

第一部分

实践中的航空心理学

第一章

仪表飞行的历史

威廉·R. 埃尔科林

序 言

经过数百万年的进化历程，人类从原始水生生物逐步演化为陆生生物，继而发展出适应树栖生活的特征，但未能演化出适应空中环境的生物结构。在这一漫长的进化过程中，人类虽然主动(或被动)适应了多种瞬时运动模式，但其生理系统始终未能发展出应对持续性线加速度和角加速度的能力——而这恰恰是现代航空环境中最关键的能力要求。当人类从二维地面环境进入三维空域时，其固有的空间定向系统难以处理突然引入的垂直轴向运动和复杂的多向空间变化。这种进化形成的定向能力与航空环境需求之间的根本性不匹配，必然导致空间定向障碍的发生（Gillingham & Previc, 1996）。

令人深思的是，尽管航空技术已取得革命性进步，但空间定向障碍至今仍是航空安全领域最具挑战性的人因问题（Gibb, Ercoline & Scharff, 2011）。虽然从进化角度理解这一现象“不足为奇”，但其对飞行员判断和操作造成的困扰却始终未能得到有效缓解，甚至在关键时刻导致致命失误。尤为严峻的是，当飞行仪表数据与飞行员本体感觉出现不一致时，许多飞行员仍会本能地质疑仪表可靠性——他们甚至通过敲击仪表盘来试图“修复”所谓的故障，而不愿怀疑自己的感知。这种根深蒂固的本体感觉优先倾向以及对仪表数据的习惯性质疑，已成为威胁航空安全的一大认知隐患。

早在 20 世纪初叶，研究者就已发现空间定向障碍现象，并逐步认识到其本质源于人类感知系统与飞行环境之间的适应性缺陷。然而时至今日，当代飞行员在空中面临感官冲突时，其本能反应仍与百年前的飞行先驱们如出一辙。历史给予我们深刻的警示：若能在航空发展初期就对这一现象展开系

统性研究，或将避免许多本可防范的航空悲剧。尽管相关探索已跨越一个世纪，但关键性突破仍显不足。这其中最值得探究的是，人类最初究竟是如何实现从固守本能直觉判断到信任飞行仪表这一认知飞跃的？在这场关乎生死的认知革命中，当绝大多数从业者仍被本能感知所局限时，唯有少数人敢于挑战常识、坚持科学验证，这为现代航空安全奠定了坚实的理论基础。

这段航空史上的关键转折点，最初由卡尔·J. 克兰在 20 世纪 70 年代初向我讲述（图 1.1）。根据这位航空先驱回忆，约在 1926 年，他的同事兼好友比尔·埃尔科林（被大家亲切地称为“比尔”）取得了一项开创性发现，这项发现最终将彻底革新人类的飞行方式。如同科学史上所有重大突破一样，这项发现从最初提出到获得广泛认可也经历了长达 25 年时间的沉淀。今天我们可以肯定地说，这是 20 世纪航空安全领域最具里程碑意义的科学突破之一，它从根本上重塑了航空界对飞行安全的认知范式。与诸多划时代的科学发现相似，发现者本人往往难以获得实质性回报。比尔最终收获的是航空界的专业认可而非物质收益。尤为可贵的是，即便在没有外界认可的情况下，像他这样的科学先驱依然会坚持真理探索——这正是推动航空技术持续进步的核心动力。



图 1.1 卡尔·J. 克兰（Carl J. Crane）和比尔·埃尔科林（Bill Ercoline）

在得克萨斯州布鲁克斯空军基地 9 号机库的珍贵合影

（图片来源：私人收藏）

除非是专业的航空历史学者，否则很少有人知晓威廉·C. 奥克这个名字的重要意义。作为美国空军首批获得飞行资格的 300 名精英飞行员之一，这位军事飞行员以其对仪表飞行技术的执着研究，彻底改写了现代航空安全史。他的故事与发现，将永远惠及所有飞行从业者：无论是曾经翱翔蓝天的前辈，还是如今肩负使命的蓝天骄子，以及未来将要投身航空事业的后来者。这是我们的财富，值得永远珍视与传承。

本章内容主要建立在主人公卡尔·J. 克兰的珍贵回忆之上，这些回忆被完整记录并呈现给所有对此感兴趣的读者。正如卡尔曾向我强调的那样，这不仅是一段关于仪表飞行技术发展的历史，更是一个深刻探讨人性和人因问题的经典案例。卡尔最初将其命名为“仪表飞行史”，我们也将沿用这个富有历史意义的称谓。谨以本章内容纪念卡尔·J. 克兰先生，特别致敬他为航空事业做出的卓越贡献，同时也以此纪念他的挚友威廉·C. 奥克（比尔）。卡尔始终认为，比尔那项划时代的发现未能获得应有的历史地位和赞誉。但毋庸置疑的是，比尔的杰出贡献已经惠及全人类——正是他的开创性工作，让现代航空活动变得更加安全可靠。

约翰·麦克雷迪（空间定向障碍研究的奠基者）

1923 年 5 月，美国陆军航空队的约翰·麦克雷迪中尉和奥克利·凯利中尉创造了航空史上的里程碑——他们驾驶福克 T-2 单引擎飞机，完成了人类首次横贯美国大陆的不间断飞行（图 1.2 和图 1.3）。在经历数次失败尝试后，他们最终于 5 月 2 日从纽约起飞，历时 26 h 50 min，于次日成功降落在圣地亚哥。这次壮举为两位飞行员赢得了美国空军颁发的麦凯奖杯（麦克雷迪中尉也因此成为该奖项历史上唯一的 3 次获得者）。当时航空界普遍认为，这是 20 世纪 20 年代最重要的航空成就之一。这次飞行不仅证明了在 24 h 内横跨美国大陆的可行性，更开创了长途航空运输的新纪元。《国家地理》杂志在 1924 年 7 月专门为此发行了特刊，并特邀麦克雷迪中尉亲自撰文记述这一划时代的飞行历程。正如杂志所描述的：“这项创举不仅刷新了人类飞行纪录，更标志着航空发展史上的重要里程碑。”

实现如此长距离的跨大陆飞行面临着多重挑战，其中持续飞行的超长航时问题尤为突出。受 1920 年代初期航空技术发展水平的限制，飞机航速相对较低，加上必须昼夜连续飞行，整个航程高度依赖当时尚不完善的地面导航保障系统。这一开创性的飞行壮举固然具有重要的历史价值，但更具研究

价值的并非麦克雷迪和凯利所取得的里程碑式成就，而是麦克雷迪中尉在其回忆录中系统阐述的飞行理念演进过程——这些珍贵的一手资料为我们理解航空发展初期的关键技术突破提供了独特的研究视角。



图 1.2 历史性飞行中的福克 T-2 单引擎飞机

（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）



图 1.3 创纪录飞行机组：约翰·麦克雷迪中尉和奥克利·凯利中尉（1923 年）

（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）

在 1924 年 7 月那期极具历史价值的《国家地理》特刊中，作为主要撰稿人的麦克雷迪中尉提出了一个具有前瞻性的观点。这一观点在当时可谓颠覆传统，因为在那个年代，飞行员普遍深信自己具备与生俱来的空间定向能力，认为仅凭直觉就能准确掌控飞机的空间姿态。值得注意的是，这种对自

身能力的过度自信至今仍在部分飞行员中存在！他们坚信这种天赋是获得飞行资格的自然禀赋——毕竟，通过大量的飞行实践，他们已积累了相当丰富的经验。然而，麦克雷迪在文中开创性地指出：“根据我的飞行经验，我确信在没有固定参照物或可见地平线的情况下，除非借助重力感知飞机的上升或下降趋势，否则飞行员完全无法准确判断飞机的空间姿态（无论是倒飞、平飞还是倾斜状态）”（《国家地理》，1924年7月）。这一具有划时代意义的认知，被麦克雷迪郑重地记录下来，成为后世航空从业者研究的重要文献。

麦克雷迪的观点与当时的普遍看法大相径庭，公开发表这样的见解需要非凡的学术勇气，而这正体现了他一以贯之的治学风格。他始终坚持以实证研究为基础阐述客观事实，即便这些结论与航空界盛行的飞行理论相冲突。正如前文所述，在那个普遍将“直觉操控”奉为天赋能力的时代，这种与生俱来的飞行本能不仅被视作飞行职业的骄傲，更成为航空界根深蒂固的集体信念。

基于大量的飞行实践，麦克雷迪率先发现传统“直觉论”存在重大认知缺陷。他通过系统的观察研究发现，人类空间定向能力在本质上高度依赖外部视觉参照物。这一颠覆性的发现促使他撰写成专业论文发表——这极可能是美国航空史上首篇探讨飞行感知机制的学术文献。尽管同期飞行员或许对这种现象有过模糊感知，但麦克雷迪首次完成了从经验直觉到理论体系的学术跃迁，成为系统阐释飞行空间定向理论的奠基人。

20世纪20年代，航空事业仍处于充满未知与挑战的萌芽阶段。许多关键的飞行测试都在俄亥俄州代顿市的麦库克机场进行，而约翰·麦克雷迪正是当时最杰出的试飞员之一，并担任首席试飞员。如图1.4所示，这张珍贵的合影记录了当时美国空军试飞团队的成员：麦克雷迪位于后排中央位置，前排右数第三位则是后来在仪表飞行领域做出重要贡献的詹姆斯·杜立特尔中尉。这些试飞员不仅是航空技术的实践者，更是多项飞行记录的创造者，他们不断突破飞行高度、速度和距离的极限。在那个技术积累的阶段，飞行员们通过实际飞行来掌握飞行技术，正如卡尔所言：“我们通过实践来理解飞行”。其中最具挑战性的就是低能见度条件下的飞行操作。对于早期飞行员而言，阴霾天气和夜间飞行完全属于未知领域，每次执行这类任务都伴随着巨大的飞行风险。正是在这样的环境下，麦克雷迪等航空先驱展开了对空间感知问题的系统性研究。

作为这些飞行试验的亲历者，麦克雷迪在《横贯大陆》中详细记录了当时的飞行实践。面对长时间丧失舱外视觉参照的极端飞行状况，他们逐步摸



图 1.4 美国空军在俄亥俄州麦库克机场的早期试飞员（1920 年代）

照片说明：后排（从左至右）：身份未确认的军官、哈罗德·A. 约翰逊中尉、霍伊·巴克斯代尔中尉、首席试飞员约翰·A. 麦克雷迪中尉（居中）、詹姆斯·T. 哈钦森中尉、鲁本·C. 莫法特中尉、路易斯·G. 迈斯特（民用试飞员）、身份未确认的军官；前排（跪姿，从左至右）：身份未确认的军官、R. G. 洛克伍德（民用试飞员）、乔治·图特洛特中尉、詹姆斯·杜立特尔中尉（在仪表飞行领域做出重要贡献）、威廉·N. 阿米斯中尉、身份未确认的军官（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）

索出一套行之有效的应对技巧。其中最具代表性的方法是在进入云层前主动进行头部摆动和身体活动，这个看似简单的动作实际上相当于在飞行员的前庭系统中建立了一个临时的空间定向参照系。另一种普遍采用的技术是将操纵杆稳固地夹在双膝之间，并在整个穿云过程中保持这一姿势不变——该方法在保持直线飞行时效果良好，但在夜间或复杂气象条件下的适用性则相对有限。这些由实战经验总结出的技巧虽然原始，但确实帮助部分飞行员实实在在地克服了空间定向障碍问题。事实上，当时的飞行实践中还存在着其他辅助方法，但上述两种技术因其可靠性和易操作性而成为主流选择，为飞行员在恶劣环境中维持基本飞行控制提供了重要保障。根据卡尔搜集的第一手资料以及众多飞行先驱的回忆：当时的飞行员群体普遍缺乏经验交流，彼此之间很少主动分享遇到的飞行难题。这种经验共享机制的缺失，无疑在很大程度上制约了早期航空安全技术的协同发展。

空间定向障碍的形成并非单纯源于飞行员的心理或认知局限。在航空业发展的初期阶段，虽然驾驶舱内的飞行仪表具有重要的导航功能，但飞行员们普遍坚信仅凭直觉就能完成飞行任务，完全不需要依赖仪表辅助。图 1.5 展示的是 20 世纪 20 年代最具代表性的柯蒂斯 P-1C “鹰”式战斗机，这款

机型是美国陆军航空队在 1920 年代装备的主力战斗机，曾在全球广泛使用。需要指出的是，飞机本身的性能无可挑剔，但其驾驶舱仪表布局设计存在问题。图 1.6 是该机型驾驶舱的实景照片，图中特别添加了指示标线用以标注各类仪表的具体位置和名称，这型飞机的仪表布局在当时堪称一个极具代表性的特例。在照片中，高度表和若干发动机仪表清晰可见，而通过指示标线标注的转弯侧滑仪和威士忌罗盘却被刻意隐藏。仔细观察标示这两项关键仪表位置的指示线（虽然图中未完整标注其名称），会发现这些标线最终指向驾驶舱的地板区域。令人惊讶的是，转弯侧滑仪和罗盘被安装在方向舵踏板之间、操纵杆正后方的地板上！卡尔对此现象进行了分析：由于飞行员坚称



图 1.5 柯蒂斯 P-1C “鹰”式战斗机在停机坪上

（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）

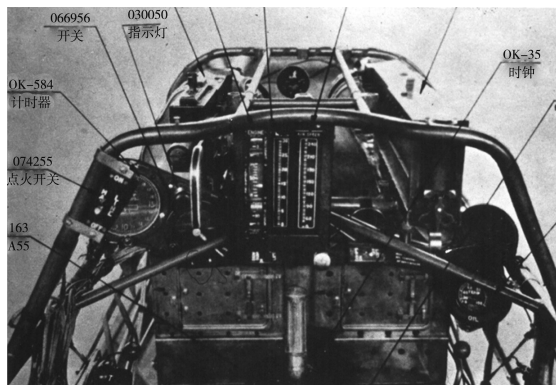


图 1.6 柯蒂斯 P-1C “鹰”式战斗机驾驶舱仪表布局

（图片来源：卡尔·克莱恩私人收藏）

不需要这些仪表，设计者便将它们安装在最不显眼的位置。在实际飞行中，若飞行员确实需要使用这些仪表，必须先费力地将操纵杆移开，才能观察到转弯侧滑仪或罗盘的读数。这种设计充分反映了当时飞行员群体对仪表导航系统根深蒂固的抵触心理。

在这一关键发展时期，航空医学界正致力于制定系统的飞行员体检标准（Noe, 1989）。医疗专家们建立了一套科学的飞行适应性评估体系，包含视力检测、体能测试等多个维度，其中最为关键的是前庭功能（内耳平衡系统）的评估。当时的医学共识认为，飞行员在飞行中（特别是在无法获得舱外视觉参照的情况下）必须具备健全的前庭功能。到20世纪20年代初，航空医学界更是将前庭功能的重要性置于视觉功能之上。从某种程度上说，这一观点有其合理性，因为飞行员确实需要良好的前庭功能来维持空间定向。为此，研究人员专门开发了转椅和多轴旋转测试装置，试图通过这些专业设备选拔出那些具有“先天飞行禀赋”的优秀候选者。（值得注意的是，即便在仪表导航的重要性得到证实之后，这一传统观念的转变仍然经历了数年时间才最终完成。）

在航空技术突飞猛进的数十年间，整个行业面临着多重矛盾：飞行员群体坚信可以不依赖仪表进行飞行操作，飞机制造商对有限的几个必要仪表的布局设计举棋不定，而医学界则专注于选拔平衡感优秀的飞行员。只有极少数人意识到可能存在问题，却难以准确定义问题本质或提供确凿证据。正如肯特·吉林厄姆在开篇引文中所指出的，人类在飞行环境中难以维持准确的方向感本是不争的事实，但令人惊讶的是，当时几乎无人认同这一观点。那么，这一行业体系究竟是如何实现渐进式变革的？答案就隐藏在仪表飞行技术的发展历程之中。

为深入理解航空史上的这一关键转折点，我们需要回溯至美国空军的初创时期（当时隶属于美国陆军通信兵团）。图1.7展示的是一张极具历史价值的全景照片，拍摄于1914年加利福尼亚州圣地亚哥北岛。这张珍贵的照片完整记录了当时美国陆军航空队的全部阵容：军官们整齐列队于前排，士



图 1.7 美国陆军通信兵团全体成员合影（约 1914 年）

（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）

兵们排列在后排，他们身后则停放着当时的军用飞机。照片前排右起第五位是本杰明·福洛伊斯中尉，这位航空先驱在1910年3月2日创造了历史性时刻——在得克萨斯州圣安东尼奥的萨姆·休斯顿堡，他独自驾驶美国陆军第一架军用飞机升空，成为美国军事航空史上首位单飞飞行员。

陆军部为这项开创性任务配备了从莱特兄弟公司采购的价值25 000美元的军用飞机、基础飞行手册和极其有限的维护经费，给福洛伊斯的指令简单明确：自行掌握飞行技术。完成飞机组装后，福洛伊斯于1910年3月2日清晨开始了具有里程碑意义的首次试飞。当天他共飞行了4架次，在最后一次着陆时遇到困难。这一经历促使他立即致信莱特兄弟寻求专业指导，这或许开创了军事航空远程培训的先河。值得一提的是，福洛伊斯还创新性地安装了飞机安全带系统，这可能是航空史上首个实用的飞机安全带系统。凭借这些开创性贡献，他从一名中尉逐步晋升为陆军航空兵高级将领，最终担任航空兵团司令。至今，航空史学界仍尊称他为“美国军事航空之父”（历史花絮：据记载，观看这场划时代飞行的观众中，有一位圣安东尼奥当地的10岁男孩卡尔·J. 克兰。这个热爱飞行的少年，正热切盼望着长大后能翱翔蓝天）。

现在，请将目光转向这张全景照片的左侧，如图1.8是人物的特写镜头。画面中央是一位身材高瘦的军人，胸前佩戴两枚醒目的奖章，这正是比尔·奥克中士。这位优秀军人随后在柯蒂斯航空学院获得了飞行执照（编号293），成为美国陆军第二位应征飞行员。首位获此殊荣的是弗农·伯格下士（Arbon, 1992）。

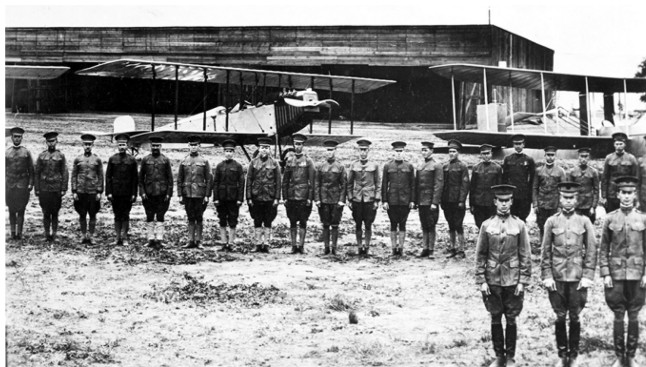


图 1.8 美国陆军通信兵团航空分队应征人员（约 1914 年）

（图片来源：美国空军国家博物馆馆藏档案）

比尔·奥克是一位值得被历史铭记的航空先驱，他深刻改变了飞机的飞行方式。虽然这一变革过程比他预期的更为缓慢，但他始终坚定不移地推动着这项革新。可以说，仪表飞行的发展史就是比尔·奥克的成就史。我们相信卡尔·克莱恩正是希望我们了解比尔当年所面临的种种挑战。在他关于仪表飞行的故事中，蕴含着二十世纪最重要的航空发现之一。

比尔最初以骑兵身份入伍，但在目睹飞机的诞生后，便迫不及待地想要加入陆军通信部队的航空分队。他直接向时任指挥官比利·米切尔上尉提出调任申请，并最终获得批准。随后，比尔·奥克中士被任命为军官，在约翰·J. 肯尼迪将军指挥的陆军通信部队担任飞行员。值得一提的是，米切尔上尉不仅批准了比尔的请求，自己也投身航空事业，并经常与比尔一同飞行，这些珍贵记录都完整保存在比尔的飞行日志中。卡尔·克莱恩的研究表明，很可能是比尔·奥克成功说服了比利·米切尔投身航空事业。因此，在比尔的军事生涯中，他还曾与后来成为将军的比利·米切尔并肩飞行。

比尔生命中的另一位重要人物是埃尔默·斯佩里，斯佩里经营一家陀螺仪公司，原本专门生产船舶导航仪表，后来拓展至航空仪表领域。其中，转弯侧滑仪作为船舶导航的重要仪表，能在雾天或夜间等能见度不佳的情况下为船长提供航向变化信息。该仪表配备的液位指示器（充液管中的滚珠）可直观显示航向偏转情况。1918年，斯佩里将这一设备交给比尔进行测试，主要目的是验证其在航空领域的适用性。

为适应飞机使用需求，比尔对该仪表进行了实用化改进。如图 1.9 所示，他创新性地采用 C 形夹将仪表框架固定在机翼支柱上，并在机翼下方加装了文丘里管，这一巧妙设计使得转弯侧滑仪的陀螺能够通过气流驱动旋转。具体做法是，比尔在外壳顶部开设了一个通气孔，当飞机飞行时，文丘里管周围的气流会通过这个孔吸入空气，持续驱动陀螺旋转，从而实现了无须电力即可保持陀螺持续运转的功能。

在长期的飞行实践中，比尔始终随身携带着这个关

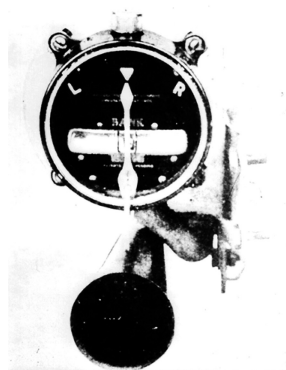


图 1.9 比尔改进的航空用转弯侧滑仪

（图片来源：美国空军装备司令部历史办公室馆藏档案）

键的导航指示器。他特意选用了—个黑色的小型洗漱包来存放这个精密仪器。每次执行飞行任务前，他都会仔细地将指示器安装在驾驶舱附近的垂直支柱上。作为—名严谨的飞行员，比尔坚持详细记录每次飞行中设备的使用情况。他的飞行日志清楚地显示：该指示器在晴朗天气条件下运行良好，但在云层中飞行时经常出现故障。比尔曾多次将设备送回斯佩里的公司进行检测，但每次的检测报告都显示“设备运转正常，建议继续使用”。带着疑虑，比尔仍然坚持使用这个指示器长达8年之久，期间持续记录其性能表现。在这漫长的测试过程中，他始终无法确定这个设备是否真正可靠，甚至对其提供信息的准确性也心存疑虑。然而，正是这种坚持不懈的探索精神，最终促成了一个划时代的重大发现。这个发现不仅彻底改变了比尔个人的职业轨迹，更重要的是，它开创性地革新了整个航空导航技术体系，改变了飞行员的操作方式。

戴维·迈尔斯（空间定向障碍的实证先驱）

1926年，当比尔·奥克调任至加州克里西机场时，他仍坚持在飞行中使用转弯侧滑仪，却始终对该仪表的可靠性心存疑虑。此时的他尚未意识到，—场将彻底改变航空安全认知的革命正在悄然酝酿。这场变革的序幕，始于他例行接受的半年期体检。在完成包括巴氏转椅测试在内的标准检查项目后，航空军医戴维·迈尔斯上尉（图1.10）提出了—个特别的请求：“可否请您配合进行—项附加测试？”。这个看似寻常的询问，即将揭开航空史上—个划时代的重大发现。



图 1.10 戴维·迈尔斯上尉（医学博士）

（图片来源：美国空军装备司令部历史办公室馆藏档案）

迈尔斯博士在前期临床观察中注意到—个耐人寻味的现象。作为飞行员体检的常规项目，在使用巴拉尼椅测试前庭功能时，他发现：当受试飞行员闭眼旋转一段时间后，往往无法准确判断旋转方向，更引人深思的是，在匀速旋转后的减速阶段，飞行员的方向感知会出现系统性偏差——绝大多数人坚

信自己正在朝相反方向旋转。尽管这不属于标准检测范畴，迈尔斯博士仍对此展开深入研究，并定期邀请飞行员自愿参与这项补充测试。

已通过常规体检的比尔欣然接受了这项测试。测试中，迈尔斯博士让比尔戴上眼罩在巴拉尼椅上旋转。当旋转速度开始降低时，博士突然询问比尔感知到的旋转方向。比尔毫不犹豫地指出了他认定的转向，然而在眼罩被摘下的瞬间，他震惊地发现，自己判断的方向与实际的旋转方向完全相反！这一意外发现为后续的航空医学研究提供了至关重要的实证依据。

比尔对这个测试结果感到难以置信，他当即向迈尔斯博士提出改日再次测试的请求，希望能重新审视这个令人困惑的现象。那么，究竟是什么原因促使他如此执着？或许源于他长期使用斯佩里转弯侧滑仪积累的飞行经验，又或许只是天才的直觉使然？无论如何，迈尔斯博士欣然同意了请求，事实上，他对飞行员在空间定向认知上出现的偏差现象始终保持着浓厚的科研兴趣。

离开迈尔斯博士的办公室后，比尔立即着手设计了一个精妙的验证装置。他制作了一个大小约 $30\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的木质暗箱，其一端开口可供测试者的头部伸入观察。暗箱内集成了三个关键组件：①从飞机上拆卸的转弯侧滑仪；②用于照明的 2.5 V 小型手电筒；③通过 1.5 m 橡胶软管连接的人工吹气驱动装置。这个创新设计完美复现了他在飞机上利用气流驱动陀螺的工作原理。完成最终调试后，比尔带着这个创新装置重返迈尔斯博士的办公室。这次，他提出了一个新颖的测试方案：不使用眼罩，而是让测试者把头部完全置于暗箱内部进行观察。迈尔斯博士对这个新颖的设计表示认可，只要确保测试者无法获取外部视觉参照即可。

在严格控制的实验环境下，这项具有历史意义的测试正式展开。迈尔斯博士以 $15\text{ }^\circ/\text{min}$ 的标准转速启动旋转椅，并在预设的时间点询问比尔的空间方位判断。令人震惊的是，比尔连续三次准确无误地指出了实际转向方向——这一结果完全颠覆了此前的所有测试记录！在此之前，从未有任何受试者能够实现如此准确的空间定向判断。这个突破性的发现让迈尔斯博士对暗箱内的装置产生了极大的科学兴趣。

这次实验首次通过科学方法证实了“空间定向障碍”现象的存在，明确揭示了飞行员主观感知与飞机实际运动状态之间存在的系统性偏差。实验结果有力地验证了麦克雷迪的前瞻性观点：人类必须借助一些辅助工具才能实现准确的空间定向判断。该研究在航空医学领域具有里程碑意义，为现代仪表飞行理论奠定了实证基础。基于严谨的实验证据，比尔深刻认识到：飞行

员在云层和夜间飞行等低能见度条件下采用的传统空间定向技术（如头部摆动、操纵杆固定等）都存在根本性缺陷，这些经验性方法无法克服人类前庭系统的生理局限。他决心以这些科学发现为依据，推动整个航空界的认知革新。然而，改变根深蒂固的传统观念绝非易事，这将是一场持久战，是贯穿比尔整个军旅生涯的艰巨使命。

需要特别指出的是，虽然此前可能有人观察到类似的感知现象，但比尔和迈尔斯博士首次科学地将其与飞行安全问题建立联系。迈尔斯博士开创性的测试方法和比尔非凡的工程智慧共同促成了这一重大发现，尽管这一里程碑式的贡献在航空史上常常未能获得应有的重视。在那个航空医学刚刚起步的年代，医疗团队正竭尽全力完善飞行员选拔标准，然而飞行员群体普遍不愿分享在低能见度条件下的飞行体验，这一信息壁垒严重阻碍了航空安全研究的进展。比尔不仅发现了这个事关所有飞行员的关键问题，更创造性地设计出安全可靠的实验装置来验证这一现象。

无须再猜测问题所在：比尔已经通过实验证明，人类无法依靠直觉准确判断方向。这并非个人能力的问题，因为事实上就没有人能做到这一点，尽管

许多人仍然坚信自己可以。这项研究首次提供了确凿证据：无论是否受过专业飞行训练，任何人如果仅凭方向感来判断，都可能在转弯方向上产生错觉。即使在今天，我们也很难理解一个人怎么会感觉自己正在向右转，而实际上却在向左转。但事实确实如此，这就是空间定向障碍的表现方式。由于比尔的发现与当时的普遍认知相悖，他的理论和勇气遭到了许多毫无根据的质疑。

以当时的技术水平，比尔设计的装置（图 1.11，称为“防眩晕盒”或“奥克盒”）确实相当简陋，但其效果毋庸置疑。经过不断改进，该装置最终获得了美国专利局认证，于 1928 年 2 月正式获批专利。

如今，测试者只需借助防眩晕盒，便能成功完成迈尔斯博士设计的旋转测

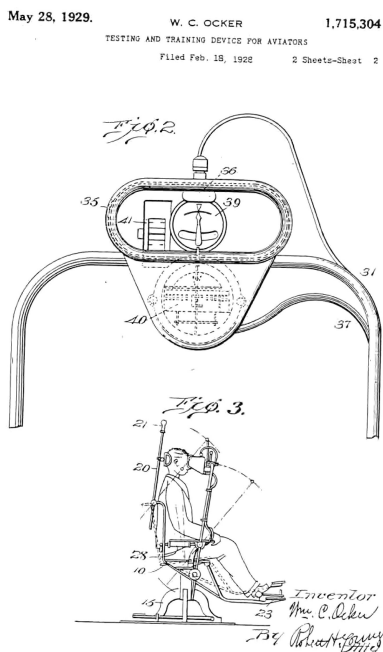


图 1.11 防眩晕盒专利图

（图片来源：卡尔·克莱恩提供）

试。在判断旋转方向时，受试者必须依据旋转针的偏转读数作答，而不能仅仅依赖于主观感觉。简言之，飞行员必须通过“飞行仪表”来校正方向感的偏差。这一原理看似简单，但要让飞行员完全克服自身本体感觉绝非易事，某些情况下甚至面临极大挑战。这无疑是航空史上具有里程碑意义的重大突破——只要配备可靠的飞行仪表来判定空间方位，飞行员便能在除极端雷暴之外的各种气象条件下安全操控飞机。这一革命性发现从根本上改变了传统的依赖目视判断的飞行方式，为现代仪表飞行技术奠定了坚实基础。

正如前文所述，当时绝大多数飞行员都拒绝承认飞行仪表在驾驶中的必要性。比尔成为了众矢之的，不仅要忍受同僚们的冷嘲热讽，更遭到上级指挥官的严厉斥责。比尔被认为“精神失常”，被送往莱特曼总医院接受精神评估，尽管检查结果完全正常。颇具讽刺意味的是，他竟又被要求接受第二次精神鉴定，而结果再次证明他的精神状态毫无异常。即便面对如此境遇，比尔依然坚定不移地推动着飞行仪表在航空安全领域的应用。

命运的转折发生在比尔被调往布鲁克斯飞行训练基地之时。这次调任的潜台词无非是要将他“发配”得远离一线作战部队。正是在布鲁克斯，比尔有幸结识了卡尔·克莱恩中尉，两人的相遇为仪表飞行技术的发展带来了关键性转机，这项技术即将迎来历史性的突破。

卡尔·克莱恩（从‘死亡螺旋’幸存者到奥克盒推广者）

卡尔·克莱恩中尉在完成凯利与布鲁克斯两所飞行学校的严格训练后，被正式派驻密歇根州塞尔弗里奇空军基地。某日凌晨，他接到一项特殊任务：护送一名国会议员的儿子从塞尔弗里奇转场至华盛顿博林机场。破晓前的停机坪上，卡尔·克莱恩中尉与这位特殊的年轻乘客登上了那架被称为“珍妮”的 JN-4 双翼教练机。克莱恩中尉负责前舱驾驶，而年轻乘客则安坐后舱。飞行前例行检查、滑行、起飞，一切按部就班地进行，随即这架老式双翼机在晨曦中平稳起飞。爬升过程中，卡尔注意到远处有逐渐聚拢的云团。基于初级飞行训练中获得的知识，他乐观地判断飞越云层应该不成问题。然而当飞机接近云团时，发动机的轰鸣声开始变得吃力，爬升率不断下降，飞机最终在 7000 英尺高度达到了爬升极限。此刻他才猛然意识到事态的严峻：飞机已无法超越云层，可他既没有接受过仪表飞行训练，对云中飞行的风险也缺乏足够认知。面对这一突发状况，悬停在 7000 英尺高空的卡尔必须立刻做出决定：是紧急转向规避云层，还是冒险穿云？短暂权衡后，这位年轻的

中尉飞行员选择了后者——他推动操纵杆，驾驶着这架老旧的“珍妮”飞机，毅然冲入了那片未知的茫茫云海之中。

“珍妮”冲入云层的瞬间，整个驾驶舱瞬间被乳白色的浓雾笼罩。克莱恩紧握操纵杆，努力保持着想象中的平飞状态，但仪表盘上的读数却显示出异常：高度持续下降，空速表数字不断攀升——这架飞机正在不知不觉中进入俯冲。在那个航空启蒙的年代，JN-4 的驾驶舱内既没有姿态仪，也没有转弯侧滑仪，这些在现代看来至关重要的仪表，在当时却被飞行员们称为“多余的累赘”。毕竟，在目视飞行规则盛行的年代，谁会认为需要仪表呢？克莱恩本能地拉杆试图改出，但高度表的指针仍在无情地下滑。云层中的水汽在挡风玻璃上凝结成细密的水珠，湍流使机翼发出不祥的震颤，这位年轻飞行员的后背已被冷汗浸透。当他回头查看后座乘客的状况时，眼前的景象令人窒息：那位天真烂漫的年轻人正兴奋地向他挥手，全然不知死神正在逼近。在这个被云雾隔绝的空中牢笼里，只有克莱恩清楚，某些可怕的事情正在发生，但他却无从知晓问题究竟出在哪里。

在飞机持续下坠的危急时刻，克莱恩拼命回想飞行教官的每一句训诫。有位老教官的警告突然浮现：“永远不要钻进云层，因为你永远不知道里面潜伏着什么危险。”此刻这个忠告显得如此讽刺——他不仅深陷云海，更可怕的是飞机已经完全失控，正以螺旋下坠的姿态冲向地面。这种后来被航空界称为“死亡螺旋”的致命状态，在他的训练课程中从未被提及，更没有人教授过任何应对之策。机舱外呼啸的风声如同死神无情的狞笑，而仪表盘上不断跳动的数字，正在为这场空中噩梦进行着倒计时。

此刻，克莱恩终于清醒地意识到，缺乏仪表飞行训练的自己正面临着怎样的绝境。他在绝望中默默祈祷，期盼着奇迹降临，但这显然无济于事。飞机的高度仍在持续下降，空速表的指针不断攀升。一个可怕的念头在他脑海中逐渐清晰：坠毁已是不可避免的结局！虽然机舱内备有降落伞，但从未接受过跳伞训练的克莱恩根本不敢贸然尝试。他艰难地转过头，想要最后看一眼后座的乘客，却在千钧一发之际看到了令人毛骨悚然的景象：机翼旁赫然矗立着“斯塔特勒酒店”的巨型霓虹招牌——他们的飞机正以惊人的速度，朝着这座摩天大楼的顶层直冲而去！

就在这千钧一发之际，云层突然散开，地面重新映入眼帘。克莱恩以惊人的反应速度猛拉操纵杆，在即将撞上酒店的瞬间将飞机改平。随着发动机发出嘶吼般的轰鸣，“珍妮”号重新获得升力，艰难地恢复了平飞状态，最终得以在底特律河上空重新爬升，朝着托莱多方向继续飞行。这次惊心动魄

的经历让克莱恩坚定地决定：永远不再冒险进入云层。他清楚地意识到自己的飞行训练存在着致命缺陷——那些被完全忽略的仪表飞行知识，险些让他们付出生命的代价。那段在云海中迷失方向、几乎酿成惨剧的经历，成为长期困扰他的梦魇，也让他对航空安全有了全新的认知。

正如卡尔·克莱恩在回忆录中所述，这种被称为“死亡螺旋”的飞行现象在航空早期屡见不鲜。但当时的飞行文化使多数遭遇此劫的飞行员选择缄默——他们羞于承认自己遭遇了“空间定向障碍”，唯恐被视为技术不精。直到一年后克莱恩重返布鲁克斯机场担任飞行教官时，在与比尔·奥克共事的过程中，他才真正理解那次惊险遭遇的根源，并逐渐领悟到比尔设计的“防眩晕盒”（或称“奥克盒”）对航空安全的革命性意义：这简陋的木盒背后，承载的是改写航空史的人机交互新范式。

比尔·奥克和卡尔·克莱恩（暗舱飞行先驱）

在布鲁克斯机场，比尔·奥克正面临着一场艰难的博弈。大多数飞行员对他的仪表改进工作嗤之以鼻，认为这些努力纯属多余。比尔敏锐地意识到，根深蒂固的“直觉飞行”教学理念正是阻碍航空安全进步的桎梏，而他决心要打破这一陈规。现存的图 1.12 是一张极具历史价值的照片，忠实记录了比尔初到布鲁克斯时的情景。令人难以置信的是，当时的飞行教官们不仅忽视仪表的重要性，甚至会刻意用纸张遮挡驾驶舱内最关键的转弯侧滑仪。他们固守传统，执意要求学生通过所谓的“天赋直觉”来驾驭飞机，将仪表视为



图 1.12 飞机仪表盘照片，摄于得克萨斯州布鲁克斯机场（约 1928 年）

（图片来源：美国空军装备司令部历史办公室提供）

可有可无的辅助工具。面对铺天盖地的质疑与嘲讽，比尔始终不曾放弃。他抓住每个机会，不厌其烦地向人们演示他的旋转椅和防眩晕盒。转机出现在美国空军航空医学院的军医们身上——这些驻扎在布鲁克斯的医学专家们，对比尔的发明表现出了远超飞行员的专业兴趣与热忱。

（注：据卡尔·克莱恩回忆，传奇飞行家查尔斯·林德伯格曾私下接受过比尔的演示测试。这位性格内敛的飞行英雄同意体验巴氏椅测试，但坚持要在完全私密的帐篷内进行。测试结束后，林德伯格礼貌地向比尔致谢，但此后便再未提及此事。这个意味深长的插曲，恰如其分地折射出当时航空界对比尔创新研究的复杂态度——既无法否认其价值，又不愿公开认可。）

对比尔而言，推动飞行仪表的革新不仅是一项使命，更是一份沉甸甸的责任。他毅然肩负起这一重担，在质疑声中坚定前行。命运的巧妙安排让卡尔·克莱恩中尉在某个寻常日子走进机库时，恰好目睹了比尔为其他飞行员进行转椅测试演示的全过程。卡尔被实验结果深深震撼，立即请求比尔解释其中的原理。比尔不仅系统演示了空间定向障碍的形成机制，更亲自指导他如何通过仪表克服飞行错觉。“你必须完全信任仪表，而非自己的感官判断”——这句箴言成为卡尔飞行生涯的关键转折点。这次演示终于解开了困扰卡尔多年的谜团：当年从塞尔弗里奇机场起飞误入云层后，正是因为飞机进入转弯状态，他既无法准确感知飞行姿态，又缺乏仪表辅助，才险些酿成重大事故。如今，他终于掌握了应对这种险情的关键技术。这次相遇不仅让卡尔获得了新生，更让两位志同道合的航空先驱建立起深厚的友谊。



图 1.13 卡尔·克莱恩（前座）与比尔·奥克（后座）合影

（图片来源：美国空军装备司令部历史办公室提供）

他们随后在暗舱罩（一种安装在驾驶舱上方的遮光装置，能完全阻挡飞行员对外界的视觉参考）下进行了一系列开创性的飞行测试。通过大量演示，他们向整个航空界证明了仪表飞行的必要性。1930年，他们完成了航空史上里程碑式的壮举——首次完全依靠仪表（使用暗舱罩）进行的跨州飞行，从得克萨斯州的布鲁克斯机场直抵伊利诺伊州的斯科特机场（图 1.13）。这次飞行彻底改

写了航空导航的历史。

这两位航空革新者的相遇堪称历史性的机缘。布鲁克斯机场作为当时美国空军最重要的训练基地之一，不仅是培养顶尖军事飞行员的摇篮，更是美国空军航空医学院（School of Aviation Medicine, SAM）的所在地。这里汇聚了全美最资深的飞行教官、最前沿的航空医学专家，以及最具探索精神的飞行学员，构成了一个推动航空技术发展的理想平台。在这样的氛围中，比尔和卡尔持续推广仪表飞行理念。在航空军医和热心学员的协助下，他们通过一系列严谨的科学实验和飞行演示，向整个航空界证明：当能见度降低或视觉参考缺失时，唯有依靠仪表飞行才能确保绝对安全。虽然当时大多数飞行员仍固守传统，对这些演示冷嘲热讽，但已有少数思想开明者开始认真思考其中的科学道理。为了彻底扭转行业偏见，比尔和卡尔精心设计了一系列极具说服力的测试。

鸽子的飞行实验

在得克萨斯州航空史上留下重要印记的斯廷森机场（与布鲁克斯机场相距仅数英里），卡尔结识了一位坚持“鸟类飞行论”的飞行员朋友。这位朋友坚信能像鸟儿一样仅凭直觉自由翱翔，甚至断言人类的飞行智慧远超鸟类——这一观点在当时飞行员中颇具代表性。实验的灵感源自卡尔对鸽群行为的敏锐观察：每逢晨雾弥漫之时，训练有素的信鸽总是拒绝展翅，宁愿在地面耐心等待雾气消散。这一现象促使比尔和卡尔从著名的山姆·休斯顿堡军事基地（美国陆军重要的航空医学研究中心）借调了一批精锐信鸽。他们创新性地设计了鸟类飞行实验（图 1.14），通过特制头罩完全遮蔽鸽子视觉，精准模拟飞行员在仪表飞行中面临的视觉剥夺状态。随后，这些“失明”的信鸽被带上飞机，在特定高度释放出舱。

实验过程与发现：

1. 初始反应：失去视觉的信鸽本能地剧烈扑打翅膀，试图维持飞行姿态；



图 1.14 戴头罩的鸽子

（图片来源：美国空军装备司令部历史办公室提供）

2. 适应阶段：经历数次失败的飞行尝试后，鸽子会本能地将双翼调整为显著的上反角姿态；

3. 应急机制：这种特殊的翼型构型产生类似滑翔伞的空气动力学效应，使鸽子得以相对平稳地降落；

4. 归巢本能：一旦着陆解除面罩，这些训练有素的信鸽立即准确无误地飞返基地。

这项开创性实验得出了颠覆传统认知的重要结论。研究发现，即便是经过亿万年进化获得完美飞行能力的鸟类，在视觉受限条件下同样会完全丧失空间定向能力；更令人惊讶的是，在视觉剥夺情境中，鸟类与人类飞行员表现出了高度相似的应激反应模式。这一重大发现不仅揭示了生物飞行的本质局限，更为现代仪表飞行系统提供了坚实的生物学依据，确证了完全依赖生理感官的飞行方式存在致命缺陷，这对航空安全领域具有深远的启示意义。

该研究不仅改变了航空安全的认知范式，更预示着航空医学新时代的来临。比尔和卡尔通过这个看似简单的动物实验，向整个航空界传递了一个振聋发聩的警示：在云端之上，信任仪表胜过信任本能。

直线行走实验

在航空发展史上，飞行员对仪表飞行的抵触根植于一个根深蒂固的传统观念：真正优秀的飞行员天生具备精准的空间定向能力。为彻底打破这一认知误区，比尔和卡尔精心设计了一项简单却极具说服力的实证研究——这项开创性实验至今仍是航空心理学课程的经典案例。

实验设计：

1. 受试者筛选：从布鲁克斯机场现役飞行员中招募志愿者，均为飞行小时数超过 500 h 的资深飞行员；

2. 视觉控制：采用专业遮光眼罩完全阻断受试者视觉输入；

3. 任务设置：要求受试者手持棒球场划线粉刷，在平坦开阔的机场跑道上“直线”行进；

4. 数据采集：

（1）粉刷释放的粉末实时记录行走轨迹；

（2）研究团队通过航拍完整记录实验过程（图 1.15 和图 1.16）；

5. 要求：受试者需全神贯注于自身方向感判断。

研究发现所有受试者在空间定向任务中均表现出系统性偏差，100% 无法保持直线行走，其偏转方向呈现 47% 右旋与 53% 左旋的均衡分布，且偏