

# 农业纤维物料压缩研究发展现状

王春光<sup>①</sup> 杨明韶 高焕文  
(内蒙古农牧学院) (机械工程学院)

**摘要** 全面分析了国内外关于农业纤维物料压缩研究的现状,指出了存在的问题,即:1)过去的研究多属“闭式”压缩试验研究;2)理论研究与实验脱节;3)对压缩过程中的影响因素考虑得不够全面;4)对压缩过程中被压缩物料的流变学特性研究不够。同时指出今后应加强研究的几个方面:1)以不同喂入量、不同压缩频率压缩时的蠕变和应力松弛问题;2)压缩室内草片和草捆在不同位置时的蠕变和应力松弛问题;3)草捆从压缩室出口释放时的膨胀和张力;4)综合考虑压力、压缩频率、喂入量、压缩室长度和草捆长度等对压缩过程的影响。

**关键词** 农业纤维物料;压缩;流变性

**中国分类号** S226.7; S817.1

## Compression of Agricultural Fibrous Materials

Wang Chunguang Yang Mingshao  
(Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry)  
Gao Huanwen  
(College of Machinery Engineering, CAU)

**Abstract** The state-of-the-arts on compression of agricultural fibrous materials at home and abroad is reviewed. Some problems are pointed out, those are: 1) In most of the studies, compression of agricultural fibrous materials were made only in closed-end dies; 2) Theoretical study is separated from the practice; 3) Some factors affecting compression are not considered overallly; 4) Only simple rheologic characteristics of agricultural fibrous materials during being compressed is studied. Some study directions to be taken in the future are pointed out: 1) Creep and relaxation of agricultural fibrous materials should be studied during compressing in different charge amount and different compressing frequency; 2) The creep and relaxation of straw pieces and bales at different position in the chamber should be studied; 3) The expansion and tensile stress of a bale should be studied when it is released from chamber; 4) The factors, include pressing force, compressing frequency, charge amount, chamber length, bale length, humidity and power consumption, should be considered synthetically.

**Key words** agricultural fibrous materials; compression; rheologic characteristics

收稿日期:1996-08-18

①王春光,中国农业大学机械工程学院在职博士生,现工作单位为内蒙古农牧学院机电工程系,010018

农业纤维物料不仅是发展畜牧业的基础,而且可用来开发生物能源,制作建筑装璜材料、生物薄膜和造纸,提取乙醇、叶蛋白和维生素等;因此农业纤维物料资源的开发利用已受到世界各国的普遍关注。在农业纤维物料的开发利用中,首先遇到的最基本的问题之一是,这类物料松散,体积大,密度小,不便于运输、储存和加工。解决这个问题最基本的方法是压缩。

1870 年左右美国人设计了第一台固定式捆草机<sup>[1,2]</sup>。本世纪 30~40 年代,捡拾压捆机研制成功,第二次世界大战以来得到了迅速发展<sup>[2]</sup>,50~60 年代美国低密度捆草机拥有量达 70 多万台,法国 42 万多台。据统计,我国北方草原每年生产约 1 000 多万 t 牧草<sup>[1]</sup>,只有很少部分采用压捆收获。随着牧草的商品化和出口,压捆收获将会迅速发展,特别是高密度压捆生产;但高密度压捆机的设计、压缩过程分析和生产工艺等均有待于进一步研究。

## 1 国内外研究现状

1938 年西德学者 Skalweit 首次开始研究在密闭容器内低速压缩农业纤维物料<sup>[2]</sup>,在这之后,英国、美国、加拿大、日本、波兰等国及我国的学者也都对农业纤维物料的压缩过程进行了研究<sup>[3]</sup>。这些研究主要是从不同的角度出发,探讨不同压缩方式下压缩力与密度、压缩力与压缩量及密度与湿度之间的关系。其中,西德、前苏联、波兰及中国的学者主要研究压捆过程,英国、美国和加拿大等国的学者主要研究压块和压饼过程,日本学者主要研究粉体农业纤维物料的模压成型过程。

在压缩过程中,农业纤维物料的蠕变和应力松弛等流变特性受压缩频率、喂入量、压力等的影响,对草捆密度和质量有重要影响,可见农业纤维物料的压缩过程广泛涉及到塑性、粘塑性、粘塑性和流变学等方面的内容;因此近年来国外一些学者也开始从弹性、塑性、粘弹性、粘塑性和流变学等方面研究农业纤维物料的压缩问题。英国学者 Rehkugler 和 Buchele 最早提出在制作青饲料压块时考虑青饲料所具有的生物力学特性<sup>[4]</sup>,他们分析了在闭式压模内压缩青饲料的情况,并提出如图 1(a)所示的流变模型。图中上部的 3 个力学元件描述了当一个阶跃力突然作用在被压缩物料上时,物料产生的不可恢复的永久变形和弹性变形,其中不可恢复的永久变形是由于清除物料之间的气隙造成的;下部的 2 个力学元件描述了在该阶跃力作用下被压缩物料随时间所产生的变形。美国学者 Mohsenin 利用多个用于描述粘性材料松弛问题的 Maxwell 流变模型建立广义 Maxwell 模型,描述青饲料和木屑在压缩过程中的应力松弛和蠕变现象(图 1(b))<sup>[5]</sup>。大多数学者利用用于描述线性粘弹性的 Bugess 模型来描述农业纤维物料的压缩流变过程,如图 1(c)所示<sup>[6]</sup>。以上各模型都认为农业纤维物料被压缩时的响应与所施加的压力

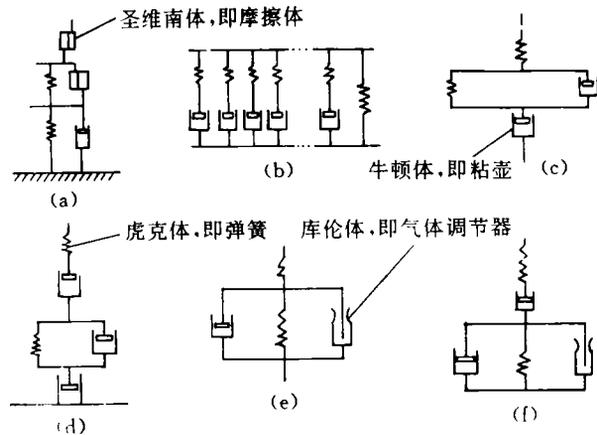


图 1 农业纤维物料压缩流变模型

成正比,但实际情况并非如此。1984年加拿大学者 Bilanski 和 Graham 认识到这一点,他们用一个普通的 Maxwell 模型代替了原 Bugess 模型中用于描述开始压缩时被压缩物料响应的弹簧元件,如图 1(d)<sup>[7]</sup>。英国学者 Faborode 分析了用于描述固体物料流变特性的 Peleg 模型(图 1(e))<sup>[8]</sup>,他认为松散农业纤维物料实际上是物料与物料间气隙的组合,所以他对现有的 Peleg 模型进行了改进,用一个普通的 Maxwell 模型代替了原 Peleg 模型中的弹簧,如图 1(f)所示<sup>[5,9]</sup>,增加粘性阻尼器的目的是为了模拟开始压缩时因消除农业纤维物料间的气隙而出现的不可恢复变形和开始压缩时的非线性响应。

研究农业纤维物料压缩过程时采用的压缩模式基本可分为“开式”压缩和“闭式”压缩 2 类。所谓闭式压缩,是指用一个柱塞对装入一端封闭的压模内的农业纤维物料进行压缩,使其成型并达到一定密度,然后取出被压缩后的物料,装入新物料再进行压缩的过程,这种压缩过程接近于农业粉状纤维物料模压成型的情况;而开式压缩是用一个柱塞对压缩室内的农业纤维物料进行压缩,克服压缩室与物料间的摩擦力推动物料向压缩室出口方向移动,然后边喂入边压缩,被压缩后的牧草随压缩过程的进行自动离开压缩室。农业纤维物料的实际压缩过程就属开式压缩过程。国外还有一些学者利用“闭式”压缩原理,从宏观定性角度对农业纤维物料在压缩过程中的流变特性进行了研究,并根据广泛用于分析粘弹性材料粘弹特性的 Maxwell 模型、描述材料延迟特性的 Kelvin 模型、描述粘弹性材料粘弹特性的 Bugess 模型和描述固体材料流变特性的 Peleg 模型,建立相应的农业纤维物料流变模型<sup>[5]</sup>。这些研究为农业纤维物料压缩过程的理论分析,为各类农业纤维物料压缩设备的设计研究提供了一定的理论依据,对农业纤维物料的压缩生产起到了一定的指导作用,但仍存在一些问题。

## 2 存在的问题

农业纤维物料压缩研究中尚存在如下一些问题。

1) 多属闭式压缩试验研究。迄今为止,对农业纤维物料的压缩过程所作的试验研究多是在试验室内,利用专用闭式压缩试验模型进行的,多属于闭式压缩。闭式压缩属间断工作方式,这不仅不同于农业纤维物料很多压缩设备(如压捆机)的实际工作情况,更不能对压缩过程中各次压缩的样本在不同时刻的压缩状态进行测试与分析研究。国内学者虽然多数是在真正的压缩设备上,采用开式压缩方式进行试验研究,但是只是研究不同喂入量下压缩力与密度以及压缩力与压缩量之间的关系,而且只是在每次喂入新的样本后从宏观角度进行研究,并未对压缩过程中各个样本在不同时刻的压缩状态进行试验研究。这显然是不够的,因为在实际压缩过程中,压缩室内的每个草捆乃至每个草片对压缩过程均有重要影响。

2) 考虑的因素不够全面。研究中主要论及的是压力与密度之间的关系,但在实际压缩过程中,压力、喂入量、压缩频率、压缩室长度和湿度等均有较大影响,只有对这些影响因素进行系统研究,才能真正揭示农业纤维物料的压缩规律。

3) 对压缩过程的流变特性只进行了一般趋势分析。近年来,国外一些学者对农业纤维物料的压缩研究已涉及到农业纤维物料的弹性、塑性、粘弹性以及流变学等方面的内容<sup>[10-11]</sup>,这确实为压缩过程的全面分析研究提供了新的方法,增加了新的内容,但是从目前的研究情况来看,均是借助几个理想的力学元件(虎克体、圣维南体和牛顿体)和前人在流变力学研究中建立

的几个模型(Maxwell模型、Kelvin模型、Bugess模型和Peleg模型)<sup>[12]</sup>,或将这些模型作一些改进后作为农业纤维物料压缩过程的流变模型,对压缩过程中的蠕变和松弛问题进行定性分析。

4)理论与实际脱节。这方面包括以下几点。

a. 所用压缩模型的结构参数与实际压缩设备脱节。目前国内外学者在研究农业纤维物料的压缩过程时,多采用内径为25.0~86.5 mm的闭式压缩模型,这与实际压缩设备的模孔参数有很大差异,特别是与压捆设备的差异更大(一般压缩室的截面积为360 mm×460 mm)。

b. 研究内容与实际生产脱节。目前对农业纤维物料压缩过程的试验研究多属于纯理论研究,多数研究成果并未真正用于指导生产实际,特别是对农业纤维物料压缩流变特性的研究,仅对被压缩物料本身的流变特性进行研究,并没有将农业纤维物料的特性与压缩设备的设计和参数的确定联系起来,没有与农业纤维物料的压缩工艺和生产过程结合起来。

在对农业纤维物料压缩过程进行的流变特性分析中,英国学者Faborode的研究是目前的最新成果<sup>[5]</sup>。他认为在开始压缩时农业纤维物料是固体粒子与物料间空气隙的组合,所以他采用了Peleg关于固体物料压缩的流变模型。实际上除物料间的空气隙外,农业纤维物料内部也有一定的空隙和浆液,所以将农业纤维物料视为固体物料的假设欠妥。

由于现在对农业纤维物料压缩过程的研究存在上述问题,因此很有必要进行再深一步的研究,主要应考虑以下几方面的内容。

### 3 应加强研究的内容

1)喂入量和压缩频率对物料应力松弛和蠕变的影响。农业纤维物料在压缩过程中必然会产生蠕变和应力松弛现象,而且蠕变和应力松弛与喂入量、压缩力、压缩频率以及物料本身的特性有密切联系,所以应研究不同压缩频率下喂入量对物料在压缩过程中的蠕变和应力松弛的影响,确定松弛时间、最佳喂入量和最佳压缩频率。

2)草片和草捆在压缩室内的位置对蠕变和应力松弛的影响。在农业纤维物料压缩过程中,不仅最新喂入的物料在压缩过程中会产生蠕变和应力松弛,而且在压缩室内的每个草片和草捆都会产生不同程度的蠕变和应力松弛,从而对能耗、生产率、密度以及草捆质量等产生影响。对压缩室内草片和草捆在压缩过程中的蠕变和应力松弛进行分析,研究其影响程度和规律,可为压缩频率、压缩室长度、捆束位置以及喂入量等参数的正确选择提供理论依据。

3)草捆从压缩室出口释放时的膨胀和张力。被压缩后的草捆在离开压缩室出口的瞬间必然会迅速恢复压缩过程中的部分变形,使捆绳受到较大的张力。若捆绳选择不当,草捆常常在离开压缩室出口的瞬间破坏捆绳而出现散捆现象。通过此项研究,可为捆绑机构的设计、捆绳的选择以及捆绳标准的制定提供理论依据。

4)草捆离开压缩室后的应力松弛。草捆离开压缩室后随着时间的延续必然产生应力松弛,从而对草捆的质量和运输等产生一定的不良影响。通过此项研究可以为最佳喂入量、草捆在压缩室内的最佳停留时间、压缩室长度、最佳草捆长度和最佳压缩频率等参数的确定提供理论依据。

5)物料的流变模型和流变参数。根据试验结果提出所试验压缩物料在压缩过程中的流变

模型和流变方程,在此基础上确定相应的流变参数,为新型压缩设备的开发研究和现有压缩设备的改进研究提供理论依据。

### 参 考 文 献

- 1 王春光. 牧草压缩理论发展现状. 畜牧机械, 1989, 2: 15~17
- 2 Kanafojski Cz, Karwowski T. Agricultural Machines, Theory and Construction. Washington D C: Foreign Scientific Publisher, 1976. 134~147
- 3 杨明韶, 李旭英, 杨红蕾. 牧草压缩过程的研究. 农业工程学报, 1996, 12(1): 60~64
- 4 Rehkugler G E, Buchele W F. Biomechanics of forage wafering. Trans of ASAE, 1969, 12(1): 1~8
- 5 Faborode M O, O'Callaghan J R. A rheological model for the compaction of fibrous agricultural materials. J Agri Engng Res, 1989, 42: 165~178
- 6 Graham V A, Bilanski W K. Non-linear viscoelastic behavior during forage waferies. Trans of ASAE, 1984, 27(6): 1661~1665
- 7 Bilanski W K. A viscoelastic model for forage wafering. CSME, 1984, 8: 70~76
- 8 Peleg K A. Rheological model of nonlinear viscoelastic solids. J of Rheology, 1983, 27: 411~431
- 9 Faborode M O, O'Callaghan J R. Optimizing the compression/briquetting of fibrous agricultural materials. J Agri Engng Res, 1987, 38: 245~262
- 10 Faborode M O, O'Callaghan J R. Theoretical Analysis of the compression of fibrous agricultural materials. J Agri Engng Res, 1986, 35: 175~191
- 11 O'Dogherty M J. A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. J Agri Engng Res, 1989, 44: 241~265
- 12 袁龙蔚. 流变力学. 北京: 科学出版社, 1987. 50~79