

# 统计过程控制在轮胎设计和制造中的应用

李 昭,李 静\*

(风神轮胎股份有限公司,河南 焦作 454003)

**摘要:**结合我国轮胎行业发展现状及其质量提升与成本控制矛盾,以轮胎质量控制为例,使用统计过程控制工具,通过制造过程与公差设计的优化,将设计过程与制造过程进行关联,进而实现轮胎质量与成本的最优平衡,同时结合互联网发展中的新技术应用,得到进一步的突破。

**关键词:**轮胎;统计过程控制;质量;过程能力;公差设计

**中图分类号:**TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2021)03-0157-05

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2021.03.0157

随着我国交通运输产业的不断发展,轮胎行业在国民经济中的地位持续提升<sup>[1-3]</sup>。根据我国各行业规划发展战略的根本要求,轮胎行业要实现国内市场向国外市场扩张,建立、做强民族品牌轮胎,实现由轮胎大国向强国迈进,高质量发展是必由之路<sup>[4-5]</sup>。近10年来,我国劳动力成本持续增长,民营企业融资成本及物流成本不断增加,不论是劳动力、原材料还是企业经营成本都大幅度上涨,因此企业的成本控制尤其重要,对轮胎企业更是如此,只有把降低成本落到实处,才能更好地为企业经营减负。

质量成本的投入,既要不断满足顾客的实际需求,又要符合企业增加利润的内在要求,这两

个因素互相制约构成了质量成本发展变化的基本矛盾。为了在质量与成本的矛盾中谋求生存和发展,解决我国轮胎行业面临的困境,提升轮胎质量(如外观质量、动平衡性能、滚动阻力性能、耐磨性能等)是提升轮胎使用性能的基本出发点,而控制成本(如降低预防、鉴定成本,减少过程消耗和浪费,降低成品缺陷损失,减少客户抱怨等)是轮胎行业摆脱困境的重要路径。在提升质量、降低成本的过程中,应该以全面质量管理为基础,以数字化技术应用为辅助和支撑<sup>[6-7]</sup>。

本工作以轮胎质量控制为例,研究轮胎企业如何实现质量与成本的平衡。

通常情况下,在轮胎设计结束,进入批量生产阶段时,研发部门下发标准(如确定成品质量公差为 $\pm 2\%$ ,半成品部件公差为 $\pm 2\%$ ),制造和质量部门接受标准并按照标准进行过程和质量控制,同时分析和控制过程稳定性。在研发制定标准、制造和质量部门执行标准的过程中,需要考虑以下问题。

(1) 成品质量与半成品质量的公差设计是否为最优结果。

(2) 公差设计是否可以控制成本,减少浪费,同时保证成品的质量和性能。

(3) 标准的可实现性评估。

(4) 部件公差控制在标准范围内可否保证成品质量。

(5) 标准的可执行性评估。



**作者简介:**李昭(1981—),男,河南焦作人,博士,风神轮胎股份有限公司副首席技术官,河南省科协委员,《橡胶工业》编委。主持公司新产品开发工作,累计主持开发新产品161个,其中高端产品研发A380项目实现销售收入6.44亿元;授权发明、实用新型及外观专利35个;主管企业重大产学研项目合作及有关的基础研究和研发平台升级与创新能力提升中长期规划。先后主持和参与国家“863”计划项目、“十二五”国家科技支撑计划项目和国家重点研发计划项目。主持完成的“中长途宽基子午线轮胎设计制造关键技术与应用”项目获2019年河南省科技进步二等奖,“轻量化超低滚阻高性能全钢子午线轮胎开发”项目获2019年中国化工集团科技成果二等奖,“针对欧盟第二阶段标签法高性能全钢载重子午线轮胎的智能开发”项目获2020年中国化工集团科技成果二等奖。

\*通信联系人(lijing08@rubber.chemchina.com)

## (6) 过程管控与过程能力。

## 1 制造过程控制

制造部门执行研发部门下发的质量控制标准,按照标准控制轮胎成品及半成品部件的质量,最终通过成品质量合格率体现控制的效果。在这个过程中,利用统计过程控制(SPC)工具<sup>[8-10]</sup>进行变差管理,以稳定过程,提升过程能力,确保标准执行的稳定性和一致性。以胎面质量控制为例,在应用SPC控制工具对制造过程进行统计控制的

过程中,需要解决以下问题。

(1) 选择胎面质量过程控制特性(过程特性)。从胎面挤出生产线示意(见图1)中可以看出:胎面质量有米称和单条称两个过程控制,选择米称过程控制会面临后续的敷贴、冷却、运输过程存在部件拉伸和收缩的问题,同时米称受设备影响波动较大;选择单条称过程控制,需要考虑敷贴胶片和聚乙烯(PE)膜的影响,以及胎面已经过裁切,无法针对胎面结构(见图2)对其质量做进一步调整的问题。

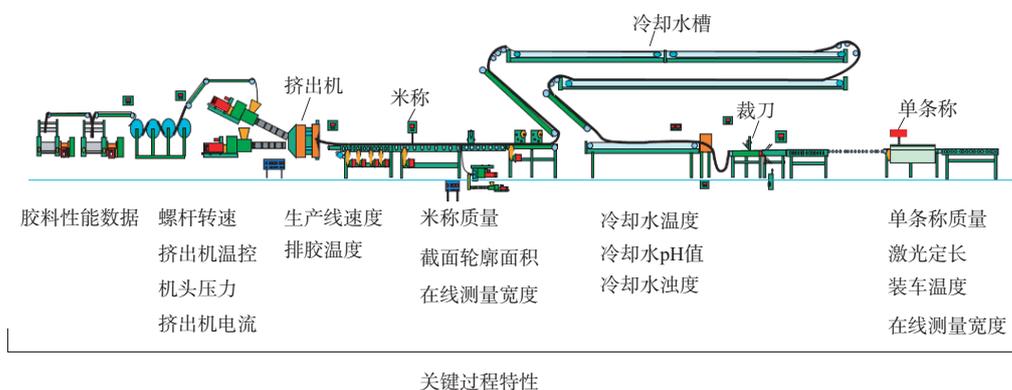


图1 胎面挤出生产线及其关键过程特性示意

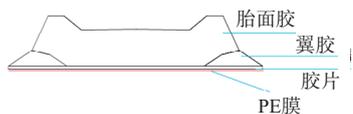


图2 胎面结构示意图

(2) 确定取样方式,明确合理子组。选择取样方式需要考虑生产计划、生产量、生产频次、生产连续性和控制图目标等方面。在确定取样方式时,短时间连续取样(见图3)数据仅能代表过程中

设备本身的原因带来的变差,通过样本数据估计的过程标准差偏小,控制限偏小,最终会导致虚发报警增多,但适用于分析设备原因对产品的稳定性和过程能力影响。间隔随机取样(见图4)数据易受过程均值变化的影响,致使极差图出现异常点,均值控制限变大,但控制阶段不会因为样本子组内的变差增大而变宽,所以更能检测出两次采集样品之间出现失控的情况。

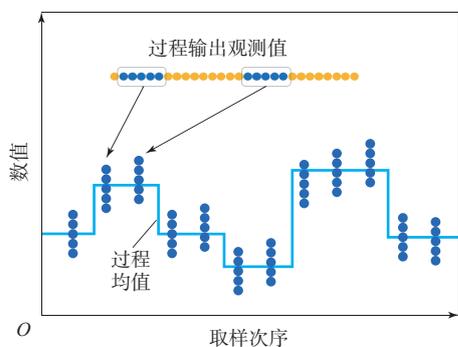


图3 短时间连续取样方式

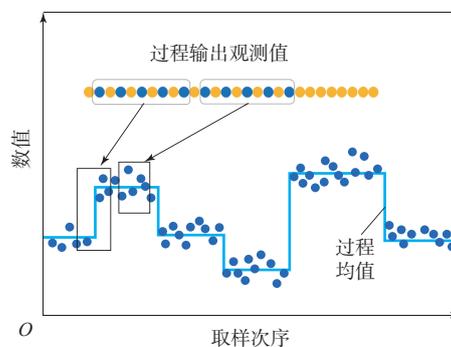


图4 间隔随机取样方式

(3) 对过程特性的测量系统做可靠性分析。过程特性测量数据的准确性是确定过程稳定性和过程能力的基本条件, 本工作需要对接面质量测量系统做可靠性分析。胎面质量的测量包括对胎面质量的直接测量和间接测量(如胶料密度、胎面截面积、胎面长度等)。

(4) 数据的收集和计算。在胎面挤出生产线从胶料生产到胎面装车的全过程中, 有多个关键过程特性(见图1), 其参数是否均有测量, 是人工手动还是设备自动测量, 测量结果的收集为手动记录还是自动上传系统, 对胎面质量的控制均有较大影响。

(5) 绘制控制图。在控制图的绘制中, 采用人工描点方式会增大出错几率和员工的劳动强度, 无形中延长了对过程异常的反应时间, 需要考虑如何实现控制图的自动生成, 将生产线过程特性参数的控制图与其产品性能参数控制图进行关联分析。

(6) 控制图判异。采取自动判异可大大缩短异常反应及其处理时间, 实现快速诊断, 但依然面临以下问题:

①控制点都在控制限以内且随机分布即判定过程稳定, 但忽略了分析过程是否处于稳定状态, 未对数据分布的正态性进行验证, 无法确定分辨率是否充足, 无法识别控制限的适合性;

②控制点超出控制限或分布不随机即判定过程存在异常因素, 但是未对样本的选择、测量数据可靠性、人工计算和描点错误等因素进行干预。

因此, 在实现全过程自动控制和分析前, 采用人工和自动化相结合的方式, 可以避免错误的发生。

(7) 消除异常, 记录事件日志。在控制图的绘制过程中, 建立事件日志是快速分析及异常追溯的有效手段。在消除异常的过程中, 需要建立快速应急响应计划以支撑现场的异常处理能力。同时需要在消除异常后, 通过采取的措施类型(系统措施或临时措施)来判断是否调整控制限。

目前, 直接过程特性的测量系统分析及过程稳定性监控已实现全过程的监控、分析和改进, 实现间接控制特性的测量系统分析, 确保影响胎面质量间接控制特性测量设备的可靠性, 对影响直

接控制特性的各项过程参数进行过程稳定性和过程能力的监控和分析, 发现直接控制特性和过程影响特性的相关性并实现快速、精准改善是下一步需要实现的目标。

## 2 研发设计优化

### 2.1 存在问题

轮胎质量标准及公差确定后, 对半成品质量标准及公差的设计, 就像在一个固定区域中划分不同车辆的车位, 需达到空间利用的最大化。

众所周知, 在轮胎设计阶段, 不仅会确定质量标准及公差范围, 而且会针对所设计的产品工艺通过性进行评估, 确定过程能力。若在实际生产过程中, 制造过程的能力水平无法达到设计的要求, 或者设计公差范围在实际制造过程中受到设备精度、材料稳定性等因素影响, 难以得到准确控制, 则提高过程能力或严格公差控制就可能面临以下问题:

(1) 生产、传递、使用不合格;

(2) 严格按公差要求控制, 造成浪费增多, 成本增加;

(3) 严格按公差要求控制, 增加过程改善投资, 成本增加。

以上问题最终会导致轮胎质量水平下降, 成本增加。

### 2.2 优化

轮胎质量受到胎面、胎侧、垫胶、帘布等半成品部件质量的影响, 若要提高轮胎质量控制标准, 同时减少浪费和投资成本, 需要找出半成品部件中的关键影响因子, 逐步优化其公差设计。在解决这个问题的过程中, 蒙特卡洛模拟研究可以提供很大的帮助。本工作根据实际需求建立了如图5所示的设计优化分析流程。

(1) 根据设计阶段确定的公差及过程能力要求确定过程的输入, 如胎面质量公差为 $\pm 2\%$ , 过程能力为1.3, 胎侧质量公差为 $\pm 2\%$ , 过程能力为1.0, 轮胎质量公差为 $\pm 2\%$ 等。

(2) 对实际生产过程能力进行分析(见表1)。

(3) 利用蒙特卡洛方法模拟实际产品性能的监控和分析。首先建立概率统计模型, 即胎面质量是各个半成品质量的总和; 其次, 收集过程数据,

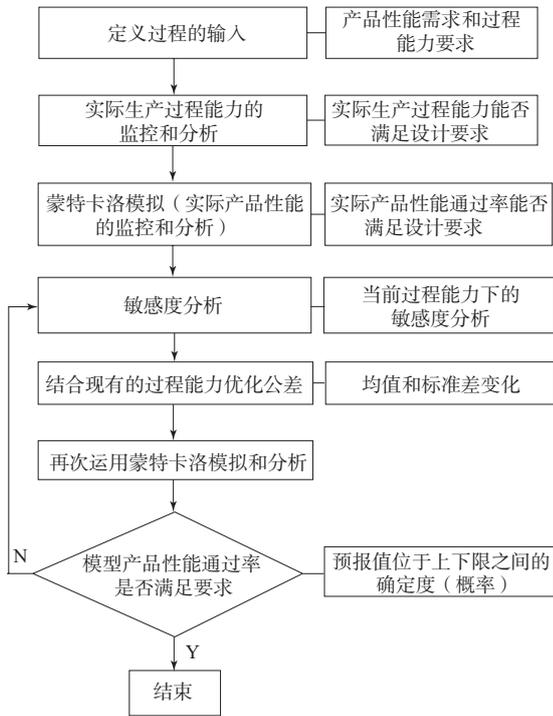


图5 设计优化分析流程

表1 过程能力分析

部 件	过程能力		结果
	要求	实际	
胎面	1.3	1.41	能力满足
胎侧	1.0	1.12	能力满足
胎肩垫胶	1.0	0.98	能力不满足
1#带束层	1.0	1.03	能力满足
2#带束层	1.1	0.99	能力不满足
3#带束层	1.0	1.23	能力满足
4#带束层	1.0	1.05	能力满足
钢丝帘布	1.3	1.51	能力满足
内衬层	1.2	1.05	能力不满足
三角胶	1.0	0.99	能力不满足
胎圈包布	1.0	1.12	能力满足
钢丝圈	1.0	0.85	能力不满足

确定数据分布；然后定义参数优化的目标和参数范围，即轮胎质量标准、公差和合格率，如95%的轮胎质量在(63.705±1.270) kg范围内(公差为±2%)；再在目前过程能力状态下，确定各部件的均值、标准差及分布情况(见表2)；最后进行建模和运算，通过半成品部件质量均值及标准差运算(见图6)和模拟，确定轮胎质量在可接受范围内的概率。可以根据输出结果(见图7)判断轮胎质量公差范围内的概率是否在可接受的范围之内：

表2 各部件的均值、标准差及分布情况

部 件	均值/kg	标准差	分布
胎面	16.104	1.610	正态
胎侧	6.931	0.046 21	正态
胎肩垫胶	3.024	0.020 16	正态
1#带束层	3.996	0.026 64	正态
2#带束层	4.846	0.032 31	正态
3#带束层	1.976	0.013 17	正态
4#带束层	1.538	0.010 25	正态
钢丝帘布	7.260	0.048 40	正态
内衬层	7.874	0.052 49	正态
三角胶	2.512	0.016 75	正态
胎圈包布	1.530	0.010 20	正态
钢丝圈	6.114	0.040 76	正态



图6 各部件质量运算界面



图7 输出结果界面

通过率远大于95%，结果不可接受，存在过度控制和浪费，需要优化；通过率接近95%，结果可以接受，可以持续监控；通过率小于95%，结果不可接受，成品损失增加，需要改善。

(4) 敏感度分析。确定半成品部件质量对轮胎质量的影响程度，结合敏感度分析结果(见图8)优化变量，通过调整公差范围提升过程控制结果或者减小流程输入的变异，以进一步降低拒绝率(优化影响因子的分布)，即优化过程稳定性及过程能力。

(5) 结合现有的过程能力优化公差。优先优



图8 敏感度分析界面

化敏感度分析中对轮胎质量影响较大的因子(如胎面),通过优化后的公差控制(见表3),收集生产过程数据,再次运行蒙特卡洛模拟,验证通过率是否接近95%,若不满足,继续优化调整公差,循环进行蒙特卡洛模拟,直到通过率满足要求。

表3 各部件公差优化

部 件	公差优化	部 件	公差优化
胎面	收严公差	4#带束层	不用优化
胎侧	收严公差	钢丝帘布	收严公差
胎肩垫胶	过程能力提升	内衬层	放宽公差
1#带束层	收严公差	三角胶	过程能力提升
2#带束层	放宽公差	胎圈包布	不用优化
3#带束层	不用优化	钢丝圈	放宽公差

### 3 结语

在未来的技术发展中,工艺与设备参数的大数据管理以及人工智能算法对质量与成本控制的辅助决策将在轮胎设计和制造中发挥重要的作用,大数据挖掘、人工智能等新型技术在生产过程

管控中有巨大的能力发挥空间,快速的数据采集与建模分析优化能够帮助研发与质量工程师高效精准地达成技术与管理目标。从数据采集和分析到模型的建立和部署,实现工艺参数组合和工艺参数再优化,快速定位符合目标性能的工艺参数组合,从设计优化到工艺优化,能够真正实现提升质量、降低成本的目标。

### 参考文献:

- [1] 史一锋. 砥砺前行中的我国轮胎行业发展状况及展望[J]. 轮胎工业, 2020, 40(12): 707-713.
- [2] 李自托. 我国轮胎行业并购战略研究[J]. 化学工业, 2019, 37(2): 8-13.
- [3] 曾季, 阙元元, 蔡尚脉, 等. 电动汽车轮胎的发展现状与设计思路[J]. 橡胶工业, 2019, 66(12): 883-894.
- [4] 《中国橡胶》编辑部. 王锋: 轮胎行业的长远发展一定是以“质”取胜[J]. 中国橡胶, 2020, 36(7): 12-13.
- [5] 胡浩, 陈志宏, 张钊. 逆境中崛起的中国轮胎工业[J]. 橡胶工业, 2018, 65(12): 1433-1436.
- [6] 中国橡胶工业协会轮胎分会秘书处. 中国及世界轮胎市场走势[J]. 轮胎工业, 2018, 38(5): 259-262.
- [7] 潘劲松, 范玉明, 李晓峰, 等. 推进山东轮胎高质量发展的几点建议[J]. 山东化工, 2019, 48(7): 237-238.
- [8] 张生延, 常林波, 刘刚. 浅谈SPC在生产过程中的应用[J]. 衡器, 2020, 49(9): 8-11.
- [9] 李珂珂, 张朝林, 肖辉, 等. 统计过程控制在汽车安全气囊发生器装配过程中的应用[J]. 汽车实用技术, 2020, 45(16): 220-221.
- [10] 徐雨晴, 朱玉杰, 郝艺婷. 基于SPC的汽车零部件质量问题预警与改善[J]. 经济师, 2020(2): 284-286.

收稿日期: 2021-01-21

## Application of Statistical Process Control in Tire Design and Manufacture

LI Zhao, LI Jing

(Aeolus Tyre Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** In this paper, the development status of the tire industry in China and the contradiction between quality improvement and cost control were discussed. Taking tire quality control as an example, the design process and manufacturing process of tires were linked by using statistical process control tools and the optimal balance between tire quality and cost was achieved through the optimization of the manufacturing process and tolerance design. The further breakthrough on the optimization was obtained by using new technology in the development of the internet.

**Key words:** tire; statistical process control; quality; process capability; tolerance design