



飞翔的思绪

中国大飞机研发道路思辨

程不时◎著

本书是运10副总设计师、C919专家组成员程不时对我国“大飞机梦”的历史踪迹记录，也是他对大飞机相关话题见解的记载。希望本书不仅能让您感受到新中国大飞机工业的发展与振兴，更能对您今后的人生有所启迪。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

飞翔的思绪

中国大飞机研发道路思辨

程不时 著



机械工业出版社

《飞翔的思绪:中国大飞机研发道路思辨》分为四个部分,辑录了近半个多世纪的不同时期,作者在我国航空领域所亲历的实践活动,以及在所参与过的有关发展讨论中的见解等。

《飞翔的思绪:中国大飞机研发道路思辨》是对“航空”这种飞翔事业的一种历史踪迹的记录。希望本书不仅能让您感受到新中国航空工业的发展与振兴,更能对您今后的人生有所启迪。

谨以《飞翔的思绪:中国大飞机研发道路思辨》献给广大的航空爱好者、关心我国航空工业发展及有思想和抱负的人士!

图书在版编目(CIP)数据

飞翔的思绪:中国大飞机研发道路思辨/程不时著.
—2版. —北京:机械工业出版社,2016.7
ISBN 978-7-111-57964-9

I. ①飞… II. ①程… III. ①航空-中国-文集
IV. ①V2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 218375 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:李 军 责任编辑:李 军

责任校对:梁 倩 封面设计:马精明

责任印制:张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2017 年 11 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.25 印张·285 千字

0001—1900 册

标准书号:ISBN 978-7-111-57964-9

定价:59.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

PREFACE

在人类历史的长河中，20 世纪到 21 世纪可以说发生了科技的“井喷”。一个世纪多的科技进步，几乎超过了过去几千年的科技进步。而在 20 世纪初发生的人类第一架动力飞机的起飞，使航空这种“飞翔事业”几乎与 20 世纪同步发展，成为这个辉煌世纪的最具标志性的发明。

航空百年发展的轨迹中，在 20 世纪中期出现了大飞跃，具有鲜明的转折和里程碑性质。第二次世界大战中出现的喷气技术、核技术和电子技术，给后半世纪人类社会的发展带来深远的影响。喷气技术推进了飞机的高速化、大型化的过程；电子计算机在飞机的控制、仪表系统以及计算机辅助设计和制造上造成了今非昔比的突飞猛进；而核技术的出现，不但在科学技术上开拓了崭新的领域，并且还产生了一个附带的效果：自原子弹在战争中出现以来，人们震惊于核打击所造成的毁灭能力，竟使世界规模的冲突出现了超过半个世纪的停滞，从而促成了航空事业发展的新增长点——民用运输业空前蓬勃的发展，这又相应地形成了“地球村”的概念，开始了“全球经济一体化”的进程。

我国的航空事业，始于 1909 年冯如研制的第一架中国飞机，至今也有了百年的历史。中国的飞翔事业，就起点而言与世界航空的差距并不大（与世界第一架飞机出现的时间相差 6 年，用世纪的尺度去衡量，几乎可以说是同时发生）。在 20 世纪的前半叶中，我国有些著名人物表现出很出色的航空业绩，如王助担任过美国波音公司的第一任总工程师，钱学森、吴仲华等航空学者在航空理论上也有过突出的贡献，但在总体上由于当时并未强调自主发展的道路，所以点滴的成就没有汇聚成为显著的繁荣。

1951 年，新中国成立航空工业局。也正是在这一年，我从清华大学航空工程系毕业，从此进入到航空工业建设的队伍之中，可以说是“正逢其时”。我有机会目睹了世界航空技术在 20 世纪后半叶的急剧变化，也亲身见证了新中国航空工业的振兴。记得当时新中国第一批要建立三家飞机工厂和三家航空发动机工厂。我得以投身于这六家工厂中五家的建厂设计中。1956 年，当我国决定自行设计飞机的时候，我又得以成为第一批调入这个新中国最早的飞机设计机构“第一飞机设计室”的人员。从此在飞机型号设计的岗位上，我参与设计了我国最早一批自行设计的飞机型号，先后介入设计的飞机，有低速的、超音速的，喷气式的、螺旋桨推进的，单发动机的、多发动机的，军用的、民用的，小型只坐一两个人的，以及 20 世纪我国自行研制的最大飞机运 10。运 10 起飞重量超过 100 吨，可以搭载 150 人，航程超过

8000 公里。在本书中，我摘录了一些自己参加我国航空工业“硬件”建设中的一些回忆，如最初的工厂建设设计和后来一系列的飞机型号设计，从个人经历的角度，反映我国航空工业从无到有、从弱到强发展的部分历史轨迹。

我在航空工业战线工作的近 60 年中，正值世界航空技术发生剧变的 20 世纪后半叶，因此我的工作，除了上述的“硬件”建设之外，还必须有概念和方法等相应的“软件”同步建设。接受和推广科学思想、解释新的概念、介绍新的方法，也成为要达到设计目标必须完成的任务。比如我在大学航空工程系的课堂里听课时，并没有喷气技术和高速空气动力学的内容。这些新技术在当时还没有进入课堂和教科书。但是我接到的第一项飞机设计任务，就是设计中国第一架喷气式飞机。不久我又接到设计中国第一架超音速飞机（强 5）的任务。因此设计人员必须勤奋地自学迅速发展着的新知识，还要把学到的知识传授给别人，这样才能共同工作。为此我发表过许多介绍世界航空技术最新进展的综述性及专题性的文章。又比如我国 20 世纪最大的飞机运 10 的设计中，我国航空界首次大规模使用电子计算机。我除了自己掌握这种新型工具之外，同时还编写了我国首部《计算机辅助飞机设计》专著。在运 10 的设计中还首次接触到民用飞机的“适航标准”问题，我不但在刊物上首先发表论文，阐述“适航标准”的实际含义，并成为主持我国首部“适航标准”主要起草人之一。在航空技术急速发展的洪流之中，我除了担任具体产品的创造者之外，还在某种程度上成为规则的制定者，手册、指南、丛书及研究生教科书等的编著者。我对 20 世纪 60 年代兴起的“系统工程”的思路有些体会，写作了《工程设计中的系统工程》专著；为提倡工程设计中的创新思维，出版了《发明与革新》专著；主编了《民用飞机总体设计手册》等。在本书中，辑录了这些新概念建设中的一些篇章。

科学思想的传播、新方法的推广，并不是只用正面讲解就可以永远达到目的，有时会受到传统意识的强大抵制和反抗。比如在 20 世纪的最后 20 年中，我国民用航空工业的发展遭到严重的挫折，主要是因为行业内一些论者看不到大型客机对社会发展的战略作用，在发展思路则主要希望得到外国的扶植而放弃自己民族的奋斗；主张中国只能发展小飞机，而千万不能发展大型客机；主张飞机的型号发展只能依靠仿制，而决不能自主创新。在管理体制上，则希望对民用客机的生产也沿用军事工业的体制，这样对本行业有利，而不愿进入商品开发的竞争环境。

这些争论，反映了我国在管理理念上，特别是在对知识产权的认识上，远远落后于科技先进的国家。在商品经济发达的西方世界中，第一部鼓励创新、保护知识产权、鼓励社会良性共享创新成果的专利法，诞生于五百多年前。在西方国家，知识产权的意识早已家喻户晓，成为社会的共识。但从小农经济走出来的我国乡镇企业的发展过程中，可以看到一个时期中假冒伪劣产品充斥、盗版仿制盛行。我国参加巴黎保护知识产权的公约才二十几年，一些基本概念还没有为广大的人们所认识。一些人仍把仿制认为天然合理，甚至将其列为我国工业发展的基本“道路”来提倡。

经过 20 世纪最后 20 年全国性的大辩论，关于发展我国大型客机的战略终于在

21 世纪最初的十年内，用“国家意志”予以肯定。以 20 年的时间取得了我国在知识产权认识上的跨越，快步赶上世界先进理念，是非常重要的理论成果，对今后的发展具有深远的意义，其价值决不应被低估。

我在 1956 年开始投入我国第一架飞机的设计准备时，便开始不断为航空科技刊物写介绍世界航空技术发展的文章，此后在国内三所主要航空航天大学（北京航空航天大学、西北工业大学、南京航空航天大学）兼任教授，曾担任《科学画报》的科学顾问、“上海科普作家协会”副理事长、《航空知识》编辑委员会副主任及《中国大百科全书》第二版航空航天学科的副主编等。在多年的科技教学和写作生涯中，写作过很多不同形式的文章和书籍。

本书中所涉及的文章前后覆盖的时间跨度比较长，其中有不够成熟的地方，欠妥之处，希望读者批评指正。

程不时

CONTENTS

目 录

前 言

第一部分 关于大型客机的实践和思考 1

- 一、昆仑、长江上空的大鹏——运 10 研制回忆 1
- 二、运 10 研制中的人和事 16
- 三、从航空史看大飞机的发展 22
- 四、大飞机的发展 32
- 五、对发展我国干线客机的几点意见 35
- 六、关于大型客机的问答 38
- 七、大飞机的横空出世 42
- 八、知识经济中的设计与开发——关于我国民用航空工业发展的思考 ... 46
- 九、论掌握飞机型号的知识产权 49
- 十、运 10 在技术上的建树 54
- 十一、运 10 研制中的四大精神 57
- 十二、运 10 的出现说明了什么 60
- 十三、飞机还能造得更大吗 64
- 十四、大型客机与军用运输机的异同 68

第二部分 航空知识 71

- 一、飞翔与鸟瞰 71
- 二、世纪作证——飞机在 20 世纪中所起的作用 75
- 三、飞行的世纪 80
- 四、飞机发动机的翼吊与尾吊布局 86
- 五、谈飞翼式客机 90
- 六、关于空中加油机的问答 94
- 七、飞机该怎样驾驶 98
- 八、飞机与冷热 103

第三部分 长空回忆 107

- 一、魂牵梦萦的岁月——记我国第一架喷气式飞机的诞生 107

二、放歌异国的天空——忆初教 6 的设计	113
三、雄鹰展翅——忆强 5 的诞生	120
四、我的“非职务设计”——勤工号	126
五、闯过音障和创造性思维	133
六、从太阳岛飞向世界	141
七、回眸 20 世纪我国的航空工业	149
八、搏击长空的雄鹰——记我国航空工业创业者熊焰	154
 第四部分 关于科学方法、科学思想和科学精神	165
一、我国飞机设计师谈飞机设计	165
二、飞机设计的“原准法”与“综合法”	168
三、“什么”是设计和“怎样”做设计	178
四、论掌握飞机型号的知识产权	185
五、飞机型号研制与预研的关系	190
六、论飞机的改型设计	193
七、工程设计中的解决问题	198
八、设计与试验	205
九、飞机设计与模型	212
 后 记	220

一、昆仑、长江上空的大鹏

——运 10 研制回忆

1. 雁南飞

从人类第一架飞机的出现到 20 世纪的后半叶，航空技术的发展也经历了半个多世纪，这时大型喷气运输机已成为世界航空技术发展的前沿。航空运输的发展带动着经济发展，出现了“腾飞”的现象，有了“地球村”的提法，并促进了 20 世纪末“世界经济一体化”的出现。因此，大型飞机的发展在一个国家的政治、经济、军事、科技、工业、社会就业等多个方面起到了举足轻重的作用。

21 世纪的现代人可能认为大型飞机对国防和经济建设的重要性是显而易见的，但不大理解在 20 世纪 70 年代初，将大型运输机的研制提上日程对我国航空工业是多么重大的转折。我国航空工业在建立初期偏重于军用飞机，重点放在歼击机上。由于计划经济造成的思维惯性，产业发展方针有人制定，但没有人根据社会的发展而“与时俱进”地进行修订。因此“解放牌汽车”一生产便是几十年；在航空界，当歼 6 优质生产过关以后，也有人提出“歼 6 万岁”的口号，意思是说可以生产一万年。

20 世纪 60 年代，周恩来总理出访欧洲，自此中国在与世界多年隔绝之后，第一次看到了世界空运的发达。当时，我国尚没有喷气客机，周总理是乘坐租赁的外国航空公司客机出访的。外国报纸报道周总理此行时说“中国尚未进入喷气时代”“中国是一只没有翅膀的鹰”。周总理针锋相对地允诺说：“将来中国有了自己的大型喷气客机，一定邀请各国记者乘坐环游地球。”

为此，大型飞机的研制任务于 1970 年 8 月由国家以文件形式下达。按照当时国家重大工程的编号办法，这项工程曾被称为“708 工程”，指国家文件下达的时间是 1970 年 8 月份，以后该机型被命名为运 10。

第一部分

关于大型客机的实践和思考

本部分是对 20 世纪我国研制大型客机运 10 过程的一些情况的记载，并借此澄清一些论点、陈述一些观点。这里的基本点是热烈拥护 21 世纪以来我国在航空工业上采取的新战略方针。

运 10 研制的地点定在上海，理由是可以得到上海较发达的科研与工业力量的支持。但是当时上海的航空工业基础却是薄弱的，从历史上追溯，只是在 20 世纪 30 年代初，上海的江南造船厂曾制造过双翼的水上飞机。新中国成立之后，由于上海是沿海城市，不是发展航空工业的重点地区，因此只有飞机修理工业。

为了研制运 10，国家决定从全国各地调集航空技术人员组建队伍，人员来自数十个不同的单位。最终 300 名各飞机设计所、飞机工厂、航天部门的技术人员、航空学院的教师齐集上海。

1971 年 9 月一个阳光明媚的上午，在小平房研制超音速教练机歼教 6 的工段里，我穿着工作服正在工作台前进行着日常的生产劳动。“大白楼来电话，叫你去一下。”接电话的同志从里间出来对我说。我那时 41 岁，已经在航空工业建设队伍中工作了 21 年。这句话，改变了我以后 30 多年的人生道路。

大白楼是这座工厂的厂部办公室。接到通知叫我去后，我一路禁不住在想：会是什么事呢？

在二楼的一间办公室，一位女干部对我说：“现在国家决定在上海开始研制一种民用飞机，决定把你调到那里去工作。以后，你就在民用飞机这条线上去发展了。工作等着要开展，你尽快去报到。”

前一段时间上海到沈阳工厂调人的事，已经在工厂里传得沸沸扬扬了。新中国成立以来，上海曾支援全国各地建设，各航空工厂有不少从上海派出的人员，还有一些在各地航空部门工作的原籍上海的大学毕业生。因此当有到上海工作的机会时，各单位申请回上海的人员自然排起了长队。但我与上海并无渊源，我的原籍不是上海，也不是从上海的学校毕业，所以，我并没有参加这支请调的队伍。

后来才听说，是上海组建设计队伍的部门，知道我在飞机设计中的经历，点名要我去参加工作的。因此，当听到对我以后工作的安排时，我既没有陌生感也没有欣喜，只感觉到即将投身于新战场的兴奋浸润了我的全身。

我赶紧收拾行装。我的书籍很多，装了好几大木箱。沈阳工厂派了一辆卡车将我和这些木箱送到火车站。离开时，与我在歼教 6 小组一同工作的朱炳良送我到车站，帮着我抬箱子，这份情意让我永世不忘。

我的妻子贺亚兮这时还在北京设计院工作，5 岁的女儿和她在一起，我刚出生的儿子此刻在湖南我的父母家中，后来妻子贺亚兮也调到上海和我在同一个单位，我也从湖南接来我一岁的儿子，多年分居的家庭在上海相聚了。我在 41 岁时，总算第一次有了真正的家庭生活。

2. 大鹏的产房

我幼年时在武汉看到的从头顶低空飞过的旅客机，是飞机在我心目中最初的“天使”形象。当时我多么急切地想要去接近它、去触摸它！而此时，我就要投入这类飞机的研制了！

在航空的发展史上，第一架飞机的发明者莱特兄弟对飞机功能最先想到的就是能投入民用运输，但他们接到的第一份订货单却是一架军用飞机——美国军方订购的一架教练机。不久发生了第一次世界大战，还在襁褓中的飞机，技术状态还不完善就被投入到战场中。

第一次世界大战刚结束，飞机马上转入民用，形成世界空运事业发展的第一个浪潮。在航空百年发展史中，飞机技术交替地从军事冲突和民用发展中获得进步。第二次世界大战自然使飞机技术提高到了一个新的阶段；而第二次世界大战以后的民用航空技术的发展高潮，成为整个20世纪人类社会发展的一个鲜明特征。

我投入航空建设的前20年，主要围绕军用飞机开展工作。从第21年参加运10飞机设计开始转到了民用飞机的轨道，我又继续工作了近30年。人类的航空技术本来就交融着军用和民用航空两方面，我个人参加这两类飞机的设计经历，也起到了相互支撑的作用。

运10工程刚开始时期，我们工作条件十分艰苦。设计场所不够，设计人员就在工厂的食堂里绘图，快开饭时再把图纸收起来。许多大型技术讨论会就在食堂举行，有的设计组甚至在装运战斗机的空包装箱内工作。上海的夏天酷热难当，机场入夜，蚊虫成群，而人们往往会工作到深夜，设计人员不得不用报纸包裹起肘部及腿部继续绘图作业，因此可以想象当时的条件是多么的艰苦。随后，设计所“借用”龙华机场已经不用的候机楼作为工作场所，这一借用就是20年。

我的一家4口，刚开始住在一所卫生学校的宿舍中，后来搬入专门为工程人员建起的一栋宿舍楼。我家住在一间11平方米的小房间里，由于隔壁就是水房，一边的墙上水渍斑斑，5岁的女儿得了关节炎。我的岳父母不久因病来上海，岳母的双腿截肢，一家3代6口挤在这间小屋里，晚上打开行军床后就不能转身。做饭使用煤油炉在室内操作，一次3岁的儿子不小心一屁股坐在了滚烫的煤油炉上。就是在这种艰苦的条件下，大家仍然一心扑在工作上，我晚上也经常要伏在木箱上编写计算机程序。

我到上海参加此项工程时，初期担任总体设计组副组长。当时在“文化大革命”期间，总体设计组的“组长”是一名技校毕业的四级工，他从不参加技术上的讨论与决定，也不从事任何设计工作，没有对运10工程做出实质性的贡献。到工程的后半期，我担任了副总设计师，分工主管总体设计、气动力分析、计算机和试飞工作。

3. 要当中国航空产品的家

在运10开始研制时，世界喷气航空技术已经开始了约15年。我们要为中国的喷气运输机选择合适的式样，世界的成就都在我们的视野之内。

比如对发动机位置的安装，世界上已经出现了三种方式：前苏联的图104采用的是翼根式，英国的三叉戟采用的是尾吊式，美国的波音707采用的是翼吊式。这三种方式都在我们设计的考虑范围之内。

首先对苏式的翼根布局，我们从技术上分析后否决了这种不合理的布局。而对

尾吊式和翼吊式，我们都制作了1:1全尺寸样机来比较优劣，对它们都做了风洞试验对比，从中选择适合运10的翼吊布局。后半个世纪全球航空发展的实践证明，我们为运10选择的布局成了喷气运输的主流布局。以后欧洲和前苏联的飞机也都采用了这种布局。到了21世纪，最新出台的大型喷气运输机也仍然采用这种布局。

又比如飞机的翼型，我们把能获得的前苏联翼型、欧洲翼型和美国翼型都制造了风洞试验模型，放到风洞中去试验，最后根据试验数据为运10选择了最合适的翼型。

在运10设计中遵循的，实际上是爱国工程技术人员的先驱詹天佑、茅以升所走过的道路。他们用世界的铁路技术在中国险峻的八达岭上修起京张铁路，用世界的桥梁技术在海潮汹涌的钱塘江上建起大桥。这也是我国飞机设计的创建者徐舜寿一贯提倡的“熟读唐诗三百首，不唯外国机型论”的设计方法，即“博采众长，为我所用”。

但是，这种研制道路，却遭到“仿制论”者强烈的抵制。他们最反对的，是“由中国人来当中国产品的家”，他们认为中国只应该生产外国产品，只能由外国人来当家。在发动机安装方式的问题上，他们不顾所有的技术分析和试验数据，强烈要求走“图104的道路”，采用翼根布局，最多也只能退到尾吊布局，而绝对不能采用翼吊布局，他们认为这是“美式”。这种意见如此强烈，以至于在高层会议上用鲜明的措辞响亮地提出，并从此埋下“仿制派”以后长时间贬低和抵制运10成果的伏线。

他们嘲笑运10经过试验比较再选择翼型的方法，一直闹了20年，经常在各种场合揶揄说：“运10采用的是一种外国翼型，你知道吗？”仿佛这是个天大的不可告人的丑闻。实际上只是因为他们认为应该理所当然地采用苏式翼型，而运10没有这样做。其实，翼型作为一种工程研究基本成果，是全人类共有的财富，各国都可以挑合适的来用。正如不能因为爱迪生发明的电灯泡是圆的，中国的灯泡就偏要做成方的；福特造的汽车是四个轮子，中国汽车就必须造成五个轮子一样。整个20世纪内，中国所有的飞机使用的都是外国开发出的翼型，从来没有一种飞机使用“李时珍翼型”或“祖冲之翼型”等纯民族牌的本土翼型。

4. 良好的起点

运10的设计对我来说是难忘的经历。仅它的平尾面积，就比我过去参与设计的喷气战斗机的机翼面积还要大上五倍。运10是我国的飞机设计首次从十吨级向百吨级冲刺。在科学技术上，凡数量差上十倍就称为达到一个量级，事物就会有质的变化。如果说我国过去设计的飞机是一些小艇，那么运10就是一艘巨轮。

大飞机并不是小飞机简单地放大，正如同巨轮不是舢板放大的一样，连自然界的大象也不是老鼠形态的放大。尺寸放大以后，出现称为“尺度效应”的现象，需要重新找到解决的途径。例如长达40多米的翼展，运10就不可能再按小飞机一样将

机翼设计成为“刚性”机翼，而必须考虑“气动弹性”效应，按“柔性机翼”的原则来设计。许多构造和系统，甚至概念和方法，都面临着新的挑战。例如，小型飞机的机翼上一般有四片辅助翼面（一对副翼，一对襟翼），但运10机翼上的辅助翼面竟然多达50片，每一片都要解决构造问题、功能问题和操作问题。如果没有接受新事物的创新开拓精神，很难完成这种量级的跳跃。

当我还在“第一飞机设计室”的时候，有一群大学生来实习。我给他们专门讲过一次飞机构造的发展。当时我讲的还是带有“前瞻性”的发展方向，例如整体壁板、蜂窝结构、变厚度蒙皮及整体油箱等。当时这些在小型喷气飞机上采用并不紧迫，但在运10飞机，却必须全部用上，不然结构重量会使飞机的有效载荷大打折扣。

运10在飞行中的大部分时间是在“高亚音速”区域巡航，因此，机翼的设计要在这个速度范围内最有利。这样大吨位的飞机，却必须在通常的喷气飞机跑道上起降，因此机翼上增升装置的形式和数量都比小型飞机复杂得多。结构上，机翼内的整体油箱需要装载50多吨燃油，而在此前我国自行设计的飞机上获奖的整体油箱项目的载油量仅为40千克。整个机身是一个密封的客舱，在高空需要承受压差并保证结构的疲劳寿命。

在操纵系统上，如此巨大的尺寸，在过去小型飞机上通用的“硬式操纵”系统，不但因杆件过长而不能保证受压稳定，并且在高空由于温差造成的热胀冷缩现象也会使中点偏离中位，因而不得不使用“软式”的钢索操纵系统。

虽然运10比我以前设计的飞机大了许多，但仍然存在许多通用的东西。一般来说，当出现众多矛盾时，如何保证优先级的的问题以及解决问题的思维方法等，对小飞机和大飞机都是类似的。我在过去一些机型设计中的经验和思考方法，对解决运10设计中的问题带来了很大的方便。我在运10设计中一边学习，一边运用自己的所学，使原有的知识得到前所未有的扩大和充实。

我刚来上海时许多人还不认识我。我提出了飞机的起落架位置应该向后移动，这样重大的改变一般会引起很大面积的技术工作返工，会招致许多人的反对。但是我召集有关人员共同开会，讲清理由之后，意见很快被听取，飞机的参数相应作了更改。

这种新领域的设计，设计中需要直接参考大量的国外技术资料，运10是我国第一次按欧美的“适航标准”作为设计规范来设计的飞机。设计所的“资料翻译室”聘我为兼职翻译，除了分配给我国外资料的翻译任务之外，其他技术人员阅读外文资料弄不懂确切含义时，便来找我。这样的附带收益是使我在解决别人英语障碍的过程中了解到了相当广泛的技术知识。为了这些翻译和辅导工作，翻译室特别发给我一本厚厚的英语词典作为“奖励”。

我对大型飞机的设计特点作了一番探讨，然后将研究结果给总体气动研究室全体人员集中讲课，并写了一篇总结性的文章。北京管理机关派了一位老专家来上海，组织出版了一本专门阐述大型飞机设计特点的书，把我这篇选为第一篇。这位老专

家还在总结大会上因这篇文章表扬了我。

航空界一位工艺方面的老专家，这时也对一种外国大型喷气飞机的技术进行了研究，总结出很多值得注意的要点。有一次他特地来和我交流心得，我向他学习了不少。但是最后他说，干脆放弃运 10 的总体方案好啦，我们来测绘仿制外国这种飞机。

我当时感到很意外。我国飞机设计事业的奠基人徐舜寿是明确反对“唯某种外国飞机论”的。产品发展之道，应该由我国设计人员对产品进行“工程综合”，创立我国有知识产权的产品，这一直是我的信念。我数十年来从事航空设计始终在做这方面的工作。此时提出“测绘”某种外国飞机，不是完全彻底的“唯外国飞机论”吗？

出于对他的尊敬，我觉得没有必要和他争论个水落石出，便只有沉默。后来我才知道，他误会了我沉默的含义，以为他说服了我。

他后来去对运 10 工程的组织者说了同样的意见，并且说，在研究了一种外国大型喷气飞机之后，程不时有很好的意见，建议工程组织者好好听一听程不时的看法。

组织者来到我的办公室，开门见山说明他来访的目的，说：“那位工艺专家说你有很好的意见，要我来听一听，我今天就是特地前来听你的看法。”

我这才知道，原来是“仿制论”崇尚者把我拉为同盟，来向运 10 组织者施加压力。但是我并不同意“仿制”技术路线。

组织者既然是来听意见的，我便将我认为运 10 应该采取的十点先进技术讲了一下。我说完后，组织者看着我的嘴，等我说出建议仿制国外飞机的建议。他也许预料我会讲的，可是我始终没有说这样的话，于是他便起身走了。

我说的十点先进技术，以后都用到了运 10 上。但运 10 总体上作为一项中国设计的特点，却鲜明地保持了下来。我们自觉地在运 10 研制中摒弃了“仿制”技术路线。

那位工艺专家后来成为国内“仿制”路线的代表性人物，而在以后的讨论中，我成为“自主开发”方法的明确主张者。“仿制”技术路线在以后 25 年内再也没有在一架中国飞机上显现威力，只不过成为国内航空界攻击“自主开发”路线的一种情绪倾向而已。到了 21 世纪开始，我国发展民用客机的技术路线明确提出了“以我为主，自主开发”的方针。

1972 年的方案评审会议上，我准备了一个关于总体设计的型式选择论证全面报告。全国来的专家听了这个报告，认可通过了运 10 的设计方案。

在召开运 10 的方案审定会议时，全国知名的一些飞机设计师来参加讨论。我遇见了 20 世纪 50 年代初期在沈阳“第一飞机设计室”时共同工作的设计师陆孝彭，我陪同他一起观看了运 10 的木质样机。这样巨大的飞机，以 1:1 的尺寸用木质制造出来，摆在当时的厂房内，垂尾的顶端几乎触到厂房顶棚，而翼展伸展开去，真是一个庞然大物。

陆孝彭满怀兴趣地参观了样机，一面和我讨论，一面发着感慨。他说：“这架飞

机最大的优点是按国家的正式任务研制的。这是最有力的保证。”他对这一点非常羡慕。

他是有感而发的。因为他曾主动提出过一种“轻型歼击机”的设计，就是被称为“空中李向阳”的喷气歼击机。但是这并不是国家从上向下的途径下达的任务，因此研制过程十分艰难，飞机虽然试飞了，却中途夭折。

我对他也谈了自己的感受。我说运 10 这样大的飞机，研制周期要以 10 年计。我过去已经参加研制过不少型号飞机，但像运 10 这样规模的飞机，看来研制完成后我也不可能再从事别的机种的研制了。陆孝彭想了想，说：“那倒也是。”

没有想到，陆孝彭看好的运 10 工程的优点，即便在 1970 年正式下达任务、在 1980 年的全国科学大会上再次确认，并列为国家重点，后来却仍然因种种变故而搁置，这主要还是由于航空工业内部存在一种因循守旧的陈旧思潮。而陆孝彭自己，在研制“空中李向阳”之后，也只是领导了一些改型设计和课题研究，没有再在新型号机型中发挥他的设计才能。

5. 充满创新意识的过程

运 10 工程中，采用的新设计方法、新规范、新技术、新工艺、新材料、新成品附件的幅度，是以前的型号设计中所罕见的。运 10 飞机上出现了许多国产飞机上从未有过的系统和设备。有些过去有过的项目也在原理、概念上大不相同。这些出自型号特点而提出来的需要，通过这支生气勃勃、求实创新的技术队伍的不懈努力，终于迈过了一个又一个的门槛，使需要与可能得到良好的结合，使我国飞机设计的能力进入到一个新的境界。

运 10 的各个设计环节充满了创新。比如系统试验室为模拟飞机整体在空中的各种姿态，设计了一种用三点支持全尺寸机翼的万向支撑，就是一个很有创意的设计，受到原航空部何文治副部长的高度赞扬。

总体组经常需要处理各式各样的事，不论问题大小，都要想出解决办法。一次负责设计外形的女工程师问我：一块蒙皮的形状在后方要与气流相切，应该怎样设计？我说，就用三角正切函数的数学规律好了，因为正切规律在数学上是光滑的，而到直角时数值等于无穷大，正好与气流方向相切。她听后想了想，点点头就按这样设计了。

我以前没有处理过同一问题，也没有在书籍或资料上读到过应该怎样处理这个问题，但飞行证明这部分的设计情况良好。后来我在总结中谈到我“灵机一动”解决这个问题的经过，有一位循规蹈矩的工程技术人员指出我“用词不当”：严肃的飞机设计问题应该总是经过严密推导才能解决的，怎么可以灵机一动呢？

我觉得这正是很多不懂得创新思维规律的人常有的观点，他们认为每一步都应该遵循先人踏出来的路走。事实上人们在解决问题的时候，常常需要调动大脑内潜意识中埋藏的各种信息，并进行特定的综合拼装才能找到途径。创新意念常常是在

思维的非逻辑运转下形成的，所以“灵机一动”是发明与革新中经常取得效果的来源之一，需要当事者丰富的知识内藏和灵活的处理能力。我后来写了一系列关于“灵感”的成因和思维锻炼的文章，在许多报刊上发表，有几篇在数十年后被收进“20世纪代表性科学小品文选集”中。

在部件技术设计和零件细节设计中，一次在各设计室主任的会议上，我着重谈了重量在飞机设计中的重要性。重量是设计质量的一面镜子，反映设计的优劣。在设计中应该控制重量的增长，掌握控制的办法等。我讲完后，一位与会的室主任大声地强烈提出：“这个报告应该向全体设计人员讲，让大家都听到……”

接下来两个星期，我几乎每天都要向一两个设计组的成员重复讲这个报告。很多年后，一位老资格设计人员告诉我说，他印象最深的是我当时讲到一个比喻，说“飞机上多余的重量并不像一堆煤一样堆在某地，只要把它铲掉就完事了，而是隐藏在飞机各处，需要精心工作去把它们挖掘出来……”

我自己倒不记得这句话了。当时我们下到每一个设计组去帮助具体减重，控制设计过程中重量的增长，并建立了一种重量通报，每周印发向全所通报重量工作进展的情况。

在运10研制过程中，我们运用计算机开发出138个应用程序。我自己也编写了不少计算机程序，使运10首次在我国飞机型号设计中大面积使用计算机辅助设计。此外我还在工程设计中用电子计算优化方法进行了研究和开发。中国科学院的数学研究所派一个小组来向我调研我的工作进展，我提了几条意见，他们认为很有启发。国防工业系统也派人来了解我的工作进展，特邀我参加在烟台召开的专门会议，在会议上特地给我四倍常规发言的时间来讲述我们在飞机设计中运用优化方法的结果和体会。

我开发出的这种程序，被用在解尾旋多元方程上，计算结果与价值昂贵、周期冗长的试验很接近；也用在飞机水面迫降的水线计算上，而这用其他方法几乎无法计算。我还将这种办法用在以我为主进行的“大型飞机水系统调整重心的方法”上，在百吨以上的飞机上实际试飞时，用水系统达到灵活准确调整全机重心的目的。当时我就乘坐在飞机上，在水系统成排的水桶架旁按照计算机的计算结果调整着水量和全机重心。

“四人帮”倒台后，1978年全国科学大会在北京召开。我主持的“水系统调整重心的试飞方法”，获得了全国科学大会奖。在上海也召开了地方性的科学大会，在万人体育馆举行。我写的《计算机辅助飞机设计》等两部专著被裹上红绸送上主席台作为单位的献礼。

我结婚比较晚，那时快50岁了，而儿子还在小学低年级。我在锣鼓喧天中和一群受表彰的科技人员一同走向主席台时，穿过体育馆场地中载歌载舞的儿童，看到蹦蹦跳跳的儿子的双颊被老师涂成两个红饼，那形象实在好笑又可爱。他看见我胸前戴着大红花，也很奇怪地不断转头看我。

6. 翱翔在祖国领空

自从1970年8月任务下达以来，至1980年9月，全国多少人付出了10年辛劳，才使运10飞机完成了一切试验及地面准备。这时何文治新任原航空工业部副部长，上任的第一个任务，就是集中一大批全国各地的航空专家来上海，对运10进行首飞前的技术审查。

专家们连续几天听了我们汇报设计过程及技术准备情况，观察了现场，检查了飞机。最后对我们的汇报基本满意，只提出一项补充试验。就是发动机灭火系统，因飞机上管道长度太长，过去只分段做过通气试验，他们认为全系统在飞机上安装完毕之后，应该再作一次贯通的试验。因为这是原航空部审查组特意指出需要补充的试验，大家也非常慎重，到场的各方面人员很多，试验时我在现场。实际的试验只在“接通！”一声令下，“扑哧”一声就完成了，前后只有2~3秒钟。

何文治副部长在审查结论会上说：“来上海前，听到关于这架飞机的种种传说，感到主持试飞的任务不好办。但是来了以后，实际看到的情况，与我以前听到的完全不同。在你们工作的基础上，我可以签字，同意试飞。”

原来对运10在技术上指责的种种意见，主要来自原航空工业内长期从事仿制外国飞机的人们。他们关心的角度集中在试制的工艺装备是否齐备，因为这是仿制现成的机型所遇到的主要问题。但研制一个新的型号时，主要问题应该注意设计思维是否健康，设计试验是否足够。何文治本人在20世纪50年代亲身参加过我国早期一些新飞机型号的研制，因此他能够掌握问题的主要方面，对一些不得要领的或单纯出自情绪上的抵触而提出的批评意见能够作出正确的判断。



图 1-1 运10被拉出机库大门

1980年9月26日清晨，我们从上海市南面龙华机场附近的居住地坐车穿过整个上海市来到北郊的大型机场。到达机场时，太阳尚未升起。广阔的机场上，真是万人空巷。这时朝霞满天，巨大的机库大门被推开了。机库里似乎还盛着昨夜清凉，