

Research on Engine-Out Emergency Procedure of Aircraft Based on 3D System

Wei Wei

Nanjing Jiangsu

Email: weivivian815@126.com

Received: Nov. 11th, 2018; accepted: Nov. 28th, 2018; published: Dec. 5th, 2018

Abstract

The civil aviation regulations stipulate the design requirements of the emergency procedures for the departure of the aircraft. In this article, we use three-dimensional electronic map system to produce one engine-out emergency procedures at takeoff stage. This method greatly improves the production efficiency and accuracy of the program, effectively reduces the error and the phenomenon of the leakage in the manual operation. Taking Guangzhou airport as an example, this article shows the design of the Guangzhou airport aircraft taking off route, the obstacle selection, route verification process, and the production of one engine-out emergency program in Guangzhou airport.

Keywords

Airplane Performance, Engine-Out, 3D System

基于三维系统制作飞机一发失效应急程序的研究

魏 伟

江苏 南京

Email: weivivian815@126.com

收稿日期: 2018年11月11日; 录用日期: 2018年11月28日; 发布日期: 2018年12月5日

摘 要

本文根据民航法规和民航局下发的飞机一发失效应急程序制作要求, 提出了使用三维电子地图系统制作

飞机起飞一发失效应急程序的方法。该方法大大的提高了程序的制作效率和准确度，有效减少人工作业中存在的误差和漏筛现象。本文以广州机场为例，利用该制作方法，展示了设计广州机场飞机起飞路径，障碍物筛选，航路验证的过程，完成广州机场一发失效应急程序的制作。

关键词

飞机性能，一发失效，三维系统

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

净空复杂的机场飞机起飞后一旦发生一台发动机失效，其爬升性能将降低一半，如果仍然按民航局公布的标准离场程序飞行，则飞机很可能无法满足爬升梯度越障要求，与下方的障碍物相撞，危及飞行安全。中国民用航空规章 CCAR-121-R4 部《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》[1] I 分部分第 121.189 条“涡轮发动机驱动的飞机不得以大于该飞机飞行手册中所确定的某个重量起飞，在该重量下，预定净起飞飞行轨迹以 10.7 米(35 英尺)的余度超越所有障碍物，或者能以一个特定距离侧向避开障碍物。”这就要求在某些地形复杂的机场，需为飞机制定起飞一发失效的应急程序。

在民航局在《关于制定起飞一发失效应急程序的通知》[2] (AC-FS-2000-2)文件中，航空公司需制定起飞一发失效的应急程序，使飞行员在紧急情况下可以从容处置，避免飞行员因缺少紧急情况处置预案而手忙脚乱，做出错误的决策和处理。因此，制作飞机起飞一发失效应急程序对保证飞行安全将起重大的作用。

2. 飞机起飞一发失效应急程序制作方法

2.1. 制作方法介绍

根据民航局下发的《飞机起飞一发失效应急程序和一发失效复飞应急程序制作规范》[3]中详细的描述了飞机起飞一发失效应急程序制作的各项规定。目前制作应急程序的方法是在纸质版 1:50 w 或 1:100 w 地图上绘制应急程序路线，对起飞航路上的障碍物进行筛选，从而完成一发失效应急程序的制作。一台发动机失效应急程序设计工作涉及的知识面广、数据量大、计算复杂、制图严格、周期长、设计不规范、审查工作难度较大等问题。

手工制作存在误差问题，就 1:50 w 地图而言，绘制误差 1 mm，将有 5 m 的地理差别，会造成地图绘制不准确等诸多问题。其次，由于手工绘制地图，无法按照实际的起飞转弯半径绘制，会造成障碍物的筛选与实际飞行路径不一致。设计一个机场的一台发动机失效应急程序，需要绘制几十张图纸，对上百个障碍物反复评估。为了保证工作质量，要对每一个数据进行认真复查。

2.2. 三维系统介绍

飞机起飞一发失效应急程序三维系统是基于高精度，高程电子地图开发的。将三维模型和电子地图有效结合，系统可针对已有电子地图数据机场进行起飞一发失效航迹绘制、修改，障碍点分析，生成保护区，打印出图和轨迹回放等功能。该系统的地图绘制方法完全符合中国民航局下发的《飞机起飞一发

失效应急程序和一发失效复飞应急程序制作规范》[3]中相关规定，可以完成扩展保护区的绘制等平时手工制作很难实施的工作(图 1)。

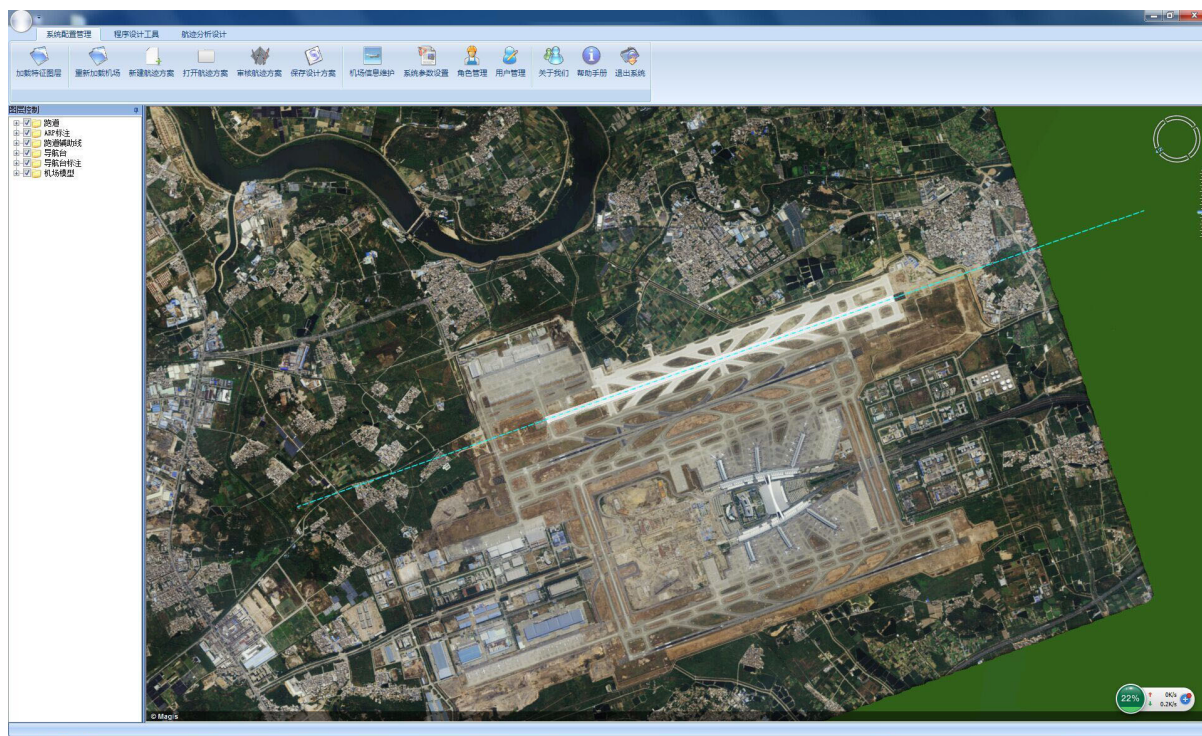


Figure 1. 3D system

图 1. 三维系统

该三维系统的高程电子地图由国家测绘局提供，保证了数据的准确性。该系统是将电子地图与三维系统相结合，可以直观地看到所设计机场周边的地形，地貌。程序制作人员可通过系统直观判断机场起飞路径的障碍物情况，并设计有效的应急程序。系统能够完成起飞路径的绘制，保护区的生成，障碍物的自动筛选等功能。大大的减少了工作量，并且提高筛选的精度，减少漏筛的概率。

利用具有高程数据的电子地图三维系统制作飞机起飞一发失效应急程序不但可以提高制作中的精度，而且可以与波音、空客性能软件制作的路径相结合，提高障碍物的筛选准确度。从而有效解决工作量大，周期长，审查困难等诸多问题。

3. 基于三维系统制作飞机起飞一发失效应急程序的方法

在三维系统中制作飞机起飞一发失效应急程序的主要方法[4] [5]简述如下：

- 1) 维护机场信息、跑道信息、相关导航台信息；
- 2) 设计飞机起飞一发失效应急程序路径；
- 3) 生成保护区，并筛选保护区内障碍物；
- 4) 选取有效障碍物信息放入空客/波音性能软件(PEP/BCOP)中进行计算，获得飞机模拟数据；
- 5) 将飞机模拟数据导入三维系统中，与所设计的应急程序路径进行对比，若偏差较大，利用三维系统工具对路径进行修改，完成上述(3)~(4)，反复迭代，直至飞机模拟数据与设计路径一致。从而获得准确的障碍物数据。

此制作方法的流程图如图 2 所示：

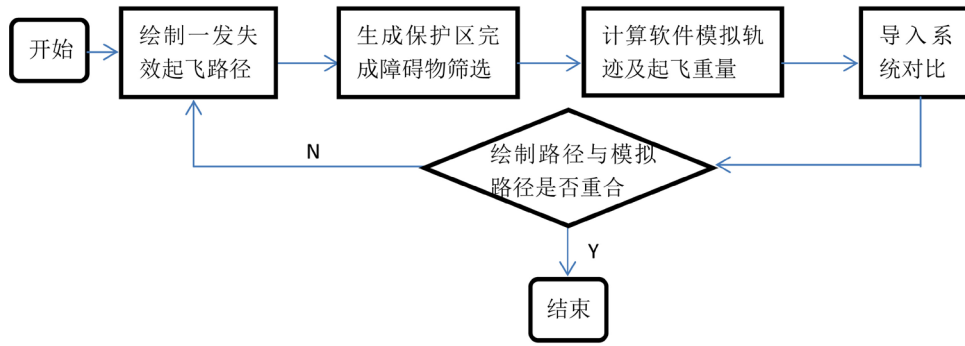


Figure 2. Production flow chart

图 2. 制作流程图

4. 广州机场应急程序制作实例

以广州机场 02L 号跑道的飞机起飞一发失效应急程序设计为例，展示通过三维系统制作应急程序的方法。

4.1. 程序设计前准备

根据中国民航国内航空资料汇编(AIP)中给出的机场信息，在系统中维护正确的广州机场跑道信息，所涉及导航台信息，如图 3 所示：

三字码	四字码	中文名称	英文名称	经度	纬度	高程	占地面积
CAN	ZGGG	广州白云	guangzhou	113° 18' 35"	23° 23' 32"	15.20	0

跑道号	左边长度	右边长度	宽度	磁向	经度	纬度	离地端标高
02L	1900	1900	60	196	113° 18' 44"	23° 23' 10"	13.50
02R	1900	1900	60	16	113° 18' 43.8"	23° 23' 9.983"	13.30
02L	1900	1900	45	16	113° 18' 35"	23° 23' 32"	13.30
20R	1900	1900	45	196	113° 18' 35"	23° 23' 32"	13.50

Figure 3. Airport information management interface

图 3. 机场信息管理界面

新建一个程序设计方案，如图 4。

4.2. 起飞路径设计及障碍物确定

首先利用三维系统的轨迹绘制工具(图 5)进行应急程序路径设计。

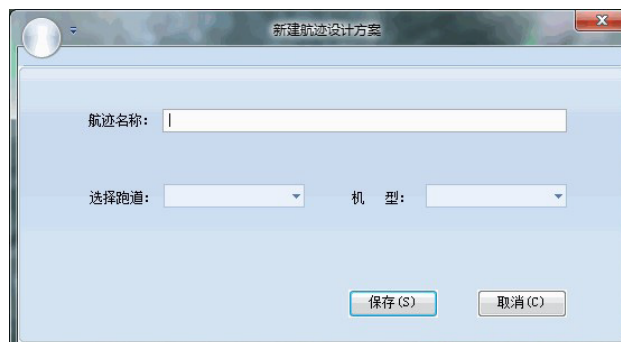


Figure 4. Interface of new track design scheme

图 4. 新建航迹设计方案界面



Figure 5. Drawing tool

图 5. 绘制工具

广州机场位于珠江三角洲北端,花都市东面约 8 km,附近散布着一些村庄和孤立小山丘,其中南面和西南面净空较好,北面 5~6 km 内有海拔高度 70 m 以下的横枝沥等若干山丘,东北方向 4~9 km 有 220 m 以下的山头;西面有西岭雷达天线、广播天线塔和花都电视塔等高大人工障碍物。除南面和西南面外,其他方向 9 km 以外地形逐渐增高至海拔 300~600 m 的丘陵地带,其中以位于跑道北端延长线上,距跑道北端约 12.5 km,海拔高度 400 m 左右的鸡山山梁,和距跑道北端 16 km,海拔高度 531.24 m 的羊石顶对飞行影响最大。东北、北面和西面约 50 km 以外逐渐进入南岭山区,出现 1000 m 以上的高山。综合广州机场地形考虑,我们所设计的 02L 号跑道单发起飞路径为沿 031°磁航迹(RNAV 离场沿 034°磁航迹)爬升至 D4.0 IBB,右转沿 184°磁航迹飞至岑村(CEN 台)(如图 6 所示)。

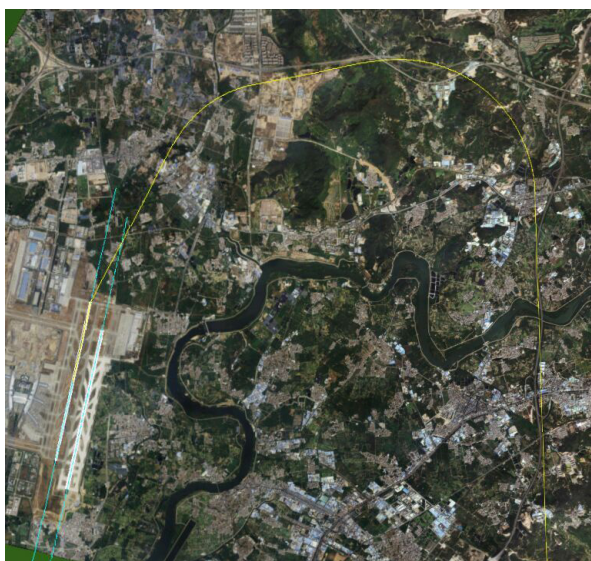


Figure 6. Take-off path design

图 6. 起飞路径设计

生成保护区，系统将自动生成局方规定的从跑道末端或净空道末端(如有) 90 米开始，以 12.5%的扩张率扩张至 900 米宽度，然后保持标称航迹两侧 900 米等距直至起飞航迹的结束点。对于转弯过程中保护区的绘制原理为从无法使用的转弯控制点两侧半宽 900 米开始以 12.5%的扩张率对称扩张直至下一个可供使用的转弯控制点或取得航迹引导的一点，此后以 25%的收缩率恢复至正常 900 米半宽保护区。如图 7 所示。

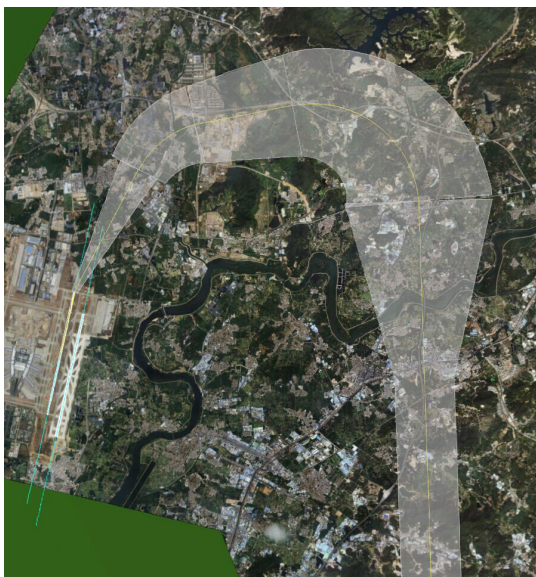


Figure 7. Generating protected areas
图 7. 生成保护区

保护区生成后，针对保护区范围对障碍物进行筛选，利用系统对筛选逻辑自动调整筛选参数，如最低筛选障碍物高度、增加树高高度、转弯梯度损失等。系统会在障碍物海拔基础上自动增加所需高度，以便于计算出障碍物梯度(如图 8 所示)。筛选完成的障碍物可直观的在地图中显示出来，通过点击所列障碍物，即可自动跳至该障碍物点。

编号	Ele	X	Y	H	Gr Dist	H'	Ht	经度	纬度	梯度
1	38.08	9647.46	4492.69	34.38	8460.44	34.71	49.71	121° 25' 9.673"	29° 53' 59.883"	0.59%
2	38.08	9647.46	4492.69	34.38	8460.44	34.71	49.71	121° 25' 9.673"	29° 53' 59.883"	0.59%
3	55.49	20456.21	4055.81	51.79	36045.94	118.97	133.97	121° 34' 20.825"	29° 43' 7.604"	0.37%
4	55.49	20456.21	4055.81	51.79	36045.94	118.97	133.97	121° 34' 20.825"	29° 43' 7.604"	0.37%
5	97.35	20553.44	4079.80	93.65	36145.94	160.83	175.83	121° 34' 23.337"	29° 43' 5.21"	0.49%
6	97.35	20553.44	4079.80	93.65	36145.94	160.83	175.83	121° 34' 23.337"	29° 43' 5.21"	0.49%
7	146.29	20650.68	4103.78	142.59	36245.94	209.77	224.77	121° 34' 25.849"	29° 43' 2.816"	0.62%
8	146.29	20650.68	4103.78	142.59	36245.94	209.77	224.77	121° 34' 25.849"	29° 43' 2.816"	0.62%
9	179.20	20723.89	4224.95	175.50	36345.94	242.68	257.68	121° 34' 25.604"	29° 42' 58.242"	0.71%
10	179.20	20723.89	4224.95	175.50	36345.94	242.68	257.68	121° 34' 25.604"	29° 42' 58.242"	0.71%
11	196.88	20821.13	4248.94	193.18	36445.94	260.37	275.37	121° 34' 28.115"	29° 42' 55.848"	0.76%
12	196.88	20821.13	4248.94	193.18	36445.94	260.37	275.37	121° 34' 28.115"	29° 42' 55.848"	0.76%
13	217.62	21014.43	3884.15	213.92	36545.94	281.10	296.10	121° 34' 41.654"	29° 43' 2.173"	0.81%
14	217.62	21014.43	3884.15	213.92	36545.94	281.10	296.10	121° 34' 41.654"	29° 43' 2.173"	0.81%
15	232.33	21087.65	4005.32	228.63	36645.94	295.82	310.82	121° 34' 41.409"	29° 42' 57.599"	0.85%
16	232.33	21087.65	4005.32	228.63	36645.94	295.82	310.82	121° 34' 41.409"	29° 42' 57.599"	0.85%
17	249.90	21088.82	4418.07	246.20	36745.94	313.38	328.38	121° 34' 32.894"	29° 42' 46.487"	0.89%
18	249.90	21088.82	4418.07	246.20	36745.94	313.38	328.38	121° 34' 32.894"	29° 42' 46.487"	0.89%
19	250.09	21210.08	4344.86	246.39	36845.94	313.57	328.57	121° 34' 38.162"	29° 42' 46.272"	0.89%
20	250.09	21210.08	4344.86	246.39	36845.94	313.57	328.57	121° 34' 38.162"	29° 42' 46.272"	0.89%

Figure 8. Obstacle screening
图 8. 障碍物筛选

将筛选好的障碍物根据距离和梯度进行甄别和筛选，将筛选好的障碍物放到波音 BCOP 和 STAS 软件中计算，获得飞机的起飞重量及模拟起飞路径(如图 A1~图 A2 所示)。

将 BCOP 软件计算获得的起飞路径导入三维系统中，与原设计路径进行对比，如图 9 所示。由于飞机实际转弯半径与计算转弯半径会有出入，使得模拟轨迹与设计路径不同，需要对设计路径做出相应修改，重新生成保护区筛选障碍物数据，反复迭代。直至设计路径与 BCOP 模拟轨迹吻合。

最后得到的障碍物数据如下表 1 (#为在转弯过程中的障碍物)：

4.3. 飞机起飞路径越障分析

将确认好的障碍物数据与中国民航国内航空资料汇编(AIP)中 A 型图及半径 15 公里内障碍物数据综合考虑，得到最终的障碍物数据，并对其进行越障评估。



Figure 9. Comparison of takeoff simulation trajectories and design trajectories
图 9. 起飞模拟轨迹与设计轨迹对比

Table 1. Screening obstacle data
表 1. 筛选障碍物数据

名称	海拔高度(m)	跑道末端高(m)	跑道末端修正高(m)	距跑道末端距离(m)	障碍物梯度
1	83	68.5	84	3900	2.14%
#2	183	168.5	222	9792	2.27%
#3	188	173.5	243	12,204	1.99%
#4	216	201.5	273	12,448	2.19%

根据波音性能软件 STAS 输出数据，单发爬升第二阶段的总梯度为 3.0%，净梯度为 2.2%。根据 BCOPV1 单发模拟数据，按照上述计算得出的净高度及越障余度如下表 2 所示：

Table 2. Obstacle data summary
表 2. 障碍物数据汇总

名称	海拔高度(m)	树高(m)	修正跑道末端高(ft)	距跑道末端距离(m)	气压净高度	几何净高度	超障余度
A1	29.9	0	51	1015	149	159	108
A2	31.8	0	57	1130	156	167	110
1	83	15	274	3900	342	367	93
#2	183	15	730	9792	738	792	62
#3	188	15	798	12204	896	966	168
#4	216	15	895	12448	916	984	88

从而得到广州机场 02L 跑道的机场分析，如图 10 所示，以及一发失效应急程序图如图 11 所示。

计算 02L 号跑道执行按梯度要求的标准仪表离场程序，飞机起飞重量为 63.7 吨；通过 02L 跑道一发失效程序验证，B737-800 飞机起飞重量为 70.6 吨，提高了 6.9 吨的重量。因此，应急程序在保障运行安全的同时满足了航班载量的需求。

ELEVATION	50 FT	RUNWAY 02L		
*** FLAPS 05 ***		AIR COND AUTO		ANTI-ICE OFF
SHENZHEN AIRLINES				白云
737-800W		CFM56-7B26	B26D24	
A INDICATES OAT		OUTSIDE ENVIRONMENTAL ENVELOPE		
OAT	CLIMB	WIND COMPONENT IN KNOTS (MINUS DENOTES TAILWIND)		
C	100KG	-10	0	
54	623	584*/33-33-37	599*/35-35-39	604*/36-36-40
		606**50-53-56	623**52-55-58	628**53-56-59
52	634	595*/34-35-39	610*/37-37-40	615*/37-37-41
		618**51-54-58	634**53-56-59	640**55-57-61
50	647	606*/35-36-40	622*/38-38-42	627*/38-38-42
		629**52-55-59	646**55-58-61	652**56-59-62
48	660	618*/36-37-41	634*/39-39-43	639*/40-40-44
		641**53-57-61	659**56-59-63	665**57-60-63
46	673	630*/37-38-43	646*/40-40-44	651*/41-41-45
		654**55-58-62	671**58-61-64	677**58-61-65
44	685	641*/38-40-44	658*/41-41-46	664*/42-42-46
		666**56-60-63	684**59-62-66	690**60-63-67
42	698	653*/39-41-45	670*/42-43-47	676*/43-43-48
		678**58-61-65	697**60-64-67	703**62-65-68
40	712	666*/40-42-47	683*/43-44-48	689*/44-44-49
		691**59-63-67	710**62-65-69	716**63-66-70
38	725	677*/41-43-48	695*/44-45-50	700*/45-46-50
		703**59-63-67	722**63-67-70	729**64-67-71
36	738	689*/42-44-49	706*/45-46-51	712*/46-47-51
		714**58-61-66	735**65-68-72	742**66-69-73
34	751	701*/43-45-50	718*/46-47-52	724*/47-48-52
		725**57-60-65	748**66-69-73	755**67-70-74
32	765	713*/44-46-52	731*/47-48-53	737*/48-49-54
		736**56-61-65	761**67-71-75	768**68-72-76
30	779	727*/47-48-53	745*/48-49-54	751*/49-50-55
		748**55-62-67	774**66-69-73	782**70-73-77
28	780	728*/45-48-53	746*/48-50-55	752*/49-50-55
		750**55-62-67	775**66-70-74	784**70-73-78
26	781	729*/45-48-53	747*/48-50-55	753*/49-50-55
		751**55-62-67	776**66-70-74	785**70-74-78
24	782	729*/46-48-53	747*/48-50-55	753*/49-50-55
		752**56-63-67	777**67-70-75	785**71-74-78
22	782	730*/46-48-53	748*/48-50-55	754*/49-50-55
		753**56-63-68	778**68-72-76	786**70-74-78
20	783	731*/46-48-53	749*/48-50-55	755*/49-50-55
		754**57-63-67	779**68-72-76	787**70-74-78
18	783	731*/46-48-53	749*/49-50-55	755*/49-51-55
		755**57-63-67	780**69-72-77	788**71-74-78

Figure 10. Takeoff analysis data
图 10. 起飞分析数据

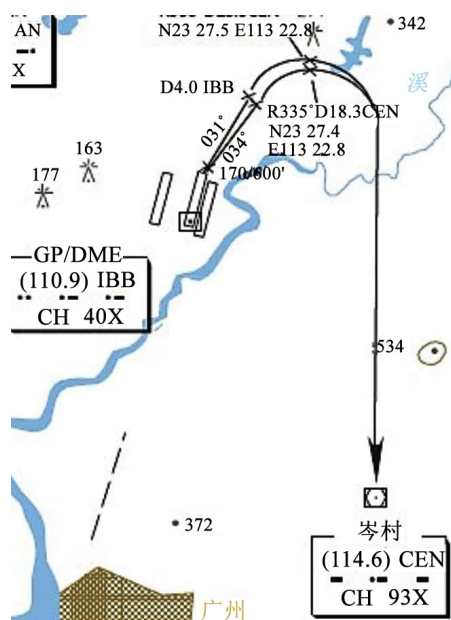


Figure 11. One-engine out emergency procedure
图 11. 起飞一发失效应急程序图

4.4. 三维系统制作的应急程序与传统手工制作对比

传统地图更新困难，当前使用的仍然是上世纪测量数据，而电子地图所筛选障碍物较精细，且更加接近真实地形高度，更加优化起飞分析计算结果。

三维系统制作简单，可通过系统实现迭代，不需要重新打印地图，手工绘制，减少设计周期，高效完成应急程序设计任务，为航企创造效益。

5. 结论

本文依据中国民航 CCAR-121 部法规及一发失效应急程序制作规定，介绍了利用三维电子地图系统制作一发失效应急程序的方法。并通过广州机场实例说明该方法存在一定的优势，有效的节省了手工制图的时间，并提高了工作准确度，大大减少制作过程中的误差。本文所介绍的三维系统制作一发失效应急程序方法，具有一定的借鉴和参考意义。

参考文献

- [1] 中国民航局. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则[S]. 中国: 中国民用航空局, 2010.
- [2] 中国民航局. 飞机起飞一发失效应急程序和一发失效复飞应急程序制作规范[S]. 中国: 中国民用航空局, 2014.
- [3] 咨询通告 AC-FS-2000-2. 关于制作起飞一发失效应急程序的通知[S]. 中国: 中国民用航空局, 2000.
- [4] 陈治怀. 飞机性能工程[M]. 北京: 中国民航出版社, 1993: 1-119.
- [5] 戴福清. 飞行程序设计[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2000: 1-101.

附录

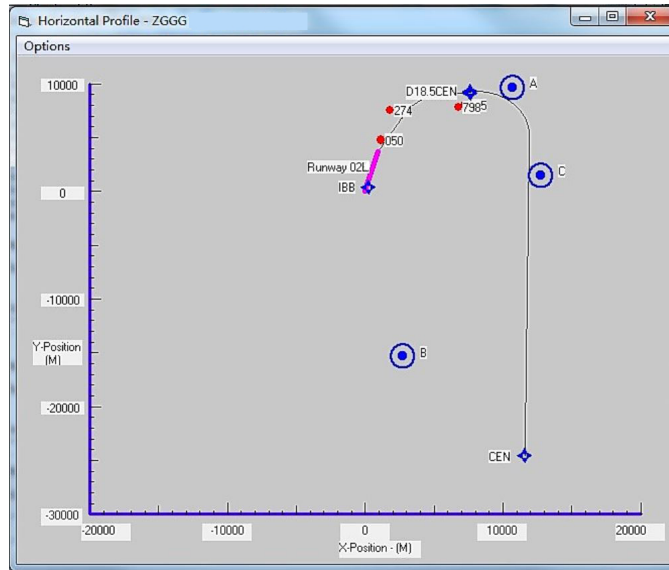


Figure A1. Simulation of trajectory plotting
图 A1. 模拟轨迹绘制图

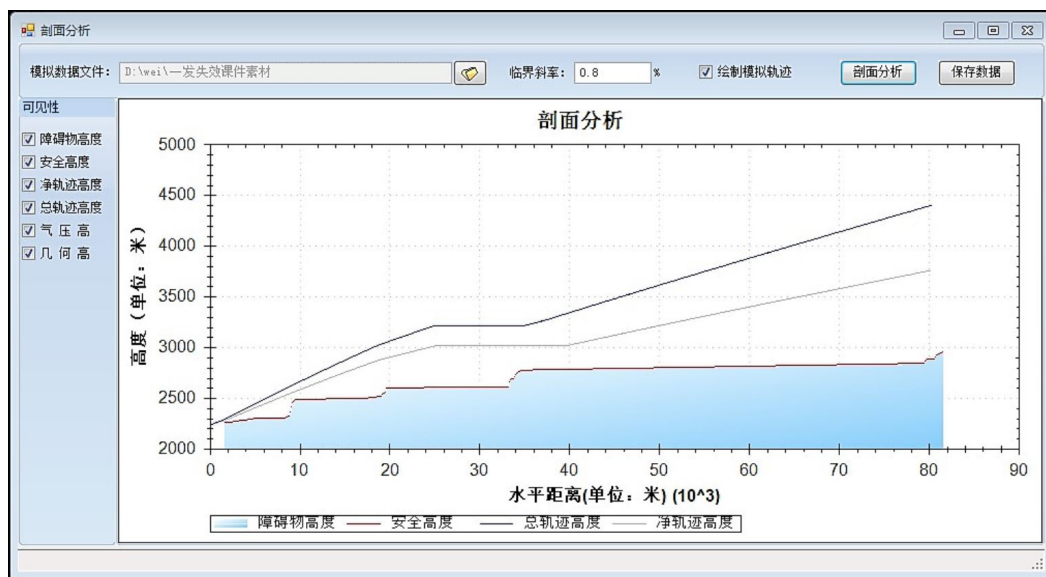


Figure A2. Comparison of obstacles and take-off tracks
图 A2. 障碍物与起飞航迹对比

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-474X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jast@hanspub.org