

数字化—全新冶金设备运行方式的伙伴

Kurt Herzog, Dominik Wassermann, Andreas Bauer, Martin Kerschensteiner,
Christian Horn, Alexander Thekale

（普锐特冶金技术奥地利有限公司、普锐特冶金技术德国有限公司）

关键词：自主化工厂；计算机视觉；数字助理；数字专家；冶金工厂运行；机器学习

1 总结

应用范围不断扩大的数字化技术和方法，为冶金行业持续提高产品质量、产量和工艺过程稳定性提供了新的机会。除了工艺或质量分析等已建立的应用程序外，还有更多的应用程序，尤其是在设备操作方面。例如，数字助理和专家系统可以在日常工作中为操作工提供重要支持，使他们能够专注于真正重要的事情，并采取适当的行动。

引入这些技术，可以将一个高度自动化的生产工厂转变为一个自主化工厂。数字助理越多，操作工就越能成为工厂的监管者。这也改变了他对操作工厂的需求，因此，有必要引入新概念的操作站。

2 前言

现代冶金工厂配备了越来越多的传感器，以深入了解生产过程。每个传感器都提供有价值的信息，以满足对生产质量和稳定性以及产量的高期望。在它们的帮助下，基础和过程自动化可以为工厂中的执行机构计算准确的设定值。为了进一步提高质量和减少停机时间，建立了可以进行生产质量管理、状态监测和维护的监控系统。以上所描述的所有功能都有助于实现达到现代制造标准的可靠生产。然而，每个涉及的系统都增加了操作工工作的复杂性，并增加了他们的工作量。此外，不同操作工的经验或身体或个人状况等因素可能会影响他们的决策，并对生产的产品产生重大影响。因此，必须找到新的解决方案，以减少手动操作，并方便操作工的生活。而以上需求可以通过提高工厂自主性来解决。在汽车行业中广为人知的自主操作程度的既定表示法，使用不同级别对操作工和自动化的责任进行分类^[1]。级别越高，操作工得到的支持、增强甚至由自动化接管的任务就越多。操作工越来越多地成为工厂的监督员，可以专注于真正重要的事情。

通过引入额外的组件，可以进一步提高工厂的自主化等级。在下文中，这些组件被分类为数字助理和数字专家系统。数字助理为操作工提供支持服务，并充当开环系统。例如，在生产中出现异常情况或紧急情况时，会向操作员发出警告，并可能为其提供可能的解决方案。但是，操作仅由操作员执行。相比之下，数字专家系统可以自己执行适当的行动，并立即对紧急情况做出反应。这两种类型的组件全天候支持操作工，并显示出稳定一致生产的好处^[2]。



图1 冶金厂的自主化等级

对于冶金工厂，可得出自主化等级，如图 1 所示：

- **0 级，工厂自动化：**工厂配备了（最先进的）经典自动化软件，通常是基础和过程自动化；操作工正在自行全面操作工厂。
- **1 级，全自动化工厂：**除了经典的自动化软件外，工厂还配备了状态或质量监控等监控系统，可以在工厂和生产中提供更多的洞察力；由此改进的生产规则被提供给仍在自己操作的操作工。
- **2 级，智能工厂：**工厂配备了数字助理和专家系统；在生产过程中积极支持操作工，减少了对操作工输入的需求。
- **3 级，一人操作工厂：**工厂已经达到了一个自主化等级，几个操作工就可以监督整个工厂的生产，一人操作工厂变为可能；在这种情况下，操作工和工厂、即主操室之间的边界需要被重新定义。
- **4 级，自主工厂：**数字助理已成为专家系统；标准操作和例外情况可由工厂自主处理；操作工都是监督员，只有在特殊情况下才需要采取行动

允许工厂自主运行的技术的引入对工厂操作工的任务产生了重大影响。日常任务由数字系统接管，操作工成为操作主管。在本文中，我们将概述数字助理的开发和部署的重要方面。我们举了一个例子，展示了数字助理的成功运行，并解释了中央操作驾驶舱（CoC）的概念。

3 数字助理的发展、挑战和好处

基于视觉的数字助理利用最先进的人工智能模型。与传统软件开发相比，此类人工智能应用带来了一些新的挑战，例如数据和人工智能（如神经网络）的重要性^[3]。开发过程必须进行相应地调整。满足这些需求的迭代过程是 Ashmore 等人描述的生命周期模型，它可以分为四个阶段^[4]。由于人工智能应用程序的性质，生命周期阶段并非严格按顺序进行，通常需要根据其他阶段的新发现重复早期步骤，从而导致迭代开发过程。

- **数据管理，**包括数据的收集、选择和准备。至关重要的是，数据集应包含所有待检测的潜在状态，包括不同环境和光照条件下的罕见事件。由于标记大型数据集是乏味的，可以使用 Husakovic 等人^[5]描述的自动标记解决方案。
- **模型学习，**包括机器学习（ML）模型的选择及其学习。Auto ML 可以帮助快速找到合适的模型。
- **模型验证，**确保模型在给定要求下实现预期功能。这应该在与客户的评估阶段完成。
- **模型部署**是关于封装、优化和确保人工智能应用程序的稳健运行，包括维护和更新。

机器学习包括使用不同模型参数进行迭代实验，以提高准确性和可靠性。然而，模型在实验环境中的成功并不总是保证其在真实世界中的性能。部署机器学习模型需要深入了解并有效应对生产环境中的独特挑战。因此，只有一小部分开发的模型在行业中投入生产，导致人工智能的商业潜力没有得到充分利用^[6]。

以计算机视觉（CV）应用为重点的机器学习模型的部署面临着一些挑战。然而，许多已解决的挑战也可以在其他机器学习项目中找到^[7]。

- **开发和封装：**人工智能项目涉及广泛的开发和测试阶段，导致潜在的工作重复和资源浪费。为了确保可再现性，跟踪人工智能相关的产品，如训练的神经网络，并采用人工智能特定的测试和评估方法至关重要。
- **运行时：**高性能优化对于计算机视觉 ML 模型至关重要。低延迟和对关键事件的即时识别通常需要每秒处理许多帧。优化技术包括硬件加速（例如，图形处理单元）、模型优化策略（例如，层合并/移除）、修剪和精度转换。
- **稳健性：**确保人工智能应用程序的适应力涉及监控数字助理、底层人工智能模型和硬件基础设施。有效的监控和警报对于检测相机自身缺陷或环境条件变化导致的模型漂移等问题至关重要。获取相关指标和数据有助于故障排除和模型改进。
- **版本控制：**版本控制对于再现性、模型比较、调试和部署至关重要。它确保了生产中稳定一致的结果、问题识别和可靠性。这包括数据和模型的版本控制。
- **限制：**部署用于实时计算机视觉的人工智能应用程序需要接近数据源，以最大限度地减少网络延迟并增强安全性。主要的云提供商提供托管解决方案，但对于延迟敏感的应用程序，最好是本地

部署。

- **集成：**部署后，将人工智能的洞察力集成到其他系统中至关重要。标准信息协议和工业标准结构有助于无缝集成，使连接的系统无需额外努力即可利用数字助理结果。
- **交叉问题：**还应考虑其他问题，如数据隐私、数据/模型偏差和模型可解释性。

结合这些考虑因素对于在行业中成功部署机器学习至关重要，尤其是在计算机视觉应用中，实时性能、可靠性和安全性非常重要。下面我们提供了一个成功推出的数字助理检测质量缺陷的例子。

4 使用数字助理和专家解决现实世界中的问题

现代冶金工厂配备了越来越多的传感器，以深入了解生产过程。但是，在工厂中收集的许多信息仍然没有被自动化系统利用，而只是由能做出相应反应的操作工来利用。这在视频或声学信息上尤其明显。数字助理和专家可以接管这些任务，提供可靠、一致的信息并采取相应行动。

目前，一系列基于视觉和声学的辅助系统已被开发出来支持操作工。基于视觉助手的一个例子是带钢热连轧的横向裂纹检测。

在工厂运行过程中，可能会出现大量质量缺陷和异常，影响最终产品的质量或导致生产停工。一个严重质量缺陷的例子是在带钢热连轧的粗轧机轧材中出现带材横向裂纹。带材横向裂纹，见图 2，也称拉链裂纹，可能是由于不均匀变形、气孔或气泡引起，并导致产品质量缺陷。由于带钢表面严重开裂，在继续轧制过程中，可能会导致轧辊和其它设备损坏。但是，如果及早发现裂纹，则可以将带材推出。从而避免产品召回和因设备损坏而导致的重大停机。

以前，带材横向裂纹和其他质量缺陷的检测一直是一项单独分配给操作工的任务。即使这种类型的缺陷很少发生，操作工也需要持续关注生产过程的实时摄像视图。这是有问题的，因为工厂运行期间的还有其它重要事件需要操作工关注，并而这些工作可能导致其无法识别到带材横向裂纹。

基于视觉的数字助理提供了一种可靠的方法来自动检测质量缺陷和异常。通过将实时计算机视觉和机器学习技术应用于工厂安装的摄像头的视频流，可以检测到带材横向裂纹等严重缺陷并向操作工报告。该方法已成功实现，并在德国一条中宽带热轧机上使用，用于检测粗轧机出口侧的带钢横向裂纹。该数字助理系统已经多次特别提醒操作工、阻止对带横向裂纹的板坯的进一步轧制，从而提高了质量保证、生产力，并避免了计划外停工。



图2 粗轧机出口侧存在质量缺陷的带钢示例
数字助理检测到这些缺陷并向操作工特别提醒

应用数字助理和专家系统承担操作工的工作量，可以实现第 5 章所述的新操作概念。

5 中央操作驾驶舱

过去，视频管理系统的引入使操作工能够在主操室里监督广泛的生产过程。从那时起，产线上安装了越来越多的摄像头和监视器，以全面了解工厂并尽快检测故障。当所有视频流同时显示在操作台上时，利用视频流进行工厂操作会引发操作工信息过载的风险。这不但会导致操作工更疲劳，而且也可能忽略重大事件。因此，在人工智能系统的帮助下指导操作工完成整个过程非常重要。为此，我们提出了一个新的操作理念。

中央操作驾驶舱允许操作工集中监控一个甚至多个正在运行的工厂。它由智能系统、包括数字助理和专家系统在内的所有可用系统的完全集成以及优化的人体工程学设计实现。

中央操作驾驶舱的主要原理是：

- 取决于工厂的状态，仅提供相关信息
- 通过提供相关信息和可能的选择来准备决策
- 提出建议并在执行过程中指导操作工
- 自动执行操作

有四个交互级别：

- 工厂概览：概览可确保操作工一眼就能掌握生产的当前状态。
- 所需过程视图的视频流：除了固定的摄像头之外，还可以定义所谓的动作窗口，其中动态显示当前生产步骤感兴趣的摄像头画面。还可以通过数字助理的洞察力（例如，跟踪数据和引导信息）来增强摄像头视频流。
- 监控与数据采集级别的工艺过程运行
- 手动过程干预的操作要素

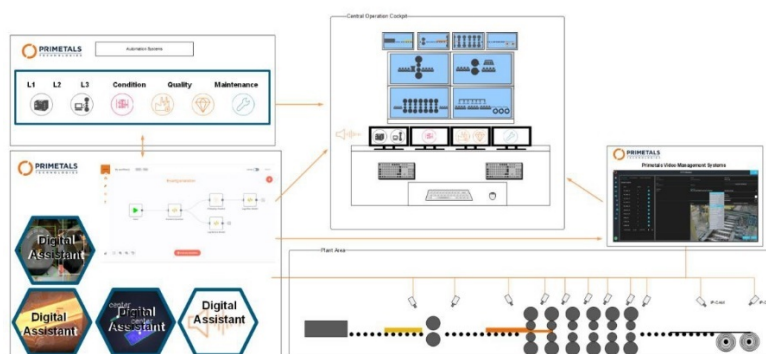


图3 包括数字助理在内的中央操作驾驶舱体系结构

6 结论

总之，随着现代工厂不断利用越来越多的传感器来增强生产洞察力，操作工的角色变得越来越复杂。数字助理和数字专家的集成，以及自主化级别的概念，提供了一种支持操作工管理这些复杂任务的解决方案。这些进步不仅减少了手动操作的需要，而且增强了操作工作为监督者的作用，确保了稳定一致的生产过程。数字工具和人工智能的合理应用和组合使得这种面向未来的理念得以实现。

参考文献：

- [1] 道路机动车辆驾驶自动化系统相关术语的分类和定义，道路自动驾驶（ORAD）委员会，2016，doi: https://doi.org/10.4271/j3016_201609
- [2] Balázs Szücs 和 Áron Ballagi, 用机器学习方法降低工业机器视觉系统的伪错误率, Jaurinensis 学报, 2019, doi:10.14513/actatechjaur.v12.n4.511
- [3] D.Sculley、Gary Holt、Daniel Golovin、Eugene Davydov、Todd Phillips、Dietmar Ebner、Vinay Chaudhary、Michael Young、Jean-Francois Crespo 和 Dan Dennison, 机器学习系统中的隐藏技术债务, 载于第 28 届神经信息处理系统国际会议论文集第 2 卷（NIPS'15）。麻省理工学院出版社，美国马萨诸塞州剑桥，2503–2511 2015, doi:10.5555/2969442.2969519。
- [4] Rob Ashmore、Radu Calinescu 和 Colin Paterson, 确保机器学习生命周期: Desiderata、方法和挑战, ACM Comput. 调查. 54, 5, 第 111 条, 2021, doi:10.145/3453444。
- [5] Adnan Husakovic、Ali Abbas、Andreas Melcher、Anton Tushev、Thazhath Johance Swathish, 《模型辅助标签部署——人工智能和人工智能技术为现代钢铁和炼钢铺平道路的推动者》, AISTech 钢铁技术会议 2023 2023 审查
- [6] Andrei Paleyes、Raoul Gabriel Urma 和 Neil D.Lawrence, 《部署机器学习的挑战: 案例研究调查》, ACM Comput. 调查. 刚刚接受 (2022 年 4 月), 2022, doi:10.145/533378
- [7] Davenport, T.和 Malone, K.: 部署作为一门关键的商业数据科学学科, 《哈佛数据科学评论》(2021)