

颗粒料制作和粉料调质问题的探讨

Keith C. Behnke 教授美国堪萨斯州立大学谷物科学和谷物工业系

前言

二十五年前,我们中间很多打算进入饲料业的人都被告知制作颗粒料是一条死路。这是由于当时笼罩着西方世界的能源危机。当时只是认为未来的能源价格会过于昂贵因而制作颗粒料简直是浪费。如今我们每年的颗粒料产量比以往任何时候都高,颗粒料在饲料总产量中所占的比例也比以往任何时候都高。这在一定程度上是由于能源的相对价格下降了,但主要还是因为畜禽饲养者认识到了饲喂颗粒日粮对畜禽的性能有很多好处。随着畜禽饲养业综合经营程度的提高,饲养业都必然地转为使用颗粒料,他们认为颗粒料制作是一种有活力的加工方法,可用以提高饲料的营养价值。但是,在许多情况下,颗粒料都制作得非常差,不过这一加工方法仍然在普遍采用。

据文献报道,最近许多研究都证明了,饲料的性能可随颗粒料质量的改善而得到提高。此外,我们中间很多与饲料加工商合作的人都感到,颗粒料的质量是非常重要的问题,饲料公司也愿意花费时间和资金来解决这一问题。然而,关于影响颗粒料质量的各种因素有着什么样的重要性,在人们中间却存在着大量的误解。影响颗粒料质量的最重要的因素是:饲料配方(40%)、研磨(20%)、调质(20%)、压模选用(15%)以及冷却和干燥(5%);写在前述每一个因素后的百分数代表了该因素在颗粒料总体质量中所起作用的相对大小。重要的是要看到,配方加上研磨,可在粉料到达制粒机之前就已经决定了颗粒料质量的60%。因此,许多颗粒料质量问题不可能通过改进调质方法和选用适当的压模而得到解决。这决不会阻止我们进行改进质量的努力,也决不会使颗粒料加工系统和操作人员不因出厂颗粒料质量太差而受到责难。

本文的目的不是对每一个影响颗粒料质量的因素进行详述,而只是集中讨论一个问题,那就是调质。虽然调质远比压模或压辊表面的选用更为重要,但这一过程常常受到忽视,业内多数人士对其的理解都很差,无论是设备供应商还是饲料加工者都一样。

近年来发生的大量变化影响着我们对于调质问题的感觉。比如,当前的许多日粮与前几年相比,其中谷物的用量都比较少,而是用了较多的副产品。许多副产品,比如动物蛋白质粉、玉米面筋粉、面包房下脚,等等,甚至劣质全棉籽,都已被用到了当前的日粮之中。调质对许多这类原料所起的作用,都没有对谷物粉和大豆粕的作用那么有效,因此我们常常见到机器负担过重、生产率下降以及/或者颗粒料质量太差。

此外,营养师经常在日粮中添加高水平(>1.5%)的油脂,但却几乎毫不了解这会对颗粒料的质量产生什么样的影响。许多饲料厂都被迫使颗粒料的生产量

增加到大大超过加工设施的额定设计能力,以满足销售量增长的需要以及动物饲喂的要求(对大型综合性企业而言)。在有些情况下,粉料中的油脂量常会超过动物的营养需要量却只不过是增大颗粒料生产系统的生产量。这种做法对颗粒料质量的危害是显而易见,但却不得不就用这样的颗粒料去喂猪和喂鸡。

重要的是,我们的许多投入都会对颗粒料的质量产生负面影响,但我们生产的颗粒料却应该是能够耐受任何恶劣条件而在到达动物面前时仍能保持原样。要对于调质过程具有良好的理解从而能按要求的生产率生产出质量最优的颗粒料,我们还有很长的路要走。

“调质”的定义

调质,至少从我们的角度来看,包括对离开了搅拌机而到达制粒机压模室之前的粉料所施加任何加工措施或所施用任何添加成分。因此,调质,就包括了添加水和/或蒸汽、膨化、压榨、预制粒、“熟化”,等等。对前述的每一种措施,都将在后文中加以讨论,但我们应该知道,在调质期间所做的任何事情都应该是为了对粉料进行准备使其适宜于接受最终的加工(制粒)。所采用的无论是哪一种调质措施都必须以最优的方式执行,以便能以最合理的生产率生产出质量最优的颗粒料而不显著破坏日粮中已有的养分。从以上的讨论中可以看出,这是一项困难的任务。

尽管有了各种各样调质方法,我们还应该认识到,这些方法中每一种都有其优点,同时每一种也都有其应加以注意的缺点或负面影响。下文将对每一种调质法进行讨论,讨论其优点和缺点,并就如何适当地对这些方法加以利用,以便生产出质量最佳的颗粒料而提出我们的建议。

各种调质方法的介绍

常压调质器

本文将制粒系统常用的典型调质器称为“常压调质器”(atmospheric conditioner)。如其名称所显示的那样,这类调质器是在大气压力下工作的,并且通常就处在环境条件之下。一般来说,大气调质器基本上是单缸的,其上安装了一个搅动轴。缸体尺寸随设计的不同而异,总的来说,其直径为15-30英寸,长度为5-15英尺。搅动轴上通常有钻孔,以便安装若干可调节或可更换的桨叶。

调质器的功能是为蒸汽和原料粉料的密切接触提供条件。前一篇文章已经讨论了有关蒸汽的质量以及如何管理好蒸汽系统的问题,此处不再对此作进一步的讨论。然而,对于蒸汽与原料粉料之间如何相互作用的问题有所理解,对于理解和管理制粒系统的问题是极为重要的。

蒸汽调质:在制粒加工过程中应用蒸汽,主要是因为蒸汽具有通过冷凝而携带和传送热量的独特能力。如果仅仅为了添加水分,那么采用一根浇花用的水管接上水龙头就比应用蒸汽更为经济;同样,如果仅仅为了获取热量,那么采用直接燃气炉就比采用锅炉更为价廉。然而,我们在调质过程中需要的大量的热和水分,目标是一个非常的精细的场所——原料粉料中每一个粒子的表面。因而,蒸汽是唯一能担此重任的实用方法。

使相对较凉的粉料粒子与蒸汽密切接触，蒸汽中的热量就会传递给粉料粒子，使这些粒子的温度升高。蒸汽每传递970英热单位（BTU）的热量给粉料粒子，就会有1磅水凝结于粉料粒子的表面。这一现象就象潮湿空气中的水蒸汽凝结于冰冷的饮料罐上的现象。如果读者能够充分理解这一概念，那么他对大气调质过程的充分理解也就唾手可得了。这是调质过程中发生的最基本的过程。

原料粉料粒子表面一旦发生了液体冷凝，热量和水分就都开始进入粒子内部，因为粒子表面和内部之间存在温度差和湿度差。理解了这一点，就可以理解“陈化扩散原理”（age-old principle of diffusion），按照这一原理，物质（这里就是热量和水分）会从浓度高的区域移向浓度低的区域。蒸汽冷凝时释放出的热量就为驱动这一移动提供了能量。

谷物、蛋白质饼粕和其它常用原料，通常都具有良好的绝热特性（热传导系数很低），所以热量和水分在其中的移动都比较缓慢。这样就发生了大气调质最佳化的问题，这主要牵涉到原料粉粒子的大小和原料的滞留时间这两个问题。

原料粉的粒子大小：如果以上所述热量和水分的移动都很缓慢的看法是确实的，那么顺理成章的就是，粒子愈小，则在一定时间以内热量和水分就能愈彻底地穿入到粒子的核心部位。相反，粒子若比较大，那么热量和水分就不能充分穿入具有比较坚硬和干燥的核心的粒子内部，这样的粒子就不会有足够的弹性以形成良好的颗粒料。

众所周知，粉料粒子的总表面积会随粒子大小的减小而增大。这一概念是极为重要的，因为蒸汽就是冷凝在这一表面上的，并且由此可见，总表面积愈大，则相对于每单位粉料重量的冷凝水量也就愈大。

颗粒料的质量常因原料磨得较细而得到提高，主要的原因就在于细磨粉的粒子较小（热量和水分向粒子内部移动得较快），而粒子的总表面积较大（蒸汽冷凝的水较多）。若要使大气调质达到最佳那么我们就应该尽量将原料磨细。

滞留时间：如前所述，我们所用的大多数原料都有着很高的绝热值，因此热量和水分都要经过一定的时间才会穿入到每一个粒子的核心。所能利用的时间仅限于一个粒子穿过调质室所用的时间，这一时间就被称为“滞留时间”。

滞留时间的测定并不容易，也不容易测定得精确，因而，滞留时间实际上代表的是所有粒子在调质室内的平均滞留时间。可以关上进料斗同时启动秒表从而粗略地测定滞留时间。制粒内的物料量开始减少时立即观察秒表读数。采用这种方法，就可对物料在调质室内的滞留时间得到一定的印象。其它测定法包括，向料斗颈注入染料，然后每2秒钟一次由调质室内采集样品。可以见到，随着时间的推移，样品内的色泽深度先是加深，然后减弱。将见到最深颜色时的时间作为平均滞留时间。采用铁粒子追踪剂也可得到类似的结果。

测定滞留时间的目的在于，若要获得最佳的调质效果，滞留时间也必须最佳才行，因而我们就必须知道从何处着手来解决这一问题。

这就提出了一个问题：最佳滞留时间实际上应该是多长呢？这个问题从未得到过充分研究，但多数研究的结果都表明调质时间在30-90秒之间时颗粒料的质量和产量都会得到改善。所以，如果进行适当的调整，就都会有确实的机会使颗

粒料的质量得到提高。你必须了解调整之前的状况，以便确定作出的改变所起的作用是有利的还是不利的。

增加滞留时间的几种选择：粉料通过调质室的速度受到两个因素的影响：1) 桨叶的角度；2) 搅动轴的转速。可以通过对这两者的调整而实现最佳滞留时间。

桨叶的角度：一般来说，OEM调质器的桨叶在制造厂内就已设置成了前倾30-45度角。换句话说，随着搅动轴的转动，所有的桨叶就将粉料驱赶向出料口。如果搅动轴的速度较快（大于每分钟150转），可将桨叶的角度减小到比较中间的位置（5-15度）。换句话说，可以将桨叶的角度设置到几乎与搅动轴垂直的位置。这样就可减弱每个桨叶的“泵出”作用从而延长滞留时间。

在慢速（每分钟80-100转）调质器，桨叶可设置为与搅动轴更为平行的位置（与搅动轴成5-15度的夹角），这一角度可将粉料掀起来从而将其带到调质缸内四周。

设置桨叶的工作在最好的情况下也只是一个调试着进行的过程。要注意的是，应使进料口处（即在调质缸体的前四分之一处）的桨叶保持在出厂时设置的位置上。这样可确保粉料被迅速向前驱赶入调质器从而形成一个空虚的区域以便于蒸汽进入调质室。桨叶角度的调整应在调质器长度方向上中央约50%处进行。我们的建议是，桨叶的设置应能使粉料在调质器内仅占据调质器总容量的70%。调质器内粉料太满就会阻塞进料斗从而发生机械损坏。此外，操作人员应该认识到，延长粉料的滞留时间会增大调质器驱动马达的负荷从而造成过载。在马达负载情况下测定其流出的电流，然后进行调整，就可解决这一问题。

搅动轴转速：第二个可加以优化的因素就是搅动轴的转速。在谈论改变搅动轴转速之前，应该先说明两种普遍采用的做法。有些工程师主张采用一种称为“抖床”（stirred bed）调质的做法而另一些工程师则采用“液床”（fluidized bed）调质法。搅动轴高速转动（液床法）会使粉料在通过调质室的过程中被掀起来，目的是迫使粉料粒子进入调质室的顶部从而得以接触该处的游离或过量的蒸汽，这样就会有较多的蒸汽冷凝在粉料粒子上，蒸汽也可因此而得到比较充分的利用。

搅动轴慢速转动会让粉料沉积在调质室底部而被“轻柔”地推过调质室。这显然会延长粉料的滞留时间，但会使调质室上部的蒸汽得以自由流动而得不到利用。

许多设备供应商在10-15年前放弃了30年前常用的慢速法而采用了快速法，而如今多数又都回头采用了慢速法。调质器设计的要点是要使引进的蒸汽得以密切地与较凉的粉料相接触从而立即发生冷凝。这就需要在调质器外壳上有多个进气口或者有一个较长的缝隙供蒸汽进入。无论采用什么样的进气口，这些进气口都应保持通畅以便使蒸汽以较低的速度进入从而不会过快地穿过粉料。在调节搅动轴的转速方面没有什么特别的法则可循，只是转速不应过慢以便粉料能够得到较好的搅动并且通过调质室的速度不致过低。应避免使转速低于每分钟80转以免粉料搅动不良以及通过的速度过慢。

可通过更换传动皮带和皮带轮或在驱动马达上安装变频控制器（VF controller）来改变搅动轴的转速。由于几乎不可能只试一次就得到所需的转速，

所以在有可能时,采用变频驱动是最佳的选择。另有一种可能是,不同的饲料需要不同的转速,原料的季节性变化也可能要求不同的转速。若厂内有不止一台制粒机,那么可仅在一台上安装变频控制器,待测出最佳转速后就可将其它机器上搅动轴的转速也固定在这一转速。

无论在什么情况下都应该认识到,这两个影响因素——桨叶的角度和搅动轴的转速——是相互关联而非相互独立。的进行精心的研究并保持详细的生产记录,就可获得最令人满意的结果。

调质期间的加水:现已充分认识到,水是颗粒料形成过程中起粘合作用的一种重要成分。如前所述,在典型的制粒过程中,唯一加入的水分是以蒸汽的形式加入的。笔者感到,在美国,多数地区每年至少有6-8个月的时间在制粒过程中水分均显不足。在玉米为主要谷物的地区,每年新玉米开始到来时其中总是存在过量的水分。然而,随着时间的推移,储存的谷物逐渐到达市场,这时收到的谷物就比较干燥。

根据饲料配方的不同,调质最佳的粉料中湿度约为16.0-17.5%,其中4-5%来自调质过程。有时候,若不达到湿度上限水平就不能达到目标温度。还有些时候,谷物比较干燥,其温度也比较高,这时若不超过目标温度就不能使足量的蒸汽进入粉料。在谷物收获年度的晚些时候,在调质过程中增加1-2%的水分有利于提高颗粒料的质量和生产率。关于加入多少水分,何时加入,以及如何加入的问题,还没有得到充分的研究;然而,我们应该考虑到,在谷物收获年度的晚些时候生产出的颗粒料其质量是否会较差。关于何时加入的问题,我们可有若干个选择,比如加入搅拌机,或是加入调质室。究竟何时加入为好,应在当地通过试验来确定。

其它类型的调质器

二通调质器或三通调质器:为了延长和控制滞留时间,有时候可以使用二通调质器或三通调质器,尤其在生产水产动物饲料时更常采用此法。基本上,在制粒机上方叠加2-3个标准调质器就可达到目的。变速驱动、多重蒸汽注入口以及蒸汽加热套,都是可供选择的各种设计。

二通或三通调质器相对于单一的大容量调质器来说,其独特的优点是同样可保持“先进-先出”的顺序。与比较新颖的调质法相比,这种方法还有成本比较低廉的优点。制粒机上方要留有足够的净空以便于进行安装。

蒸汽套调质器:对于外套的状况、传送机或者调质室都作出许多改进,产生了不同程度的效果。采用这种调质法的基本概念是,使用蒸汽套就可在加热时不加入过多的水分。这当然是一种很好的想法,但在实践中却是很难做到的。失败的原因就在于热量只通过调质器壁的表面传给粉料,然而这一表面积与容量之比通常是很低的,以至于没有多少热量可传递给粉料,在调质器容量较大时更是如此。

压力调质:这是制粒中的一种新概念,目前正在对其进行现场试验。其基本概念是,提高调质室内的工作压力。调质室内的压力提高了,就可获得212华氏度以上的调质温度。这一概念的原理是热平衡定律,简单点说,就是高压可迫使水

分和热量比在大气压下更快和更彻底地进入产品。使粉料进入和离开高压调质室的难度是显而易见的。离开的问题，可通过使压模室和压辊也成为高压区的一部分而加以解决。进口处则用装有弹簧的压力板盖住以保持压力，进料时则由饲料将其顶开。

现场研究的初步结果是很有希望的。还有一些技术问题需要加以解决，但这些问题都不很严重。

新颖的调质器

当前市场上正在销售的一些比较新颖的调质器——压实器 (compactor) 和膨化器 (expander) 引起了人们的浓厚的兴趣。这两种机器都使用机械能来增加最终制粒之前进入粉料中的热量。采用这种方法，就可不引入过多的水分，从而就可既无高水分带来的压辊打滑以及颗粒料过于潮湿的问题，又可获得高温带来的好处，即提高淀粉的糊化率。以下的讨论可望能帮助读者理解每一种相关调质器的基本概念以及各自的优缺点。

压实器：这是产生于北美的一种比较新的调质概念，但已对欧洲的饲料加工商产生了显著的影响。压实器的基本结构是一个标准调质室外加一个压实室。压实器的调质部分比传统的设计更为坚固耐用，因为转动压实室压辊组件的动力需由调质器轴传递而来。除此之外，其余部分均适用于前述对大气调质器的讨论。

这一新颖调质器的“奥秘”在于经调质的粉料在压辊的压力下被迫通过一个狭窄的具有V形槽的环时发生的压实和剪切。这一概念很难用词语进行描述，但最近一本贸易杂志 (Feed Management, Dec. 1996) 的一篇文章中有一幅图，很好地显示了这一系统的各个部分。

压实室中有一个转动的压辊组件，该组件安装在调质器主轴上。紧挨压辊组件之前有一个很大的支承系统，从而可确保压辊组件的准直和稳固。压辊和V形槽环之间缝隙的调节方法与任何制粒机中的传统压辊调节法相同。

压辊周围围绕着两个很大的环，一个环是固定的，另一个环则是可动的，并且由三个液压缸控制。两环之间的啮合面被机械加工成V形，V形的内侧面的宽度与压辊表面的宽度大致相同，而向外侧面的宽度则逐渐变窄到几乎为零。

运转过程中可通过控制两个环之间的缝隙以增大或减小粉料在压辊的压迫下通过缝隙时受到的压力。通常这一缝隙的大小可调节范围很广，从零到1.25英寸左右。缝隙大小的控制极为重要，必须用一个专门的控制器加以控制。用手工将其调节至最佳状况几乎是不可能的。

压实器具有优于标准调质的若干优点，这可能使人们对其感兴趣。制粒机上方仅需要极小的净空，打开缝隙，这一系统就可以传统的方式运行。这一系统对电力的需要量较大，但比膨化机的耗电量略小。成本也较高，但仍比相当的膨化机略低。

本文作者对于压实器的经验很有限，但本人已观察到，加拿大的一家饲料厂采用了压实器后颗粒料的质量和产量都有显著提高。环和压辊的磨损是个问题，但看来保养的成本是比较低的一个有趣的发现是，每一批饲料加工后的清洗极为容易，最多也用不了10-15分钟。

膨化器：现在已有许多来源的大量资料介绍了膨化技术在调质过程中的应用。如压实器那样，并且事实上也如制粒机本身那样，膨化器中的热量是由机械能转化为磨擦而产生的。大部分磨擦来自粉料粒子相互之间的磨擦，但也有相当大的部分来自粉料粒子与螺杆和缸体表面之间的磨擦。

膨化器，就其主要部分来说，是改良的挤压机，主要的不同在于机上压模的间隙是可变。的精心控制施加于压模锥体部分的压力，就可控制能量的多少，因而也就可控制扩散入粉料中的热量。工作状况可由非常轻柔到相当强烈，通常都可显著提高颗粒料的质量和产量。在多种因素（比如，调质温度、水分的量、日粮配方和饲料粒子的细度）的作用下，粉料中淀粉的糊化程度和蛋白质的可溶度都可得到提高。最终，这些因素都可影响粉料粒子相互间的粘合，从而影响颗粒料的质量。由于减小缝隙而造成流动受限，膨化器可产生每平方英寸500磅以上的压力以及120-130 °C 的温度。在这些条件下的滞留时间为3-5秒，所以粉料物理变化的发生是非常快的。

采用这种方法除了有许多优点（提高颗粒料的质量和产量，并且在多数情况还可提高动物的性能）之外，也还有一些必须加以考虑的缺点，比如维生素效价降低、饲料添加剂（药物）活性丧失以及某些蛋白质的利用率降低。这些问题都还没有得到解决，现在正在对其进行积极的研究。

其它新技术

使人耳目一新的是，制粒加工技术50-60年来一直没有什么变化，但如今新思想和新概念正在开始形成强大的挑战。前述制粒系统的压力即为一例。美国的一家主要的挤压机设备制造公司引进了一个经高度改进的系统，该系统利用了挤压加工的多数长处，同时控制了或排除了其大多数短处，比如高投资、高保养成本以及低生产能力。这一系统基本上是高度复杂的大气调质器和一台短滞留时间的改进型挤压机的结合。在运行过程中，调质器提供滞留和接触时间以优化颗粒料质量，而改进的挤压机部分则提供必要的压力以迫使粉料通过具有适当大小孔洞的压模从而使其形成颗粒料。

与相当的传统制粒-膨化组合机型相比，这一概念具有一些非常独特的优点，颗粒料的质量仍有同样程度的提高。“UP/C”（Wenger制造），如所周知，与无膨化器典型制粒机具有相同的大小，所以其多数型号均无阻塞的问题。可以达到很高水平（>70%）的淀粉糊化，因而可产生质量优良的颗粒料，并且还可能提高颗粒料的耐久力。即使在粉料中加入高水平（>10%）的脂肪，所产颗粒料的质量仍然是可接受的。也许，对商品饲料加工商最有吸引力的特点是其速度以及压模更换的简易性。在多数情况下，若要改变颗粒料的大小，只要花10-15分钟的时间。所以，只要利用清理冷却器的时间就可完成更换压模的事。这实际上等于不需要花时间就可改变颗粒料的大小。

这是一种崭新的技术，尽管显然还需要对其加以深入地思考和研究以便进一步提高其实用性，但这是一个很好的例子，它说明了饲料业目前正变得愈来愈具有动态的特点。

结 语

毫无疑问，调质过程是任何饲料制粒系统中最重要的一部分，尤其对于颗粒料的质量来说则更显其重要性。笔者坚信，这可能也是制粒机操作人员、大多数饲料厂管理人员、以至于设备供应商们理解最差的部分。本文的目的是探讨调质过程中人们理解较差的一些问题，同时指出每一种调质方法各自的优点和缺点。没有任何一种调质方法能够满足所有各种应用目的和应用环境下的一切要求。在多数情况下，并无必要更换整台机器，只要采用一些方法来改进目前型号的机器，就能以尽可能高的生产率生产出质量最优的颗粒料。然而，必须记住，所有与颗粒料质量有关的因素都是相互关联的，因而必须对这些因素加以综合考虑才能取得成功。

(秦崇德 译)