

小颗粒状危化品计量系统中的加料方式

郭宁¹, 张国全¹, 黎厚斌², 赵险峰¹, 王北海¹, 郭宇¹

(1. 武汉轻工大学, 武汉 430023; 2. 武汉大学, 武汉 430072)

摘要: **目的** 以小颗粒状危化品计量系统中的加料方式作为研究对象, 研究危化品计量系统中的加料方法及技术参数。**方法** 基于物料理化特性和加料的安全技术要求, 利用重力式加料原理来研究适合危化品的加料方法。**结果** 通过控制加料门的开合度与时间长短实现了连续变速加料, 可避免物料的冲击, 提高了计量精度。**结论** 建立了适合危化品加料的工艺方法, 对危化品的安全计量提供一定的技术借鉴作用。

关键词: 小颗粒状危化品; 计量系统; 重力加料装置; 连续变速加料

中图分类号: TB486⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0159-05

Feeding Mode of the Measurement System of Small Granular Hazardous Chemical Substance

GUO Ning¹, ZHANG Guo-quan¹, LI Hou-bin², ZHAO Xian-feng¹, WANG Bei-hai¹, GUO Yu¹

(1. Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Wuhan University, Wuhan 430072, China)

ABSTRACT: The work aims to study the feeding method and technical parameters in the measurement system of small granular hazardous chemical substance, with the feeding mode in the measurement system of the small granular hazardous chemical substance as the research object. Based on the physical and chemical characteristics of the material and the technical requirements for feeding safety, the gravity type feeding principle was used to study the feeding method suitable for hazardous chemical substance. By controlling the feeding door's opening degree and the time length, the continuous variable-speed feeding was achieved, which could avoid the impact of the material and improve the measurement accuracy. The technological process suitable for the feeding of hazardous chemical substance is established and it provides certain technical reference for the safe measurement of hazardous chemical substance.

KEY WORDS: small granular hazardous chemical substance; measurement system; gravity feeding device; continuous variable-speed feeding

由于危化品具有易爆、易燃、毒害、腐蚀、放射性等危害特性, 在包装、运输、装卸过程中易于成为一种动态的危险源^[1]。长期以来, 由于一些企业认识不足, 危化品自动包装长期处于被忽视的地位, 且包装研发投入不足, 技术落后, 很多企业大量采用人力进行产品的后续包装操作, 由于操作不当, 出现过爆燃事故^[2-4]。其中, 在危化品充填计量中的加料环节, 特别在含有粉尘环境中, 由于选用的加料方法不当, 存在严重的安全隐患^[5], 且国内未见相关领域的文献报道。文中以小颗粒状危化品计量系统中的加料方式

作为研究对象, 选择合适的加料方式和技术参数, 对危化品的安全性计量提供一定的技术借鉴, 为行业本质安全生产提供一定的帮助。

1 约束条件

处理对象的理化特性为: 物料为小颗粒状(含体积分数为 7% 的粉尘)、自然休止角 $\alpha_0 \approx 50^\circ$ (流动性较好)、物料下落高度不大于 1400 mm, 冲击感度高, 爆速快, 对静电敏感度高。包装材料为包装特制纸桶^[7]与 2 层抗静电包装袋^[8-9]。

收稿日期: 2016-10-12

作者简介: 郭宁(1991—), 男, 武汉轻工大学硕士生, 主攻包装机械产品设计、交互设计。

通讯作者: 张国全(1963—), 男, 武汉轻工大学教授, 主要研究方向为包装机械产品的概念设计、智能设计与设计方法学。

2 加料方案选择

在电子称重计量方式中,常见的加料方式有重力式^[10-11]、水平螺旋式^[12]、电磁振动式和组合式等^[13-14]。其中,重力式加料是利用物料的重力,通过加料装置引导物料自由落入到计量容器中,该加料方式适合于流动性好的物料加料。螺旋式加料属于强制性加料方式,适合于流动性差、易结拱和易吸潮的物料。振动式加料属于半强制性加料方式,适合于易碎的脆性物料。

重力式加料采用加料门的开合度与时间长短来控制加料量,其中,快加料为加料门完全打开,物料从料仓直接落入计量容器中;慢加料为加料门关闭到一定位置,物料由开一定尺寸的小槽口泄出。该加料方式要求料仓中的物料充足、加料流速均匀,其不足在于快慢加料转换存在大料量对计量容器的冲击,系统刚性不好,易于影响计量精度。

根据危化品计量的安全要求,其加料方式不能有

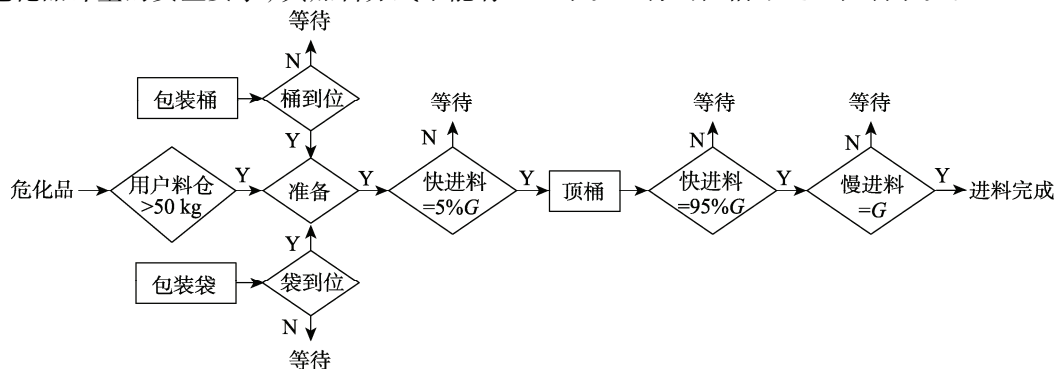


图1 加料工艺流程

Fig.1 Feeding process flow

3.2 包装物料

从现场安全角度考虑,前段的送料装置将物料送到现场用户料仓时,为防止料仓中的物料量过大(生产线总体料量有要求),需要实时显示料仓中的物料量的变化。当料仓中的物料量大于一定数值时,计量装置才可开启。

3.3 加料

当上述三者都满足条件时,加料装置开始工作。下料门完全打开,物料开始快下料,当下料量达到5%的设定值时,顶桶装置缓慢工作,将包装袋塞入包装桶中,完成包装袋与包装桶的组合;当下料量达到95%的设定值时,快加料门关闭,慢加料门开始工作,直至下料量满足系统设定要求,慢加料门关闭,完成加料动作。

4 加料装置的设计

4.1 结构组成

基于上述的工艺过程,加料装置的结构原理见图

电机驱动,加料结构不能存在死角,不能采用强制加料。重力式加料是危化品计量的首选加料方式。

3 加料工艺方案设计

危化品的加料过程主要有包装材料和包装物料准备到位、加料、充填、成品送出等环节,其工艺过程见图1。图1中 G 为计量的设定值。

3.1 包装材料到位

1) 包装袋。该包装方式中的包装材料主要有包装袋和包装桶,其中包装袋是由抗静电材料制成,由供袋装置送入到计量装置中的夹袋器上,夹袋器中夹口组件将包装袋袋口夹住,夹住的目的主要是防止物料充填时包装袋脱落和防止物料充填时粉尘溢出。包装袋到位后,检测系统将信号送入控制系统。

2) 包装桶。输送系统将包装桶送入到计量装置的称重平台上,限桶组件控制包装桶准确到位,检测系统也将到位信号送入控制系统。

2. 主要有加料闸板、加料斗、快加料气缸、快加料推板、慢加料气缸、慢加料推板、加料门驱动轴、加料门初始位调整杆、加料密封室、驱动密封室、零件连接螺纹孔和加料门等组成。其中图2b, c为主视图和左视图,图2a为图2c中驱动密封室移去门板后的剖视图,图2d为图2c中加料密封室的中线剖切后的剖视图。

4.2 关键参数

将图2d中的各构件结构和动作参数在图3中表示,其中: H_1 为加料组件总高; a_1 与 a_2 分别为料仓内壁与铅垂面之间的夹角; $b_{\max}$ 为加料门从关闭位转到全开位的最大夹角; b_1 为下料口的开口夹角; b_2 为加料门端部到加料斗底部下沿的夹角; b_3 为加料门外形夹角; d 为加料门承料侧与料仓壳体底部之间的间隙; L 为加料门关闭时其端部与料仓侧壁的距离; L_1 为慢加料口到料仓侧壁的距离; L_2 为慢加料口的开口宽度。

为保证危化品物料的安全加料要求,图3中的各

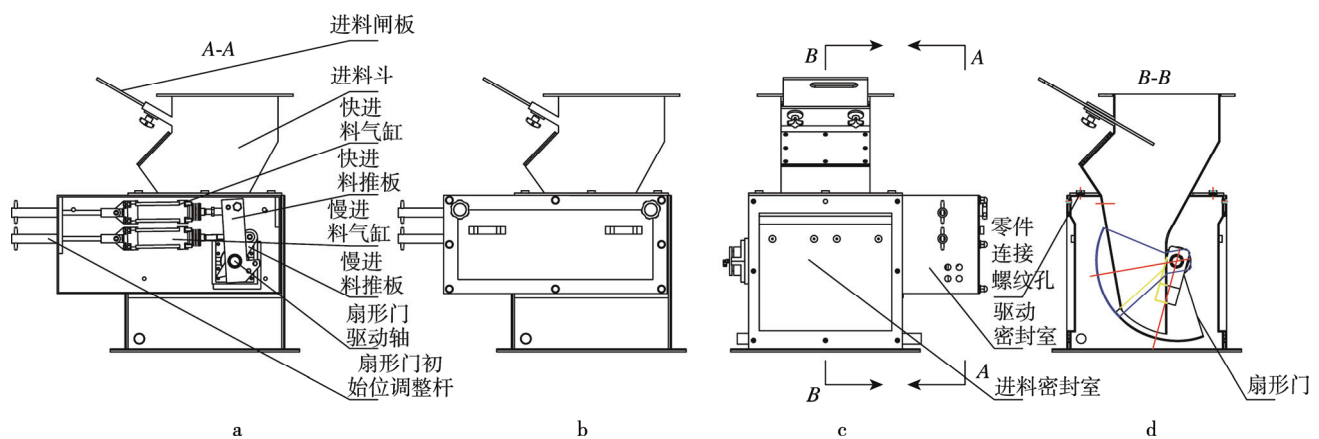


图 2 加料装置结构
Fig.2 Feeding device structure

参数之间需满足如下公式： $H_1+H_2<1400$ ， $\alpha_1\leq50^\circ$ ， $\alpha_2\leq50^\circ$ ， $\beta_3>\beta_1+\beta_2$ ， $\beta_{\max}<\beta_1+\beta_2$ ， $2\leq\delta\leq4$ ， $L_1\geq2\delta\cot\alpha_0$ 。式中： H_2 为包装袋底到计量平台的高度，图 2 中未标示， H_1 与 H_2 之和小于 1400 mm，表明两者的高度之和控制在 1400 mm 时，在此距离内，此物料下落冲击较小，对其安全性影响不显著。 H_1 的大小选取与加料装置的各零件结构与布局有关，一般建议取值不大于 400 mm。由物料物性可知，加料斗内壁各结构的斜度需大于物料的自然休止角，才可保证物料不会沉集在料斗内壁。要求加料门下部的弧板外形尺寸需大于下料口的开口弧长与加料门端部到加料斗底部下沿的弧长，其目的在于在加料门关闭后，料仓中的物料不会溢出或流出，保证计量精度。加料门从关闭位转到全开位的最大夹角 $b_{\max}$ 必须小于 b_1 与 b_2 的夹角之和，满足此条件，可保证加料门在开度最大时不会与料斗壁撞击。加料门承料侧与料仓壳体底部之间有间隙存在，表明二者之间在相对运动时，无金属间摩擦。 P_1 的长度定义保证了加料门关闭时料仓中的物料不会从慢加料口溢出，也有利于保证计量精度。上述各参数确定后，可进行加料装置的结构设计。

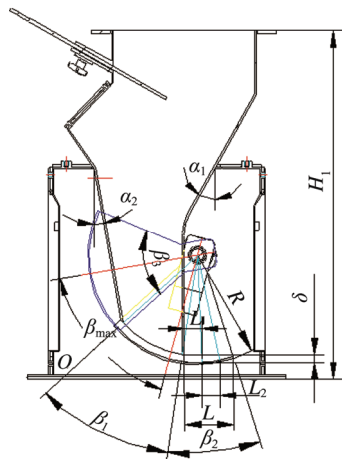


图 3 加料装置关键参数
Fig.3 Key parameters of feeding device

4.3 快慢加料的驱动

4.3.1 驱动方式选择

由于危化品计量车间不能有电器元件，即加料装置必须采用气缸驱动来满足其运动动作。在图 2 中，驱动快慢加料的气缸布置在驱动密封室内，控制快加料气缸与慢加料气缸动作的气动电磁阀必须布置在远离计量现场的控制室内。该系统加料装置离控制室有 20 多 m。

4.3.2 元器件的选择

1) 气缸。快慢加料的气缸和在工作时，活塞杆与缸体内壁存在摩擦，为防止粉尘进入筒体内，消除安全隐患，需要选用带密封性能的防护套包裹活塞杆和气缸缸体。

2) 气动电磁阀。从气缸动作而言，常选用二位三通电磁阀就能满足加料装置的工作要求。由于气缸与电磁阀之间的距离较远，当需要气缸工作时，气管内的气压从 0 到设定值需要一定时间，而此时间对系统工作时间而言为空耗时间，也为气缸响应时间， $t=t_0+\Delta t$ ，式中： t_0 为系统正常加料时间； Δt 为空耗时间； t 为实际工作时间。可以得出，空耗时间越短，系统工作时间越短，加料效率就越高。为了消除或缩短空耗时间，驱动快慢加料气缸的电磁阀需选用双电控三位五通中封式电磁阀。该电磁阀在 2 个线圈都不给电的情况下，气缸前腔和后腔的压力保持在最后一个线圈失电后的状态不变，进气口关闭，排气口关闭，也就是说，从电磁阀到气缸这段气管内的气压不变。在此情况下，当下一个加料周期开始时，气缸响应时间较短。

4.3.3 快慢加料的动作实现

其原理见图 4。 Q_1 与 Q_2 分别为快慢加料气缸， v_1 与 v_2 分别为快慢加料电磁阀， A_1 与 B_1 和 A_2 与 B_2 分别为 2 个电磁阀的线圈， T_1 与 T_2 为快慢加料气缸进气调速阀， J_1 与 J_2 为快慢加料气缸出气节流阀，

P_1 为干净、清洁的正压空气源, P_2 为气缸排气通道, 直接接入大气中。图 4a 为加料门打开的气路, 图 4b 为加料门关闭的气路。

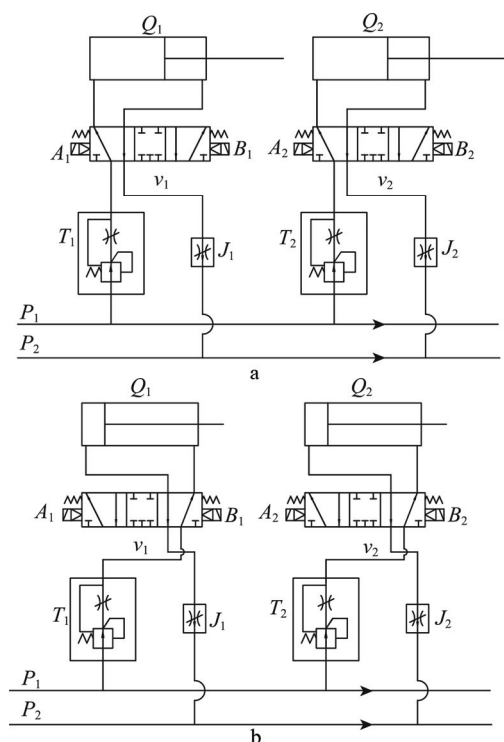


图 4 快慢进料的气动驱动原理
Fig.4 Principle diagram of fast-slow feeding on the pneumatic drive

文献[15]中提及, 为保证计量速度, 需要增加快加料量, 在快加料过程中, 快加料量越大, 物料对称量斗冲击就越大, 当称量斗最大振幅超过系统设定振幅时, 称量仪表便会当作设定重量信号而中止慢加料, 结果出现不合格充填量。文献[15]又提出采用三段式变流量加料可避免快慢加料切换时因快加料大流量对称量斗的冲击, 以减小计量测量误差, 但该文献对危化品加料仍有冲击存在, 修正的气动驱动原理见图 4。图 4a 中, 快加料气缸进气调速阀 T_1 是由定差减压阀和节流阀组成, 随着加料门开度增大, 加料门与料仓中物料接触面积越来越小, 气缸 Q_1 所受的阻力也越来越小, 而通过调速阀 T_1 内的压缩空气流量保持恒定, 即加料门的打开是匀速的, 其下料量也为等加速增加。在图 4b 中, 随着加料门开度减小, 加料门与料仓中物料接触面积越来越大, 气缸 Q_1 所受的阻力也越来越大, 而通过调速阀 T_1 内的压缩空气流量仍保持恒定, 即加料门的关闭是匀速的, 其下料量也变为等减速减小。加料流量与时间关系见图 5。

图 5 中, $0 \sim t_1$ 为快加料门完全打开时间段, 对应的加料曲线函数为 $q_1(t)$, $t_1 \sim t_2$ 为加料门开度最大的时间段, $t_2 \sim t_3$ 为加料门关闭的时间段, 对应的加料曲线函数为 $q_2(t)$, $t_3 \sim t_4$ 为慢加料时间段。 q_1 为快加料门完

全打开时的单位流量、 q_2 为慢加料门时的单位流量。可得出加料时间段的加料流量表达式为:

$$Q = \int_0^{t_1} q_1(t) dt + q_1(t_2 - t_1) + \int_{t_2}^{t_3} q_2(t) dt + q_2(t_4 - t_3) \quad (1)$$

由式(1)可知, 在整个快加料过程中, 下料量是连续的, 充填物料对计量容器无瞬间大冲击, 表明此加料方式, 能满足危化品安全加料要求。

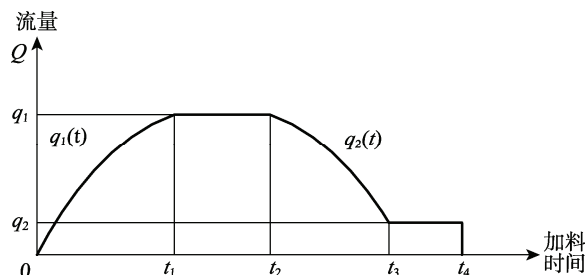


图 5 加料流量与时间关系
Fig.5 Relationship between feeding flow and time

5 加料装置的结构实现

其三维模型见图 6。在图 6 中, 加料装置的内壁光滑, 无凸起、翘曲、光孔和螺纹孔。各运动件之间固定牢靠、无相对运动; 驱动密封室与加料密封室之间无气体交换, 且驱动密封室内通入正压空气, 外界粉尘无法进入驱动密封室内。加料密封室两侧壳体上开了 2 个抽气口, 采用负压抽气方式将室内粉尘抽出到室外, 降低粉尘聚集量, 消除静电生成。

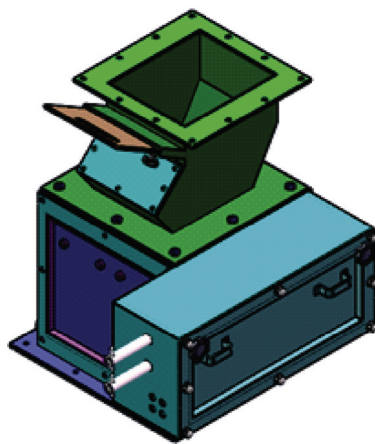


图 6 加料装置的三维模型
Fig.6 The 3D model of the feeding device

6 结语

针对小颗粒状危化品的理化特性, 提出了重力三段式连续变流量加料的工艺方案, 并对加料装置的主要结构和技术参数进行了优化, 该技术对于我国目前小颗粒状危化品的包装生产具有重要意义, 并且已在特定领域得到应用。

参考文献:

- [1] 肖兴志, 郭启光. 中国危化品安全事故频发之谜——基于佩尔兹曼效应视角[J]. 财经问题研究, 2012(11): 31—37.
XIAO Xing-zhi, GUO Qi-guang. The Mystery of the Safety Accidents of Dangerous Chemicals in China—Based on the Perspective of Pelzman Effect[J]. Finance and Economics Research, 2012(11): 31—37.
- [2] 万敏, 陶强. 危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 103—106.
WAN Min, TAO Qiang. Development of Dangerous Goods Packaging and Discussion on Common Quality Problems[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 103—106.
- [3] 傅欣, 刘玉生. 危险品包装技术研究[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 38—40.
FU Xin, LIU Yu-sheng. Study of the Packaging Technology of Dangerous Product[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 38—40.
- [4] 周建伟, 王振林. 危险品包装的安全监督与检测技术[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 52—55.
ZHOU Jian-wei, WANG Zhen-lin. The Safety Supervision and Inspection Technology for Dangerous Goods Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 52—55.
- [5] 张少岩. 危险化学品包装[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
ZHANG Shao-yan. Packaging of Hazardous Chemicals[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [6] 刘士林. 火炸药包装用纸桶的研究[J]. 包装工程, 1994, 17(1): 8—12.
LIU Shi-lin. The Study Used Explosives Packaging Carton[J]. Packaging Engineering, 1994, 17(1): 8—12.
- [7] 刘玉祥. 发射药包装用复合纸桶现状与国内外纸桶对比[J]. 包装工程, 1995, 18(6): 24—26.
LIU Yu-xiang. The Comparison Between Propellant Packaging Composite Paper Barrel Status and Drum at Home and Abroad[J]. Packaging Engineering, 1995, 18(6): 24—26.
- [8] 王宏, 李松, 董新东. 基于ANSYSLS-DYNA的固体食品包装袋空投着陆过程仿真[J]. 火力与指挥控制, 2016(8): 177—180.
WANG Hong, LI Song, DONG Xin-dong. Study on Simulation of the Airdrop Landing Process of Solid Food Packaging Bag Based on ANSYSLS-DYNA[J]. Air Force Airborne Academy, 2016(8): 177—180.
- [9] 王帆, 黎厚斌, 张国全, 等. 危化品双层包装袋内袋扎口装置的设计[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(1): 36—38.
WANG Fan, LI Hou-bin, ZHANG Guo-quan, et al. Design on Inside Bag Enlacing Device of Hazardous Chemicals in Double Bags[J]. Packaging and food machinery, 2016(1): 36—38.
- [10] 胡俊, 朱景辉. 粉末物料自动加料装置的设计[J]. 上海化工, 2011, 36(9): 23—25.
HU Jun, ZHU Jing-hui. Design of Automatic Feeding Device for Powder[J]. Chemical Industry in Shanghai, 2011, 36(9): 23—25.
- [11] 蔡芬, 熊烽, 陈文全, 等. 细粉加料装置料腔内气相流场的数值模拟[J]. 机械设计与制造, 2011(6): 208—210.
CAI Fen, XIONG Feng, CHEN Wen-quan, et al. Numerical Simulation of Mechanical Design and Manufacturing of Gas Phase Flow Field in Fine Powder Feeding Device Material Cavity[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(6): 208—210.
- [12] 孙伟博, 王燕, 李治明, 等. 现场混装炸药车螺旋计量控制优化[J]. 矿山机械, 2013, 41(7): 23—25.
SUN Wei-bo, WANG Yan, LI Zhi-ming, et al. Optimization on Screw Metering Control of Onsite Mixed Explosive Vehicle[J]. Mining machinery, 2013, 41(7): 23—25.
- [13] 张西良, 路欣. 电磁振动给料器工作特性分析及应用[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 92—95.
ZHANG Xi-liang, LU Xin. Characteristics of an Electromagnetic Vibration Feeder and Its Application[J]. Chinese Journal of agricultural machinery, 2003, 34(5): 92—95.
- [14] 张国全, 方忠华, 董结. 固状食品物料特性对包装机充填方式的影响[J]. 中国包装, 2007, 27(1): 64—65.
ZHANG Guo-quan, FANG Zhong-hua, Dong Jie. The Influence of the Characteristics of Solid Food Material on Packing Machine Packing Method[J]. China packaging, 2007, 27(1): 64—65.
- [15] 张国全, 董结. 重力称重式充填机三段式加料系统原理的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(6): 188—189.
ZHANG Guo-quan, DONG Jie. Research on the Principle of the Three Stage Feeding System for Gravity Weighing Filling Machine[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 188—189.