

水产饲料生产技术¹

AQUAFEED MANUFACTURE

过世东 博士, 无锡轻工大学

水产饲料的种类

我们将所有水生动物的饲料笼统地称为水产饲料。它包括海水和淡水中各种鱼、虾、蟹、贝等动物的饲料。水产饲料如按其饲喂对象分类可分为对虾饲料、甲鱼饲料、青鱼饲料……等等数万种。但如按水产饲料的加工方法及饲料的形态来分类, 则水产饲料大致可分为以下几类:

硬颗粒饲料

硬颗粒饲料大多为圆柱体或不规则体, 水分含量13%以下。由于配方和压制条件的不同, 硬颗粒饲料的比重在1.1~1.4内变化, 投入水中后能较快地沉入水底。硬颗粒饲料制作简单, 压制费用较低, 成品的运输、保藏和投喂都较方便, 特别适用于中、下层水域中的成鱼、成虾。

以环模或平模颗粒机制取的硬颗粒饲料是目前国内生产量最大的水产颗粒饲料。在蒸气的作用及压模、压辊的挤压、磨擦作用下, 物料相互紧靠、粘结。物料与模孔壁接触部分, 受压和摩擦最为强烈, 致使颗粒表面硬结。因此高质量的硬颗粒饲料结构紧密、硬实、表面光洁。投入水中饲喂时, 表面硬结层能抵制水向内部渗透, 使颗粒有较好的耐水性。

为了得到良好的颗粒质构及提高饲料的安全性与饲料效价, 可采用挤压机生产硬颗粒饲料。调节挤压参数, 减少颗粒内部空隙, 使产品比重高于1。

用于鲍鱼等贝类的硬颗粒饲料通常制成扁条形⁽¹⁾, 由类似面条机的槽辊压制。这种饲料入水后能很快软化, 但形状不变, 营养成分不溶散于水中。其配方和加工都有较高的技术含量。

膨化颗粒饲料

膨化颗粒饲料质地疏松, 具有多孔组织, 其比重为0.3 - 0.9。膨化颗粒饲料能较长时间地漂浮于水面, 便于饲养者观察水生动物的采食情况。根据采食的多少及时调整投饲量, 并可将多余的饲料清除出养殖池, 以减少饲料对水质的污染。

¹ 单行本编号 FE5 - 2000

膨化颗粒饲料由挤压机生产。加工时物料经由高温、高压、高剪切处理，一方面原料中某些有害菌类和毒素被杀死或破坏，另一方面物料的结构发生变化。因而经膨化后，原料中的淀粉、蛋白质之类易为鱼虾消化吸收。膨化颗粒料在水中也更稳定，不易溃散流失。

软颗粒饲料

软颗粒饲料在水产养殖场当地制造。采用渔场丰富的鲜杂小鱼或鱼品加工厂中的鱼内脏、鱼皮、鱼头尾等鱼体废弃物为主要蛋白质原料，配以适量的能量、维生素和矿物质原料，混合成含水量约30%的湿粉料后用挤压成形机制成颗粒饲料。这种颗粒饲料因含水量高而呈柔软状，故被称为“软颗粒饲料”。软颗粒饲料中的鲜杂小鱼或鱼体废弃物未经其它处理，营养成分未遭破坏，易为鱼体直接吸收利用。同时软颗粒饲料质地松软，具有鱼、虾所喜爱的鱼腥味，对鱼虾引诱力强，适口性好。软颗粒可利用渔场资源就地生产，就地使用。但因饲料含水分高，运输、保藏都较困难，投喂亦较麻烦⁽²⁾。

微囊颗粒饲料

微囊颗粒饲料直径很小，仅0.1~0.4毫米。配制好的全价粉末饲料封在微型胶囊之中。胶囊由蛋白质、淀粉、纤维或其它大分子物组成。胶囊不溶解于普通水。当鱼吞入微囊颗粒饲料后，在鱼消化道的摩擦作用、酶或微生物作用及一定的pH值环境中，胶囊破裂或溶解，囊中的营养物质释放出来供鱼消化吸收。微囊颗粒饲料的制造成本较高，但它能满足特殊的营养要求，饲料的营养成分很少损失，有利于水质的严格管理，常用于鱼类或甲壳类水生动物的幼体。

粉末饲料

粉末饲料是一种细粉状的商品水产饲料。粉末饲料中除含有鱼类生长所必需的各种营养素外，还包含粘结物。饲喂前用水将粉末饲料调和成团状物。成团投入鱼池，鱼摄食时由外向内啄食饲料团。由于粉末饲料以团状使用，因此要求粉末饲料具有成团后在水中不溶不散的物性，成团后还需有一定的弹性和延伸性，以利鱼类采食。粉末饲料主要用于鳗鱼、虾类及某些鱼的幼鱼⁽³⁾。

其它形态饲料

除上述各形态的饲料外，也有采用冻胶饲料、罐装饲料、香肠饲料、疏松饲料等作为水产饲料。

将鲜湿的全价饲料冰冻成块状冻胶饲料，饲喂时冻胶饲料飘浮在水面。冰冻块在水中由外向内溶解，使幼鱼能采食到软性饲料⁽⁴⁾。

罐装饲料与冻胶饲料一样都为凝胶饲料，将凝胶饲料装罐密封，便于运输、储藏。使用时将罐中凝胶倒入养殖池即可供鱼采食。冻胶饲料和罐装饲料大多为高档幼鱼的开口饲料，既要具有全价性，又要在水中不溶不散，还要能浮于水面和具有良好的适口性。

将全价饲料装入肠衣制得香肠饲料，使其便于储藏与运输，又具有良好的适口性。饲喂时将香肠饲料成段地投入水中作为大型海水鱼的配合饲料。

疏松颗粒饲料在转动圆盘上制取。配制好的粉状饲料铺散在圆盘上，圆盘与水平面成一定角度并以某一速度旋转。将粘性液体喷成细滴散落到圆盘上的物料中，物料在圆盘的振动下以雾滴为核心滚动成圆球状颗粒。颗粒经干燥即成疏松颗粒饲料。制粒转盘的转速，倾斜角等可调，以得到大小合适的颗粒。疏松颗粒饲料的制粒过程中没有高温、高压操作，饲料组分中的热敏性物质不被破坏。疏松颗粒饲料比重较小，能在水面上漂浮一段时间，而后慢慢沉入水底，适合于作幼鱼和观赏鱼饲料。

水产饲料特殊的加工要求

近年来，国内除兴建了一批专业水产饲料厂外，许多畜禽饲料厂纷纷尝试生产水产饲料，以此作为增加产品品种，扩大产品市场的首选着眼点。水生动物在生理特性、栖息环境、采食方式等方面与畜禽有较大的差异。水产饲料也必定有其加工上的特殊性。这些特殊性主要表现在以下方面。

一、原料选择

水产饲料的原料选择除考虑营养价值外，其加工特性也是一个必须关注的重要因素。水产饲料原料的理想加工特性不仅仅表现在粉碎、混合或制粒时有较大的产量和耗费较少的能量，更重要的一点是所得产品必须具有良好的水中稳定性。

鱼粉是水产饲料中的重要蛋白源，鳕鱼粉与鲑鱼粉的蛋白质含量及氨基酸组成很相似（如表1所示），鳗鱼对这两种鱼粉的消化率也相差无几。但是，粉状鳗鱼饲料中使用鲑鱼粉后，粘弹性差，散失严重。鳕鱼粉的价格即使是鲑鱼粉的1.5—2.0倍左右，制造鳗鱼粉末饲料仍以鳕鱼粉为主。

菜籽饼粕被广泛地用于中、低档鱼饲料，在中、低档鱼饲料中的配比量达20~60%。菜籽饼粕在鱼饲料中的含量如此之高，对饲料产品的水中稳定性必然影响大。用“夹出水面法”评定颗粒的耐水性能⁽⁵⁾。当采用三种不同厂家生产的菜籽饼粕制粒后，所得颗粒料的耐水时间分别为15、45和150分钟。由此发现，虽

然三种菜籽饼粕的营养素组成相似，但制得的鱼饲料质量差异非常大。

表 1 鳕鱼粉与鲭鱼粉的蛋白质含量及氨基酸组成 (%)

氨基酸	鳕鱼粉	鲭鱼粉
ASP	6.75	6.55
THR*	3.16	3.02
SER	2.71	3.20
GLU	10.17	10.03
GLY	4.68	5.60
ALA	4.73	4.38
CYS	0.49	0.56
VAL*	3.26	3.25
MET*	1.95	2.13
ILE*	3.08	3.10
LEU*	5.62	5.41
TYR	1.85	1.74
PHE*	2.69	2.64
LYS*	5.57	5.19
HIS*	2.27	1.34
ARG*	4.22	4.47
PRO	0.80	3.13
Total	64.00	65.73

*为鳕鱼的必需氨基酸

鱼粉和大豆饼粕都是水产饲料的常用蛋白质原料。曾采用单螺杆挤压机考察鱼粉与浓缩大豆粉的膨化性能⁽⁶⁾，得表2结果。

表 2 浓缩大豆粉与鱼粉膨化性能比较*

鱼粉 浓缩大豆粉	$\frac{60}{40}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{20}{80}$
膨化度**	1.21	1.28	1.50
漂浮时间(h)	0	1	>24

*总粗蛋白含量为 45%，挤压前未调质处理。

**产品直径与模孔直径比。

由表2可知，当饲料中含过多的鱼粉时，膨化就较困难，相比之下，浓缩大豆粉就较鱼粉易于膨化。

二、微粉碎

水产饲料的粒度普遍小于畜禽饲料，许多种类的水产饲料需进行微粉碎。减小水产饲料原料粒度可起到下述三作用：

1. 提高饲料利用率

目前，国内养殖较多的是温水或冷水鱼虾，其理想养殖水温为 5~30℃。水生动物以变温动物为多，在此养殖条件下，鱼体温度亦为 5~30℃ 左右，由表 3 看出，这一温度范围并非消化酶的理想作用温度。

另一方面，某些鱼消化道很短，一些肉食性鱼如鲈鱼、鳊鱼、乌鳢及鳗鱼等的肠管长度与胃长总和仅是体长的 1/2~1/3，且肠道呈直管状或仅有少量弯曲。食物在短且直的肠管内停留时间短，只有易于消化的食物，才能被充分利用。水生动物的这些生理特点决定了其需要易于消化的饲料。同种物料，粒度小，与消化液接触的表面积就大，可消化性就有提高的可能。由此而得，要提高饲料的利用率，就应提供易于消化的饲料，而减小饲料细度，对很多鱼虾是行之有效的方法之一。

有人认为，颗粒状水产饲料整颗粒进入某些动物口内，影响消化率的是成品的颗粒直径，各组分的粒度已不再影响消化率。经测定，高质量的颗粒饲料，其硬度仅6~9公斤，而一般谷物的硬度为20公斤左右。也就是说，颗粒饲料进入动物消化道以后还是以各组分粉粒分散。而这些粉粒的粒度才对消化率有较大的影响。

表 3 消化酶的最适温度 ()⁽⁷⁾

鱼名	胃蛋白酶 最适温度	鱼名	淀粉酶 最适温度
大马哈鱼	40	日本鳎	36-37
虹鳟	35--40	狭鳕	35
日本鳎	40--50	东方鲀	38-40

2. 改良颗粒耐水性

一个较普遍的规律是水产饲料的蛋白含量明显高于畜禽饲料。但鱼粉，饼粕等主要蛋白原料的粘结性都不如淀粉。利用淀粉将各组分粘合在一起，使颗粒在水中不溶不散，是改良颗粒耐水性的重要途径。淀粉经微粉碎，饲料中有限的淀粉就有更多粒子数，就有更多的机会在各种组分中均匀分布，从而更多地粘合周边的其它组分；同时，淀粉经微粉碎，表面积增加，粘合其它组分的能力随之增强。从表 4 可看出微粉碎改良颗粒耐水性的效果⁽⁸⁾。

表 4 微粉碎与调质对颗粒耐水性的影响

加工方法	流水中 10 分钟筛盘上留存率%
不经微粉碎、不加蒸汽	24.3
经微粉碎、不加蒸汽	74.5
不经微粉碎、加蒸汽	78.9
经微粉碎、加蒸汽	88.0

3. 改良饲料的适口性

使用量较大的水产饲料有颗粒饲料和粉末饲料两种形式。对水产粉末饲料而言，饲料的粒度影响其适口性。鳎鱼对配方相同、粉碎粒度不同的两种饲料有明显不同的采食量。鳎鱼采食粒度过大的饲料后，吐食严重，既浪费饲料，又污染养殖水质⁽⁴⁾。

4. 提高饲料的均一性

一些鱼虾的开口饲料极为细小，如微囊饲料等产品能全部通过80目分析筛，即产品粒度仅0.2mm左右。要使如此之小的产品含有各种组分，饲料原料的微粉碎就必不可少。

三、充分调质

制粒前对粉状饲料进行水热处理称为调质，调质可起到以下作用。

1. 提高饲料可消化性

调质的水热作用使原料中的生淀粉得以熟化。大多数水生动物消化生淀粉的能力很低，但能较大程度地消化熟淀粉。如鳟鱼对熟淀粉的消化率是69%，对生淀粉的消化率仅40%⁽⁹⁾。淀粉由生淀粉变为糊化淀粉必须具有三个条件：水分、热量和时间。调质过程中加入蒸汽，使饲料的水分和温度增加，同时调质又经由一定的时间，由此满足了淀粉糊化的必要条件。经过充分的调质作用可使产品中淀粉的糊化度大幅度增大。如不经调质直接制粒，成品中淀粉的糊化度仅14%左右。采用单轴桨叶调质器调质后，产品的糊化度可达30%左右。

调质过程中的水热作用还促使原料中的蛋白质受热变性。变性蛋白易于被酶解，从而使饲料的蛋白质可消化性得以提高。

2. 提高颗粒耐水性

饲料经调质后，可塑性增加。各组分的外型在一定压力下具有很大的可变性，即各组分由“刚体”变为“凝胶体”。各“凝胶体”在压模、压辊的挤压下相互靠紧，并挤出粒子与粒子间的空气，使粒子与粒子相互“镶嵌”。镶嵌后的粒子间空隙大量减少，具有粘性的组分如糊化淀粉、果胶及某些蛋白质等就能充分地粘结周边的其它组分，从而使颗粒饲料产品变得结构紧密，饲喂过程中能有效地防止水的渗入，在水中较长时间保持原状。调质提高颗粒耐水性的效果见表4。

3. 杀灭致病菌

大部分致病菌不耐热。采用不同参数或不同的调质设备进行饲料调质可有效地杀灭饲料中的致病菌、昆虫或昆虫卵，使饲料的卫生水平得到保证⁽¹⁰⁾。与药物防病相比，调质灭菌成本低，无药物残留，不污染水质，无副作用。

4. 节省制粒能耗，提高模、辊寿命

粉料经调质后大部份组分得以软化，软化的饲料与模孔壁、压模内环、压辊外表等处的摩擦力减小，避免了制粒过程中大量机械能转变为热能。采用不同温度的水和蒸气进行调质，而后压制颗粒饲料，物料入模前后温度变化情况如图1。

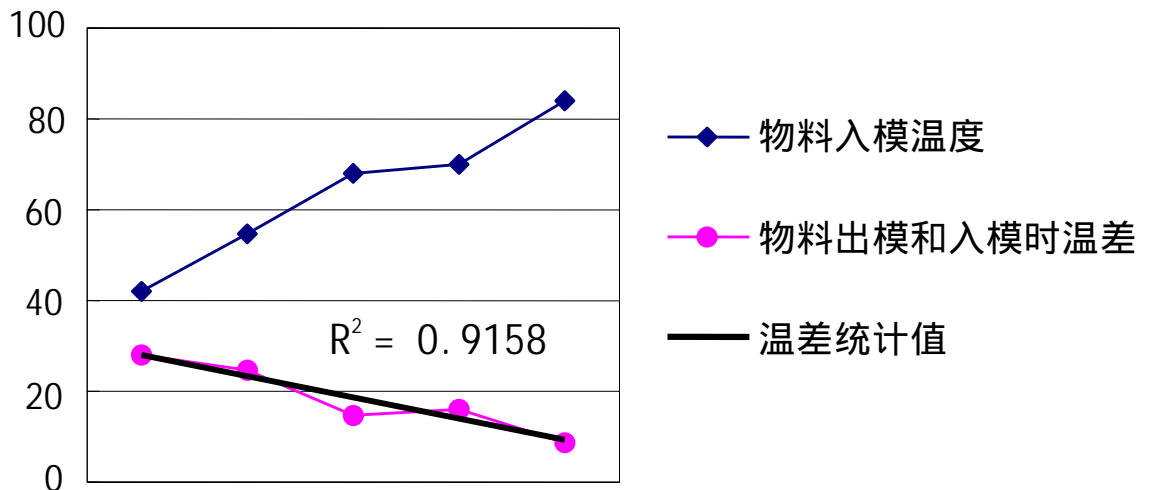


图1 制粒前后料温变化

根据图1可看出，随调质强度增加，物料入模温度上升，在试验范围内，入模温度越高，压粒前后的物料温差越小，两者呈负相关（相关系数为-0.982）。

物料在压粒过程中温度升高，说明较多的电能被转化为热能，制粒电耗必然增加。上述试验中，入模温度最低的为42℃，最高的为84℃，出模颗粒温度分别为70℃和93℃。压制每吨颗粒饲料，两者消耗于物料温升的电量差可按下式计算：

$$q = \frac{c \times [(t_{e1} - t_{s1}) - (t_{e2} - t_{s2})] \times 1000}{3600}$$

式中：q—电量差（kwh/t）

c—物料比热，取1.67(kj/kg.)⁽¹¹⁾

t_s—物料入模温度（℃）

t_e—颗粒出模温度（℃）

将两次实验的入模温度和颗粒出模温度代入上式，得电量差为8.8kwh/t。目前，我国鱼用硬颗粒饲料的制粒电耗为30kwh/左右。上述结果表明，如不进行恰当的调质，每生产一吨鱼用硬颗粒饲料，就有可能增加制粒电耗30%。

饲料经调质软化，受模孔壁的磨擦阻力减少，物料过孔速度增快。同一台制粒机，压制经调质的物料产量明显增加。调质软化后的物料对压模和压辊的磨擦力减小，减缓了压辊和压模的磨损，使每套压模、压辊的生产量大幅度增加，生产成本也就降低。

四、颗粒形式与粒径

大部分水产饲料是颗粒饲料。生产水产颗粒饲料应注意两个方面：一是颗粒的形式，二是颗粒的体积。常用的颗粒饲料形式为膨化颗粒和硬颗粒。普遍认为，对水产饲料而言，膨化颗粒的质量优于硬颗粒。膨化过程中的高温、高压和高剪切作用，对改良饲料的可消化性，提高耐水性，去除有害因子等方面起着积极的作用。膨化颗粒的另一个优点是使养殖者能直观地了解鱼的采食情况，以便及时调整饵料的投喂量，或及时将水中多余的饵料捞出养殖池。然而，膨化颗粒饲料生产过程中对热敏性组分的破坏、较高的加工成本及不适应某些底栖性动物等缺陷限制了它的使用范围。

对虾及目前人工养殖的淡水虾都是底栖性动物，习惯于在水底采食，其饲料形式必须为硬颗粒。但虾的采食方式为抱食而不象一般鱼类那样吞食，因而虾饲料的水中稳定性要求大大高于普通鱼饲料。在不额外添加粘合剂的状况下，用环模或平模制粒机制造合格的虾饲料就有一些难度。一些厂家采用挤压机制取的硬颗粒就具有很高的水中稳定性。不管是采用膨化饲料还是硬颗粒饲料，成品颗粒的大小直接影响到水生动物的采食量和饲料的有效利用率。水生动物在水中采食，其采食环境使它们每次只能吞食一个颗粒。如颗粒过大，须等颗粒在水中泡软、泡散后才能被食用。这样，饲料中的有效成分流散就多；颗粒过小，水生动物必须反复多次地吞食饲料才能满足生长的需要。这样一来，常会影响它们的食欲，使鱼虾在半饥半饱的状况下就放弃采食。颗粒过小，还会因延长采食时间而增加饲料的浪费。

不同种类鱼虾或同种鱼虾在不同生长期时，它们的个体大小差异很大。如青鱼、草鱼的幼体与成鱼重量相差上万倍；成鱼与成虾的重量相差上千倍。与个体大小不同的饲养对象相对应，水产饲料的颗粒大小要有较大的可变范围。如幼虾饲料的粒径仅0.2mm左右，而青、草鱼成鱼饲料的粒径应为5~8mm。NRC推荐的斑点叉尾鮰饲料粒径如表5所示。

五、颗粒耐水处理

水产饲料的一项重要指标是耐水性。颗粒饲料入水后，保持原型的时间越长耐水性越好。不同的水产饲料有不同的耐水要求。训养过的四大家鱼，其颗粒饲料耐水时间有0.5小时就行了。采用较强的调质处理和合适的饲料配方，不用加粘合剂，颗粒产品就能达到这一要求。而虾类以抱食方式进行采食，要求虾颗粒饲料的耐水时间达4~12小时以上。如制粒后不进行处理，很难达到这一水平。一些

饲料厂寄希望于加粘合剂来提高颗粒耐水性，常采用聚丙烯酸钠、尿素~甲醛聚合物等合成粘合剂。这种做法弊多利少。在无害的剂量下，这类粘合剂的作用达不到应有的耐水要求。超剂量使用，既增加饲料成本，又严重影响饲养动物的正常生长。某些不合适的粘合剂更会在动物体内积聚，并通过食物链影响人体健康。

表 5 斑点叉尾鮰饲料的合适粒径

鱼长 (cm)		分析筛孔边长 (mm)
鱼苗	存留	0.44
	通过	0.59
1.2—2.5	存留	0.59
	通过	0.84
2.5—3.8	存留	0.84
	通过	1.19
3.8—6.3	存留	1.19
	通过	1.68
6.3—10	存留	1.68
	通过	2.38
10.—15	存留	2.38
	通过	3.36
>15	5mm 颗粒	

从加工工艺入手，是提高耐水性的理想途径。采用合理的加工工艺，可在不加任何非营养性粘合剂的前提下，使产品耐水时间达到12小时以上。如：采用普通的硬颗粒压制机，加设颗粒稳定器，对几种水产颗粒饲料进行颗粒稳定化处理，其耐水时间可由0.2小时提高到18小时。亦可采用带调质器的挤压机，既能生产浮性颗粒，又能生产沉性硬颗粒，颗粒耐水时间可超过12小时。

六、干燥防霉

除北方地区外，我国养殖的鱼虾大多为温水鱼虾。温水鱼虾的合适生长水温为20℃以上，当水温低于10℃鱼虾的采食量就很少，当水温低于5℃，鱼虾就基本不采食。在华东地区，大量使用水产饲料的时间是7、8、9、10四个月。而这四个月是该地区一年中气温最高，湿度最大的季节。饲料在这一阶段最容易霉烂变质。国内鱼虾养殖场的饲料仓库又经常是一些建在池塘边的简易小屋。小屋保温性能差，白天黑夜温差大。白天温度高时，饲料中的水分挥发。到晚上饲料袋首先冷却，水蒸气在靠袋处结露，使附近的饲料水分含量急剧增高，引起局部霉变。局部霉变一旦发生，霉菌生长时放出CO₂、水和热量，从而为周边饲料造就了霉变的条件，很快使整袋饲料霉烂。因此，处理不当的饲料在农户手中很容易霉变。

在饲养的动物中，某些鱼对黄曲霉毒素极为敏感。每公斤动物体，黄曲霉毒素的半致死量毫克数如表6所示。

表6 黄曲霉毒素急性毒性⁽¹²⁾

动物名称	半致死量 (mg/kg 体重)
猪 (6-7kg)	0.6
狗	0.5-1.0
绵羊	1.0
鳟鱼	0.5-1.0
雄鼠	7.2
雌鼠	17.9
鸡	6.3
猴	7.8

从表6可知，鳟鱼等鱼类对黄曲霉毒的敏感程度远高于鸡、鼠、猴等动物。投喂霉变的水产饲料将会极不安全。

为防止饲料霉变，水产饲料必须有良好的防腐性。对饲料厂而言，防腐有两种方法，一是依赖防腐剂，二是降低饲料水分。相比之下，第二种方法是积极的。

进行加热干燥，将产品水份控制在11.5%以下，加上密封良好的外包装，一般情况下饲料就能较长时间地安全储藏。这种物理方法的防腐，不改变饲料成分，不改变饲料pH值，不影响饲养水质和饲料品质，是一种安全有效的方法。

七、组分后添加

水产饲料外涂以往主要是外涂油脂，但现在的外涂概念已扩充到各种热敏物质的保护。鱼、虾等动物对脂肪的利用率高，并需要从脂肪中获取其必需脂肪酸。水产饲料的脂肪含量往往较高，如鲤鱼饲料的脂肪含量为8~15%，鲶鱼饲料的脂肪含量为12%⁽¹³⁾，脂肪含量为25%的虹鳟饲料有较佳的养殖效果。但饲料原料中脂肪含量过高，在制取硬颗粒时，物料过模孔阻力减少，得不到足够的挤压力，产品结构松散，耐水性差。为保证加工质量，制硬颗粒前的原料中油脂含量应控制在3%以内，水产饲料中的大部分油脂应该在制颗粒以后加。

硬颗粒、膨化颗粒水产饲料的加工都含有高温高压处理过程。高温高压会使饲料中的热敏性物质失去原有的作用。随着饲料工业的发展，用于饲料的热敏性物质种类有增加的趋势。许多种维生素是众所周知的热敏性物质。其中维生素C对热极为敏感。经过制粒后，维生素C受破坏的状况如表7。

畜、禽除在幼期或应急状况下需要从饲料中摄取维生素C，正常养殖条件下饲料中可不含维生素C。而鱼虾不具备自身合成维生素C的能力，集约化养殖中必须由饲料为鱼虾提供维生素C。维生素C一旦在加工中被破坏，鱼虾就有患维生素C缺乏症的危险。

表 7 制粒对 Vc 的破坏

制粒温度	制料前 Vc 含量 mg/g 饲	制料后 Vc 含量 mg/g 饲	损失率 %
80	0.79	0.22	72.15
45	0.78	0.63	19.33

在现代饲料加工中，生物技术的运用愈来愈广泛。如益生菌、酶制剂等生物活性物质在畜禽饲料和水产饲料中的运用受到饲料研究人员和饲料生产部门的关注。既然是生物活性物质，只有保持生物活性才能在动物体内起到应有的作用。

而制粒过程中的高温、高压环境会使大部分生物活性物质丧失应有的作用。

水产饲料中采用的某些引诱剂，色素等，经高温处理也会受到不同程度的破坏。

在水产饲料加工中，一方面饲料需要水热处理来改善营养素和去除有害因子，另一方面为使热敏性物质产生应有的效应，必须避免水热加工过程。解决这一矛盾的方法是采用后添加技术，即进行饲料外涂。将水产颗粒饲料中的各组分分为两部分，其中一部分制粒，另一部分在制粒以后加入。通过外涂的方式，将油脂和热敏性物质加在颗粒外表，以提高颗粒的耐水性和各组分的有效性。

水产饲料加工工艺

功能齐全的水产颗粒饲料加工流程如图2。

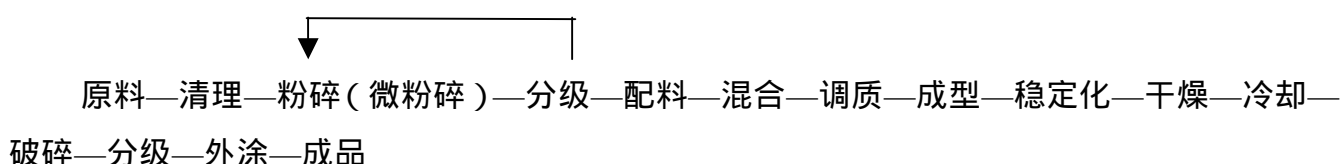


图2 水产颗粒饲料加工流程 1

在各个工段中，水产饲料生产对设备及加工参数有以下要求。

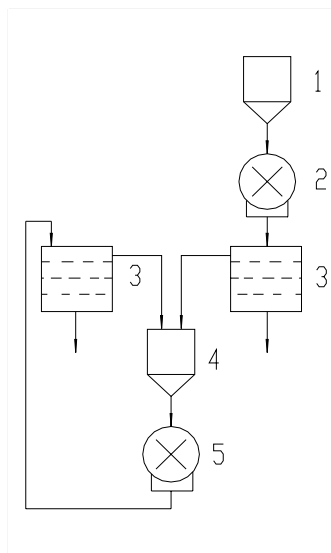
一、清理

在清理工段，由于水产饲料加工中颗粒原料如玉米、大麦等用量较少，而鱼粉、饼粕等粉状或细小粒状原料用量大，清理工段中必须加强粉状原料的清理。一方面要保证粉料清理设备的清理效率，另一方面要保证粉料清理设备的生产能力。粉料清理工段的实际生产能力不单单受粉料清理设备的机型影响，如清理设备前后的自流管、料仓、输送机械等设置不当也会使清理工段的生产能力下降，严重时甚至导致清理工段无法工作。

二、粉碎

较大型水产饲料厂的粉碎工段可采用二级粉碎，粉碎工艺如图3。先进行常规粉碎，而后再微粉碎，以减小微粉碎机的工作压力，并降低粉碎引起的物料温升。在常规粉碎与微粉碎之间进行物料分级，仅让细度不合格的部分进入微粉碎机，以提高粉碎产量，降低粉碎能耗。采用二级粉碎，增加了粉碎工段的灵活性。当

生产某些对原料细度要求不高的成鱼饲料时，就可单独用常规粉碎机来进行生产。一些中小型水产饲料厂为缩短工艺流程，减少设备投资，也可采用一台微粉碎机进行粉碎。不管采用一级粉碎还是二级粉碎，在微粉碎机后设置分级设备组成循



环粉碎，对提高微粉碎产量、控制粉碎细度、防止物料过热等都有益处。

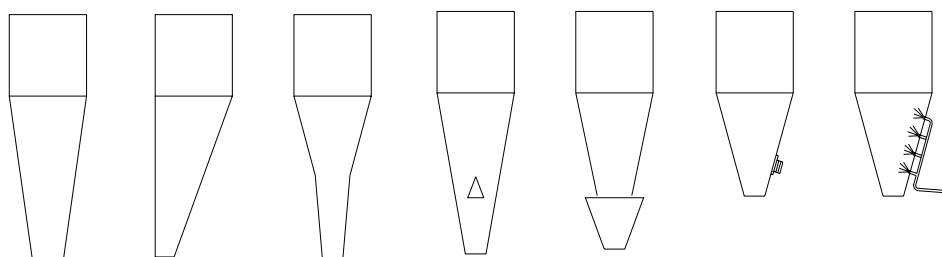
1. 粉碎仓 2. 粉碎机 3. 分级筛 4. 微粉碎仓 5. 微粉碎机

图3 粉碎工艺

物料经微粉碎后，细度比畜禽料小得多，同种物料，粉碎得越细小，其流动性越差。如正常水份条件下:玉米的休止角为 20° ，粗玉米粉休止角为 30° ，细玉米粉为 35° ;小麦休止角为 25° ，小麦粗粉休止角为 28° ，小麦细粉休止角为 40° 。图2工艺中配料仓中的物料已经过微粉碎，物料的流动性很差，诸如鱼粉、肉骨粉等的休止角可达 60° 以上。要使存放这些物料的配料仓具有良好的放料特性，仓体的防结拱设计相当重要。对于水产饲料配料仓，可采用以下措施来改良物料的放出特性，如：尽量增大仓底角，采用底部不对称仓、曲线形仓或双截仓，设仓内嵌入体等。以上方法如仍不能奏效，则可采用助流装置，如振动助流器、气流助流器等(如图4)。

经微粉碎的物料，不管采用怎样的防结拱措施，如管理不当，仍有发生严重结拱的可能。在管理上应特别注意两点：一，避免高水份物料入仓，物料水份的增加与物料的休止角呈正相关，一些高水份细粉末的休止角几乎接近 90° 。水产饲料中有时含有一些鲜湿的糟渣，鱼品加工厂副产品等，如过早与其它粉状料混合后入仓，就很难从料仓中顺利放出。二，尽量缩短物料在仓中的存放时间，经

微粉碎后的物料表面积增大，易于吸收空气中水份而使其流动性变差；此外，仓中下部物料受上部物料重力作用的时间越长，被压实的程度越高。物料压实后，物料强度增高，成为流体而自由流动的能力就下降。为此，单班生产的水产饲料厂要避免物料在仓中过夜，三班连续工作的饲料厂对易于结拱的物料应采用“小



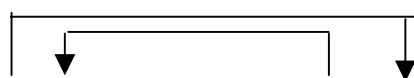
批多次”的进料方式。

1 2 3 4 5 6 7

1. 大底角仓
2. 不对称仓
3. 曲线仓
4. 嵌入体仓
5. 双截仓
6. 振动助流器仓
7. 气流助流器仓

图 4 防结拱料仓

图2中，粉碎与配料及混合的配合为“先粉碎后配料”方式。目前国内大部分饲料厂采用这一工艺。这一工艺下，粉碎、配料、混合三项相互干扰少，易于操作。但对于专门生产水产饲料的工厂，可考虑采用“先配料后粉碎”工艺，即如图5所示工艺。



原料—清理—配料—初混合—分级—粉碎(微粉碎)—分级—混合—调质—成型—稳定化—干燥—冷却—破碎—分级—外涂—成品

图 5 水产颗粒饲料加工流程 2

与“先粉碎后配料”工艺不同的是：“先配料后粉碎”工艺将众多的配料仓置于粉碎之前。配料仓中存放的是未经粉碎的颗粒原料或粗粉料，仓中物料的流动性明显好于粉碎后的物料。同时，未经粉碎的原料容重大，提高了配料仓的容量并使

配料仓利用率更高⁽¹⁴⁾。一些水产饲料厂使用该工艺的结果证明，“先配料后粉碎”工艺为减少料仓、避免配料仓结拱带来了很大的便利。物料一经微粉碎，其气力特性即被改变，悬浮速度明显减小，粉尘易外溢，造成原料的浪费，并影响环境卫生。水产饲料厂应加强设备的密封性能，同时安置有效的回风管和吸风装置。

三、混合

粒度细小的物料流动性差，如混合过程中加入液态料或高水分料，流动性会更差。流动性差的物料需要较长的混合时间才能混合均匀。采用普通的螺带式混合机，三至四分钟可将畜禽料混合均匀，但生产水产饲料时则需混合四至五分钟。但流动性差的物料一经混合均匀，其输送、仓贮等加工过程中产生自动分级的现象就比较和缓，物料的均匀性较为稳定。

四、调质

水产饲料厂所用的调质器有以下几种，可根据原料状况和产品要求进行选择。

1. 单轴浆叶式调质器

单轴浆叶式调质器是国内外饲料加工中使用最早，使用量最广的调质器。粉粒在调质器内吸收蒸汽，并在浆叶搅动下进行两个方向的运动，一是绕轴转动，二是沿轴向前推移，各粒子的运动轨迹近似于螺旋线，由于物料仅有两个方向的运动，因此，必须以较快的移动速度向前推进，否则粘壁滞留将大幅度增加。一般前进速度为每秒0.1~0.2米左右。粉料过快地向前推进，限制了物料的调质时间及蒸汽与粉料的混合均匀性。现用的单轴浆叶式调质器有效调质长度一般为2~3米。物料调质时间10~30秒，调质作用力相对较弱。此外，单轴浆叶式调质器对物料的推进方式制约了调质器内物料“先进先出”的可能性，“粘壁滞留”是单轴浆叶式调质器的另一缺陷，各部分物料在调质器内的停留时间有较大差异，导致调质不均匀。

水产饲料加工中要求有较高的调质强度。很多水产饲料厂将两条或三条单轴浆叶调质器串联使用，使调质时间达到1分钟左右，无疑其效果比单条调质器好。

2. 双轴浆叶式调质器

为增强调质作用，在单轴浆叶式调质器的基础上又发展出双轴浆叶式调质器。物料的径向运动路线由仅是绕轴旋转发展为既有绕轴旋转，又有两轴间穿插。运动路线呈“8”字形。与单轴调质器相比，物料的径向运动路线大为增加。径向路线的增长，使物料轴向移动的速度有更宽的可变范围。调质器有限长度仍为2米左右，但物料的调质时间可在十几秒至3分钟内可调，长时间的调质使物料的软化，油脂的吸收，营养素可消化率提高等有利作用更为充分。同时，具有较高相

对运动速度的两桨叶能相互“洗刷”，使这一类型的调质器有很强的“自洁”能力，有效避免了物料的粘壁滞留现象，使物料得到较均匀的调质。

3. 调质罐

含粗纤维高或液体组分添加量大的饲料进行调质时，希望有更长的调质时间。这种状况下采用调质罐效果更好。蒸汽或加入的液体料经普通单轴调质器混合后进入调质罐。罐内保持一定的温度(90 左右)，有些调质罐并能保持一定的压力。调质罐中物料受刮板搅动并逐层下移。整个调质过程连续进行，物料的调质时间可达 10-20 分钟。

4. 重复制粒

通过两台制粒机串联，第一台制粒机采用大孔、薄壁压模，将物料与压模、压辊的磨擦热和压力加到饲料上，使饲料迅速升温 and 密度升高。第一台压粒机压出的颗粒立即通过第二台颗粒机再次压制。第二台颗粒机的模孔壁较厚，使颗粒的紧密程度，温度进一步上升。这种重复制粒工艺中的第一台制粒机实际上起着调质作用。对于水产饲料，这种工艺的产品有较好的耐水性，对于粗纤维含量高的配方，这种工艺仍能制得质量较好的颗粒饲料。

五、成形

制作硬颗粒时，颗粒的结构紧密有利于颗粒耐水性的提高。提高颗粒产品紧密度的有效方法之一是增加压模孔的长径比。生产普通禽畜饲料，通常采用的模孔长径比为 6:1 - 10:1，但生产鱼虾饲料时，常采用 10:1 - 12:1 的长径比，如采用某些特殊原料或制造幼小鱼虾饲料，模孔的长径比需要大至 12:1 - 16:1。

不同的成品要求及原料状况下，亦应考虑采用不同的挤压机机型，曾采用三种较有代表性的挤压机进行试验，各挤压机主要参数如下：

以鱼粉、浓缩大豆粉、小麦粉、土豆淀粉为主要原料，用以上三种挤压机生产高蛋白质含量的水产饲料，所得结果如表 8，表 9 所列。

表 8 试验用挤压机主要技术参数 (mm)

	型号	螺杆长度	螺杆直径	螺齿高度	长径比
双螺杆	Creusot-Loine BC21	559	25	6.5	22:1
长单螺杆	改良 SJ45	930	44	1-6.5	18:1
短单螺杆	PHG135	480	130	15	3:1

表 9 膨化产品质量比较⁽⁶⁾

粗蛋白 含量%	膨化度			漂浮时间(h)		
	双螺杆	长单螺杆	短单螺杆	双螺杆	长单螺杆	短单螺杆
48	1.25	1.15	1.14	0.5	0	0
45	2.00	1.28	1.20	>24	1	0
40	2.60	1.50	1.40	>24	>24	>24

由表看出，三种挤压机对蛋白含量高的饲料有不同的膨化性能，其中双螺杆优于长单螺杆，长单螺杆优于短单螺杆。

采用普通颗粒机或挤压机所得到的颗粒直径常大于或等于 1.5mm。美国最近采用一种新工艺制取直径为 0.5~1.5mm 的颗粒，以适应幼小鱼虾的需要⁽¹⁵⁾。这一工艺中，先采用挤出机制取小直径的软颗粒。由于颗粒直径太小，在出机时如立即将其切短，颗粒与颗粒在切口处会粘成一团。采用特殊的旋转齿盘，将长条形颗粒剪切成长度合格的小颗粒，再经冷却干燥后，得到适合幼鱼、幼虾的开口饵料。

国内生产幼鱼及幼虾饲料常先生产 2.0mm 的颗粒，而后用破碎机破碎成小颗粒。这种小颗粒呈不规则型，且在破碎过程中产生较多的碎末。为提高生产率和产品的均匀性，水产饲料生产中采用的颗粒分级筛常需多层筛面，使破碎后的颗粒按粒度进行几种级别的归类，以得到适合不同体长鱼虾的饲料。

六、硬颗粒后熟化

后熟化器有加蒸汽和不加蒸汽两种。不加蒸汽的后熟化器使刚出颗粒机的物料有一保温、保湿过程。在此期间消除压制过程中产生的颗粒内应力，阻断毛细管通道，并进一步对颗粒料进行水热处理，从而提高颗粒耐水性。制取普通鱼饲料，采用不加蒸汽的后熟化器已能奏效，但要生产虾饲料则需加强后熟化作用，有必要采用加蒸汽的后熟化器。物料经后熟化后，耐水性将会明显增高，但受压模孔壁磨擦作用而得到的光洁颗粒表面受到水汽的侵蚀，产品表面将失去光泽而显得毛糙。

七、外涂

至今，国内有外涂设备的饲料厂不多，有外涂设备又真正使用起来更少。

国外使用较广泛的外涂机有转盘式、滚筒式和自流式三种类型，其共同点是在颗粒下落过程中，将成雾状的液体料喷向颗粒，使颗粒与雾滴在空中接触。

外涂机的主要技术要点为：一，使液体尽量雾化，雾化的液滴越小，液体在颗粒中的分布越均匀，要做到这一点，喷雾头的设计非常重要。二，颗粒料和液体料的重量匹配。外涂过程是一个连续操作过程。颗粒料和液体都在不停地流动。液体料的流量可控制泵的转速及阀门的开启度来进行控制，但颗粒料的流量有很大的随意性，如颗粒料中粉末的多少，颗粒的直径，长短，比重等都是影响流量变化的因素。很难保证颗粒料以一个恒定的流量向前移动。为了保证颗粒与液体的重量匹配，称量颗粒的重量，由颗粒的重量来控制液体的喷量。由于是连续作业，颗粒的称量工作以极高的频率反复进行，一些设备做到每分钟测定 800 次瞬时流量，将所测数值通过专用计算机软件处理后控制液体加入量。采用这种匹配方法，最小喷量已达到万分之一，即 1 吨颗粒中最少可喷入 100 毫升的液体，配比准确度达到 2%，并可同时加入多种液体。

外涂机中采用的外涂液需考虑其水溶性，避免外涂剂在饲喂中流失到水中。

以上对水产饲料的特点和加工方法进行了分析。了解水产饲料加工的特殊性，有助于确定饲料加工中正确的工艺路线和参数，从而减低加工成本，提高水产饲料的加工质量。

参考文献

1. 过世东 鲍鱼养殖与鲍鱼饲料 饲料工业 1996.5
2. 谷文英、过世东 饲料加工学 农业出版社 1990.7
3. 过世东、顾林 谈鳗鱼饲料加工工艺 粮食与饲料工业 1994.8
4. 过世东、谷文英 仔鳗开食配合饲料的研制 粮食与饲料工业 2000.1
5. 过世东 高水份蛋白原料制取水产饲料的研究 上海饲料 1994.3
6. 过世东 高蛋白水产饲料膨化性能初探 中国饲料 1994.6

7. 尾崎久雄 鱼类消化生理 吴尚忠译 上海科技出版社 1983.9
8. Hastings.W,Higgs.D 饲料粉碎加工 鱼饲料技术讲座文集 联合国粮农组织 1980
9. 桥本芳郎 养鱼饲料学 蔡完其译 农业出版社 1980
10. Peter Best, Clayton Gill Super conditioning and downstream options, Feed international, 1998.8
11. 谷文英, 过世东, 盛亚白, 王卫国 配合饲料工艺学 轻工出版社 1999.12
12. 王有忠 食品安全 华香园出版社 1991.9
13. 过世东 饲料加工工艺中各工序的改进 饲料工业 1998.1
14. 过世东、谷文英、赵建伟、张志勇 饲料“先配料后粉碎工艺”的研究 1998.1
15. Starter aquafeeds:Breaking the 1.5mm barrier,Feed international,1999.7