

自动化铸造车间

重新定义铝铸造的安全、效率与性能。



STEFAN PELECH

高奇
董事总经理
info@gautschi.cc

GNA，高奇以及HPI，同属艾伯纳集团旗下，，汇集丰富的行业实践经验与深厚的冶金专业知识于一体，能够为铝铸造车间打造全方位集成的解决方案。作为铸造车间全方案供应商，三家公司联合开发出了一套全面的自动化方案，实现铝铸造车间内全流程、全设备的无缝互联。
在艾伯纳集团数字化团队的有力支持下，该方案充分利用最先进的编程技术，实现智能化、自动化运行。最终打造出更智能化的铸造车间环境，提升了安全性、运行效率，并满足最严格的环保标准。
本文将介绍其核心理念、系统架构、九大模块化应用场景（可单独或集成部署）以及为新建项目、改造项目和现有设备提供切实可行的实施路径。

背景介绍

铝铸造车间是一个集极端高温、危险炉料与紧张生产节奏于一体的作业场所。然而，数十年来，铸造车间的运营方式几乎没有本质改变。经验丰富的操作员穿梭于生产现场，凭直觉和习惯做出判断，通过多个互不关联的系统记录数据，并且只在故障发生后才做出响应。

这套模式，已经走到了尽头。日益严格的安全法规、不断上涨的能源成本、日趋复杂的合金种类，以及经验丰富的冶金人才队伍的持续缩减，正在给全球铸造车间带来越来越大的压力。而与此同时，能够真正解决这些问题的技术——工业物联网、机器学习、数字孪生、智能自动化等技术已成熟至可规模化部署的阶段。事实上，规模化部署在商业上已具备可行性，已通过初步现场验证，并已成为战略层面的必然选择。

自主运行铸造车间，是我们对铸造运营这一转折点的回应。这是一个全面、可扩展的愿景——铸造车间将实现自我监控、自我优化、自我防护，其实现路径并非依赖人工的持续警戒，而是依托于持续、稳定、不知疲倦的智能系统。自主运行的铸造车间建立在逾百年的铸造工程经验以及艾伯纳集团的数字化平台之上，其目的并非取代现场操作人员。恰恰相反，它将操作员从事后补救的“救火队员”角色，升级为以数据为支撑、以智能系统为导向的战略性监管者——同时让他们远离危险区域。

四大核心理念

1

以自动化实现安全无妥协

在铝铸造车间，人员安全是第一要务。
必须绝对防止员工与熔融铝发生任何接触。
每当熔融金属在敞口容器中运输时——例如浇铸流槽、模具或抬包——操作人员必须停留在危险区域之外。
自主运行铸造车间确保所有关键工艺环节均可从安全的操作员控制室进行远程监控。
人员不再需要出现在危险区域，而先进的自动化与智能监控系统则确保全流程可视、全程可控。厂内物流由联网自动运输车（ATV）提供有力保障，车辆已集成至数字控制架构；当人员进入行驶路径时，激光扫描仪、防护区、Blue Spot 警示投影及摄像头运动检测将立即触发车辆停止。

2

预防失误，提升产能，稳定质量

铸造产线的生产效率与产品质量，高度依赖于不同班次之间任务执行的稳定性——而非依赖特定个人。
自主运行铸造车间通过自动化常规任务和标准化决策来减少人为错误，同时在需要做出操作决策时提供智能支持。通过持续监控与智能规则体系，系统可及早识别潜在异常，或提前预防问题出现。自动化系统可对决策进行预评估、监控工艺边界并处理重复性干预工作，从而使操作人员能够专注于判断密集型任务——这恰恰是人类专业知识最能创造价值的所在。

www.gautschi.cc

3
工艺过程的文档化、透明化与持续优化

现代铸造车间配备了大量的传感器和执行器，所记录的过程数据经过汇总、整理后，用于显示能源和公辅消耗等关键运行指标。在自主运行铸造车间中，这些数据将成为持续改进的驱动力。通过强大的分析功能，系统能够对历史数据和实时信息进行深度评估，并输出切实可行的工艺优化建议。
系统或建议调整工艺参数，或自主调整参数以优化性能、提高可靠性，并持续提升铸造车间的整体效率。
由此形成一个从传感器感知到系统动作的完整闭环——每一次铸造都在为下一次铸造的改进提供基础。

4
智能洞察，守护设备与资产

专业维护是降低运营成本、实现产能最大化、保障设备长期可靠性的关键所在。用于优化工艺的同一套数据，也为预测性维护策略提供数据支撑。智能算法对风机、泵、驱动装置等关键部件进行不间断的状态分析，及时捕捉早期磨损信号，并据此触发基于状态的检修，或自动生成维护工单。在维护作业中，技术人员可以通过VR头显或移动设备上的远程应用获得即时支持，让专家的专业知识直达现场，无需等待专家到场。
集成的备件管理系统构成了闭环中的最后一环，有效降低了因备件短缺而导致生产停机的风险。

数字化基础：可扩展架构

为实现集多应用于一体的自主运行铸造车间架构，以艾伯纳集团久经验证的数字化平台为基石。该平台是一种可扩展的解决方案架构，建立在数十年的冶金专业知识以及机器学习、物联网连接和数字孪生模拟等前沿技术基础之上。安全性是设计中的固有特征，所有过程数据和每个训练完成的模型均归用户所有——绝不会被重复用于其他客户。

这一数字化方案能够创造实实在在的价值——这种价值可以通过两个关键的集成维度来呈现：

1. **横向集成 = 数字化优化的物料流**
   通过SCADA层（Level 2）的标准工业接口，实现各个生产环节之间的无缝互通。这有助于实现物料流的优化、与制造执行系统（MES，三级）的集成，以及在铸造车间全流程中落实精益的、数据驱动的工作流程。

2. **垂直集成——数字化优化的设备性能**
   依托深厚的炉子与工艺专业知识，通过标准化API，确保数据从Level 1（PLC）垂直向上流经Level 2（SCADA），直至MES（Level 3）或ERP（Level 4）。

这一垂直数据流打造出智能设备，使其能够适应不同合金类型等工艺变量的变化，同时满足行业标准要求并提高能效。所有GNA、高奇和HPI设备均标配核心数字化套件——涵盖HMI人机界面、VISUALFURNACES工艺智能层、TRACKperfect追溯模块及MAINTAINperfect维护模块。横向与纵向两大集成维度，均采用开放、供应商中立的架构设计——确保非艾伯纳同样能够无缝接入。

“自主铸造车间并非要取代人工操作员，而是将操作员的角色从被动的‘救火队员’升级为‘战略性的监督者’。”

模块化应用场景与实践

每个模块既可独立部署，也可作为自主运行铸造车间一体化路线图的组成部分——客户可按需选择、分步投入、快速落地。

铸造前的智能自动化

铸造前

炉料规划。传统炉料规划往往只关注废料的化学成分，而要实现最优炉料配比，还必须考虑原材料成本、能源消耗和预期成品率等多重因素。智能炉料规划模块根据当前化学成分、原材料价格、能源输入参数和成品率目标，生成一份按优先级排序的建议清单。值班主管只需在数分钟内查看建议，并基于数据做出确认决策——从而降低每吨原材料成本，同时提升首铸品质。

装炉过程自动化。目前，熔炉的加料时机多依赖于对熔融金属的人工查看进行判断。在工况良好的情况下，这种操作尚能奏效。然而，加料时机的偏差，如过早或过晚，会增加氧化渣量、造成能源浪费，并降低生产效率。此外，白班与夜班之间可能存在显著差异。为避免上述人为误差，可在炉膛内部安装摄像装置，对熔融金属状态实施连续监测与分析，再与燃气消耗、电力消耗及炉温等其他工艺变量相结合，即可自动计算出熔炉的最佳加料时间。由此不再依靠人为主观判断，减少熔渣生成，提升金属回收率，且无论由哪个班次操作，产能均能保持稳定一致。

合金元素的自动投料。
人工添加合金元素是常见操作：操作人员将袋装原料倒入炉内，然后等待溶解。投放的精度完全取决于操作者个人；其计算合金元素需求量的准确性、添加操作的一致性，以及在危险区域作业时的安全意识。高估所需用量是常见问题，且操作结果的可重复性较差。
相较而言，自动化合金投料系统配备经校准的储料仓及高精度卸料装置，可实现硅、锰、铜、铁等元素的精准定量投放，且投料过程与炉料装炉同步完成。炉底加装的电磁搅拌装置，能够促使合金元素迅速熔化并实现均匀分布。此外，对于采用敞口熔池的熔炉，合金元素也可直接添加至金属液中（前提是配备干燥或预热系统以防止水分带入）。由此，不仅降低过量添加合金物料的风险，改善成分一致性，且操作人员无需再靠近设备进行此项工作。

合金成分的微调。
镁在浇铸温度下具有高度的化学活性。
由于在流槽系统中输送时发生氧化，即便是制备工艺最为理想的熔融金属，到达保温炉时其镁含量也可能偏低。此种情况可能不得不进行昂贵的重熔处理，包括额外的合金化循环。为解决这一问题，可在流槽上方安装机械装置，用于将镁锭压入液面以下。这些装置在金属输送过程中自动添加精确用量的镁，实时补偿氧化损耗。金属的目标成分可于单次工艺过程中即可达成，无需后续校正补救，自首炉浇铸起生产效率即得以显著提升。

扒渣过程的自动化。
扒渣是铸造车间中体力消耗最大、危险性最高的作业之一。作业人员须在高温辐射环境中，且常受烟尘与强光干扰、视野受限的情况下，操纵长柄扒渣耙扫过熔融金属液面。实际操作中，经常导致机械撞击，损坏炉壁、部分耐火材料或炉门槛。此外，扒渣质量因操作者及班次而异，直接影响金属回收率和炉膛清洁程度。
相比之下，配备机载摄像头的自动扒渣机可在无需人员值守炉门的情况下执行扒渣任务——如需人工干预，可在控制室内完成。系统经由学习，针对特定炉型结构和扒渣特性进行训练，之后即可采用一致的操作手法实现自主运行。虽然仍需定期人工清理炉壁和炉底，但曾经频繁且危险的扒渣作业现已完全自动化。

铸造过程中的自主运行

铸造过程中

铸造启动的监控。每次浇铸前，均需执行种类繁多的检查。
分配流槽是否已正确定位？铸模预热是否完成？冷却水系统流量是否处于规定范围？下游设备是否已具备运行条件？检查清单中任一环节的疏漏，均可能导致浇铸失败——后果轻则需付出高昂代价重新启动，重则引发熔融金属泄漏失控的安全事故。为防止此类问题，系统融合光学与热成像摄像头及人工智能技术，在金属输送或浇铸流程启动前，自动执行校验序列，并扫描所有系统组件。系统给出的浇铸就绪确认结果，具备完整的文档记录与可追溯性。其校验速度远超人工检查，且可以彻底杜绝因人为疏忽或疲劳导致的步骤遗漏。

100%自动化铸造。
整个铸造工序中，浇铸启动环节的风险系数最高。在传统铸造车间中，通常由资深操作人员手动开启闸板，使金属液依次充满流槽各段；待铸模完全注满后，再手动启动铸锭输送机的运行。操作人员可作出的判断时间窗口仅以秒计，而一旦决策失误，所影响的金属量则数以吨计。这一时刻极为危险，即使对经验丰富的操作员而言也是如此；而对于经验不足的人员来说，这更是导致浇铸失败和事故的头号原因。为确保这一关键阶段精准可靠地执行，可采用传感器与自动闸板实现浇铸启动的全面自动化。经验丰富的操作员并未被系统取代，而是从铸造坑边缘转移至控制台前，也就是说，他们可以在安全位置监管整个过程。铸造车间操作中风险最高的环节已无需人工介入，但自动化并未剥夺人的控制权。资深专家对浇铸过程不可替代的判断能力仍被保留在工艺流程之中。该阶段的自动化设计严格遵循功能安全标准。系统在执行序列时，需获得操作员的授权方可启动，且操作员保留随时干预的能力。换而言之，自动化指的是操作员远离危险区域，而非取消人为责任。

铸造后的自主运行与持续改进

铸造完成后的持续优化

质量可控，全程可溯。汽车和航空业的客户，对质量和可追溯性的要求，是制造业里最为严格的。每次浇铸都必须记录在案，每一次偏差都必须记录并可追溯。以往每次浇铸后需要数小时人工汇编的报告，如今已从“竞争优势”降级“行业准入门槛”。自动化铸造车间的解决办法：供货给汽车或航空业客户的半成品，系统都会自动追溯全部生产记录。系统可对各类偏差进行实时识别与自动记录，并可于无人工干预的情况下，直接生成完整报告。系统在过程数据层面采用了TRACKperfect软件模块，意味着过去耗时数日的根本原因分析工作，如今可在几分钟内完成。质量保证团队能够即时获得答案，审计人员亦对结果充满信心。

过程优化。每位资深操作员脑中，都积淀着多年积累的经验与知识。而这些经验与专业知识是铸造车间最宝贵的资产之一，但会随着资深操作员退休，也就随之流失。相比之下，自动化铸造车间的深度学习引擎可分析数百乃至数千个运行周期内的全部可用过程数据，关联各项参数，识别人类肉眼无法察觉的模式，并逐步构建出铸造车间最优操作模型。初期，系统仅提供参数更改建议，最终决策由人类专家作出。然而，随着时间的推移，专家的明智决策可帮助引擎不断优化其建议。这样这就形成了一个反馈闭环，系统能够获取知识并实现自主进化——即使在系统开发者早已离任之后，依然持续自我完善。

通向实施之路

自动化铸造车间功能在新建产线、改造项目或既有铸造设备中的实施，需根据具体运营场景、既有基础设施条件及企业战略目标进行差异化规划。换言之，铸造车间的系统编程与调试投入，以及后续扩展模块，均取决于合同约定的项目范围与客户的具体预期。

艾伯纳集团数字平台已为此项实施奠定了基础。在铝铸造车间中，无限数量的现有及未来的模块均可基于此平台实施。通过将GNA、高奇和HPI的铝铸造专业能力，与艾伯纳集团数字化解决方案的自动化实力，以及铸造车间运营方自身的目标、理念和需求相结合，未来的数字化铸造车间可以一步步打造而成。
自动化铸造车间并非可直接采购的标准化产品，也绝非一台叉车式的设备替换。它既是一个系统架构，更是一份战略实施路线图。运营方可根据实际需求选择不同的切入点——既可以部署单个高效益模块，如自动扒渣系统或全自动铸造系统，亦可实施较为基础的改造项目，例如对控制室进行升级以改善操作安全条件。铸造车间由此不断发展——每一个实施步骤本身即可产生可量化的效益，同时又为后续步骤的推进奠定基础。

