

飞机冲偏出跑道事故统计分析及其后果预测研究

蔡靖,周宁,王岩,戴轩,李岳

(中国民航大学交通科学与工程学院,天津 300300)

摘要: 为了研究飞机冲偏出跑道事故发生及后果的主要特征,本文统计分析了2010—2019年间全球范围内发生的100起冲偏出跑道事故,从事故类型、事故致因、事故时空分布、事故机型及事故后果等方面深入剖析了飞机冲偏出跑道事故的规律性;并基于反向传播(BP, back propagation)神经网络构建了飞机冲偏出跑道事故后果预测模型,以预测不同条件下事故后果的严重程度。结果表明:偏出跑道事故为飞机冲偏出跑道事故的主要方面,湿滑污染道面及侧风是事故主要致因,飞机冲偏出跑道事故具有较强的时空分布规律性,且不同影响因素会造成不同程度的后果损失。本文所构建的预测模型对飞机冲偏出跑道事故后果的预测准确率达到76.67%,且测试集与训练集准确率达到了同一水平,说明该模型预测效果好,可为飞机着陆安全管理提供预警依据。

关键词: 飞机冲偏出跑道事故;统计分析;神经网络;后果预测

中图分类号: V328

文献标志码: A

文章编号: 1674-5590(2025)05-0037-07

Statistical analysis and consequence prediction of aircraft runway excursion accidents

CAI Jing, ZHOU Ning, WANG Yan, DAI Xuan, LI Yue

(College of Transportation Science and Engineering, CAUC, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to study the main characteristics of the occurrence and consequences of aircraft runway excursion accidents, 100 global aircraft runway excursion accidents from 2010 to 2019 were statistically analyzed in this paper, and the regularity of aircraft runway excursion accident was deeply analyzed from the aspects of accident types, accident causes, accident spatiotemporal distribution, aircraft types involved in accidents, and accident consequences. Based on back propagation (BP) neural network, a prediction model of the consequences of aircraft runway excursion accidents was constructed to predict the severity of accident consequences under different conditions. The results showed that veering off runway accidents were the main aspect of aircraft runway excursion accidents, wet, slippery and polluted pavement and crosswind were the main causes of accidents. Aircraft runway excursion accident had strong spatiotemporal distribution regularity, and different influencing factors can cause varying degrees of consequences and losses. The prediction model constructed in this article achieved a prediction accuracy of 76.67% for the consequences of aircraft runway excursion accidents, and the accuracy of the test set and training set reach the same level, indicating that the model has good predictive performance and can provide early-warning basis for aircraft landing safety management.

Key words: aircraft runway excursion accidents; statistical analysis; neural network; consequence prediction

随着航空运输业的飞速发展,跑道安全问题愈发严重,其中又以飞机冲偏出跑道事故最为突出,已经成为民航机场安全保障中不可忽视的问题。现有调查数据^[1]表明,在诸多民航事故类别中,飞机冲偏出跑道事故最为频发,占事故总数比例高达23%,高居第一,而且飞机冲偏出跑道事故造成了大量的人员伤亡、飞机损坏及地面损失,引起了社会的广泛关注。

鉴于飞机冲偏出跑道事故的高发、高危害等特点,诸多学者开展了大量研究。一方面,Arnaldo等^[2]对飞机冲偏出跑道事故的影响因素进行了研究,指出侧风、道面状况及机组为主要影响因素;霍志勤^[3]对1996—2010年间中国民航发生的63起飞机冲偏出跑道事故进行了统计分析,指出驾驶技术欠缺、机组资源管理(CRM, crew resource management)失效、复杂气

象条件是主要影响因素;王浩锋等^[4]利用 Bow-Tie 模型对 1997—2006 年间中国 71 起飞机冲偏出跑道事故进行了研究,指出机组操纵不当是事故主要致因;张晓全等^[5]利用寻因分析法(WBA, why-because analysis)和模糊层次分析法(FAHP, fuzzy analytical hierarchy process)确定了事故主要危险源并进行了权重排序;王洁宁等^[6]建立了飞机冲偏出跑道人为差错量化分析模型,该模型结合系统理论过程分析(STPA, systematic theory process analysis)与反向传播 BP(back propagation)神经网络的优势,探究了事故影响因素与事故发生阶段之间的规律性关系,并将事故不同发生阶段的影响因素按作用程度进行了排序。另一方面,李小燕^[7]分析研究了 1998—2007 年间全球范围内 141 起民航飞机冲出跑道事故的特点,提出了防止飞机冲偏出跑道的建议措施;谢智辉^[8]总结了近年来国内外跑道安全数据的特征及启示,对未来跑道安全管理工作提出了建议;孔祥骏^[9]对 2003—2008 年间的 36 起偏离跑道事件进行了统计,从机组角度提出了预防措施;于露等^[10]对 2009—2013 年间中国偏出跑道事故的影响因素进行了分类识别分析,分别从航空公司(简称航司)、空中交通管制(简称空管)、机场角度提出了预防建议措施。综上,以往学者对飞机冲偏出跑道事故的研究主要集中于事故的致因及预防措施,且多局限于中国少量案例的统计分析,鲜有针对飞机冲偏出跑

道事故后果的研究。同时过往的统计案例年代较为久远,多为 2010 年以前的案例,随着近些年民航快速发展和航空器大型化、重型化的发展趋势,飞机冲偏出跑道事故展现出了新特点和新规律,因此有必要对近期国内外飞机冲偏出跑道事故进行统计分析研究。

本文基于 2010—2019 年间国内外发生的 100 起飞机冲偏出跑道事故典型案例,从事故类型、事故致因、事故时空分布、事故机型、事故后果 5 个方面进行详细地统计分析;并在此基础上建立了飞机冲偏出跑道事故后果的 BP 神经网络预测模型,对不同因素影响下的事故后果进行预测,为航司、机场、机组提供预警数据支撑。这对于保障乘客人身安全和减少财产损失具有重要意义。

1 飞机冲偏出跑道事故统计分析

本文整理了来源于国际航空运输协会(IATA, International Air Transport Association)和国际民用航空组织(ICAO, International Civil Aviation Organization)的年度安全报告、航空安全网(ASN, Aviation Safety Network)、航空先驱报、公开发表的文献及官方媒体报道等渠道的 100 起完整的国内外民航客机冲偏出跑道事故典型案例^[11]。事故发生年代为 2010—2019 年,受篇幅所限,表 1 列出了部分具有代表性的事故案例。

表 1 部分飞机冲偏出跑道事故案例
Tab.1 Some cases of aircraft runway excursion accidents

序号	事故类型	发生时间	航空器所属单位信息	事故机型	事发地点	事故致因	事故后果
1	偏出跑道	2019/07/12	雪人航空	ATR72-500	加德满都机场(尼泊尔)	小雨、道面湿滑	无人伤亡,飞机轻微受损
2	冲出跑道	2018/09/01	UT 航空	B737-800	索契机场(俄罗斯)	道面湿滑、侧风、机组操作不当	飞机报废,1 人死亡,18 人受伤
3	偏出跑道	2018/08/16	厦门航空	B737-800	马尼拉机场(菲律宾)	雷雨、侧风、道面湿滑、机组操作不当	无人伤亡,飞机实质性受损
4	冲出跑道	2017/05/31	斯里兰卡航空	B737-300	伦达尼机场(印度尼西亚)	大雨、跑道污染	17 人受伤,飞机报废
5	偏出跑道	2016/05/07	捷特航空	ATR72-600	印多尔机场(印度)	侧风、跑道污染	无人伤亡,飞机实质性受损
6	冲出跑道	2016/04/28	厄瓜多尔航空	ERJ-190	昆卡·拉马尔机场(厄瓜多尔)	大雨、跑道污染	无人伤亡,飞机报废
7	偏出跑道	2015/03/29	加拿大航空	B767-300	哈利法克斯机场(加拿大)	降雪、跑道污染、侧风	23 人受伤,飞机报废
8	偏出跑道	2014/09/20	华信航空	ERJ-190	台中机场(中国)	大雨、跑道积水、侧风	无人伤亡,飞机轻微受损
9	偏出跑道	2013/02/06	突尼斯航空	A320-200	迦太基机场(突尼斯)	大雨、侧风、道面湿滑	无人伤亡,飞机报废
10	冲出跑道	2012/10/19	斯里兰卡航空	B737-400	坤甸机场(印度尼西亚)	大雨、跑道积水	无人伤亡,飞机轻微受损
11	偏出跑道	2011/08/29	海湾航空	A320-200	科钦机场(印度)	大雨、跑道污染、能见度低	8 人受伤,飞机实质性受损
12	冲出跑道	2010/06/16	跨洲航空	ERJ-145	渥太华机场(加拿大)	小雨、道面湿滑	3 人受伤,飞机实质性受损

1.1 事故类型统计分析

在本文选取的 100 起飞机冲偏出跑道事故案例中,偏出跑道 59 起,冲出跑道 41 起。图 1 给出了每年具体的冲出和偏出跑道事故发生次数,图 2 给出了每年飞机偏出跑道事故所占比例。由图 2 可以看出:每年

偏出跑道事故数量所占比例比较稳定,处于 50%~70% 之间,这与 IATA 公布的数据具有较强的一致性^[1],可见偏出跑道事故发生概率较大。在 ICAO 对飞机冲偏出跑道事故的研究中也同样表明,飞机偏出跑道事故相较冲出跑道事故发生得更加频繁^[1]。

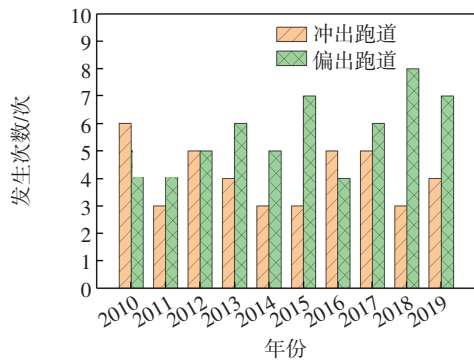


图 1 2010—2019 年飞机冲出和偏出跑道事故数量对比

Fig.1 Comparison between the number of aircraft veering off and running off the runway accidents from 2010 to 2019

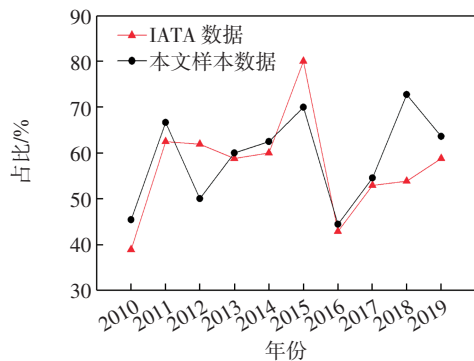


图 2 2010—2019 年飞机偏出跑道事故比例

Fig.2 Proportion of aircraft veering off runway accidents from 2010 to 2019

1.2 事故致因统计分析

本文对这 100 起飞机冲偏出跑道事故的致因进行了统计分析,列出了主要风险因素,如表 2 所示。

表 2 飞机冲偏出跑道事故风险因素统计

Tab.2 Statistics of risk factors of aircraft runway excursion accidents

风险因素	出现次数/次	出现频率/%
湿滑或污染跑道	56	56
侧风	36	36
机组飞行技术欠缺	35	35
机组态势感知问题	23	23
能见度低	18	18
起落架故障	15	15
反推力装置故障	6	6
跑道灯光系统不完善	4	4

由表 2 可见,飞机冲偏出跑道的致因很复杂,且一次事故通常会有多因素耦合作用,“湿滑或污染跑道”“侧风”及“机组飞行技术欠缺”是最常见的因素。这与欧洲航空安全组织(EUROCONTROL)对于 1980—2008 年间全球范围内飞机偏离跑道事故调查报告的结论相同^[12]。跑道污染状况将在一定程度上降低道面的摩擦性能并间接影响飞机轮胎与道面之间的接触作用;同时侧风会作用于机身,产生气动侧力以及偏

航、滚转力矩,使飞机产生向下风向运动的趋势,降低飞机操纵性;若加之机组操纵不当,便会酿成飞机冲偏出跑道事故^[13-15]。因此,保障飞机在恶劣的天气及道面条件下安全运行是减少民用航空事故、提升运输安全的必要途径。

1.3 事故时空分布

对事故案例发生的时间及地点按照月份和地区分布进行统计分析,结果如图 3 所示。

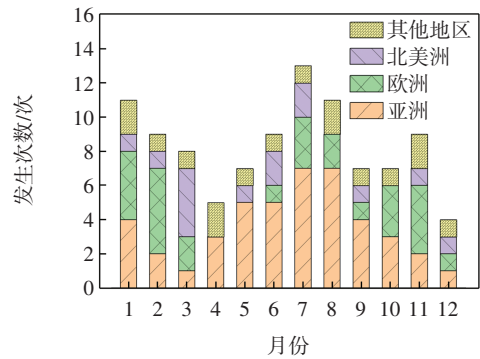


图 3 飞机冲偏出跑道事故时空分布

Fig.3 Spatiotemporal distribution of aircraft runway excursion accidents

从事故发生的月份统计看,1—3 月(合计 28 起)和 6—8 月(合计 33 起)是飞机冲偏出跑道事故高发期。其中以 7 月数量最多,达到了 13 起,占样本数据总量的 13%。这主要是与夏季多雨、易发雷暴,以及冬季多发大风、频繁降雪的特性有关。恶劣的天气条件会严重影响能见度,使飞行员无法对准跑道,道面污染会造成飞机滑水,影响操纵稳定性,进而导致飞机冲偏出跑道事故的发生。从事故发生的地区统计看,亚洲地区事故数量最多,共 44 起,主要集中于印度尼西亚、菲律宾、泰国、越南等东南亚国家。东南亚气温高,蒸发旺盛,常年高温多雨,容易导致跑道湿滑、能见度低等问题,影响飞机安全降落^[16]。因此,空管、航司、机场等管理部门在事故高发月份应该做好防范措施,提醒机组提高警惕,预防事故发生。同时飞机冲偏出跑道事故呈现明显的区域性特征,这主要与当地的气象特征、经济发展水平和民航技术水平有关。

1.4 事故机型统计

事故机型分类统计如图 4 所示。由图 4 可见,B737-800 和 A320-200 是飞机冲偏出跑道事故机型中占比最高的 2 款,分别占 17%(17 起)和 14%(14 起),主要原因是以 B737 和 A320 为代表的单通道窄体机是全球范围内运营数量最多的机型,排名前 5 的机型占比高达 48%。这些机型重量大,起飞、着陆速度快,所

以需要更加注重起飞和着陆的安全问题。

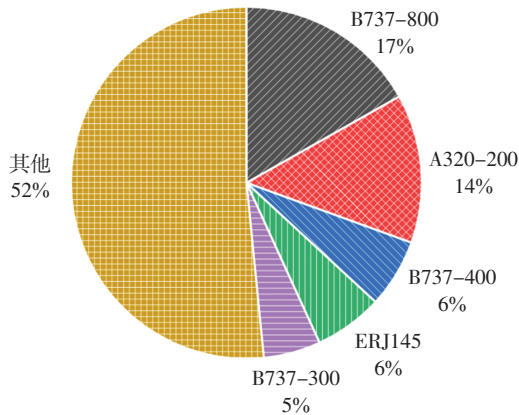


图 4 飞机冲偏出跑道事故机型统计

Fig.4 Statistics of aircraft types involved in aircraft runway excursion accidents

1.5 事故后果统计

分别按人员伤亡情况、飞机受损情况、地面损失情况对事故后果进行统计,结果如表 3 所示。

表 3 飞机冲偏出跑道事故后果统计

Tab.3 Statistics of consequences of aircraft runway excursion accidents

事故后果	冲出跑道		偏出跑道		
	次数/次	占比/%	次数/次	占比/%	
人员伤亡情况	人员死亡	3	7	1	2
	人员受伤	7	17	11	18
	无人员伤亡	31	76	47	80
飞机受损情况	严重受损	22	54	31	53
	轻微受损	10	24	23	39
	未受损	9	22	5	8
地面损失情况	定位器天线	3	26	2	18
	跑道边灯	4	37	9	82
	机场围栏	4	37	0	0

1)人员伤亡情况

在冲出跑道事故中,有 76%(31 起)的事故未造成人员伤亡,17%(7 起)的事故造成人员受伤但无人员伤亡,另外7%(3 起)的事故造成人员死亡。在偏出跑道事故中,对应比例分别为无人员伤亡 80%(47 起)、人员受伤 18%(11起)和人员死亡 2%(1 起)。可见两者伤亡率近似,冲出跑道事故虽然发生概率小于偏出跑道事故,但其致死率较高。

2)飞机受损情况

在 41 起冲出跑道事故和 59 起偏出跑道事故中,分别有 54%(22 起)和 53%(31 起)的事故造成飞机严重受损,其中包含飞机无维修价值直接注销报废的情况;24%(10 起)和 39%(23 起)的事故造成飞机轻微受损;另外 22%(9 起)和 8%(5 起)的事故未造成飞机受

损。显然,从累积概率来讲,偏出跑道事故往往更容易造成飞机损伤,损伤概率高达 92%。

3)地面损失情况

41 起冲出跑道事故中有 11 起有关于地面损失的记录,地面受损的设施设备主要包含定位器天线、跑道边灯、机场围栏。其中机场围栏和跑道边灯受损较多,均占比37%,定位器天线次之,占比 26%。在 59 起偏出跑道事故中有 11 起有关于地面损失的记录,地面受损的设施设备主要包含定位器天线和跑道边灯,没有机场围栏受损的案例。其中地面损失主要体现在跑道边灯损坏上,占比高达 82%。

2 飞机冲偏出跑道事故后果预测模型建立

2.1 BP 神经网络模型原理与构建过程

BP 神经网络是典型的按照误差逆向传播算法训练的多层前馈型神经网络,能对外界获得的信号自动归纳其分布规则,寻找内在规律,通过网络将误差信号沿原来的正向传播途径反传,不断调整修改各神经元的权值,直至目标误差小于阈值^[17]。图 5 为典型的 BP神经网络拓扑结构,包括输入层、隐含层和输出层。

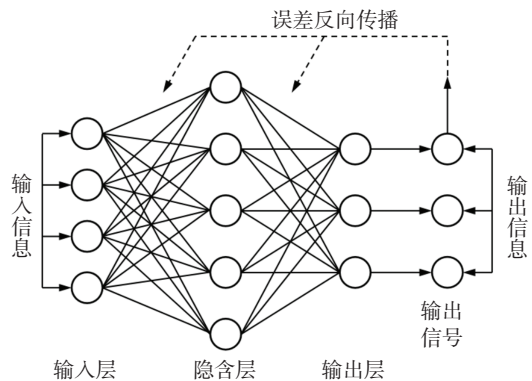


图 5 BP 神经网络结构

Fig.5 Structure of BP neural network

构建合适的指标体系是建立飞机冲偏出跑道事故后果预测模型的基础,根据前文统计分析结果,选取了事故类型、月份、地区、机型、天气条件、道面状况 6 大因素作为输入变量。输出变量为事故严重等级,由于飞机冲偏出跑道事故具有致死率低、经济损失大的特点,本文参考了民用航空地面事故等级划分与文献 [18-19]将飞机冲偏出跑道事故严重程度进行了更细致的划分。本文所采用的事故等级划分标准及详细描述如表 4 所示。

因为本文的影响因素变量多为类别变量,与常规分析不同,例如事故类型包含冲出跑道和偏出跑道,

表 4 飞机冲偏出跑道事故等级划分

Tab.4 Classification of levels for aircraft runway excursion accidents

事故严重等级	描述	对航空器的影响	人员伤亡	对机场的影响
I	可忽略	飞机结构或系统功能几乎没有影响	无伤害	无影响
II	轻微	飞机结构轻微损伤,或系统功能略受影响	无伤害	机场设施设备受到轻微损坏,但不影响正常运营
III	一般	飞机结构受损,或系统功能受到一定影响	轻微伤害	机场设施设备受到一定损坏,或机场运营受到一定影响
IV	重大	飞机结构明显损伤,或系统功能受到较大影响	轻微伤害	机场设施设备受到一定损坏,或机场运营受到一定影响
V	特别重大	飞机结构严重受损,或系统功能受到严重影响	死亡或重伤	机场设施设备受到严重损坏,或机场运营受到严重影响

天气条件包含降雨、侧风、降雪等 5 种类型,道面状况包含干燥、潮湿、污染等 4 种类型,其中均不包含具体数据,这给网络的构建带来了一定难度,所以为了易于学习训练,采用 one-hot 编码器对原始输入变量进行编码。该编码是对类别变量进行“二进制化”操作,然后将其编码结果作为模型训练的输入变量,解决了离散数据处理困难的问题^[20]。例如在本文输入变量的处理中,事故类型共包含冲出跑道和偏出跑道 2 种情况,若某起事故是冲出跑道,则该案例的事故类型一项赋值为(1,0),若是偏出跑道则赋值为(0,1)。同理,对输出变量也进行 one-hot 变化。模型的输入变量及对应取值如表 5 所示。

BP 神经网络具有很强的非线性映射能力,Nielsen^[21]的研究证明,1 个 3 层 BP 神经网络能够实现任意非线性函数的逼近。故本文采用的是含 1 层隐含层的 3 层网络结构。输入层节点数包含全部变量共 50 个节点。输出层对应事故严重等级的 5 个类别,共 5 个节点。隐含层节点数 b 一般根据经验公式确定,计算公式为

$$b = \sqrt{P+D} + \lambda \quad (1)$$

式中: P 为输入层节点数; D 为输出层节点数; λ 一般为 1~10 之间常数。隐含层节点数初步确定为 15 个,但在反复训练后发现不能获得较好的训练结果,所以另取一些经验公式范围以外的值并进行训练,经过反复试算,最终确定隐含层节点数为 80 个,此时训练结果最优,如表 6 所示。

学习率决定了学习过程的稳定性,若取值较大可能会导致权值在修正过程中超过某个误差的极小值呈不规则跳跃而不收敛,一般倾向选择较小值以保证学习过程的收敛性,通常取值在 0.01~0.80 之间。本文

表 5 飞机冲偏出跑道事故后果影响变量

Tab.5 Influencing variable of consequences of aircraft runway excursion accidents

编号	变量类型	变量数量	变量取值
1	事故类型	2	冲出跑道=(1,0) 偏出跑道=(0,1)
2	月份	12	1 月份=(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0) 2 月份=(0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0) ⋮ 12 月份=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1)
3	地区	6	亚洲=(1,0,0,0,0,0) 欧洲=(0,1,0,0,0,0) 北美洲=(0,0,1,0,0,0) 南美洲=(0,0,0,1,0,0) 非洲=(0,0,0,0,1,0) 澳洲=(0,0,0,0,0,1)
4	机型	21	B727-200= (1,0) ⋮ A320-200= (0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0) ⋮ ERJ-190= (0,1)
5	天气条件	5	降雨=(1,0,0,0,0) 侧风=(0,1,0,0,0) 降雪=(0,0,1,0,0) 大雾=(0,0,0,1,0) 未知=(0,0,0,0,1)
6	道面状况	4	干燥=(1,0,0,0) 潮湿=(0,1,0,0) 污染=(0,0,1,0) 未知=(0,0,0,1)

表 6 不同参数训练结果准确率比较

Tab.6 Comparison of the accuracy rates of training results of different parameters

隐含层节点数/个	学习率					%
	0.01	0.03	0.10	0.30	0.80	
15	71.43	74.28	77.14	72.85	68.57	
30	74.28	77.14	75.71	72.85	71.43	
80	75.71	78.57	74.28	74.28	72.85	
150	80.00	81.42	75.71	75.71	72.85	
300	77.14	74.28	71.43	68.57	65.71	

选取了该范围内的 5 个值进行训练对比,由表 6 可知,当学习率取 0.03 时训练效果最优。其他网络参数根据以往经验选值,最大迭代次数取 1 000,验证步数取 100。

网络中隐含层激活函数使用 S 型对切函数 logsig;输出层激活函数使用纯线性函数 purelin;网络训练使用弹性 BP 算法,其具有收敛速度快和占用内存小的优点。经过反复训练对比后发现,相比于之前学者对于交通类事故问题常采用的 LM(Levenberg-Marquardt)

算法,弹性BP 算法具有更好的训练效果,如表 7 所示。

表 7 不同算法训练结果准确率比较

Tab.7 Comparison of the accuracy rates of training results by different algorithms

训练函数	训练集	测试集
LM 算法	74.28	66.66
弹性 BP 算法	78.57	76.67

2.2 BP 神经网络的训练与测试

在飞机冲偏出跑道事故后果预测模型中 70 组数据用来训练,30 组数据用来测试验证。根据 BP 神经网络原理,利用 Matlab 编制并调试好程序,然后,输入各项参数并进行优化运算。经过 20 次迭代后,验证步数达到 100,训练结束。在网络训练到第 14 代时误差最小,验证结果最理想,最佳的验证性能为 0.043,如图 6 所示。

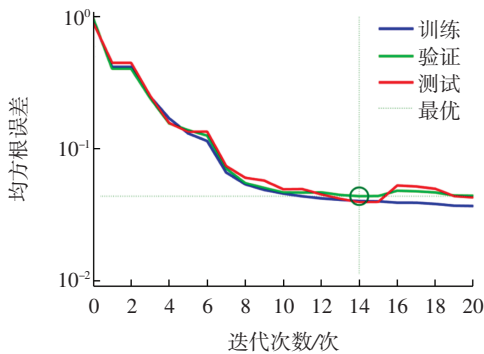


图 6 BP 网络迭代性能图

Fig.6 Iterative performance graph of BP network

预测事故等级与实际事故等级之间误差为 0,即为准确。经过训练得到的神经网络训练结果误差如图 7 和图 8 所示,所得的 BP 网络训练集中有 55 例样本的预测事故等级与实际完全相同,准确率为 78.57%。可见训练结果较理想,整体误差较小,训练的准确率是可以接受的。

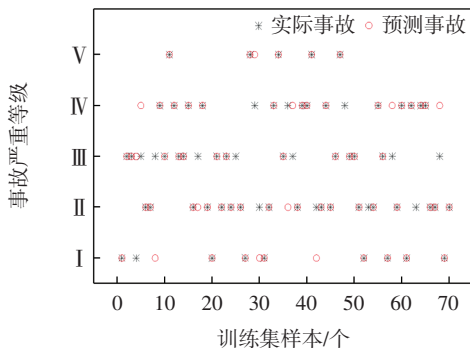


图 7 训练集实际与预测结果对比

Fig.7 Comparison of actual and predicted results of the training set

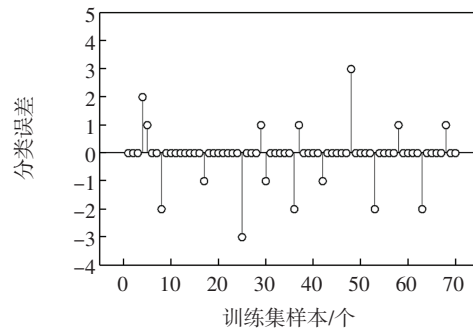


图 8 训练集误差

Fig.8 Error of the training set

基于训练好的模型,对剩余 30 组样本数据进行测试,对比预测值与实际结果来验证模型预测的有效性,如图 9 和图 10 所示。测试集的 30 例样本中有 23 例样本的预测事故等级与实际完全相同,即预测准确率达到 76.67%。其结果与训练集准确率 78.57% 误差较小,处于同一水平。

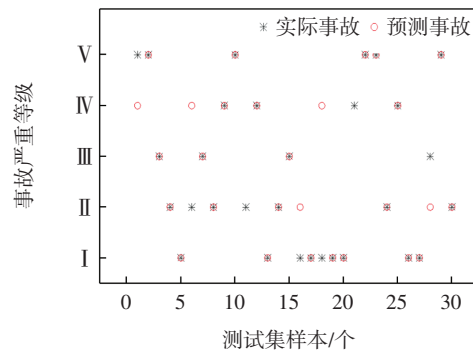


图 9 测试集实际与预测结果对比

Fig.9 Comparison of actual and predicted results of the test set

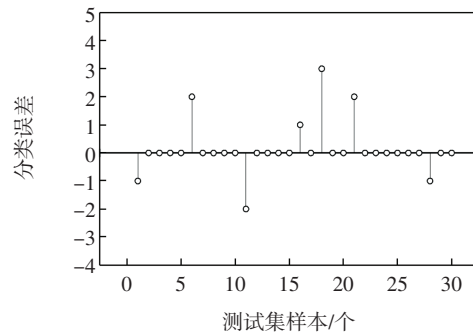


图 10 测试集误差

Fig.10 Error of the test set

航空事故这类复杂的非线性问题有很多不确定性因素,比如事故地点、时间和道面状况等对事故严重程度影响都有着明显的差异性,而且影响因素无法量化,这对预测准确率会产生一定影响。不过从本文测试的结果来看,训练完成后的 BP 神经网络预测误差较小,且测试集准确率与训练集准确率相近,所

以通过 BP 神经网络能够在一定程度上完成对飞机冲偏出跑道事故后果严重程度的预测。

3 结语

本文以事故调查统计为基础分析了飞机冲偏出跑道事故的主要特点,并利用 BP 神经网络对飞机冲偏出跑道事故后果的严重程度进行预测。主要得出以下结论。

(1)经过对 2010—2019 年间的 100 起事故案例进行统计分析,发现飞机冲偏出跑道事故的发生具有较强的时间分布和地区分布规律性,时间上主要集中于 6—8 月,地区上亚洲发生事故数量最多。恶劣的天气与道面状况是飞机冲偏出跑道事故的主要诱因,且不同事故类型会造成不同程度的后果损失。

(2)利用文中样本数据基于 BP 神经网络构建了飞机冲偏出跑道事故后果预测模型,实现了对不同条件下飞机冲偏出跑道事故后果严重程度的预测。该模型的拟合精度高,预测效果较好,预测准确率达到 76.67%,可以证明该预测模型是有效的,神经网络在飞机冲偏出跑道事故预测方面具有应用前景。

对于飞机冲偏出跑道事故后果严重程度的预测不是根本目的,根本目的是要在出现相同或类似情况时,能够对后果进行预判,从而及时采取对应的预防措施,避免或减少事故损失。由于飞机冲偏出跑道事故的影响因素非常复杂,本文未能充分考虑更多的影响因素且数据集的样本数量有限,将来可以在增加数据集样本数量、考虑更多事故影响因素等方面对预测模型进行进一步改进。

参考文献:

- [1] IATA. Safety report[R]. Montreal: International Air Transport Association, 2019.
- [2] ARNALDO VALDÉS R M, GÓMEZ COMENDADOR F, MIJARES GORDÚN L, et al. The development of probabilistic models to estimate accident risk (due to runway overrun and landing undershoot) applicable to the design and construction of runway safety areas[J]. Safety Science, 2011, 49(5): 633–650.
- [3] 霍志勤. 中国民航运输航空器偏/冲出跑道统计分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(7): 127–132.
- [4] 王浩锋, 谢孜楠. 1997—2006 年中国民航冲出偏出跑道/场外接地事故征候的统计分析研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2008, 19(3): 3–9.
- [5] 张晓全, 李秋实. 基于 WBA 方法的冲出跑道事故风险管理研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(11): 67–73.
- [6] 王洁宁, 张聪俊. 飞机冲偏出跑道人为差错量化分析模型[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(1): 106–113.
- [7] 李小燕. 近十年全球商用喷气机冲出跑道事故统计分析[J]. 中国民用航空, 2009(9): 37–39.
- [8] 谢智辉. 跑道安全数据分析与管理建议[J]. 民航学报, 2019, 3(6): 15–18.
- [9] 孔骏. 冲偏出跑道事件预防研究[J]. 中国民用航空, 2009(9): 34–36.
- [10] 于露, 孟维静. 民用航空器偏出跑道致因分析及预防对策[J]. 西安航空学院学报, 2016, 34(3): 29–32.
- [11] Aviation Safety Network. Aviation safety database[EB/OL]. (2022-01-28)[2023-03-15]. <https://aviation-safety.net/database/>.
- [12] VAN W H. A study of runway excursions from a European perspective[R]. Brussels: EUROCONTROL, 2010.
- [13] 蔡靖, 张恒, 李岳, 等. 道面摩擦不平衡对飞机着陆滑行参数影响[J]. 交通运输工程学报, 2018, 18(5): 12–24.
- [14] 李岳, 蔡靖, 宗一鸣. 湿滑道面飞机轮胎临界滑水速度数值仿真[J]. 交通运输工程学报, 2017, 17(5): 90–101.
- [15] 刘芳兵. 湿滑跑道飞机侧风着陆滑行安全研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [16] 吴佳. 东亚—东南亚区域气候变化的数值模拟及不确定性分析[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2012.
- [17] 陈明. MATLAB 神经网络原理与实例精解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [18] 国家质量监督检验检疫总局. 民用航空地面事故等级: GB 18432—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [19] 陆正. 基于 Bow-tie 模型的民航着陆阶段跑道偏离风险研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2015.
- [20] 包子阳, 余继周, 杨杉. 智能优化算法及其 MATLAB 实例(第 2 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [21] NIELSEN H. Neurocomputer applications[M]. New York: IEEE Press, 1989.

(责任编辑: 明月)