

## 结合 CAE 正误分析实践拉延成形转落料成形工艺

赵晶石<sup>1</sup>, 潘远安<sup>2</sup>, 金 键<sup>1</sup>

(1. 一汽解放汽车有限公司, 吉林 长春 130011; 2. 长春汽车工业高等专科学校 机械工程学院, 吉林 长春 130013)

**摘要:** Autoform 仿真软件已经被广泛应用于汽车领域, 但仿真结果和实际生产结果不同的情况亦有发生。为解决某型商用车后视镜加强板生产和降低成本的问题为例, 在现有模具的基础上进行改造, 结合 CAE 分析结果和现场实验, 确定零件工艺整改方案由拉延成形工艺改为落料成形工艺。结果表明: 该零件材料利用率提升了 47.3%, 并解决了零件“硬化痕”和修边刃口“崩刃”的生产问题。最终证实, 针对修边质量要求不高的多料翻边软钢材质零件, 在 CAE 模拟结果不支持落料成形工艺方案的情况下, 依然可以考虑采用落料成形工艺进行排布生产。

**关键词:** 拉延成形; 落料成形; CAE 分析; 硬化度; 崩刃

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.01.010

中图分类号: TG386.3\*2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 01-0069-06

## Process transformation from drawing to blanking combining with positive and negative analysis for CAE

Zhao Jingshi<sup>1</sup>, Pan Yuan'an<sup>2</sup>, Jin Jian<sup>1</sup>

(1. FAW Jiefang Automotive Co., Ltd., Changchun 130011, China;

2. School of Mechanical Engineering, Changchun Automobile Industry Institute, Changchun 130013, China)

**Abstract:** The Autoform simulation software has been widely used in the automotive field, but sometimes the simulation results and the actual production results are different. Therefore, in order to solve the problems of production and cost reduction for a certain type of rearview mirror reinforcement plate for commercial vehicle, the existing die was reformed combining with CAE analysis results and field experiments, and the process reforming scheme of part was determined to change from drawing to blanking. The results show that the material utilization ratio of part is increased by 47.3%, and the production problems for “hardening mark” of part and “breaking edge” of trimming edges are solved. It is finally confirmed that for multi-material flanging mild steel parts with low trimming quality requirements, the blanking process can still be considered for layout production, even if it's not supported by the CAE simulation results.

**Key words:** drawing; blanking; CAE analysis; hardening mark; breaking edge

支架加强类零件是车辆领域较为常见的零件种类<sup>[1-2]</sup>, 用于各种车型的内部结构, 起到加强和支撑的作用<sup>[3-4]</sup>。在其内部或表面安装一些内饰或外饰件, 从而实现汽车的各项功能, 其并不像外覆盖件对表面质量的要求较高<sup>[5-7]</sup>。支架加强类零件的一般结构较为简单, 对于冲压工艺来说, 如何选择这种小件的工艺却较为困难, 选择不当会牺牲材料

利用率, 且不能满足生产需求<sup>[8-11]</sup>。本文通过展示某车型中一种典型零件的现场生产问题及解决问题所采取的方案、过程和结果, 论证了零件可以在 CAE 模拟分析结果不支持的情况下, 依然采用落料成形工艺作为零件生产的工艺方案。

### 1 产品信息描述

产品信息: 某车型左/右前门后视镜加强板, 材料为 ST13 钢, 料厚为 1.5 mm, 型面公差为  $\pm 1.0$  mm。具体的产品造型如图 1 所示。用于模拟分析的材料性能参数为: 屈服强度  $R_{eL} = 162$  MPa、抗拉强度  $R_m = 306$  MPa、硬化指数  $n = 0.199$ , 塑性应变比  $R_0 = 1.48$ 。

收稿日期: 2021-01-25; 修订日期: 2021-04-05

基金项目: 2021 年度吉林省高等教育学会课题 (JGJX2021D685)

作者简介: 赵晶石 (1985-), 男, 硕士, 工程师

E-mail: 64638675@qq.com

通信作者: 潘远安 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: 116521719@qq.com



图 1 零件产品图

Fig. 1 Product diagram of part

## 2 前期工艺方案设计及分析

在前期方案设计中,有 2 个方案待选:落料成形和拉伸成形。两种设计方案如下。

### 2.1 落料成形方案

落料成形方案采用落料、成形、冲孔和分离共计 4 工序的工艺排布。成形方向按照后续翻边留有

3°回弹角的原则进行设置,修边则直接用落料线来控制,省去了修边工序。

落料成形工艺方案的优点为材料利用率高、无修边工序、模具结构简单、模具工序少、投资小。但缺点是零件在整形过程中逐渐叠料(图 2),无法达到 CAE 模拟的审核标准。在 CAE 模拟中,对于内部结构零件,不论是何种材质,成形到底前 3 mm 的褶皱状态均被认为是失真的,因为大部分零件在模拟到底后的褶皱消失,可实际生产中依然存在较大褶皱,所以,结合实际生产经验将标准设定为到底前 3 mm 褶皱消失则无褶皱存在。材料利用率方面,料片尺寸为 390 mm×230 mm,通过计算得出材料利用率(材料利用率=零件质量/料片质量×100%)为 64%。

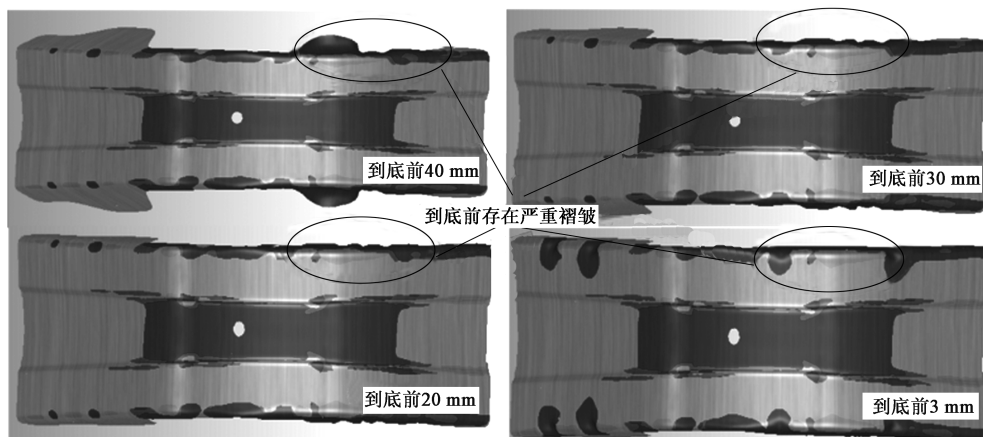


图 2 模拟落料成形分析过程

Fig. 2 Analysis process of simulated blanking forming

### 2.2 拉伸成形方案

拉伸成形方案采用拉伸、修边、翻边、冲孔和分离共计 5 工序的工艺排布,拉伸工序依然按照后续翻边留有 3°回弹角的原则进行设置。通过 CAE 分析,在保证翻边质量的前提下,将零件的一部分翻边设计为拉伸成形后再翻边,保证翻边时不起褶皱。

拉伸成形方案的优点是拉伸工序成形性较为稳定,而且翻边质量优良。从模拟结果过程看,整形翻边过程没有褶皱产生(图 3)。缺点是材料利用率极低,计算得出材料利用率为 26.7%,近 3/4 的生产材料成为废料。另外,此方案工序较多、修边角度多方向,需要后期结构设计时布置斜楔修边,且零件需偏心放置,模具结构的设计难度较大。

工艺方案的选择是以保证生产的安全稳定为第一前提,虽然成形方案在成本方面的优势明显,但由于 CAE 分析结果不能达到判定标准,作为现场实

施方案风险高。而拉伸方案虽然缺点较多,却最为安全稳妥。经过组内讨论、专家审核,拉伸工艺成为最终实施方案。

### 2.3 实际生产问题

事实证明,拉伸工艺的成形稳定,翻边质量优良(图 4 和图 5),这与模拟结果相吻合。

但实际生产中出现两个棘手问题:

(1) 在原工艺布置中,拉伸工序的工作任务是部分翻边成形,成形后留下了一道硬化痕,如图 6 中圆圈所示,后续整形工序将剩余翻边完成后,拉伸留下的硬化痕迹依然存在。零件翻边处为后视镜安装面,后续需焊接凸焊螺母及冲孔,此硬化痕直接影响了零件的搭接尺寸与搭接效果。

(2) 修边工序中零件定位的实际效果不良,在压料过程中有滑动,多次更改调整定位装置仍不能解决零件滑动问题,且侧修刃口由于受到零件滑动

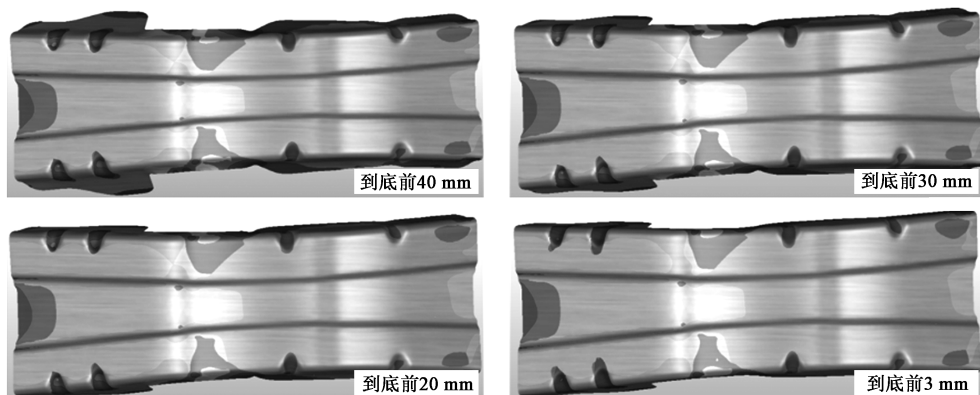


图 3 翻边工序模拟结果

Fig. 3 Simulation results of flanging process

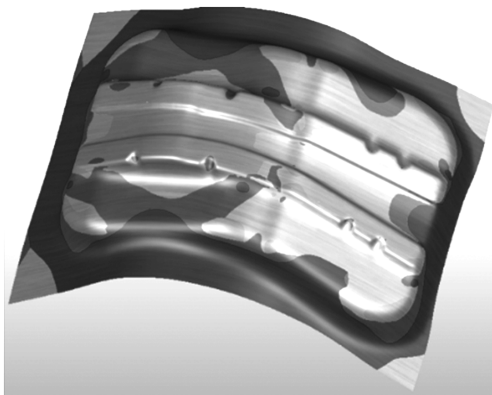


图 4 拉延成形模拟结果

Fig. 4 Simulation result of drawing



图 6 拉延硬化痕

Fig. 6 Hardened marks in drawing



图 5 实际生产状态图

Fig. 5 Picture of actual production status



图 7 冲不断废料照片

Fig. 7 Photograph of uncutting waste

产生的侧向力的影响，经常出现崩刃的现象，导致修边无法切断废料（图 7）而停产。平均每 1000 件即需要维修一次刃口，对生产造成较大影响。

针对出现的问题进行详细分析：

（1）对于翻边硬化痕问题。此问题在项目前期的 CAE 分析中是靠经验来判断的，目前没有参数可

以直接反映出硬化的程度。通过分析材料特性可知， $R$  角成形区域的减薄率较高，其硬化程度必然较其他区域更强，只能利用  $R$  值增大来减轻硬化程度，然而  $R$  值增大会使此翻边面的回弹增大。综合回弹控制及硬化经验，设定拉延造型  $R$  角半径为 10 mm，既可以减轻硬化痕，又能控制零件回弹。实际上，

在后续的工序中还是未能完全整平硬化痕，还影响了零件的搭接效果。

(2) 对于模具结构设计定位不良的问题，存在多方面原因。(1) 由于产品造型限制，无法在同一角度下完成修边工作，为保证修边装置的冲裁角度在  $15^\circ$  以内且正修边区域最大化，只能采用斜楔侧修边和正修边结合设计，因此零件摆放偏离重心(图 8)；(2) 为了节省工序，将斜修和正修设计在同一工序中，而在斜楔修边和正修边接刀位置的空间狭窄，斜楔刃口强度不足；(3) 零件重心偏离，零件向下滑动，使斜楔刃口在修边时受叠加侧向力(图 9)，经常出现崩刃现象，最终导致无法切断废料而停产。

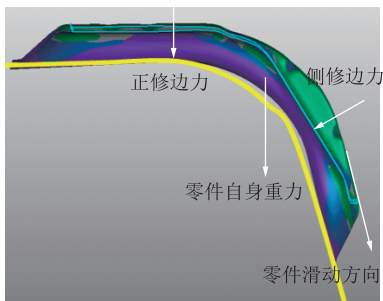


图 8 零件受力分析图

Fig. 8 Force analysis diagram of part

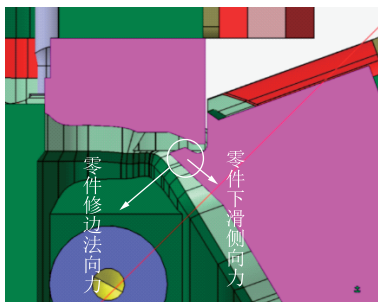


图 9 崩刃受力分析图

Fig. 9 Force analysis diagram of breaking

### 3 对策与实施

#### 3.1 更改方案

由于已进入量产阶段，每周需要生产 5000 件来满足装车需求，生产压力极大。在现有模具型面及工艺方案上进行型面或装置改造存在多次修改风险，且整改周期最少为一个月，而重新设计制作所有模具的成本超过 30 万元。加工周期也多达 3 个月，找到一个代价最小、周期最短的解决方案成为了目标。

而前期被否决的成形方案则进入考虑范围，由于成形工艺简单，并且落料工序可以代替拉延和修边两工序，可以完美避开现有生产问题，且对后工序改造的要求极低，所以，克服褶皱问题是能否实施的关键所在，在模拟分析不支持的前提下，只能尝试利用现有模具来确认落料成形的方案是否可行。即利用目前第 3 工序的翻边模具进行落料成形实验。首先利用模拟分析展开落料线，激光切割完成实验板料制作(图 10)且在板料上增加定位孔，两侧增加半圆形状定位弧。



图 10 激光落料片

Fig. 10 Laser blanking sheet

对第 3 工序的模具进行改造，增加板料定位装置(图 11)，用来增加板料的定位精度，保障成形过程中板料不滑动。

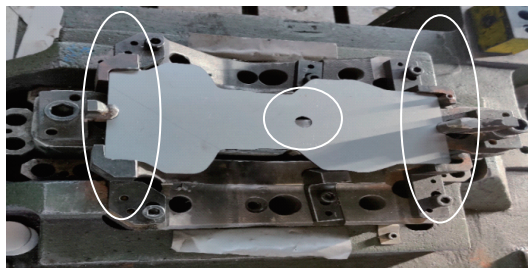


图 11 料片定位装置

Fig. 11 Location device of sheet

从零件现场实际成形过程状态与原 CAE 模拟结果的对比可以看出，理论模拟和实际结果基本一致(图 12、图 13)，成形过程中产生了叠料缺陷。

但在翻边行程结束后，经过凸模与整形镶块的间隙挤压，实际产品翻边面较为平整，是可以将两件叠料部分挤压平整的，在连续实验后，叠料区域因过度挤压而产生较大毛刺(图 14)，修边尺寸不良且模具表面产生“拉毛”。调整零件落料线(减小)，缺陷减轻且修边尺寸稳定(图 15)。

#### 3.2 问题解决与验证

由于零件此区域的修边没有搭接匹配结构零件，修边尺寸的精度要求较低(精度公差为  $\pm 2$  mm)。



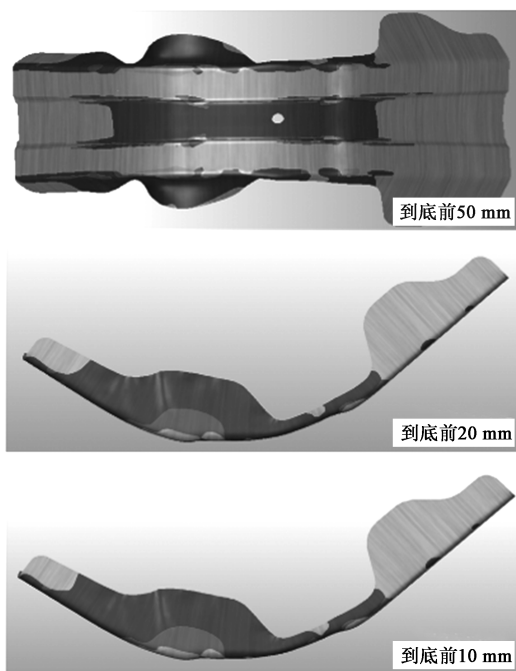


图 12 模拟结果  
Fig. 12 Simulation results

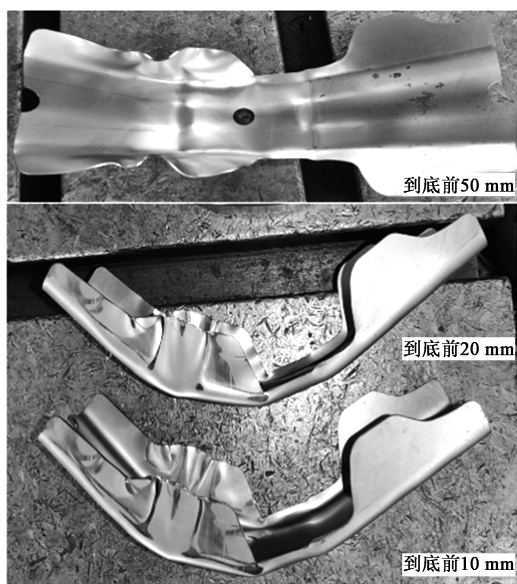


图 13 实际结果  
Fig. 13 Actual results

缩短零件落料线（减低）后，生产出零件 5 辆份送尺寸检测、装车验证及质保评审，新工艺零件完全满足实际需求，且消除了拉延硬化痕及修边刃口“崩刃”问题。

本案例仅需要对生产现场的模具进行简单改造及增加一套落料模具，零件材料利用率即可由 26.7% 提高至 64%。

成本核算方面：

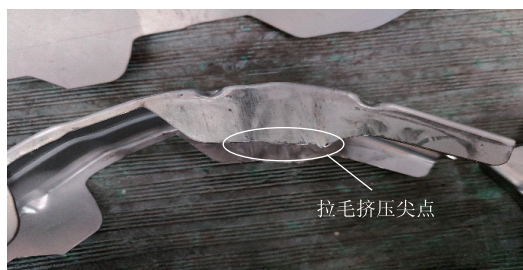


图 14 零件翻边毛刺  
Fig. 14 Flanging burr of part



图 15 更改落料线后效果  
Fig. 15 Effect after changing blanking line

（1）支出费用：增加落料模具及改造第 3 工序定位的费用约为 1.5 万元；

（2）节约费用：每对零件消耗定额可节省 0.2 kg，约 1.2 元，预计在 1.25 万件以后即可将落料模及改造费用抵消，转为降成本。在产品整个生命周期范围内预计节约成本 120 万元。

#### 4 结语

本文针对某车型后视镜加强板实际生产中出现的硬化痕和崩刃问题进行了详细的分析，使拉延成形工艺方案设计时被忽视的问题在真实工况下暴露出来，这也恰恰说明 CAE 模拟分析与实际成形工况之间的结合是需要经验积累而反复修正的。落料成形和拉延成形两种方案反映了不同的侧重点，经实践检验及零件的具体使用要求加以方案的重新选择和评估也是必不可少的。在模具工艺方案设计中，将现代分析软件与所积累的实际生产经验相融合可以更真实地反映零件的各工序的变形情况，再根据零件设计要求具体分析，才可以选择出最合理的工艺方案。

#### 参考文献：

- [1] 权宏, 张海波. 基于 Autoform 的汽车天窗加强环成形模拟及工艺优化 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (6): 53-58.
- Quan H, Zhang H B. Forming simulation and process optimization on automobile skylight reinforcement ring based on Autoform [J].

- Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (6): 53-58.
- [2] 刘春雨, 武朋飞. 冲压 SE 在车型开发中的研究与应用 [J]. 汽车工艺师, 2017, (7): 50-54.  
Liu C Y, Wu P F. Application and research of stamping simultaneous in vehicle development [J]. Modern Components, 2017, (7): 50-54.
- [3] 万志远, 陈银平. 某轿车 C 柱内板冲压分析与成形模设计 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (1): 69-73.  
Wan Z Y, Chen Y P. Stamping analysis and forming die design of C-pillar inner plate in a car [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (1): 69-73.
- [4] 宫晓峰, 于仁萍, 邢勤. 汽车内部加强件复杂多工位连续模设计 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (12): 141-145, 170.  
Gong X F, Yu R P, Xing Q. Design on complex multi-position progressive die for automotive interior reinforcement [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (12): 141-145, 170.
- [5] 高双明, 矫阿娇, 崔礼春. 某轿车后门内板冲压工艺及整形模具结构优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (1): 65-69.  
Gao S M, Jiao A J, Cui L C. Stamping process and structure optimization of sizing die for inner panel of a car rear door [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (1): 65-69.
- [6] 刘丽娟, 武朋飞. 汽车门外板 B 柱冲压表面缺陷控制方法 [J]. 塑性工程学报, 2019, 26 (1): 52-57.  
Liu L J, Wu P F. Control of surface defect in B pillar of stamped automobile outer door panel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2019, 26 (1): 52-57.
- [7] 夏迎飞, 陈会会, 夏成飞. 基于 CAE 分析优化顶盖天窗拐角处表面缺陷 [J]. 模具工业, 2020, (4): 23-28.  
Xia Y F, Chen H H, Xia C F. Optimization of surface defects at the corner of cover roof window based on CAE analysis [J]. Die & Mold Industry, 2020, (4): 23-28.
- [8] 瞿二虎, 许海媚, 张学文. 提升白车身材料利用率方法的研究 [J]. 模具工业, 2015, 40 (12): 29-32.  
Zhai R H, Xu H M, Zhang X W. Study on improving materials utilization rate of white body [J]. Die & Mold Industry, 2015, 40 (12): 29-32.
- [9] 李磊, 曹江怀, 李旭. 提升汽车车身材料利用率的方法 [J]. 模具制造, 2016, (7): 6-10.  
Li L, Cao J H, Li X. Method for improving material utilization rate of automobile body [J]. Die & Mould Manufacture, 2016, (7): 6-10.
- [10] 李健平, 韦佳. 一种提升发盖内板材料利用率的优化工艺方案 [J]. 模具技术, 2019, (6): 49-52.  
Li J P, Wei J. An optimum process scheme for improving the material utilization rate of hood inner plate [J]. Die & Mold Technology, 2019, (6): 49-52.
- [11] 蒋磊, 龚剑, 王龙, 等. 侧围外板浅拉延成形工艺数值模拟 [J]. 塑性工程学报, 2020, 27 (9): 73-81.  
Jiang L, Gong J, Wang L, et al. Numerical simulation of shallow drawing for body side outer panel [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (9): 73-81.

## 《锻压技术》杂志征稿简则

### 1 征稿范围

《锻压技术》(月刊)于 1958 年创刊,由北京机电研究所和中国机械工程学会塑性工程分会共同主办,是学会会刊。《锻压技术》是全国中文核心期刊,被以下检索系统收录:中文核心期刊要目总览(北京大学)、中国科学引文数据库(核心版, CSD)、中国科技期刊引证报告(核心版, CJKR)、中国学术期刊文摘数据库(核心版, CSAD-C)、中国学术期刊文摘数据库(英文版)、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版)、中国知网、万方数字化期刊群、RCCSE 中国核心学术期刊、美国剑桥科学文摘(CSA)、美国化学文摘(CA)、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、俄罗斯文摘杂志(AJ)等。

《锻压技术》主要报道金属塑性成形理论、工艺与装备,模具设计与制造技术、材料与成形性能、工业加热技术及设备、摩擦与润滑、测试技术、计算机应用、标准等方面的科研成果、实验研究、现场经验、技术革新等,同时,还辟有综合评述、专题讲座及行业信息等栏目。

### 2 来稿格式及要求

(1) 摘要选用小 5 号字,正文选用 5 号字,单倍行距;页面设置选用 A4 纸,上下左右页边距均选用 2 cm。

(2) 格式(按下列顺序排列,要求内容齐全)

● 论文的中文题目(不超过 30 字)、作者姓名、单位的全称(应包括院、系、科室等二级单位)、省名、城市名、邮政编码。

● 中文摘要:约 300 字,主要表达文章中有创新意义的内容,应含有研究目的、过程和方法、结果、结论 4 个层次;摘要中不要重复题目中已经表述过的信息,也不使用评论性语言。

● 中文关键词(5 个以上),中图分类号 1~2 个(参见《中国图书馆分类法(第四版)》一书)。

● 论文的英文题目、作者姓名(如 Zhang Yahong)、单位的全称(不得用缩写,应包括院、系、科室等二级单位)、城市名、邮政编码、国家名。

● 英文摘要:务必与中文摘要完全对应;摘要中涉及文章研究、阐述、设计、试验等内容时宜选用过去时、被动语态撰写(例如: A die was designed .....),结果、结论宜选用一般现在时撰写(例如: The results show that .....),不要使用“ The paper studies ... ”或“ The author studies ..... ”这类语句。

● 英文关键词(5 个以上),要求与中文关键词完全对应。

● 首页页脚需注明以下内容:

收稿日期:年-月-日(例如: 2007-01-01);修订日期:此项可空缺,由编辑部填写

基金项目:省部以上基金资助项目及批准号(此项非常重要,请勿遗漏)

作者简介:第一作者姓名(出生年—),性别,学位,职称

E-mail: xx@xx

通讯作者:姓名(出生年—),性别,学位,职称(第一作者不是通讯作者时,请增加此项。)

E-mail: xx@xx

● 正文的“引言”部分不编号,亦不列出“引言”二字,直接陈述即可;一级标题用“1, 2, ..... ”排序;二级标题用“1.1, 1.2, ..... , 2.1, 2.2, ..... ”排序;三级标题用“1.1.1, 1.1.2, ... ”排序。

● 图片、表格、公式、定理等的序号均要按其在正文中引用的顺序,分别用阿拉伯数字顺序编码,例如:图 1、图 2 ..... ,表 1、表 2 .....。

(下转第 80 页)