

基于 AI 机器视觉的汽车轴承检测案例

---AI 让缺陷无处躲藏

引言：思谋科技以“致力持续创新，创造卓越价值”为使命，旨在引领制造产业优化、机器视觉等前沿技术研究，持续打造更具拓展性和普惠价值的智能工业和数智创新平台，推动探索数字化转型和智能化升级的创新未来。

2019 年国家提出人工智能为制造业转型提升赋能的方针政策，同时汽车行业的质量要求越来越高，人员的稳定性已经大大影响了企业的质量把控，基于这些因素的影响，思谋结合自身在人工智能技术领域的积累以及对于轴承行业的认知，推出了基于 AI 机器视觉的汽车轴承智能检测方案。

ViMo 智能工业平台为国内外超过 100 家汽车主机厂及零部件企业提供 AI 检测能力，涵盖了发动机系统，底盘系统，车身系统，电子电气系统多部件全方位的检测。

思谋已经在汽车行业落地了多个外观检测项目，覆盖动力总成系统、车身系统、底盘系统、电控系统等，包括平面推理轴承/滚动轴承外观检测、刹车卡钳缺陷检测、转向节精磨面缺陷检测，以及仪表盘外观终检等，均为客户实现了降本、增效、提质的显著效果。思谋未来将把智能工业平台 ViMo 应用在更全面的汽车制造场景，助力汽车行业实现智能制造全面升级。

一、项目概况

1. 项目背景

轴承是汽车的关键基础零部件，直接决定着汽车的性能、质量和可靠性，一直被誉为汽车的“心脏”部件。德国舍弗勒是全球范围内提供滚动轴承和滑动轴承解决方案、直线和直接驱动技术的领导企业，也是汽车行业发动机、变速箱和底盘应用领域高精密产品与系统的知名供应商。在生产过程中，该企业的汽车轴承产品型号多，尺寸范围大，缺陷种类超过 20 种，包括压伤、划伤、异色、生锈、渗碳等。更棘手的是，90%的汽车零部件表面都涂有流动的防锈油，避免潮湿天气使其生锈或刮伤，汽车轴承也不例外。这就导致轴承表面会产生高反光，也可能掺入杂质，增加了缺陷检测的难度。此前，企业采用传统视觉技术+人工的方式检测，但遇到了较高的产品质量风险。原因在于，传统视觉技术无法对所有缺陷实现 100%的外观检测。此外，质检工人的检测水平不稳定，频繁发生客诉，再加上人员流动性高，用人成本不断提升。因此，现有的检测方式已经无法满足企业对于产品质量越来越高的要求。

在舍弗勒全球推动智能化的要求下，舍弗勒大中华区的团队与思谋进行合作，利用思谋的 AI 技术帮助他们解决轴承质量检测问题。

2. 项目简介

针对行业和企业痛点，思谋根据轴承行业的生产特性，提供了基于 AI 的汽车轴承智能检测与数据分析解决方案，依托 ViMo 智能工业平台，同时针对性设计光学&核心机械机构方案，并搭配工业大数据商业智能平台 BI，实现了产品的 100%自动化智能全检与检测数据的智能分析。

3. 项目目标

- (1) 实现汽车轴承智能检测代替人工检测；
- (2) 建立算法、软件、设备的一体化检测系统。
- (3) AI 全检，为企业节省人力成本约 80%。
- (4) 处理速度小于 0.2 秒每片，检出率大于 95%，过检率小于 5%，处理速度小于 0.2 秒每片。

二、项目实施概况

源于对轴承生产工艺的深入理解，思谋自研视觉融合方案，依托思谋 ViMo 智能工业平台，将 OCR 字符识别、检测、分割等定制化 AI 算法进行融合，形成了一个专门适用于汽车轴承行业检测的算法库，攻克了两大行业难题——对生锈缺陷的精准识别，以及对脏污、压伤缺陷的精准区分，实现了视觉技术在轴承检测应用的新突破。方案兼容超过 20 种产品型号，可一次识别 23 种缺陷，检出 $\geq 99.59\%$ ，过检率 $\leq 5\%$ ，检测水平领先行业。

1. 项目总体架构和主要内容

基于思谋的人工智能技术，结合轴承缺陷检测的要求，思谋设计了全流程解决方案，涵盖算法、软件、硬件等。

整体解决方案架构如图 1 所示。



图 1 整体解决方案

设备由相机、机器人、电气等组成一个自动化设备，自动化设备采集的数据通过集成在工业电脑中的思谋人工智能算法进行轴承缺陷的检测，为轴承提供量测、质检、定位、OCR 等技术的应用，同时将数据检测过程的数据直接上传到服务器中，为生产、管理层提供数据可视化和数据追踪。

项目的实施过程经历了需求分析、打光测试、方案设计、设备制造、模型训练、软件交付等 6 个阶段。



图 2 实施过程

2. 算法方案

基于轴承行业的了解，结合思谋 AI 机器视觉技术，采用多任务模式将 AI OCR、检测、分割等定制化算法进行融合，形成了一个专门适用于轴承行业检测的算法库。轴承材质都是金属，不同型号的工艺类似，缺陷种类相同，随着缺陷数据量的持续增加，基于思谋 AI 算法强大的适配性，能够更好的适应不同轴承的检测要求，做到快速适配。

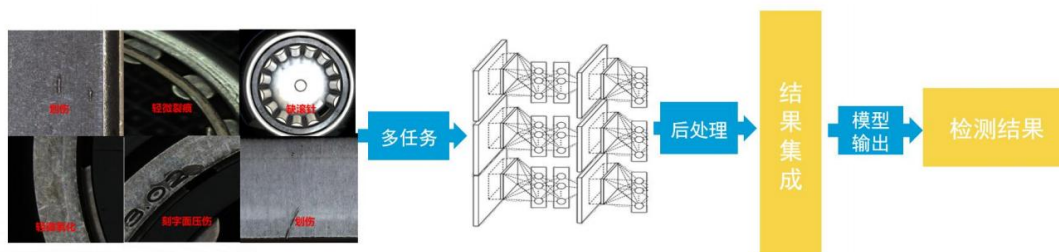


图 3 轴承检测算法方案

在轴承项目中，思谋使用了分割算法，由于项目中的缺陷形态多样，缺陷的面积差异很大，因此我们使用了多分辨率结合的分割模型，在模型中保持一个高分辨率的分支，并且将其与不同低分辨率分支的特征进行融合与交互，来适配项目中不同的缺陷种类，从而达到最优的精度。项目采用了思谋自研的 SMAP 训练框架，框架集成了常见的分类、分割、检测、关键点等任务，可以方便的调用蒸馏、NAS、HPO 等工具来提升效果，打通了从模型到 SDK 的链路，实现更高效的模型落地。

在训练过程中，综合考虑模型的训练速度和精度，如果使用全精度模型，会

导致训练速度慢、显存占用高等问题，但是使用半精度模型，会大大降低模型精度，因此在训练过程中思谋使用了半精度和全精度结合的混合精度方案，即大部分模型使用半精度，但是对于一些敏感的部分使用全精度，这种两种精度相结合的混合精度训练方式，可以将速度和精度的平衡达到最优。在系统部署时，思谋全部使用了半精度模型，来达到最快的运行速度，并且相比较与之前的混合精度模型，不会有精度损失。算法精度方案如图 4 所示。

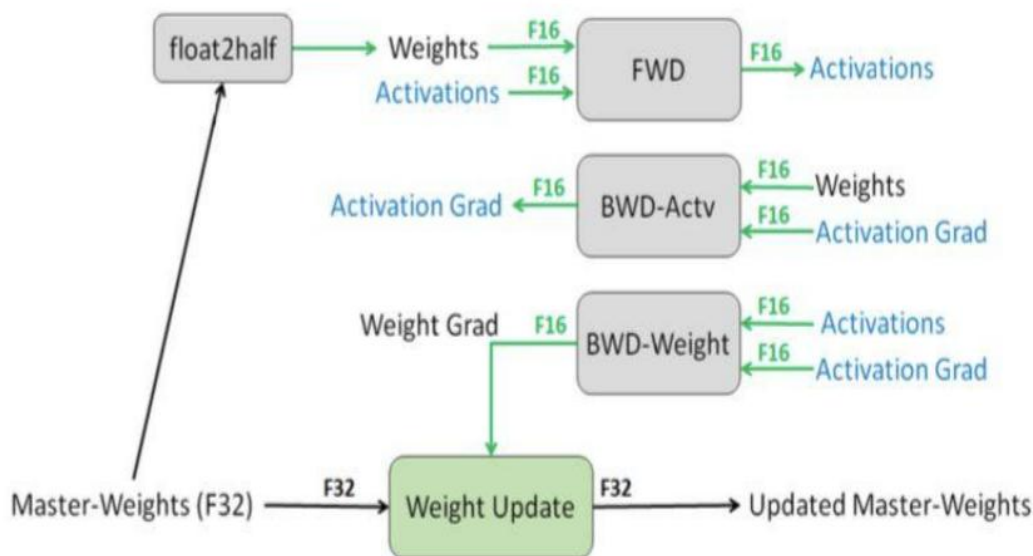


图 4 算法精度方案

3. 数字化管理架构

数字化管理架构旨在采集现场的实时检测数据，通过思谋的 ViMo 平台以及 ViMo 平台数据服务器进行数字化的管理，提升生产的管理。

数字化管理架构如图 5 所示

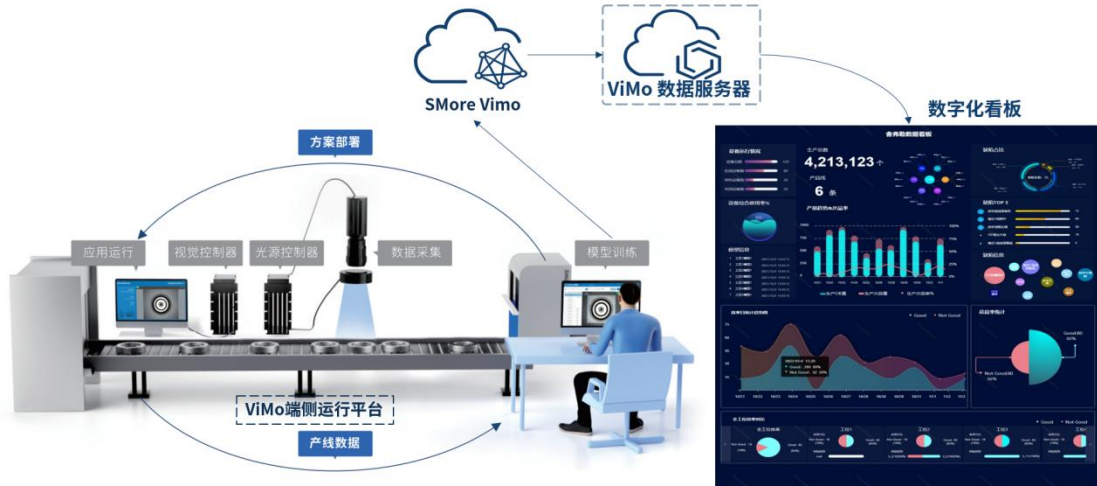


图 5 数字化管理架构

产线设备在生产过程中通过 Vimo 应用程序，配合现场的相机、光源、PLC 等对实时生产的产品进行质量检测，检测的相关数据（图片、检测结果、缺陷类型等）上传到 SMore Vimo，进行 AI 模型训练，处理后的数据通过 ViMo 数据服务器进行数字化看板展示。基于不同的缺陷，思谋的 AI 技术进行数据独立存储管理，一方面可以更有效的真的某种缺陷进行数字增量强化，又可以更好的为管理层提供高效的管理决策依据，优化生产。

4. 轴承检测设备及多样性的适配方案

不同的产品线对于设备有不同的要求，目前思谋根据不同的需求，已经推出了三款通用化的轴承检测设备（如图 6），可以充分适配客户对于自动化的要求，从 20 个/分钟到 80 个/每分钟都可以完美适配，自动化方案虽然有差异性，但是算法可以完美适配，做到设备万变但算法始终独立。

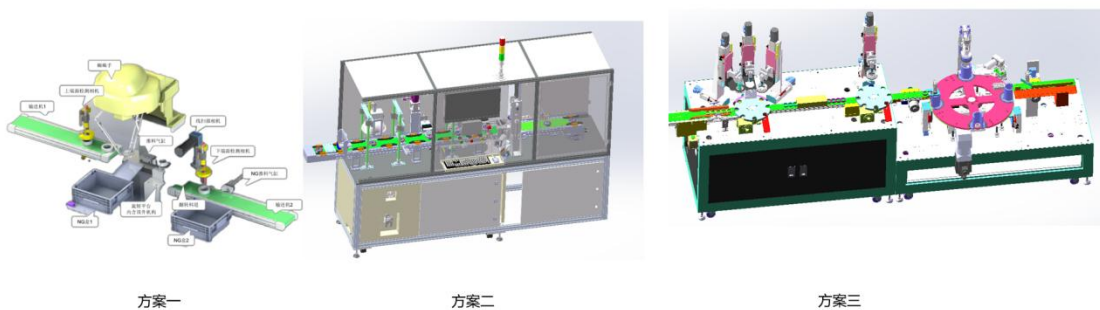


图 6 多样化汽车轴承检测设备

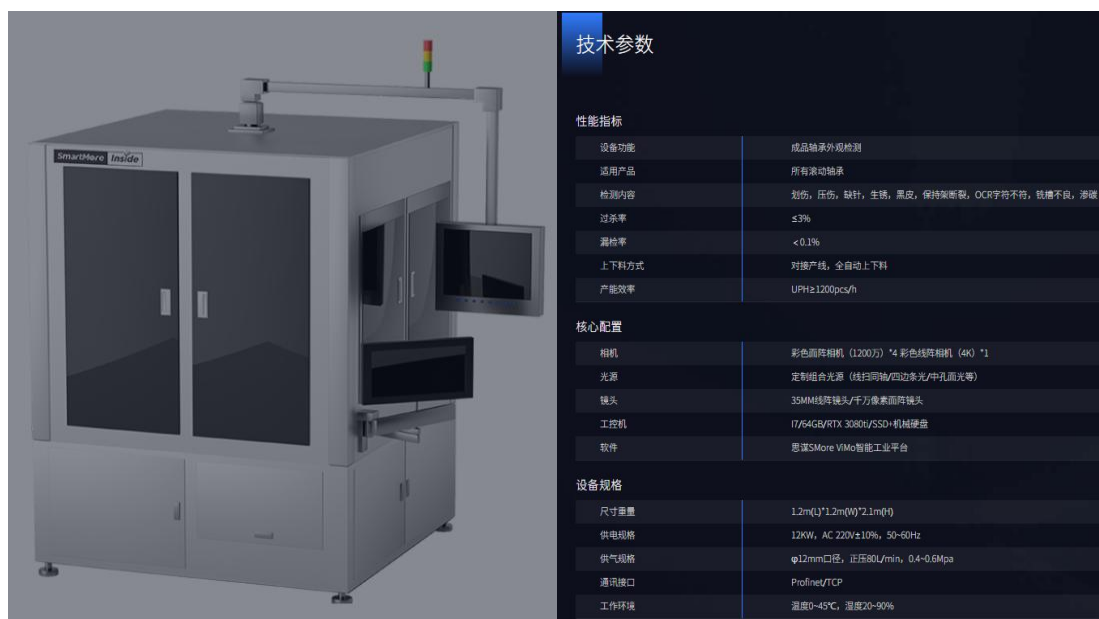


图 7 思谋汽车轴承智能检测一体机

思谋开发的汽车轴承智能检测一体机（图 7）具有显著的性能优势：与产线无缝对接，可以完美适配目前的装配线，显现自动化检测；可以按照检测需求对缺陷检测参数进行自动化配置；可实现整个产品 3 个面外观检测，内壁缺陷检测，实现产品无死角的高精度外观检测；采用机器视觉技术，分类、分割、检测、智能 OCR 四大算法的综合集成方案，实现多种特定要求的完美适配，实现异性 OCR 完全识别检测；检测速度可达 1200pcs/h。

5. 安全及可靠性

思谋基于 AI 机器视觉的汽车轴承检测案例的技术方案从算法，软件开发，机械设计等完全由思谋自主研发（如图 8）。

算法层面：思谋基于 AI 机器学习自研的三大算法 AI OCR,分割，检测，针对轴承行业的特性进行了专业化的优化和开发，能够适配同类轴承所有的检测需求，实现完全自主开发。

软件开发：从最底层的相机集成，到完成的软件处理逻辑以及 AI 算法模型的封装调用完全由思谋团队自主开发，可以做到真的不同项目需求灵活适配的定制化开发，不受外部影响。

机械设计：思谋基于 AI 技术的要求以及轴承行业生产的独特要求，设计了三款运行方式完全不一样的自动化设备，满足不同生产工艺的要求，完全由思谋自主设计，自主生产，拥有百分百地核心方案技术。

选项	技术来源	选项	技术来源
AI机器视觉算法	思谋自主研发	工业电脑	行业通用品牌
AI软件	思谋自主开发	光源	行业通用品牌
机械方案	思谋自主设计	相机	行业通用品牌
机加工件	思谋定制生产	电气	行业通用品牌

图 8 技术及配件来源确保安全可靠

6. 整体方案效果

思谋基于 AI 机器视觉的汽车轴承检测案例区别于其他竞品的地方在于从最开始的光学方案到整体机械方案再到算法开发完全行程闭环，在闭环的同时又在各个环节充分体现了创新性以及专业性，真正地做到了能够百分之百独立完成项目落地。

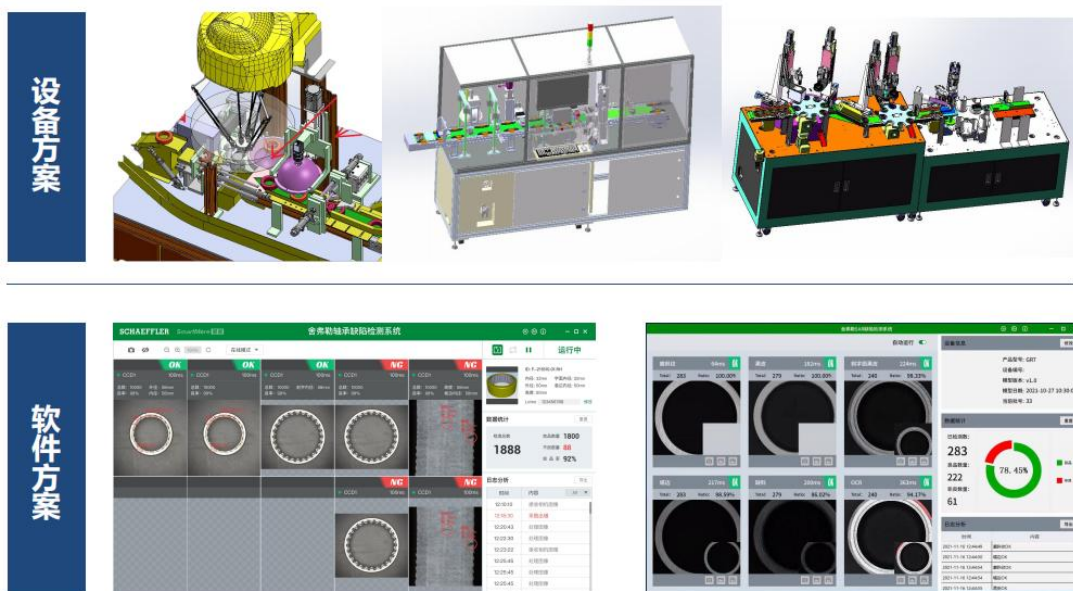


图 9 整体方案效果

7. 其他亮点

(1) 可拓展性

思谋针对轴承行业的算法，通过大量的项目验证后，可以将模型抽离出来行程针对以特定金属产品行业的通用算法库，不仅仅可以检测轴承，只要是跟轴承同样类似材质的金属均可以使用，这就更好的提升了 AI 行业的适用性以及适用性。

(2) 避免产品二次不良

思谋基于 AI 机器视觉的汽车轴承检测方案使用在轴承防锈处理以后，整个表面都存在一封防锈油，思谋设计的方案一方面可以无视防锈油的影响，提升了检测效率，另一方面也避免了检测过程中由于二次污染造成的二次不良。

(3) 困难缺陷的技术突破

生锈是汽车轴承生产中非常重要的检测项，但是轻微生锈由于表面只是轻微发黄，所以在之前的视觉检测技术中一直无法很好的解决。思谋的 AI 技术针对于该种缺陷项，设计开发了特定的分割算法，不仅仅能将生锈完全检出，还能根据生产的要求，根据生锈面积进行不同风险等级的提示报警。

三、下一步实施计划

1. 计划 1--客户企业内部扩大应用

在舍弗勒集团进行纵向推广，覆盖更多的轴承产线，同步将该技术推广到舍弗勒全球其他工厂。

2. 计划 2--行业内推广应用

利用思谋的 AI 算法框架，在国内其他轴承厂商进行横向推广，在不泄露或者复用其竞争对手数据的情况下，更好的为汽车轴承提供更优质的 AI 机器视觉轴承检测方案。

3. 计划 3--全面推广应用

汽车轴承 AI 质检项目是基于思谋的 ViMo 智能工业平台研发的，该平台是一个全链路工具化智能平台，打通了数据收集、模型训练、模型部署、模型迭代全流程。因此基于该平台，本项目的底层方法、技术可复制到汽车零部件的其他

产品检测中，例如零部件溢胶检测、散热器外观检测、汽车微小元器件字符检测、机油滤清器缺陷检测、安全阀缺陷检测。同时，也可复制到消费电子、新能源电池、半导体、泛半导体、食品等行业的产品检测中。

四、项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

(1) 攻克两大行业难题

攻克了两大行业难题——对生锈缺陷的精准识别，以及对脏污、压伤缺陷的精准区分，实现了视觉技术在轴承检测应用的新突破。方案兼容超过 20 种产品型号，可一次识别 23 种缺陷，检出 $\geq 99.59\%$ ，过检率 $\leq 5\%$ ，检测水平领先行业。

(2) 实现百分百人力替代

思谋基于 AI 机器视觉的算法涵盖了轴承生产过程中的发生的所有缺陷，做到真正意义上的百分百人力替代，产能可以根据客户的需要提升 1~4 倍。尤其是在卷边裂纹以及轻微生锈两种缺陷上，思谋开创了新的检测算法，能够在复杂的背景下准确的识别检测这两种缺陷

(3) 行业首创的光学整体方案

思谋行业首创独特的光学整体方案采用站立式旋转拍照，设计了主动+从动双轴模式，既能解决轴承 OD 面平放成像时造成的像素失真、产品打滑问题，又能避免混入杂质造成二次污染，从而高精度 100%呈现出缺陷大小、尺寸等真实信息，保证检测的稳定性（图 10）。在机械设计方面，思谋自主设计了设备方案，适用于大、中、小型各种尺寸轴承的缺陷检测，最快检测速度达到 120 个/分钟，比行业平均水平高出至少 50%，可无缝对接客户产线，并能快速适应产品切换需求。



图 10 独特的光学整体方案和算法方案

2. 实施效果

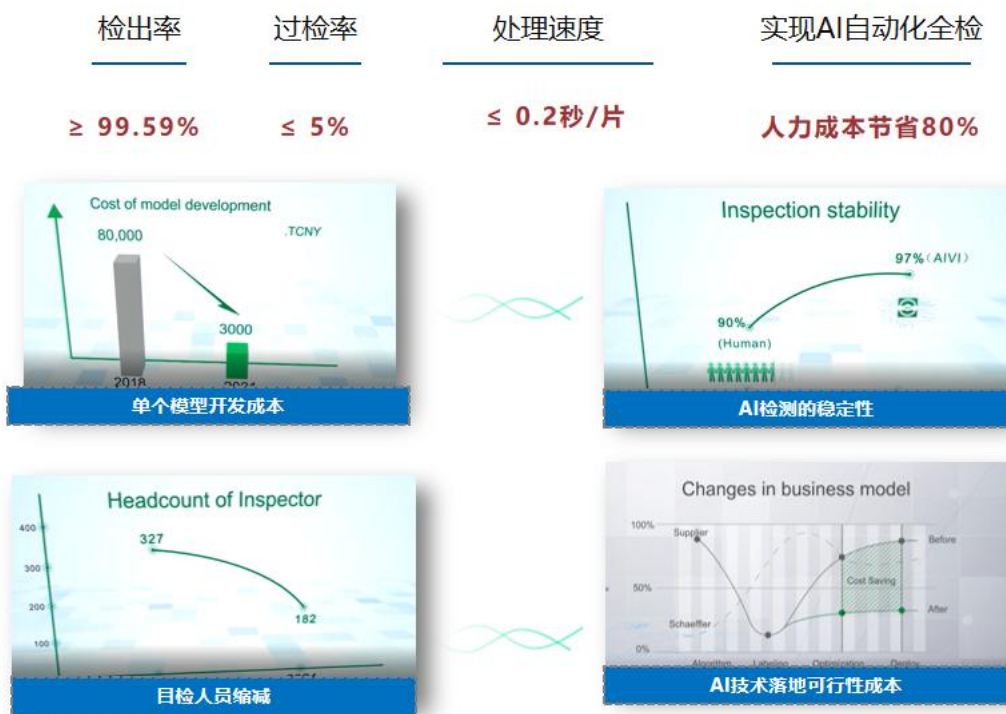


图 11 实施效果示意图

思谋汽车轴承智能检测与数据分析方案应用到产线后，达到了超出客户预期的成效：一天可完成 8 万片轴承检测，处理速度小于 0.2 秒每片，检出率大于 99%，过检率小于 5%，处理速度小于 0.2 秒每片，实现 AI 全检，为企业节省人力成本约 80%，实现每条产线节省 6 人/每天（图 11）。帮助企业真正意义上实现的自动化生产，解决掉了生产环节上最后一个人力密集型工位，降低了人力成本，提

升了产品质量。目前，该方案已经复制到客户的 4 条产线中，持续为客户降低成本，提升效益。该企业生产部门负责人对思谋给予了高度评价：“思谋 AI 技术解决了一直困扰平台的产品质量问题，流入市场的产品真正实现了零缺陷。”