表面缺陷检测的意义及现状

# 参考

<https://blog.csdn.net/qq_41742361/article/details/109153346>

<https://blog.csdn.net/qq_27871973/article/details/85284757>

<https://www.sohu.com/a/372853008_693868>

# 正文

本节首先介绍表面缺陷检测的基本概念、重要意义和应用现状，对概念、意义及现状的充分了解能够帮助读者更清晰地理解表面缺陷检测方法的发展历程，从而掌握目前主流的视觉检测方法。

## 表面缺陷检测的意义

随着新一代信息技术与制造业的深入融合，引发制造业产生巨大变革，逐步从数量扩增向质量提升转变。通过提升产品质量来生产高附加值、高利润的产品，可以实现产品竞争力的跃升。提升产品质量的思路有加强品质检验、提升工艺技术水准和规范生产作业等，其中加强品质检验是制造业生产中最常用的方式。

影响产品品质的因素多种多样，例如外观品质、功能品质、性能品质等。用户和生产企业对产品质量的要求越来越高，除了较高的功能品质和性能品质之外，对外观品质的要求也在逐年提高，即良好的表面质量。特别在服装、箱包等纺织轻工领域内，用户对于产品外观品质的重视程度甚至大于其功能品质，如果这类产品存在变形、脏污、划伤等表面缺陷，将导致产品的美观度大打折扣，其价值也备受影响。

即便是严格把控制造的每一道流程，生产良品率也无法达到100%，这意味着总会有不合格品被生产出来。而表面缺陷检测便是阻止不合格品流入市场的“门神”。表面缺陷检测的意义主要体现在以下三个方面：

## 严格把控产品质量

表面缺陷不仅破坏产品的美感和舒适度，还可能对产品的性能造成严重损害。因此，产品的表面缺陷检测必须覆盖在生产的多个环节，既在出厂前的最后环节，也在生产的中间关节。以带钢检测为例，带钢表面质量是评估产品等级的关键指标。对于中间环节来讲，带有孔洞和边裂等表面缺陷的产品由轧机向下游传递，可能造成连退机组断带、钢板降级改判、产品判废等严重生产事故；对于最后环节来说，出厂终检是交付客户前的最后一次把关。如果缺乏有效的缺陷检测系统，会导致产品质量等级的错误分级。由于带钢是电机、发电机和变压器铁芯的主要制作材料，夹杂、斑块、压入氧化平等表面缺陷会严重损害带钢的抗腐蚀性、抗疲劳性和铁损特性，直接影响电机、发电机等产品的性能。若品质不达标的带钢在出厂前未能被甄别出来，可能导致严重的安全事故。

随着消费水平的不断升级，大众对产品的质量和外观越来越关注，生产高质量、高可靠性的产品已是大势所趋。在这种背景下，表面缺陷检测对于减少生产成本、提高产品质量和生产效率有着至关重要的作用。

## 防止潜在的经济损失和法律纠纷

表面缺陷检测能够有效杜绝或减少残次品流入市场。在汽车、3C等领域内，由于该类产品由成千上万的零部件组成，产品又大多属于大批量生产，表面出现微小的划痕、裂纹和凹坑等瑕疵难以避免。但是其中某些关键零部件的破损可能会给最终的用户带来安全风险。以汽车中的悬架弹簧和发动机为例：汽车悬架表面涂层需经过严格的出厂，若悬架的表面涂层不均匀或有剥离脱落，在持续冲击和腐蚀下，容易萌生裂纹，甚至导致悬架弹簧疲劳断裂，危及驾驶人的人身安全；发动机作为汽车的“心脏”，车辆生产制造过程中非常核心的环节，其质量把控非常严格。若发动机缸孔壁出现磨损、缩松等缺陷，会造成漏油、漏气等问题，不但会影响发动机的工作性能，甚至引发安全事故。

如今，因所售产品存在缺陷或安全隐患，每年都有大量生产商将已经送到下游零售商或最终客户的产品召回，导致沉重的经济损失。严格的表面缺陷检测能够防止不合格品流入市场，杜绝潜在的经济损失和法律纠纷，有利于提升企业的形象。

## 针对性的生产线维护和改造方案

表面缺陷检测的另一重要作用是帮助企业及时发现问题并改进相应生产工艺，预判性地维护生产机器。准确地检测出缺陷的类别是有效指导生产、检修的前提。通过自动化、智能化的表面缺陷检测方法，分析缺陷产生的原因，使得生产线的维护工作更具有针对性，有效降低维护成本和检修成本。同时，表面缺陷检测能够帮助企业更好地掌握产品质量分布状况，寻找质量薄弱环节，降低产品质量波动，形成生产和质量提升的闭环控制。

通过上述内容可以看出，在产品生产加工过程中，引入具有高精度和高效率的表面缺陷检测系统尤为重要。

## 表面缺陷检测的现状

作为生产制造过程中必不可少的一步，表面缺陷检测广泛应用于各工业领域，包括3C、半导体及电子、汽车、化工、医药、轻工、军工等行业，催生了众多上下游企业。自20世纪开始，表面缺陷检测大致经历了三个阶段，分别是人工目视法检测、单一机电或光学技术检测以及机器视觉检测。

人工目视法起源最早，应用最广，虽然人工智能及机器视觉等先进检测技术逐渐成熟，但依靠肉眼进行缺陷检测仍然占据较大的比重，并广泛存在于中小企业中。据统计，当前80%以上的工业表面缺陷检测仍依赖于人工检测法，每天产品线上进行人工检测的工人数量超350万人。以富士康，伯恩光学等为代表的制造企业招聘大量的质检工人，采取流水线的形式进行检测。然而，随着人口红利的消失，以及工作枯燥、自由度低、薪酬较少，愿意从事质检的越来越少，用工难问题愈发凸显。

从当前的发展趋势来看，机器视觉等先进检测系统将逐渐取代人工，这主要是因为人工检测法具有以下缺点：

1）劳动强度大、检测稳定性及一致性差

人工检测法需要工人处于固定工位上，用肉眼观察产品来判断有无缺陷。长时间的检测工作容易对人眼造成伤害，特别是在检测玻璃、金属等强烈反光的物体表面时。冶金、轨道交通、机械制造等行业内的缺陷检测场景噪声大、烟尘重、危险性高，长期处于恶劣的工作环境对工人的身心健康造成恶劣影响。受工人的情绪浮动、技术水平、判断标准、个体差异等因素影响，甚至无法保障同一批次产品的检测稳定性和一致性，使得产品质量上下浮动，参差不齐。

2）自动化程度低、生产效率低

由于工人的质检效率上限较低，同时人工成本又越来越高，企业为保障生产效率，一般采取抽样检测的策略。一批产品中随机抽取少量产品来评估整批产品的质量，其严格程度远远低于全面检测。因此人工进行缺陷检测时容易陷入一种矛盾： 质量控制和生产效率二者不可兼得。这种矛盾在面料、带钢、薄膜等产品的表面缺陷检测中尤为突出。这一类产品多为高速连续性生产，当生产速度高于3m/s时，人眼便难以分辨出其中的缺陷。

3）难以形成精益化生产

质量是制造出来的，而不是检测出来的。检测只是一种事后补救，不但成本高而且无法保证不出差错。许多检测不仅需要判断产品的外观质量，还要记录并统计缺陷的位置、尺寸和数量等数据。传统的人工检测使用纸笔记录质检结果，检测数据不全且分散，无法形成具有价值的反馈信息来指导精益化生产。

4）招工难、用工难、培训难、成本高

工作待遇低、工作时间长、劳动强度大等因此直接影响了招工的稳定性。越来越多年轻人宁愿去送外卖也不愿进入工厂工作，使得缺陷检测这种传统的劳动密集型岗位很难招聘到工人，培训后的熟练工又存在人才流失严重等问题。人口红利消失的趋势不可逆转，用人成本不断攀升，上线自动化缺陷检测系统已从“可选”转向“必选”。

为了在不断变化和竞争愈发激烈的市场中占据优势，企业既要不断提高产品质量标准以满足客户需求，又要不断提升生产线的效率以适应市场的快节奏。采用自动化、智能化的表面缺陷检测方法是兼顾质量与效率的重要手段。

## 实现自动化的表面缺陷检测系统存在以下技术难点：

### 缺陷本身带来的技术难点

不同缺陷的种类复杂以及同类缺陷的差异较大，给检测带来了较大的难度。

不同缺陷的种类复杂主要体现在三个方面。首先，类间差异大，工业品的外观缺陷复杂多样，不同类别的缺陷之间形态特征可能差异极大，这种差异导致检测算法的普适性不强，许多缺陷需单独开发检测算法，开发复杂度极高。其次，类间模糊性大，类间模糊是类间差异大的另一极端，即不同类别的缺陷的表观特征具有一定的相似性，难以区分缺陷的种类，也就无法准确判断缺陷产生的原因，无法给产品准确定级。第三，背景复杂，在生产场景中难以将缺陷和背景完全分离，缺陷特征不明显。

如下图中的铁轨表面缺陷和带钢表面缺陷，同类缺陷的差异较大是指针对同一类别的缺陷而言，通常由于生产过程中光照条件、生产批次不同、设备状态等因素的影响，同类缺陷的大小、对比度和灰度值等表观特征呈现较大的变化，缺陷特征并不服从同一分布。

### 检测系统带来的技术难点

表面缺陷检测系统一般由机械运动、电气控制、视觉等各式传感器组成，且系统倾向于定制化，难以跨领域批量复制。在设计检测系统时，设计者除了要了解检测系统本身以外，还需充分熟悉被检测产品的特性以及产品的加工工艺，在此前提下才能够提出可行、可靠的实施方案。

系统最终的检测效果可能受到系统每一个环节的影响。以基于机器视觉技术的检测系统为例，工件位置的一致性、打光的稳定性、相机及镜头的匹配度、检测算法的有效性等都会直接影响图像采集的质量和检测系统的应用性能，这需要机器、电气、视觉、传感等多套系统的配合。仅最基础的打光就存在诸多难点，如哪些场景需要漫射光、散射光、直接照射、低角度照射或背光照射，如何在球面、弧面、内腔等不可展曲面的打光等等。

同时，高温、高湿、粉尘等复杂恶劣外部环境也为检测系统的集成和防护能力提出了较高的技术要求。系统开发企业需研究表面缺陷检测设备的系统集成技术，探索克服现场环境高温、高湿的数据采集系统和具有抗外部干扰的系统防护技术。