

文章编号:1674-8190(2015)01-116-06

缩小垂直间隔适航性研究及相关问题分析

于之靖¹, 张冬晓²

(1. 中国民航大学 航空地面特种设备研究基地, 天津 300300)

(2. 中国民航大学 航空自动化学院, 天津 300300)

摘要: 2007年11月22日零点, 中国开始实施缩小垂直间隔(RVSM)的运行, 对RVSM适航性的研究极其重要, 但中国RVSM空域运行相对于北大西洋空域于1997年3月27日开始实施缩小垂直间隔具有十年的空白期。根据相关航空手册, 借鉴实施RVSM运行的其他国家与地区的经验, 结合中国民航的实际情况和管理体系, 研究缩小垂直间隔的适航性; 对中国RVSM运行中遇到的米英制高度显示差异以及高度层配置问题进行分析, 给出运用对应查找的方式解决米英制高度问题的转换方法, 使中国的RVSM运行与国际接轨。

关键词: RVSM; 航空手册; 适航性; 米制转换方法; 高度配置

中图分类号: F562; V355

文献标识码: A

Research on RVSM Airworthiness and Its Related Problems

Yu Zhijing¹, Zhang Dongxiao²

(1. Aviation Ground Special Equipment Research Base, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

(2. College of Aviation Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: At 0:00 on November 22, 2007, the reduced vertical separation minimum(RVSM) Airworthiness was implemented in China. Research on RVSM airworthiness is extremely important. The RVSM began on March 27, 1997 in North Atlantic airspace. With respect to that there is a 10 years of blank period. According to the relevant aviation manuals, reference implementation experience of other countries and regions of RVSM operations, combined with the actual situation of China's civil aviation and management systems, it is necessary to study the RVSM airworthiness of the aviation technology. The difference between Metric and British system, and high layer configuration problems are analyzed. The way of using the corresponding conversion method to solve the problem of the system difference is proposed, so as to operate the RVSM with the international standards.

Key words: RVSM; aviation manual; airworthiness; metric system conversion method; height configuration

0 引言

为了适应未来民用航空发展的需要, 国际民航组织(ICAO)从20世纪70年代开始研究缩小垂直间隔标准, 即缩小最小垂直间隔RVSM(Reduced Vertical Separation Minimum)。自协调世界时

2007年11月21日1600UTC时起, 中国开始在沈阳、北京、上海、广州、昆明、武汉、兰州、乌鲁木齐情报区和三亚管制区01号扇区, 高度层为8900m(FL 291)至12500m(FL 411)的空域内实施米制缩小垂直间隔。在上述飞行情报区内8900m(FL 291)至12500m(FL 411)定义为缩小垂直间隔空域^[1]。该空间范围内飞行高度层的数量从原有的7个增加到13个, 新增6个飞行高度层, 可用飞行高度层数量增加了86%, 显著增加了空域容量, 如图1所示。

收稿日期: 2014-08-24; 修回日期: 2014-11-19

通信作者: 张冬晓, 923358430@qq.com

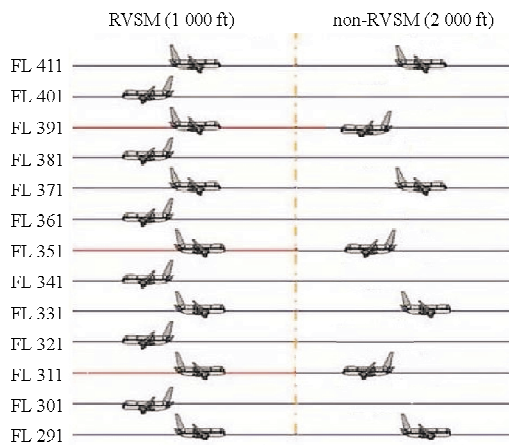


图 1 RVSM 和非 RVSM 运行示意图
Fig. 1 Operation schematic diagram of
RVSM and non-RVSM

实施 RVSM,能够减小地面延误;对于接近最佳巡航高度的飞行,节省燃油约 1%^[2];增加飞行高度层和空域容量;有利于管制员调配飞行冲突,减轻空中交通管制指挥的工作负荷^[3]。

自 1997 年 3 月 27 日北大西洋空域开始实施缩小垂直间隔并成功安全运行后,在太平洋、大西洋、欧洲大陆、南中国海、中东、北美、南美等地区空域陆续顺利实施了缩小垂直间隔,世界各地十年多的实践表明,实施缩小垂直间隔是安全的。中国相关方面的研究主要分为两类:一类是以英国的 P. G. Reich 在 1964 年建立的航空器碰撞模型理论为基础,针对平行航路系统在纵向、侧向、垂直方向分别进行碰撞风险建模的研究^[4];另一类是基于 Rice 的水平交叉理论而展开的研究^[5]。上述两种理论在实际空域安全评估中都有应用,但其实用性还存在一定不足,因此关于 RVSM 适航性的研究显得极为重要。1998 年,北方交通大学的赵洪元^[6]对两条交叉航线上飞机发生冲突的次数进行了研究,推导出在两条交叉航线上飞机的偏航问题,这在现实中是不太切合实际的。2001 年,潘卫军等^[7]利用相撞危险性模型进行空域安全评估,达到从空域安全规划的角度缩小航空器最低安全间隔标准。

本文根据 ICAO 的安全标准,参照国际上相关垂直间隔的咨询通告 AC-21-13、AC-91-07,借鉴实施 RVSM 运行的亚太地区 RVSM 运行技术通告、AMM 手册和 SRM 手册,结合中国国航、厦航以及扬子江快运等航空公司的实际情况和管理体系,查

阅波音系列飞机、A320 飞机的维护手册、飞机维护方案、最低设备清单、结构修理手册、RVSM 运行管理程序等,总结出 RVSM 运行的关键系统以及中国 RVSM 运行存在的重要问题,提出相关的查找方法,解决米英制转换问题,保证 RVSM 运行的正常进行。

1 RVSM 运行关键系统

截至到 2014 年,中国航空公司在国际民航组织亚太地区 RVSM 监测组织 MAAR(Monitoring Agency for Asia Region) 注册登记的已获得 RVSM 批准运行的飞机统计情况如下:中国国际航空公司 207 架,四川航空公司 13 架,东方航空公司 103 架,南方航空公司 208 架,金鹿航空公司 3 架,翡翠航空公司 2 架,山东航空公司 11 架,上海航空公司 30 架,上海货运航空公司 4 架,深圳航空公司 29 架,厦门航空公司 43 架,中国货运航空公司 6 架,海南航空公司 56 架,扬子江快运航空公司 5 架,共计 720 架飞机已经获得 RVSM 运行批准。

在中国,实施 RVSM 运行的机型主要有 A320、B737-300/400/800、B747、B757 以及 B767-300。RVSM 运行对飞机上与高度相关的测量系统,包括全压探头、静压孔、备用静压孔、迎角传感器等提出了更高的精度要求^[8]。

根据 AC-21-13^[9],某一机型要获得 RVSM 运行适航批准,RVSM 运行时需安装的关键系统应包括下列内容:

(1) 高度测量系统。应具有两个独立的高度测量系统,且每个系统可以实现以下功能:交叉耦合的静压源系统(若静压管在易结冰的区域,应具有防冰能力);测量由静压系统感知的静压,将之转换为气压高度,并向机组显示此气压高度;自动高度报告目的提供与显示的压力高度对应的数字化编码信号设备,能进行静压源误差修正(SSEC),能从高度测量系统中提供高度自动控制 and 警告基准信号。

高度测量涉及到飞机全/静压系统,如图 2 所示。全/静压系统是一个管道系统,它由全/静压探头、探孔、活门、软管等装置组成,该系统用于向飞机提供全压、静压,通过系统和组件,将这些压力转换成高度和空速信号^[10]。

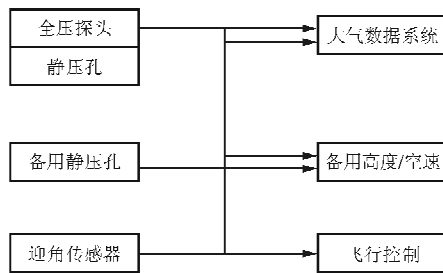


图2 全/静压系统

Fig. 2 Total/static pressure system

(2) 高度应答系统。即具有高度报告能力的二次监视雷达应答机,若只安装一部,则其必须具有转换到任意一个高度测量系统的能力。按照《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121)实施运行的飞机应当配备有批准的ACAS II 机载防撞系统。飞机安装有两套版本为TCAS 7.0 的空中交通管制应答机,满足RVSM要求,并且具有将使用高度源转换到任意一个高度测量系统(ADC)的能力。

(3) 高度警告系统。当显示给飞行机组的高度偏离预定高度一个标称值时,高度偏离警告系统应给出一个告警信号。该标称值不应超过 ± 200 ft,总设备误差不应超过 ± 50 ft^[11]。飞机的高度告警功能在主飞行显示器(PFD)软件中实现,显示器接收ADC发出的高度数据,与飞行控制板(FCP)预设的预选高度进行比较。因为信号之间通信都是通过数字接口,所以在告警状态计算中产生的误差不超过1 ft。飞机有两套PFD,当飞行高度偏离预选高度200 ft和1 000 ft时,会触发PFD高度告警功能。当一套PFD失效时,将会自动切换使用第二套PFD的高度告警功能。高度警告流程如图3所示。

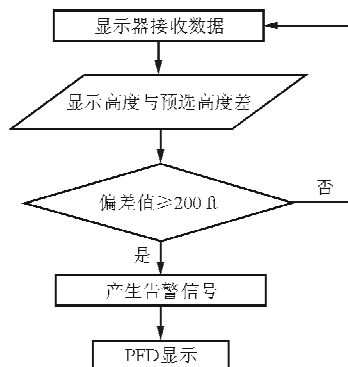


图3 高度警告流程

Fig. 3 Altitude alert process

(4) 自动高度控制系统。在没有颠簸和阵风的情况下,直线平飞阶段应控制航空器在要求高度 ± 65 ft(20 m)以内。若有高度选择/获取功能,则机组选择的值与输出到控制系统的值之间的差值不超过 ± 25 ft(8 m)。RVSM要求主飞行显示器显示的高度与自动飞行控制系统(AFCs)使用的高度之差的绝对值要小于25 ft^[12]。飞机PFD和AFCs使用的高度参量均来自ADC输出的气压修正高度(Baro Altitude),是同一个数据源,两者之间差值为0,因此能满足RVSM要求。

飞机的高度保持能力取决于航电自动飞行控制设备和飞机控制系统。自动飞行控制系统高度保持能力的设计指标是:在30 000 ft以下最大误差为20 ft,在30 000 ft以上最大误差为25 ft^[13]。通过飞机自动飞行控制系统调参飞行试验,更新自动飞行增益参数,在29 000和35 000 ft高度进行高度保持性能验证,结果表明其能够满足设计要求,符合RVSM高度控制的要求^[14]。

2 米英制转换问题

中国实施RVSM运行遇到最重要的困难是公英制问题,同世界上其他实施缩小垂直间隔的区域相比:中国缩小垂直间隔实行的是8 900~12 500 m米制高度层;米制高度层转化为英制高度层以后,会比其他缩小垂直间隔实施区域高度层(英制单位)多出100 ft。

对于上述问题,民航建议使用英制计量单位,与国际接轨;而军航等其他航空单位坚持使用米制。变更计量单位,则中国现役军用飞机大部分仪器仪表需要更换,相关法规标准需要重新修订,地面指挥保障设备要做相应改造,工作量和资金投入将十分巨大;军用飞机大多数为单座舱,飞行员既要操纵飞机,又要进行公英制换算,容易分散精力、影响操纵,不利于飞行安全;同时考虑到公制也是国际民航组织推荐的计量标准,采用英制与中国法定计量标准和航空工业标准不一致,故新的飞行高度层配备方法仍然采用了公制计量单位。使公制配备标准与英制标准尽可能一致,同时给出公英制换算对照表,这样既可满足中国民航需要,又能实现与国际标准相一致。

中国的飞行高度层配备,沿用米制高度层,这样既能满足军航需要,又避免了 RVSM 米制高度层与周边国家使用的英制高度层出现较大的高度偏差,消除了 900 ft 垂直间隔的现象,使航空器之间的垂直间隔达到了 1 000 ft 或以上。因此,不管米制的读数,在中国 RVSM 飞行高度层内只使用英制高度表作为参考至关重要,中国米制和英制对比如图 4 所示。

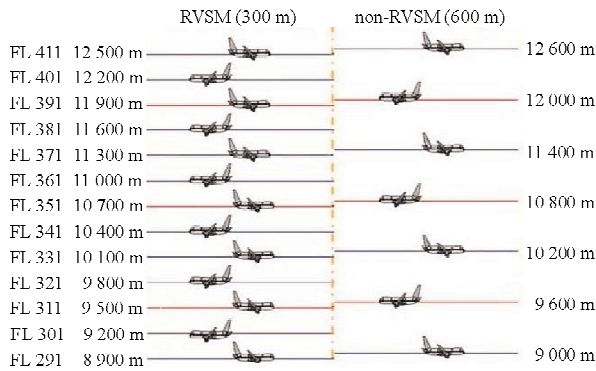


图 4 中国米制和英制对比图

Fig.4 Contrast diagram of metric system and English system

如果一架航空器正在飞 8 900 m,实际上飞的是 29 200 ft 而不是所要求的 29 100 ft。许多航空器的飞行高度选择器只能以 100 ft 为增量,这是需要克服的主要困难。

3 RVSM 空域高度层配置问题

运营人应当确保航空器驾驶员在中国境内飞行之前,该驾驶员经过了如何正确使用中国米制缩小垂直间隔飞行高度层配备标准的培训。在中国境内 RVSM 空域运行时,航空运营人必须向飞行员提供符合中国民航飞行高度层配备标准的公英制对照表。飞行高度层配备标准表(仅适用于中国国内运行)如表 1 所示。管制员发布米制飞行高度层指令,航空器驾驶员根据中国民航飞行高度层配备标准表来确定对应的英制飞行高度层,并控制航空器飞对应的英制飞行高度层。航空器驾驶员应当知晓公英制转换带来的差异,驾驶舱仪表显示的米制高度与管制指令的米制高度不一定完全一致,但存在的差异不会超过 30 m。

表 1 飞行高度层配备标准表

Table 1 Standard table of flight level

航线角	飞行高度层		航线角	飞行高度层	
	米(m)	英尺(ft)		米(m)	英尺(ft)
	↑ 依次类推	↑ 依次类推		↑ 依次类推	↑ 依次类推
	14 900	48 900		15 500	50 900
	13 700	44 900		14 300	46 900
	—	—		13 100	43 000
	12 500	41 100		—	—
	11 900	39 100		12 200	40 100
	11 300	37 100		11 600	38 100
	10 700	35 100		11 000	36 100
	10 100	33 100		11 000	36 100
	10 100	33 100		10 400	34 100
	9 500	31 100		9 800	32 100
	8 900	29 100		9 200	30 100
0°	—	—	180°	—	—
~	8 100	26 600	~	8 400	27 600
179°	7 500	24 600	359°	7 800	25 600
	6 900	22 600		7 200	23 600
	6 300	20 700		6 600	21 700
	5 700	18 700		6 000	19 700
	5 100	16 700		5 400	17 700
	4 500	14 800		4 800	15 700
	3 900	12 800		4 200	13 800
	3 300	10 800		3 600	11 800
	2 700	8 900		3 000	9 800
	2 100	6 900		2 400	7 900
	1 500	4 900		1 800	5 900
	900	3 000		1 200	3 900
	—	—		600	2 000

真航线角在 0°~179°范围内,飞行高度层按照如下方法划分^[15]:(1) 高度 900~8 100m,每隔 600 m 为一个高度层;(2) 高度 8 900~12 500m,每隔 600 m 为一个高度层;(3) 高度在 12 500 m 以上,每隔 1 200 m 为一个高度层。

真航线角在 180°~359°范围内,飞行高度按照以下方法划分:(1) 高度 600~8 400 m,每隔 600 m 为一个高度层;(2) 高度 9 200~12 200 m,每隔 600 m 为一个高度层;(3) 高度在 13 100 m 以上,每隔 1 200 m 为一个高度层。

管制员使用米制高度层,且需要适应雷达标牌显示差异。飞行员收到米制高度层指令,严格按照飞行高度层对照表飞行;在存在双显示的飞机上,

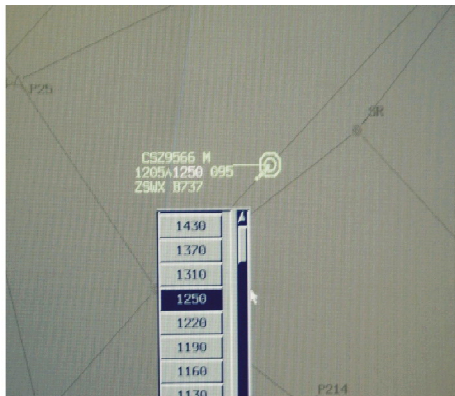
了解公英制存在最大为 30 m 的差异。高度层配备标准表以及显示差异如表 2 所示。

表 2 高度层配备标准表以及显示差异
Table 2 Standard table of flight level and differential display

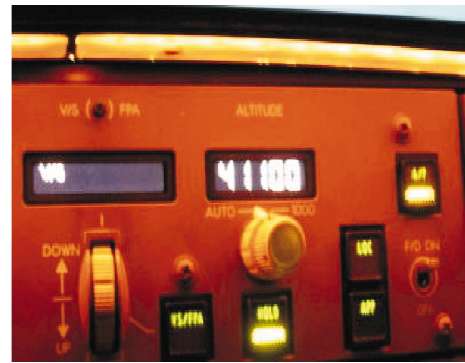
飞行 度层 走向	米制 RVSM 高度 层/m	米制 RVSM 高度层转 换为英 尺/ft	米制 RVSM 高度层转 换为英尺 并按照 100 ft 取 整/ft	管制员 看到的 实际雷 达标牌 显示/ (100 m)	飞行员看 到的实际 显示/m
向东	14 900	48 885	48 900	1 490	14 900
向西	14 300	46 916	46 900	1 430	14 300
向东	13 700	44 948	44 900	1 369	13 690
向西	13 100	42 979	43 000	1 311	13 110
向东	12 500	41 010	<u>41 100</u>	1 253	12 530
向西	12 200	40 026	<u>40 100</u>	1 222	12 220
向东	11 900	39 042	<u>39 100</u>	1 192	11 920
向西	11 600	38 058	38 100	1 161	11 610
向东	11 300	37 073	37 100	1 131	11 310
向西	11 000	36 089	36 100	1 100	11 000
向东	10 700	35 105	35 100	1 070	10 700
向西	10 400	34 121	34 100	1 039	10 390
向东	10 100	33 136	33 100	1 009	10 090
向西	9 800	32 152	<u>32 100</u>	0 978	9 780
向东	9 500	31 168	<u>31 100</u>	0 948	9 480
向西	9 200	30 184	<u>30 100</u>	0 917	9 170
向东	8 900	29 199	<u>29 100</u>	0 887	8 870
向西	8 400	27 559	27 600	0 841	8 410

注:表中标有“ ”的数据表示在 RVSM 空域范围内。

以 12 500 m 高度为例,列举中国 RVSM 运行的高度选择。当管制员选择高度为 12 500 m 时,飞行员的显示高度为 41 100 ft。管制员显示高度和飞行员显示高度如图 5 所示。



(a) 管制员显示高度



(b) 飞行员显示高度

图 5 管制员显示高度和飞行员显示高度

Fig. 5 Controllers display height and pilots display height

结合中国民航的实际情况和管理体系,根据《一般运行和飞行标准规则》(CCAR-91),中国民航总局制定了实施 RVSM 运行的中国民用航空运营人和航空器的咨询通告,主要对飞机的高度控制系统以及高度测量系统提出了适航要求。

4 结束语

本文参照国内外资料,总结出的适应中国国情的 RVSM 运行适航性的最低系统要求、对米英制高度显示问题的分析以及采用新的飞行高度层配备方法,既满足了中国民航需要,又实现了与国际标准相一致。

随着科学技术的发展,越来越多高精度的高度测量设备相继出现,全球空管水平不断提高,加之缩小民用飞机垂直飞行间隔已经在国外实施多年,有很多经验可以借鉴,使中国 RVSM 运行更加安全。中国运行 RVSM 仍然处在关键时期,需要加强相关人员队伍建设,与国际接轨的同时提高运营质量。

参考文献

- [1] 民航总局空管局. 中国民航实施缩小垂直间隔培训指导材料[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007. Aviation Agency, Civil Aviation Administration of China, Training guidance material of the reduced vertical separation minimum (RVSM) implementation programme in China [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007. (in Chinese)
- [2] 吕小平. 实施 RVSM 对我国空域容量和流量的影响分析[J]. 中国民用航空, 2008, 90(6): 58-59. Lü Xiaoping. The impact of implementing RVSM on

- China's airspace capacity and air traffic flow[J]. China Civil Aviation, 2008, 90(6): 58-59. (in Chinese)
- [3] 肖靖. 推进我国实施缩小垂直飞行间隔[J]. 中国民用航空, 2005, 51(3): 62-63.
Xiao Jing. Promote RVSM implementation in China[J]. China Civil Aviation, 2005, 51(3): 62-63. (in Chinese)
- [4] Odoni A, Ednoh S. A general model for predicting the frequency of air conflicts[C]. Safety Issues in Air Traffic Systems Planning and Design, Princeton University Conference, Princeton, 1983: 226-258.
- [5] Bellantoni J F. The calculation of aircraft collision probabilities[J]. Transportation Science, 1973, 7(4): 317-339.
- [6] 赵洪元. 违反飞机纵向间隔概率模型的研究[J]. 北方交通大学学报, 1998, 22(3): 49-52.
Zhao Hongyuan. Study on the probabilistic model for the violation of the aircraft longitudinal separation[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 1998, 22(3): 49-52. (in Chinese)
- [7] 潘卫军, 罗红东. 制定空域安全管理规划缩小航空器最低安全间隔标准[J]. 中国民航飞行学院学报, 2001, 12(2): 30-32.
Pan Weijun, Luo Hongdong. The formulation of airspace safety management plan to reduce aircraft separation minima[J]. Journal of China Civil Aviation Flying College, 2001, 12(2): 30-32. (in Chinese)
- [8] 中国民用航空总局飞行标准司. AC-91-07 缩小垂直间隔(RVSM)空域的运行要求[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
Flight Standards Department, Civil Aviation Administration of China. AC-91-07 Operational requirements for reduced vertical separation minimum(RVSM) airspace[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007. (in Chinese)
- [9] 中国民用航空总局航空器适航审定司. AC-21-13 在RVSM空域实施300米(1000英尺)垂直间隔标准运行的航空器适航批准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
Department of Aircraft Airworthiness, Civil Aviation Administration of China. AC-21-13 Aircraft airworthiness approval for implementing 300 m(1000 ft) RVSM airspace operation in RVSM[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007. (in Chinese)
- [10] International Civil Aviation Organization. Doc 9574-AN/934 Manual on implementation of a 300 m(1 000 ft) vertical separation minimum between FL 290 and FL 410 inclusive[S]. ICAO, 2002.
- [11] 中国民用航空局. CCAR-91-R1 一般运行和飞行规则[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-91-R1 General operation and flight rules[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007. (in Chinese)
- [12] 扬子江快运航空公司. 关于RVSM运行的一般知识和特殊维修控制要求[S]. 海南: 扬子江快运航空公司, 2007.
Yangtze River Express Corporation, Ltd. General knowledge and special repair control requirements for RVSM operation[S]. Hainan: Yangtze River Express Corporation, Ltd., 2007. (in Chinese)
- [13] 张琛. 民用运输机RVSM航电设备初始适航符合性分析[J]. 电子科技, 2011, 24(12): 126-132.
Zhang Chen. Analysis of initial airworthiness compliance for civil transport category aircraft RVSM avionics[J]. Electronic Science and Technology, 2011, 24(12): 126-132. (in Chinese)
- [14] Moek G, Ten Have J M, Harrison D, et al. European studies to investigate the feasibility of using 1 000 ft vertical separation minima above FL290(Parts I II III)[J]. Journal of Navigation, 1991, 44(2): 171-183; 1992, 45(1): 91-106; 1993, 46(2): 245-261.
- [15] 郭燕. 垂直间隔的安全评估[D]. 天津: 中国民航大学, 2009.
Guo Yan. The safety assessment of vertical separation[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2009. (in Chinese)

作者简介:

于之靖(1963—),男,博士,教授。主要研究方向:视觉测量。
张冬晓(1990—),女,硕士研究生。主要研究方向:适航管理。

(编辑:马文静)