

叶片处理段结块烟的在线回收装置及设计

马江平, 赵瑞莹

红塔烟草(集团)有限责任公司玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年9月16日; 录用日期: 2025年10月20日; 发布日期: 2025年12月29日

摘要

在制丝生产中, 烟叶在储叶柜中, 底部烟叶受到垂直挤压、烟叶粘黏的影响, 容易产生结块烟。结块烟随物料进入异物剔除工序造成堵料停机。为了解决异物剔除入口堵塞的问题, 设计、制作、安装了新型结块烟回收装置, 解决了车间异物剔除器出现物料阻塞导致的停机断料故障现象。

关键词

结块烟, 异物剔除, 回收装置, 星辊

An Online Recovery Device and Design for Agglomerated Tobacco in the Leaf Processing Section

Jiangping Ma, Ruiying Zhao

Yuxi Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: September 16, 2025; accepted: October 20, 2025; published: December 29, 2025

Abstract

During tobacco production, tobacco leaves in the leaf storage cabinets are subject to vertical compression and sticking at the bottom, which can easily cause agglomerates. Agglomerated tobacco enters the foreign matter removal process along with the material, causing blockages and downtime. To address the problem of blocked foreign matter removal inlets, a new agglomerated tobacco recovery device was designed, manufactured, and installed. This device resolves the problem of machine downtime and interruptions caused by material blockage in the foreign matter removal process.

文章引用: 马江平, 赵瑞莹. 叶片处理段结块烟的在线回收装置及设计[J]. 仪器与设备, 2025, 13(4): 730-738.
DOI: [10.12677/iae.2025.134088](https://doi.org/10.12677/iae.2025.134088)

Keywords

Agglomerated Tobacco, Foreign Matter Removal, Recovery Device, Star Roller

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

卷烟生产中制丝工艺环节的烟丝质量直接决定了卷烟产品的感官品质和吸烟感受,在此基础上,异物剔除工况成为制丝过程控制中最为重要的控制点之一。若该工艺出现任何异常,则会严重影响烟丝纯度以及叶线与丝线的配合情况,直接带来产品生产问题。TS3-G6型异物剔除器属于行业内应用较多的设备,借助高速皮带输送、视频图象识别及气流辅助分离等技术手段,可以将烟叶中的金属杂质、塑料碎片、梗签等异物进行有效剔除。因此,在烟丝加工过程中设置该异物剔除装置是非常必要且及时的。

然而,由于异物剔除器经常出现物料堵塞的问题,使得生产线的停机率较高。根据红塔集团玉溪卷烟厂某制丝车间反映的情况,在2022年10月~12月的时间里,异物剔除器发生阻塞情况达到了12次,每次因为机器阻塞停机处理的时间为20~30分钟,所以异物剔除器每月造成的因停机而中断生产的累计时间是大于或等于720分钟,其会使得整个生产工作无法正常的开展,不仅增加了设备的维修费用,也会加大工作人员的操作负担。

根据该生产难点,在国内和国外方面有很多相关的研究工作,如异物剔除器本身的识别算法、结构优化,针对提高视频识别准确率、改善气流场分布等[1]。但是针对原料物料中的结块烟造成的阻塞问题少有涉及[2]。因此针对此问题,在大量试验的基础上,以原料物料中的结块烟为研究对象,通过系统的剖析,基于对产生原因的分析,开发一种能够适配于现有生产工艺的在线回收装置,从原料来源上解决异物剔除器堵塞的问题。本研究内容对于指导生产实践具有重要意义。

2. 存在问题

TS3-G6型异物剔除器作为制丝车间异物剔除工序中非常重要的设备,在其正常生产运行过程中由于物料出现阻塞的现象时有发生,严重影响了设备的正常运转及产品质量的提高,成为制约当前生产连续性的主要因素之一。据统计:2022年第三季度到第四季度共计出现阻塞次数42次,即平均每天故障发生一次。并且因为阻塞造成停机后的人工清理现象严重,每次清理都会造成大量的烟叶散落造成浪费,每一生产批次的大约会损失1.2~2.5kg左右的物料。

继而对阻塞后生产恢复过程的跟踪发现,每次阻塞后,设备重新开启时,必须将异物剔除器的视频识别系统,以及高速皮带张力等参数重新进行校准,校准过程约需要5~8分钟,校准误差对后续异物剔除的效果影响极大,甚至会出现之前异常事件中的情况,校准误差导致异物剔除率降低3%~5%,并且频繁的停机启机会进一步加快设备各部件的老化速率,原本可以正常使用6个月左右的高速皮带寿命降至仅能正常使用4个月,设备维护费用上升近23%。

3. 原因分析

3.1. 针对物料(烟叶)情况进行分析

- 首先,排查物料流量。异物剔除来料流量由储叶柜出柜速度决定,由于储叶柜到异物剔除段没有

电子秤, 调查了阻塞批次的预配柜进出柜状态, 发现进出柜状态正常, 并未发生流量波动。

2. 其次, 调查了 16 个批次烟叶的大块物料情况, 发现烟叶中含有结块烟, 对尺寸较大结块烟的尺寸进行测量, 统计结果如表 1 所示。

3. 对异物剔除器阻塞部位情况进行了统计, 统计结果如表 2 所示。

Table 1. Statistics of agglomerated smoke size

表 1. 结块烟尺寸统计表

结块烟尺寸	100~120 mm	120~140 mm	160~180 mm	180~200 mm	200 mm 以上
数量(块)	14	11	19	7	1
占比(%)	26.9	21.2	36.5	13.5	1.9

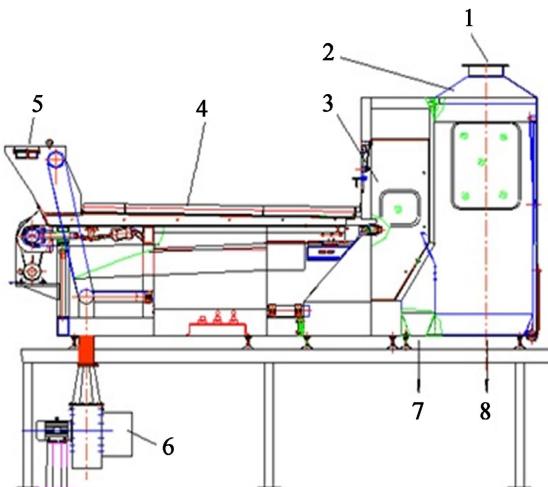
Table 2. Statistics of blockage locations of foreign body rejectors

表 2. 异物剔除器阻塞部位统计表

序号	部位	序号	部位	序号	部位
1	高速皮带阻塞	6	高速皮带阻塞	11	高速皮带阻塞
2	高速皮带阻塞	7	落料口阻塞	12	落料口阻塞
3	落料口阻塞	8	高速皮带阻塞	13	高速皮带阻塞
4	落料口阻塞	9	高速皮带阻塞	14	出口运输带阻塞
5	高速皮带阻塞	10	落料口阻塞		

3.2. 设备分析

车间在用的为 TS3-G6 异物剔除器。结构组成如图 1 所示。异物剔除器主要由高速皮带输送机、视频柜、空气排气柜、风道系统、冷却系统、电控柜等组成。为了确保除杂效果, 还在异物剔除器前配套增加一套星辊匀料带式输送机[1]。



1. 空气排出口; 2. 空气排气柜; 3. 视频柜; 4. 高速皮带输送机; 5. 进料口; 6. 离心通风机; 7. 杂物出口; 8. 正常料出口

Figure 1. Schematic diagram of the TS3-G6 foreign body rejector structure

图 1. TS3-G6 异物剔除器结构示意图

对设备进行仔细排查, 未发现损坏、变形情况。特别对落料口和高速带出口两个阻塞点进行重点分析和测量, 发现落料口与高速皮带连接处最小间隙为 150 mm, 高速带出口高度为 100 mm, 发生阻塞的位置空间均较为狭窄。如图 2 所示。



Figure 2. Blockage of foreign body rejector
图 2. 异物剔除器阻塞部位

3.3. 综合分析

车间进行了技术改造后, 取消了异物剔除机前的柔性风选机, 筛选大饼烟的功能缺失。

异物剔除的工作要求烟叶进入异物剔除机时, 由均料星辊配合摊薄输送带摊平成高度为 30 mm 左右的烟层, 通过高速皮带检测后流出。综合设备参数和结块烟尺寸数据可以看出, 结块烟尺寸大于落料口宽度和高速皮带出口高度, 烟叶流量过大, 或者有大尺寸结块烟进入异物剔除机极易造成阻塞。因此, 初步认定是结块烟进入异物剔除器, 导致阻塞故障发生[2]。

为了验证这一猜想, 探究进入异物剔除机的结块烟数和异物剔除阻塞之间的关系, 通过实验进行验证, 将尺寸为 160~180 mm 结块烟分别每次与 0, 1, 2, 3, 4, 5 块的数量加入总重 50 kg 的烟叶物料在 35 s 内均匀倒入异物剔除落料口(模拟 5 t/h 流量), 每组物料重复实验 6 次, 记录阻塞情况, 再将整个实验过程重复 3 次, 根据实验统计不同大饼烟数的阻塞情况如下表 3:

Table 3. Agglomerated smoke blocking analysis experiment table
表 3. 结块烟阻塞分析实验表

结块烟数	第 1 次实验 阻塞次数	第 2 次实验 阻塞次数	第 3 次实验 阻塞次数	实验阻塞次数 平均值	阻塞概率
0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0.7	11.7
2	2	1	2	1.7	28.3
3	2	3	3	2.7	45.0
4	5	4	5	4.7	78.3
5	6	6	6	6	100

通过实验可以看出, 进入异物剔除机的结块烟数和异物剔除阻塞率强正相关(相关系数 $R^2 = 0.987$), 结块烟是异物剔除阻塞的主要原因[1]。

4. 解决措施

解决的措施主要有两个: 一是防止结块烟的生成; 二是防止结块烟进入异物剔除器。

大饼烟主要在储柜储叶阶段生成。烟叶在储叶的过程中, 底部烟叶受到垂直挤压、烟叶粘黏的影响, 容易产生结块烟; 除此之外, 在出柜的过程中, 烟叶与储柜间摩擦挤压, 也容易产生结块烟, 原理如图 3 所示:

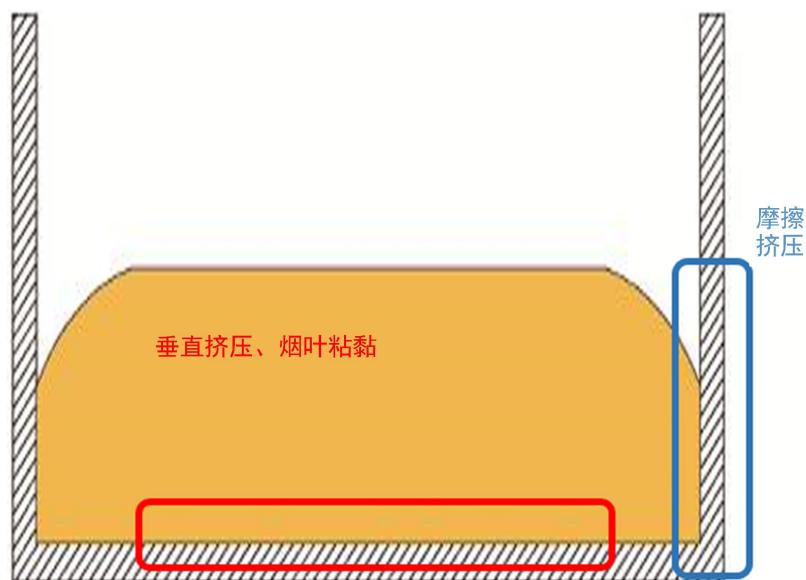


Figure 3. Principle of agglomerated smoke formation
图 3. 结块烟形成原理

车间曾通过改变储柜布料方式, 将平铺布料改为拱形布料, 想减少结块烟的产生, 但是效果并不理想。摩擦挤压和垂直挤压产生结块烟的情况在目前的工艺条件下较难解决, 因此无法通过消除结块烟的生成来解决阻塞的问题。

5. 改进思路

从防止结块烟进入异物剔除器的思路出发, 通过观察发现, 异物剔除器前的星辊组间隙较小, 松散烟叶通过其均匀落到摊薄带上, 结块烟则只会在星辊末端溢出落入摊薄输送带进入异物剔除器。只要能把溢出的结块烟收集剔除即可解决阻塞问题[1]。

6. 实施步骤

6.1. 采用星辊 + 接料槽接方式筛分出大饼烟

根据设备结构及结块烟尺寸, 制作 $1140 * 540 \text{ mm}$ 排骨状支架, 支架采用 $40 * 20 \text{ mm}$ 的不锈钢槽钢作为边框, $\varphi 16$ 厚壁不锈钢管做龙骨, 不锈钢管间隔 65 mm 均匀分布焊接而成[3], 在支架的一端焊接高度为 200 mm 的不锈钢板形成一个接料槽, 安装在均料星辊出口, 收集星辊筛分出的结块烟, 由人工进行处理。如图 4 所示:



Figure 4. Receiving trough
图 4. 接料槽

6.2. 星辊 + 带式输送机回收大饼烟

由于结块烟的出现无规律性, 接料槽间隙较大, 操作人员无法时时顾及。有结块烟在清理过程中落入异物剔除入口的风险, 筛分出来的结块烟存在从接料槽跌落混入设备的风险。同时由于接料槽位置较高, 人工清理存在安全隐患。

因此, 考虑制作一个可以自动回收结块烟的装置。带式输送机具有结构简单, 维护方便, 制作成本较低等优点。于是决定采用带式输送机对结块烟进行回收。根据结块烟的尺寸及数量, 选择输送带带宽为 300 mm, 带速在 0.2 m/s 左右, 同时对安装尺寸及位置等进行了测量论证, 委外进行制作, 安装于星辊后方[4]。

星辊及带式输送机的设计如图 5 所示:

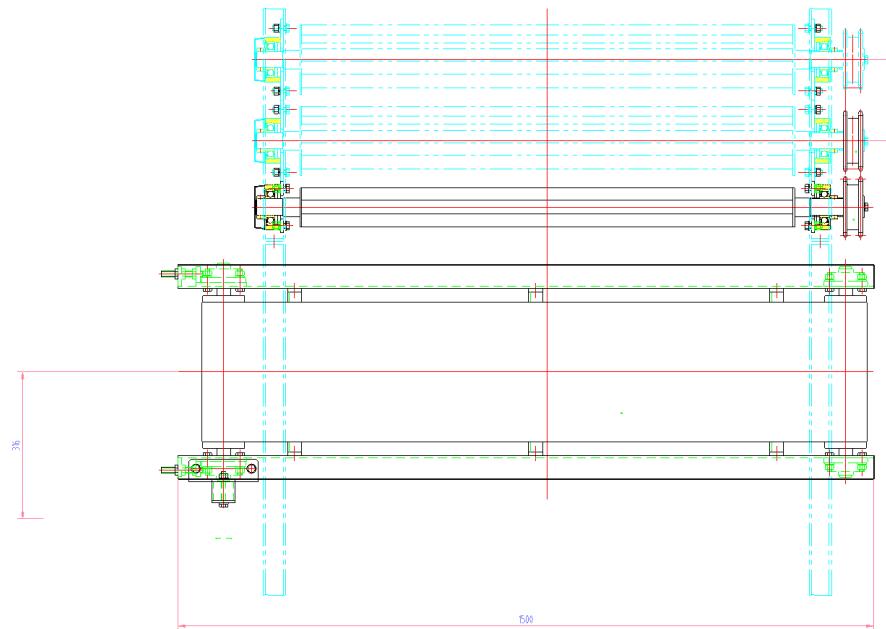


Figure 5. Star roller and belt conveyor
图 5. 星辊及带式输送机

7. 带式输送机及落料口的设计制作

分别对带式输送机的结构零件进行尺寸设计和加工制作[3]。

7.1. 电机减速器的选择确定

根据结块烟出现的频次较低，电机加速器选择低转速即可，确定减速器型号为：品牌 SEW，功率 0.37 kw，转速 49 r/min [4]。

7.2. 输送带的选择确定

根据结块烟的尺寸和安装位置的限制，确定输送带的带宽为 300 mm。根据带宽，选择主被动滚筒尺寸分别 $\varphi 90$ mm，长度 328 mm [4]，如图 6 所示。

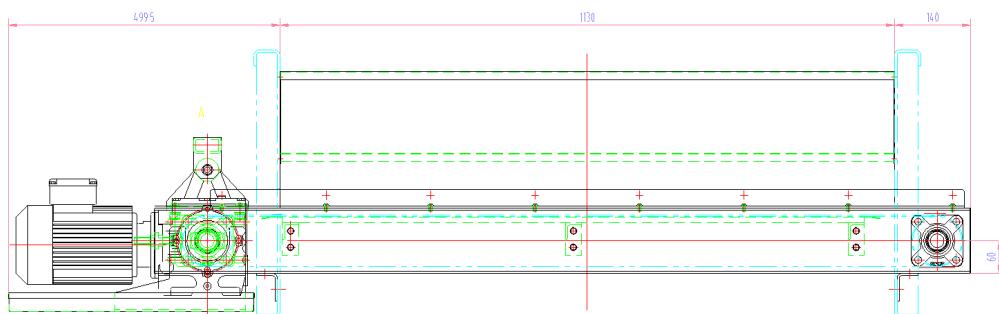
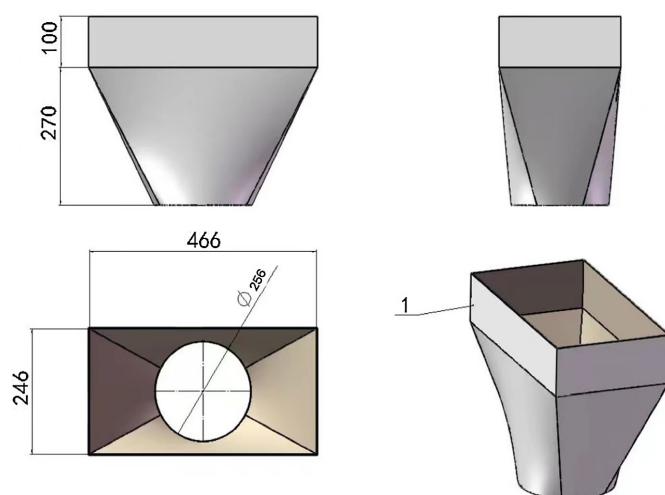


Figure 6. Schematic diagram of conveyor belt design

图 6. 输送带设计示意图

7.3. 输送带出口落料口设计

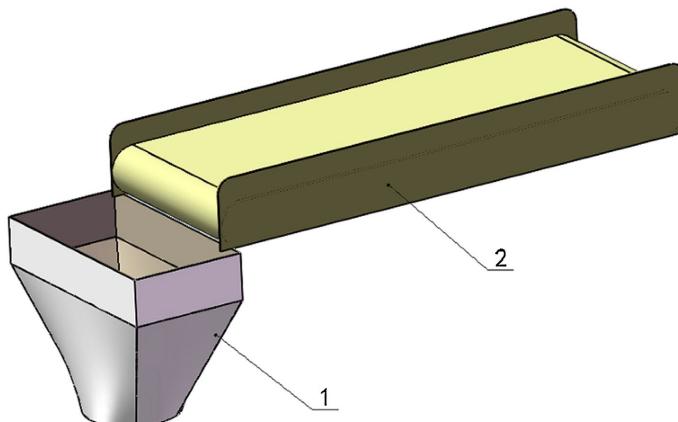
根据输送带出口宽度及高度设计落料口：用不锈钢制作方形长 470 mm 宽 250 mm 变圆型直径 260 mm 的方变圆形落料口(见图 7)。落料口两端用 8×20 螺栓与运输带出口端边板连接(见图 8)。下部用长度 3000 mm 直径 300 mm 厚度 2 mm 不锈钢管作为落料通道将剔除的结块烟放入置于地面的物料箱内[3]。



技术要求：1. 壁厚 2 mm 不锈钢 1Cr13 制作。

Figure 7. Blanking port

图 7. 落料口



1. 落料口; 2. 输送带。

Figure 8. Improved actual effect diagram**图 8.** 改进实际效果图

8. 安装调试

- 根据制作输送带的端面尺寸, 在摊薄带两侧相对应位置开孔, 长 480 mm, 宽 300 mm。
- 安装输送带机架至开孔位置, 利用水平仪和铅垂线进行位置校正, 使机架保持水平并相对摊薄带垂直, 两侧各用 6 颗 8×30 螺栓固定[3]。
- 安装输送带, 确保带表面的箭头所指方向与传送方向一致, 接口为双层齿接。两侧安装蒙边皮[4]。
- 安装电机减速器至主动辊, 布置接通电机电源线路。调整主动辊左右位置一致紧固轴承座螺栓, 通过调整被动辊位置检查输送带张紧度, 保证输送带平直且获得合适的张力, 紧固被动辊轴承座螺钉[4]。
- 通电试机, 启动输送带检查输送带运行是否平直且不跑偏[4]。
- 安装落料口, 落料口两端各用两颗 8×20 螺栓与输送带端面机架连接固定。安装落料管, 用卡子将落料管固定在操作台支架[3]。

9. 应用效果

9.1. 阻塞率改善效果

清理收集装置安装完成于 2023 年 6 月, 在 2023 年 7 月份正式投入使用。为综合性地验证该装置的应用效果, 对 2023 年 7 月份至 9 月份车间生产数据进行了统计, 将其与 2022 年 10 月至 12 月期间的生产数据进行对比分析。分析表明, 结块烟均能及时被该装置清理, 进入异物剔除的结块烟数量大幅减少, 阻塞率明显降低, 如表 4 所示, 达到了改造效果。同时还有效降低操作人员的工作量及操作风险[1]。

Table 4. Statistics of blocking rate after improvement**表 4.** 改进后阻塞率统计

	改进前					改进后	
	2022.10	2022.11	2022.12	2023.7	2023.8	2023.9	
生产批次	114	127	140	150	162	158	
阻塞次数	2	2	1	1	1	1	
阻塞率(%)	1.75%	1.42%	0.86%	0.04%	0.03%	0.03%	

9.2. 生产效率与成本改善

1. 生产连续性提升：改进前停机时间为 240 min/月，改进后停机时间仅 8 min/月，生产连续性提升 96.7%。按每小时生产烟丝 2000 kg、烟丝单价 50 元/kg 计算，每月可减少产量损失 228,000 元。
2. 设备维护成本下降：高速皮带使用寿命由原来的 4 个月延长到 6 个月，每年少换 2 次皮带，一条皮带 8000 元钱，这样每年可节约维护成本 16,000 元；另外高速电机、轴承等磨损量减少，年维修费减少 12,000 元，合起来年节省设备维护费共计 28,000 元。
3. 人工成本节约：改进前需要专门安排一人处理结块烟的清理，人工成本约为 6000 元/月；改进后只需要每 4 小时处理一次物料箱即可，不需要有人专门去处理结块烟，一年下来能节约 72,000 元人工成本。

10. 结束语

本文从制丝过程中的异物剔除器发生堵塞入手，通过剖析物料特性，找出产生堵机原因，再根据特点及工艺流程判定，最终确定产生堵机的原因是由大尺寸结块烟所致。为解决上述问题，不再采用结块烟产生控制措施，转而提出并设计了一种“星辊筛分 + 带式输送 + 定向落料”的在线回收装置。

装置根据原有设备特性，采用模块化设计理念，实现装置与线体联动，其结构简单，运行稳定可靠，便于维护^[5]；经现场试用发现装置能够拦截绝大部分(>95%)的结块烟支，并使异物剔除器阻塞率由 1.34% 降至 0.03%，同时大幅提高生产连贯性、降低设备维修成本及减轻人工劳动强度，是本卷烟企业解决此类问题的一种有效技术方案。

后续还可以继续优化装置的智能化水平，在星辊上增加图像识别传感器，进而实现对结块烟的数量监测，并且根据不同的数量情况调整传送带的输送速度，以提高设备的匹配程度和工作效率。

参考文献

- [1] 刘建, 陈明, 赵晓东. 异物剔除机进料系统的优化设计与应用[J]. 机械工程与自动化, 2021(3): 145-147.
- [2] 王瑞宝, 李建军, 张立峰. 卷烟制丝过程中结块烟的成因及控制技术研究[J]. 烟草科技, 2020, 53(8): 78-83.
- [3] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 张宏, 李娜, 王超. 带式输送机的选型与设计要点分析[J]. 矿山机械, 2019, 47(6): 1-4.
- [5] 单辉祖. 材料力学(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.