

空管专家 陈志杰

(1963.~)

2011年当选为中国工程院院士



铺设空中“高速网”的蓝天筑路人

记空管技术专家陈志杰院士

只要把工作当事业干，
永远都会有前进的动力和拼搏的热情！

——陈志杰

陈志杰（1963.1~），广东梅县石扇镇巴庄村人，高级工程师、博士生导师、少将军衔、一等功臣。1978年考取空军导弹学院攻读计算机应用专业，1986年考取南京理工大学通信与电子系统专业硕士研究生，2002年攻读空军工程大学军事运筹学专业博士学位。先后任空军某研究所研究室主任、副总工、副所长、所长，我国空中管制专业学科带头人，国务院、中央军委空中交通管制委员会首席专家，主要学术工作是建立了我国自动化空中管制模式，研制了我军首套机场、分区级空管系统，构建了覆盖全国的全军一体化空中管制平台，获国家科技进步一等奖1项、二等奖1项，军队科技进步一等奖3项、二等奖5项，中国科协“求是杰出青年实用工程奖”、“何梁何利”科技进步奖、全国发明创业特等奖获得者，被评为“全军爱军精武标兵”、“全国优秀科技工作者”。2011年11月当选为中国工程院院士。



一、成长历程

我是改革开放后走出梅县的新生代客家人。

1963年，我出生于广东梅县石扇镇巴庄村，那是一个尽管贫穷落后，却是山清水秀的典型的客家乡村。我的父亲是当时汕头日报社的记者，母亲为大队妇女主任。我出生时，已经有两个姐姐和一个哥哥，父亲在外工作，母亲又是大队干部，家庭条件在当时应该还是比较好的，但限于当时条件，家中祖母体弱多病，兄弟姐妹多，全家主要靠母亲一个壮劳力维持生计。

小时候，印象最深的是父母对我的鞭策和教育，父亲是个文人，每年一次探亲假，我们最幸福的事是父亲每年回家后吃完饭兄弟姐妹围在父亲身边听他讲故事。父亲睿智、豁达，为人极谦和，通过他娓娓道来的故事和当时的言行，教育我们怎么做人，怎么处事，怎么奋斗，奠定了我人生的基础。迄今为止，很多人说我身上有很多我父亲的影子。母亲是典型的客家妇女，勤劳、节俭、善良，靠她一双手，担当起一个大家庭的责任，并让我们姐弟5人都通过考学走上了工作岗位。

1972年，因建造水库，我们移民到稍微好一些的石扇镇建新村。我上学比



陈志杰（后排右二）和家人



较早，6岁开始上小学。当时小学学制只有5年，初中学制2年，我的小学分别在石扇的巴庄小学和建新小学度过。中学到镇里的石扇中学也就是现在的梅北中学上的。当时处于“文革”后期，学校劳动课很多，如挑水浇地、砍甘蔗、摘松果等，不但学校劳动多，在家里也要劳动，我在小学低年级时早上起来要上山打猪草，回来后还要为家里烧火做饭，当“火头军”。记得上小学二年级时，我们新盖一所小学叫巴庄小学，我去学校的工地挑沙石，大概是几分钱一担，用这挑沙石挣来的钱为自己买了一双水鞋，此事至今记忆犹新。我算是比较喜欢读书的，接受和理解能力还可以，刚上小学一年级的時候，我是毛遂自荐当上班长的，老师选班长时，我站出来大声说：我来当班长！老师说那就试试吧，就这样我当上了班长，这样从小学开始我就长期担任班干部。梅北中学，这是一所历史名校，尽管当时学校处于文革期间，我还是刻苦学习，学习成绩名列前茅。恢复高考后，1977年，当时我正在读高中一年级，因为成绩好被学校选送去考试，与高二级毕业班的学兄学姐们一起参加全国统一高考。这一年我没有考上，按正常上高二。高二毕业参加高考，那年我15岁，取得石扇考区第一名，也是当时该考区唯一考上大学本科的考生，从而进入了空军导弹学院学习，并从此走上了军旅生涯和国防科研工作的道路。

二、架起我国空中交通的“高速网”

我在1982年本科毕业后，首先被分配到雷达十六团，位于河北一个交通闭塞、人烟稀少的小山沟，营区住的还是唐山地震后的简易房，条件十分艰苦。当时我主要负责管理维护我军第一套半自动化的雷达情报处理系统，刚好我学习的计算机知识就派生了用场。在基层部队里，我在实践中积累了很多知识，正是这些知识奠定了我日后所从事的自动化空管系统建设基础。此外，部队那种集体主义的团结精神、以苦为乐的乐观精神、不讲条件的奉献精神也深深地感染了我，直到今天，我仍然感谢哪几年的部队基层生活，它成为我人生的一段重要经历，“穷山沟”成了我第一所“社会大学”。

基层部队的四年里，我没有虚度光阴，在充实的学习中，在实践的锤炼中，提升自己的能力，为我日后带领科研团队，耐得住寂寞，追求科学真谛打下了基础。之后我努力考取了南京理工大学硕士研究生，1989年毕业后，我又被分配到空军某研究所工作。第二年，也就是1991年，国务院、中央军委作出

了“改革空中交通管制体制，逐步实现我国空中交通管制手段现代化”的战略决策部署，选定了沪杭地区作为试点区域，启动自主研发机场、分区级自动化空管系统的项目，并批准为国家“八五”重点工程，任务随即下达到了我们所。作为当时所内少数几个具有硕士学位的年轻人之一，加上具有丰富的自动化系统管理维护实践经验，我被所领导挑选为“项目软件总师”，我的知识积累恰在此时有了用武之地。正是在这样的时代大背景下，我有幸被选中参与并主导了我国空管系统现代化建设的大潮，从此以后我踏上了空管技术研究的道路。

空管，是指国家对其领空内的航空器飞行活动实施统一的管理和控制，是国家综合交通运输体系和国防、社会公益事业的重要组成部分，是保障国家领空安全和航空事业发展的重要基础，在军队里称为空中管制。上世纪80年代之前，我国航空运输同美国、欧洲等国家相比十分落后，在这些国家坐飞机旅行是个很普遍的行为，但在我国却是个稀罕事。改革开放后，我国经济繁荣腾飞，新机场越建越多了，坐飞机旅行的人也越来越多了，我国的航空事业得到了迅猛发展，特别是沪杭、京津、珠江三角洲地区，当地的军事飞行和民航飞行在空域使用协调、空域资源利用等方面的矛盾就突显出来了，一方面要确保军用飞机的正常飞行训练，以维护我国的国防实力和领空安全，另一方面要为民航的发展提供足够的空域支持，以保证经济社会和空中交通运输的顺畅进行。

我国在上世纪70年代，经周总理特批引进过法国“汤姆逊”空管系统，部署在京沪沿线，而此时该系统已运转了十多年，年久失修，已不能很好地保障空中飞行了，全国其他大部分地区仍采用手工作业方式进行空中管制，靠电话和话音对空电台进行管制员之间、管制员和飞行员之间的联系，用行业里的话说，“一把尺子、一张地图、一支铅笔、一个话筒”就是那时我国空管的真实写照，实际上那时我国空中飞行冲突不断，在我国历史上正是这个时候发生了

我国空中飞行分布状况图



我军早期手工管制作业图

军机同民机飞行相撞的特大事故。然而，世界发达国家的空中管制却是另一番景象，由通信、导航、雷达、气象和机载设备等分系统组成了现代化的空管系统，以管制中心为核心，通过汇集、综合、处理空管雷达探测到的飞行动态信息和通信联网传递的飞行情报信息、气象信息等，并在计算机屏幕上实时显示，为管制员控制空中飞行提供了各类辅助决策信息，大大增强了空中

飞行的安全性和容量。面对形势和任务需要，研制属于我国的新型自动化空管系统成为摆在国家、军队高层领导面前迫在眉睫的事情。

万事开头难，当时的我国信息化建设尚处于起步阶段，没有技术标准成为困难中的困难。加上空管技术又是典型的军民共用技术，因其涉及到国家航空运行的重大经济利益和国家空防安全，国外对此技术严密封锁，必须立足我国国情和实际情况，自主搞出来属于我国的自动化空管系统，成为军地各级领导的普遍共识。信心和决心是有的，但在实际工作中落到实处，就需要下一番大力气了。那时，美国一个机场的飞行量就几乎相当于我们一个国家的飞行量；在贝尔实验室，研究的空管技术也远远超出我们的想象，在我们这儿还是一个模糊的概念，在他们那已经付诸于实践并当作完整的产业在做。现代空管，其实是一套高技术性、高度复杂的全方位系统，它要求对计划飞行的飞机处于什么位置，飞行状况怎么样，沿途天气怎么样，相邻飞机怎么样，地面障碍物怎么样、未来趋势怎么样等等，都要计算的一清二楚，以便于管制员一目了然。一套系统里，往往是通信、导航、雷达、气象和机载等子系统齐上阵。

为此，项目起初时间里我带领课题组耐住寂寞，对全国所有的运输机场年旅客吞吐量进行了分析，尤其是对100万人次以上的42个机场，1000万人次以上的7个机场的客运信息进行跟踪测算，对全军航空兵部队训练、战备飞行以及所有军用机场的使用数据进行了汇总分析，建立起全国空中交通地区差异、飞行标准执行情况的数据模型，全国空域的数字化模型，验证了自动化管制采用的

飞行间隔标准和各类预警告警指令信息等，这也成为我军后来的空中管制系统核心技术标准，基于此我于1993年5月主持研制出我国第一套机场、分区级自动化空管系统。1994年该系统完成在沪杭地区的部署并投入实际运行，空军管制员应用该系统成功发现和解决了该地区上空的多起危险接近，改变了我军没有自动化管制系统的落后局面，经军地权威专家鉴定和数据对比，我们研制的系统与当时的美国休斯系统在飞行态势监视、飞行冲突探测等核心指标上处于同一水平，达到了国际水平。根据我们研制系统的成功应用情况，国家定下决心，随即启动了构建全军一体化空中管制体系的建设任务，顺理成章的，我承担了体系设计和全国范围系统建设的技术总师。



空军领导视察项目组科研情况



我军首套机场、分区级自动化空管系统

为了能够实现我国空管的跨越式发展，一步到位，构建起具有国际先进水平的空管系统体系，组织上受命我领衔组建了全军第一个空中管制研究室，时年30岁的我被任命为该室主任，并安排到欧美进行考察国际空管系统建设和技术发展状况，赴美国麻省理工学院学习。在国外考察和学习期间，我仔细比对分析了美国和欧洲国家的空管系统建设模式的异同点，体系功能的差异性和发展路线图，正是这次的国外学习，我接触到了国际空管技术前沿领域，当时国际上正发展推出新航行系统概念，一些国家的实验室正从事预先研究和论证分析，陆续开展验证性实验，我的内心被国外技术的先进性深深震撼，筹划如何在我国国情下追赶国外技术，建立自主创新的空管发展技术路线图，成为我当时学习思考的重点。



回国时，我将国外考察和学习期间获得的所有资料都带回来了，并归类整理成册供项目组人员学习参考。经过半年多时间的探讨并广泛征求军地空管部门的意见建议，我总结提出了以“融”为特征的我国空管系统体系设计思路，融合军队和民航的需求，融合空管诸要素的功能，实现军民航空管一体化，实现空管空防一体化和平时战时转换一体化。根据空管系统建设具有明确的目的性，就是为军队和社会服务的要求出发，思考整个体系的功能布局；又从空管系统发展既要受到科学、技术与经验的引导，又要受到国防和社会发展需求的引导出发，在多种约束条件下围绕即定目标，进行了具有明确边界的架构设计。实际上，当时对设计这样的全国性体系有两个主流观点：顶层设计法和综合集成法。顶层设计是在明确系统目的和周边环境的情况下，根据系统目标对系统构成要素及其关联关系进行的自顶向下的系统设计工作。综合集成缘于对要素间关联关系的认识与构建，是通过要素间相关性的建立，自下而上形成一个新的系统整体的过程。面对这两种方法的争论不休，我查阅大量关于这种方法的论述及研究，总结提出了自己的观点：顶层设计是构建系统的理想方法，需要知识的预先积累和对事物的认识高度，在当时我国的条件下，空管系统才是刚刚试点建设了一个沪杭区域，预先累积的知识只是个别地区的实践，全国其他地区情况同沪杭区域还是有很大差异的，比如北京地区、广州地区，北京地区是全国政治、经济、文化中心，空防安全十分重要，广州地区是经济改革最活跃地区，国际性交往需求十分大。同时我国航空那时的发展非常快，这样在一个快速变化的发



实验室工作场景





展环境中，顶层设计的结果必然是短命的，其所需的知识背景也是不可得的；综合集成本质上讲是由于新的认识和发现所引发的后集成工作。综合集成形成的系统，与客观实际情况结合最紧密，但集成工作是渐进累积式的，通常在结构上不是很完美，其整体的功能指向也存在不确定性的风险。基于此，我在空管领域首次提出复杂体系构建的新思路：在体系目标、架构设计上向前看20年进行顶层设计，在建设实施中，采用综合集成，根据现实情况灵活调整具体实施方案，不断逼近期望目标，且同步开展新技术应用试点验证。

通过了13年的艰苦探索和实践，一次次地推翻预设方案，进行着上百次的实验室模拟验证，逐步将各方面的意见和建议整合到了我国空管大体系设计中。其中，针对军事飞行相对无序的复杂结构，我提出了计算军事空域飞行繁忙程度的算法，解决了复杂空域单元建模难题，建立包括航路/航线、军事空域和终端区的国家空域网络拓扑模型，并将全国空域切分成相互衔接的最小化运算单元，实现了空域结构的可

可视化、可度量、可计算，据此设计出与我国飞行实际情况相匹配的体系结构和自动化管制模式，填补了国内该领域空白，奠定了在我国缩小间隔控制飞行的理论基础。针对体系中人与系统、系统与系统的有机协同等问题，我又定义出军事飞行的12种管制状态，建立控制飞行的逻辑关系及对应的



我国现代化空中管制系统示意图

管制状态变迁关系，设计了多系统间的飞行计划协同与管制移交协议，解决了飞行全过程连续控制的难题。提出了从网络、信息和业务进行体系分层集成的方法，带领团队研制出关键的接口设备，最终实现了管制系统之间及与保障系统、空防系统的综合集成，构筑起高效的互联网络，成功完成了全军一体化空中管制体系的综合论证、系统建设和系统集成，制定颁布了4个国家军用标准、10个行业标准和全国空管基础数据应用标准，创建出全国、全军空中管制自动化系统的应用体系和技术体系，构建起全军一体化空中管制指挥平台并覆盖全国空域，实现了对全国空域飞行活动的有效监控和连续无缝管制，该平台与美

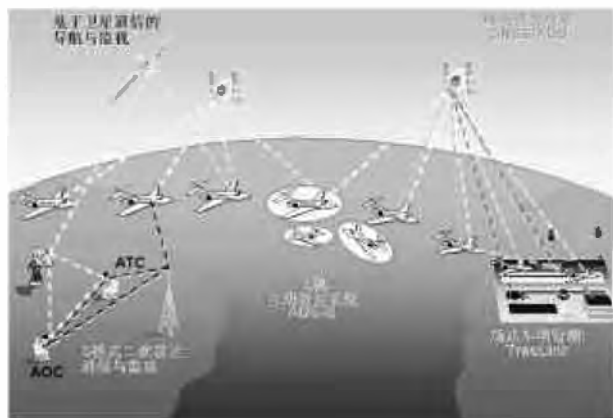
梅州学院



国、欧洲类似系统相比，在规模、网络结构和主要性能上基本相当，且由于我们是后建的体系，在兼容不断发展的新技术能力方面，我们的体系则更具优势。

系统投入使用后，使我国主要航路飞行纵向间隔由150公里降到20公里（美欧10海里约18.5公里），飞行垂直间隔由1000米缩小为300米（美欧1000英尺约304米），与美欧标准基本一致，实现与国际接轨，大大地提高了我国的空域容量，也使我国空管水平跨入世界先进行列。铺设起了一条条空中安全等级高的“高速路网”，保障了国民经济和国防的空中交通运输飞行的安全和效率，航空运输总量则以年均13%的速度增长，自2006年开始就位居了世界第二位，使我国航空运输系统已成为仅次于美国的世界第二大系统，且航空运输百万架次事故症候率低于0.1，而国际平均水平在0.9左右。

三、开拓我国空管技术新领域



新航行系统示意图

上世纪80年代末，国际民航组织提出了“新航行系统”概念，把自动相关监视技术、卫星导航技术和数据链技术应用到空管系统中，实现对现有空管系统的全新能力升级。新航行系统，实际上是以网络为中心，在数字化的通信、导航、监视基础设施支撑下的协同式空中管制系统，网络化和

协同式是其重要特征。天空地一体化网络为航空飞行提供无缝隙的信息服务，为空中和地面用户提供空中交通状况的实时综合性信息；通过综合各种航空导航信息源，可以构建一个全空域、全天候的高精度导航网络，提高航空导航系统的可用性、可靠性，保障各类飞行的安全和效率；基于机载与地面设备得到的航空监视信息，通过网络交换和融合处理，形成统一的空中交通态势；先进航空电子系统是新航行系统的机载端，对机内、机外的空中交通、飞行、气象、空中态势信息的采集、传输、存储和综合处理，实现自动探测、自动告



警，大幅度提升自主飞行能力；在空地飞行态势信息知晓能力均衡的条件下，实现管制员、飞行员之间的空地协同管制。正是由于新航行系统具有强大的技术优势，能够实现对现有空管系统的跨代升级，所以美欧主要的航空发达国家，为了抢占空管科技制高点和国际话语权，形成更大的技术优势和标准优势，加大经费投入量，不断进行实验室的模拟试验，逐步成熟后，于1995年开始进行各类应用验证。国外很多大公司由于看中了中国的这块市场，在新航行系统技术领域对我国进行了严密封锁，更谈不上进行合作研究了。

由于我在上世纪90年代初，在美国麻省理工学院学习期间，接触过新航行系统的技术情况介绍、参观过他们实验室的试验系统。所以，在我从事全国空管系统体系设计的同时，始终把发展具有自主知识产权和我国特色的新航行系统，作为思考的重要内容，在空管系统体系架构中预留了发展空间，便于未来能够同新航行系统技术衔接上。同时，我也不失时机地到解放军总部机关、空军机关和工业部门，宣传发展新航行系统的重要性。经过不断宣讲、解释，我的观点逐步得到了军地各级领导的肯定，此时我向国务院、中央军委空中交通管制委员会撰写了建议报告，建言制定我国新航行系统的中长期发展规划，并于1998年正式得到批准颁布，形成了正式立项。1999年在国内率先启动了军航新航行系统试验项目，代号为9905工程，时年38的我又担任了该工程的技术总师。

在我国要想实现自主研制军航新航行系统，就必须集合国内相关工业部门的技术能力进行通力攻关。在空军机关的领导下，我牵头了十几个工业部门围绕实现的技术难点进行艰难探索，其中的关键是如何实现军机的自动相关监视，来满足非雷达覆盖区的监视需求。国际上自动相关监视有合约、广播两种方式，但系统相互独立。军机飞行必须两种监视共存，由于军机设备空间有限、电磁环境复杂，难以同时装两套系统。需要研制两种监视方式合一的设备。经过我的分析研究，实现合一的难点是信息传输路径的自适应控制，于是我提出一种智能控制算法，通过地面控制地地、地空信息分发路径，在管制系统与飞机之间形成独立的信息通道，实现在广播式基础上的合约式监视。利用该算法，首次成功研制出两种监视方式合一的设备，解决了军机自动相关监视问题。提出的信息传输控制协议和格式成为国家军用标准。同时，我又发明了自动相关监视信息转换为雷达信息的转换方法和设备、军民航自动相关监视信息转换装置，有效解决了与民航系统的兼容问题。解决了上述问题后，我成功



主持研制出我国第一套军航新航行系统并于2001年陆续投入实际使用，大大增强了我国非雷达覆盖地区的空中管制能力。经解放军总部机关和军地专家们的考核，我主持研制的军航新航行系统掌握了核心技术，打破西方国家在该领域的技术垄断地位，也是我国第一个具有自主知识产权的新航行系统，标志着我国空管系统开启了更高水平的现代化建设。

随着经济社会的快速发展，我国通用航空需求巨大，尤其是私人飞行的出现。为了适应这一需求，国家从战略角度出发，提出在确保安全的基础上，逐步放松低空管制，大力发展通航产业，并作为战略新兴产业。围绕这一要求，我的研究逐步集中到了空域管理技术上。从2004年开始，我就着手从简化通航飞行审批程序等角度出发，研究我国低空空域分类划设方法，其中分类划设的基础和难点是如何准确评估划设的安全性。国际上主要通过碰撞危险性模型进行安全性评估，但由于我国通航发展相对滞后，总体飞行量相对较小，难以获取构建风险概率分布函数所需的大量统计数据。我根据空域安全涉及的人、机、环境、管理等要素，提出在理论碰撞风险分析基础上，增加因果分析和人因可



受到胡锦涛主席接见



靠性分析，建立了适合我国实际的安全评价模型。据此提出将低空划设为管制、监视、报告三类空域，并制定了系列适航标准。与国际民航组织推荐的7类空域标准相比，在没有降低安全水平的前提下，优化了空域类型和程序，为国家低空开放战略提供了有力的技术支撑，2009年国务院、中央军委发文明确要求，按照管制、监视、报告三类空域划设全国低空。

日常科研工作中，我不断归纳总结自己的研究心得，陆续发表了50余份重要的国防科技报告，撰写了2部我国空管领域的重要著作《信息化战争中的航空管制》、《空域管理理论与方法》。自2009年开始，我筹建了国家空域技术重点实验室并成为国家空管科技创新核心平台，围绕我国空域资源开发使用，进行空域网络规划、空域评估和飞行流量控制的理论和技术研究。总结我自己的多年主要工作：一是为适应军民航飞行量和空域使用需求的急剧增长，我解决了自动化管制的核心技术问题，建成全军一体化空中管制指挥平台，实现我军管制手段由手工到自动化的变革，大大提高了我国空域飞行的容量。二是针对陆基雷达无法在沙漠、海洋地区部署的局限性，突破军机自动相关监视的关键技术，我成功主持研制出军航新航行系统，为非雷达覆盖区管制提供了有效手段。三是面对国家实施低空开放战略对空管的新要求，我提出低空空域分类划设方法，为低空开放提供了有力的技术支撑，促进了国家空域资源的高效使用。

结束语：惟其首创，更知其难。我有幸被时代、国家、军队选择从事我国空中管制系统建设，倍感珍惜我的工作机遇，自己个人的努力实际上是渺小的，更多地是我们空管领域大家的共同努力才有今天的成就。尽管我们尽心尽力、殚精竭虑，但毕竟才识有限，汲深绠短，面对未来我国空管建设发展的系统升级换代和持续应用新技术，需要年轻一代付出更大的努力和艰辛。我常或凝望远景，仰望苍穹白云，在其中的冥想沉思十分宁静，只有在这种宁静中，才容许那些宁静产生作用，对于一个人来说，如果不是每天思索，指引我们一切工作和每天生活的星就会暗淡。