

一般流体智力的结构与老化机制 ——结构方程模型的比较

罗婷* 焦书兰

王青

(中国科学院心理研究所,北京,100101) (人民大学劳动人事学院,北京,100872)

摘要 近年来一般流体智力的认知结构与老化机制已成为认知研究中的一个热点。本研究通过结构方程模型探讨了认知加工速度、工作记忆、注意能力与一般流体智力的联系,结果表明:加工速度、控制性注意是一般流体智力的主要认知成分,工作记忆并非一般流体智力的认知成分,两者之间是共变关系。加入年龄因子的结构方程模型也证实了加工速度和控制性注意是一般流体智力老化的重要中介因子。

关键词: 一般流体智力 结构方程模型 工作记忆 加工速度 控制性注意

1 前言

心理学对于智力的关注有着漫长的历史。然而长期以来,对于智力概念的定义更多的是基于人们的共识,而不是对智力的实质和结构的清晰描述。随着认知心理学的发展,信息加工的观点被引入到智力研究当中,智力的实质被认为就是认知过程中信息加工的能力。研究者们通过对具体认知过程,如知觉、注意、记忆等的研究来探讨智力的本质,已经成为当前智力结构研究中的主要方式。

Salthouse 于 1985 年提出了加工速度理论(Processing Speed Theory),认为加工速度是认知能力差异的主要来源^[1],并将其作为解释其它认知能力(如记忆)与一般流体智力关系的中介因子^[2]。研究者相信,由于对认知能力有着广泛的影响,加工速度的变化是认知老龄化的主要因素,年龄变化首先导致加工速度的减缓,从而引起整体认知能力的下降。研究者采用大量的简单判断反应测量作为加工速度的指标,通过系统相关分析、结构方程等统计手段考察加工速度与多种认知能力之间的关系,以及年龄变化对认知能力的影响,都证实了这一观点^[3,4,5]。

然而,仅用加工速度来描述智力的一般因素是不够的^[6]。正如 Salthouse 所说,任何一个既与一般流体智力有高度相关,又受到年龄变化的显著影响的认知成分都可能成为认知老龄化的中介因子^[7]。工作记忆与推理能力之间的高相关使一些研究者认为工作记忆就是一般流体智力的基础^[8,9]。关于工作记忆与一般流体智力关系的探讨最终聚焦在中央执行功能上。作为工作记忆与短时记忆的主要区别,中央执行功能体现了对工作记忆的两个结构性子系统的控制和协调。尽管中央执行器的具体功能尚未得到分离,但研究者们认为其作用类似于控制性注意,是工作记忆的核心。他们将控制性注意作

为工作记忆差异的来源,并将工作记忆与一般流体智力的关系归结为两者对控制性注意的共同需要,认为三者是同功同构的关系^[10,11]。同时,工作记忆和控制性注意也被证实与一般流体智力的老化有着密切的联系,甚至被认为是主导因素^[12,13]。

然而,由于工作记忆与注意机制本身的复杂性,研究者们对于应该将二者看作是同功同构的认知成分,还是密切关联的不同认知成分尚未有定论。双任务范式研究得到的结果说明:注意与一般流体智力之间也有着较高的相关^[14],因此,在一般流体智力的认知成分中,我们同样需要考虑注意能力的作用。正如一些智力结构理论中所提到的元认知成分,注意则可能承担着对认知过程进行高一级的监控的任务^[15]。因此,本研究试图通过结构方程模型来考察加工速度、工作记忆和注意三个方面的认知成分与一般流体智力的关系。这些基本认知能力是否是构成一般流体智力的认知成分,它们相互之间的关系如何?在此基础上,本研究还希望同样通过结构方程模型整合地考察各个成分对智力老龄化的影响,以及各成分间的相互作用。

2 实验

2.1 被试:60名大学生,男29名,女31名,平均年龄20.72($SD=1.34$)岁。50名退休老年,男29名,女21名。平均年龄66.22($SD=5.97$)岁。所有被试均视力正常,或矫正视力正常,右利手,无色盲。

2.2 测量指标

2.2.1 加工速度的测量:数字加工速度测量采用数字对比测试;语言加工速度测量采用汉字对比测试;空间加工速度测量采用形状和位置对比测试。以反应时为指标。

2.2.2 工作记忆:数字工作记忆测量采用加法运算结合数字记忆;语言工作记忆测量采用加法运算结

* 通讯作者:罗婷,女。E-mail:luoting@lenovo.com

合词语记忆;空间工作记忆测量采用 *cosi block* 记忆。以最大记忆量为指标。

2.2.3 注意资源的测量:数字注意资源测量采用数字辨别测试与颜色辨别测试相结合;语言注意资源测量采用汉字辨别测试与颜色辨别测试相结合;空间注意资源测量采用方向辨别测试与颜色辨别测试相结合。以单、双任务反应时差异为指标。

2.2.4 控制性注意的测量:数字控制性注意测量采用数字串比较和尾数比较相结合;语言控制性注意测量采用汉字颜色命名和汉字字意命名相结合;空间控制性注意测量采用位置比较和形状比较相结合。以有提示与无提示条件的反应时差异为指标。

2.2.5 一般流体智力的测量:以 Cattell 文化公平测验和 Raven 推理测验为指标。

为了验证加工速度、工作记忆、注意资源和控制性注意因子的测量指标的准确性,建立了一个 MT-MM 结构模型,将各项测量任务中的一般认知能力因子和与刺激材料相关的特殊能力因子区分开来。通过 LISREL 软件进行结构模型拟合,结果很理想,卡方为 45.95 ($df = 43, p = 0.35$),拟合优度 GFI 达到 0.93, RMSEA 为 0.025。模型从 12 项外显变量中抽取出了 4 项一般性的认知能力(加工速度、工作记忆、注意资源、控制性注意)和三项相互独立的特殊能力(数字、语言、空间图形)。特殊因子的载荷值都很小,并且路径系数的 T 检验不显著。除控制性注意

对空间注意指标外,一般认知能力因子的载荷都高于 0.7,且全部显著。

3 一般流体智力的结构

Salthouse 等人认为加工速度在认知活动中占有极为重要的地位,也影响着工作记忆的成绩^[2,16]。而另一些研究者则强调工作记忆对推理能力的影响,尤其是控制性注意的作用。为了考察这三方面因素与一般流体智力的关系,以及三因素之间的相互关系,建立了四个模型进行比较。表 1 中列出了使用极大似然法进行估计得到的各个模型的拟合指数。

模型一(M1):假设工作记忆、加工速度、注意资源和控制性注意均为一般流体智力的认知成分。根据前人的观点^[2,17],假设工作记忆受到加工速度和控制性注意的影响。

模型二(M2):在 M1 基础上去除了注意资源因素,其它成分之间的关系不变。

模型三(M3):考虑到控制性注意与加工速度之间的关系,在 M2 基础上添加了控制性注意对加工速度的影响作用。

模型四(M4):由于在排除控制性注意和加工速度的影响之后,工作记忆对一般流体智力作用不显著,在 M3 的基础上将工作记忆从模型中去除,得到了 M4。

表 1 模型 M1、M2、M3、M4 的拟合指数

模型	χ^2	df	p	RMS EA	GFI	AGFI	NNFI
M1	168.60	71	<.001	0.82	0.73	0.83	
M2	210.1	39	<.01	0.20	0.75	0.57	0.61
M3	165.95	38	<.001	0.18	0.78	0.62	0.67
M4	29.99	15	0.012	0.096	0.94	0.85	0.96

通过 LISREL 软件进行结构模型估计,得到了四个模型的拟合结果,从拟合优度指数可以看出,M2 和 M3 的拟合情况都较差,M1 的拟合情况也不理想,M4 拟合很理想,卡方为 29.99,不显著,GFI 为 0.94,对数据的解释程度也比较理想(RMSEA = 0.096;90% 的确信区间为 0.044 - 0.15)。

从 M1 的路径分析结果来看,注意资源、工作记忆与一般流体智力之间的因子载荷都很小。注意资源对一般流体智力的载荷为 -0.04, T 检验也不显著。因此,认为注意资源,即注意资源的绝对量与一般流体智力的关系并不显著。在 M1 和 M2 的模型估计时提出的改进建议表明,加工速度与控制性注意之间存在显著的相关。两者并非独立地对工作记忆产生影响,还有相互作用。由于注意能力广泛地影响到各种认知操作过程,可能是控制性注意影响到加工速度。此外,M1 和 M2 的路径分析结果都表明,工作记忆对一般流体智力的影响不显著。这似

乎与 Kyllonen 和 Conway 等人的观点相矛盾^[9,10],但整体上来看却并非如此。Conway 等人是独立地考察工作记忆与一般流体智力的关系,并没有将注意和加工速度与一般流体智力的关系考虑在内。因此,工作记忆与一般流体智力之间的关系是不容置疑。但是,工作记忆系统本身包括了中央执行系统和两个功能子系统。中央执行系统被认为是工作记忆系统的核心,因此也是联系工作记忆系统与一般流体智力的纽带,其功能体现在控制性注意上^[17]。同时,加工速度也对工作记忆有显著的影响^[2,16]。同样受到控制性注意和加工速度的共同影响,一般流体智力和工作记忆所体现出来的相关应该是共变关系,而不是因果关系。

因此,认为工作记忆和一般流体智力是同功同构的观点是可以接受的,而控制性注意和加工速度正是两者的共同影响因素。当控制性注意和加工速度也同时被作为一般流体智力的影响因素^{4/4}与工

作记忆并列^{4/4}综合地进行考察时,工作记忆对一般流体智力的影响被分解到控制性注意和加工速度的作用中,而分解后余下的影响就不再显著了。另一方面,加工速度对工作记忆和一般流体智力的共同作用也部分地解释了工作记忆与一般流体智力的相关,这与 Salthouse 等人认为加工速度影响工作记忆的观点也是一致的。由于 M1 和 M2 的拟合结果都表明加工速度和控制性注意之间仍存在着显著的相关,可能控制性注意也影响到加工速度。M3 假设控制性注意既影响加工速度和工作记忆,也通过加工速度影响工作记忆,但拟合很不理想。路径分析表明控制性注意对工作记忆的影响较小,且不显著。因此,控制性注意对工作记忆的影响主要是通过加工速度来实现的,其直接影响并不明显。同时,工作记忆对一般流体智力的作用也很小(0.06,不显著)。

这与 M1 和 M2 的结果是一致的,即在考虑控制性注意和加工速度对一般流体智力的影响之后,工作记忆对一般流体智力的影响就不显著了。前三个模型都否定了工作记忆对一般流体智力的影响作用, M4 中就去掉了工作记忆因子。M4 拟合很好,明显优于其它模型。此外, M4 最符合模型拟合的简约原则,并且各条路径上因子载荷都显著。因此, M4 是最优的拟合模型,如图 1 所示。真正影响一般流体智力的因素只有两个:控制性注意和加工速度。其中加工速度对一般流体智力的影响很大。控制性注意对一般流体智力的影响略小,包括了两个方面:既直接影响一般流体智力,还通过加工速度间接影响一般流体智力,其总的影响程度相当于 $-0.31 + (-0.70 \times 0.75) = -0.525$ 。这两个因素的作用可以解释一般流体智力 91% 的变异。

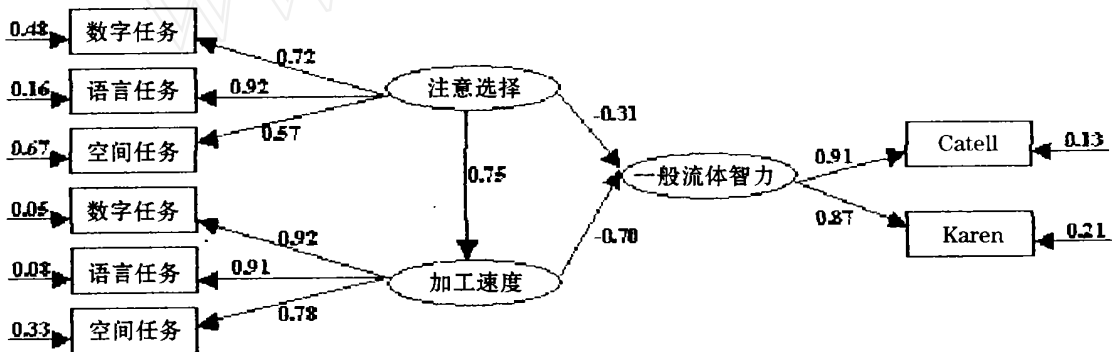


图 1 一般流体智力结构模型

4 一般流体智力的老化机制

对于一般流体智力的衰退,研究者们认为加工速度^[1]和工作记忆^[10]的衰退是直接原因。而根据前面得到的一般流体智力的结构模型,加工速度和控制性注意是一般流体智力的主要成分。由此,建立了三个模型来考察年龄与加工速度、控制性注意、工作记忆和一般流体智力之间关系,探讨一般流体智力随年龄衰退的机制。本研究的被试分为青年和老年两个年龄组,因此在模型中使用 1 和 2 分别作为两

个年龄组的年龄变量。

模型一(M5):假设年龄通过加工速度、控制性注意、工作记忆分别影响一般流体智力。各个中介因子之间相互独立。

模型二(M6):假设年龄通过加工速度、控制性注意分别影响一般流体智力。各个中介因子之间相互独立。

模型三(M7):假设年龄通过加工速度、控制性注意分别影响一般流体智力。各个中介因子之间相互独立。并且年龄也直接影响一般流体智力。

表 2 模型 M5、M6、M7 的拟合指数

模型	χ^2	df	p	RMS EA	GFI	AGFI	NNFI
M5	100.46	49	<.001	0.098	0.87	0.79	0.94
M6	67.05	24	<.001	0.128	0.88	0.77	0.94
M7	29.99	21	0.092	0.063	0.94	0.88	0.98

通过 LISREL 软件采用极大似然法进行模型估计,各项拟合指数见表 2。M5 的拟合可以接受,但并不理想, M6 的拟合结果较差, M7 的拟合则比较理想。M7 的各项拟合指数都较好,所涉及的潜变量也最少,符合模型的简约原则。

M5 假设加工速度、工作记忆、控制性注意在一般流体智力的衰退中起到中介的作用。模型的拟合结果可以接受。但路径分析结果却表明问题并不这

么简单。尽管加工速度、工作记忆、控制性注意三个因子对一般流体智力的影响都是显著的,并且工作记忆对一般流体智力的影响最大,达到了 0.53。但是,在加工速度和工作记忆之间却存在着双向的相互作用,这在理论上难以得到合理的解释。

M6 中去掉了工作记忆因素,假设年龄分别通过控制性注意和加工速度影响一般流体智力,模型的拟合不理想。分析结果表明,控制性注意和加工速

度的作用不能完全解释年龄对一般流体智力的影响。

M7 中增加了由年龄直接指向一般流体智力的路径。改进后的模型得到了很好的拟合,在允许个别测量任务之间的偶然相关后(Cattell 与数字加工速度 - 0.05;空间图形加工速度与语言控制性注意 0.05),各项拟合指数都很理想,是最优的拟合模型,如图 2 所示。

同时,M7 所显示的老化机制与一般流体智力的结构(M4)在理论解释上是一致的,排除了工作记忆对一般流体智力的影响,而证实了加工速度和控制性注意在一般流体智力老化中的中介作用。尽管这与单独研究工作记忆与一般流体智力老化的结果有

出入,但实际上,这与工作记忆的老化研究中得到的结果是一致的。很多研究表明中央执行系统的功能衰退是工作记忆的年龄差异的主要来源,这包括对记忆的协调控制的衰退^[13],抑制能力的降低^[18],和控制性注意的衰退^[19]等。因此,一些研究中得到的年龄通过工作记忆对一般流体智力施加的影响实际上可能都来自于加工速度和控制性注意的影响,由于没有将控制性注意和加工速度作为单独的因素进行考虑,从而推论出工作记忆与一般流体智力之间的因果关系。在综合考虑加工速度、控制性注意、工作记忆作为中介因子时,工作记忆的影响都被分解为加工速度和控制性注意的作用了。

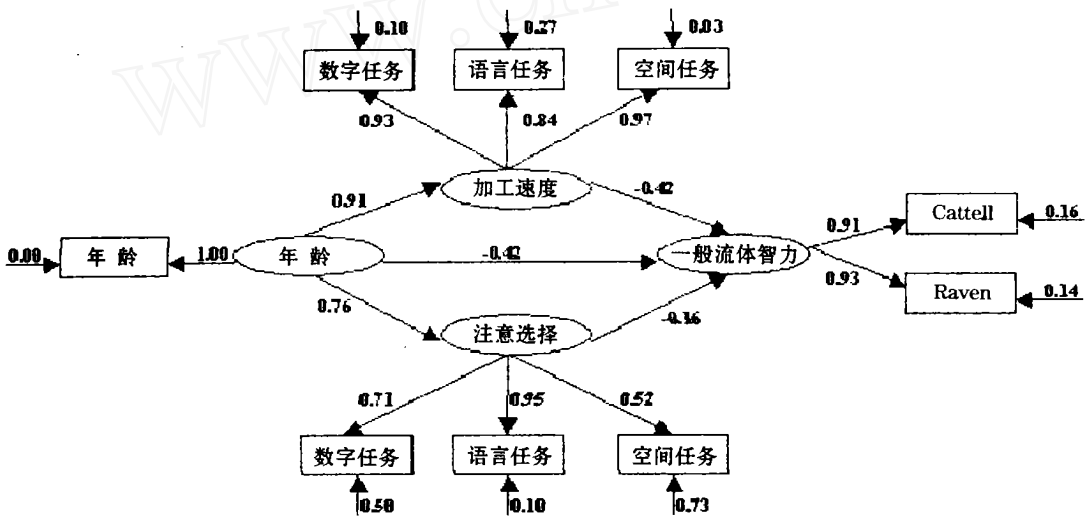


图 2 一般流体智力的衰退机制

控制性注意和加工速度是年龄影响一般流体智力的两个主要中介因子。其中加工速度对一般流体智力随年龄变化的影响较大,相当于 $0.91 \times -0.42 = -0.382$ 。这与 Salthouse 的观点是一致的,年龄通过加工速度对一般流体智力产生影响,这是年龄影响一般流体智力的最主要的途径。同时,控制性注意也在一般流体智力年龄变化中扮演了中介的角色,其影响程度小于加工速度。年龄通过控制性注意对一般流体智力产生的影响相当于 $0.76 \times -0.16 = -0.122$ 。尽管在一般流体智力就结构中,控制性注意对加工速度有影响,但在作为年龄影响一般流体智力的中介时,两者的作用可以被独立地区分开,显然,加工速度的影响是更为明显的。

然而,除了通过这两个中介因素来影响一般流体智力,还有一部分年龄的影响没有得到解释,其影响程度相当于 - 0.42。这一部分的影响不是通过控制性注意和加工速度来实现的,本研究中难以解释是什么成分产生了这样的影响。可能还存在其它一些因素,尽管在一般流体智力的结构中并非主要的成分,但其随年龄的变化较为显著,因而对一般流体

智力的衰退却有显著的影响,这有待进一步的探索。

5 结论

本研究以不同刺激材料测量的注意资源、控制性注意、加工速度和工作记忆的水平作为外显变量,与一般流体智力之间,建立了四个可能的结构模型进行比较。采用极大似然法对四个模型进行的估计结果表明 M4 具有最优的拟合效果,从理论上也可以较好地解释一般流体智力的认知结构,其结构参见图 1。该模型说明控制性注意和加工速度是一般流体智力的两个主要成分,其中控制性注意也影响到加工速度的水平。通过不同模型比较,可以看到工作记忆与一般流体智力的相关是由于两者同样受到控制性注意和加工速度的共同影响。因此工作记忆和一般流体智力之间的相关只是一种共变关系,而不是因果关系。控制性注意和加工速度正是影响一般流体智力和工作记忆的共同因素。

结合前人观点,在一般流体智力结构模型的基础上,建立了三个可能的模型来考察年龄与一般流体智力、控制性注意、加工速度和工作记忆之间的关

系。模型比较排除了工作记忆对一般流体智力年龄变化的中介作用,证实了加工速度和控制性注意在一般流体智力老化中的中介作用,其具体机制如图2所示。年龄通过加工速度和控制性注意来影响一般流体智力水平,其中加工速度起着较为重要的作用。除了通过控制性注意和加工速度来影响一般流体智力之外,仍存在一部分年龄的影响有待进一步的探索。

6 参考文献

- 1 Salthouse, T. A. A theory of cognitive aging. Amsterdam: North - Holland. 1985
- 2 Salthouse, T. A. Influence of processing - speed on adult age differences in working memory. *Acta Psychologica*, 1992, 79: 155 - 170
- 3 Salthouse, T. A. Aging associations: Influence of speed on adult age differences in associative learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 1994, 20: 1486 - 1503
- 4 李德明,刘昌,李贵芸. 认知老化模型的研究. *心理学报*, 1999, 31(1): 98 - 102
- 5 刘昌,李德明,李贵芸. 心算加工老年化及其机制的研究. *心理学报*, 1999, 31(3): 306 - 311
- 6 Roberts, R. D., & Stankov, L. Individual differences in speed of mental processing and human cognitive abilities: Toward a taxonomic model. *Learning and Individual Differences*, 1999, 11(1): 1 - 120
- 7 Salthouse, T. A. Structural models of the relations between age and measures of cognitive functioning. *Intelligence*, 2001, 29: 93 - 115
- 8 Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. Reasoning ability is (little more than) working - memory capacity?! *Intelligence*, 1990, 14: 389 - 433
- 9 Kyllonen, P. C. Is working memory capacity Spearman 's g? In: Dennis, Ian, & Tapsfield, Patrick (Ed). *Human Abilities: Their Nature and Measurement XV*, Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 1996, 189, 49 - 75
- 10 Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. A latent variable analysis of working memory capacity, short - term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 2002, 30: 163 - 183
- 11 Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. A controlled - attention view of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2001, 130: 169 - 183
- 12 Gick, M., Craik, F. I. M., & Morris, R. G. Task complexity and age differences in working memory. *Memory and Cognition*, 1988, 16: 353 - 361
- 13 Verhaeghen, P., Kliegl, R., & Mayr, U. Sequential and coordinative complexity in time - accuracy functions for mental arithmetic. *Psychology and Aging*, 1997, 12(4): 555 - 564
- 14 金志成,陈彩琦. 选择性注意的分心物加工机制对工作记忆的影响. *心理学报*, 2001, 33(6): 495 - 499
- 15 蔡笑岳,向祖强,庄晓宁. 当代智力研究的基本状况和发展趋向. *心理学动态*, 1998, 6(2): 35 - 39
- 16 李德明,刘昌,李贵芸. 速度与认知成绩及年龄关系的研究. *心理学报*, 1998, 30(2): 182 - 186
- 17 Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. Working memory, short - term memory, and general fluid intelligence: A latent - variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, 136: 309 - 331
- 18 Hasher, L., & Zacks, R. T. Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. In: Bower, G. H. (Ed.) *The Psychology of Learning and Motivation*. San Diego, CA: Academic Press. 1988, 193 - 225
- 19 Baddeley, A. D. Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1996, 49A: 5 - 28

The Structure and Aging Mechanism of General Fluid Intelligence : A Structure Model Exploration

Luo Ting, Jiao Shulan

(Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

Wang Qing

(School of Labor Relation and Human Resource, Renmin University, Beijing, 100872)

Abstract The cognitive structure and the aging mechanism of general fluid intelligence have caught many research interests in recent years. Present study discusses these problems from a cross-the-board point, with a structure modeling approach. Taking processing speed, working memory and attention ability as latent variables, processing speed and selective attention were proved to be the main cognitive components of general fluid intelligence, but working memory was excluded. The structure model of aging mechanism also proved that processing speed and selective attention are the most important media between age and general fluid intelligence.

Key words: general fluid intelligence, structure model, working memory, processing speed, attention control