

北京新机场跑道构型设计方案比较^①

王涛波, 高 伟

(中国民航大学 空中交通管理基地, 天津 300300)

摘要: 为满足北京地区快速增长的旅客航空需求, 开展北京新机场建设工作。本期规划机场跑道数量 4 条, 有“3+1”和“4+0”两种跑道构型备选方案。首先从机场、空管和航空公司三个角度定性分析, 确定跑道构型方案比较的评价指标, 分别是跑道容量、地面滑行时间和航班延误, 再采用数学方法计算两种方案下跑道的理论容量, 最后用 Simmod 软件对两种方案进行仿真分析。根据评价指标比较仿真结果, 可知“3+1”跑道构型方案较优。同时该结果也可以作为北京新机场跑道构型设计方案比选等相关问题研究的参考。

关键词: 跑道构型; 跑道容量; 滑行时间; 航班延误

Runway Layout Comparison of Beijing New Airport

WANG Tao-Bo, GAO Wei

(College of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: The Beijing new airport project is developed to satisfy the aviation demand of Beijing area. There are 4 runways in the new airport, as well as two alternative programs in the present period, which are called “3+1” and “4+0” to differentiate. Through macro analysis from airport administration, air traffic control and airlines, the evaluation system for choices of alternative program is established, which includes runway capacity, ground taxing time and delays. Then, the theory runway capacity is estimated. After the analysis of these, this paper builds the separate model based on the Simmod software. The “3+1” program is a better option based on the simulating models and the evaluation system. Besides, the conclusion could give theoretical reference to research for the runway layout comparison of Beijing new airport.

Key words: runway layout; runway capacity; taxing time; delay

北京地区的旅客航空需求持续增长, 截止至 2012 年 12 月 31 日, 首都机场的旅客吞吐量超过 8192 万人次, 连续三年全球机场吞吐量排名第二。根据预测, 2020 年北京地区的年航空运输市场需求将达到 1.42 亿人次^[1], 远远超出出现首都机场的保障能力。而首都机场受自身规模和周边环境的限制, 总体运能不足又难以实施较大的扩容。

为解决旅客需求与航班量之间的矛盾, 北京市政府 2008 年把建设北京新机场提上日程。2013 年 1 月初, 新机场建设已获批。机场建设涉及到许多领域, 从选址、气象、环境评价、土木建设工程、消防、投资预算等, 还要考虑到与周围机场、其它交通方式的对接等。但是上述问题均是围绕跑道构型展开的, 因此跑道构型的选择尤为重要。目前, 研究文献大多是针对已有机

场或, 采用数学算法^[2,3]、建模^[4]等计算跑道容量, 或者是从宏观角度对机场规划问题进行阐述^[5,6]。通过与世界大型多跑道机场进行横向比较, 调研和分析, 经过多种方案的对比研究, 得到目前的跑道构型基本方案。

北京新机场远期规划需满足年旅客量 1 亿人次以上的需求, 远期以满足年起降架次 100 万架次需求为目标, 小时高峰需达到 188 架次以上。本期规划机场飞行区等级 4F 级, 可起降空客 A380 等大型客货机, 跑道数量 4 条, 有“3+1”和“4+0”两种跑道构型备选方案。

本文先建立评价跑道构型选择的指标体系, 然后在仅有跑道构型不同, 其它相同的条件下, 用 Simmod 软件分别建立两个方案的地面仿真模型, 对仿真结果进行比较, 选出适合新机场建设的跑道构型方案。

^① 收稿时间:2013-06-13;收到修改稿时间:2013-09-02

1 定性分析

根据地理、气象以及经济等因素,本期已规划出两种方案.“3+1”跑道构型由3条南北向平行跑道和1条东西向跑道构成;“4+0”跑道构型由4条南北向平行跑道构成,详见图1、图2.其中,西跑道的一组跑道之间距离均为760m,是窄距平行跑道,“4+0”跑道构型中东跑道的一组跑道之间距离1320m,可以使用独立平行进近.

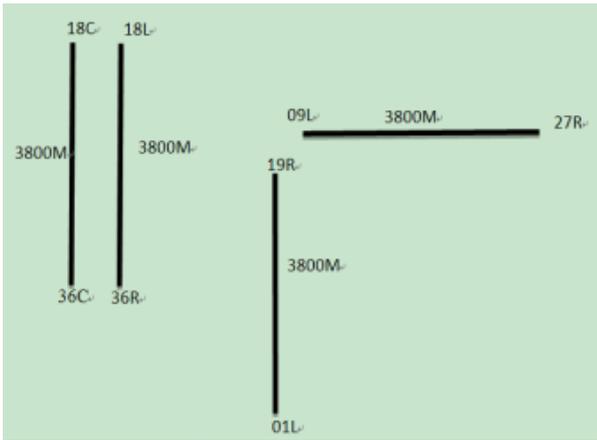


图1 “3+1”示意图

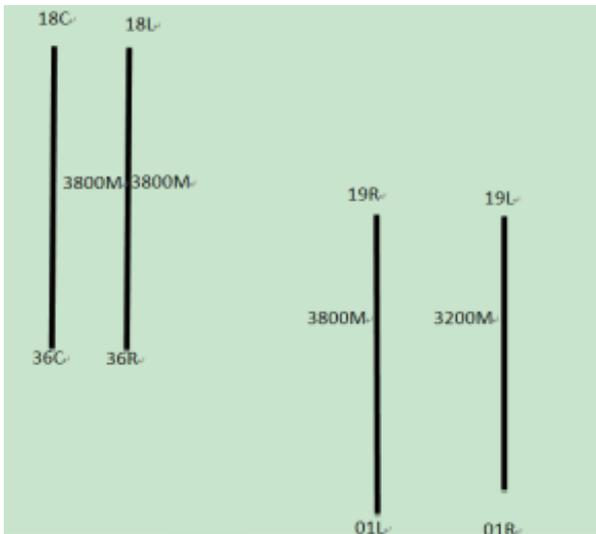


图2 “4+0”示意图

跑道构型的设计主要是从航空器的运行角度来考虑,而航空器运行涉及三个主要部门是机场、空管和航空公司三个.

1.1 从机场角度分析

在航空器运行的整个环节中,机场提供为航空器提供起飞、降落、过站(上下旅客、加油、配餐等)等基本保障服务.跑道是提供航空器起飞和降落的设施,

是机场组成的基本部分.机场的航空业务收入是其主营业务,在总收入中占有很大的比例.航空业务主要包括航空器的起降费用、停放费用、过站费用、旅客安检费用以及公司租金等.这些均与机场内航空器的起降架次有直接关系,而机场跑道能服务的航班最大起降架次即为跑道容量.

因此,从机场角度更重视跑道的容量.

1.2 从空管角度分析

民航运行以安全为第一,其中空管部门承担安全运行的部分风险.机场跑道的构型与塔台管制员密切相关,跑道构型合理,可以按不同方向规划滑行道的使用,能够减少航空器的地面冲突.针对多跑道机场,穿越跑道的航空器越少冲突越少.因此,采用量化航空器的地面滑行时间来选择较优的方案.

此外,两方案相对比,若跑道采用向北运行模式,“3+1”跑道构型方案中,方向往南的航空器在空中转90°,而“4+0”跑道构型方案需要航空器在空中转180°.因此这种情况“3+1”跑道构型安全性较高.

1.3 从航空公司角度分析

航空公司是以航空器为运输工具为旅客和货物提供航空服务的企业.首先,航空公司从旅客感受出发,希望航班延误尽可能减少;其次,在航班运行过程中尽量减少燃油成本,即以降低油耗以获取更大的经济效益,反映到航空器的地面运行环节,就是尽可能地减少航班延误和航空器的滑行时间.

2 评价指标确定

根据上述定性分析,评价指标系统分为跑道容量、滑行时间和航班延误三部分.

2.1 跑道容量

跑道容量包括理论容量和实际容量,理论容量指在连续的服务需求,不违反空中交通管理规则的情况下,单位时间内跑道系统所能服务的最大飞机架次数.理论容量一般采用数学方法进行条件的简化,然后计算,理论容量是实际容量的最大值,但是与实际运行没有直接的联系.实际容量是在规定的平均延误水平条件下系统能服务的飞机架次数,我国一般采用离港航班平均延误15分钟为经验值.

2.2 地面滑行时间

地面滑行时间分成不包含地面延误和包含地面延误的滑行时间两种.

当场面运行的航空器数量较多时, 为保证航班运行的安全, 管制员会采用航空器避让、等待等原则. 在跑道构型选择时, 也要考虑滑行道的布局问题.

两个方案在西面一组跑道的东侧均配置双平滑以及部分三平滑, 为减少跑道穿越, 在其南端配置一条 U 型滑行道; 两组跑道之间的垂直联络道均设置一组 4 条滑行道. 东面一组跑道由于跑道构型不同, 滑行道设置略有差异.

2.3 航班延误

目前航班延误仅针对本场的离港航班进行统计计算. 离港航班延误包括地面滑行等待延误时间, 由于等待队列限制, 航空器在机位等待的延误时间, 以及在队列等待的延误时间.

离港延误时间=地面平均延误时间+机位平均延误时间
+队列平均延误时间

3 数学计算

3.1 跑道使用模式

跑道的使用模式与跑道容量密切相关, 根据方案的跑道构型, 目前规划的跑道使用模式见图 3、图 4, 两个方案的西面一组跑道的水平间隔均为 760 米, 36C/18C 用于航空器降落, 36R/18L 用于航空器起飞. “3+1”方案中, 09L/27R 用于起飞, 01L/19R 跑道是可以起飞和降落的. “4+0”方案中, 01L/19R 用于起飞, 01R/19L 跑道用于降落.

3.2 数学模型计算

表 1 北京新机场跑道容量计算的参数

参数	含义
$T_{ij}(AA)$	到达飞机对 (i, j) 在跑道入口的时间间隔
δ_{ij}	前后两架飞机对 (i, j) 的最小允许间距, 即尾流间隔
V_i	飞机 i 的最后进近速度
$AASR(i, j)$	到达飞机对 (i, j) 时间间隔规定
$DDSR(i, j)$	起飞飞机对 (i, j) 时间间隔规定
t_d	空管规定的两架起飞飞机间的最小放飞时间间隔
$DASR$	起飞/到达飞机时间间隔规定
δ_d	起飞飞机进入跑道, 进近飞机距离跑道入口的最小距离
N_{max}	到达飞机中最大插入起飞飞机数
A	空闲时间

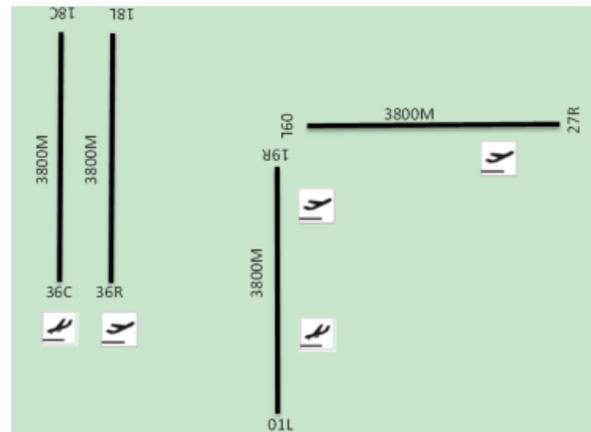


图 3 “3+1”使用模式

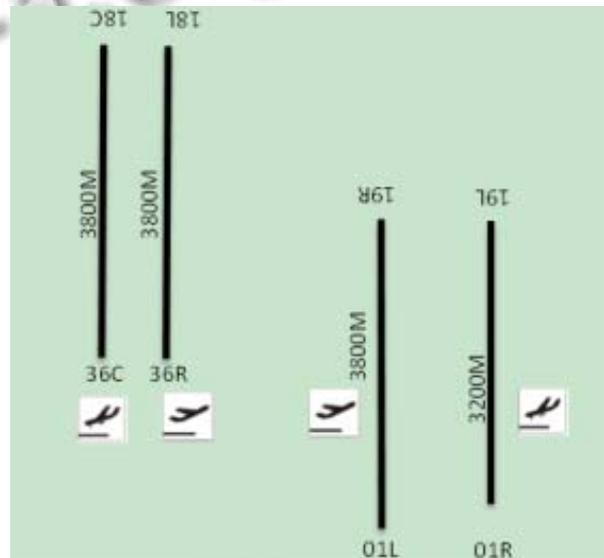


图 4 “4+0”使用模式

到达容量:

$$C_A = \begin{cases} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j T_{ij}(AA)}, & p=1 \\ \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i p_j [T_{ij}(AA) + (p-1)E(DDSR) - A_{ij}]}, & p \geq 2 \end{cases}$$

起飞容量:

$$C_D = C_A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [N_{max} + (p-1)]$$

利用首都机场现有的航班时刻表, 计算航空器 A380、重型、中型的比例, 估算航空器进近阶段的速度; 采用现有的雷达尾流间隔标准, 见表 2.

根据数学计算方法, 得到北京新机场的单跑道理论容量, 见表 3.

表 2 尾流间隔标准

着陆尾流间隔	前机			
	A380	重型	中型	
后	重型	12 公里	8 公里	6 公里
机	中型	13 公里	10 公里	6 公里

表 3 北京新机场单跑道理论容量

p	0	1	2	3	4
到达容量 C_A	26.0	20.3	11.3	7.8	6.0
起飞容量 C_D	0.0	20.3	22.6	23.5	24.0
跑道容量 C	26.0	40.6	34.0	31.4	30.0

p	5	6	7	8	9
到达容量 C_A	4.9	4.1	3.5	3.1	2.8
起飞容量 C_D	24.3	24.5	24.7	24.8	24.9
跑道容量 C	29.2	28.6	28.2	27.9	27.7

其中 p 表示在连续着陆的两架航空器之间插入起飞航空器的个数。 $p=0$ 时，跑道容量即着陆容量，一起一降模式，单跑道容量最大。 p 取值很大时，为纯起飞模式。按照 2 分钟尾流间隔计算，跑道起飞容量为 30。该模型基于随机过程原理，若机型比例发生变化，计算结果也会随之改变。

因北京新机场各跑道采用独立运行模式，跑道构型总体理论容量可用单跑道理论容量叠加得到。经计算分析，“3+1”跑道构型跑道理论容量为 126.2 架次/小时，“4+0”跑道构型理论容量为 112 架次/小时。理论容量计算表明，新机场跑道采用“3+1”跑道构型优于“4+0”跑道构型。

4 仿真模拟

本文采用 Simmod 仿真软件对北京新机场的两种跑道构型方案进行模拟分析。Simmod 于 1978 年由美国联邦航空局推出，是一种动态、微观的机场仿真软件，采用 Monte-carlo 随机模拟的方法，经过多次模拟具有统计学意义。

Simmod 软件最初应用于机场的地面交通管理，可以为机场当局提供决策依据。

4.1 仿真范围

仅从地面运行角度分析北京新机场两种跑道构型设计方案，则无需考虑空域的限制，仿真范围只限于跑道、滑行道和停机位，为反映航班流的到达和起飞间隔限制，空中增加了最后进近与起飞离港第一航段。

分别针对两种方案的向北、向南两种运行方向建

立仿真模型。

4.2 仿真假设及简化条件

方案对比应采用相同的仿真前提，仿真模拟的假设条件如下：

- ① 选择典型日，即天气标准满足机场最低运行标准，进离港航空器不受天气的影响；
- ② 各部门保障人员均处于正常工作负荷之下；
- ③ 满足可接受的安全水平；
- ④ 不考虑特殊情况的出现。

仿真模拟的简化条件如下：

① 采用现在飞行间隔、离港放行间隔等间隔标准、雷达最小尾流间隔，见表 2。

② 采用首都机场现有的航班估算未来的航班构成，航班时刻表由北京新机场建设指挥部提供。航班机型比例见表 4。

表 4 仿真时刻表机型比例

机型分类	机型	进港航班	离港航班	比例	合计
A380	A380	6	6	0.65%	23.3%
重型	B747	210	210	22.65%	
中型	A320	33	33	3.56%	76.7%
	B737	678	678	73.14%	
合计	1854	927	927	100%	

③ 北京新机场仿真模型中航空器地面过站时间标准：

- C 类航空器在 30 分钟至 35 分钟之间；
- D 类航空器在 35 分钟至 45 分钟之间；
- E 类航空器在 40 分钟至 50 分钟之间；
- F 类航空器在 60 分钟至 80 分钟之间。

④ 仿真模型中滑行间隔。

按首都机场运行现状，地面滑行中的间隔保持由机组负责，一般控制在 100m 至 200m 之间，但前方机型较大时，后机与前机之间使用较大间隔。

⑤ 地面滑行速度

航空器地面直行速度：快速脱离道：30 海里/小时；垂直联络道：12 海里/小时；机坪：6 海里/小时。

航空器转弯速度：快速脱离道：10 海里/小时；垂直联络道：5 海里/小时；机坪：3 海里/小时。

机位推出速度：3 海里/小时

机位滑入速度：3 海里/小时

⑥ 滑行路线,按规划的滑行路线在仿真中进行设置.

4.3 仿真结果

根据北京新机场两种跑道构型的规划方案,用 Simmod 软件分别建立“3+1”跑道布局和“4+0”跑道布局的机场飞行区地面模型.

两种跑道构型方案在不同的运行方向仿真模拟,得到一天内实际运行时间 6:00-24:00 各时段内的跑道航班架次,各时段两方案的航班架次相差不大,小时高峰架次略有不同,见表 5.

表 5 仿真各时段航班架次

运行方向 时段	向北		向南	
	“3+1”	“4+0”	“3+1”	“4+0”
6	13	12	10	11
7	10	14	14	15
8	53	55	64	54
9	90	89	93	89
10	101	100	104	100
11	114	111	108	110
12	114	117	106	114
13	101	104	104	102
14	119	111	115	111
15	111	101	115	102
16	117	115	118	114
17	112	107	106	108
18	107	105	103	102
19	109	105	114	105
20	107	104	105	103
21	110	114	104	115
22	107	108	100	107
23	103	109	89	113
24	45	35	50	45
总计	1743	1716	1722	1720
小时高峰	119	117	118	115

两种跑道构型方案在不同的运行方向仿真模拟,从航空公司角度,使滑行延误与油耗相关联,则统计含航班滑行延误的平均滑行时间,见表 6.

表 6 平均滑行时间(含滑行延误)统计(分钟)

跑道 构型	运行 方向	平均离港滑 行时间	平均进港滑 行时间	平均滑行 时间
“3+1”	向北	19.497	12.795	16.146
	向南	18.456	13.467	15.966
“4+0”	向北	24.378	11.567	17.930
	向南	22.200	16.379	19.283

两种跑道构型方案在不同的运行方向仿真模拟,得到平均离港延误时间统计见表 7.

表 7 平均离港延误时间统计(分钟)

跑道 构型	运行方 向	地面 延误	停机位延 误	等待队列 延误	总延误
“3+1”	向北	5.93	0	7.28	13.21
	向南	6.78	0	12.78	19.56
“4+0”	向北	11.26	0	38.54	49.8
	向南	11.29	0	44.53	55.82

通过上述“3+1”、“4+0”两种跑道构型方案在不同运行方向时的模拟仿真可知:两方案的跑道航班架次相差不大,但从表 7 可以看出,“4+0”方案跑道容量的值是以增加航班延误为代价的;两方案的平均滑行时间相差不十分明显,但“3+1”的平均离港滑行时间相对较小;“3+1”的平均离港航班延误时间明显小于“4+0”.因此,“3+1”跑道构型优于“4+0”跑道构型,与数学计算相符.

5 结语

本文通过定性分析,确定跑道构型方案比较的评价指标,先采用数学方法计算两方案的理论容量,最后在仿真环境中模拟,比选两个跑道构型方案,得到“3+1”方案较优.

这种方案比较只是从地面运行角度进行简单的比选,只考虑最后进近与起飞离港第一航段,未考虑空域结构对方案比选的影响,在未来的规划中应加入空域部分.

参考文献

- 1 北京新机场预可研报告.第 5 版.
- 2 王维,李伟.机场近距平行跑道一起一降模式下的容量计算.中国民航大学学报,2009.
- 3 徐肖豪,于跃,黄宝军,等.不同运行模式的近距平行跑道容量分析.中国民航大学学报,2012.
- 4 李雄,李冬宾,卫东选.机场典型平行跑道容量仿真分析.计算机应用,2012.
- 5 李学彤.试论民用机场规划与管理.民航经济与技,1994.
- 6 张景峰.民航机场规划若干问题探讨.中国民用航空,2004.