

大型航空运输企业航班恢复系统(RM) 应用研究

史卫国^{1,2*} 曹 阳² 李清红²

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 中国东方航空公司, 上海 201100)

摘 要: 随着航空公司机队规模和运营航线的不断扩大, 在发生大面积航班延误时, 航空公司需要快速计算出最优的航班恢复方案。为了提高运行控制效率, 探索一种优化控制的方法, 根据经济效益、航班正常等不同的目标要求, 计算出最优的运行方案, 最终达到快速、高效地调配航班。分析了大型航空运输企业不正常航班恢复的主要场景, 在此基础上筛选了制约航班恢复的关键约束条件, 设计了航班恢复和校验的基本逻辑, 通过应对台风处置的实际案例, 验证了某大型航司和美国世博公司的航班恢复系统(RM)在实际案例应用中的效果, 总结了该航班恢复系统的优点和存在的风险及短板。实践表明, 该系统可缩短 2 h 航班运行恢复时间, 平均每个受影响航班减少延误 30 min, 减少相应的成本 2 万元, 提升整体航班正常率 3% ~ 5%。

关键词: 运行控制; 航班恢复; 航班调配限制库; 航班调配逻辑; 运行校验

中图分类号: V35

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用航空运行中, “运行控制”是组织日常生产运行的核心。航空公司运行控制中心除了签派放行、运行监控席位之外, 还设置航班调配、航务、性能、情报、气象等工作岗位。运行控制的核心是控制风险, 而航班调配则是保证日常运行持续高效的重要环节。保持一个航班运行计划动态顺畅, 对于签派放行监控直至整个公司运行平稳、旅客出行、航班正点、公司效益都有直接的影响。众所周知, 航空公司的运行会受到恶劣天气、其他空域用户活动、飞机故障、机场设施、旅客原因等各种因素的影响和干扰, 这些因素都会造成航班不正常、运行困难、甚至大面积航班延误。大面积航班延误、备降或取消, 不仅会对公司的经济效益、运行顺畅造成极大的影响,

更会对旅客出行造成极大的不便, 甚至会引发群体性事件, 造成巨大的负面社会影响。

大型航空公司**遇到大面积航班不正常时, 在批量取消航班、大量航班调整以及后续航班恢复方面, 普遍存在着效率和优化度都比较低的情况。因此各公司都在致力于航班智能调配和恢复系统的研究。行业内已有部分航司开始研发航班智能恢复系统。2019 年, 某地方航空联合阿里云、同济大学共同研发了航班智能恢复系统, 运用回旋时空网络模型、列生成等人工智能技术, 从航空运行实际出发, 引入旅客、机场、维修计划、运行限制等变量, 提供航班恢复方案。

本文介绍了某国内大型航空公司在不正常航班恢复系统方面的建设和应用的情况。该航司通过引进美国世博公司(Sabre Solution)的航班恢复系统

* 通信作者。E-mail: shiweiguo@sjtu.edu.cn

** 本文中, 大型航空公司是指机队规模在 500 架以上的大型飞机公共航空运输承运人。以东方航空为例, 2020 年机队规模达 700 余架, 每日在多个基地站运营近 3 000 班的商业运输航班量, 日均运输旅客达 40 万人。

引用格式: 史卫国, 曹阳, 李清红. 大型航空运输企业航班恢复系统(RM)应用研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2021(1): 138-145.
SHI W G, CAO Y, LI Q H. Application of flight recovery system in large aviation transportation enterprise[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2021(1): 138-145 (in Chinese).

(recovery manager system,简称 RM),建立客户化数据模型,形成系统自动化航班调配和恢复,提高航空公司航班调配的品质和效率,通过实际案例场景的应用,验证大型航空运输企业自动调配系统和航班恢复系统的实用性。

1 航班恢复亟需解决的关键问题

面对日益突出的不正常航班问题,社会各方面呼吁航空公司尽快采取有效解决措施,尽量弥补恶劣天气等因素对航班运行造成的干扰,尽快制定有效的航班调整优化方案和航班快速恢复方案,确保旅客权益受到保障,同时也有利于航空公司运行秩序的快速恢复。

在日常航班运行不正常期间,航空公司运控中心调配部门负责 3 个日历日内航班的调配工作,根据运行情况及时合理调整运力,尽可能地缩小不正常航班对整体运行计划的影响,保证重点航班正常。不正常航班的处置方法包括:推迟起飞时间、更换飞机、合并航班、取消航班、次日补班等。该航司目前使用 Sabre 公司 MM 系统,对公司航班进行动态调配。寻找航班调配方案的过程类似于“搭积木”的方式,如图 1 所示。

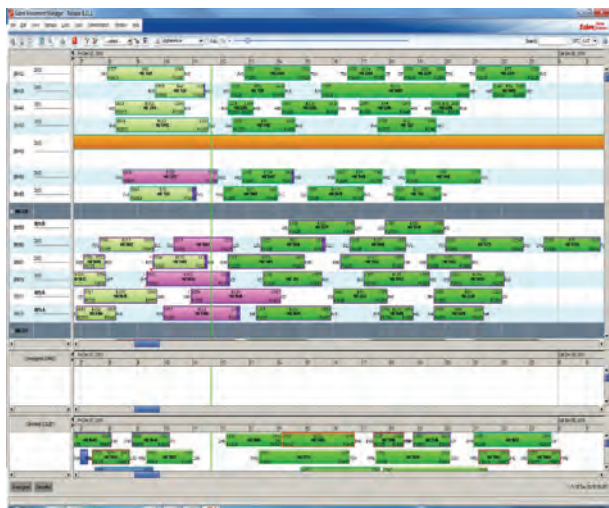


图 1 Sabre 公司 MM 系统界面

在航空公司实际运行中,航班临时调配时涉及机组资源(飞行机组、乘务、空保)、飞机资源、地面服务等多家单位,靠人工操作拟定调配方案,工作负荷加大,调配效率不高。

经过统计发现,2018 年(1 月-10 月)该航司总部调配席位工作负荷最大值发生在旺季生产的 7 月

-8 月,日均取消航班 32 班,日均调整航班预飞时间 248 班次,日均调整航班机型机号 327 班次;工作最低值发生在 10 月份,日均取消航班 3 班,日均调整航班预飞时间 85 班次,日均调整航班机型机号 241 班次,如图 2~图 4 所示。

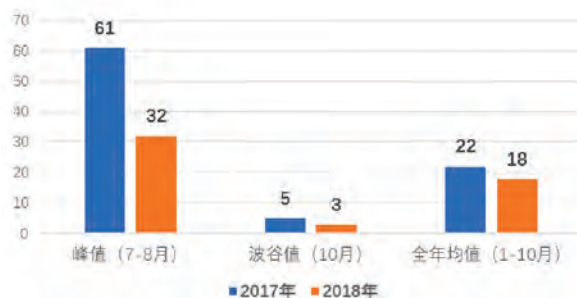


图 2 总部调配席位日均取消数



图 3 总部调配席位日均调整预飞数



图 4 总部调配席位日均调整航班量

通过以上数据可以发现,大型航空公司每天航班调配量十分大。人工调配存在以下缺点:

1) 大量人力资源的投入。根据每天 2 600 个航班、700 架飞机的运行,目前部分航空公司采取分机型、分区域进行调配,每块区域、机型配备一整套航班调配人员。这大大增加了人力成本,并且增加了调配难度,跨机队之间的调配变得复杂或者容易忽略;

2) 费时、费力、效率低。Sabre MM 系统尚不具备自动告警航班延误并寻找调配方案的功能,需要人工实时浏览系统。有时找到一架飞机可以临时使用,但进一步会签评估时会发现没有注册或者不满足所飞航线的一些限制要求,又要重新寻找调配方案,降低工作效率;

3) 调配方案合理性、优化程度不高。在日常运行中,航空公司首先考虑运行安全,在此基础上面临航班正常性和收益两个方面的选择。目前的调配方案没有数据支持进行多维度的最优方案的选择。

对于机队规模庞大的航空公司,在有效恢复航班方面存在许多的困难和问题,具体表现在三个方面。一是飞机资源紧缺,虽说机队规模庞大,绝对资源充足,但是受到飞机利用率指标和市场的影响,航空公司的航班计划编排十分紧凑,很少保留备份飞机闲置;二是机组调配复杂,大型航空公司大多有很多分公司,机型多样,运行的特点也大不相同,大大增加了航班调配的复杂性;三是系统支撑不足,目前国内大型航空公司对于航班调配都建立了相应的系统支撑,但需要人工进行组合排序寻找方案,对于航

班智能恢复,尚未有较为成熟的系统支撑。

2 典型场景下的航班恢复算法研究

2.1 航班恢复模型建立

2.1.1 航班恢复场景

场景 1:实时监控航班运行动态,对于预计造成延误的航班,根据不同的要求,自动读取航班调配各要素数据库,计算航班优化结果,输出相应的航班调配方案,供调配人员最终确认。如图 5 所示,方案 A 至 H 是针对不同机队范围和运行方式,采取分别计算预计的盈利和延误时间,根据需求目标,最终运行调配人员评估输出的各个不同的方案,确认选择一个符合公司运行实际的方案执行。

方案 A\C\E:航班利润 - 赔偿费用 * 旅客人数
(优先选取延误时间较短方案)

方案 B\D:航班利润(优先选取方案 B)

方案 F:航班利润 - 赔偿费用 * 旅客数 - (调机起降费 + 调机油耗)

方案 G:0

方案 H:航班利润 - 赔偿费用 * 旅客数 - 住宿费。

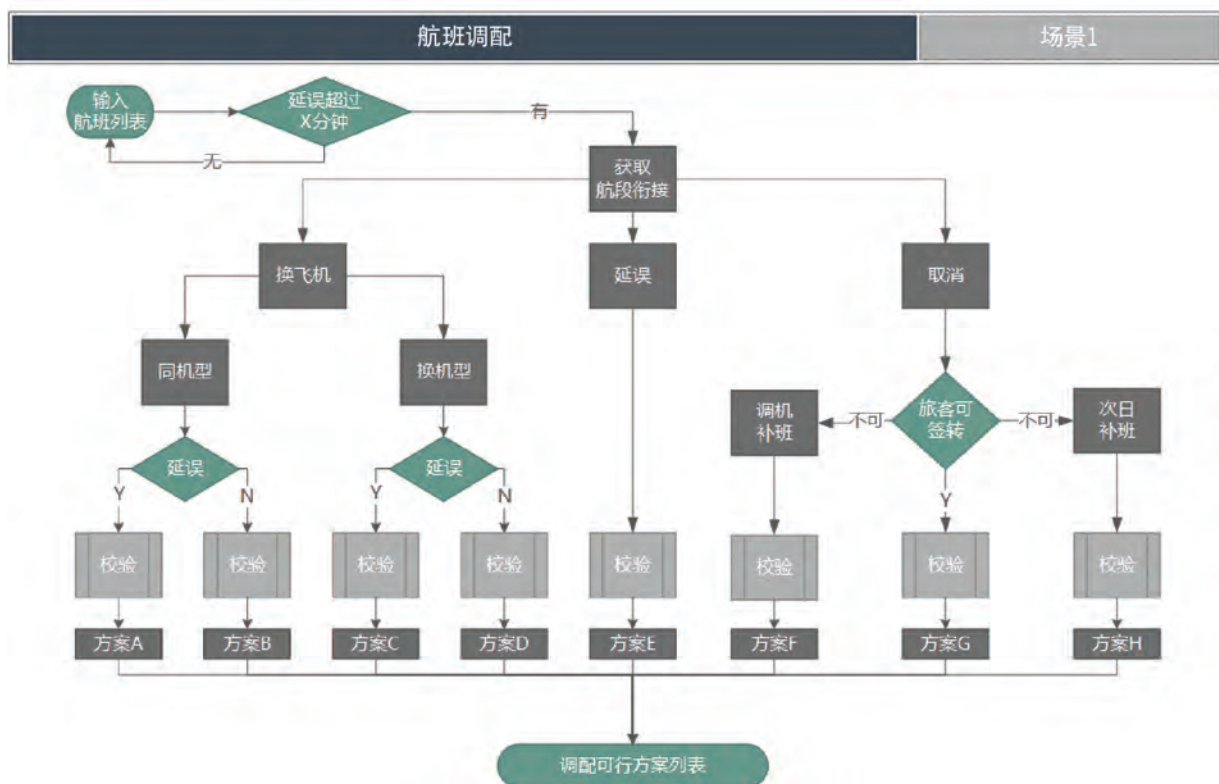


图 5 航班恢复场景 1 逻辑示意图

场景 2:根据预报的天气情况、空管流量限制情况,提前主动调减航班总量,计算成本损失最小的航班结构,输出相应的航班调配方案,供调配人员最终确认,如图 6 所示。

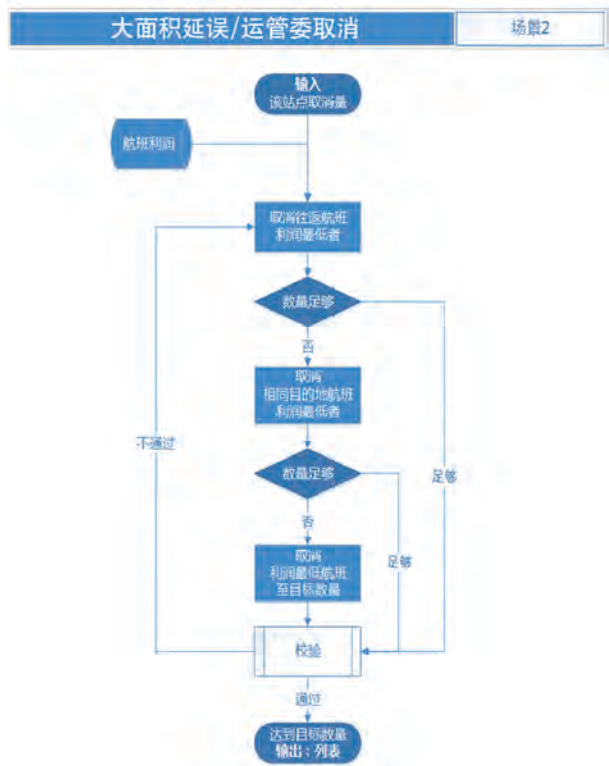


图 6 航班恢复场景 2 逻辑示意图

2.1.2 自动调配示意图

常用调配模块:

- 1) 换飞机;
- 2) 换机组;
- 3) 换机型;
- 4) 调机;
- 5) 延误改时;
- 6) 取消合并(含联程改直飞);
- 7) 取消补班。

每次调配都要满足:

- 1) 飞机衔接最低过站时间;
- 2) 飞机符合运行规范 C0039;
- 3) 飞机满足航线要求(ETOPS、PBN、无障碍设施);
- 4) 飞机已在当地注册;
- 5) 机组衔接最低过站时间;
- 6) 机组满足飞行、值勤时间要求;
- 7) 机组满足航线要求(二类);

- 8) 机场满足宵禁限制;
 - 9) 机务代理能力(若无,则需安排跟班机务);
 - 10) 满足旅客订座情况。
- 航班恢复校验逻辑如图 7 所示。

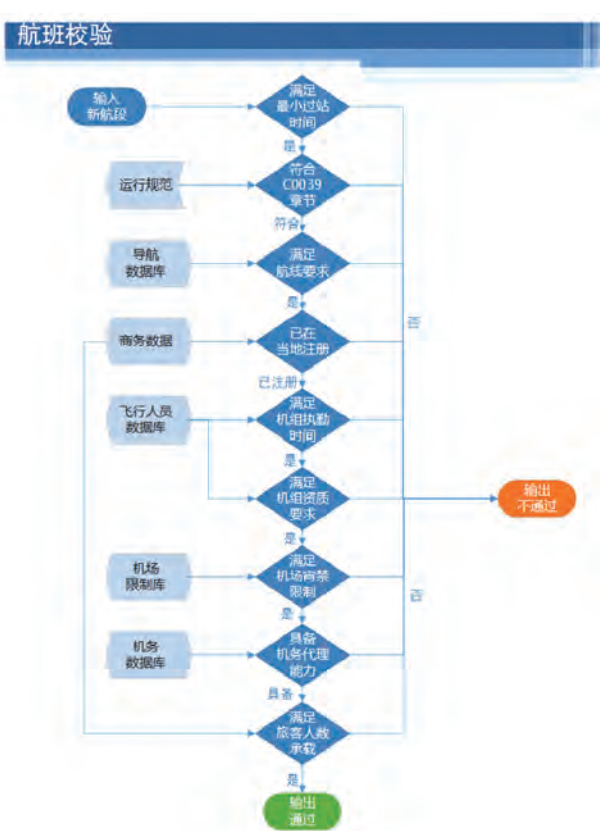


图 7 航班恢复校验示意图

2.1.3 调配限制要素库

调配限制的要素包括飞机属性、机场基础信息、机组资质和时间要求、航线运行要求、航班批复、航班订座与成本收益等。

CCAR121R5^[1]中相关机组时间规定:

- 1) 飞行机组

CCAR121R5 第 121.487 条^[1]对飞行机组的累积飞行时间、值勤时间限制做了明确规定,如表 1 ~ 表 4 所示。

表 1 飞行机组累计飞行/值勤时间限制

时间段	累计最大飞行/值勤时间
日历年	900 h
日历月	100 h
连续 7 个日历日	飞行值勤期不得超过 210 h 飞行值勤期不得超过 60 h

表 2 飞行机组执行任务时规定的飞行时间限制

非扩编机组	
报到时间	最大飞行时间/h
00:00-04:59	8
05:00-19:59	9
20:00-23:59	8
扩编机组	
机组人数	最大飞行时间/h
3	13
4	17

表 3 非扩编飞行机组运行最大飞行值勤期限制

报到时间	根据航段数量确定的机组成员最大飞行值勤期/h (航段不包括备降)			
	1 至 4 个航段	5 个航段	6 个航段	7 个航段
00:00-04:59	12	11	10	9
05:00-11:59	14	13	12	11
12:00-23:59	13	12	11	10

表 4 扩编飞行机组运行最大飞行值勤期限制

报到 时间	根据休息设施级别和飞行员数量确定的 最大飞行值勤期/h							
	休息设施级别	1 级		2 级		3 级		
00:00- 23:59	飞行员数量	3 名	4 名	3 名	4 名	3 名	4 名	
	最大飞行 值勤期	18	20	17	19	16	18	

2) 客舱机组

CCAR121R5 第 121.491 条^[1]对客舱乘务员的飞行值勤期限制做了明确规定,如表 5 和表 6 所示。

表 5 客舱乘务员的飞行值勤期限制

人员配备	飞行值勤期不得超过
最低数量	14 h
+1	16 h
+2	18 h
+3	20 h

表 6 客舱乘务员的累计飞行值勤期限制

时间段	飞行时间不得超过
日历年	1 100 h
日历年	100 h (飞行值勤期不得超过 230 h)
连续 7 个日历日	删除 (飞行值勤期不得超过 70 h)

航线运行要求包括飞机 MEL 限制航线要求、延伸跨水运行要求机上配备救生筏、高原、ETOPS 和极地运行要求、释压航线供氧要求,部分航线强制要求 ADSB、卫星通讯、PBN、二类运行资质、WIFI 配备等。此外,还有部分地区无障碍设施要求,如北美地区运行规定:《无差别对待残疾旅客航空服务规则》中《客舱内轮椅存放规则》,要求航空公司飞机客舱进行相应改造以满足要求。

2.2 引进系统对接应用

该航司积极推进智能恢复系统研发的进程,与 Sabre 公司合作,启动了航班恢复系统(RM 系统)的开发项目。2019 年 9 月该项目启动,2020 年 2 月,确定关键场景和参数,4 月完成参数设置和模型验证;6 月 15 日-18 日,完成全员第一次培训;6 月 19 日,Sabre 公司完成 RM 上线准备;6 月 29 日,该航司完成 RM 上线准备;7 月 1 日开始试运行。

同时 MM 系统的如期升级,为 RM 系统上线打好基础,2020 年 3 月 5 日,MM 系统从 9.6 版本升级到 9.8.1 版本,2020 年 6 月 10 日,MM 系统从 9.8.1 版本升级到 9.9.0 版本。

通过系统的升级完善,该航司的 RM 系统具备了对大批量航班恢复的应用能力,可以实现机场关闭(台风场景)、飞机故障、机场流量限制等条件导致飞机衔接不顺畅时的快速恢复。

3 台风场景应用实践

当遇到台风影响,机场不适航时(等同于机场关闭),公司就需要大批量地取消航班,后续还要对飞机、机组重新衔接,机场恢复后的补班作大量优化调整工作。本文以 2020 年 4 号台风应对场景为例,分析探讨 RM 系统在应对机场关闭(台风场景)时的实际效果。

2020 年的 4 号台风“黑格比”于 8 月 1 日 20 时获得命名,随后一路向西北方向移动,强度逐渐加

强,于8月3日14时许被中央气象台升格为台风,并于8月4日凌晨3时30分前后以近巅峰强度在浙江省乐清市沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有13级(38 m/s),随后其纵穿浙江、江苏两省,于8月5日6时许由江苏盐城移入黄海海面并再度增强,8月6日早上5点,中央气象台对其停止编号,如图8所示。

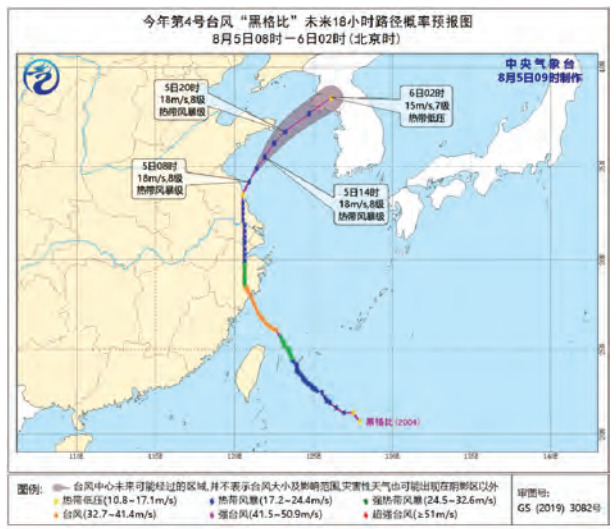


图8 “黑格比”路径图

4号台风黑格比登陆后,强度未迅速减弱,于8月4日傍晚开始影响上海虹桥机场和浦东机场的运行,直至5日清晨,影响逐步结束。该航司积极应对此次台风,先后召开了五次决策会,最终判断8月4日19时-8月5日06时,上海两大机场天气不适航,决定所有航班不运行,原则上均取消,对于飞机在外站的,安排补班或调机返回上海。

RM系统在此次场景的应对中,核心目标是根据公司《台风应急处置预案》,按照《台风场景分组航班恢复处置检查单》要求操作,提供量化数据,支撑公司预先决策。按照以下步骤实施:

1)提前12 h~24 h,分析出整体预案,供公司决策

8月3日晚间,根据公司气象席位预报:浦东机场4日20时-5日06时,间歇性中雨,短时大雨,期间最大阵风9级~10级;虹桥机场4日19时-5日05时,间歇性中雨,短时大雨,最大阵风10级~11级。因此设定RM系统的关键条件如下:浦东机场4日20时-5日06时关闭,虹桥机场4日19时-5日05时关闭。使用RM模块,在8月3日制定预案,预案报告如图9所示。

2020 年 第 4 号台风 黑格比 第 1 次总体调整预案报告									
一、台风基本信息									
基本信息: 2020 年 8 月 3 日黑格比对虹桥、浦东的影响									
受影响机场	开始影响时间	预计结束时间	影响起飞	影响降落	GATE				
上海浦东	04 日 19:00	05 日 06:00	是	是					
上海虹桥	04 日 19:00	05 日 06:00	是	是					
二、预计影响									
大类	分组机队	取消	调整数量				延误数量		
			补班	调机	换机型	换机号	0.5 h-2 h	2 h-4 h	4 h-24 h
宽体机 共 93 架	股份公司宽体机 80	12	2	0	4	10	2	0	0
	FM 子公司宽体机 10	4	2	0	0	0	0	1	0
	KMG 子公司宽体机 3	1	0	0	0	0	0	0	0
窄体机 共 577 架	总部空客窄体机 263	38	15	1	12	62	7	0	0
	股份公司波音窄体机 41	22	2	0	1	12	2	0	0
	股份公司窄体机 67	2	0	0	5	4	0	0	0
	WUH 子公司窄体机 32	8	0	0	0	2	2	0	0
	KMG 子公司窄体机 81	6	0	0	0	2	0	0	0
	FM 子公司窄体机 93	42	24	1	15	50	12	0	0
	汇总	135	45	2	37	142	25	1	0
评估小组成员:			RM 评估时间: 2020.8.3 20:00				第 1 次评估		

图9 黑格比台风第1次总体调整预案报告

2)提前 6 h~12 h,发布整体预案

8 月 4 日上午,根据最新的台风走向趋势和天气预报,公司维持 3 日晚间的预策略,结合 RM 系统生成的第 1 次总体调整预案报告,决定按既定策略

进行航班的调整和恢复。8 月 4 日上午 11 时,根据公司要求和决策,调配员再次使用 RM,按照检查单要求制定好方案,将公司所有航班数据校对完毕后实施发布。具体调整方案如图 10 所示。

2020 年 第 4 号台风 黑格比 最终调整方案报告									
一、台风基本信息									
基本信息: 2020 年 8 月 3 日黑格比对虹桥、浦东的影响									
受影响机场	开始影响时间	预计结束时间	影响起飞	影响降落	GATE				
上海浦东	04 日 19:00	05 日 06:00	是	是					
上海虹桥	04 日 19:00	05 日 06:00	是	是					
二、预计影响									
大类	分组机队	取消	调整数量				延误数量		
			补班	调机	换机型	换机号	0.5 h~2 h	2 h~4 h	4 h~24 h
宽体机 共 93 架	股份公司宽体机 80	16	2	0	4	10	2	0	0
	FM 子公司宽体机 10	6	2	0	0	2	0	1	0
	KMG 子公司宽体机 3	1	0	0	0	0	0	0	0
窄体机 共 577 架	总部空客窄体机 263	48	24	1	10	62	5	0	0
	股份公司波音窄体机 41	35	6	1	1	14	2	0	0
	股份公司窄体机 67	2	0	0	5	4	0	0	0
	WUH 子公司窄体机 32	6	1	0	0	2	2	0	0
	KMG 子公司窄体机 81	6	1	0	0	2	0	0	0
	FM 子公司窄体机 93	44	24	1	15	36	9	0	0
汇总		164	60	3	35	132	20	1	0
评估小组成员:				RM 评估时间: 2020.8.4 11:00				第 2 次评估	

图 10 黑格比台风最终调整方案报告

3)根据实际情况,持续微调预案

总体方案发布后,运行调配部门根据机组、机务等相关部门实施方案后的衔接不顺畅情况,持续调整,直到所有航班衔接顺畅。

此次该航司应对 4 号台风黑格比,通过 RM 系统制定总体调整和恢复方案,整体用时 35 min,共批量取消上海两大机场航班 164 班,安排补班 60 班,产生调机 3 班,更换机型 35 班,更换机号 132 班,产生延误航班 21 班(其中 2 h 以内延误 20 班,2 h~4 h 延误 1 班)。

对比 2019 年相似台风 9 号利奇马的应对,当时对上海两大机场影响时间为 20 h,较黑格比影响时间长 9 h,同时考虑疫情对航班量的影响,根据同期航班总量的加权平均计算,推算出工作量的比例为 1:1.25。2019 年该航司在应对 9 号台风利奇马时,共批量取消上海两大机场航班 402 班,安排补班 92 班,产生调机 6 班,更换机型 60 班,更换机号 380

班,共耗费时间 4 h 50 min。

由此可见,RM 系统在大批量的航班调减和恢复方面,效率远高于传统的航班调配系统,符合大型航空运输企业的运行需求。

4 结论

在航班智能恢复方面,该航司此次应对 4 号台风时,Sabre 公司的 RM 系统的应用体现出以下优点:1)可快速对公司整个机队进行取消、延误、换飞机/机型操作,较以往手工方式缩短 2 h;2)实现较少的人力投入;3)方案更优化,兼顾航班延误、取消成本等,较以往平均每个受影响航班减少延误 30 min,减少相应的成本 2 万元,提升整体航班正常率 3%~5%。同时,在运行实践中也发现目前 RM 系统应用的一些运行风险和短板,譬如:1)受限于系统算法,如果进行全机队所有飞机同时进行调配,

系统运算速度急剧减慢,效率降低。因此要区分机队、执管单位进行验算;2) 机组、旅客保护、机务等下游系统接口的自动功能缺失,需要人工完成航班调整后的大量工作;3) 系统可以进行批量航班取消、调整,但是一旦发布后,基本上不可逆转,只能微调。因此对操作人员能力要求高,熟练掌握需要一定时间。随着人工智能算法的发展,笔者尝试结合优化的航班恢复理论,使用蒙特卡洛树搜索算法,通过建立航班结构树进行搜索、扩展、模拟、回溯,快速寻找最优方案,努力朝着实现 RM 系统国产化、自主化的方向迈进。

随着民航整体机队规模扩大、航线增多,系统智能化的运行控制,可提高安全裕度、提升运行品质、提高运行效率、降低人力成本,促进民航高质量发展。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则:CCAR-121-R5[S]. 北京:中国民用航空局,2017.
- [2] 刘晨,田广泽,孙千惠. 航班恢复规划的数学建模[J]. 数学的实践与认识,2018(15):153-162.
- [3] 张静,徐明华,曹伟建,等. 不正常航班恢复模型和算法研究[J]. 数学的实践与认识,2018(15):145-152.
- [4] 潘卫军,叶右军,李肖琳,等. 多机型航班恢复问题研究[J]. 数学的实践与认识,2018(15):186-196.
- [5] 何昕,宫献鑫,王春政,等. 枢纽机场航班延误恢复模型研究[J]. 科技和产业,2018(8):124-127.
- [6] 赵秀丽. 航空公司不正常航班恢复模型及算法研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [7] 林洪涛,王忠,李胤,等. 基于序贯决策的航班恢复方法[J]. 数学的实践与认识,2018(15):163-171.
- [8] 上官栋栋,曹杨,王志豪. 应用遗传算法求解航班恢复问题[J]. 数学的实践与认识,2018(15):178-185.
- [9] 牟雪娣. 基于离散时空网络的不正常航班恢复问题研究[D]. 北京:北京交通大学,2018.
- [10] 白凤,朱金福,高强. 基于列生成法的不正常航班调度[J]. 系统工程理论与实践,2010(11):2036-2045.

作者简介

史卫国 男,硕士研究生,工程师。主要研究方向:航空工程。E-mail: shiweiguo@sjtu.edu.cn

曹 阳 男,工学学士,助理工程师。主要研究方向:航空管理。E-mail: yangcao@ceair.com

李清红 男,博士研究生,研究员级高级工程师。主要研究方向:航空工程。E-mail: lqh@ceair.com

Application of flight recovery system in large aviation transportation enterprise

SHI Weiguo^{1,2*} CAO Yang² LI Qinghong²

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. China Eastern Airlines, Shanghai 201100, China)

Abstract: With the continuous expansion of the airline fleet size and operating routes, airlines need to work out quickly the optimal flight recovery plan during massive delay cases. In order to improve the efficiency of operation control, an automatic flights adjustment method was explored. According to different objectives such as economic benefits and flights on-time performance, the optimal operation scheme can be worked out, and eventually the rapid and efficient deployment of flights was achieved. This paper analyses the main scenarios of flight recovery, establishes the key restriction, designs the basic logic of recovery and verification, along with the application of a large aviation transportation enterprise, cooperated with Sabre Solution company. The advantages, risks and shortcomings of the flight recovery system are summarized. The practice shows the recovery manager system(RM) can reduce recovery time by 2 hours, reduce average delay time of each delay flight by 30 minutes, cut down the corresponding cost by 20,000 yuan, and improve airline's total flight on-time performance by 3% ~5%.

Keywords: operations control; flight recovery; flight allocation restriction; flight allocation logic; operation verification

* Corresponding author. E-mail: shiweiguo@sjtu.edu.cn