

内容列表可在[ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)上找到

技术预测与社会变革

杂志主页: www.elsevier.com/locate/techfore

人类可靠性的挑战将如何阻碍半自动驾驶汽车的部署



Xavier Demeulenaere

航空和汽车工程系，拉夫堡大学，莱斯特郡LE11 3TU，英国

我的朋友们，你们知道
吗？

关键词。

自动驾驶车辆 自动驾驶系
统 安全人为错误 可靠性
研究

A B S T R A C T

这篇透视文章探讨了向完全自动驾驶过渡时期对人类可靠性的影响，以及这些挑战将如何成为该技术安全部署的主要障碍。特别是，分析的重点是自动驾驶系统（ADS）对安全的潜在贡献，人类错误在这一领域的具体作用，以及驾驶员分心及其相关风险如何因自动驾驶系统的引入而加剧。此外，还讨论了自动驾驶车辆（AV）的使用与危险驾驶行为之间的联系，以及自动驾驶车辆与其他道路使用者之间的互动问题。

1. 简介

为了提高汽车乘员和其他道路使用者的安全，汽车工业将其重点从改进被动安全转向开发能够实现主动安全的技术。早期的一些技术发展集中在提高特定系统在不利条件下执行驾驶员意图的能力；突出的例子包括防抱死制动系统和电子稳定控制，通常被称为ABS和ESC，旨在限制打滑和失去转向控制，这两个系统在欧盟销售的新车中都是强制性的。另一方面，一些系统旨在通过使用扫描特定风险的传感器和适当的警告协议，提醒驾驶员注意潜在的紧急情况，从而减少驾驶错误；例如，这适用于前方碰撞警告（FCW）和车道偏离警告（LDW）系统。在所有这些情况下，人类驾驶员仍然是车辆的神经中枢，完全负责检测和评估风险（可能由预警系统协助）并采取适当的行动（其性能可能由控制系统加强）。随着技术的进步，这些复杂的系统可以开始互动，如自适应巡航控制（ACC），导致实施避免或缓解策略，能够更好地解决司机的缺陷：人类操作员现在可以暂时绕过在紧急情况下的不作为。这些系统统称为高级驾驶辅助系统（ADAS），已被证明有助于改善道路安全（Cicchino, 2018, 2017; Fildes等, 2015）。如今，最受欢迎的ADAS构成了自动驾驶系统（ADS），其复杂程度和能力的不断提高为自动驾驶系统的发展铺平了道路。

自动驾驶汽车（AVs）（Chan, 2017）。鉴于目前和预测的能力范围很广，驾驶自动化程度由行业标准SAE J3016（SAE国际, 2014, SAE国际, 2018）界定，包括从无自动化到完全自动化的6个级别（参见图1）。由于需要超级视觉或人类驾驶员的干预，1至3级被重新视为半自动，完全自动的车辆为4或5级。

2. ADS对道路安全的潜在影响

ADS的广泛益处通常包括“由于消除或最大限度地减少人为错误而减少交通事故”（Chan, 2017年，第211页），然而，AVs的个人和社会益处还包括“舒适、便利、移动性、能源、环境和经济”（Chan, 2017年，第215页）。215）：虽然安全是早期ADAS的基础，但更先进的系统的安全性能可能被视为对其他目的设计的功能的限制。事实上，Sivak和Schoettle认为“自动驾驶汽车比有经验的中年司机更安全并不是一个定论”（2015年，第7页），而Kockelman等人（2016年）提到了自动驾驶汽车的感应能力，与人类司机类似，在极端条件下会出现退化。最重要的是，Chan强调“大多数影响，包括[.....]增加交通安全[.....]，只有当自动驾驶汽车变得廉价，并在整个汽车旅行中占主要部分时才会有意义”（2017，第212页），并指出“部署问题或实施挑战可能暂时难以解决”（2017，第211页）。这一点得到了Sivak and

电子邮件地址 : xavier.demeulenaere.14@ucl.ac.uk。

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120093>

2019年10月21日收到；2020年3月5日收到修订版；2020年4月25日接受

~~2020~~年5月15日可上线

~~© 2016~~ / ~~© 2020~~ Elsevier 保留所有权利。

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

图1.自动驾驶的标准等级，由国际汽车工程师学会定义，2014年。

Schoettle认为，"当传统车辆和自动驾驶车辆共享道路时，安全实际上可能会恶化，至少对于传统车辆而言"（2015年，第7页），考虑到平均车龄超过10年和车龄分布的正偏斜，预测过渡期将持续数十年。

虽然完整的自动驾驶汽车当然包含了非常复杂的技术，但这些系统的技术能力被广泛研究，以完善其性能和稳健性（Kwon等人，2005；Park和Oh，2019；Song等人，2018；Wang等人，2015；Wang和Li，2019）。但Kockelman等人指出，当驾驶条件需要在两者之间无缝切换的能力时，"人类驾驶员和自动化组件之间的共享权力"在第2级和第3级所带来的挑战（2016，第18页）。直观地说，这似乎是第3级自动化的一个主要问题，当人类操作员不再负责监督系统，但却被期望在需要时控制车辆。只有在计划好的情况下，或者在"自动驾驶系统逐渐和优雅地失效"的情况下，这种操作才是安全的，而任何突然的权力过渡都将是特别危险的（Sparrow and Howard, 2017, p. 207）。因此，对于半自动驾驶汽车，可靠性研究应包括人机互动的失败，例如作为故障树中的一个中间事件，并明确区分不同类型的交接，为此，McCall等人提出了"计划内"、"非计划内系统启动"、"非计划内驾驶员启动"、"非计划内驾驶员启动紧急情况"和"非计划内系统启动紧急情况"的分类法（2019，第514-515页）。这五种形式的交接情况以不同的方式适用于不同级别的自动驾驶，关键是，有些是系统设计的一部分（如"计划内交接"），而有些则直接归因于系统故障（如"非计划内系统启动的紧急交接"）。为了能够对这些故障进行量化，可以从AV试验的分析中获得一些初步的移交事件。Favarò等人提出"脱离报告的趋势"。

在加州公共道路上测试的车辆的相关频率、故障前的平均行驶里程，以及对触发因素和促成因素的分析"（2018，第136页）。这项研究的作者将交接归类为"人为因素"、"系统故障"、"外部条件"和"其他"（Favarò等人，2018年，第140-141页）；而与硬件或软件有关的系统故障占50%以上，可以说，由于"外部条件"（11%）导致的交接与系统无法安全运行有关，因此也是系统的故障。然而，重要的是要记住，这些都是从测试阶段得出的，不能一概而论，因为它需要"有一个必须接受特殊培训的控制司机在场"（Favarò等人，2018年，第136页），而且可以想象，作为试验的结果，该技术将得到改善，所以在这个领域需要进一步研究，以获得对这些关键交接事件的更好理解。

3. 不断变化的人为错误情况

多年来，研究人员一直试图更好地了解驾驶员的行为和错误对道路安全的影响。由Reason等人开发并在1990年出版的驾驶员行为问卷（Reason等人，1990），"是一个有据可查的工具，用于获取关于异常驾驶行为的自我报告信息"（Zhao等人，2012，第676页）。DBQ旨在测量"失误、错误和违章"，"已经成为测量驾驶风格[.....]以及驾驶行为与车祸参与之间关系的最广泛使用的工具之一"（Martinussen等人，2013，第228页）。DBQ已经被广泛地重新审视，以考察一系列国家和驾驶员的特征，通过2010年de Winter和Dodou（2010）发表的174项研究的荟萃分析，发现DBQ中的错误和违规行为与前瞻性和回顾性事故的参与相关。这种关系的根本原因已经引起了人们的兴趣，研究旨在将自

报道了DBQ的结果与仪器车辆或模拟器上观察到的驾驶行为 (Helman和Reed, 2015; Zhao等人, 2012)。

虽然关于操作者错误的这一知识体系对传统车辆的可靠性研究是一个有用的输入, 但其在半自动驾驶车辆上的有效性是值得怀疑的。事实上, 许多研究调查了人类操作员在控制权被剥夺后保持高度集中的能力。Merat等人 (2014年) 发现, 当自动驾驶停止时, 驾驶员需要35秒左右的时间来重新获得对车辆的适当控制, 而且当交接事件更可预测时, 对道路的注意力更高。对驾驶员对系统故障的生理反应感兴趣, Arakawa等人指出, "自动驾驶期间的认知水平低于手动驾驶期间的认知水平", 这导致在系统故障后重新需要恢复控制时的心神不宁, 并注意到在交接期间依赖ADS的驾驶员所经历的压力水平 (2019, 第587页)。Merat等人强调了分心在交接表现中的关键作用, 他们的研究表明, "在没有次要任务的情况下, 驾驶员对关键事件的反应在手动和高度自动驾驶条件下是相似的", 但 "当驾驶员被次要任务分心时被要求在自动模式下重新控制驾驶时, 表现最差" (2012, p. 762)。Carsten等人 (2012年) 发现, 随着自动化程度从0级逐渐提高到2级, 非驾驶任务的参与度也在增加, 而Strand等人的研究结果同样表明, "当自动驾驶水平提高时, 驾驶性能会下降" (2014年, 第218页)。德温特等人在对这一主题的荟萃分析中得出结论, 半自动驾驶时操作者的工作量增加 (即他们 "可能会挑起与驾驶无关的任务"), 虽然与人工驾驶相比, 情况意识可能会改善, 但只有在使用ADS的司机不参与非驾驶任务时才会如此 (2014, 第196页)。重要的是, 这种观点表明, 1级和2级自动驾驶之间的注意力水平明显不同, Strand等人简明扼要地提出 "手动侧向控制对纵向自动驾驶的监控有积极影响" (2014年, 第二章, 重点)。

为了更好地掌握ADS加剧分心和相关风险的影响, 可以参考现有的工作, 将司机的分心水平与识别危险情况的能力联系起来 (Castro等人, 2019)。鉴于驾驶者在使用ADS时注意力水平的重要作用, 可靠性研究可以从未来驾驶行为研究中纳入这一因素中受益, 例如, 这项工作试图将DBQ现代化, 将企业问题集中在注意力不集中和分心上 (Cordazzo等人, 2016)。技术可能有助于缓解这一特殊问题, 建议引入各种形式的驾驶员监控, 但虽然阿特伍德等人强调了半自动驾驶汽车中 "驾驶员注意力警告系统" 的潜在好处 (2019年, 第132页), 但也有证据表明, 基于分心程度的自适应ADAS未能显示出明显的优势 (Reinmueller和Steinhauser, 2019年)。另一个肯定能从进一步研究中受益的领域是面对ADS时经验的作用。对于传统驾驶, Castro等人 (2019年) 指出, 经验有助于提高对危险情况的理解, 而Larsson等人 (2014年) 则表明, 电动汽车的驾驶者对危险情况有更高的认识。[2014]的研究表明, 经验的影响对半自动驾驶汽车的影响是不同的: 尽管使用ADS时反应时间增加, 但 "对于那些以前有系统经验的人来说, 这种影响明显较低", 这说明 "不仅在了解系统限制方面存在学习因素, 而且在应对潜在危险方面也有学习因素" (Larsson等人, 2014, p. 229)。但长期的影响可能是巨大的, 因为Sparrow和Howard推测, 要求操作员重新控制车辆将成为一个主要问题, 因为 "无人驾驶车辆的可靠性提高可能伴随着人类驾驶员技能的丧失" (2017年, 第208页)。因此, 目前对人类错误的理解应用于可靠性研究, 如故障树分析, 对

传统的车辆可能不会被复制到半自动驾驶车辆上, 对于半自动驾驶车辆来说, 操作者的角色和失误是完全被重新定义的。

4. 使用AV的心理学

人类行为研究的另一个方面是与AV的感知和社会可接受性有关 (Daziano等, 2017; Gkartzonikas和Gkritza, 2019; Haboucha等, 2017; Liljamo等, 2018; Zhang等, 2019), 这在某些情况下可以说明与AV使用有潜在联系的特定风险。尽管Hulse等人发现, "男性和年轻的成年人对这种技术表现出更大的理解力", 这可能会对道路安全产生积极的影响, 因为这些群体有采取危险驾驶行为的倾向, 但他们也警告说, 这些发现不足以得出关于风险承担的结论 (2018, 第1页)。在一项关于使用自动驾驶汽车意向的研究中, Payre等人分享了以下见解 ("全自动汽车" 在他们的分析中指的是3级)。

因此, 高感觉追求者预计会比低感觉追求者更打算使用全自动汽车, 以体验新奇和冒险。然而, 委托驾驶可能会降低驾驶时的刺激体验。有研究表明, 当使用ACC设备时, 高感觉追求者的平均驾驶速度更快, 车辆之间的间隔更短, 刹车更有力[...]。因此, 高感觉追求者在自己的车被电子系统驾驶时, 可能会调整自己的行为, 不那么小心。 (Payre等人, 2014, p. 254)

在同一研究中, Payre等人进一步确定, 大部分参与者对在因酒精、药物使用、药物治疗或疲倦而受损的情况下使用AVs感兴趣。他们认为, 3级自动化 "可能会抑制驾驶的感觉, 减少对控制和对车辆负责的需求", 导致潜在的故意滥用AVs (Payre等人, 2014年, 第260页)。半自动驾驶汽车作为一种有吸引力的技术出现, 无论是在寻求感觉的时候还是在受损的时候, 都进一步证明了可靠性研究不能假设自动驾驶汽车操作者的行为与传统汽车的司机相似。然而, 由于到目前为止, 与风险承担的关系仍然是推测性的, 在这个领域还需要更多的工作来确定一些可用于故障树或事件树的定量结果。

除了正确关注半自动驾驶汽车对人类操作者的影响的研究外, 另一个感兴趣的领域是道路使用者之间的互动以及自动驾驶汽车对现有期望的影响。支持向完全自动化演进的人承认, 人类驾驶员可能是驾驶过程的主要部分, 因为他们有能力完成机器尚未掌握的任务, 如与其他驾驶员交换 "视觉眼神或身体手势以传达意图" (Chan, 2017, p. 210)。由于司机 "对其他车辆可能采取的行动有一定的预期", 并 "根据从其他司机那里得到的反馈" 进行驾驶操作, 而在遇到自动驾驶车辆时, 这些反馈是不存在的, 因此完全自动驾驶车辆和传统车辆共存的过渡期将是很明显的 (Sivak and Schoettle, 2015, p. 5); 但这项研究指出, 预期和反馈的重要性以及它们对安全的影响还有待确定。有趣的是, 对2009年至2015年谷歌汽车在自主模式下的试驾情况进行了研究, 发现没有发生单车事故, 而10起事故中有8起是由于人类司机追尾AVs造成的 (Teoh and Kidd, 2017)。总的来说, 10起事故中只有1起是由自动驾驶汽车分担责任的, 这表明 "高度自动化的车辆在某些条件下可以比人类司机更安全地执行任务, 但会继续卷入与传统驾驶车辆的碰撞" (Teoh and Kidd, 2017, p.

57).因此,对AV试验的分析可能会对安全相关的互动问题有所启发,前提是这些研究要研究事故的根本原因,以确定人类司机是否误解了AV的意图。为了避免未来出现这种误解,目前正在开展工作,以确定司机在不受法律约束的情况下采用的隐性合作规则,以便这些行为可以在自动驾驶汽车中复制 (Imbsweiler等人, 2018; Kauffmann等人, 2018)。鉴于行人和骑自行车的人等易受伤害的道路使用者 (VRU) 所面临的特殊风险,他们对转达自动驾驶汽车意图的不同通信功能的接受程度已成为众多研究的主题,这些研究强调自动驾驶汽车需要提供普遍可理解的信息 (Ackermann等人, 2019; Deb等人, 2018; Merat等人, 2018; Rodríguez Palmeiro等人, 2018; Straub和Schaefer, 2019)。无论是涉及其他司机还是VRU,在AVs和传统车辆共享道路的漫长过渡期,可能会看到对预期行为的重新解释,因此基于道路使用者目前的期望和相关概率的可靠性研究将需要审查,以匹配逐渐习惯于AVs的人群的不断变化的行为。

5. 总结

正如Fagnant和Kockelman所说,自动驾驶汽车“代表了我们的交通系统潜在的破坏性但又是有益的变化”,对“车辆安全、拥堵和旅行行为”有潜在影响 (2015年,第167页)。这种大规模的转变将需要伴随着法规的重大变化,首先促进自动驾驶汽车在公共道路上的测试,但更重要的是通过澄清影响保险业的新责任制度来支持其部署 (Schellekens, 2015; Vellinga, 2017; 徐和道, 2019)。这反过来又需要与对这种技术进步相关的可靠性和风险有一个先进的理解。除了专注于将自动驾驶汽车推向市场所需的硬件和软件的可靠性研究,显然还需要涵盖其使用对人类操作员和其他各方的影响,以实现高性能的半自动和完全自动的车辆。

目前高质量的可靠性研究将依赖于一个良好的我们对驾驶者的行为和道路使用者的互动有几十年的了解,这些了解是基于人们在现实生活中对普通车辆的熟悉和对共享道路基础设施所需的隐性合作规则的熟悉。随着复杂的ADAS、ADS和最终的完全AV技术的引入,修改这些知识以反映手头系统的技术复杂性,以及这些技术所影响的人类行为的复杂性变得非常重要。完全自动驾驶的情况是相当直接的,因为故障树会看到与手动驾驶有关的事件的消失,取而代之的是与操作系统故障有关的新事件。然而,需要考虑第三方互动的潜在变化,因为误读外部因素是导致危险情况的原因之一。然而,对于部分自动化来说,故障树的复杂性应大量增加,结合与人工驾驶有关的故障、ADS的技术故障以及与人机互动有关的新故障,如紧急交接。此外,对于这些车辆,假设人工驾驶的人为错误保持不变是不合适的,因为事件频率会因新的操作员的分心程度而改变。

因此,在这一领域需要进行大量的进一步研究。涵盖各种学科的主题。事实上,为了超越纯粹关注新系统的技术性能的研究,并且内在认为运输系统和车辆与环境的互动方式没有更大的系统变化,需要一个跨学科的方法来更好地整合

在ADS技术的工程分析中的社会科学研究。值得注意的是,识别技术解决方案的故障模式的研究应该特别强调行动间的故障模式,并应导致将这些结果纳入安全和可靠性工程学科所使用的既定分析方法中。仿效为调整DBQ以适应不同的社会经济因素和文化环境所做的工作,进行类似的研究以探索不同国家以及文化和社会环境中交互行为的差异将被证明是有益的。因此,这项研究有助于揭示AV在某些社区推广的潜在障碍,并成为确定包容性部署战略的第一步,或在必要时采取应对这些特定挑战的行动。

为了利用不断增加的AV试验,巨大的好处是对半自动驾驶的脱离机制的研究,以及这些事件在从测试环境 (尽管是在真实的道路上) 转向由未经训练和无报酬的个人在现实生活中使用时将如何演变,将有助于更好地理解。同样,对试验期间事故根源的深入调查将有助于澄清其他司机对自动驾驶汽车意图的误解的潜在贡献,从而指导即将推出的车辆的缓解功能的开发。此外,虽然已经有大量关于低水平自动化的司机分心的工作,研究涵盖了0到2级,但仍然缺乏关注3级自动驾驶中操作者错误的实际研究,因为这既是最高水平的半自动驾驶,也被证明吸引了相当多的冒险者 (追求感觉的人或受损用户) 的兴趣。

Sparrow和Howard指出,“最大限度地提高社会和环境AVs的心理优势需要强有力的监管” (2017年,第High-light节);具体而言,这些安全影响是革命道路的倡导者高调提出的一个关键点,随着半自动驾驶车辆被禁止,将跃升至4级自动驾驶 (Chan, 2017; Sparrow和Howard, 2017)。但更进一步, Sparrow和Howard还预测,最终,“驾驶将被定为非法” (2017,第209页),因为“无人驾驶汽车带来的伦理挑战”意味着,“只要无人驾驶汽车不比人类司机更安全,出售它们就不道德”,但“一旦它们在涉及第三方风险时比人类司机更安全,那么驾驶它们应该是非法的” (2017,第206页)。

鸣谢

作者要感谢匿名审稿人的宝贵意见,使这篇透视文章的质量得以提高。

补充材料

与本文相关的补充材料可在网上版本中找到,网址为 [doi:10.1016/j.techfore.2020.120093](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120093)。

参考文献

- Ackermann, C., Beggiato, M., Schubert, S., Krems, J.F., 2019. 调查设计和评估标准的实验研究: 什么对行人和自动驾驶汽车之间的沟通很重要? *Appl. Ergon.* 75, 272-282. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.002>.
- Arakawa, T., Hibi, R., Fujishiro, T., 2019. 自动驾驶汽车中驾驶员精神状态的心理物理学评估。 *Transp. Res. Part Policy Pract.* 124, 587-610. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.05.003>.
- Atwood, J.R., Guo, F., Blanco, M., 2019. 评估驾驶员对2级自动驾驶车辆中主动警告系统的反应。 *Accid. Anal. Prev.* 128, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.010>.
- Carsten, O., Lai, F.C.H., Barnard, Y., Jamson, A.H., Merat, N., 2012. 半自动驾驶中的控制任务子结构: 哪些方面是自动的重要吗? *Hum. Factors* 54, 747-761. <https://doi.org/10.1177/0018720812460246>.
- Castro, C., Padilla, J.-L., Doncel, P., Garcia-Fernandez, P., Ventsislavova, P., Eisman, E. .

- Crundall, D., 2019. 驾驶中的分心性和危险预测是怎样的关系？驾驶经验作为调节因素的作用。 *Appl. Ergon.* 81, 102886. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102886>.
- Chan, C.-Y., 2017. 自动驾驶系统的进展、前景和影响。 *更安全的道路基础设施。操作。Manag.* 6, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.07.008>.
- Cicchino, J.B., 2018. 车道偏离警告对警察报告的碰撞率的影响。 *J. Saf. Res.* 66, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.05.006>.
- Cicchino, J.B., 2017. 前方碰撞预警和自主紧急制动系统在降低前后车祸率方面的有效性。 *Accid. Anal. Prev.* 99, 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.11.009>.
- Cordazzo, S.T.D., Scialfa, C.T., Ross, R.J., 2016. 驾驶员行为调查表的现代化。 *Accid. Anal. Prev.* 87, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.11.016>.
- Daziano, R.A., Sarrias, M., Leard, B., 2017. 消费者是否愿意付钱让汽车为他们开车？分析对自动驾驶车辆的反应。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 78, 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.003>.
- de Winter, J.C.F., Dodou, D., 2010. 作为事故预测因素的驾驶行为问卷：荟萃分析。 *J. Saf. Res.* 41, 463-470. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2010.10.007>.
- de Winter, J.C.F., Happee, R., Martens, M.H., Stanton, N.A., 2014. 自适应巡航控制和高度自动驾驶对工作量 and 情况意识的影响：经验证据的回顾。 *Veh. Autom. Driv. Behavior.* 27, 196-217. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.06.016>.
- Deb, S., Strawderman, L.J., Carruth, D.W., 2018. 调查行人对完全自主车辆外部特征的建议：一个虚拟现实实验。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 59, 135-149. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.08.016>.
- Fagnant, D.J., Kockelman, K., 2015. 为自动驾驶汽车准备一个国家：机会、障碍和政策建议。 *Transp. Res. Part Policy Pract.* 77, 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>.
- Favarò, F., Eurich, S., Nader, N., 2018. 自主车辆的脱离：趋势、触发因素和监管限制。 *Accid. Anal. Prev.* 110, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.001>.
- Fildes, B., Keall, M., Bos, N., Lie, A., Page, Y., Pastor, C., Pennisi, L., Rizzi, M., Thomas, P., Tingvall, C., 2015. 低速自主紧急制动在现实世界追尾事故中的有效性。 *Accid. Anal. Prev.* 81, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.029>.
- Gkartzonikas, C., Gkritza, K., 2019. 我们学到了什么？关于自动驾驶汽车的陈述偏好和选择研究的回顾。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 98, 323-337. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.12.003>.
- Haboucha, C.J., Ishaq, R., Shiftan, Y., 2017. 用户对自动驾驶车辆的偏好。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 78, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.010>.
- Helman, S., Reed, N., 2015. 使用来自仪表盘车辆和高灵敏度驾驶模拟器的行为数据对驾驶员行为问卷进行验证。 *Accid. Anal. Prev.* 75, 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.008>.
- Hulse, L.M., Xie, H., Galea, E.R., 2018. 对自主车辆的看法：与道路使用者、风险、性别和年龄的关系。 *Saf. Sci.* 102, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.001>.
- Imbsweiler, J., Ruesch, M., Weinreuter, H., Puente León, F., Deml, B., 2018. 僵局情况下T型交叉口中道路使用者的合作行为。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 58, 665-677. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.006>.
- Kauffmann, N., Winkler, F., Naujoks, F., Vollrath, M., 2018. "什么造就了合作型司机？" 识别变道场景中隐性和显性沟通形式的参数。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 58, 1031-1042. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.019>.
- Kockelman, K., Avery, P., Bansal, P., Boyles, S., Bujanovic, P., Choudhary, T., Clements, L., Domnenko, G., Fagnant, D., Helsel, J., Hutchinson, R., Levin, M., Li, J., Li, T., Loftus-Otway, L., Nichols, A., Simoni, M., Stewart, D., 2016. 互联和自动驾驶车辆对道路安全和运营的影响网络：最终报告。
- Kwon, S.-J., Fujioka, T., Cho, K.-Y., Suh, M.-W., 2005. 应用于纵向和横向自动驾驶的模型匹配控制。 *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Automob. Eng.* 219, 583-598. <https://doi.org/10.1243/095440705X11103>.
- Larsson, A.F.L., Kircher, K., Andersson Hultgren, J., 2014. 从经验中学习。熟悉ACC和应对自动驾驶中的切入情况。 *Veh. 自动驾驶。Driv. Behavior.* 27, 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.05.008>.
- Liljamo, T., Liimatainen, H., Pöllänen, M., 2018. 对自动驾驶汽车的态度和关注。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 59, 24-44. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.08.010>.
- Martinussen, L.M., Hakamies-Blomqvist, L., Møller, M., Özkan, T., Lajunen, T., 2013. 年龄、性别、里程和DBQ：司机行为问卷在不同司机群体中的有效性。 *Accid. Anal. Prev.* 52, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.036>.
- McCall, R., McGee, F., Mirmig, A., Meschtscherjakov, A., Louveton, N., Engel, T., Tscheligi, M., 2019. 自主车辆交接情况的分类法。 *Transp. Res. Part Policy Pract.* 124, 507-522. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.05.005>.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H., Carsten, O., 2012. 高度自动驾驶、次要任务表现和驾驶员状态。 *Hum. Factors* 54, 762-771. <https://doi.org/10.1177/0018720812442087>.
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H., Daly, M., Carsten, O. M. J., 2014. 向手动操作的过渡：从高度自动驾驶车辆恢复控制时的驾驶员行为。 *Veh. Autom. Driv. Behavior.* 27, 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005>.
- Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M., Schieben, A., 2018. 在共享空间中与全自动道路运输系统互动时，VRU需要哪些外部呈现的信息？ *Accid. Anal. Prev.* 118, 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.018>.
- Park, H., Oh, C., 2019. 最小化车辆间碰撞风险的车速协调策略。 *Accid. Anal. Prev.* 128, 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.014>.
- Payre, W., Cestac, J., Delhomme, P., 2014. 使用全自动驾驶汽车的意向：态度和先验接受度。 *Veh. Autom. Driv. Behavior.* 27, 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.009>.
- Reason, J., Manstead, A., Stephen, S., Baxter, J., Campbell, K., 1990. 错误和违规道路上的错误和违规：真正的区别？ *工效学* 33, 1315-1332。
- Reinmueller, K., Steinhäuser, M., 2019. 自适应前向碰撞警告：不完善的技术对行为适应、警告有效性和理解力的影响。 *Accid. Anal. Prev.* 128, 217-229. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.012>.
- Rodríguez Palmeiro, A., van der Kint, S., Vissers, L., Farah, H., de Winter, J.C.F., Hagenzieker, M., 2018. 行人和自动驾驶车辆之间的互动：绿野仙踪的实验。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 58, 1005-1020. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.020>.
- 国际汽车工程师学会，2014年。路上机动车自动驾驶系统相关术语的分类和定义（编号：J3016）。国际汽车工程师学会。
- 国际汽车工程师学会，2018年。路面机动车驾驶自动化系统相关术语的分类和定义（编号：J3016）。国际汽车工程师学会。
- Schellekens, M., 2015. 自动驾驶汽车和责任法的寒蝉效应。 *Comput. Law Secur. Rev.* 31, 506-517. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2015.05.012>.
- Sivak, M., Schoettl, B., 2015. 自动驾驶车辆的道路安全。一般限制 与 与传统车辆的道路共享。
- Song, M., Kim, C., Kim, M., Yi, K., 2018. 用于自动驾驶车辆前方目标检测的鲁棒性车道路跟踪算法。 *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Automob. Eng.* 233, 1930-1949. <https://doi.org/10.1177/0954407018785484>.
- Sparrow, R., Howard, M., 2017. 当人类似像喝醉酒的机器人：无人驾驶车辆、道德和运输的未来。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 80, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.014>.
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I.C.M., Nilsson, L., 2014. 半自动驾驶与高度自动驾驶在自动化故障造成的关键情况下的比较。 *Veh. Autom. Driv. Behavior.* 27, 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.005>.
- Straub, E.R., Schaefer, K.E., 2019. It takes two to Tango: automated vehicles and human beings do the dance of driving - Four social considerations for policy. *Transp. Res. Part Policy Pract.* 122, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.005>.
- Teoh, E.R., Kidd, D.G., 2017. 对机器的愤怒？谷歌的自动驾驶汽车与人类司机。 *J. Saf. Res.* 63, 57-60. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.08.008>.
- Vellinga, N.E., 2017. 从自动驾驶汽车的测试到部署：政策制定者在未来道路上面临的法律挑战。 *Comput. Law Secur. Rev.* 33, 847-863. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2017.05.006>.
- Wang, M., Hoogendoorn, S.P., Daamen, W., van Arem, B., Happee, R., 2015. 预测性变道和跟车控制的博弈方法。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 58, 73-92. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.07.009>.
- Wang, S., Li, Z., 2019. 路面传感信息实现水平曲线碰撞基于联网和自主车辆技术的避险系统。 *Transp. Res. Rec.* 2673, 49-60. <https://doi.org/10.1177/0361198119837957>.
- Xu, X., Fan, C.-K., 2019. Autonomous vehicles, risk perceptions and insurance demand: an individual survey in China. *Transp. Res. Part Policy Pract.* 124, 549-556. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.04.009>.
- Zhang, T., Tao, D., Qu, X., Zhang, X., Lin, R., Zhang, W., 2019. 初始信任和感知风险在公众接受自动驾驶车辆中的作用。 *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 98, 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.11.018>.
- Zhao, N., Mehler, B., Reimer, B., D'Ambrosio, L.A., Mehler, A., Coughlin, J.F., 2012. 驾驶行为调查表与公路驾驶行为客观测量之间的关系调查。 *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behavior.* 15, 676-685. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.08.001>.

Xavier Demeulenaere 是一名汽车工程师，对汽车工业新技术的发展和政策对技术革新的作用有着特别的兴趣和多年的经验。他拥有机械工程硕士学位（图卢兹国家应用科学研究所）和动力总成和能源硕士学位（法国国家高等石油和发动机学院）。他还拥有管理学硕士学位（巴黎第一大学-潘提翁-索邦）和能源与环境的经济学和政策硕士学位（伦敦大学学院）。他是特许工程师和机械工程师协会的成员。