

# 插齿加工出现乱齿的原因及分析处理

■ 南京高速齿轮制造有限公司（江苏 211100） 沙远洋

**摘要：**通过对插齿加工原理及乱齿原因的总结进行分析，梳理乱齿问题处理流程，能够提高处理故障的效率，做好预防性维护，减少故障发生。

## 1. 故障现象

插齿加工乱齿，是指齿胚在插齿加工过程中，由于刀具与齿胚间出现了相对运动，导致齿被啃烂、齿数不对或者齿面缺陷等现象，我们称之为乱齿。对数控插齿机维修的过程中，加工乱齿虽然不是常见故障，但针对该问题的处理一直是一个较繁琐的事情。此次，主要结合近几年来我公司现有的插齿，包括 LIEBHERR、MITSUBISHI、南二机及宜昌插齿机等国内外主流机型出现的乱齿故障维修，进行了统计及分析，并梳理出一些预防措施，以降低或减少该故障。

## 2. 原因分析

对于解决插齿加工问题，首先需要了解插齿加工原理以及插齿机结构，在此基础上才能够根据原理及结构来分析问题、解决问题。

(1) 插齿原理。对于插齿加工，首先需要了解插齿机的加工原理。和滚齿机一样，插齿机加工也采用展成原理，即齿轮刀具与工件按齿轮副的啮合关系做展成运动，工件齿面由刀具的切削

刃包络而成。而不同于滚齿加工的是，插齿刀除了按啮合关系传动外，还需同时做上下运动。为了避免插齿刀刮伤已加工的工件表面，在插齿刀空回行程时，插齿刀相对于工件还必须有一个让刀运动，而在工作行程开始时插齿刀（或工件）必须回复到原来的位置。

插齿能加工外齿轮，又可加工内齿轮，还能加工有台阶的齿轮块、人字齿轮及分段齿轮等，能加工内齿轮是插齿加工的突出特点。

满足插齿工艺，插齿机必须具备切削运动、圆周进给运动、径向进给运动、展成运动和让刀运动等，数控插齿机主要传动结构如图1所示。

传统的插齿机靠齿轮传动系统实现刀具与工件的展成加工，而如今随着数控技术的快速发展，现代插齿机实现了电子齿轮箱控制展成运动。电子齿轮箱带来的高效、高精的控制方式，不仅简化了机械传动结构，也为插齿加工提供了稳定而高精度的保障。

(2) 插齿机的结构。为了

(3) 电子齿轮箱。了解展成

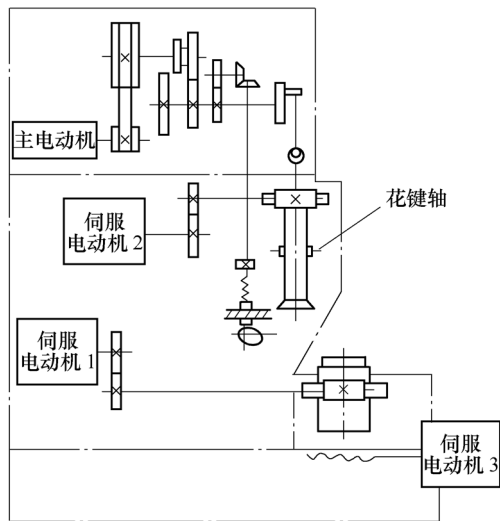


图1 插齿机传动结构

切削，需对电子齿轮箱的控制方式进行了解。对机床展成运动的控制是插齿机数控系统设计的键之一。采用软件电子齿轮箱将伺服电动机1与伺服电动机2的运动联系起来，保证插齿刀与被切齿轮在节圆处作纯滚动。插齿刀轴与工件齿轮回转轴之间的展成分齿运动关系为

$$f_2 = f_1 (\Delta b / \Delta c) \cdot (Z_{\text{工}} / Z_{\text{刀}})$$

式中， $f_1$ 为工件齿轮旋转指令脉冲频率； $f_2$ 为插齿刀轴旋转指令脉冲频率； $\Delta b$ 为工件齿轮旋转指令脉冲当量； $\Delta c$ 为插齿刀轴旋转指令脉冲当量； $Z_{\text{工}}$ 为工件齿轮齿数； $Z_{\text{刀}}$ 为插齿刀齿数。

如图2所示，以LIEBHERR插齿机为例，驱动工作台回转的工件轴伺服驱动产生脉冲序列，该脉冲序列的频率与工件齿轮转速成正比，脉冲数与工件齿轮转角成正比。工件轴编码器对工件轴伺服驱动产生的脉冲序列进行计数，用软件算法进行 $\Delta b \cdot Z_{\text{工}}$ 倍频处理，刀具轴编码器对刀具轴伺服驱动产生的脉冲序列进行计数，用软件算法进行 $\Delta c \cdot Z_{\text{刀}}$ 倍频处理，将两路倍频数值送微处理器进行比较，获得的偏差值经放大后通过D/A转换输出，由伺服驱动电路放大，从而完成对工件轴 $C_2$ 的运动控制。

### 3. 根本原因

通过了解插齿原理、插齿机结构以及生成展成切削的电子齿轮箱控制方式理论基础之后，针对乱齿的加工问题，我们能够更容易地从问题根源出发，找出问题所在。出现乱齿现象的主要原因就是工件与刀具啮合时出现偏差，工件转速与刀具转速不同

步，即不成比例。

由此，对于乱齿的原因可从以下四部分查找：①刀具轴的运转状况。②工件轴的运转状况。③刀具轴与工件轴的联动状况。④液压及工件夹紧环节状况。

以我公司目前拥有的13台LIEBHERR插齿机型加工内齿圈为例进行数据统计，自2012年6月~2016年6月，共出现14起乱齿，对该14起数据进行分类分析统计，并总结成了一张数据表，便于更加清晰、系统地得到导致插齿乱齿的各种原因及检查方法，具体如附表所示。

根据乱齿的形状、乱齿的类型（见图3）可以分为三类：全齿规则性乱齿、全齿不规则性乱齿以及部分齿乱齿。由此分类可以

初步判定乱齿的原因。全齿规则性乱齿，一般是指齿圈内齿数不对，或齿数正确而齿面损伤较大，该原因一般为加工参数与实际参数不一致导致。全齿不规则性乱齿，一般是指整个齿圈内齿被啃烂，该问题为展成切削时联动运动环节出问题导致。部分齿乱齿，一般是指整个齿圈部分齿出现缺陷而其他齿完好，该问题一般因刀具损伤或刀具轴与工件轴分度机构缺陷导致。

根据乱齿产生的直接原因，我们进行总结（见图4），由此可见，工件与刀具的夹紧环节是导致故障率较高的原因，其次为刀具轴、工件轴运作状况和其他原因。我们可以根据乱齿原因去分析，梳理出检查步骤以及预防措施。

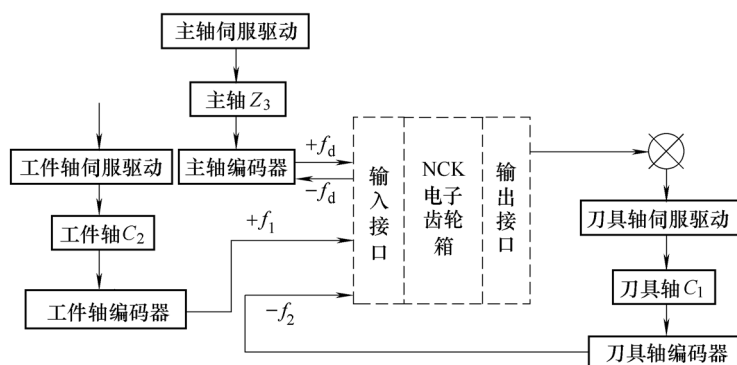


图2 软件电子齿轮箱的数控插齿机的内联传动结构示意图

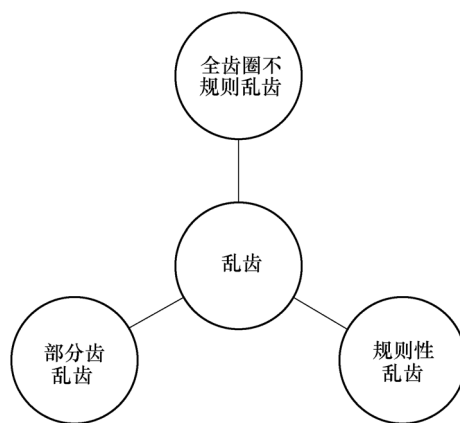


图3 乱齿类型

14起乱齿事故的统计分析表

|      | 原因                        | 初检措施                                   | 直接原因                  | 复检措施                           | 解决措施                                 |
|------|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 操作方面 | 工件未夹紧                     | 检查工件径跳、端跳（液压胎具）                        | 工件外圆偏小                | 检查工件外圆直径是否在下差或更小               | 更换外圆合格工件加工                           |
|      |                           | 检查工件夹紧面是否有滑痕（液压胎具）                     | 夹紧力不足                 | 检查夹紧力是否为工艺要求                   | 调整夹紧力为要求值                            |
|      |                           | 检查夹紧面是否有钢印号或其他铁屑、毛刺（液压胎具）              | 装夹时卡爪有毛刺              | 检查卡爪是否磨损，装夹是否有铁屑               | 装夹工件时清理卡爪，装夹在要求位置                    |
|      |                           | 普通胎具检查工件径跳、端跳                          | 工件未装夹紧                | 检查螺杆磨损、压块变形或未压紧                | 更换磨损部件，用扭力扳手带紧                       |
|      | 程序错误                      | 检查程序内工件齿数、模数是否正确                       | 工件的齿数模数               | 检查程序内工件齿数、模数是否正确               | 按照工艺要求正确输入参数                         |
|      |                           | 检查刀具齿数、模数是否正确                          | 刀具的齿数模数               | 检查刀具齿数、模数是否正确                  | 按照工艺要求正确输入参数                         |
|      |                           | 检查是否为换单号首件，程序内参数是否正确                   | 程序调用错误                | 检查调用程序与实际工件是否一致                | 按照工艺要求正确选择参数                         |
|      | 刀具安装松动                    | 检查刀具径跳、端跳                              | 刀具未装紧                 | 检查刀具并紧处是否有滑痕或毛刺                | 刀具安装面去毛刺，扭力扳手并紧并帽                    |
|      |                           |                                        |                       | 检查并帽是否变形或有裂纹                   | 更换完好并帽并紧刀具                           |
|      | 对刀时未出头                    | 检查齿圈上下齿是否完整                            | 未对刀或者刀具未上下出头          | 检查程序内参数，上下出头量及碰撞位置，确定是否出头      | 重新对刀，确认出头量及相关参数                      |
|      | 凸轮选择错误                    | 检查刀具损坏情况，是否为挤压损坏                       | 内外凸轮选择错误              | 检查凸轮状态及程序内凸轮选择参数               | 重新确认凸轮参数及凸轮状态                        |
|      | 二次加工时刀具、工件有相对移动或修整工件对刀偏差大 | 检查工件夹痕，是否为二次加工                         | 刀具与工件有相对位置变动，导致展成切削误差 | 检查机床开关门时间记录，校对加工完成时间，确认是否为二次加工 | 刀具与工件发生位置移动时须重新对刀修正，修正时须按照工艺操作规范要求完成 |
|      | 胎具安装问题                    | 检查胎具跳动，胎具是否固定锁紧                        | 胎具在加工时为锁紧发生移动         | 检查锁紧螺钉是否锁紧                     | 重新安装校调胎具                             |
|      |                           | 检查胎具拉杆与拉爪之间是否有铁屑                       | 铁屑导致胎具拉杆未拉到位          | 检查拉爪内是否有铁屑                     | 清理拉爪内铁屑，重新安装校调胎具                     |
| 工艺方面 | 胎具问题                      | 是否为换单号首件、工件在卡爪处是否有滑痕                   | 卡爪不匹配                 | 更换其他卡爪加工合格                     | 工艺需调整卡爪使用                            |
|      |                           | 在液压缸活塞杆移动量满足要求的基础上检查卡爪移动量大小，对比相同胎具的移动量 | 卡爪移动量小                | 更换其他液压胎具加工合格                   | 工艺需在加工前检查胎具是否完好方能继续加工                |
|      | 刀具                        | 检查刀具是否损坏，损坏情况                          | 刀具质量问题崩刃              | 检查齿圈是否为少数齿乱牙                   | 工艺需更换使用质合格刀具                         |
|      | 刀杆螺纹                      | 检查刀杆螺纹是否完好                             | 螺纹磨损导致刀具夹不紧           | 更换刀杆，看是否加工乱齿                   | 报废坏刀杆，使用完好刀杆                         |
|      | 程序或参数问题                   | 检查是否为加工新品或新工艺参数                        | 加工参数进刀不匹配崩刃           | 检查参数是否符合机床加工要求                 | 工艺调整合格参数使用                           |
|      |                           | 检查齿圈齿的完好性及对点尺寸差别情况                     | 规则齿，光刀不足              | 检查程序内光刀参数                      | 工艺需调整确认光刀参数                          |
| 机床方面 | 刀具拉爪松动                    | 检查刀杆跳动及拉刀深度                            | 拉爪磨损或碎裂导致刀具或工件夹不紧     | 拆出拉爪检查拉爪是否完好                   | 修整或更换拉爪                              |
|      |                           |                                        | 拉爪调整深度导致不足            | 检查拉刀深度是否符合要求                   | 调整拉刀深度                               |
|      |                           |                                        | 刀具拉紧叠簧损坏              | 拆除叠簧，检查叠簧完好                    | 更换叠簧                                 |
|      | 工件夹紧装置                    | 检查液压胎具拉爪                               | 拉爪损坏或磨损导致             | 拆除拉爪检查是否完好                     | 更换拉爪                                 |
|      | 刀具轴、工件轴蜗杆或蜗轮磨损            | 检查刀具轴或工作台蜗杆副侧隙和轴向串动                    | 磨损导致啮合间隙              | 检查蜗轮、蜗杆                        | 调整侧隙或更换蜗轮蜗杆                          |
|      | 电动机联轴器故障                  | 半闭环控制，打表检查刀具或工件移动量                     | 联轴器松动或损坏              | 检查联轴器                          | 更换联轴器                                |
|      | 电子齿轮箱联动                   | 检查电气是否有报警故障或伺服优化                       | 机械或电气故障导致联动误差大        | 利用时栅传感器检查分度误差                  | 生产补偿数据对电子齿轮箱进行补偿                     |

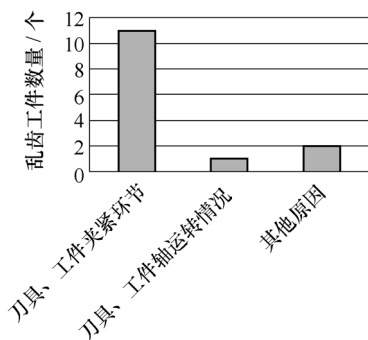


图4 直接导致乱齿原因数据统计表

施；为此，我们可以更深入进行研究。

## 4. 流程梳理

由于插齿乱齿原因很多，面对插齿问题出现时，我们总是束手无措，不知从何查起，只能一项项按部就班地检查所有可能导致的原因。如此处理问题，既低效又不可靠，耽误了大量的精力和设备的可利用率，为此在梳理

乱齿处理原因的同时, 根据故障率的高低, 将检查的先后顺序和相关的处理措施, 制作了一个流程图 (见图5), 可以清晰、明了、高效地指导乱齿故障处理。

在进行了对乱齿原因的分析  
和处理流程的梳理之后，似乎我  
们的工作已经完成了。但作为一  
名生产运营部门的设备工程师或  
制造工程师，我们在成功对乱齿

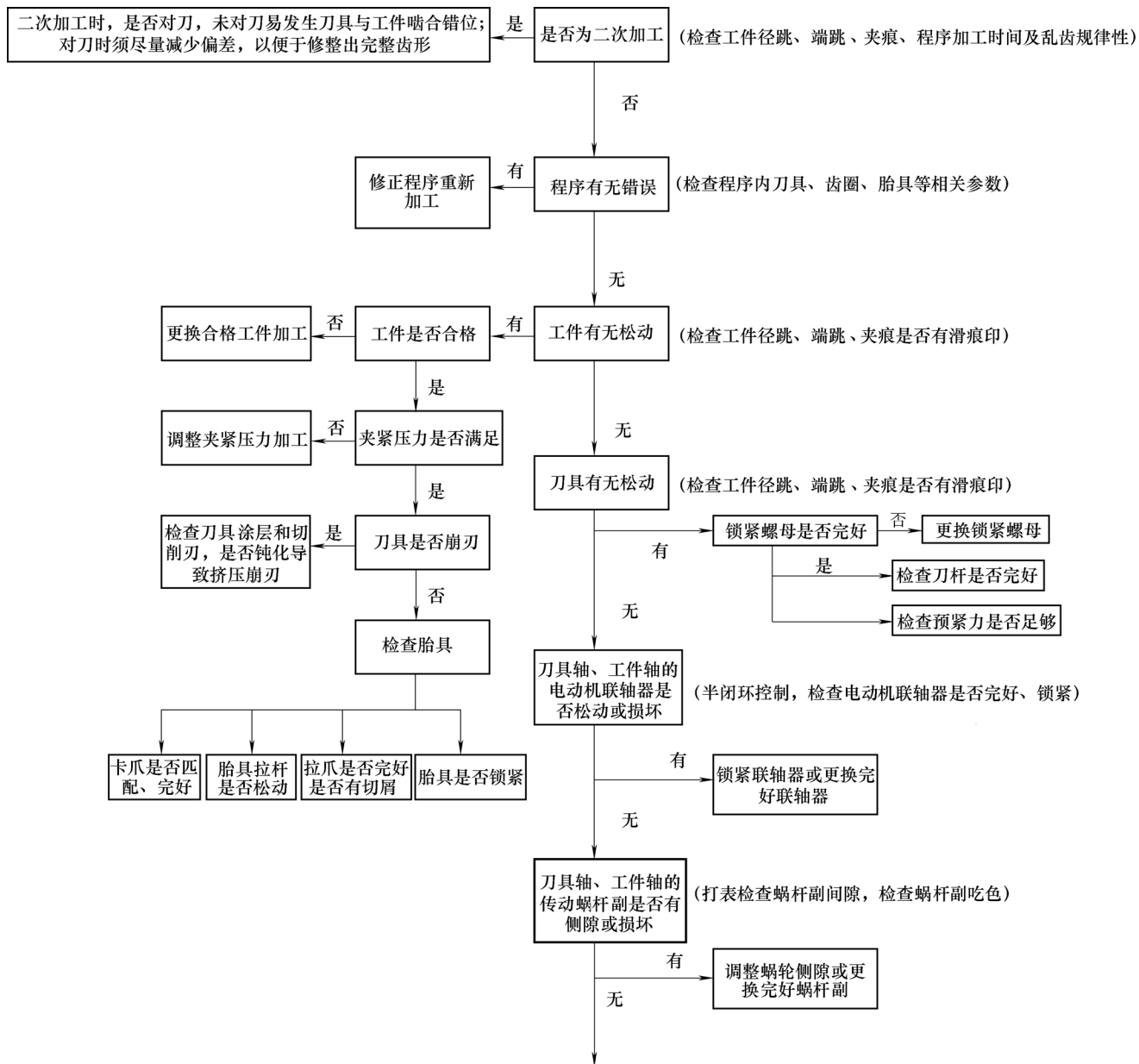


图5 流程图

“破案”后，似乎还有些东西值得我们去思考，我们是否能再深入地做一些事情呢？答案是肯定的，我们将继续深入下去，既然我们已经找到发生乱齿问题的各种原因，我们是否能够从各个根源入手，将预防措施做好，避免或降低乱齿问题的故障率，真正提高我们的设备可利用率。

### 5. 预防措施

(1) 从设备维护的角度而言：①设备维护人员须制定预防性维护计划，定期检查刀杆、工作台的拉爪及深度，以防止拉爪、叠簧等损坏，而存在的隐患。②设备维护人员须按照机床保养计划，按要求保养，检查机械精度，相关电气检测元件的完好，相关液压系统的稳定，并督促操作者按要求完成相关部位的保养，保障机床稳定生产。③设备维护人员须增加巡检，避免隐患而导致的故障。

(2) 从制造工艺、控制的角度而言：①工艺人员须制定胎具保养计划表，操作者须按要求定期保养胎具，以保证胎具的完好性、稳定性。②工艺人员在试验新品加工时，须对刀具质量、夹紧压力、进刀量、进给速度进行准确分析论证，再进行试验，操作者严格按照工艺要求加工，不得擅自改参数。③工艺人员须定期检查刀杆、锁紧螺母及锁紧扭力扳手的完好，避免刀具松动导致的乱齿。

(3) 从操作者角度而言：①操作者须按照点检基准书要求点检，保证机床在使用前完好。②操作者在加工前，须注意夹紧面有无毛刺、铁屑，防止异物导致夹不紧。③操作者须严格按照工艺人员要求，不得擅自改夹紧压力，参数等。④操作者安装刀杆、胎具时，须清理干净拉爪内的铁屑，防止异物导致拉爪拉不

紧。⑤操作者更换单号首件时，须有他人复检程序、参数及刀具等，防止出现相关错而导致的乱齿。⑥操作者在加工中断或二次加工时，须重新对刀，并请他人复检，工艺人员确认对刀精度，再进行加工，以提高二次加工精度。⑦操作者做好交接班记录，防止彼此之间相关问题没交代清楚而出现的问题。

只有生产环节的各个人员充分做好本职工作，努力协同设备维护保养、质量控制及操作规范等工作，才能从根本上预防问题的发生。

### 参考文献：

[1] 熊显文，张柱银，廖翠姣. 基于电子齿轮箱的数控插齿机内联传动结构[J]. 机械科学与技术，2008，27 (6)：793-798.

MW (收稿日期：20170122)

## 2017年1~2月机械工业进出口情况

据海关统计显示，2017年1~2月全国外贸进出口总值 5 635 亿美元，同比增长13.3%，其中出口3 028.1亿美元，同比增长4%，进口2 606.9亿美元，同比增长26.4%，累计贸易顺差 421.3 亿美元。2月当月进出口总值 2 493.1 亿美元，同比增长15.8%，其中出口1 200.8亿美元，同比下降1.3%，进口 1 292.3 亿美元，同比增长 38.1%，当月贸易逆差91.5亿美元。

机械工业进口增速大幅回升，出口增速回落。1~2月，机械工业累计进出口总额963.35

亿美元，同比增长7.26%。其中出口551.49亿美元，同比增长0.98%，增速较1月回落5.05个百分点；进口411.86亿美元，同比增长 17%，增速较1月提高13.63个百分点，累计进出口贸易顺差 139.63亿美元。2月，机械工业进出口总额438.24亿美元，同比增长10.08%。其中出口224.12亿美元，同比下降5.58%，增速较1月由正转负，回落11.61个百分点；进口214.12亿美元，同比增长33.2%，增速较1月提高29.83个百分点，当月贸易顺差10亿美元。

机械行业累计进口情况好

于出口。1~2月，在汇总的机械工业13个行业中，9个行业进出口增速同比增长，其中3个行业超过两位数增长，增长较快的依次是文化办公设备、汽车和其他民用机械行业，分别为22.75%、18%和11.61%。从出口看，6个行业保持同比增长，其中增长较快的是文化办公设备行业，为6.72%。从进口看，8个行业呈两位数增长，其中文化办公设备行业同比增长最快，为59.07%，其次是工程机械行业，为45.91%。