



北京大学中国经济研究中心
China Center for Economic Research

讨论稿系列
Working Paper Series

No. C2022004

2022-10-21

疫苗接种、人力资本积累与收入增长

何凡 王姣 黄炜

摘要：我国历来高度重视疫苗在防控传染病中的重要作用，但关于我国疫苗接种的长期经济效果却鲜有文献关注。本文利用我国上世纪流脑疫苗的接种，采用队列双重差分模型考察了疫苗接种对个体人力资本积累和收入增长的影响。结果显示，流脑疫苗接种显著促进了个体人力资本积累，表现为教育成就、健康水平和认知能力的全面提高。异质性分析结果表明，经济社会背景较差个体从流脑疫苗接种中获得人力资本回报更高。进一步，本文发现流脑疫苗推广接种分别提高了受益群体 3.2 个百分点的就业概率和 7.4% 的收入，其中人力资本积累发挥了重要的作用。成本收益分析结果显示，流脑疫苗接种的收益是其成本的 61-110 倍，而人力资本回报收益在总收益中占据主导，远超医疗健康收益。本文结论为总结我国早期公共卫生事业发展的长期效果提供了经验证据。

关键词：疫苗接种；人力资本积累；收入增长；不平等

JEL 分类号：I15, I18, O15

作者简介：

何凡，江西财经大学财税与公共管理学院，电子邮箱：hefan0318@163.com

王姣，华中科技大学管理学院，电子邮箱：wangjiao2020@hust.edu.cn

黄炜（通讯作者），北京大学国家发展研究院，电子邮箱：huangwei@nsd.pku.edu.cn

疫苗接种、人力资本积累与收入增长

何凡 王姣 黄炜

摘要：我国历来高度重视疫苗在防控传染病中的重要作用，但关于我国疫苗接种的长期经济效果却鲜有文献关注。本文利用我国上世纪流脑疫苗的接种，采用队列双重差分模型考察了疫苗接种对个体人力资本积累和收入增长的影响。结果显示，流脑疫苗接种显著促进了个体人力资本积累，表现为教育成就、健康水平和认知能力的全面提高。异质性分析结果表明，经济社会背景较差个体从流脑疫苗接种中获得人力资本回报更高。进一步，本文发现流脑疫苗推广接种分别提高了受益群体 3.2 个百分点的就业概率和 7.4% 的收入，其中人力资本积累发挥了重要的作用。成本收益分析结果显示，流脑疫苗接种的收益是其成本的 61-110 倍，而人力资本回报收益在总收益中占据主导，远超医疗健康收益。本文结论为总结我国早期公共卫生事业发展的长期效果提供了经验证据。

关键词：疫苗接种；人力资本积累；收入增长；不平等

一、引言

健康与个体人力资本积累和长期发展息息相关 (Bleakley, 2010; Currie and Almond, 2011)。传染病是影响公众健康最重要的因素之一。据统计，1990 年全球 1669 万人因传染病死亡，占总死亡人数的 34%，随后虽有下降，但直至 2019 年传染病仍是发展中国家居民健康面临的重要挑战 (Price-Smith, 2001; WHO, 2019)¹。接种疫苗被视为防控传染病最有效和最经济的干预措施 (Ehreth, 2003; Ozawa et al., 2012)。事实上，国际文献指出疫苗接种不仅可以直接降低传染病发病率和死亡率，改善居民健康，而且还能够促进人力资本积累，带来超越健康收益的长期经济效益²。

我国也曾备受传染病困扰，建国初期平均每 5 人便有 1 人感染传染病，位列居民各类死因之首 (刘元宝等, 2019)³。在建国初期至改革开放期间，我国传染病感染率快速下降，人均寿命提高近 20 岁，这项重要成果与我国公共卫生事业的积极发展和疫苗的普遍推广密不可分 (Wang et al., 2008)。由于上世纪疫苗接种数据的缺失，关于我国疫苗接种的长期经济效益一直未能受到学界足够的关注。

为弥补该研究空白，本文尝试从人力资本积累和收入增长角度考察我国疫苗接种的长期经济效应。特别地，本文试图回答以下三个问题：我国通过疫苗接种防治传染病能否促进人力资本积累？如果可以，其能否发挥促进收入增长的作用？成本收益如何？对上述问题的回答是当前我国社会各界共同关心的重大课题，不仅有助于总结、评估我国过去传染病防治的

¹ 由于缺乏准确数据，我们无法获得 1990 年之前每年因传染病死亡的人数，但据 WHO 2000 年发布的《世界卫生报告》粗略统计显示，20 世纪全球因传染病死亡的人数高达 14 亿，尽管 20 世纪经历了两次世界大战，但因传染病死亡的人数仍然是因战争死亡人数的近 14 倍。

² 例如 Barofsky et al. (2015)、Gensowski et al. (2019)、Brown et al. (2020) 和 Bütikofer and Salvanes (2020)。

³ 此处所指的传染病为建国初期我国法定的甲乙两类传染病。

影响后果，而且能够为当前我国传染病疫苗接种的长期影响提供先导证据，并为个体疫苗接种决策和政府疫苗研发、推广提供激励。

鉴于此，本文主要基于我国上世纪 80 年代左右使用疫苗防治流行性脑脊髓膜炎（下文简称流脑）进行分析。首先，与疟疾等寄生虫类传染病相比，流脑是一种由脑膜炎菌感染后引发的急性呼吸道传染病，依靠物理防御手段，如洗手、开窗、晒被、灭虫等难以预防，接种疫苗是最有效的措施。其次，我国上世纪 80 年代前流脑疫情十分严重，造成大约 934 万人感染，58 万人死亡（黄树则和林士笑，1986；张晓丽和陈东林，2017）。但在流脑疫苗接种后，发病率快速下降。最后，流脑主要侵犯 16 岁以下的儿童青少年，流脑疫苗也主要针对这一群体进行接种（Li et al., 2018）。由于个体生命早期健康状况对成年后的发展具有重要的解释力，针对这一时期的健康干预能够有效促进人力资本积累（Cunha and Heckman, 2007）。因此，上世纪流脑疫苗的接种为本文研究提供了良好的识别条件。

利用 2010 年中国家庭追踪调查数据和手工收集的地方《卫生志》中记录的流脑发病率和疫苗接种时间等数据，本文构建队列双重差分模型（Cohort difference-in-differences）估计流脑疫苗接种对个体人力资本积累和收入增长的影响。研究结果显示，流脑疫苗接种显著促进了个体人力资本积累。平均而言，流脑疫苗接种使受益群体教育年限增加了约 0.5 年，完成小学、初中和高中教育的概率分别提高了 3.1%、10%和 22.4%。此外，我们还发现，流脑疫苗的接种明显提高了受益群体的健康水平和认知能力。异质性分析结果显示，流脑疫苗接种对男性教育成就的积极效应略大于女性，同时经济社会条件较差个体的教育成就从流脑疫苗接种中获益更多，意味着我国传染病防治不仅从总体上促进了人力资本积累，而且还降低了社会不平等。

进一步，我们还考察了流脑疫苗接种对个体劳动力市场表现的影响。结果发现，流脑疫苗接种平均使受益群体的就业概率增加了约 3.2 个百分点，并使有工作的受益群体收入增加了 7.4%。由于劳动报酬是国民生产总值的重要组成部分，这一结果在一定程度上说明我国早期健康干预推动了国家经济增长。最后，我们还计算了流脑疫苗的成本收益，发现即使我们只考虑医疗健康收益和劳动力市场回报收益，流脑疫苗接种的收益成本比仍然高达 61-110 倍。这一结果为我国疫苗研发和推广接种决策提供了重要的证据支持。尤为重要的是，我们发现流脑疫苗通过促进人力资本积累带来的劳动力市场回报收益远超医疗健康收益，说明以往医学文献中只计算疫苗接种的医疗健康收益严重低估了疫苗接种的效益。

本文边际贡献主要体现在以下四个方面：第一，首次系统考察了我国通过疫苗接种防治传染病的长期经济后果。评估疫苗接种防治传染病的长期影响一直是经济学家和政策制定者关心的重大问题，大量文献考察了西方发达国家和其他中低收入国家疫苗接种的长期后果（Bloom et al., 2012；Nandi et al., 2020；Bütikofer and Salvanes, 2020），中国作为世界上使用疫苗防控传染病最成功的国家之一（Wang et al., 2008；Yu et al., 2016），却未得到学术界的充分关注，本文研究填补了这一重要空白⁴。第二，丰富了早期健康冲击与个体长期

⁴ Oskorouchi et al. (2020) 检验了我国建国初期出生儿童的疫苗接种对老年时期教育和认知的影响，发现儿童时期接种疫苗与老年时期的教育成就和认知能力显著正相关。但该研究仍然存在三点缺憾：首先，一是仅依靠个体回忆判断早期是否接种疫苗进行简单回归，未能得出可靠的因果证据。二是仅关注对个体长期教育和认知的影响，没有进一步考察对健康、不平等、劳动力市场表现和经济增长的作用，导致对疫苗接种长期影响后果的认识不足。三是没有精确到接种疫苗的类型，无法计算疫苗接种的成本收益。

发展的研究。生命早期健康冲击对个体终身发展具有重要影响已成为学术界的共识，但已有文献主要关注孕期和儿童早期遭受健康冲击的影响后果（Almond, 2006; Barreca, 2010; Cutler et al., 2010; Kelly, 2011; Fink et al., 2021; 吴贾等, 2021; 林友宏, 2021），本文将其拓展至儿童晚期和青少年阶段，丰富了对早期健康冲击长期影响的认识和理解。第三，为认识健康与经济增长关系提供了来自中国的经验证据。公众健康能否推动经济增长一直存在争论（Acemoglu and Johnson, 2007, Bloom et al., 2019），但既有文献主要关注美国等西方发达国家。本文通过考察流脑疫苗接种对个体劳动力市场表现的影响，一定程度上证实了健康能够促进经济增长，为进一步厘清健康与经济增长的关系提供了来自中国这一最大发展中国家的证据。第四，本文还详细计算了使用疫苗接种防控传染病的成本收益，不仅总结了我国历史上传染病防治的成本收益，也对当前我国加强疫苗接种，防控传染病提供了借鉴。

本文剩余部分安排如下：第二部分是历史背景，介绍了我国上世纪流脑疫情和疫苗研发、接种情况。第三部分是研究设计，详细介绍了文章的识别策略、数据来源、变量定义和描述性统计结果。第四部分报告了主要的实证结果。第五部分考察了对个体劳动力市场表现和经济增长的影响。第六部分计算了流脑疫苗的成本收益。最后是文章的结论和政策启示。

二、流脑疫苗接种的历史背景

新中国成立初期，由于遭受连年战争的破坏，社会经济发展面临一穷二白、百废待兴的局面，医疗卫生资源更是极度匮乏，人民健康缺乏基本的保障⁵。缺医少药是当时我国医疗卫生工作最显著的特征之一，致使传染病成为威胁人民生命健康与社会稳定最主要的因素（胡克夫, 2003）。资料显示，1949年，我国甲乙两类法定传染病的发病率高达20000人/10万，传染病导致的死亡排在民众各类死因之首（黄树则和林士笑, 1986; 刘元宝等, 2019）。预防传染病，保障人民生命健康是当时党和国家最重要的工作之一。通过建立传染病防疫站和开展爱国卫生运动，我国在上世纪50、60年代基本控制住了鼠疫、天花、霍乱、儿童脊髓灰质炎、麻疹、白喉和各类寄生虫传染病。

然而，“十年内乱”期间，我国卫生工作遭到严重破坏，各级卫生部门基本瘫痪，各类疫苗无法正常供应，导致全国传染病发病率再度大幅上涨。其中，传播范围最广，来势最凶猛的是流脑疫情。所谓流脑，是一种由脑膜炎菌感染人体后引起的急性呼吸道传染病，感染后的主要症状表现为头痛、发烧、咽痛、呕吐，皮肤出现瘀点或瘀斑，并可能引起休克及脑膜炎症等症状。流脑来势凶猛，病死率极高，常在发病后12-24小时内死亡。而幸存者中，大约有10%-15%的人伴有长期的后遗症，如神经性耳聋、失明、动眼神经麻痹、四肢瘫痪、智力和情志改变、精神异常等（Bilukha and Rosenstein, 2005），对个体人力资本积累和长期发展造成了巨大的损害。通过对发病地区和人员的调查，我国流脑疫情以侵犯儿童青少年为主，发病人群中15岁及以下病人占到80%左右，并且年龄越小，发病率越高（黄树则和林士笑, 1986）⁶。

⁵ 1949年，我国仅有2600所条件简陋的医院，共计8万张病床，仅相当于我国2018年病床数的1.23%，药品供应严重不足，绝大部分化学药品国内不能自制，最简单的医疗器械也要依靠进口。

⁶ 来自各地区的数据也验证了流脑发病的年龄特征。例如，德阳市旌阳区、泰安市、百色市和济南市等地在上世纪60-80年代期间15岁以下流脑发病人数分别占总病例数量的86.33%、78.13%、68.79%和85.76%（李

事实上，流脑是一种世界性的传染病，曾在世界各大洲均有流行记录，尤其是 19 世纪末至第一次、第二次世界大战期间在世界各地广泛流行。而在我国，流脑也并非是在“十年内乱”期间第一次在我国流行。图 1 显示，新中国成立后，我国在 1959 年前后也曾爆发过一次中等规模的流脑疫情，发病率为 55.65/10 万，当时受影响的地区主要集中在华中及华南一带⁷。“十年内乱”期间，人群大量流动，加之当时医疗卫生工作基本处于瘫痪，导致流脑疫情快速扩散。数据显示，1967 年我国流脑发病率达到了有记载以来的最高峰，发病人数超过 300 万人，发病率为 403/10 万，致使我国近 17 万人死亡，且绝大多数为儿童青少年，几乎波及了全国所有省市（张晓丽和陈东林，2017）。

为防治流脑疫情扩散，我国主要通过四类方式进行预防，一是物理预防。主要使用“三早一就地”（早发现、早诊断、早治疗并就地抢救危重病人）、“三开”（开门、开窗、开大窗）和“三晒”（晒衣服、晒被褥、晒家具）等措施预防流脑疫情。同时，在流脑疫情肆虐时期，为防止传染病大面积爆发传播，部分地区的学校还选择停课的方式减少人群集聚，以降低病毒感染概率（张晓丽和陈东林，2017）⁸。二是药物预防。通过服用磺胺药物进行预防与治疗，但自 20 世纪 60 年代国内外发现脑膜炎耐磺胺药后，磺胺药物预防已大部分失效并不再使用。三是第一阶段的疫苗预防。在 1966 年流脑大流行期间，上海、北京等生物制品研究所紧急研制出流脑死菌苗，接种者异常反应大且预防效果差（黄树则和林士笑，1986）。四是第二阶段疫苗预防。1972 年北京生物制品研究所和中国医学科学院流行病学研究所合作研制出多糖菌苗，1974 年进一步研制出粗制 A 群多糖菌苗，以后逐年改进，预防效果不断提高，保护力达 86%-92%，为预防流脑提供了有效手段。

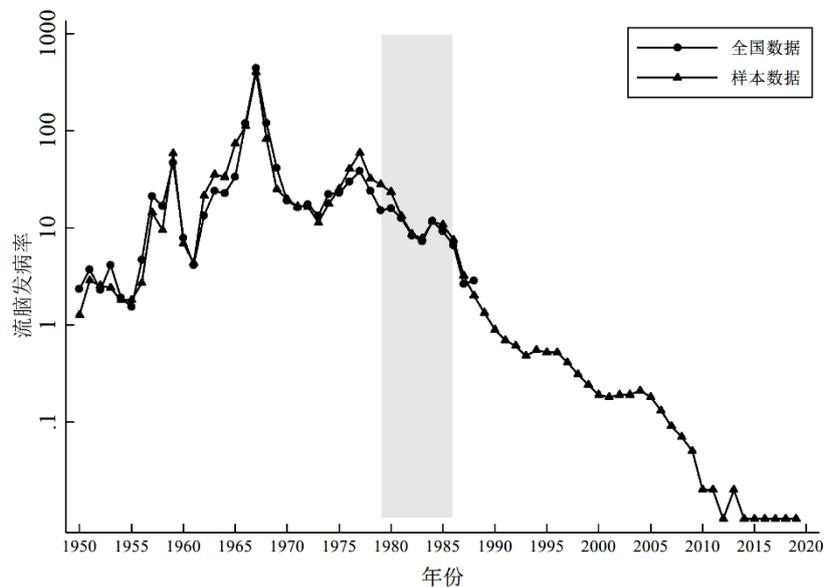


图 1 我国流脑发病率走势图

文明，2004；王晶，2009；汤健闻等，2006；吕晔等，2004）。

⁷ 图 1 使用对数坐标轴展示流脑病毒发病率走势，我们还在附图 1 报告了使用原值展示的流脑发病率走势。另外，由于流脑主要感染 0-15 岁儿童，我们还根据每年 0-15 岁人口占比简单计算了 0-15 岁人群的流脑发病率，一并展示在附图 1 中。

⁸ 张晓丽和陈东林（2017）记载的资料显示，“在流行期间 10-15 岁以下儿童一律不准出村，外来者只在村口接洽，非进出村不可的动员其自觉戴好口罩，滴鼻漱口”、“果然学校没去几个学生，大家都被脑膜炎吓住了”。这些资料从侧面反映当时部分地区为阻止流脑病毒传播和爆发采取了停课措施。

注：由于自新中国成立至今，我国流脑发病率从 0.01/10 万到 403.58/10 万不等，数据波动非常大，参照黄树则和林士笑（1986）做法，我们使用对数坐标轴进行呈现，因此 Y 轴数值并不能够直接对应真实的发病率，真实的发病率报告于附图 1。全国 1970 年以前流脑发病率数据源于黄树则和林士笑（1986），1970 年及以后数据源于中国卫生统计年鉴，样本发病率数据源于作者手工收集整理。图中阴影区域为作者手工收集的各地流脑疫苗接种时间，详见文章第三章节。

由于流脑疫情的特殊性，上述前三类措施的预防效果十分有限，而第四类预防措施（第二阶段疫苗预防）在上世纪 80 年代之前仍处在研发实验阶段。因此，1975 年，河南、江苏、山东、安徽、河北等地区再次爆发流脑疫情，并迅速扩散。1977 年，全国流脑疫情再次出现一波高峰，发病率达 60.1/10 万。此轮流脑疫情波及全国三分之二以上的地区，东北、华北、西北和西南地区都达到了中等度流行水平（黄树则和林士笑，1986）。

1980 年，新研发的多糖菌苗被批准作为正式产品供应全国⁹。据多糖菌苗接种 30 微克后的免疫反应及现场效果调查结果显示，多糖菌苗的有效期达 2-3 年，保护率也非常高。以河南南阳地区现场效果观察为例，接种多糖菌苗后第 1 年、第 2 年和第 3 年的保护率分别为 97.6%、79%和 67%，能够有效地预防流脑疫情（黄树则和林士笑，1986）。然而，由于当时国内疫苗生产能力和调度能力有限，多糖菌苗的接种并非在全国同时进行，而是针对不同地区预测的流行情况和易感染人群特征，采用分地区、分人群的策略逐步进行接种的。具体地，就分地区而言，主要根据传染病扩散规律进行预测，提前对可能发生流脑疫苗地区的人群接种多糖菌苗，因此全国不同地区接种多糖菌苗的时间并不相同，接种时间的前后主要取决于流行病预测中当地未来发生流脑疫情的概率。资料显示，1981-1983 年，我国通过对当地历年流脑疫情资料、病原菌调查、人群抗体水平的测定以及影响流行的其他因素，如气象资料、出生率、人群活动等进行综合分析预测下一年当地的流行趋势，对多个预测流行的地区接种了多糖菌苗，都取得了明显的效果。例如，辽宁省 1981 年流脑发病率比 1980 年上升 2 倍（28.15/10 万），流行趋势自辽东、辽南开始蔓延，8 个县存在明显流脑流行迹象，根据预测，辽宁省 1982 年流脑发病率将明显上升。为此，1982 年当地对未来可能出现流行的地区和已发生流行但尚未感染的人群进行了约 300 万人份的多糖菌苗接种，使辽宁当年发病率降至 21.37%；1983 年继续在预测流行地区进行了约 1000 万人份的多糖菌苗接种，发病率进一步降至 7.3%。而就分人群而言，由于 15 岁及以下感染流脑的概率最高，因此多糖菌苗主要针对 0-15 岁的儿童青少年进行接种（Li et al., 2018）¹⁰。

多糖菌苗的接种成为我国控制流脑疫情最有效的手段，成功降低了流脑疫情发病率，具体表现在两个方面。一方面，从整体上降低了我国流脑疫情发病率。图 1 显示，自上世纪 80 年代大规模推行流脑多糖菌苗接种后，我国流脑疫情再未发生大规模、大范围的流行¹¹。到

⁹ 在正式批准前，为预防流脑疫情大规模扩散，湖南省和江苏省在 1979 年已经紧急接种了多糖菌苗。

¹⁰ 王晶（2009）就明确记载泰安市“从 1980 年对全市 15 岁以下儿童进行了每年的 A 群流脑疫苗预防接种，按照国家规定的免疫程序，每年的 10 月对 15 岁以下儿童进行一次突击接种，发病率和死亡率逐年下降。”此外，如附图 2 所示，大量地区的地方志也记载了当时流脑疫苗主要针对 0-15 岁儿童进行接种。

¹¹ 大量研究表明，我国 80 年代后期的流脑发病率的下降并非流脑病毒自然下降的过程，而是多糖菌苗接种的结果（李文明，2004；吕晔等，2004；汤健闻等，2006；王晶，2009；王代良等，2014；胡云峰等，2018；许燕等，2022）。上述文献资料多有如下表述，“1980 年推广使用流脑疫苗后，流脑发病持续下降，无明显的周期性”；“从 1986 年开始推广使用 A 群脑膜炎多糖菌苗，1991 年后年发病率明显下降，至今一直维持在较低的发病水平”；“屏南县自 1980 年代推广使用 A 群流脑多糖体菌苗以来，发病率、死亡率均有所下降，流行周期性被打破，疫情得到根本控制”；“自从 1980 年以来，江苏省开始实施流脑 A 群多糖疫苗普种，发病率随之逐渐下降，至 1988 年降至 1/10 万以内”。

上世纪 90 年代发病率一直维持在 1/10 万以下的水平，进入 21 世纪发病率则进一步降低至 0.2/10 万以下的水平。另一方面，分地区来看，流脑疫苗接种前流脑发病率越高的地区在接种疫苗后发病率的下降幅度越大。由于接种多糖菌苗能够有效预防流脑感染，并在整体上将流脑发病率控制在较低的水平，因此，对于流脑疫苗接种前流脑发病率越高的地区而言，他们受流脑疫苗接种的影响更大，获益更多。图 2 展示了流脑疫苗接种前后地区流脑发病率与发病率下降幅度间的关系，可以发现，在多糖菌苗接种前流脑发病率越高的地区，多糖菌苗接种后流脑发病率的下降幅度便越大¹²。

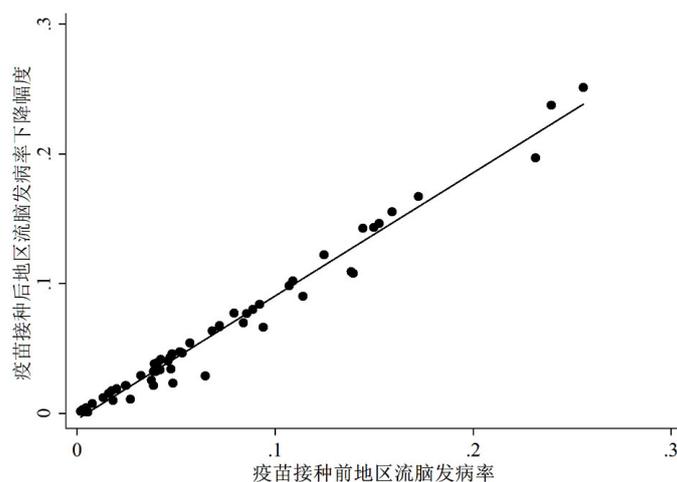


图 2 疫苗接种前不同流脑发病率地区受疫苗接种的影响

三、研究设计

(一) 数据来源

本文数据来源主要有两个，一是各地编撰的《卫生志》，从中我们手工整理了不同地区在接种流脑疫苗前的发病率和疫苗接种时间等数据；二是 2010 年的中国家庭追踪调查（CFPS）数据，为本文提供了个体层面详细的人力资本变量和社会特征信息。

1. 城市流脑发病率和疫苗接种数据

疫苗接种前的城市流脑发病率数据主要源于各城市编撰的《卫生志》，详细记录了当地医疗卫生事业发展，内容涵盖多个方面，包括卫生行政变革、卫生防疫数据和医疗保健信息等，而传染病感染和防治的信息便被详细记录在卫生防疫数据部分。

我们依靠万方数据知识服务平台、各省市卫健委官网、各省份图书馆和政府信息公开等多个渠道收集了各城市的《卫生志》，并对其中记录的有关流脑发病数据和防治信息逐一进行整理¹³。发现全国共有 246 个城市记录了流脑发病数据，其中 136 个城市较为详细地公布了建国后至 20 世纪 90 年代的流脑发病数据，110 个城市只详细报告了上世纪 60 年代和 70

¹² 多糖菌苗接种前地区流脑发病率数据是 1966-1968 年和 1976-1978 年六年发病率均值，多糖菌苗接种后地区发病率是当地疫苗推行后 6 年的平均发病率。不同地区疫苗接种时间详见下文阐述。

¹³ 少量城市并没有在《卫生志》中公布传染病数据，而是在《地方志》中报告传染病数据。针对这一情况，我们通过整理各城市的《地方志》对数据进行补充。

年代两次流脑大流行期间的发病数据。

由于绝大多数城市的《卫生志》均未详细报告当地接种流脑疫苗的时间，为此我们将省份《卫生志》中记录的各省最早接种流脑多糖菌苗的年份作为省内所有城市接种流脑疫苗的时间。数据显示，我国不同地区流脑疫苗接种的时间并不统一，但主要集中在 1980 年左右，与黄树则和林士笑（1986）中记载的多糖菌苗在 1980 年推向全国的时间一致。

2. 个体层面数据

个体人力资本和特征变量数据源于北京大学中国社会科学调查中心发布的中国家庭追踪调查（China Family Panel Studies, CFPS）。迄今为止，CFPS 已进行了六轮追踪调查，考虑到本文研究设计以及我国流脑疫苗的接种主要集中在 1979-1986 年，因此本文选择使用 CFPS 2010 年调查作为本文个体层面的数据来源。在 2010 年，绝大多数研究对象都已完成教育且没有退出劳动力市场，能够有效满足本文识别需求¹⁴。此外，与 CFPS 其它追踪轮次调查数据相比，CFPS 2010 年调查数据还详细记录了个体出生地及迁移信息，能够排除人口迁移对本文估计结果的影响。

（二）识别策略

本文目的是考察使用疫苗防治流脑这一传染病后对个体人力资本积累和经济增长的影响，参考 Bleakley（2007）、Bütikofer and Salvanes（2020）、梁超和王素素（2020）等文献做法，采用队列双重差分模型进行识别。具体地，本文识别策略主要基于两个维度的差异，一是个体出生城市疫苗接种前流脑发病率的差异，衡量了不同地区个体受流脑疫苗接种影响强弱。图 2 显示，疫苗接种前流脑发病率越高的城市在疫苗接种后发病率下降的幅度越大，从流脑疫苗接种中获益也越多。因此，与强度双重差分模型类似，可以将疫苗接种前流脑发病率较高的地区视为“处理组”，较低地区视为“参照组”。二是疫苗接种时个体队列的差异。流脑发病人群主要集中在 15 岁及以下的青少年，而疫苗接种也主要针对这部分人群。因此，疫苗接种时的 15 岁年龄成为区分流脑疫苗接种影响前后的变量，在 15 岁及以下受流脑疫苗接种的影响，而在 15 岁以上则基本不受影响¹⁵。

$$Y_{i,c,p,t} = \alpha_0 + \alpha_1(T_{c,p}^{pre} \times Post_{i,c,p,t}) + \alpha_2 X_{i,c,p} + \theta_c + \mu_{p,t} + \epsilon_{i,c,p,t} \quad (1)$$

模型（1）中，下标 i 、 c 、 p 、 t 分别表示个体、出生城市、省份和出生年份。被解释变量 $Y_{i,c,p,t}$ 是衡量个体人力资本积累的一系列变量，包括教育成就、健康水平和认知能力。核心解释变量是 $T_{c,p}^{pre}$ 和 $Post_{i,c,p,t}$ 两个变量的交互项，其中 $T_{c,p}^{pre}$ 是个体出生城市在疫苗接种前的流脑发病率。 $Post_{i,c,p,t}$ 是流脑疫苗接种启动后产生的队列变化，下文详细介绍了定义。我们还在模型中控制了一系列个体基本特征变量 $X_{i,c,p}$ ，包括性别、户口类型和民族成分。 θ_c 是城市固定效应，用以控制城市层面不随时间变化（或缓慢变化）因素对结果的干扰。此外，我们还加入了省份与年份的交互固定效应 $\mu_{p,t}$ ，以控制省份和时间层面上实施的一系列可能影

¹⁴ 由下文变量定义中可知，我们将个体在接种疫苗时未满 15 周岁的视为政策干预后的队列，疫苗接种时 15-25 周岁的视为政策干预前的队列，结合各地疫苗接种时间可以算出在 2010 年，政策干预后的队列个体年龄区间为 24-46 岁，干预前的队列个体年龄区间为 40-56 岁。考虑到我国法定退休年龄的设置，使用 CFPS 2010 年之后的将存在大量的干预前的队列个体退出劳动力市场，导致二者缺乏可比性。

¹⁵ 需要说明的是，本文识别认为脑疫苗主要对 0-15 岁个体接种，并不意味着 16 岁及以上的个体完全不可能接种疫苗，只是 0-15 岁涵盖了绝大多数的流脑疫苗接种个体，能够最大化的兼顾受益人群，具有较高的代表性。但正如下文所述，即使 16 岁及以上个体会接种流脑疫苗，也只会导致结果的低估。

响个体人力资本积累的政策¹⁶。 $\epsilon_{i,c,p,t}$ 是随机扰动项。 α_1 是我们主要关心的系数，反映了流脑疫苗接种对个体人力资本积累影响的平均效应。如无特殊说明，本文所有模型均在城市层面对标准误进行聚类估计。

模型（1）识别一致性的假设主要有两个，一是系数 α_1 能够真实反映流脑疫苗接种的效果，而非同期其它干扰因素的影响。二是对于非主要受益群体而言，流脑疫苗接种前城市发病率变量与其人力资本积累不存在显著关系，即满足双重差分模型的平行趋势假设。需要注意的是，这一假设并不需要每个城市的发病率变量外生（Chen et al., 2020）。在后文检验中，我们对上述两个假设进行了严格的检验，表明模型（1）的估计结果是准确可靠的。

此外，模型（1）估计的疫苗接种对个体人力资本积累的影响应被视为真实结果的下限。具体地，我们将疫苗接种时大于 15 岁的个体视为控制组，但现实中他们也可能受到疫苗接种的影响。例如，由于 15 岁并非是感染流脑和接种疫苗的绝对临界点，15 岁以上的个体也可能接种疫苗，或因为 0-15 岁人群接种疫苗产生的正外部性降低了流脑在 15 岁以上的人群的传播，间接改善了他们的健康水平。同时，15 岁以上群体的人力资本积累也可能因溢出效应从接种了疫苗的同伴中受益。

（三）主要变量定义

1. 被解释变量

我们从教育成就、健康状况和认知能力三个方面衡量个体的人力资本积累。首先，就教育成就而言，它是个体人力资本积累最基础、最重要的组成部分，也是本文关于流脑疫苗接种对个体人力资本积累影响考察中最核心的内容。CFPS 2010 年调查详细收集了个体的教育信息，我们主要使用个体已完成的教育年限衡量个体教育成就，同时也使用个体是否完成小学、初中和高中教育三个体现学历的变量作为补充。

其次，就健康状况而言，它是与教育同等重要的另一种人力资本形式，不仅会对个体的收入和效用产生重要影响，也是决定各国经济增长水平的重要因素。在对健康状况的检验中，我们分别考察了疫苗接种对个体生理健康、心理健康和整体健康三方面的影响。已有研究表明，身高是衡量个体生理健康的重要指标，而 15 岁之前是身高禀赋形成的关键时期（Phadera, 2021）。因此，我们使用个体的身高衡量个体生理健康。而在对心理健康的测量中，CFPS 2010 年调查采用了 6 道题设计的流调中心抑郁量表（Center for Epidemiologic Studies Depression scale, CES-D）测量受访者心理健康，每道题受访者回答选项均分为五档，从“几乎每天”到“从不”¹⁷。我们分别将其赋值为 4-0，最终将 6 道题的得分进行加总，得到一个范围在 0-24 的衡量个体心理健康状况的得分，即 CES-D 得分。分值越高，表示个体心理健康越差。除连续的 CES-D 得分外，我们还根据 CES-D 得分是否大于等于 4 生成了一个表示个体是否

¹⁶ 例如家庭联产承包责任制、义务教育改革等省份层面政策。同时由于我们加入的是省份与年份的交互固定效应，会自动加入年份固定效应，因此还可以控制时间层面的共同冲击的影响。

¹⁷ CFPS 2010 年调查使用的是 6 道题设计的 CES-D 量表，与标准的 20 道题的 CES-D 量表在测量个体心理健康上具有同样的效力。CFPS 2010 年调查关于个体心理健康测量的具体问题为：“最近 1 个月，你感到情绪沮丧、郁闷、做什么事情都不能振奋的频率”；“最近 1 个月，你感到精神紧张的频率”；“最近 1 个月，你感到坐卧不安、难以保持平静的频率”；“最近 1 个月，你感到未来没有希望的频率”；“最近 1 个月，你做任何事情都感到困难的频率”；“最近 1 个月，你认为生活没有意义的频率”。每个问题的答案均为“几乎每天”、“每周两三次”、“每月两三次”、“每月一次”和“从不”。

具有临床抑郁风险的虚拟变量 (Burnam et al., 1988)。进一步, 我们还使用 CFPS 2010 年调查中公布的调查员对受访者的健康状况评价衡量个体的整体健康水平。与自评健康相比, 他评健康提供的信息更加客观。

最后, 就认知能力而言, 它是个体所具有的一种内在能力, 是对人脑加工、储存与提取信息能力的一种反映, 是人力资本构成的另一个重要因素 (殷戈等, 2020)。我们使用 CFPS 2010 年调查记录的字词测试分数和数学测试分数衡量。分数越高, 表示个体认知能力越强。此外, 我们还计算了两个测试得分的均值, 用于进一步衡量个体的认知能力。

2. 核心解释变量

本文核心解释变量是疫苗接种前城市流脑发病率变量 ($T_{c,p}^{pre}$) 和个体在疫苗接种时是否在 15 岁及以下的队列虚拟变量 ($Post_{i,c,p,t}$)。由上文数据来源介绍可知, 虽然绝大多数城市都通过《卫生志》记录了当地流脑发病数据, 但却有近 45% 的城市只报告了上世纪两次流脑大流行期间 (1966-1968 年和 1976-1978 年) 的发病数据, 并没有公布每一年的数据。为减少样本损失, 我们在基准回归中仅使用每个城市在两次大流行期间发病人数表示疫苗接种前各地流脑的严重程度。首先, 我们提取出每个城市在两次大流行期间的每年发病人数; 其次, 计算每个城市在两次大流行中的年均发病人数, 以克服部分地区在部分年份存在数据缺失的问题¹⁸; 最后, 为消除地区人口规模的影响, 我们将城市年均发病人数除以 1982 年人口普查中公布的各地区总人数, 得到每百人流脑的发病人数, 以此表示城市在疫苗接种前的流脑发病率。

选择使用 1982 年人口普查数据的原因在于, 在与流脑大流行较为接近的年份中, 只有 1964 年和 1982 年人口普查能够准确反映各城市人口总数, 但与 1982 年人口普查相比, 1964 年人口普查中的城市距今发生的行政区划调整更大, 会对样本量造成较大损失。此外, 我国在 1984 年后才开始放松对流动人口的控制, 1982 年人口普查中几乎不存在流动人口, 能够真实反映各城市的人口数量¹⁹。

在疫苗接种队列虚拟变量 ($Post_{i,c,p,t}$) 设定中, 我们根据各地疫苗接种时个体年龄进行设计。具体地, 根据流脑主要感染人群和疫苗接种对象, 流脑疫苗接种时处于 0-15 岁的人群都处于受影响的队列。相反, 在流脑疫苗接种时已满 15 岁的个体都处于政策实施前的人群, 但为最大化确保本文疫苗接种前后队列的可比性, 我们将疫苗接种时 16-25 岁的人群视为流脑疫苗接种前的队列。由前文可知, 1979 年是我国最早接种疫苗的年份, 而当时 25 岁的人群在 2010 年已满 56 岁, 如果将疫苗接种前队列的年龄进一步拓展至 25 岁以上将导致大量人群在 2010 年时已退出劳动力市场, 导致估计结果产生偏差²⁰。

3. 控制变量

考虑到过多加入个体控制变量可能会导致“坏的控制变量”(Bad control) 问题, 在模型

¹⁸ 在计算城市年均发病人数过程中, 我们除以的是城市公布数据的年数, 而非流脑大流行持续的年数。例如, 如果城市 A 在两次大流行期间公布了 6 年数据, 那么我们就是将这 6 年的发病人数进行加总, 再除以 6 得到年均发病人数。如果城市 B 在两次大流行期间只公布了 4 年数据, 那么我们就是将这 4 年的发病人数加总, 再除以 4 得到年均发病人数。这样能够最大限度地避免部分城市在部分年份存在数据缺失导致的数据偏误问题。

¹⁹ 1984 年 10 月国务院印发《关于农民进入集镇落户问题的通知》, 标志着我国对流动人口管制出现松动。由于流脑会影响当地死亡率, 使用 1982 年人口普查数据计算可能存在偏差, 为此也使用了 1964 年人口普查的人口数据进行稳健性检验, 发现结论不变。

²⁰ 我们也将控制组年龄队列限制在 16-20 岁, 16-22 岁和 16-24 岁, 发现结论不变。

(1) 和 (2) 中, 我们只加入了个体性别、户口类型和民族成分三个控制变量, 这也是以往研究早期冲击对个体人力资本积累影响的通常做法 (Chen et al., 2020)²¹。由于个体可能因上学和工作变更自身户口类型, 我们使用个体 3 岁时的户口状况衡量其户口类型, 从而控制早期户籍因素对个体发展的影响。

(四) 数据处理与描述性统计

在对主要变量进行定义后, 我们使用 CFPS 2010 年调查的个体出生城市将疫苗接种前的城市发病率进行匹配。由于自上世纪 80 年代以来, 部分城市的行政区划发生了较大调整, 在匹配过程中我们将这部分城市做了剔除, 最终成功匹配到 90 个城市的发病率数据, 占 CFPS 2010 年总调查城市数量的 71%²²。为保证数据质量, 本文进一步对数据做了如下处理: 首先, 仅保留在疫苗接种时年龄在 0-25 岁的个体, 他们是本文的主要研究对象。其次, 为缓解人口迁移对结果的干扰, 我们剔除了出生地与个体 3 岁时居住地、12 岁时居住地和现在居住地不一致的样本, 同时还剔除了非中国国籍的样本。最后, 剔除了关键变量缺失的样本。最终共获得 8519 个有效观测值。

为检验本文使用的城市样本数据的代表性, 我们在图 1 展示了本文使用的 90 个城市的发病率和全国整体发病率的走势²³。可以发现, 本文使用的样本城市的平均发病率与同时段全国整体的发病率无论是走势还是具体数值都非常接近。不仅说明本文使用的样本具有广泛代表性, 而且也进一步验证了本文手工收集数据的准确性。

表 1 总结了主要变量的定义并报告了描述性统计结果。可以发现, 样本城市在疫苗接种前流脑发病率的均值为 0.093, 相当于我国 2020 年新冠肺炎发病率的 15 倍²⁴, 而最小值和最大值分别为 0.002 和 0.602, 标准差为 0.102, 说明在我们的数据中不同城市的流脑发病率存在明显差异, 为本文识别提供了良好的条件。

表 1 主要变量定义与描述统计

变量	定义	均值	标准差	最小值	最大值
疫苗接种前流脑发病率	疫苗接种前城市每百人流脑发病人数	0.093	0.102	0.002	0.602
流脑疫苗接种队列	流脑疫苗接种时 0-15 岁=1, 16-25 岁=0	0.612	0.487	0	1
教育年限	根据受访者完成的最高学历计算所得	7.440	4.414	0	22
是否读完小学	是=1, 否=0	0.765	0.424	0	1
是否读完初中	是=1, 否=0	0.538	0.499	0	1
是否读完高中	是=1, 否=0	0.214	0.410	0	1
身高	个体身高 (厘米)	163.764	7.550	120	196
自评健康状况	健康=1, 否则=0 ²⁵	0.734	0.442	0	1
CES-D 得分	6 道 CES-D 测试得分加总	2.913	3.757	0	24

²¹ 我们也加入了父母教育程度变量进行检验, 发现结论不变。限于篇幅未予报告, 留存备案。

²² 与地级市行政区划调整相比, 这一时期区县行政区划调整的力度更大, 这也是本文没有使用区县层面发病率指标进行识别的重要原因。此外, 区县《卫生志》记录的流脑发病数据也相比城市《卫生志》粗糙。

²³ 由于部分城市在部分年份, 尤其是非大流行年份发病数据缺失, 为避免对整体平均发病率导致偏差, 我们使用的是当年记录了流脑发病情况城市的平均发病率。

²⁴ 我国 2020 年新冠肺炎发病人数为 87093 人, 全国总人口约为 14.12 亿, 2020 年每百人发病率约为 0.006。

²⁵ CFPS 2010 调查中, 访问员对受访者健康评价分值为 1-7, 数字越大表示受访者身体越健康, 我们将 1-4 赋值 0, 表示不健康, 5-7 赋值为 1, 表示健康。

抑郁风险	CES-D 得分 $\geq 4=1$, 否则=0	0.237	0.426	0	1
字词测试得分	认知能力测试的字词测试得分	17.763	10.049	0	34
数学测试得分	认知能力测试的数学测试得分	10.355	6.188	0	24
有无工作	有=1, 没有=0	0.798	0.402	0	1
工作收入	有工作人群的工作收入, 取对数	8.670	1.217	6.909	10.602
性别	男性=1, 女性=0	0.488	0.500	0	1
民族	汉族=1, 否则=0	0.881	0.324	0	1
户口	3 岁时户口类别为农业户口=1, 否则=0	0.865	0.341	0	1

四、实证结果与分析

(一) 流脑疫苗接种与个体教育成就

表 2 报告了被解释变量为个体教育成就的模型 (1) 的估计结果, 其中列 (1) 报告的是流脑疫苗接种对个体教育年限影响的估计结果, 也是本文的基准结果。可以发现, 流脑疫苗接种前发病率和疫苗接种队列的交互项系数在 1% 水平上显著为正, 说明流脑疫苗的接种显著增加了个体教育年限。进一步, 我们在列 (2) 一列 (4) 依次报告了以个体是否完成小学、初中和高中教育衡量个体教育成就的估计结果, 核心解释变量始终显著为正, 进一步证实流脑疫苗接种对个体教育成就具有积极的影响²⁶。

从经济意义上看, 在对个体教育年限的估计中, 核心解释变量系数约为 5.9, 说明疫苗接种前城市流脑发病率每增加 1 个百分点, 接种疫苗青少年 (0-15 岁) 的教育年限增加 5.9 年。由于样本中城市在疫苗接种前的流脑发病率均值为 0.093, 意味着流脑疫苗的接种使接种疫苗的群体教育年限增加了约 0.5 年 (5.875×0.093)。这一效果与撒哈拉以南非洲疟疾的根除 (Barofsky et al., 2015) 和挪威肺结核疫苗接种 (Bütikofer and Salvanes, 2020) 对个体教育成就的积极效应相近, 二者对个体教育年限的提高分别约为 0.5 年和 0.46 年, 说明本文结论具有国际比较性²⁷。

而从对是否完成小学、初中和高中的估计结果来看, 交互项系数分别约为 0.3、0.6 和 0.5, 考虑到样本中个体完成小学、初中和高中教育的比例均值分别约为 76.5%、53.8% 和 21.4%, 说明接种流脑疫苗使得受益群体完成小学、初中和高中教育的概率分别提高了 3.1%、10% 和 22.4%²⁸。可以看出, 与对个体完成初中和高中教育的积极效应而言, 流脑疫苗接种对个体完成小学教育的影响较小, 可能是因为当时小学普及率已相对较高, 增加空间较小。

表 2 流脑疫苗接种对个体教育成就影响结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
因变量:	教育年限	是否读完小学	是否读完初中	是否读完高中
疫苗接种前流脑发病率	5.875***	0.262**	0.580***	0.518***

²⁶ 附表 1 报告了表 2 含控制变量回归系数的估计结果。

²⁷ 流脑的总人口发病率虽然相比疟疾和肺结核较低, 但是由于其主要感染 0-15 岁人群, 正如附图 1 所示其在特定人群中的感染率较高, 这可能是导致流脑疫苗接种经济后果较大的原因之一。另外, 由于 15 岁不仅是个体接种流脑疫苗的分界点, 也是个体是否选择进入高中阶段的分界点, 流脑疫苗通过改善个体健康增加了个体进入高中学习的可能, 从而进一步增加了其教育年限, 这可能是导致流脑疫苗接种经济后果较大的原因之二, 后文完成高中教育概率最高的结果也验证了我们的推测。

²⁸ 计算方法为交互项系数乘以疫苗接种前城市流脑感染率均值, 再除以样本均值, 最后再乘以 100%。后文类似计算过程不再赘述。

*疫苗接种队列	(1.217)	(0.128)	(0.130)	(0.168)
R 方	0.395	0.310	0.304	0.292
观测值	8519	8519	8519	8519

注：本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%水平下统计显著。

进一步,我们还采用动态双重差分模型考察了流脑疫苗接种对个体教育成就影响的动态影响。图 3 结果显示,在流脑疫苗接种时大于 15 岁的队列中,不同发病率城市中的个体教育成就均不存在显著差异,而在流脑疫苗接种时小于及等于 15 岁个体的教育成就则出现了显著的提高,且这一促进效应随着接种疫苗时年龄的降低而持续存在。上述结果一方面验证了本文队列双重差分模型的平行趋势假设,另一方面也说明流脑疫苗的接种对个体教育成就的影响具有长期且持续的促进作用。此外,由于个体教育成就在疫苗接种时 15 岁出现了较为明显地跳跃,与流脑疫苗接种年龄相符,说明模型(1)受同期其他干扰因素的影响较小。

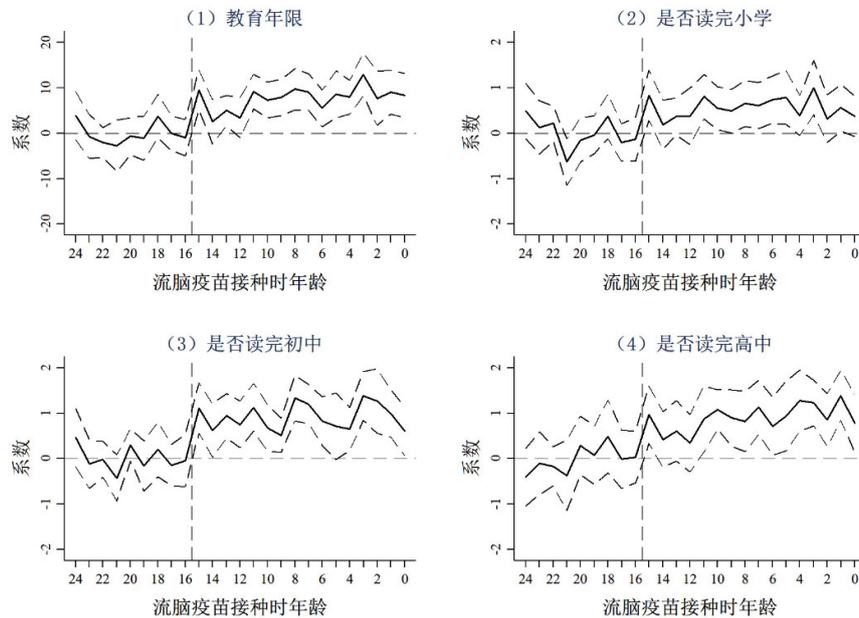


图 3 主要结果动态双重差分结果

注：图中展示是 90%水平的置信区间。

(二) 流脑疫苗接种与个体健康和认知能力

表 3 的列(1)—列(4)报告了流脑疫苗接种对个体健康影响的估计结果。结果显示,在对个体身高的估计中(列 1),表示流脑疫苗接种的交互项系数显著为正,说明流脑疫苗接种显著增加了受益群体的身高,平均增加了约 0.4 厘米。而在对 CES-D 得分(列 2)和抑郁风险(列 3)这两个表示心理健康的指标的估计中,核心解释变量系数则显著为负,说明流脑疫苗的接种不仅提高了受益群体的生理健康水平,也改善了其心理健康。从系数大小来看,流脑疫苗的接种使得受益群体患抑郁的风险降低了约 9.5%。自然地,列(4)结果显示,流脑疫苗接种从整体上改善了受益群体的健康水平²⁹。

²⁹ 我们也使用个人自评健康水平进行分析,发现结论不变。

表 3 的列 (5) 一列 (7) 报告了流脑疫苗接种对个体认知能力影响的估计结果。结果显示,表示流脑疫苗接种的交互项系数始终显著为正,说明流脑疫苗接种显著提高了受益群体的认知能力。平均而言,疫苗接种分别使受益群体字词测试和数学测试平均得分提高了 3.3% 和 5.8%。

附图 3 报告了采用动态双重差分模型检验的流脑疫苗接种对个体健康和认知能力影响的动态效应。可以发现,在对个体健康和认知能力影响的考察中,本文队列双重差分模型同样满足平行趋势假设,且影响后果同样具有长期且持续的特征。

综合教育、健康和认知结果可知,流脑疫苗的接种显著提升了受益群体的人力资本积累,对促进我国个体长期发展具有重要的意义。

表 3 流脑疫苗接种对个体健康和认知能力影响结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
因变量:	身高	CES-D 得分	抑郁风险	健康水平	字词测试	数学测试
疫苗接种前流脑发病率	3.965**	-2.082**	-0.241*	0.244*	6.340**	6.453***
*疫苗接种队列	(1.557)	(1.033)	(0.130)	(0.122)	(3.000)	(1.827)
观测值	8519	8519	8519	8519	8519	8519
R 方	0.554	0.132	0.131	0.206	0.382	0.369

注:本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%水平下统计显著。

(三) 流脑疫苗接种与个体教育成就异质性分析³⁰

1.性别的差异

由于先天身体素质和健康干预回报率的差异,早期经历对男女教育成就的影响将有所不同(Cutler et al., 2010; Venkataramani, 2012)。与女性相比,男性在幼儿时期身体素质更加脆弱,更有可能遭受疾病困扰,因此从早期传染病预防和治疗中的获益也更大(Venkataramani, 2012)。此外,我国男性青少年的流脑发病率也略高于女性。因此,与女性相比,流脑疫苗接种对男性教育成就的积极影响可能更大。表 4 列 (1) 和列 (2) 结果显示,在男性和女性样本中,表示流脑疫苗接种的交互项系数均显著为正,说明疫苗接种对男性和女性的教育成就均具有显著的积极影响。而从系数大小来看,交互项系数在男性样本中为 7.2,女性样本中为 4.4。本文样本中男性和女性的教育年限均值分别为 8.3 和 6.6 年,意味着流脑疫苗的接种平均使男性教育年限提高了 8.1%,而女性教育年限则提高了 6.2%。流脑疫苗接种对男性教育成就的积极效应略大于女性,与预期分析一致。

2.经济社会条件的差异

通常而言,经济社会条件处于劣势地位的个体承受疾病负担的能力更差,从传染病防治过程中的获益也更多,因此,传染病防治运动有助于降低社会不平等(Bütikofer and Salvanes, 2020)。本文从两个方面衡量个体经济社会条件差异,对上述推断进行检验。一是个体所在地区差异。与城市地区相比,在 20 世纪中期,我国农村地区不仅医疗卫生条件更落后,且

³⁰ 由于本文的主要目的是考察流脑疫苗接种对个体人力资本积累的影响,而教育是个体人力资本积累最基础、最重要的组成部分,自然成为了本文最核心的考察内容,因此我们在异质性分析和稳健性检验中主要围绕教育年限进行分析。事实上,我们也对健康和认知能力做了同样的检验,结论均保持一致。限于篇幅,未予报告,留存备案。

人均生活水平、营养摄入也更差。二是家庭背景的差异。已有研究表明，在遭受传染病等负面健康冲击时，背景较好的家庭能够为子女提供更加安全的生活环境和更加充足的食物，而背景较差的家庭则会因为医疗负担能力更差而遭受更大的风险（Bütikofer and Salvanes, 2020）。有理由相信，流脑疫苗接种对农村地区和家庭背景较差个体教育成就的积极影响更大。我们根据个体在3岁时的户口状况划分个体地区属性，而在区分家庭背景时，我们根据个体父亲的学历进行划分，将个体父亲完成初中教育视为背景较好家庭，否则为背景较差家庭³¹。表4列（3）和列（4）分别报告了流脑疫苗接种对城市和农村个体教育成就的影响。结果显示，表示流脑疫苗接种的交互项系数只在农村样本中显著为正。而在列（5）和列（6）的估计结果中，交互项系数也只在父亲未有初中学历样本中显著为正。

以上结果说明，与经济社会条件更好个体相比，流脑疫苗接种对经济社会条件更差个体教育成就的积极影响更大。意味着流脑疫苗接种不仅总体上提高了受益群体的教育水平，而且还能够通过缩小早期健康差距减少成年时期的不平等，从而降低了社会不平等。

表4 流脑疫苗接种对个体教育成就影响的异质性结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	男性	女性	城市	农村	父亲具有 初中学历	父亲未有 初中学历
因变量：教育年限						
疫苗接种前流脑发病率	7.222***	4.410***	0.443	6.095***	-0.225	4.991***
*疫苗接种队列	(1.723)	(1.423)	(1.022)	(1.382)	(2.373)	(1.534)
观测值	4157	4362	1147	7372	1653	5674
R方	0.355	0.487	0.417	0.350	0.493	0.390

注：本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在10%、5%和1%水平下统计显著。

（四）稳健性检验

1. 干扰因素排除

尽管本文在基准模型中加入了一系列固定效应，能够最大化消除城市层面不随时间变化因素和省级层面政策的干扰，但本文的结论依然面临着其它同时期干扰因素的影响。

第一，“十年内乱”可能对本文结果造成干扰。其一，正如背景介绍中所述，我国流脑大流行与人口流动密切相关，不同城市流脑发病率可能反映的是当地人口流动的严重程度³²。其二，“十年内乱”期间的人口流动还可能影响当地未来发生流脑的概率，从而影响不同地区流脑疫苗接种时间。其三，在“十年内乱”初期，我国几乎所有城市中的学校都暂时性关闭了2-3年。因此，其还恶化了对照组人群的教育环境，可能导致本文结果高估。为排除“十年内乱”的影响，我们参考Chen et al. (2020)做法，直接在模型中加入反映个体受其影响强弱的队列双重差分变量³³。表5列（1）结果显示，核心解释变量系数依然显著为正，

³¹ 我们还以个体父亲是否上过小学进行划分，发现结论不变。

³² 由于人口流动还可能导致我们计算的发病率并不能够反映当地的流脑流行水平，为此我们进一步基于较为详细地公布了建国后至20世纪90年代以来的流脑发病数据的136个城市样本计算了疫苗接种前的发病率均值，并进行稳健性检验，发现结论不变。

³³ “十年内乱”队列双重差分变量=不同城市非正常死亡人口比例*受影响队列。本文使用是否出生在1970年之前区分是否为受影响队列，原因有二：其一，“十年内乱”期间大多数暴力事件均发生在早期，而在1969

且系数大小与基准结果差异不大，说明本文结论不受“十年内乱”的影响³⁴。

第二，另一个可能对本文结果造成干扰的历史事件是1959-1961年的三年大饥荒。由于本文对照组个体的出生年份区间为1954-1970年，部分对照组人群的人力资本积累可能受到大饥荒的影响，从而影响本文估计结果的准确性。由于1962年后出生的样本不受大饥荒的影响，为此，我们直接剔除1962年前出生的样本，表5列（2）结果显示，本文主要结论依然存在³⁵。

第三，除重大历史事件外，同期我国还存在其它传染病防治运动。一是上世纪60年代左右开展的传染病防治运动，如1957年的防疫运动，1964年的预防儿童脊髓灰质炎运动和1965年的麻疹疫苗接种运动等。由于本文使用的疫苗接种前后队列的个体都能从中受益，本文识别策略一定程度上可以排除该时期传染病防治运动的干扰。但仍需注意的是，疫苗接种前队列群体在这一时期的年龄更大，受益时间比疫苗接种后队列群体更短，可能导致本文结果产生偏误。为此，本文进一步以流脑疫苗接种时0-7岁的个体为流脑疫苗接种后的队列，8-15岁为政策干预前的队列识别流脑疫苗接种对个体教育成就的影响。这一做法的逻辑在于，其一，可以保证疫苗接种前后队列的个体出生年份都在1964年及之后，从60年代传染病防治运动中的受益时间一致。其二，由于年龄越小的个体感染流脑的概率越高，病情越严重，而7岁及以下儿童是受流脑侵害最严重的群体（Li et al., 2018），因此，与8-15岁个体相比，0-7岁个体从流脑疫苗接种中受益更多。表5列（3）结果显示，核心解释变量系数依然显著为正。

二是20世纪60年代末期和70年代初期开展的疟疾防治运动。这一时期，长江以北五省（山东、河北、河南、江苏、安徽）疟疾爆发³⁶。1974年五省开展疟疾联防运动（黄树则和林士笑，1986），取得了良好的效果。为排除该运动对本文结果的干扰，我们直接剔除上述五省样本重新进行回归。表5列（4）结果显示，本文主要结论依然存在³⁷。

第四，本文结论还可能仅仅反映的是城市趋势的影响，而非流脑疫苗接种的作用³⁸。为此，我们进一步在模型（1）中加入城市与年份趋势和城市与年份趋势平方的固定效应。表5列（5）结果显示，核心解释变量系数仍然显著为正。系数大小表明，考虑城市趋势后，流

年之后便没有发生任何暴力事件（Walder, 2014）。其二，“十年内乱”初期我国城市几乎所有学校都暂时性关闭，1968-1969年学校陆续开放（Deng and Treiman, 1997）。与1970年之前出生的个体相比，1970年及以后出生的个体受暴力事件和学校关闭的影响都较小。不同城市非正常死亡人口比例数据源于Walder（2014）。

³⁴ “十年内乱”期间，虽然城市的医疗、教育事业遭受了严重的损害，但农村的教育、医疗却发展迅速（Chen et al., 2020）。这虽然会对控制组产生一定的正向冲击，但是不太可能会导致的结果的偏误，因为这些医疗、教育扩张运动虽然在“十年内乱”结束后大幅削弱，但是其对当地的教育、医疗产生了较为长期的促进作用，本文疫苗接种后队列群体也能够享受教育、医疗扩张运动的益处。因此，通过队列双重差分模型可以消除这些政策对估计结果的干扰。

³⁵ 我们还参考程令国和张晔（2011）设计，在基准模型中加入反映个体受大饥荒影响强弱的队列双重差分变量进行回归，发现结论不变。

³⁶ 1957年我国开展了建国后第一次疟疾防治运动，基本消除了南方地区的疟疾（黄树则和林士笑，1986）。

³⁷ 我们还排除了上世纪70年代中后期到80年代初期的血吸虫病防治和肺结核防治对本文结果的干扰。限于篇幅，未予报告，留存备案。

³⁸ 例如，我们观察到的流脑发病率下降可能并非疫苗接种的作用，而是流脑高峰期后发病率自然地下降。尤其对于1976-1978年高峰期疫苗推广前出生的个体而言，很可能即便没有推广疫苗，由于流脑发病率在暴发后自然下降，这一时期出生的个体受流脑感染的可能性更小，他们的健康状况也会更好，从而可能导致我们估计得到的结果并非反映的是流脑疫苗接种的影响。为此，我们剔除了1976年及其之后出生的样本重新进行检验，发现结论依然存在，表明本文估计得到的结果确实是流脑疫苗接种的效应。

脑疫苗接种对受益群体教育年限的提高降至约 0.4 年。

第五，尽管本文的队列双重差分模型并不需要满足城市流脑发病率是随机外生的，只需满足平行趋势假定即可。但现实中我们只能观察政策实施前不同发病率地区是否存在显著差异，无法检验政策实施后的差异，因此，我们观察到的结果依然可能受到不同城市发病率非随机的影响。为此，我们参考 Huang and Liu (2023) 做法，通过控制影响城市流脑发病率的前定变量与个体出生年份的交互固定效应城市流脑发病率可能存在的非随机问题对结果的干扰。具体地，我们还从各个城市编撰的地方志（包括人口志、财政志、经济志、农业志、卫生志和教育志等）和新中国五十年系列丛书中全面收集了各城市在疫苗接种前的一系列社会经济指标，包括反映经济发展的人均 GDP、年末总人口、人均粮食产量和是否沿海或港口城市；反映卫生健康水平的每千人病床数、每千人卫生技术人员数和死亡率；反映教育水平的每千人拥有小学学校数、每千人拥有中学学校数、每千人拥有小学教师数、每千人拥有中学教师数和人均科教文卫事业费支出。我们将这些指标与个体出生年份进行交互放入模型（1）中进行检验³⁹。表 5 列（6）结果显示，本文主要结论依然成立⁴⁰。

以上检验说明，本文基本结论不受干扰因素的影响，具有高度的稳健性。

表 5 干扰因素排除

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	“十年内乱”	大饥荒	60 年代 传染病 防治	五省疟 疾防治	城市趋 势	发病率 非随机
因变量：教育年限						
疫苗接种前流脑发病率	5.617***	5.200***	1.816**	5.640***	4.141**	6.955***
*疫苗接种队列	(1.275)	(1.433)	(0.846)	(2.032)	(1.672)	(1.921)
“十年内乱”	-0.015**					
	(0.007)					
城市*年份趋势	否	否	否	否	是	否
城市*年份趋势平方	否	否	否	否	是	否
城市前定变量-出生年份交互固定效应	否	否	否	否	否	是
观测值	8519	6972	5463	5744	8519	3597
R 方	0.395	0.409	0.412	0.423	0.409	0.422

注：本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%水平下统计显著。

2. 替换核心变量衡量方式

我们还替换了基准模型中核心解释变量的衡量方式。第一，使用 1966-1968 年间和 1967

³⁹ 需要说明的是，由于在改革开放前我国各城市并没有逐年公布当地的社会经济指标，因此，如果我们采取疫苗接种前单一年份的数据进行分析将导致我们的样本量出现严重的缺失。例如，如果我们仅使用 1978 年上述指标数据的话，将会导致我们的样本量包含 15 个城市 1465 个样本。为此，我们采取与计算流脑发病率的同样的方法进行分析。首先，收集 1975-1978 年间上述指标；其次，计算每个城市在 1975-1978 年间指标均值，在此计算过程中，我们除以的是城市公布数据的年数，而非整个区间持续的年数，以克服部分地区在部分年份存在数据缺失的问题。最终得到用于分析的数据。其中，人均指标使用的均为数据中报告的当年地区人口数量。

⁴⁰ 在表 5 列（6）的估计样本中，流脑发病率均值为 0.096，因此可以计算得到受益群体教育年限因流脑疫苗接种增加了约 0.67 年。

单年度流脑发病率重新进行检验。与基准模型中计算方式相比，1966-1968年记录的流脑发病人数更加详细，尤其是1967年最为详细⁴¹。表6列(1)和列(2)分别报告了上述两个衡量方式的估计结果，核心解释变量依然显著为正，进一步验证了本文基本结论。从经济意义上看，由于样本中1966-1968年和1967年发病率均值分别为0.13和0.37，意味着使用以上两种方式衡量发病率得到流脑疫苗接种分别使受益群体的教育年限增加了约0.5和0.4年，与基准结果相近。

第二，直接使用疫苗接种后流脑发病率下降幅度表示城市受流脑疫苗接种的影响程度。具体地，我们使用疫苗接种前两次大流行期间城市流脑发病率，即模型(1)中的城市在疫苗接种前发病率减去接种流脑疫苗6年后的流脑发病率，得到城市流脑发病率下降幅度。表6列(3)结果显示，核心解释变量系数显著为正，结合样本中城市流脑发病率下降幅度均值约为0.06可以得到，接种流脑疫苗使受益群体教育年限增加了约0.4年，与基准结果相近。

第三，为减少城市流脑疫苗接种前发病率数据测量误差，参考Bütikofer and Salvanes (2020)做法，根据中位值生成疫苗接种前城市流脑发病率的虚拟变量进行回归，将大于等于中位值的城市视为发病率较高的样本，否则为发病率较低的样本。表6列(4)结果显示，疫苗接种对流脑发病率较高城市受益群体教育成就具有显著的提升作用，与基准结果一致。

第四，我们还通过重新设置队列虚拟变量进行稳健性检验。由于不同省份流脑疫苗接种的时间并不一致，疫苗接种队列变量实质是一个渐进性双重差分变量(Staggered DID)。由于异质性处理效应，渐进性双重差分模型可能存在估计偏误(De Chaisemartin and d'Haultfoeuille, 2020)。为此，本文使用两类方式进行缓解，一是将多糖菌苗1980年被正式批准推向全国的时间视为全国所有地区疫苗接种时间，此时模型中的疫苗接种队列变量不再是一个渐进性双重差分变量，而是一个“一刀切”的变量，能够有效避免渐进性双重差分模型可能导致的估计偏误问题。表6列(5)结果显示，流脑疫苗接种平均使受益群体教育年限增加了约0.5年，与基准结果基本一致。

二是参考Bütikofer et al. (2018)做法，只保留1980年接种流脑疫苗的地区样本进行分析。我国流脑疫苗接种时间区间为1979-1986年，而绝大多数地区接种时间为1980年。表6列(6)报告了仅使用疫苗接种时间为1980年地区的样本估计结果，可以发现，交互项变量系数依然显著为正。由于样本中1980年接种疫苗地区流脑发病率均值为0.077，意味着流脑疫苗接种平均使受益群体教育年限增加了约0.4年，与基准结果相近⁴²。

表6 替换核心变量衡量方式的稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
因变量：教育年限						
疫苗接种前流脑发病率						5.298***
*疫苗接种队列						(1.494)
疫苗接种前流脑发病率 ₁₉₆₆₋₁₉₆₈	3.812***					
*疫苗接种队列	(1.072)					
疫苗接种前流脑发病率 ₁₉₆₇		1.145**				

⁴¹ 同样的，我们使用1982年人口普查公布的城市总人数计算发病率。

⁴² 由于1980年是根据疫苗研发与试验进度国家层面统一批准的接种时间，与地区层面的社会经济因素无关，因此这一检验结果还能够进一步帮助我们排除不同地区社会经济因素对疫苗接种效果的干扰。

*疫苗接种队列	(0.508)					
流脑发病率下降幅度		6.756***				
*疫苗接种队列	(2.069)					
疫苗接种前流脑发病率		0.880***				
虚拟变量*疫苗接种队列		(0.293)				
疫苗接种前流脑发病率		5.388***				
*疫苗接种队列 ₁₉₈₀		(1.247)				
观测值	8276	7443	6484	8519	8226	4061
R方	0.396	0.396	0.380	0.394	0.386	0.305

注：本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在10%、5%和1%水平下统计显著。

五、对劳动力市场表现的影响

本部分我们旨在考察流脑疫苗接种对个体劳动力市场表现的影响。参考模型(1)，表7面板A列(1)报告了流脑疫苗接种对受益群体就业概率的影响，结果显示，表示流脑疫苗接种的交互项系数显著为正，说明流脑疫苗接种显著提高了个体工作概率。平均而言，流脑疫苗接种使得受益群体就业概率提高了约3.2个百分点。进一步，我们在面板B的列(1)报告了流脑疫苗接种对有工作的受益群体收入影响的估计结果。同样地，交互项系数显著为正，系数值为0.8，表明流脑疫苗接种使得受益群体收入平均增加了7.4%。就业概率和收入的提高意味着社会经济产出的增加，本文劳动力市场表现的结果不仅意味着流脑疫苗的接种促进了个体收入增长，也在一定程度上意味着流脑疫苗的接种促进了我国经济增长。

同时，我们还参考Bleemer and Mehta (2022)方法考察了人力资本积累对流脑疫苗接种影响个体劳动力市场表现的解释力度。其方法的思路为，第一，将个体劳动力市场表现对人力资本积累和其他个人特征回归，拟合出在个体教育年限和其他特征条件下的劳动力市场表现⁴³。第二，将拟合得到的劳动力市场表现对流脑疫苗接种变量进行回归，得到流脑疫苗接种对考虑了个体人力资本积累情况下劳动力市场表现的影响大小。第三，将真实的劳动市场表现对流脑疫苗接种变量进行回归，得到流脑疫苗接种对没有考虑个体人力资本积累情况下劳动力市场表现的影响大小。第四，将第二步和第三步得到了流脑疫苗接种系数相除便得到了人力资本积累对流脑疫苗接种与个体劳动力市场表现关系的解释力度。由于在此过程中没有在解释变量中包含任何机制变量，因此能够有效避免之前中介效应模型中存在的“坏的控制变量”问题，得到较为干净的中介结果。

表7面板A、B的列(2)分别报告了就业和收入的第一步的结果；列(3)分别报告了第二步的结果；而第三步的结果便是之前估计得到的列(1)结果。通过计算我们可以发现，人力资本积累大约分别能够解释流脑疫苗接种对个体就业和收入影响的18.4%和60.7%，说明人力资本积累在改善个体劳动力市场表现中发挥了重要作用。

表7 疫苗接种对个体就业和收入的影响结果

	(1)	(2)	(3)
面板 A. 以就业衡量的劳动力市场表现结果			
因变量：	有无工作	有无工作	有无工作拟合值

⁴³ 我们加入了教育年限、身高、CES-D得分、健康水平、字词和数学测试得分衡量个体人力资本积累。

疫苗接种前流脑发病率	0.342**	—	0.063***
*疫苗接种队列	(0.133)	—	(0.017)
解释力			0.063/0.342=0.184
观测值	8519	8519	8519
R 方	0.226	0.240	0.681
面板 B. 以收入衡量的劳动力市场表现结果			
疫苗接种前流脑发病率	0.798**	—	0.484***
*疫苗接种队列	(0.333)	—	(0.137)
解释力			0.484/0.798=0.607
观测值	6794	6794	6794
R 方	0.355	0.411	0.765
教育变量	否	否	是
健康变量	否	否	是
认知能力变量	否	否	是

注：本表所有列均已加入控制变量、城市固定效应和省份-出生年份交互固定效应。括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%水平下统计显著。

六、成本收益分析

前文研究发现，流脑疫苗接种对个体人力资本积累和收入具有显著的提升作用，但疫苗的研发和接种需要政府大量的投资，科学评估疫苗接种的成本与收益对政府防治传染病具有重要的政策含义。本部分基于疫苗接种的成本收益分析框架，对我国流脑疫苗接种的成本收益进行分析。

既有文献对疫苗收益的评估主要有两类：一是狭义收益，指的是因疫苗接种导致死亡率和残疾率的降低，以及由此带来的医疗费用的降低等直接的医疗健康收益；二是广义收益，如劳动力市场回报、人力资本积累、生产率提高和社会公平改善等各项收益（Ehreth, 2003；Sinha et al., 2007；Ozawa et al., 2012；Bloom et al., 2020）。由于数据限制，我们无法穷尽所有方面的收益，本文主要从医疗健康收益和劳动力市场回报收益两方面计算我国流脑疫苗接种的收益。

（一）医疗健康收益

医疗健康收益主要由因疫苗减少的发病人数和每例病例带来损失的乘积构成。本文使用流脑疫苗推行前 30 年（1951-1980）和推行后 30 年（1981-2010）的发病人数的差衡量流脑疫苗接种减少的发病人数。而每例病例带来的损失既包括直接的治疗、陪护费用，也包括因死亡和伤残导致的损失。参照既有文献，本文将每例流脑病例的治疗和非治疗费用（含陪护费用）分别设为 3245 元和 2664 元（张丽等，2017）；而因流脑死亡和伤残导致的损失，我们使用最具代表性的疾病经济负担评价和测量指标-伤残调整寿命年（Disability-adjusted life years, DALYs）衡量，可通过如下公式计算得到：

$$DALYs = (L - A_d) \times D_a + (I - D_a) \times DW \times PD \times (L - A_0) \quad (2)$$

表 8 的 Panel A 报告了模型（2）指标的具体数值，可以计算得到我国流脑疫苗接种带

来的直接治疗、陪护费用减少额约为 506 亿元⁴⁴，减少的 DALYs 约为 6503 万年。根据我国 1981-2010 年人均 GDP 均值 7826 元计算，因流脑疫苗接种减少的死亡和伤残损失约为 5089 亿元。因此，我国流脑疫苗接种的医疗健康收益约为 5596 亿元。

（二）劳动力市场回报收益

除医疗健康收益外，流脑疫苗接种还将促进个体长期人力资本积累，改善其劳动力市场表现，从而带来超越医疗健康收益外的额外效益。然而，这一收益却通常在以往的医学和公共卫生文献中被忽略。

由前文结果可知，流脑疫苗接种分别促进了受益群体 3.2 个百分点的就业概率和 7.4% 的收入增长，经过计算可以得到流脑疫苗接种通过促进就业每年大约能够增加 1100 亿元的收入，而对已就业受益群体收入的影响每年约增加 2172 亿元的收入⁴⁵。我们假设个体一生工作年限为 25 年，则流脑疫苗接种带来的就业收益和收入增长收益分别为 27500 亿元和 54300 亿元。由于人力资本积累分别大约能够解释就业和收入增长的 18.4% 和 60.7%。因此，人力资本驱动的疫苗接种带来的劳动力市场回报收益大约为 38020 亿元，占总劳动力市场回报收益 81800 亿元的约 46.5%。

（三）流脑疫苗成本

流脑疫苗接种的成本主要由每剂流脑疫苗的成本和接种剂数决定。由于数据限制，我们无法获得 1981-2010 年期间我国流脑疫苗成本和接种数量的官方数据，为准确估计流脑疫苗的成本，本文结合既有文献中的数据和我国人口结构进行计算。首先，参考张丽等（2017）研究，贵州省每剂流脑疫苗的成本约为 13.05 元。但由于人工费用和业务费用的差异，不同地区疫苗接种成本并不一致，东中西部疫苗接种成本的比值大约为 1.8: 1.5: 1（卢莉等，2004），因此我们将每剂流脑疫苗的成本设定为 13.05-23.49 元⁴⁶。其次，我们计算了流脑疫苗的接种剂数。黄树则和林士笑（1986）记载，流脑疫苗保护期为 3 年，因此我们按照 0-15 岁儿童平均每人每三年接种一剂，一次接种两剂的原则计算流脑疫苗累计接种数量⁴⁷。我国 1981-2010 年 0-15 岁的人口总数之和约为 912843 万人，意味着在此期间我国共需接种大约 60.9 亿剂次的流脑疫苗。最后，将每剂流脑疫苗的成本和接种总数，计算得到我国在 1981-2010 年间的流脑疫苗成本约为 794-1430 亿元。

综上所述，流脑疫苗接种带来的医疗健康收益为 5596 亿元，劳动力市场回报收益为 81800 亿元，其中通过人力资本积累带来的劳动力市场回报收益为 45330 亿元，流脑疫苗接种的总成本则为 794-1430 亿元。意味着流脑疫苗接种的净收益约为 85986-86602 亿元，收

⁴⁴ 计算过程为：减少发病人数*治疗费用+减少发病人数*非治疗费用。

⁴⁵ 对促进就业收益的计算过程为，通过 1982 年人口普查中 0-15 岁的人口数估计流脑疫苗的受益规模约为 34146 万人，平均 3.2 个百分点就业概率的提高意味增加了约 1024 万人就业。根据样本中就业群体 2010 年平均收入为 10747 元可以算得，流脑疫苗接种对就业的促进作用大约能够增加 1100 亿元的收入。对促进收入收益的计算过程为，结合样本中有工作人群的年收入均值 10747 元、收入提高幅度 7.4%、受益人群规模 34146 万人和就业概率约 0.8，通过计算“平均收入（10747）*收入提高幅度（0.074）*受益人数（34146 万）*就业概率（0.8）”可以得到大约 2172 亿元的收入。

⁴⁶ 疫苗的成本主要包括疫苗和接种器具购买费用、接种工作费用以及接种补贴费用。

⁴⁷ 原卫生部 2006 年印发的《全国流行性脑脊髓膜炎防控工作方案》中也明确指出要避免流脑疫苗 3 年内重复接种的问题。

益成本比高达 61-110 倍。尤为值得注意的是，流脑疫苗通过促进人力资本积累带来的劳动力市场回报收益也远超医疗健康收益，这意味着忽略人力资本积累回报将导致对疫苗接种收益的严重低估。

本文估计的流脑疫苗接种收益成本比较高的原因可能来自三个方面，一是源于发展中国家的后发优势，流脑疫苗的研发并非原创，成本相对较低；二是我国人口众多，流脑发病率较高，受益群体规模庞大；三是上世纪 80 年代我国人力资本积累水平普遍较低，流脑疫苗接种的边际收益较高。考虑到上述三个因素，本文估计的收益成本比仍然与现有文献中结论具有可比性，例如 Park et al. (2018) 研究显示，不同估计方法下 HPV 疫苗接种的收益成本比在 69-1417 倍之间。

尽管本文估计的流脑疫苗接种收益成本比较高，但本文结论依然反映的是真实值的下限，其一，在计算流脑疫苗接种的收益时，我们仅仅考虑了医疗健康收益和劳动力市场回报收益，事实上，流脑疫苗对个体健康的改善还将降低儿童养育成本，增加整个家庭的福利。同时本文还发现，流脑疫苗的接种还有助于降低社会不平等。对上述收益我们并没有进行充分地考虑。其二，即使在医疗健康收益的计算中，我们也存在低估。例如，我们假设个体工作年限仅为 25 年等等。其三，我们还可能高估了流脑疫苗的成本。例如，我们严格假设 0-15 岁的青少年每隔 3 年便接种流脑疫苗，现实中这一现象可能并不普遍。

表 8 流脑疫苗接种成本收益分析参数值及主要结果

指标	数值	数据来源
Panel A. 医疗健康收益计算所需指标		
减少死亡人数 (D_a)	539405	1975 年以前数据来自黄树则和林士笑 (1986), 1975-2010 年数据来自中国卫生数据库
减少发病人数 (I)	8566711	
治疗费用 (元)	3245	张丽等 (2017) 的调查数据
非治疗费用 (元)	2664	张丽等 (2017) 的调查数据
死亡年龄 (A_d)	3.580	张丽等 (2017) 的调查数据
预期寿命 (L)	70.555	1981-2010 年出生人口预期寿命均值, 国家统计局
伤残权重 (DW)	0.615	WHO
伤残概率 (PD)	0.1	Bilukha and Rosenstein (2005) ⁴⁸
致残年龄 (A_0)	12	张丽等 (2017) 的调查数据
人均 GDP (元)	7826	1981-2010 年人均 GDP 均值, 国家统计局
Panel B. 劳动力市场回报收益计算所需指标		
每年就业收益 (亿元)	1100	文章第五部分估计结果
每年工资收入收益 (亿元)	2172	文章第五部分估计结果
工作年限	25	作者假设
人力资本积累解释力度	18.4%、60.7%	文章第五部分估计结果
Panel C. 流脑疫苗成本计算所需指标		
累计接种人数 (万人)	912843	1981-2010 年 0-15 岁人口总数, 国家统计局
接种疫苗剂次 (万)	608562	累计接种人数/3*2
每剂疫苗成本 (元/剂次)	13.046	张丽等 (2017) 的调查数据

⁴⁸ 伤残概率来自医学文献中报告的流脑患者的流行性脑脊髓膜炎神经性耳聋、失明、动眼神经麻痹、四肢瘫痪、智力和情志改变、精神异常等后遗症的概率，约在 10%-20%之间，本文取最小值 10%。

Panel D. 计算得到的流脑疫苗接种收益及成本		
医疗健康收益（亿元）	5596	详见正文
劳动力市场收益（亿元）	81800	详见正文
人力资本积累驱动的 劳动力市场收益（亿元）	38020	详见正文
总疫苗成本（亿元）	794-1430	详见正文
净收益（亿元）	85986-86602	医疗健康收益+劳动力市场收益-疫苗总成本
收益成本比	61-110	(医疗健康收益+劳动力市场收益)/疫苗总成本

七、结论与政策启示

本文主要基于我国上世纪 80 年代左右使用疫苗防治流脑的事实，采用 CFPS 2010 年数据和队列双重差分模型考察了疫苗接种对人力资本积累和经济增长的影响。研究结果显示，流脑疫苗接种显著促进了受益群体的长期人力资本积累。平均而言，接种流脑疫苗使受益群体教育年限增加了约 0.5 年，完成小学、初中和高中教育的概率分别提高 3.1%、10% 和 22.4%。除教育成就外，接种流脑疫苗还显著提高了受益群体的健康水平和认知能力。异质性分析结果表明，与女性相比，男性教育成就受流脑疫苗接种的影响更大，同时经济社会条件较差个体的教育成就从流脑疫苗接种中获益更多，说明流脑疫苗接种有助于降低社会不平等。进一步我们还发现流脑疫苗接种显著改善了个体劳动力市场表现，表现为个体就业概率和收入的增加，其中人力资本积累发挥重要的作用。最后，成本收益计算结果显示，流脑疫苗接种的收益远高于总成本，二者比值高达 61-110 倍，而人力资本回报收益占据主导，远超疫苗接种的医疗健康收益。

中国共产党始终坚持人民至上、生命至上的理念，积极使用疫苗接种防控传染病，切实维护保障人民生命健康。根据本文结论，我们可以得出如下四点政策启示：第一，本文稳健地发现，流脑疫苗接种不仅显著促进了受益群体长期人力资本积累，而且改善了其劳动力市场表现，促进了个体长期收入增长。意味着通过接种疫苗防治传染病不仅有助于当前直接降低发病率和死亡率，而且能够促进疫苗接种者长期发展，并由此推动经济增长，不仅为个体积极接种疫苗提供了强有力的激励，也进一步表明当前我国应继续坚持“应接尽接”原则，努力防控各类传染病。第二，不同经济社会条件个体从疫苗接种中获益的差异不仅说明我国传染病防治具有降低社会不平等的作用，也启示我们在传染病防控过程中应加大对弱势群体的关注，充分发挥公共健康产品提供在缓解社会不平等中的重要作用，推进共同富裕的实现。第三，疫苗接种的年龄越小，教育成就获益越多的结论启示我们要进一步加大对儿童早期的健康干预，促进个体长期发展和经济增长。第四，流脑疫苗成本收益结论说明我国疫苗接种具有非常高的收益，启示我们应进一步加大科研攻关，研发效率更高、质量更好的疫苗，切实保障人民生命健康。

参考文献

程令国、张晔，“早年的饥荒经历影响了人们的储蓄行为吗？——对我国居民高储蓄率的一个新解释”，《经济研究》，2011年第8期，第119—132页。

程名望、盖庆恩、Jin Yanhong、史清华，“人力资本积累与农户收入增长”，《经济研究》，2016年第1期，第168—181页。

胡克夫，“新中国社会主义卫生事业和防疫体系的创立与发展”，《当代中国史研究》，2003年第5期，第119—124页。

胡云峰、胡晓光、章书胜，“屏南县1954—2017年流脑流行特征”，《海峡预防医学杂志》，2018年第3期，第44—46页。

李文明，“1950-1999年德阳市旌阳区流脑流行特征与防制策略分析”，《预防医学情报杂志》，2004年第2期，第162—163页。

梁超、王素素，“教育公共品配置调整对人力资本的影响——基于撤点并校的研究”，《经济研究》，2020年第9期，第138—154页。

林友宏，““瘴气”的退却：我国疟疾防治对母婴健康影响的实证研究”，《经济学(季刊)》，2021年第3期，第1043—1062页。

刘元宝、江湖大川、李靖、欣吴莹、朱凤才，“疫苗接种对中国传染病防控事业的巨大贡献”，《中华疾病控制杂志》，2019年第8期，第890—893页。

卢莉、金水高、于竞进、许文远、凌罗亚，“不同经济水平地区计划免疫服务的成本测算研究”，《中华流行病学杂志》，2004年第8期，第45—48页。

吕晔、许华茹、于秋燕、马祖芳，“济南市1951~2003年流行性脑脊髓膜炎流行态势分析”，《预防医学论坛》，2004年第6期，第747—749页。

孟亦佳，“认知能力与家庭资产选择”，《经济研究》，2014年第S1期第49卷，第132—142页。

汤健闻、梁华庆、吕冬艳，“1962~2005年百色市流脑流行趋势分析”，《广西预防医学》，2006年第2期，第102—103页。

王代良、郑远秋、辜玲玉，“1976-2013年四川省高县流行性脑脊髓膜炎流行病学分析”，《寄生虫病与感染性疾病》，2014年第3期，第147—149页。

王晶，“1961~2007年泰安市流脑流行特征分析”，《预防医学论坛》，2009年第2期，第172—173页。

吴贾、吴莞生、李标，“早期健康投入是否有助于儿童长期认知能力提升？”，《经济学(季刊)》，2021年第1期，第157—180页。

许燕，等，“1950—2020年江苏省流行性脑脊髓膜炎流行特征及菌群变迁趋势分析”，《现代预防医学》，2022年第17期，第3086—3089页。

殷戈、黄海、黄炜，“人力资本的代际外溢性——来自“别人家的父母”的证据”，《经济学(季刊)》，2020年第4期，第1491—1514页。

张川川，““中等教育陷阱”？——出口扩张、就业增长与个体教育决策”，《经济研究》，2015年第12期，第115—127页。

张丽、蒋凤、管庆虎，“贵州省使用脑膜炎球菌多糖疫苗的成本效益分析”，《中国疫苗和免疫》，2017年第4期，第369—374页。

张晓丽、陈东林，“1966~1967年全国性“流脑”的暴发与防治”，《中共历史与理论研究》，2017年第2期，第134—147页。

黄树则、林士笑，“当代中国的卫生事业”，中国社会科学出版社，1986。

Acemoglu, D. and Johnson, S., "Disease and Development: The Effect of Life Expectancy on Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 2007, 115(6), 925-985.

Almond, D., "Is the 1918 Influenza Pandemic Over? Long-Term Effects of in Utero Influenza Exposure in the Post-1940 US Population", *Journal of Political Economy*, 2006, 114(4), 672-712.

Barofsky, J., Anekwe, T. D. and Chase, C., "Malaria Eradication and Economic Outcomes in sub-Saharan Africa: Evidence from Uganda", 2015, *Journal of Health Economics*, 44, 118-136.

Barreca, A. I., "The Long-Term Economic Impact of in Utero and Postnatal Exposure to Malaria", *Journal of*

Human Resources, 2010, 45(4), 865-892.

Bilukha, O., Rosenstein, N. E., "Prevention and Control of Meningococcal Disease: Recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP). *CDC*, 2005.

Bleakley, H. , "Health, Human Capital, and Development", *Annual Review of Economics*, 2010, 2(1), 283.

Bleakley, H., "Disease and Development: Evidence from Hookworm Eradication in the American South", *Quarterly Journal of Economics*, 2007, 122(1), 73-117.

Bleemer, Z., and Mehta, A., "Will Studying Economics Make You Rich? A Regression Discontinuity Analysis of the Returns to College Major", *American Economic Journal: Applied Economics*, 2022, 14(2), 1-22.

Bloom D E, Canning D, Kotschy R, et al. Health and Economic Growth: Reconciling the Micro and Macro Evidence. *NBER Working Paper*, 2019.

Bloom, D. E., Canning, D. and Shenoy, E. S., "The Effect of Vaccination on Children's Physical and Cognitive Development in the Philippines", *Applied Economics*, 2012, 44(21), 2777-2783.

Bloom, D. E., Kuhn, M., Prettnner, K., "Modern Infectious Diseases: Macroeconomic Impacts and Policy Responses", *NBER Working Paper*, 2020.

Brown, D. W., Kowalski, A. E. and Lurie, I. Z., "Long-Term Impacts of Childhood Medicaid Expansions On Outcomes in Adulthood", *Review of Economic Studies*, 2020, 87(2), 792-821.

Burnam, M. A., Wells, K. B., Leake, B. and Landsverk, J., "Development of a Brief Screening Instrument for Detecting Depressive Disorders.", *Medical Care*, 1988, 26(8), 775-789.

Bütikofer, A. and Salvanes, K. G., "Disease Control and Inequality Reduction: Evidence from a Tuberculosis Testing and Vaccination Campaign", *Review of Economic Studies*, 2020, 87(5), 2087-2125.

Bütikofer, A., Molland, E. and Salvanes, K. G., "Childhood Nutrition and Labor Market Outcomes: Evidence From a School Breakfast Program", *Journal of Public Economics*, 2018, 168, 62-80.

Chen, S. and Kung, J. K., "Of Maize and Men: The Effect of a New World Crop On Population and Economic Growth in China", *Journal of Economic Growth*, 2016, 21(1), 71-99.

Chen, Y., Fan, Z., Gu, X. and Zhou, L., "Arrival of Young Talent: The Send-Down Movement and Rural Education in China", *American Economic Review*, 2020, 110(11), 3393-3430.

Chicoine, L., "AIDS Mortality and its Effect on the Labor Market: Evidence from South Africa", *Journal of Development Economics*, 2012, 98(2), 256-269.

Cunha, F. and Heckman, J., "The Technology of Skill Formation", *American Economic Review*, 2007, 97(2), 31-47.

Currie, J., and Almond, D., "Human Capital Development Before Age Five", *Handbook of Labor Economics*, Elsevier, 2011, 4, 1315-1486.

Cutler, D., Fung, W., Kremer, M., Singhal, M. and Vogl, T., "Early-Life Malaria Exposure and Adult Outcomes: Evidence from Malaria Eradication in India", *American Economic Journal: Applied Economics*, 2010, 2(2), 72-94.

De Chaisemartin, C. and D'Haultfoeuille, X., "Two-Way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects", *American Economic Review*, 2020, 110(9), 2964-2996.

Deng, Z., Treiman, D. J., "The Impact of the Cultural Revolution on Trends in Educational Attainment in the People's Republic of China", *American Journal of Sociology*, 1997, 103(2), 391-428.

Duflo, E., "Schooling and Labor Market Consequences of School Construction in Indonesia: Evidence From an Unusual Policy Experiment", *American Economic Review*, 2001, 91(4), 795-813.

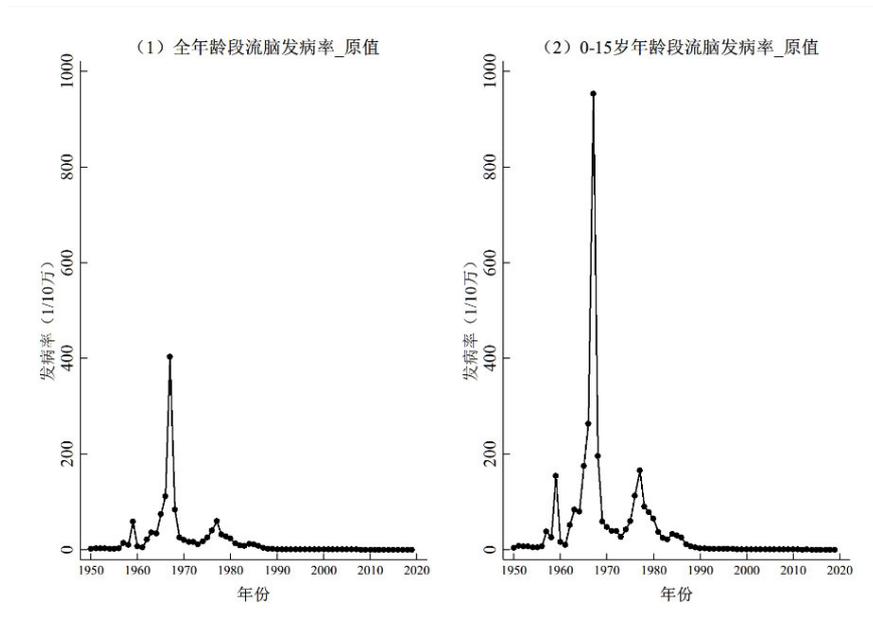
Ehreth, J., "The Value of Vaccination: A Global Perspective", *Vaccine*, 2003, 21(27-30), 4105-4117.

Fink, G., Venkataramani, A. S. and Zanolini, A., "Early Life Adversity, Biological Adaptation, and Human Capital: Evidence from an Interrupted Malaria Control Program in Zambia", *Journal of Health Economics*, 2021, 80, 102532.

- Gensowski, M., Nielsen, T. H., Nielsen, N. M., Rossin-Slater, M. and Wust, M., "Childhood Health Shocks, Comparative Advantage, and Long-Term Outcomes: Evidence from the Last Danish Polio Epidemic", *Journal of Health Economics*, 2019, 66, 27-36.
- Huang, W., and Liu, H., "Early Childhood Exposure to Health Insurance and Adolescent Outcomes: Evidence from Rural China", *Journal of Development Economics*, 2023, 160, 102925.
- Kelly, E., "The Scourge of Asian Flu in utero Exposure to Pandemic Influenza and the Development of a Cohort of British Children", *Journal of Human Resources*, 2011, 46(4), 669-694.
- La Ferrara, E., Chong, A. and Duryea, S., "Soap Operas and Fertility: Evidence From Brazil", *American Economic Journal: Applied Economics*, 2012, 4(4), 1-31.
- Li, J., Shao, Z., Liu, G., Bai, X., Borrow, R., Chen, M., Guo, Q., Han, Y., Li, Y., Taha, M., Xu, X., Xu, X. and Zheng, H., "Meningococcal Disease and Control in China: Findings and Updates From the Global Meningococcal Initiative (GMI)", *Journal of Infection*, 2018, 76(5), 429-437.
- Nandi, A., Kumar, S., Shet, A., Bloom, D. E. and Laxminarayan, R., "Childhood Vaccinations and Adult Schooling Attainment: Long-Term Evidence from India's Universal Immunization Programme", *Social Science & Medicine*, 2020, 250, 102532.
- Oskorouchi, H. R., Sousa-Poza, A., Bloom, D. E., "The Long-term Cognitive and Schooling Effects of Childhood Vaccinations in China. *NBER Working Paper*, 2020.
- Ozawa, S., Mirelman, A., Stack, M. L., Walker, D. G. and Levine, O. S., "Cost-Effectiveness and Economic Benefits of Vaccines in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review", *Vaccine*, 2012, 31(1), 96-108.
- Park, M., Jit, M. and Wu, J. T., "Cost-Benefit Analysis of Vaccination: A Comparative Analysis of Eight Approaches for Valuing Changes to Mortality and Morbidity Risks", *BMC Medicine*, 2018, 16.
- Phadera, L., "Unfortunate Moms and Unfortunate Children: Impact of the Nepali Civil War on Women's Stature and Intergenerational Health", *Journal of Health Economics*, 2021, 76, 102410.
- Price-Smith, A. T., "The Health of Nations: Infectious Disease, Environmental Change, and Their Effects on National Security and Development", *MIT Press*, 2001.
- Rota, Paul A., William J. Moss, Makoto Takeda, Rik L. de Swart, Kimberly M. Thompson, and James L. Goodson. "Measles." *Nature Reviews Disease Primers*, 2016, 2 (1), 1–16.
- Sinha, A., Levine, O., Knoll, M. D., Muhib, F. and Lieu, T. A., "Cost-Effectiveness of Pneumococcal Conjugate Vaccination in the Prevention of Child Mortality: An International Economic Analysis", *Lancet*, 2007, 369(9559), 389-396.
- Venkataramani, A. S., "Early Life Exposure to Malaria and Cognition in Adulthood: Evidence From Mexico", *Journal of Health Economics*, 2012, 31(5), 767-780.
- Walder, A. G., "Rebellion and Repression in China, 1966-1971", *Social Science History*, 2014, 38(3-4), 513-539.
- Wang, L., Wang, Y., Jin, S., Wu, Z., Chin, D. P., Koplan, J. P. and Wilson, M. E., "Health System Reform in China 2 Emergence and Control of Infectious Diseases in China", *Lancet*, 2008, 372(9649), 1598-1605.
- WHO., "Global Health Estimates Report", *World Health Organization*, 2019.
- Yu, W., Lee, L. A., Liu, Y., Scherpbier, R. W., Wen, N., Zhang, G., Zhu, X., Ning, G., Wang, F., Li, Y., Hao, L., Zhang, X. and Wang, H., "Vaccine-Preventable Disease Control in the People's Republic of China: 1949-2016", *Vaccine*, 2018, 36(52), 8131-8137.
- Zhou, M., Wang, H., Zeng, X., Yin, P., Zhu, J., Chen, W., Li, X., Wang, L., Wang, L., Liu, Y., Liu, J., Zhang, M., Qi, J., Yu, S., Afshin, A., Gakidou, E., Glenn, S., Krish, V. S., Miller-Petrie, M. K., Mountjoy-Venning, W. C., Mullany, E. C., Redford, S. B., Liu, H., Naghavi, M., Hay, S. I., Wang, L., Murray, C. J. L. and Liang, X., "Mortality, Morbidity, and Risk Factors in China and its Provinces, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden

of Disease Study 2017", *Lancet*, 2019, 394(10204), 1145-1158.

附录



附图 1 全年龄段和 0-15 岁群体流脑发病率原值走势

4、注射流脑菌苗。1939~1946年多次用流脑菌苗进行大量预防注射，用量为167.3万毫升，但菌苗制品成份和效果无法考证。直到1966~1971年改用吸附菌体菌苗52.3万人份，在上杭、永定和龙岩试用因效果不佳，而停止使用。1981年在福安和安溪两县试点用新制品多糖体A群流脑菌苗20万人份，每人注射0.5毫升，其保护率在90%以上，维持免疫3~5年，从1982年起进行大量注射，对象扩大到15周岁以下儿童和青少年，至1986年4年共注射1520万人份，从而大幅度地降低了发病率，至1983年后每年发病率控制在10/10万左右。详见表3。

1982年注射185万人份多糖体菌苗是在冬季进行的，当年的发病率偏高，是春季流行而未受益于菌苗保护的结果。1983年发病率就比1982年几乎降低一倍。于是1983年又扩大注射地区共使用菌苗300万人份，1984年补用250万人份，1985年用量增至430万人份，1986年再补用355万人份，每年补充注射对象为新生儿和疫点、疫区应急之用。

5、查治苗头病人。所谓苗头病人是指可疑流脑或有头痛、发烧和上呼吸道感染的病人。

151

福建省《卫生志》

定了苗头病人的诊断标准。并对防治效果进行了考核和评价，试用流脑吸附菌苗接种，经效果观察，保护率可达50%左右(尚不能控制流行)。

1981年，省卫生防疫站、成都生物制品

研究所用A群流脑多糖菌苗给儿童、青少年接种，保护率可提高36.06%，效果可维持3年以上。1983年，开始对15岁以下儿童和青少年普种A群流脑多糖菌苗，经3年时间，疫情得到控制，1985年，全省疫情稍有回升。

120

四川省《卫生志》

1971年至1975年，吉林省一直应用流脑菌的菌体菌苗，但是，由于此苗的保护率较低，约为50~60%，反应也较大，故停用。1982年大面积地开始使用流脑A群多糖体菌苗，该苗预防效果良好，保护率在90%以上。由于菌苗的注射，每年可以减少相当一部分病例的发生。1983年，按流行规律预测可能会出现流行高峰，为此，扩大了疫苗使用范围，全省15岁以下的儿童均给予了预防注射，结果该年发病率比1982年降低11.80%。

吉林省《卫生志》

进行霍乱菌苗的注射，未发生霍乱病人。1979年，河北省某地区发现“02”（副霍乱）病。为加强预防工作，保定市建立了“02”病防治指挥部。市革命委员会批转了《市卫生局关于‘02’病防治工作意见的报告》，建立了防治小分队，对府河、下闸、游泳池等5个点采水，坚持每半月采样化验一次，对可疑病人进行粪检。

易和人群免疫水平，1971年，保定市始对重点人群进行流脑菌苗接种（现已淘汰），但未能控制本病的发生与流行。1980年，用提纯流脑A群多糖菌苗对1—15岁儿童进行分区轮种，至1984年止，已接种两遍，接种率在80%以上。至1988年，保定市的流脑发病率，连续9年保持在1/10万的历史最低水平。

保定市《卫生志》

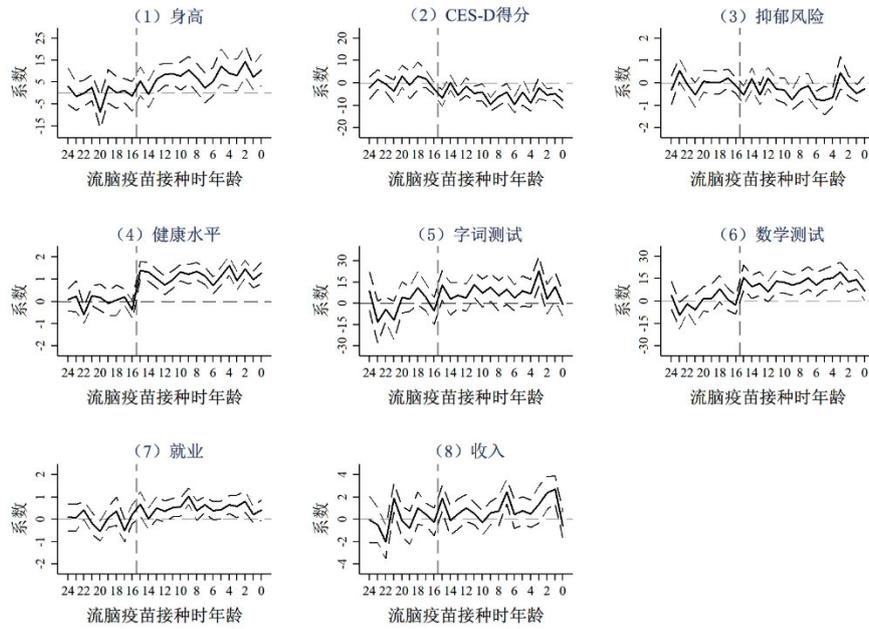
按流行规律，1984年前后应该是流脑流行的第三个高峰年，但流行高峰并未出现。原因是全区各地卫生防疫工作者事先通过疫情动态分析、人群抗体水平监测和带菌情况调查等，对流脑的流行态势进行了疫情预测和预报。并且在流行高峰到来之前，在预防为主方针的指导下，采取菌苗接种，提高了易感人群的免疫水平。如，包头市对城市三区和矿区4~15岁儿童进行了普种，总共接种168845人，接种率达到了91%，从而有效地将本来很可能再次大规模流行的流脑疫情扼杀于未萌之中。

1985年以后，流脑没有在内蒙古地区出现过较大的流行，直到20世纪末，全区健康人群的带菌率一直比较稳定地维持在25%~29%。1990~1995年，内蒙古地区流脑发病最多的一年是1990年，发病率和死亡率分别为0.95/10万和0.06/10万。发病最少一年是1993年，发病率和死亡率分别只有0.36/10万和0.04/10万。

2003年，内蒙古流脑的发病率和死亡率分别为0.075/10万和0.009/10万。

内蒙古自治区《卫生志》

附图2 部分地区记载的流脑疫苗主要针对0-15岁群体接种的资料



附图 3 流脑疫苗接种其他影响的动态双重差分结果

注：图中展示是 90%水平的置信区间。

附表 1 流脑疫苗接种对个体教育成就影响含控制变量估计系数结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
因变量:	教育年限	是否读完小学	是否读完初中	是否读完高中
疫苗接种前流脑发病率	5.875***	0.262**	0.580***	0.518***
*疫苗接种队列	(1.217)	(0.128)	(0.130)	(0.168)
性别	1.822***	0.170***	0.166***	0.069***
	(0.172)	(0.019)	(0.016)	(0.009)
民族	0.660*	0.071*	0.050	0.025
	(0.370)	(0.039)	(0.038)	(0.020)
户口	-2.936***	-0.128***	-0.299***	-0.333***
	(0.308)	(0.020)	(0.035)	(0.033)
城市固定效应	是	是	是	是
省份-出生年份固定效应	是	是	是	是
观测值	8519	8519	8519	8519
R 方	0.395	0.310	0.304	0.292

注：括号内为在城市层面聚类估计的稳健标准误。*、**、***分别表示在 10%、5%和 1%水平下统计显著。