



打造未来采矿场技术

自动化采矿的时机到了

许多采矿公司将自动化视为行业未来发展的关键，这是有原因的。一个成功的自动化采矿运料系统可实现许多重要的目标，包括对安全的积极影响和生产率的提高等。

十多年来，自动化采矿的发展一直是业界的一个话题。1996年，卡特彼勒（Caterpillar）首先在世界最大的矿业博览会MINExpo 展览中展示了这种技术，但发现当时这一技术尚未成熟，而且客户也未准备好接受这一技术。

卡特彼勒（Caterpillar）公司大型采矿卡车的产品经理 Ed McCord 说：“矿区当时的业务推动因素与今天不同。当我们与客户谈论他们的需求时，他们表示尚未准备好采用自动化技术。”

卡特彼勒（Caterpillar）公司电子与工地互联产品经理 Mike Verheyen 回忆说：“鉴于当时矿区提供的信息以及技术的有限性，我们将重点放在解决他们的紧迫需求上，同时继续默默地执行我们的自动化计划，即集中精力建造未来自动化系统的基础模块。”

眼下正是时候

随着技术的改进以及采矿公司面临着人员和生产率方面的新挑战，自动化再次成为业界及支持这项技术的设备制造商的首要课题，但推进自动化采矿的主要因素或许是采矿业的蓬勃发展。

矿产品价格强劲，经济欣欣向荣，而且对矿产的需求已发展到惊人的地步。渴望充分利用有利形势的采矿公司正想方设法取得快速增长，同时对安全也一如既往地重视。

卡特彼勒（Caterpillar）公司采矿技术部经理 Ken Edwards 说：“在过去几十年里，采矿公司拥有的设备和人员均能满足需求。而今并非如此，为充分从市场需求中盈利，他们需要尽快而高效地采出更多的矿石。”

此外，采矿业的蓬勃发展已带来了采矿公司创造利润的大好时机，也为企业带来了未来投资所需的资金。Edwards 说：“如今采矿公司拥有研究与开发资金，他们关注自动化，将其看作是一项需要推进以便支持营运的技术。”

自动化的益处

采矿公司将自动化视为一个推动因素，会帮助他们在安全、效率以及生产力等方面获得突飞猛进的进步，同时又降低成本，提高设备有效性。

安全

McCord 说：“零工伤是采矿公司的目标。而改为使用自动化采矿设备将对这一目标的实现产生巨大的影响。当操作员可以远离危险时，他就不会有这些安全顾虑。”

例如，操作员在进入或离开机器时可能会发生严重的人身伤害。然而，使用自动化机器，操作员极少需要接触机器。

研究还表明，在矿区中卡车迎面相撞以及追尾碰撞最为常见。通过自动化和各层的冗余设计，严格控制机器之间的互动，可以防止无人驾驶车辆的互撞。

操作的一致性

自动化采矿的关键好处是营运的一致性。在一天结束时，所有工人都会感到疲劳，无论他们是在卡车中工作还是在矿区办公室中工作。因此，他们的效率会有所降低。Edwards 说：“效率低下以及人员操作的非一致性可耗费高达数百万美元的营运费或导致收入损失。”一致性可更好地提高效率 and 整体生产力并降低成本。

通过使用软件管理流程，自动化采矿可实现重复性和一致性。一致性可带来一些潜在的利益：

- 在自动化操作中，可以对卡车进行编程，使其每天、每刻都停在挖掘机之下 25 厘米（10 英寸）的范围内，使挖掘机操作员无需因为目测定位误差，将宝贵的时间浪费在追随卡车上。
- 在当班的所有时间内，即班初、班中以及班末，自动化卡车的运转将保持一致。
- 在当班末期，操作员会疲劳，而自动化机器将每日每时以同样的效率工作。
- 可在加油期间图像检查卡车的安全，同时采用车载运行状况监控系统例如 VIMS（重要信息管理系统），不断地监控卡车的运行状况。
- 自动化系统将消除误导载荷。
- 卡车使用“虚拟交接班”，班初和班末的堆积情况将显著减少。
- 通过控制速度、位置和卡车路线，该自动化系统可提供改进的程序以延长轮胎寿命。
- 卡车在设计规格内一致地运行可提高机械可用性。
- 允许车载和非车载计算机来最大程度地提高卡车和自动化系统的有效性，从而可提供在装料、运料和卸料周期中最大程度地减少燃料消耗的机会。卡特彼勒（Caterpillar）公司的自动化采矿与卡车模拟器将用于测试燃料效率。

McCord 说：“使用自动化系统时，当班主管可以通过命令软件，让卡车执行任何任务，而卡车会始终如一地执行该任务。这将提高效率和利用率，从而降低每吨矿产的成本，这是每家采矿公司的目标。”

Edwards 解释说，由于非一致性以及效率低下所浪费的时间可耗费高达数百万美元的营运费用。“矿场希望在所有时间都发挥自己的最大潜力，这正是自动化机器和采矿技术产品对未来采矿业的关键作用。”

人员短缺

当矿区向越来越偏远的地区发展时，要找到愿意操作设备的合格人员将更为困难。并且随着全球采矿活动的增多，现有的备用操作员人数已越来越少。自动化设备为这一问题提供解决办法。

Edwards 说：“采矿公司希望扩大自己的营运并提高产量，以充分利用蓬勃发展势头，但他们却找不到需要的人员。”新建或扩建的矿场实现自动化后，可将目前雇员部署至其他岗位，并通过自动化填补岗位空缺。

McCord 说：“采矿公司总是需要人员的，因此这不是企业削减员工人数的问题。相反，他们将充分利用现有雇员来提高生产率。”

自动化还可以在吸引新一代雇员前来矿区工作方面起一定的作用。自动化采矿商业经理 Michael Murphy 说：“这一代人是在高频率计算机、即时通信和互联网的伴随下成长的。自动化给人一种‘视频游戏’的感觉，将吸引他们投身采矿业。这将是他们愿意接受的工作方式。”

此外，自动化采矿将使采矿公司减少营运所需的基础设施。当现场工作人员减少时，需要建造的住房也更少，所需的培训也更少，并且飞机往返偏远地区的次数也将减少。

技术基础模块

在过去十年间，卡特彼勒（Caterpillar）公司已十分重视建造自动化的核心技术，知道需要这些技术的那一天总会到来。实际上，世界各地的采矿公司每天都在地面与地下矿场使用自动化技术基础模块。

当今的技术包括：

- 自动化设备系统，例如 MINEGEM 已在许多地下矿场使用。
- 信息管理系统
- 机械的运行状况与工作条件监控系统
- 基于高精度的全球定位系统（GPS）的导航系统与控制系统
- 宽带无线通信技术

Verheyen 说道：“在过去十年间，卡特彼勒（Caterpillar）十分重视关键核心技术和产品，我们称之为基础模块，并不断地推进了自动化进程。与自动化系统直接相关的工作例子有：我们先进的车队管理系统、车载监控系统以及经济实用型雷达的研究。”

Cat 客户使用许多被视为自动化基础模块的产品：MineStar™ Fleet Commander、MineStar™ Health、MINEGEM、AQUILA™ 钻机与牵引系统、VIMS、计算机辅助挖土系统（CAES）、慢速目标探测、遥控、状态监控和预测分析服务。

卡特彼勒（Caterpillar）公司全球矿业部总裁 Chris Curfman 说：“当今技术为技术改革奠定了坚实的基础，此技术改革将在未来几年改变采矿业的面貌。”技术由机械导航系统开始，发展为集成自动化机械控制、到遥控运行、再到自动化机械，并且最终发展成自动化矿场。

技术合作伙伴

一流大学已与设备制造商合作，开始改进完全集成的自动化采矿场核心技术。卡特彼勒（Caterpillar）公司与全球研究型大学 Carnegie Mellon 大学（CMU）就建立了这样一种合作关系，该大学拥有 1 万多名学生、7 万多名毕业生以及 4000 多名教师与职员。

卡特彼勒（Caterpillar）电子与工地互联副总裁 Gwenne Henricks 说：“我们正在与科学及工程领域中最优秀、最有才华的人合作。”

卡特彼勒（Caterpillar）/Carnegie Mellon 的携手合作是一个长期的合作伙伴关系，合作的目的是共同开发自动化设备。

机器人技术教授 William “Red” Whittaker 说：“我与卡特彼勒（Caterpillar）公司合作已有 20 余年。我们合作关系的成果是，取得了 13 项技术和发明专利。”

他们联合发明了越野机器的 GPS 导航系统，机器人挖掘计算机规划以及操作员辅助卡车装载。

Whittaker 回忆说：“在 20 年前我们就设想创造利用 GPS 引导户外车辆，在 GPS 卫星出现在天空之前。任何人都没有想到它将成为所有类型户外机器的核心技术。”

两家的合作还开发了用于保护行驶中车辆的传感器。Whittaker 说：“车辆必须知道自己在哪里行驶并躲开麻烦。设备操作员能够察觉周围的环境、制定计划并采取行动。我们人类甚至意识不到我们在感应、在感觉、在听和在看。我们只是就这么做了。但是机器需要技术帮助来观察周围环境并做出反应。”

例如，如果机器在需要右转的运料通道中行驶，我们首先必须告诉它，使它看到道路情况，之后它必须计划进行右转；操作方向盘、刹车并减速以进行这操作；然后减速进入到弯道，并在转过弯道时加速。

卡特彼勒 (Caterpillar) 与该大学还一起开发了其它技术，实现了在采矿场上多部车辆的协调工作，包括许多挖掘、装载及拖运机械。

典型项目通常从大学里的两年研究开始。如果技术已达到一定程度的可行性，并且制出产品的可行性看来比较可靠时，双方将携手合作创造产品原型或在 Cat 机器上实现产品特征。除了卡特彼勒 (Caterpillar) 之外，Carnegie Mellon 还有其他工业的研究合作伙伴，例如汽车、国防和农业等行业。正在进行的研究促进了技术进步，也对 CMU 与 Cat 合作开发的项目很有价值。

该合作扩大了双方的知识领域。让 CMU 和卡特彼勒 (Caterpillar) 的研究人员看到应用科学和工程设计的严谨性，并了解到先进自动化所面临的挑战。

技术进步

虽然十多年前当卡特彼勒 (Caterpillar) 准备推出自动化时技术还不可行，但这已经成为了历史。Verheyen 说：“在过去的 15 年中，这项技术有了突飞猛进。当 Cat 首次展示自己的自动化卡车时，互联网尚处在启蒙阶段，WiFi 无线通信还只是大学研究实验室中的概念。通过手持设备在全球任何地方接收电子邮件的想法与“星球大战”的科幻影片一样遥不可及。”

CMU 的 Whittaker 也同意，并解释道，与 20 多年前卡特彼勒 (Caterpillar) 与大学开始合作时相比，技术有了多么大的进步。他说：“回顾这几十年来技术进步，好像是幻想和科幻世界变成了现实一样，变化太大了。”

他继续说道：“我们开发的所有款式的产品都是以我们之前开发的技术为基础。是我们共同创造的技术进步以及世界进步的结晶。”

Whittaker 说，自动化技术得益于电脑、GPS、陀螺仪以及其他许多领域的技术进步。他继续说：“采矿业以及 Cat 与 Carnegie Mellon 并没有直接改进了那些技术。但是采矿自动化从这些进步中获得了巨大利益。”

GPS

Whittaker 说，对于自动导航来说至关重要的 GPS 卫星在 15 年前还不存在。“在 1990 年，只是估算机器的位置我们就需要大量的电子仪器和处理器，而且我们还不能做到快速或准确。当时也没有 LCD 屏幕和平板显示器。更不用说能够让矿车与采矿经理进行通信的无线电联网系统了。”

电子元器件

许多今天采矿设备上的标准部件在 20 年前开始合作研究自动化技术时还不存在。例如，现在电子控制模块和嵌入式控制器在所有的轮式装载机、挖掘机或卡车上都是标准装备，但是在研究开始之时，机器采用的是机械控制器，而非电子控制器。

同样地，当时机器使用的液压设备不是电控液压；现在的传感器在当时非常昂贵，不但性能差，并且不稳定；而且对自动化所需的运算、软件和处理也知之甚少，或者最多也就是处于试验阶段。

感应技术

开发自动化采矿场的一个最大挑战就是探测和躲避障碍物。障碍躲避系统的早期版本在探测到障碍时将停止机器运动，并仅在障碍物清除之后才能恢复运动。现在，先进的技术使自动化机器能确定其它路线绕过探测到的障碍物。

“感应技术”领域出现了一些重大的进步，这使得车辆能够观察周围的环境并识别看到的物体。McCord 说道：“任何自动化车辆都需要接收传感器数据，然后必须尽快处理，以计划路线并进行调整。”

由于自动化工程车队的使用日益广泛，也变得日益复杂，计划其它可用路线以躲避多个通常是移动的障碍物这一任务需要开发出独特的创新方法才能成功。

Verheyen 说：“雷达传感器是感应方程式的一部分，但是需要多个不同的传感器。任何单一技术都不可能提供足够的信息，使卡车作为整个采矿系统的一部分运转。”

意外情况管理

人类操作员可以不假思索地处理信息并能够处理意外情况，而卡车不能。McCord 说：“我们必须能够通过软件管理意外情况。例如，如果操作员听到异常噪音，他将采取预防措施，例如向维修部门报告。所以必须扩大 VIMS，以包括通常由操作员监控的事项。同样地，操作员可以看到前方卡车的轮胎没气了，所以我们正在开发能够监控轮胎的技术。”

自动化运料系统

自动化采矿场需要的远不止是自动化卡车。虽然有可以制造能够在运料路上导航卡车的技术，但它需要与整个矿场系统配合，与设备的各个部分和矿场的所有人员进行交互配合。

Edwards 说：“我们正在开发自动化运料系统。它不仅仅是卡车，而是流程、卡车、办公软件和基础架构的集合。它可能包括钻机、拖拉机、卡车等。它将集成 MineStar®、CAES 和 Aquila™ 等技术以及无线电通信和定位技术。”

矿场自动化不仅仅是机械或技术。Edwards 说：“卡特彼勒 (Caterpillar) 所实现的自动化是一种综合的自动化，其中的一切都是自动的，从爆破到装料，再到运料，再到矿区管理。这是一种非同寻常的方式。所有的设想都不会一夜之间实现，但是卡特彼勒 (Caterpillar) 正在打好基础，总有一天会实现矿山的全面自动化。”

成功地实施这些新技术将需要人员与流程方面的大量改变。Murphy 说：“有些采矿企业客户认为，引进自动化的最大挑战不在于技术，而在于人员和流程。通常，工程师专注于产品，但忽略了必须改变人员和流程才能使技术创造价值。”

由于认识到自动化将带来新的采矿流程，卡特彼勒 (Caterpillar) 最近宣布了一项与世界最大的多元自然资源开采公司必和必拓 BHP Billiton 的突破性合作计划，合作的目的是开发自动化采矿运料系统。

卡特彼勒 (Caterpillar) 集团总裁 Stu Levenick 说：“这次的密切合作的重点是，由卡特彼勒 (Caterpillar) 建造一个自动化运料系统，这种系统将与必和必拓 BHP Billiton 采矿流程紧密集成。”

两家公司正在联手推出开发计划，包括改进现有的采矿卡车以集成强大的自动化子系统，许多这些子系统 Cat 已经在市场上得到了检验。

最佳应用

与任何新技术类似，矿场自动化不会适合所有的矿场。各个公司需要区分哪些矿场具有最佳的条件可以早期引进这项技术。

自动化对于具备下列条件的公司最有用：

- 地点偏远
- 缺乏人力
- 操作重复性高
- 操作非常简单
- 正在开发新矿场或现有矿场的大幅扩建

Whittaker 说：“当然，在一些地区，例如冰冻北极，若该地区有新机会开采钻石和铀，则采用自动化极为适宜。但是这可不适合有 40 年历史的市郊老矿场，这些矿场已全部采用人工操作方式，则不适合开始进行自动化改造。”

收益

虽然开发自动化矿场在前期需要比传统矿场投入更多的资金，但是收益很快。

Whittaker 说：“会有一些熟悉和学习技术阶段的费用，还有接受新能力的成本。但是这项投资有巨大的回报。很多组部件已经是现成的。所以采矿业将以较少的投入获得较大的回报。接受这种技术是必然趋势。”

未来

Whittaker 认为自动化技术将随着市场的需求快速地向发展。一旦有一些矿场开始采用这项技术，其它矿场就会紧随其后。

他说：“开发很少与技术同步。技术已经存在，可以非常快速地采用并应用于产品中。当业界开始有需求时，采用技术的步伐将快得多。”

他说：“它将成为一种你不能缺少的高附加值的重要竞争优势。它将快速地从神话变为现实。它将快速地从成为采矿公司不可缺少的法宝。”

制造获奖的自动化车辆

卡特彼勒 (Caterpillar) 已与 Carnegie Mellon 大学 (CMU) 合作了几十年，共同开发技术和创新，形成了自动化运料技术的基础模块。

这项合作还包括了由卡特彼勒 (Caterpillar) 赞助的获奖“Boss”技术，这是一种自动 Chevrolet Tahoe，在“2007 年 DARPA 城市挑战赛”中荣获第一名。这项比赛是由“美国国防部高级研究计划署”举办的，旨在帮助美国国防部开发一支自动化地面部队，以提高军队的安全性。

“城市挑战赛”是用自动化地面车辆在模拟的城市环境中执行模拟的军事供给任务，包括驶入车流中、通过环路、通过繁忙的交叉路口以及躲避障碍物。

CMU 和其 Tartan Racing 组获得了 2 百万美元的奖金以及全国机器人工程界领先者的称号。评定优胜者的三个条件是：比赛期间采集的数据、比赛时间长短以及遵守交通规则的能力。

卡特彼勒 (Caterpillar) 技术与解决方案部副总裁 Tana Utley 说：“卡特彼勒 (Caterpillar) 团队非常荣幸能够成为 CMU 的 Tartan Racing 车队赞助商。这次胜利表明当企业与学术机构合作，朝着推动技术进步的目标共同努力时将取得怎样的成果。”

作为一家赞助商，卡特彼勒 (Caterpillar) 提供先进的技术，诸如线控转向、感应技术和软件。此外，Cat 还指派一名工程师专职与 CMU 的 Tartan Racing 车队协作。电子设备控制发动机、用于发电的卡特彼勒 (Caterpillar) 公司 Morelectric™ 系统以及车载导航、控制和引导系统的空调。

CMU 的机器人教授也是车队领导的 William “Red” Whittaker 说，卡特彼勒 (Caterpillar) 开发用于恶劣工作条件下执行任务的创新设备的业务使得该公司成为此次项目的完美合作伙伴。

近 60 名选手报名参加比赛，在一系列资格赛后，最终入围的选手只剩下 11 名。其他获奖选手还有获得第三名的由卡特彼勒 (Caterpillar) 赞助的 Virginia Tech 公司的 “Odin”，以及决赛入围选手 Oshkosh Trucks 公司的 “TerraMax”。

除了参与开发其赞助车队所用技术的好处之外，卡特彼勒 (Caterpillar) 也得益于其他车队。

Utley 说：“我们正在运用所有车队的知识。DARPA 让我们有机会接触世界上最有创造力的创意，我们正将这些知识带回卡特彼勒 (Caterpillar) 并运用在我们的设备中。”

赞助车队还让卡特彼勒 (Caterpillar) 制造出实际的组件并在真实环境中进行测试。Utley 说：“我们使用这些车辆作为测试技术的基础。这种方法与产品及技术开发方式不同，但很有效。”

Boss 是一款 2007 Chevy Tahoe，它使用六种共 19 个传感器收集周围环境的信号。运行于 10 台叶片式计算机上的软件，使用传感器收到的信号构建 Boss 环境的模型，并针对每一条道路和交通状况选择一组适合的行动。

Boss 装备有 12 个以上的激光传感器、摄像头和雷达来观察周围环境。采用高级的路线计划功能来确定通过道路网的最佳路线。运动计划功能需要考虑由感应系统探测到的静态和动态障碍物，以及路径和道路边界信息、停车场边界、停车线、速度限制以及类似的要求。Boss 可处理意外情况，诸如其它车辆打开停车信号或急刹车或急转弯等。Boss 采用防御式行驶技术来避免撞车。

技术使 Boss 能够做到：

- 遵守道路规则
- 探测并跟踪远距离的其它车辆
- 在停车场找到空位并停车
- 遵守交叉路口的优先行车规则
- 保持安全车距
- 对动态的环境做出反应，诸如堵塞的道路或损坏的车辆

每个参加半决赛的车队都需要具有技术实力才能参加决赛，Tartan Racing 相信自己具有几个与众不同的特点：

- 严格的测试。Tartan Racing 使用了两部配备相同的车辆来提高车队的测试能力，在 6 个月的严格测试中记录了 2000 多英里的自动驾驶数据。
- 分析工具。Tartan Racing 开发出工具，能够让车队成员快速地找出并纠正测试期间遇到的问题。Whittaker 说：“就象好的球队观看自己比赛的录像来提高水平一样，我们的系统可让车队观看车子在测试中的表现。”
- 融入团队的赞助商。Boss 的赞助商是积极的参与者，他们与我们肩并肩地工作，解决问题。卡特彼勒 (Caterpillar) 在 Carnegie Mellon 大学附近有一个自动化中心，为车队提供了有力的支持，包括一名专派的工程师。