

人—机—环系统中 一般工程操作干扰的研究

——认知界面与操作界面中的
交叠作业干扰

李 永 建

西南交通大学出版社

人一机一环系统中 一般工程操作干扰的研究

——认知界面与操作界面中的交叠作业干扰

李 永 建

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

人-机-环系统中一般工程操作干扰的研究
——认知界面与操作界面中的交叠作业干扰

李永建

*

出版人 宋绍南

责任编辑 刘婷婷

封面设计 郑宏

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031)

成都飞机工业公司印刷厂印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/32 印张: 5

字数: 104千字

印数: 1~100册

1999年4月第1版 1999年4月第1次印刷

ISBN 7-81057-304-7/U·070

定价: 50.00元

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 高速复杂人机系统中人的一般工程操作方式——交叠作业	3
1.2 人-机-环系统中的人机干扰——交叠作业干扰	8
1.3 交叠作业干扰研究现状与存在的问题	14
1.4 研究目的、主要内容、拟解决的关键问题	26
第二章 人的信息加工与人为差错	28
2.1 人-机-环系统中人的信息加工	28
2.2 人机干扰与交叠作业干扰性质的判别原理	30
2.3 人为差错	36
第三章 人-机-环系统认知界面中的干扰——交叠作业的信号识别干扰	46
3.1 认知界面中的知觉干扰理论	47
3.2 认知界面中知觉交叠加工的干扰	50
3.3 认知界面中感觉通道的相互作用	59
第四章 人-机-环系统中人的信息加工——反应选择与反应组织	64
4.1 反应选择瓶颈理论	65
4.2 反应组织瓶颈理论	71

4.3 CRTT 中反应复杂度非对称性反应之间的相互作用的实验研究·····	80
第五章 人机操作界面中的干扰——反应选择与反应触发的加工关系·····	95
5.1 反应触发瓶颈理论·····	96
5.2 影响反应触发的因素·····	104
5.3 操作界面中干扰的实验研究·····	114
第六章 扫描选择反应模型与研究总结·····	125
6.1 反应选择复杂度对交叠作业影响的实验考察·····	125
6.2 扫描选择反应模型假设·····	133
6.3 总 结·····	139
参考文献·····	143
后 记·····	155

第一章 绪 论

通过空间和时间两个维度对一般工程操作进行分析并指出：交叠作业是高速复杂人机系统最一般的工程操作方式和实验研究模型，进而划分出一般工程操作的不同交叠作业形式。根据人-机-环系统中信息传递的接口和相互作用的方式，给出人机环系统中的认知界面与操作界面定义，通过分析指出资源干扰与瓶颈干扰是交叠作业过程中两类表现形式相同性质不同的干扰，在深入讨论分析目前关于人机干扰和交叠作业干扰研究中存在问题的基础上，提出研究目标和拟解决的关键问题。

随着科学技术的飞速发展，人-机-环系统中硬件设备的性能和运行的可靠性不断提高，同时也给系统中人的因素提出了新的课题。一些高速复杂人机系统或特殊应急条件下对操作者接受信息和作出操作反应的工作负荷已接近或超过极限，尤其是驾驶人机系统^[1-10]，例如一些先进计算机控制和多功能显示——操纵（CRT）战斗机，飞行员接受和处理信息已接近或超过极限^[11]；在道路运输高速化的今天，如果驾驶员一眨眼时间的操作失误或延误，就可能造成“几十米”的错误^[12-15]。在这些高速复杂的人机系统中，人是主要的，先进的机器设备必须适应人的心理和生理要求。否则，

再好的设备性能也难以发挥，同时还会干扰系统运行的安全可靠，甚至造成事故。由于系统中的人受到心理、生理等方面的限制，影响着系统硬件设备性能的发挥，威胁着系统的安全运行。因此，必须研究系统中人的因素，以提高系统的整体效能。

虽然人类已踏上月球，探索宇宙，在认识与征服自然的过程中积累了丰富的知识，但是相比之下，人类对其自身的认识却相对贫乏。这决不是人类疏忽了对其自身的研究，而是其研究受到科学技术发展水平的严格限制，难怪有位探索人类心灵奥秘的著名的心理学家感叹道：“心理学过早的来到了这个世上”。这同时也道出了探索心灵的困难。随着科学技术的进步，人们不得不更深入地认识自身，认识自身的意识、思维、情感，认识自身的能力，认识人类自身与外界的关系。

本书中探讨的核心问题是交叠作业干扰（又称为同时完成多任务并行加工中的干扰，或一般工程操作中的干扰），它反映了在人—机—环系统中的基本现象——操作者心理加工过程中的相互作用，也即操作者与机器设备、环境之间的相互作用。它涉及到操作者信息加工、操作者与机器设备、环境之间的信息传递和交换等深层次问题。它不仅反映了相互作用中的相互干扰问题，同时也反映了在作业交叠程度比较大的条件下，有助于延迟阶段之前的心理加工，从而使加工时间相对缩短，提高交叠作业绩效。交叠作业干扰产生的条件、位置及性质等问题具有丰富的内涵，其争论仍在继续，在理论和实践上成为人类工效学、认知科学、高速复杂人机系统（尤其是驾驶人机系统）等学科与应用领域关注的焦点。

1.1 高速复杂人机系统中人的一般工程操作方式——交叠作业

人类早就关注着自身同时完成多任务的能力，我国古代学者董仲舒注意到了同时性双作业干扰的问题，有“一手画圆，一手画方，未能焉”之说。一百多年前，研究者们对人同时进行一个以上作业的能力产生了浓厚的兴趣。1927年，Thorndike 在实验中观察到避免数字序列现象，他认为这可能是由于“反应之后立刻再反应所固有的无准备”^[16]。1931年，Telford 做了第一例相关实验研究，他在双作业实验中使用 ISI (interstimulus interval) 技术，发现在 ISI 最短时反应时最长。Telford 首次把这种现象称为心理不应期 (psychological refractory period, 简称 PRP)^[17]，它大意指“反应不过来”，即被交叠的作业受到瓶颈性质的干扰。

1.1.1 交叠作业实验模型

高速复杂人机系统中人的各种操作活动可从空间与时间两个维度进行分析。从空间维度看，操作者的各种操作动作，包括同时进行的一个以上的操纵活动可分解为离散动作（如按键、开关控制）和连续动作（如旋钮、追踪操作）；从时间维度看，操作者的各种操作动作，包括同时进行的一个以上的离散动作和连续动作之间的关系都可看成是在时间维度上的分布，即相互分离、相互衔接、相互交叠或同时发生^[16-22]。

如果从对刺激（或任务）进行反应的数量来看，人的作业方式可分为对一路信息进行反应的单作业方式和对多路信息进行反应的交叠作业方式。

所谓交叠作业（overlapping-task）指人对紧密相连的两个或两个以上刺激的信息加工过程，如图 1-1 所示。先进行

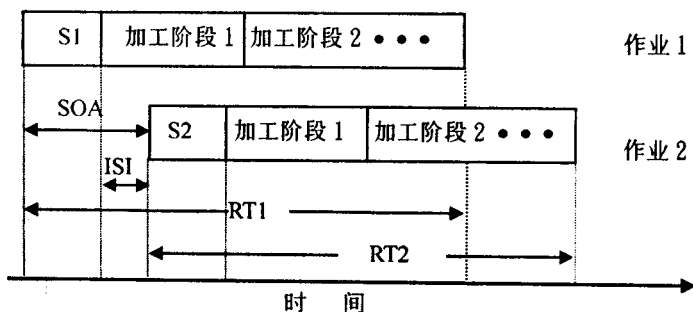


图 1-1 交叠作业、SOA、ISI 示意图

加工的作业称为第一作业（也称为被交叠作业或作业 1，通常用 task1 表示，其绩效或反应时为 RT1），随后的称为第二作业（又称为交叠作业或作业 2，通常用 task2 表示，其绩效或反应时为 RT2）。由于两个刺激信号（S1 和 S2）紧密相连，必然致使人对它们的信息加工在时间上和有的加工阶段上产生交叠加工现象。在实验条件下，两个作业在信息加工过程中交叠的程度，可通过控制作业刺激之间时距而实现。S1 与 S2 之间的实验控制时距一般用 SOA（stimulus onset asynchrony）或用 ISI（interstimulus interval）表示。

1.1.2 交叠作业：高速复杂人机系统典型的操作方式

从图 1-1 可以看出，SOA 与两个作业交叠程度成反比。SOA 等于零时，表示两个作业的信息加工过程交叠程度最大，即同时性双作业。当 SOA 大于第一作业的加工时间 RT1，说明两个作业的信息加工不交叠，属于继时性双作业。当 SOA 比 RT1 大到一定程度，作业之间无交叠，其作业方式就成为连续执行的两个单作业。可见，单作业、同时性双作业、继时性双作业都是交叠作业的特例。交叠作业可依据有无连续作业分为两大类：一类是离散交叠作业（discrete overlapping-task），它指两个交叠作业都是离散反应作业，又称为离散作业法。如 PRP 范式、Stop 范式、Change 范式、Go-Nogo 范式、Grouping 范式等^[23-30]。在实际和实验中离散交叠作业又有两种形式，一种是不同反应形式的离散反应的连续执行，如按键—扳动开关—按键—扳动开关……形成一个连续过程。另一种是同一反应形式的离散反应连续或重复执行，如重复敲击键。

另一类是连续交叠作业（continuation overlapping-task），通常它的两个交叠作业中，一个作业是离散反应作业，另一个作业是连续反应作业（如追踪作业），又称为连续作业法（两个都是连续反应作业的连续交叠极为少见）。连续交叠作业法也包括 Go-Nogo 范式、Grouping 范式等。

在高速复杂人机系统中，几乎没有只进行单一（或单任务）的操作，最为常见并具有代表性的是若干种操作的交叠。因此，在诸如驾驶（飞机、汽车、火车）监控等较复杂的人机系统中，操作者的各种操作动作，包括同时进行的一个以

上的操纵活动可分解为离散动作和连续动作两种基本的反应方式。显然，时间维量是一个关键的参数，这些操作在时间轴上构成同时性或继时性的时间关系。从人类信息加工方面来看，它们之间的典型加工关系可以归结为两个对信号反应过程的交叠，其实验研究模型是交叠作业范式，如图 1-2 示。

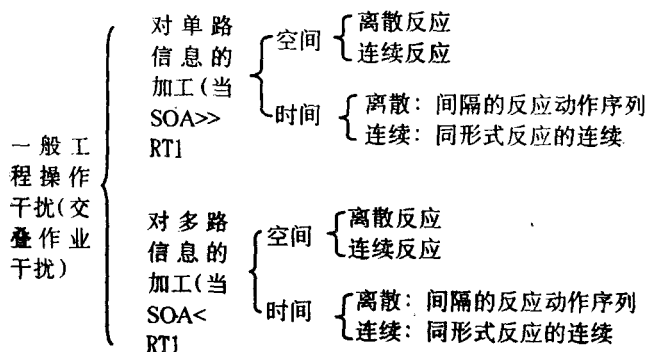


图 1-2 一般工程操作的交叠作业形式

依据人类信息加工原理，一个完整的操作反应可分为刺激识别、反应选择、反应(即 S-O-R)三个信息加工阶段。例如，驾驶操作就是多系列 S-O-R 并行复杂交叠的活动过程。它以方向追踪驾驶操作为主作业，主作业随机与加速、刹车、踏离合器等控制操作交叠并行处理。这种处理包括多系列的刺激识别、判断抉择、反应选择和反应执行的并行复杂交叠。由此可见，交叠作业是高速复杂人机系统的一般操作方式，也是从实际中抽象出的研究一般工程操作的实验研究模型。

1.1.3 有关人机系统中人的因素的研究

如果人机系统不受干扰,那么它一定高效、安全、可靠地运行。但是,现实中的人机系统无时无刻不受到来自各方面的干扰。为了从整体上提高系统的效率与可靠性,系统中人的因素成为研究的主攻方向之一。围绕着如何控制人-机-环系统中人的作业过程所受干扰,这个影响人机系统可靠性和效率的核心问题,研究者们把人机系统中人的活动视为不同的作业方式,从不同的角度进行了三个方面的大量研究。

第一个方面是职业适应性研究,其目的是选择适应硬件设备性能要求的人。例如,把驾驶员个性与行为放在人、车、路系统中进行研究,考察驾驶员个性与事故关系的事故倾向性、驾驶适应性问题,探讨安全驾驶行为及可靠性模型等。

第二个方面是把系统中人的操作视为单作业的研究,发现了手臂、手腕和手指的运动,脚的位置移动,二维手动和头部运动都服从 Fitts 定律;探讨被控对象动力特性对操作者手控跟踪效率影响等问题^[10]。这些研究对人机系统运行效率与安全发挥了积极的作用。但是,由于研究目的和角度不同、人的个性行为本身的复杂性以及所采用研究方法的局限,第一个方面的研究未直接接触人-机-环系统认知界面和操作界面以及它们之间的相互作用;第二个方面的研究把系统中人的操作局限于单作业(任务)操作,其实验研究模型偏离了实际的系统一般工程操作过程,因此未能探讨多任务之间的相互影响、突显信号对当前操作的干扰等问题。

事实上,高速复杂人机系统中人的操作是多任务同时操

作方式，即多系列 S-O-R 的复杂交叠作业活动过程。这种交叠作业是高速复杂人机系统中人类基本工程操作方式^[5-9]。如果把人机系统中人的操作视为交叠作业过程，可从研究方法和实验模型上保证能直接深入到上述两个研究方面未能触及的重要问题。正是基于此，第三个研究方面把高速复杂人机系统中人的操作视为交叠作业活动过程，这是当前人类基本工程操作干扰规律和人类信息加工基本规律研究的一个中心。

随着人机系统向复杂化、高速化的发展，人机系统要求人仅处理单路（或单一信息，或单一任务）信息的时代已经结束，取而代之的是要求人同时处理多路信息（或多任务），这构成了当代高速复杂人机系统中人的一般工程操作活动方式——交叠作业，并从中抽象出了研究人并行处理信息的各种实验模型。

1.2 人-机-环系统中的人机干扰 ——交叠作业干扰

从功效学的角度看，人机干扰主要指机器设备及所运行的环境对人的干扰，即人在交叠作业过程中产生的干扰。这种干扰通过人机系统认知界面与操作界面产生，并影响人的整个信息处理过程。

1.2.1 人-机-环系统中的认知界面与操作界面

(1) 人-机-环系统

人、机、环境三要素构成了一个相互作用的有机整体：人—机—环系统，同时系统中的人、机、环又自成系统，如图 1-3 所示。人—机—环系统可视为以人为主体的信息加工

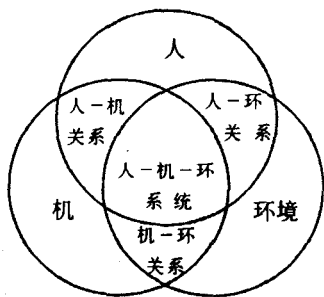


图 1-3 人—机—环系统中的关系

系统。在这个信息加工系统中人的任何反应都是对系统信息的处理，人是系统中具有意识性、主动性、能动性、自主性、智能性、个性化的信息加工器。在人—机—环系统中，人是系统的操作者或监控者，从职能上看，更是系统的决策者、主宰者，对整个系统的成效具有关键的作用。

人—机—环系统中的机，指的是人所使用和控制的一切工作对象，又称为硬件设备。不同系统中的机，其形态和功能千变万化，它们与人的关系也极其多样。人—机—环系统中的环境，指的是对人发生影响的环境条件，如声、光、冷、热、空气成分、气压、辐射等各种理化自然环境因素，也包括组织团体、人际关系、工作制度、社会舆论等各种社会环境因素。

以人为主体、以设备装置为劳动工具的人机关系中，主

要体现在“机宜人”和“人适机”的关系上。机宜人应符合人的生理、心理特征，满足人的舒适感、安全的需要、审美的需要与价值观。人适机需要按照机的设计要求选拔和培养操作者。“机宜人”与“人适机”的重要目的是尽可能降低以至消除人机系统对人的干扰，从而使系统安全、高效、经济运转。

(2) 人-机-环系统中的信息传递与人机界面：认知界面与操作界面

人-机-环系统对人的干扰，发生于人机界面。人-机-环系统中，三要素之间的不同关系构成不同界面关系，一般存在三类界面关系：一类是直接与人构成的界面，即人-硬件界面、人-软件界面、人-环境界面；第二类是硬件、软件、环境三者之间构成的界面，即硬件-软件界面、硬件-环境界面、软件-环境界面。这类型界面关系间接对人发生相互作用。第三类界面是系统组成部分内部的界面关系，即硬件-硬件界面、软件-软件界面、人-人界面。人类工效学主要研究系统中直接与人发生相互作用的界面。

人是系统的主宰者，并处于系统的中心地位，硬件、软件、和环境的设计与控制都要考虑人的因素，要服从人的要求。在以人为中心地位的观点的指导下，可把由感受器和显示器构成的人机信息传递接口称为人机认知界面，把由效应器和操纵器构成的人机信息传递接口称为人机操作界面。

定义 1.1 认知界面是指人的信息感受器（如眼、耳、鼻、压力感受器、温度感受器、运动感受器等）接受系统的输出、系统运行状态、系统所在环境的变化等显示的信息并发生相互作用的接口。

定义 1.2 操作界面是指人对系统的控制、操作信息由效应器（手、脚、口等）传递给系统操作控制器并产生相互作用的接口。

在人—机—环系统中，信息的流动是有方向的，界面中的信息传递是单向的。机器设备的运行状态和环境状况等信息通过人机认知界面信息由认知接口传递给人。在人机操作界面中，人的控制、操作信息由操作接口转换到机，如图 1-4 所示。

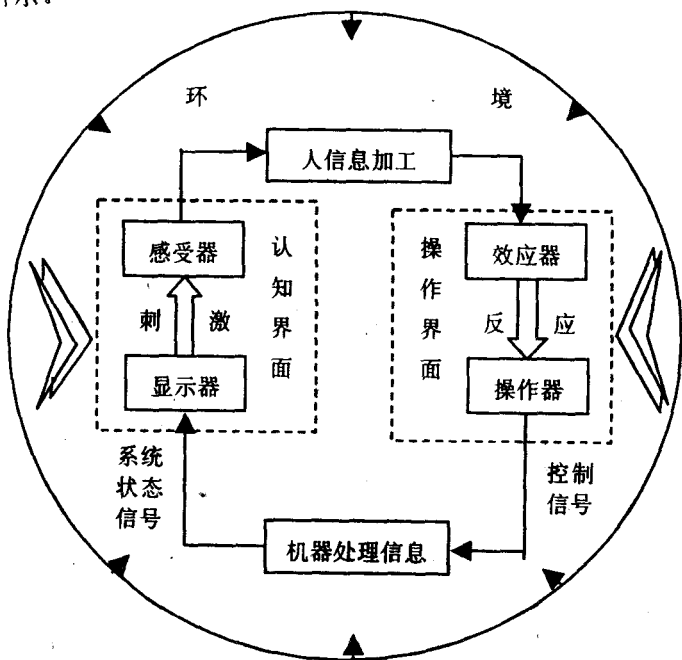


图 1-4 人—机—环系统中的认知界面与操作界面

人机信息传递都是通过认知界面和操作界面这两个人机接口而实现的。外界干扰由认知接口传递给人，人对信息加工的失误或延误通过操作接口作用于机器设备。

1.2.2 交叠作业干扰的两类现象：瓶颈干扰与资源干扰

在实际或实验中，如果一个单作业（task_单）的反应时（绩效）为 $RT_{单}$ ，在交叠作业情况下，把这个单作业作为交叠作业（task_交），得到的反应时为 $RT_{交}$ ，根据理论分析与实验的结果，则 $RT_{交} > RT_{单}$ ，即 task_交 的绩效比 task_单 的绩效差。这是由于受到被交叠作业加工的干扰所致，其干扰一般分为性质不同的两类情况。第一类是这种干扰可能使作业的每一阶段的信息加工速度都变慢，或使某一或某几个阶段的信息加工变慢；第二类是这种干扰可能在某种情况下使某一或某几个阶段的信息加工受阻。从所耗费的加工时间（反应时）上看，这两类干扰表面上无差异。从信息加工过程和干扰发生的机理以及干扰对信息加工影响的性质等深层问题分析，这是两类性质不同的干扰。

(1) 瓶颈 (bottleneck) 干扰

在交叠作业过程中，有的人类信息加工阶段可同时处理两个信号的输入（两个刺激物理特性的觉察，研究者们认为是可交叠的加工阶段），称为非瓶颈加工阶段；有的加工阶段不能同时处理两个输入的信息（例如，假设两个作业的反应选择加工阶段不能同时进行，只能相继进行），称为瓶颈加工阶段，如图 1-5 所示。在加工时间上两个作业的非瓶颈阶段可同时或交叠进行，而瓶颈阶段只能是相继进行（图 1-5 中的 PRP 表示的是第二作业瓶颈加工被推迟的时间量），即