、云状、云高、能见度等对机场跑道利用率的影响,故在从机场飞行计划动态记录数据集中提取机场利用率信息时,首先剔除由非天气原因导致的机场跑道不用的情况;其次,将机场可用与不可用的情况分别用 1 和 0 表示;最后,按照时间序列生成机场可用与不可用情况的统计数据集。

对于风速和风向数据集,当其中任一个数据集出现无效或异常值时,需将另一个数据集对应时刻的数据赋为空值。同理,当联合云量、云状和云高数据集对

机场跑道利用率影响的分析时,也需要对所有数据集的异常数据进行时刻匹配和空值赋值预处理等操作。

2 传统的跑道利用率计算方法

对于机场跑道利用率的计算,传统方法则是根据风力负荷值来判断。根据《国际民用航空公约》中附件 14 中机场的规定^[9],风力负荷是保证机场跑道使用率的最主要因素。风力负荷和各种机型所容许承受的 90°侧风风速分量值有关。按不同飞行场地长度,规定 90°侧风分量的容许风速为 19~37 km/h。跑道方位应能满足飞机场所在地的所有方向风的风速,所产生与跑道方向垂直的侧风分量,大于容许 90°侧风风速的百分率等于或小于 5%,即跑道风力负荷应 $\geq 95\%$ 。当受综合因素限制,机场跑道位置处的风力负荷值小于 95% 时,则判断此时机场跑道为不可用状态。若仍使用此机场,则需考虑建立第二条跑道。

以分析的 P 高原机场为例:跑道方向 α 为 21°~201°,此时设定最大容许的侧风风速为 9 m/s (32 km/h)。根据机场跑道处的风速 V 和风向 θ ,侧风的计算公式为

$$CW = V \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad (1)$$

首先,当某时刻计算的 CW 满足最大容许的侧风要求时,则表明此时刻机场跑道为可用状态;其次,对某一段时间序列均进行侧风计算及判别,可获取这段时间内各时刻机场跑道利用的统计情况;最后,根据统计数据可以计算出这段时间机场跑道的利用率 $P(CW \leq CW_{\max})$ 。

3 云参数特征的统计分析

除了侧风会对机场跑道的利用产生影响外,在机场实际运行中的云参数(云量、云状和云底高等)也会对机场跑道的利用产生影响,这种影响跟机场跑道所处的地理环境、位置及海拔均存在紧密联系。为更加科学地寻找云参数与 P 机场跑道利用状态之间的内在关系,需结合其真实机场运行记录数据,分析在跑道可用及不可用情况下云量、云状和云底高等 3 种云参数所体现出的统计特征,其统计结果如图 1 所示。

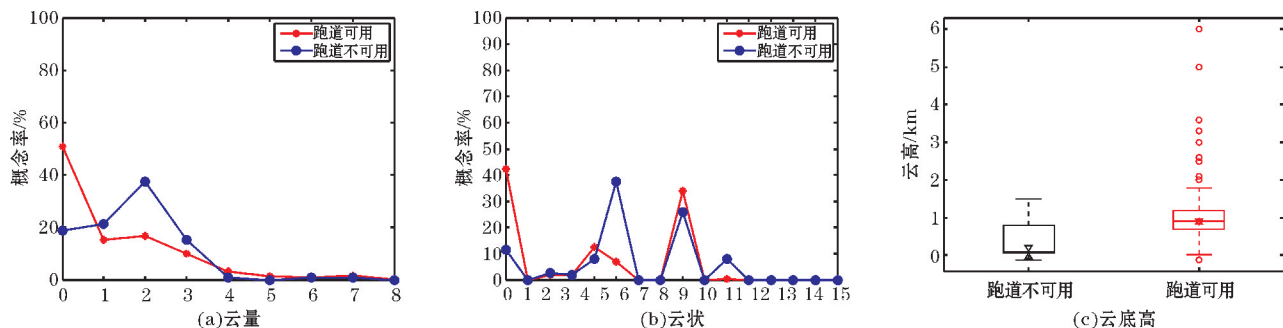


图1 跑道可用与不可用状态下3种云参数特征分布

从图 1(a)可知,在跑道可用与不可用状态下,两条曲线的幅度只在云量为 0 和 2 处存在较大的差异。云量为 0 表示此时刻跑道上空是无云的状态,跑道真实可用的概率比不可用高约 30%,然而跑道不可用的概率也高达 20%。另外,云量为 2 时,跑道不可用的概率比跑道可用的概率高约 20%。虽然云量为 0 和 2 时两条曲线存在较明显的统计学特征,但若将云量 0 或 2 作为跑道可用或不可用的判断条件之一,则会严重地低估机场跑道不可用或可用状态的概率。从图 1(b)可知,对云状在机场跑道可用与不可用状态的统计特征进行分析,两条曲线在云状为 0 和 5 时出现了较明显的差异,然而在这两种云状出现的时刻,具有较低幅度网线的概率仍然高达 10% 左右。同云量分析一样,单纯依靠云状 5 来判定跑道不可用将严重低估机场可用状态的概率。对于云底高度,绘制了跑道可用与不可用两种状态下云底高度的箱线图,如图 1(c)所示。从图中可知两个箱体的主体几乎可以

被完全区分开,箱体内的倒三角位置表示数据集的下四分位点。因此,基于云底高度在机场跑道可用与不可用状态下表现出的特征,初步认为云底高度可以作为判定机场跑道可用状态与否的指标之一。

4 改进的跑道利用率计算方法及结果对比分析

根据传统的机场利用率计算方法,首先利用 P 机场跑道处风向和风速资料和式(1)计算出跑道处的侧风,然而筛选出满足最大容许侧风要求的时刻,最终计算出机场跑道利用率,结果如图 2(a)所示。从图 2(a)可知,仅仅将侧风作为判定机场跑道可用与否指标时,计算出的结果(蓝线)与真实值(红线)的相关系数为0.323,标准差为 2%。两条曲线在 2019 年 6 月-9 月存在很大的差距。因此,有必要对传统的机场跑道利用率计算方法进行改进。

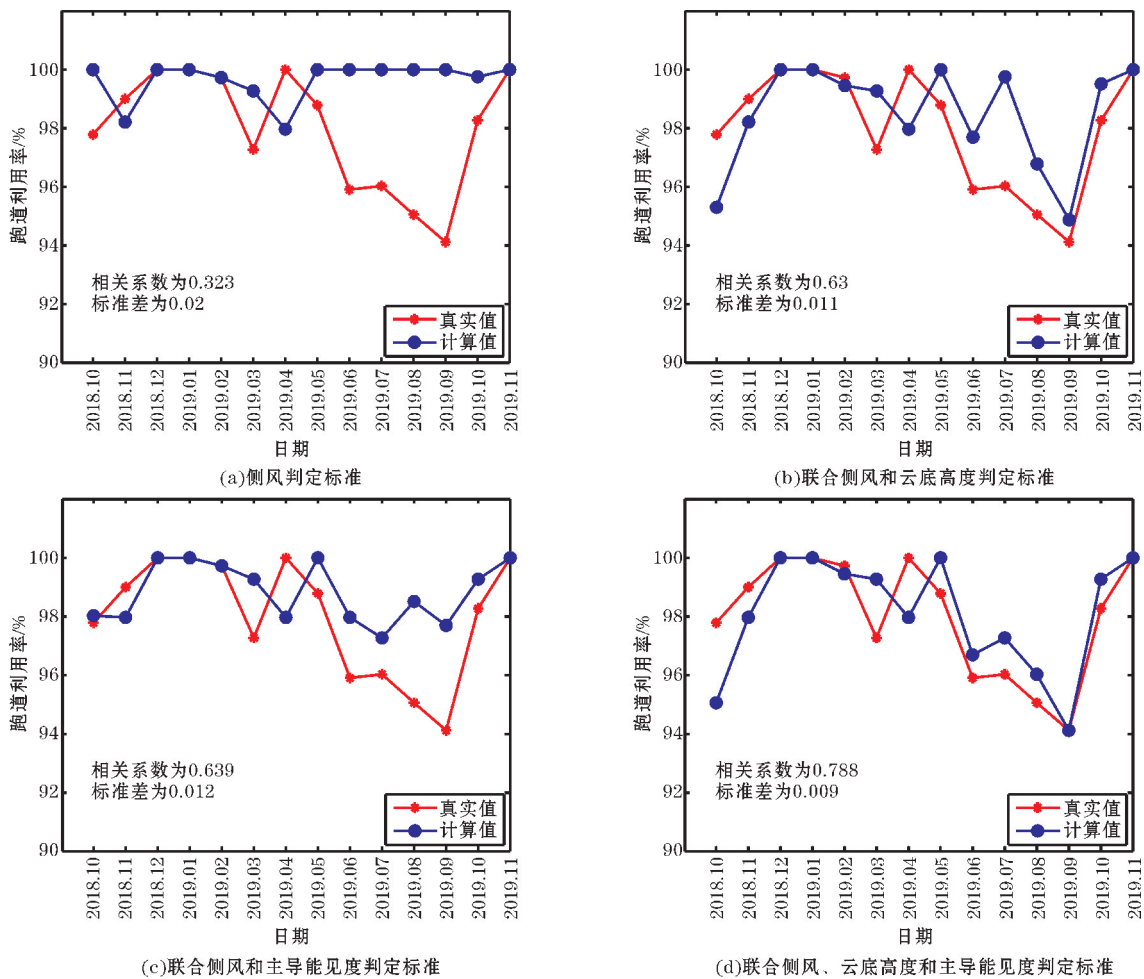


图 2 基于不同判定方法的跑道利用率

根据云参数在机场可用与不可用状态下特征的分析,考虑将云底高度引入机场跑道可用状态的判定中,

对于 P 机场而言,云底高度的判定标准设定为 60 m。基于此,联合侧风和云底高度的判定标准,对 P 机场

的跑道利用率进行计算,结果如图2(b)所示。从图2(b)可以看出,P机场跑道每月利用率计算结果(蓝线)与真实结果(红线)的相关系数和标准差分别为0.63和1.1%,这两个指标均优于仅利用侧风作为唯一判定标准的结果(图2a)。此外,在2019年6-9月,联合侧风和云底高度判定方法的机场跑道利用率计算结果更接近真实的跑道利用率。

除了侧风和云参数会影响机场跑道利用外,飞机起飞和降落时机场的最低能见度(或跑道视线程)也必须符合机场运行的天气标准。因此,宋一鑫^[7]在研究高原机场的跑道利用率优化计算方法时,在判定标准中引入了主导能见度这一条件。机场运行天气标准是飞行程序设计时,根据飞行程序的决断高和最低下降高计算得来的。大致计算方法为

(决断高或最低下降高-参考数据高)/下滑角度-进近灯光长度

对于高原P机场主降跑道而言,设置为I类精密进近,灯光长度900 m,能见度标准为800 m;对于次降跑道而言,设置为非精密进近,灯光长度为420 m,能见度标准为4000 m。在考虑了侧风和机场主导能见度判定标准时,需分别计算满足侧风标准且主降方向逆风时主导能见度小于800 m的概率以及次降逆风时主导能见度小于4000 m的概率,即

$$P(vis>800 | (270+\alpha \leq \theta, \theta \leq 90+\alpha) | CW < CW_{\max}) \quad (2)$$

$$P(vis>4000 | 90+\alpha < \theta < 270+\alpha | CW < CW_{\max}) \quad (3)$$

根据联合概率和条件概率的计算公式,采用侧风和机场主降/次降主导能见度判定标准,P机场跑道每月利用率计算结果如图2(c)所示。从图2(c)可知,计算值曲线与真实值曲线的相关系数和标准差分别为0.639和1.2%,这两类统计指标要明显优于图2(a)的结果,但相较于图2(b)的结果,其统计指标并没有得到明显的提升。

在综合分析了图2的机场跑道利用率计算和对比结果之后,设想将侧风、云底高度和主降/次降能见度等判定指标联合在一起,用于高原P机场跑道的利用率计算,其结果如图2(d)所示。从图2(d)可以看出,计算值曲线与真实值曲线的相关系数和标准差分别为0.788和0.9%,这两个指标明显优于前面这3种判定方法的统计指标。具体而言,相关系数指标相比于联合两种判定标准的结果提升了15%,而相较只利用侧风这一判定指标的结果提升了45%,标准差也明显降低了。此外,采用联合3种判定标准大幅度缩减了在

2019年6-9月的机场跑道利用率与真实机场利用率的差距。

5 结论及讨论

文中对传统机场跑道利用率计算方法进行优化,建立一种机场跑道利用率准确计算的方法。整体思路为首先对仅采用风力负荷,即侧风判定标准的跑道利用率传统计算方法的结果进行分析;其次对云量、云状和云底高度等3种云参数在机场跑道可用与不可用状态下的特征进行统计分析,进而根据统计特征初步确定将云底高度这一参数引入到机场跑道利用率计算中;之后根据高原机场的主降能见度和次降能见度的要求,将主导能见度也引入到机场跑道利用率计算模型之中;最后根据优化的步骤及设想,实现了4个方案,并对结果进行对比与分析。最后的分析对比结果表明,采用联合侧风、云底高度和主降/次降能见度后的机场跑道利用率计算结果与真实机场跑道利用率更接近,相关系数及标准差等统计指标明显优于传统方法的结果,同时也优于只采用其中两种判定标准的计算结果。

采用的机场跑道利用率优化方法可以为已建机场跑道利用率的计算提供较为准确的信息,所采用的优化策略可以为其他待建机场跑道的选址和跑道分布方向等提供优化建议。当然,在机场跑道建设或运行时,一些气象要素也需要具体问题进行具体的统计分析,以此形成适合于本地的机场跑道利用率评估方案,这样才能为机场跑道的运行决策提供更为有效的气象辅助信息。

参考文献:

- [1] 李慧敏. 机场建设热潮兴起[J]. 人民周刊, 2020(20): 66-67.
- [2] 郑国光, 周建华. 航空气象业务[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [3] 王峰云, 张小兵. 民航气象技术进步与创新发展[J]. 气象科技进展, 2021, 11(3): 189-193.
- [4] 王伟, 种小雷, 陈东方, 等. 高原危险气象下的机场端净空评定方法研究[J]. 飞行力学, 2021, 39(3): 20-26.
- [5] 黄仪方, 廖晓春. 青藏高原影响飞行的危险天气及其分布[J]. 空中交通管理, 2011(3): 35-38.
- [6] 何驰. 气象因素对机场跑道利用率影响及评估

- 方法[J]. 云南大学学报(自然科学版),2012,34(S2):394-396.
- [7] 宋一鑫. 机场跑道利用率计算方法的研究和应用[J]. 科技创新与应用,2015,31:57-58.
- [8] 靳辉辉,李楠. 基于 PCA 聚类机场跑道利用率研究分析[J]. 航空计算技术,2017,47(4):65-69.
- [9] 国际民用航空组织. 国际民用航空公约附件 14: 机场(第六版)[S]. 2013.

Study on an Optimized Calculation Method of Airport Runway Utilization on Plateau

GAO Yong¹, SONG Yixin¹, TANG Shunxian²

(1. Southwest Branch of Civil Aviation Airport Construction Corporation of China, Chengdu 610202, China; 2. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In this paper, a method for calculating runway utilization of a plateau airport in complex meteorological environment is proposed, which combines wind speed, wind direction, cloud base height and prevailing visibility. The accuracy of the calculated results by this method is obviously higher than that of the traditional method which only uses wind speed and wind direction. The plateau airport is taken as an example. Firstly, the meteorological observations and the airport operation record data are matched and preprocessed. Secondly, the characteristics of cloud cover, cloud shape and cloud base height are analyzed based on the available status of the airport runway, and the internal relationship between them and the runway status is analyzed. Finally, three optimization schemes, namely crosswind and cloud base height, crosswind and prevailing visibility, combined crosswind, prevailing visibility and cloud base height, are implemented respectively, and the calculated results are compared with the real airport runway utilization. The results show that, compared with other schemes, the calculation scheme using the combination of crosswind, prevailing visibility and cloud base height has the highest correlation and the smallest standard deviation with the real value, which proves the rationality and reliability of the optimization scheme.

Keywords: the plateau airport; runway utilization; cross wind; prevailing visibility; cloud height