

# 所需性能导航的飞行模拟机视景仿真实现

刘岩

(中国南方航空股份有限公司 珠海翔翼航空技术有限公司,珠海 519030)

**摘要:**为实现适合所需性能导航(RNP)程序训练的飞行模拟机机场视景仿真数据库,从拉萨机场对RNP飞行程序训练的实际需求出发,研究RNP程序,对地形网格算法进行人为干预,引导地形生成需要的效果和精度,满足飞行验证和训练的要求,实现机场三维全态仿真与RNP程序的结合,研究结果可推广到其他类似机场的视景仿真开发。

**关键词:** 所需性能导航;飞行模拟机;航路分析;地形修正;视景仿真

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

## Required Navigation Performance Flight Simulator Visual Simulation Realization

Liu Yan

(Zhuhai Xiangyi Aviation Technology Company Limited, China Southern Airlines  
Company Limited, Zhuhai 519030, China)

**Abstract:** The purpose of this study is to achieve the required navigation performance(RNP) training program for the flight simulator airport visual simulation database. From a specific requirement for Lhasa airport RNP flight procedures training the RNP procedures are studied, the terrain mesh algorithm is processed by human intervention. The terrain generation effectiveness and accuracy are guided to meet flight verification and training requirements, realize the combination of 3D simulation of airport and RNP program. Results of this study can be generalized to other similar airports visual simulation development.

**Key words:** RNP; flight simulator; route analysis; terrain correction; visual simulation

## 0 引言

所需性能导航(RNP)是指飞机在一个确定的航路、空域或区域内运行时,所需要的导航性能精度<sup>[1]</sup>,是在新的通信、导航和监视技术开发应用条件下产生的新概念。近年来,RNP运行能力正迅速成为对各航空公司的标准要求,RNP性能水平决定其能否在世界范围内更大的空域运行。

2001年,美国联邦航空局(FAA)提出用星基导航取代地基导航的建议。FAA在下一代航空运

输系统(NextGen)的指引下,制定了美国国家空域系统(NAS)过渡计划,NextGen建设于2013年并保持着持续增长势头<sup>[2-3]</sup>,基于性能导航(PBN)是该过渡计划的关键部分。PBN的内容包含RNAV和RNP,RNP相比RNAV增加了机载监视和告警功能,对转弯类型和包容度也有具体要求,是增强的RNAV。目前,RNP进近和离场程序已在美国休斯敦、肯尼迪等数十个机场使用。通常机场实施新的RNP进离场程序之前的验证,以及验证之后的飞行训练一般都要在相应机型的飞行模拟机上进行。

美国在RNP的运行和训练方面均领先于其他国家,FAA将发展路线分为三个阶段。日本于2005年制定《RNAV发展计划》,描述了三个阶段

实施方案。欧洲在 2010 年后发展为 RNP 方式, 2004 年后, 欧洲开始使用 P-RNAV 技术, 应用于终端空域, 使终端区设计得到优化, 增强了飞行灵活性, 提高了空域容量。在上述情况下, 飞行模拟机装载的用于常规训练和特情处理的机场仿真视景数据库已不足以满足越来越高的精度和准确度要求, 模拟机厂家开始针对相应机场开发适合 RNP 技术的模拟机机场视景数据库。

根据中国民航 PBN 路线图<sup>[4]</sup>, 到 2025 年, 推荐的导航规范都将统一到 RNP 程序上。基于该目标, 未来的机组飞行模拟机训练也将迁移到以 RNP 程序为主的训练方式上, 因此对机场视景仿真与 RNP 程序的配合以及逼真度、精确度也提出了更高要求。目前, 国内运营的模拟机主要来自 CAE 和 THALES, 飞行模拟机所使用的基本都是厂家配送的机场视景仿真数据库, 而这些机场视景仿真数据库通常对地形地貌的仿真达不到 RNP 程序的要求。

要达到 RNP 的运行条件, 必须对飞行模拟机的机载设备进行升级改造以使其满足适航要求<sup>[5]</sup>, 本文的研究和成果是建立在硬件改装完成的先决条件下实现的。

本文通过研究国内外 RNP 相关资料、组成及特点, 从拉萨机场的实际需求出发, 详细分析和研究 RNP 导航方式、不同飞行阶段、不同地形、需求等条件下飞行程序的标准、特点和适航要求, 结合加拿大 CAE 的全任务飞行模拟机, 实现机场三维全态仿真与 RNP 程序的结合, 使航路和机场仿真场景更加逼真和精确, 提供飞行模拟机训练 RNP 程序切实可行的理论依据, 真正切合 RNP 程序的训练内容。

## 1 总体设计框架与标准

### (1) TROPOS 视景数据库结构

每个 TROPOS 视景仿真数据库都是由高分辨率的卫星图像、DTED1 级别的地形数据和点、线、面等组成的。完成后的数据库具有高仿真度、高亮度、高分辨率等特征。

TROPOS 地形自动产生根据数字地图生成的不规则三角形网格, 能够表现精致的地形数据, 最多九个细节等级 (LODs)。大地纹理提供给飞行人员更加真实的场景模拟, 根据不同距离采用不同

精度的大地纹理来进行模拟。根据机场的距离使用不同分辨率的卫星图片。卫星影像覆盖机场示例如图 1 所示。

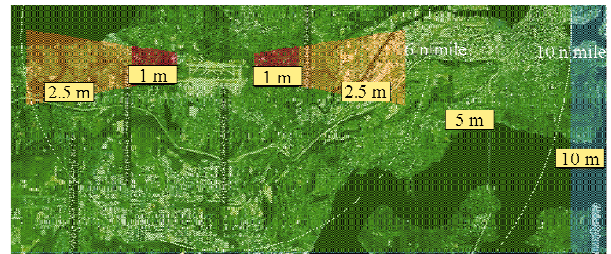


图 1 卫星影像覆盖机场示例

Fig. 1 Example of satellite images covering airport

整个视景仿真数据库由点、线、面三种类型的数据构成。

面类型数据是指由三个以上的边组成的封闭区域, 多数情况下, 面类型作为 2-D 模型成为地形的一部分, 例如湖泊和田地。面类型的视景属性包括主纹理、夜景纹理、雪景纹理(若存在)和微纹理。

线类型数据是指一些在数据库里连续不变的 2-D 模型, 例如公路、铁路等, 其高度是基于地形的。二维的线类型有可能相互交叉, 在这种情况下, 就要设置相应的优先级, 例如公路一定在河流之上。所有的线类型都在地形上, 因此当线类型穿过遮棚时会切割它而保留地形的高度。

点类型数据在数据库里只有单独的 X、Y 值, 用于放置例如建筑物、桥梁等。点类型的模型可以有多个级别的细节描述 LOD (Level of Detail)。LOD 是一组表示模型数据库中同一个物体具有不同细节程度的模型对象。LOD 方法的基本思想是对场景中不同物体或者物体的不同部分, 采用不同的细节描述方法, 同时根据视点的远近采用不同的 LOD。

### (2) 总体结构及处理流程

总体结构如图 2 所示。

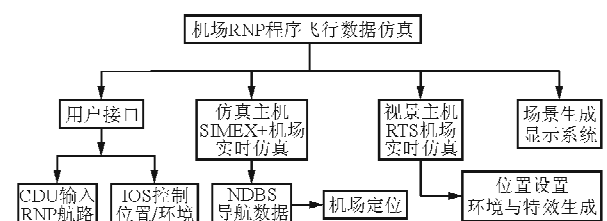


图 2 机场 RNP 程序飞行数据仿真

Fig. 2 Flight data simulation of airport RNP program

总体结构分布为:

①用户接口部分:在控制显示组件(CDU)上输入 RNP 航路,作为公司航路存储;在教员控制台(IOS)上选择机场和所需的环境因素。

②仿真主机部分:SIMEXPLUS 下的导航数据库更改,加入机场的各类别导航台属性,包括类型、位置、频率、作用范围等;同时还包括机场的定位信息。

③视景主机部分:运行拉萨机场的仿真视景,生成位置、环境和特效等。

④场景生成显示系统:即硬件显示系统,类似于电脑的显卡+显示器。视景主机生成的仿真场景发送到该系统,经过图像生成,投射到模拟机驾驶舱前窗的反射膜上。

处理流程如图 3 所示。

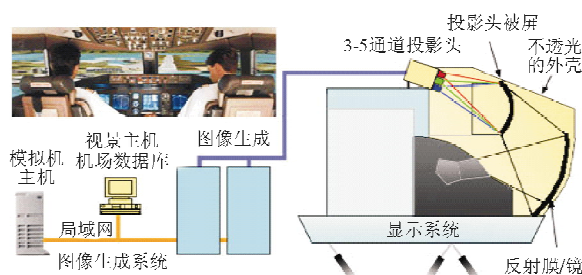


图 3 处理流程

Fig. 3 Processing flow

首先,机组在控制显示组件(CDU)上输入 RNP 航路,并作为公司航路存储;然后,存储的数据通过飞行管理计算机(FMS)传给仿真主机,使飞行学员可以按照既定的 RNP 程序校准飞行,并通过教员控制台(IOS)选择机场和所需环境因素。主机经过计算,把各种导航设施和 RNP 航路显示到 IOS 上;仿真主机把这些数据通过网络传给视景主机,视景主机根据上述数据,运行拉萨机场的仿真视景,生成位置、环境和特效等。最后,视景主机把生成的图形传送给显示系统,飞行学员便可以看到拉萨机场的全模拟视景,用于该机场的 RNP 验证飞行与程序训练。

## 2 机场 RNP 标准分析

随着行业的发展和要求的提高,中国民航局要求所有飞行学员进行 PBN 程序的训练科目,按照《中国民航 PBN 实施路线图》要求,至 2016 年,全

国所有民航机场均要有 PBN 飞行运行。因此,对于营运人方面来说,所有相关人员均依据大纲进行了严格地分阶段培训,且考核合格。拉萨机场的整个运行环境是经过中国民航局 141 部审核批准的,满足规章符合性。

飞行训练是以教员带飞学员,学员经过理论学习并考核合格之后,再经过一定时间的飞行模拟机培训,最后分阶段地进行实际飞行训练。按照大纲进行目视、VOR、DME、ILS、DME 弧、空域驾驶术等各种科目的训练,除了航线训练之外,所有训练均在本场终端区空域内进行。

拉萨机场位于雅鲁藏布江河谷,东西长约 42 km,南北宽约 6~9 km(南北山脚间宽仅 3~4 km),四周环山,海拔均在 5 000 m,东端净空稍好,西端较差。拉萨机场视景的整个区域为经度范围 E090°~E092°,纬度范围 N29°~N30°,RNP 航路经过的区域如图 4 所示。

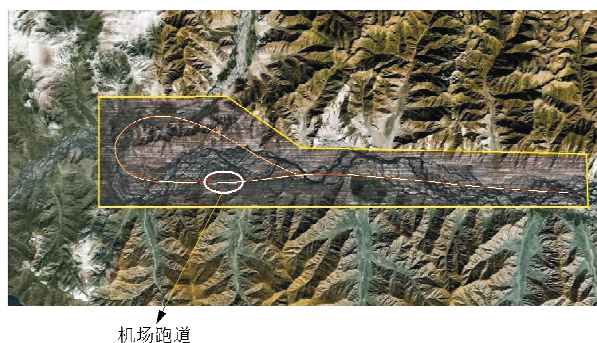


图 4 拉萨机场 RNP 覆盖区域

Fig. 4 Lhasa airport RNP coverage area

如果机场处于地形复杂、气候多变的环境,传统的导航方式,甚至 RNP APCH 程序也很难建立起降标准较低的仪表飞行程序。只能实施目视飞行的机场,使用 RNP AR APCH 程序则显示出其巨大的优势,特别适合在山岳河谷地区应用。RNP AR APCH 程序的航段和转弯点保护区宽度更窄、航段之间连接更简单流畅、可以使用固定半径转弯(RF 航段)、能够进行垂直引导,上述特点使该程序可以在很窄的山沟中建立沿山谷曲线飞行的飞行程序。RNP AR APCH 程序的导航规范包括进场、进近和离场航段<sup>[6]</sup>。

以拉萨机场为例,介绍其 RNP 程序。仪表进近程序是航空器根据飞行仪表并对障碍物保持规定的超障余度所进行的一系列预定的机动飞行<sup>[7]</sup>。

这种飞行是从规定的进场航路或起始进近定位点开始到能够完成目视着陆的一点为止,并且包括失误进近的复飞程序。传统方式下,根据最后进近航段所使用的导航设备及其精度,仪表进近程序可以分为精密进近(PA)和非精密进近(NPA)两大类。ICAO在PBN中,又补充了一种介于精密进近和非精密进近之间的APV进近方式,Baro-VNAV的RNP AR APCH进近飞行程序就属于此类。

仪表进近程序通常由五个航段组成:进场航段、起始进近航段、中间进近航段、最后进近航段、复飞航段。设计仪表进近程序就是为上述不同航段确定航迹方向、航线长度、下降梯度、最低超障高度,并协调这些航段之间的相互连接关系。传统程序设计模式下,航空器导航基本是依赖地面导航设施的信号进行向、背台飞行的。这种导航方式的最大缺点是飞行路线受地面导航源位置的限制,常常导致飞行路线增长;若要优化飞程序,又将受到地基无线电导航设备安装位置和成本的限制;并且保护区相对较大,导航系统误差会随着航空器与导航设施之间距离的增大而增大。传统仪表进近程序在结构上由四种基本航线模式组成:直线航线程序、反向航线程序、直角航线程序、推测航迹程序。

采用PBN技术的飞行程序,最大的突破是利用名称、经度、纬度定义的航路点进行导航。使设计航路依赖导航设施位置的程序降低,能更好地满足程序设计需求。PBN程序设计的灵活性随着导航设施的不同而不同。PBN基于性能的标准明确描述了不同类型航空器需要不同的飞行剖面,确保了飞行轨迹的持续性、可靠性和预测性,并能减小超障评估区域。RNP AR APCH进近飞行程序经过航路点(waypoint)的方式分为飞越(fly-over)和旁切(fly-by),如图5所示。

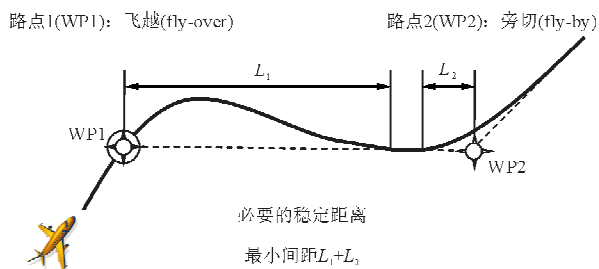


图5 飞越和旁切

Fig.5 Fly-over and fly-by

在飞越方式中,基本由沿航迹飞往航路定位点(TF)和直飞定位点(DF)航段组成,即RNP AR APCH进近飞行程序主要由这些航段方式组成。相比传统方式要简化得多,但在计算具体航行参数时,有部分与传统方法一致或重合。

拉萨机场RNP整个进近航路基本上是沿着雅鲁藏布江河谷方向由东向西,在设计视景仿真时,要保证河谷两侧的地形、地貌有足够精准的显示。

### 3 针对RNP飞行的地形优化

目前TROPOS地形数据主要来源于数字地图。使用的数据为DEM数据SRTM1和SRTM3,通过软件转换数字地图的格式生成数据库可用格式源数据.asc。机场区域内和RNP航路两侧的地形数据基于DTED2数据源,是30m的网格数据,同时作为TROPOS软件的高程数据输入,用于视景数据仿真创建相应地域的地形。

随着GIS(Geographic Information Systems)的发展和硬件的升级,使用GIS生成和管理机场视景仿真数据库的地形地貌成为必然。飞行模拟机是工业实时应用,需要一个虚拟的环境,该环境构成了具有几何、外观、功能、地形等元素的集合,使虚拟仿真环境更加接近真实环境<sup>[8]</sup>。本文使用ArcGIS系统中的ArcMap工具进行地形控制和约束。

#### (1) 机场范围RNP飞行的地形修正

机场范围一般是指机场周围约20 km×20 km内的区域,这是飞机由巡航方式转入下降方式,或起飞后转入巡航方式的区域,例如仪表进近程序的五个航段。在设计视景仿真数据库时,要跟随这五个航段,在航线整个区间上至少±5 km的包线范围内保证足够精确和准确的地形、地貌以及障碍物。由于系统负载平衡和工作量的原因,对范围以外航线不经过的区域则只需保持一定的模拟精度。

对于一些有特殊地形的机场,TROPOS生成的地形并不能满足RNP程序训练的要求,需要进行地形的调整。拉萨机场地形复杂,针对RNP飞行程序的特殊要求,对地形网格算法必须进行人为干预,最终生成的视景仿真数据库才能更符合实景。

拉萨机场真实照片与软件生成的地形图的对比如图 6 所示。



(a) 拉萨机场真实照片



(b) 生成的地形图

图 6 真实照片与生成地形比较

Fig. 6 Comparison of the geography between true picture and terrain creation

图 6(a)为真实照片(50 mm 焦距,进近航路 1.5 n mile 处),是实际拉萨机场在航班驾驶舱拍摄进近跑道的图片;图 6(b)为 TROPOS 未进行地形调整的数据库相同位置截图(相比照片眼点的俯仰角偏上,航向角偏左)。图中圈出的两处位置,停机坪侧的山峰与 RWY27 引进灯附近的地形和真实有差距,地形根据内嵌算法生成得不够精确。

应用 ArcMap 软件生成高程控制约束文件,利用控制线和点(Constraint Line and Point)对地形数据进行拟合修改,对关键点和高程关注点进行勾勒跟踪和赋值,使得生成的地形更接近真实情况,保证地形处理后的数据库和真实地形完全一致。高程控制约束文件作为 TROPOS 的高程数据输入,参与地形计算,约束不规则三角网的生成,并有效地引导地形生成算法达到需要的效果和精度。

机场范围控制线和点的设定依据,主要来源于机场实测数据。相对跑道来讲,关键数据为跑道两

端经纬度和高度、跑道坡度以及跑道中段是否有沉降和升起,在进行地形数据地拟合时,必须保证严格一致;相对于其他二维模型,例如滑行道和停机坪等,在无特别注明关键点或高度变化的情况下,使用控制线和道面连接点推平的方法控制地形生成,保证飞机在滑进滑出时平滑无障碍。

经过地形的高级调整,机场区域能够达到 RNP 程序飞行训练的要求,真实度和精确度非常切合真实情况。

## (2) RNP 航路飞行的地形修正

基于同样的需求,在实现视景仿真数据库的地形生成中,要跟随整个 RNP 航路飞行的包线内所形成的带状区域,即在航线整个区间上至少  $\pm 5$  km 的包线范围内保证足够精确和准确的地形、地貌以及障碍物。对于机场范围以外的区域,RNP 飞行程序中飞机的高度超过无线电高度 3 000 ft。因此,综合考虑系统负载和实际需求,应用 ARCMAP 软件生成高程控制约束文件的复杂程度不宜过高,在实际生成时应略低于机场区域的高程控制约束文件。

航路飞行控制线和点的设定依据,主要来源于 RNP 航路上一些障碍物和限制高度点。首先,在设计 RNP 航路时是有精确实测数据的,依据这些有精确经纬度的点来手工添加控制点并赋予精确高度值;其次,对于山峰山谷的走向、障碍物轮廓以及河流、公路等的边界限定使用手工拟合控制线,引导地形的生成按照真实情况切分三角形网格,避免标准网格数据生成地形时的缺漏和均分化。最后,手工生成的两个 .shp 高程约束文件(对应机场区域和航路)作为地形生成的最高优先级和最终约束。

采用不规则三角网生成地形,根据地形精度需求生成多层不规则三角网,最底层精度最高且随着视点的远近变化,显示不同的 LOD 地形。同时根据地形 LOD 选择与之相适应的多分辨率纹理图像进行映射,同一位置所有不同 LOD 地形都贴上同一块替代纹理。在实时渲染地形场景时,适合精度的纹理片被实时地映射到相应的地形上,并且随着场景中视点的变化而随时替换纹理。

RNP 航路高程控制生成的结果如图 7 所示。在整个训练飞行的 RNP 航路上,视景生成的周边山脉和河谷都得到了比较精确的控制,与航路的真



实情况相吻合。

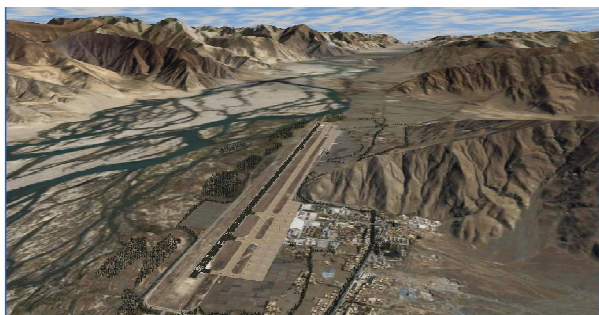


图7 RNP 航路高程控制

Fig. 7 RNP route elevation control

基于 RNP 的运行规则所设计的航路与机场进近航道,在进行飞行模拟机验证时,主要是侧向范围配合高度值与障碍物的验证,侧向范围方面,整体系统误差(TSE)被假设为飞机的真实位置和导航系统计划的飞行航路中心线间的差异。RNP 类型值决定航迹每侧允许的距离误差,在飞行验证人员进行测试时,依据 RNP 类型值在带状区域的两侧边界飞行,测试是否有异常高度值变化以及非真实障碍物引起的危险告警。测试内容还包括飞行验证人员有意飞出带状安全区域的两侧进行超限测试,最终的测试结论基于客观的数据显示和比较,同时也有飞行人员的主观感受。

#### 4 机场仿真实现

本文是基于加拿大 CAE 生产的飞行模拟机的视景系统 TROPOS 开发的机场视景仿真,最终也将安装在此类飞行模拟机上用于机组的 RNP 程序训练。

三维视景模型数据库的建立,一般使用 Multigen Creator 和 Vega Prime,其中 Multigen Creator 用于三维模型的制作以及地景的生成,Vega Prime 用于实时仿真<sup>[9]</sup>。Multigen Creator 主要用于机场周围 20 km 范围内的精细模型建立<sup>[10-11]</sup>。机场视景仿真内容包括基于中国民用航空总局 CCAR-60《飞行模拟设备的鉴定和使用规则》中关于 D 级模拟机视景的相关内容要求。机场三维仿真模型需要用到细节层次 LOD 技术,因为每一个实时系统能显示的数目都是有限的,所以使用 LOD 技术可以有效提高模型数据库的多边形利用率,在有限的条件下取得最佳的视觉效果<sup>[12]</sup>。集

成所有的原数据以及周边的三维模型,并处理夜景模式,生成完整逼真的飞行模拟机仿真视景,在 CAE 的全任务飞行模拟机上安装调试,并在完成项目的评审工作之后,拉萨机场正式开始应用于实际飞行模拟机训练。

#### 5 结束语

本文解决了飞行模拟机 RNP 程序训练中导航、地形与视景匹配的关键问题。其中涉及到 RNP 程序分析方法、地形生成干预和修正等内容,具有较强的理论指导意义和实用价值。随着拉萨机场 RNP 视景仿真的实施,其示范作用必将带动其他机场实施 RNP 程序训练视景仿真开发。成为保障《中国民航 PBN 实施路线图》所设定目标顺利实现的重要基石之一。

#### 参考文献

- [1] ICAO. Performance-based navigation (PBN) manual[M]. Montréal, Quebec, Canada: ICAO, 2008.
- [2] Douglas R Isaacson, John E Robinson III, Harry Swenson, et al. A concept for robust, high density terminal air traffic operations[C]. 10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference. Texas: AIAA, 2010.
- [3] 黄晋, 江文波. 美国 NEXTGEN 建设的现状与未来发展[J]. 科技创新导报, 2014(8): 202-203.  
Huang Jin, Jiang Wenbo. US NEXTGEN status quo and future development of the construction[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2014(8): 202-203. (in Chinese)
- [4] 中国民用航空局. 中国民航基于性能的导航实施路线图[S]. 北京: 中国民用航空局, 2009.  
Civil Aviation Administration of China. Performance-based navigation implementation roadmap[S]. Beijing: CAAC, 2009. (in Chinese)
- [5] 刘伟, 刘颖. 飞行模拟机 RNP 升级改造研究及其应用[J]. 上海电气技术, 2013, 21(3): 32-35.  
Liu Wei, Liu Ying. Introduction of flight simulator RNP update[J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2013, 21(3): 32-35. (in Chinese)
- [6] 陈红英, 向小军. RNP AR 飞行程序设计方法及实例分析[J]. 航空维修与工程, 2014, 278(2): 44-46.  
Chen Hongying, Xiang Xiaojun. Design method and case analysis on RNP AR flight procedure[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2014, 278(2): 44-46. (in Chinese)
- [7] 中国民用航空局. 目视和仪表飞行程序设计规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2006. (下转第 251 页)

线决定,  $\beta$  线由设计者确定, 即将二阶非定常执行机构环节变成了一阶惯性环节, 并且此惯性环节的时间常数可由设计者自定(具有不变性), 因此该法有很宽的适应性。

本文的方法是将调节阀看作一个带有纯延时的二阶系统, 但是实际的调节阀是一个更高阶的系统。虽然粗略分析时, 某些高阶因素近似可以纳入“延时”, 但它和真正的纯延时仍然是不同的。如果实际二阶的系数较小(即活塞的惯性质量较小), 相对地高阶因素变得不可忽略, 则仍然会有更加复杂的结果, 甚至影响本方法的可行性。在阀门机械结构的设计中, 应当注意到这一点。

### 参考文献

- [1] 绪方胜彦. 现代控制工程[M]. 卢英, 等, 译. 北京: 科学出版社, 1984.  
Ogata Katsuhiko. Modern control engineering[M]. Translated by Lu Ying, et al. Beijing: Science Press, 1984. (in Chinese)
- [2] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.  
Hu Shousong. The principle of automatic control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1994. (in Chinese)
- [3] 高为炳. 变结构控制基础[M]. 北京: 科学出版社, 1989.  
Gao Weibing. A variable structure control foundation[M]. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese)
- [4] 王丰尧. 滑模变结构控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.  
Wang Fengyao. Sliding mode variable structure control [M]. Beijing: China Machine Press, 1995. (in Chinese)
- [5] Drazenovic B. The invariance, conditions in variable structure systems[J]. Automatica, 1969, 5: 287-295.
- [6] El-Ghezawi O M E, Zinober A S I, Billings S A. Analysis and design of variable structure systems using a geometric approach[J]. International Journal of Control, 1983, 38 (3): 657-671.
- [7] C J 哈里斯, S A 比林斯. 自校正和自适应控制理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 267-269.  
Harris C J, Billings S A. Self-tuning and adaptive control theory and application[M]. Beijing: Science Press, 1986: 267-269. (in Chinese).
- [8] 秦寿康, 张正方. 最优控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 1984: 75-80.  
Qin Shoukang, Zhang Zhengfang. The optimal control [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 1984: 75-80. (in Chinese)
- [9] Zhang Gaofeng, Zhang Jingyu, Liu Shu. Design and realization of radar EW simulation visual system[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2010(3): 263-268.
- [10] MultiGen-Paradigm. Creating models for simulations versoin2.5 for windows and IRIX[S]. Montréal, Quebec, Canada; MultiGen-Paradigm, 2001.
- [11] MultiGen-Paradigm. Creating terrain studio for simulation versoin2.5 for windows and IRIX[S]. Montréal, Quebec, Canada; MultiGen-Paradigm, 2001.
- [12] 李丽丽, 史智博, 张国辉, 等. 浅析 Creator 视景仿真模型建模技术研究与应用[C]//第二届中国指挥控制大会论文集. 北京, 2014: 392-394.  
Li Lili, Shi Zhibo, Zhang Guohui, et al. Research on simply analyzing of creator visual simulation modeling and implement[C]//Second China Proceedings of Command and Control Conference. Beijing, 2014: 392-394. (in Chinese)

### 作者简介:

郝立中(1944—),男,教授,高级工程师。主要研究方向:微型计算机系统及应用。

(编辑:赵毓梅)

(上接第244页)

- Civil Aviation Administration of China. Visual and instrument flight procedure design specification [S]. Beijing: CAAC, 2006. (in Chinese)
- [8] Villagra M R. Managing industrial simulator visual databases using geographic information systems, computer modeling and simulation(UKSim)[C]. 2011 UkSim 13th International Conference. IEEE; 2011.
- [9] Zhang Gaofeng, Zhang Jingyu, Liu Shu. Design and realization of radar EW simulation visual system[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2010(3): 263-268.
- [10] MultiGen-Paradigm. Creating models for simulations versoin2.5 for windows and IRIX[S]. Montréal, Quebec, Canada; MultiGen-Paradigm, 2001.
- [11] MultiGen-Paradigm. Creating terrain studio for simulation versoin2.5 for windows and IRIX[S]. Montréal, Quebec, Canada; MultiGen-Paradigm, 2001.
- [12] 李丽丽, 史智博, 张国辉, 等. 浅析 Creator 视景仿真模型建模技术研究与应用[C]//第二届中国指挥控制大会论文集. 北京, 2014: 392-394.  
Li Lili, Shi Zhibo, Zhang Guohui, et al. Research on simply analyzing of creator visual simulation modeling and implement[C]//Second China Proceedings of Command and Control Conference. Beijing, 2014: 392-394. (in Chinese)

### 作者简介:

刘岩(1971—),男,工程师。主要研究方向:三维仿真与飞行模拟机视景。

(编辑:马文静)