

# 挤压(膨化)故障分析与排除

## EXTRUSION TROUBLE SHOOTING

谢富弘 博士  
美国密苏里大学 教授

Fu-hung Hsieh , Ph. D.  
Professor , University of Missouri  
Columbia, MO 65211

FE6-02(1)

# 挤压(膨化)故障分析与排除

谢富弘 博士  
美国密苏里大学 教授

## 前 言

食品或饲料挤压加工厂的挤压机操作员通常都直接控制预调制器和挤压机的喂料速度、注水量、蒸汽注入，以及挤压机机膛的温度，通过调节这些自变量而使物料温度、压模压力、动力消耗、产品质量等得以控制。一个称职的、有经验的挤压机操作员应受过培训或已经具备这方面的知识和技能，掌握如何调节挤压机作业参数，生产所要求的产品。

当挤压机出现问题（problem）或故障（fault）时，很重要的是能迅速而准确地判断问题所在，尽可能减少停机和产品质量异常。要做到高效率的故障分析有两个要求，一方面要有良好的检测设备,另一方面对挤压工艺过程要有充分认识（Rauwendaal，2001）。检测设备在工艺过程控制方面非常重要，在故障分析中更是绝对必要的。没有良好的检测设备，无论对整个工艺过程了解多么透彻，故障分析也最多是一场猜谜游戏。如果为此而留下一个故障未得解决，其结果会证明缺少检测设备的代价是多么昂贵。高效率故障分析的第二个要求，即对挤压工艺过程要有充分认识，这可能比达到第一个要求更加困难。但愿这次演讲有助于大家达到这第二个要求。

这里将要着重讨论的问题是失常（upsets）或失调（disturbances），这些是在挤压生产线上出于未知原因发生的问题。如果一条挤压生产线一直良好地运转了相当一段时间，出现这类问题肯定会有一个解决办法，而故障排除的目标就是找出失常的原因并将它排除。另一种情况，如果要处理的是一个技术开发当中出现的问题

( development problem , 以下称开发问题 ) , 这就可能没有解决办法。在技术开发过程中 , 所试图建立的条件是过去未曾有过的 , 如果这试图建立的条件实际上是不可能的 , 显然这问题就没有解决办法。根据对该工艺过程的功能性分析 , 应能确定实践中可以实现的条件范围。

## 找出问题所在

要有一个逻辑性的系统的处理挤压问题或故障的方法 , 这是最需要的。许多加工厂家都有自己的作业流程图。在编制流程图这类资料时 , 很重要的是保证所有用词和术语对于业内人士都清晰明了。要用大家都懂的语言来描述故障 , 并对可能造成该故障的所有原因都加以考察。找到原因时 , 必须记录下消除故障原因并预防故障再发生所采取的步骤。有人提出了下列 7 点方案 ( Whelan and Dunning,1988; Rauwendaal and Pilar Noriega E., 2001 ) :

1. 故障命名。这看似显而易见 , 但有些故障有许多命名 , 例如 , “ 鲨皮 ” ( shark skin ) 被叫成 “ 面疵 ” ( surface defect ) 或 “ 糙面 ” ( rough surface ) 。最好作个决定今后统一使用哪个命名 , 并坚持执行。

2. 故障描述。描述一个问题时或许会暗指一个可能的原因。一个有用的做法是用最简单的词汇描述所有的普通故障 , 不暗指任何可能的原因。这样 , 在进行本方案下一步寻找故障原因时 , 脑子里就不会有偏见。

3. 找出故障原因。这可能是个费时的过程 , 因为需要考虑各个方面 , 包括原料、机械和工艺过程。现提出下列指南 :

1) 原料。核对其等级或类型 , 考察是否有污染 , 所依循的规格是否合适。

2) 机械。检查该机器所有部件的功能是否正常发挥 , 包括预调制器、水和蒸汽注入装置、螺杆、机镗和压模 , 将可能影响压力、温度和产量的所有因素都考虑到。

3) 工艺过程。检查压力、温度、产量以及(如果需要的话)时间。以上参数都要按原料供应方的推荐条件和/或本公司规定的设定表设定。

4. 测定故障的严重程度。如果故障造成物料不能使用或不能出售，必须予以明显纠正；如果影响不大，可能不一定要彻底消除。

5. 确定责任所在。这可能只有研究价值，但如果该故障重复发生，则需要对操作员、原料、机械、压模和工艺过程进行核查。

6. 采取措施避免故障。措施不当会制造出劣质产品，对项目的赢利产生不利影响。还可能加重机械磨损，缩短机械寿命，甚至损坏机械。

7. 防止故障再度发生。一定要将故障消除时的条件作个完整记录。要注明对挤压系统，包括预调制器、挤压机、压模、切刀、出料装置、输送机、烘干机、冷却机、打包系统等，所作的每项修理和变动。还要注明原料类型、等级或质量方面的每个变动。如果采用了再加工原料（如重复粉碎的原料），要注明其质量和所占比例。

表 1 是一般采用的故障认证单。处理故障的这些步骤可能看来是多余的，但上述 7 点只有全部查过才算完成了故障查寻。制作质量低劣或不合格的产品，即使可以全部重新外涂或重新粉碎而将原料再度使用，也是很经济的，而且会很容易因此而失去顾客。

表 1 故障或问题认证单 (Whelan and Dunning, 1988)

日期	
故障	
情况描述	
可能的原因	
建议措施	

## 故障排除

挤压机操作员通常都直接控制预调制器或挤压机的喂料速度、注水量、蒸汽注入，以及挤压机机镗的温度，通过调节这些自变量而使物料温度、压模压力、动力消耗、产品质量等得以控制。一个有经验的、称职的挤压机操作员应受过培训或已经具备这方面的知识和技能，掌握如何调节挤压机作业参数，生产所要求的产品（Harper，1981）。

高水平的挤压加工要有稳定的料流、恒定的压力和温度，挤压物（产品）的成分、大小和形状始终整齐一致。应当知道，这些方面不是彼此孤立的（Tadmor and Klein，1970）。例如，一次温度波动便会造成粘稠度波动，接着导致压力和料流速度波动，使得产品大小和形状改变。挤压加工出现的问题大体上可以分为原料有关问题和机械有关问题。

### 一、原料有关问题

原料的变动在涉及挤压物某些决定物料挤压行为的特性时，就会使挤压过程出现问题。这些特性包括容重方面、糊化方面、挤压物熔流（粘弹性）方面和热度方面的各种性质。如果怀疑是原料问题，就应首先检查进料的质量管理（QC）记录，看是否测定出原料性质的变化。

关于检测原料的关键特性方面有许多问题。需要测定的项目相当不少，有的还相当费时。因此，要充分了解原料在挤压方面的性质可能需要一段时间，这在需要很快解决问题的情况下是无济于事的。另一个问题是有些重要特性的测定难以达到高度的准确性和可重复性。还有一个问题就是现有的仪器还不能测定所有的原料特性，而并非所有的公司都配备了可以测定某种原料全部挤压特性所需仪器的实验室。最后一个问题，即使对原料进行了充分的检测，并且没有发现原料性质有明显改变，也不能保证挤压出现的问题不是原料有关问题，因为检测所用的样品可能没有代表性。多数测试都用 10g 左右的样品进行，而多数挤压机产量每小时几百几千 kg，测试样品不能代表全部喂入料的可能性

相当大。

一个切实可行的检查原料有关问题的方法，是用过去的一批原料进行挤压，看是否还出现问题，如果问题不再出现，即足以说明原来的问题与原料变化有关。为此，应当保留一些过去的原料，这也可以给一些作过的测试作为参考物。如果证明是原料有关问题，有两个解决办法。从挤压角度看最简单的解决办法，是将原料改回出现问题之前的状况。不过，由于其他原因，不是任何时候都能这样做。因此，如果不能改变原料现状，就必须调整挤压工艺过程来适应目前的原料变化。从这一层讲，这问题的性质可能从失常或失调变成了一个开发问题。解决问题的可能性将取决于原料变化的性质和程度。

## 二、机械有关问题

机械有关问题是挤压机的机械变化造成挤压行为变化。这些变化可涉及驱动系统、喂料系统、加热和冷却系统，或者螺杆和机膛的具体结构：

1. 驱动。驱动的主要部件是电机、减速器和止推轴承。驱动问题表现为转速改变和/或不能产生要求的扭矩。减速器和止推轴承出现问题往往从检测信号上明显地反映出机械故障信号。如果怀疑是驱动方面的问题，要先肯定负载没有超过驱动系统的能力。广泛使用直流（DC）电机来达到可变的螺杆转速。DC 电机的转速与伏特成比例，电机马力等于（伏特）×（安培）。安培可视为扭矩。变频的交流（AC）电机也能产生可变的螺杆转速。磁通矢量（flux vector）-控制的变频 AC 电机代表着具有最佳扭矩和速度控制的最新驱动技术（Gould，1998）。电机本身的一个常见问题是电刷磨损，应当按照制造商的建议定期更换电刷。在排除挤压机驱动故障时，应遵循驱动设备制造商建议的操作程序。

2. 喂料系统。重力喂料挤压机喂料系统最重要的部件是喂料斗。有的喂料斗带有送料绞龙，也有不带送料绞龙的。这种系统出现机械

故障可以凭肉眼检查出来。如喂料斗内带有送料绞龙，应检查其驱动稳定性。送料绞龙的驱动应有一个扭矩回料控制，以保证喂料稳定并防止超量喂入。

3. 加热和冷却系统。加热和冷却系统是用来对挤压物熔融温度进行一定程度控制的。但是，产品温度发生变动不一定表示加热和冷却系统出了问题，因为热是直接加到（或减自）机镗的，只间接加给挤压物，用热电偶测定的机镗内温度决定加热和冷却的速度，被控制的温度实际上是机镗温度。

加热系统可以用改变加热设定的办法进行检查，即设定在一个高得多的值，比如高于正常值 50 。将加热器开满到 100%，测定的机镗温度应在 1、2 分钟之内开始上升。如果加热器没有充分开满，机镗温度测定就有错误，或者表明温度控制器的电路存在问题。如果加热器已经开满但机镗温度不能在 2-4 分钟内开始上升，表明或许是机镗温度测定不对，或许是加热器与机镗之间接触不良。

同样的方法也可以用来检查冷却系统，即：在冷却系统开满的情况下，将设定改到低得多的温度，比如低于正常值 50 。

4. 螺杆、机镗和压模磨损。挤压机零件磨损到需要更换的程度的正常运转“寿命”可以变动在 200 - 20,000 小时之间（Riaz, 2000）。挤压机的磨损使得螺片与机镗的间隙加大；压模的磨损使模头压力和产品的大小、形状发生改变。挤压机的磨损往往发生在压缩区的末端，压缩比大的螺杆更容易发生这类磨损。螺杆压缩区的磨损会降低熔化能力，并导致温度不匀和压力波动。螺杆熔化区的磨损会减低泵压能力。检查挤压机磨损只能用拆卸挤压机的办法检查螺杆和机镗。如果磨损严重到影响挤压机功能表现的程度，通常肉眼可以看得出来。如果经过几年运转下来，磨损到了必须更换的程度，最容易的办法就是更换已磨损的零件。但是，如果在短期内，比如几周，就磨损到必须更换的程度，那么，简单的更换就不是一个可接受的办法。出现短期内严重磨损的问题，停机和更换零件的费用会高到不能接受的水平。一旦出现这种情况

就一定要寻找减低磨损速度的解决办法，而不是简单的更换零件。要减低磨损速度，必须了解磨损机理，以便确定减低磨损速度的最有效途径。图 1 所示是针对磨损问题系统地排除故障流程图（Rawendaal，2001）。

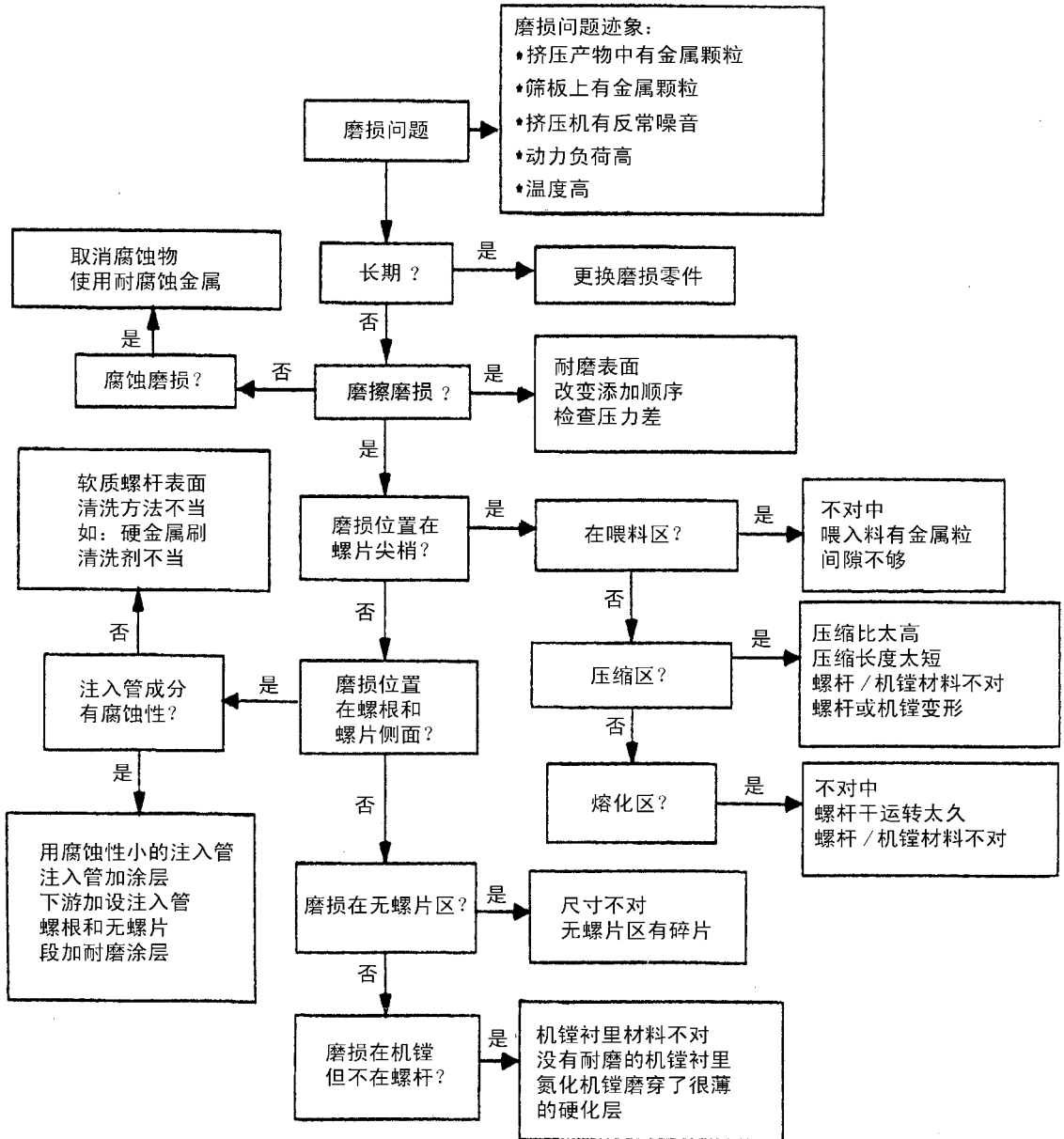


图 1 挤压机磨损故障排除流程图

(Rauwendaal, 2001; Rauwendaal and Pilar Noriega E., 2001)

挤压机螺杆和机镗最主要的磨损机理是黏附（adhesive）、磨擦（abrasive）和腐蚀（corrosive）磨损（Rauwendaal, 2001）；而压模只有磨擦和腐蚀磨损。黏附磨损发生在金属与金属强度接触的场所。机器启动时会发生金属与金属接触，安装不正、机镗变形、螺杆变形、螺片的硬质金属层焊接不良、或者螺杆内部出现强烈的压力起伏，都会发生金属与金属接触（Chung, 2000）。挤压机的喂料口也会发生金属与金属接触，特别是在喂料口偏移而与螺杆周边形成一个锐的斜角，或者喂料口结构不当的情况下。啮合的双螺杆挤压机也会出现金属与金属接触。相对旋转的双螺杆挤压机特别可能发生金属与金属磨损，所以这类机器通常都以低的螺杆转速运行。

磨擦磨损通常由于喂入料中有带磨损力的物质所致。如果这类物质很硬而又有一定数量，就会造成明显的磨损。影响这类磨损的因素是颗粒硬度、大小、形状和上料情况。粗粉碎的材料比细粉碎的材料在磨损方面的影响要大（Riaz, 2000）。有一个用来衡量一种材料磨损力大小的指标，即 Mohs 尺度，是根据一种材料在另一种材料上刻痕或被另一种材料刻痕的能力，将该材料在 1 至 10 之间排位。很软的材料，如滑石，排在尺度的底端，即 1；很硬的材料，如钻石，排在尺度的顶端，即 10。其他影响磨擦磨损的因素有预调制情况、螺杆结构和喂入料含油量（Riaz, 2000）。

进行预调制可使挤压机螺杆寿命延长一倍以上。螺杆构件中密集使用剪力环和反向螺片对挤压机磨损起负作用。喂入料的含油量犹如润滑剂，可减轻螺杆磨损。关于腐蚀磨损，一种化学反应至少会腐蚀机器内滑动表面中的一个。见到有凹坑的工作面通常可以认定有腐蚀磨损。解决腐蚀磨损的最好办法是从喂入料中清除腐蚀性成分，但是由于其他原因，这往往不可能。这种情况下，机器制造不得不采用防腐材料，如不锈钢、蒙乃尔高强度耐蚀镍铜合金（Monel）、耐蚀镍基合金（Hastelloy）等。要选择最适合的材料，应当了解哪些化学品会造成腐蚀。各种金属手册都载有关于各种金属对各种化学品的耐蚀性资料。

许多材料都可用来处理挤压机螺杆和机镗。有多种淬火方法，诸如火焰淬火、氮化淬火和高温淬火。这些技术都基本上属于表面淬火工艺过程，渗入深度和耐磨性的改善都有限。另一种改善螺杆和机镗耐磨性的技术是附加硬面法。硬面材料通常以镍或钴为基础，含各种碳化金属，诸如碳化铬、碳化钨等，用焊接、喷涂或浇铸的方法附加上去，厚度 1-3mm。Stellite（钨铬钴合金，带 Cabot 公司商标）和 Colmonoy（铬化硼系化合物，带 Wall Colmonoy 公司商标）是常见的两种硬面材料。Colmonoy 是以镍为基础含铬、铁、硼和硅的合金。Stellite 是以钴为基础含铬和钨的合金。其他的硬面材料有 Haynes 711, HC-250, Triballoy T-700, Ferro-Tic HT6 和 M6, Nye-Carb, Xaloy 008、830、101、306、800。附加这些硬面材料的焊接技术有惰性气体保护钨极弧焊（TIG）、弧光等离子体转移和氧炔焊接。应当记住，正确选择螺杆材料在一定程度上取决于其衬里材料，特别是在有金属与金属接触的情况下。就几种商业化机镗衬里推荐的螺杆材料列入表 2 (McCandles and Maddy, 1981; Rauwendaal and Pilar Noriega E., 2001)。从下列网址可以获得关于螺杆表面硬化以及螺杆和机镗相容性的更多信息：Xaloy, Inc. (Pulaski, VA): [www.xaloy.com](http://www.xaloy.com)。

设计正确的挤压机，磨损应当主要在螺杆，因为螺杆比机镗更容易更换和修复。修复通常比更换新螺杆便宜得多。一般用硬面材料进行修复。只要选择的硬面材料适合，修复的螺杆会比原来的更好。

机镗修复通常比螺杆修复更困难些。如果机镗磨损没超过 0.5mm，整个机镗可以搪磨到大一些的直径，装上一个大一些的螺杆。这种做法的缺点是螺杆和机镗的尺寸不再合乎标准，别的机器的螺杆不能用在非标准化的挤压机里。如果磨损发生在机镗的末端，可以在这机镗里装一个套筒。不过，在多数情况下，机镗磨损严重，更换机镗比加装套筒或进行搪磨加大内径更解决问题。

5. 切刀。用一个好的切刀在压模表面进行爽利的切割，是制出精巧、整齐的挤压产品颗粒所必要的。薄刀片的切割比切面毛糙的厚刀片

表 2 针对几种商用机膛衬里推荐的螺杆材料  
(Rawendaal and Pilar Noriega E., 2001)

		机膛衬里材料		
		Xaloy 101	Xaloy 306	Xaloy 800
螺杆材料	Colmonoy 5	Colmonoy 6	Colmonoy 6	Colmonoy 6
	Colmonoy 6	Colmonoy 56	Colmonoy 56	Colmonoy 56
	Colmonoy 56	Colmonoy 63	Nye-Carb	
	Colmonoy 63	Stellite 1	Ferro-Tic (Iron)	
	Colmonoy 84	Stellite 6	Xaloy 008	
	Haynes 711	Nye-Carb	Xaloy 830	
	Stellite 1			
	Ferro-Tic (Iron)			
	HC-250			
	Triballoy T-700			

译注：表中有些合金译名可查，其中部分合金的英文拼写与国内词典略有出入，译名供参考：

Xaloy—铜铝合金 (xalloy)；Colmonoy—铜镍合金 (colomony)；Stellite—钨铬钴合金；Haynes—海纳。

更光洁些。理论上，切刀的设计应当使切割头在进行作业时能作相对于压模面的移动，切刀应能配合挤压产量改变转速。切入角较高的切刀（图 2）可以更爽利地切割，因为切入角越高，将刀片推进穿过制品所用的力越小（Harper, 1981）。开机前要将刀片和压模面调整好。有些切刀采用柔韧的弹性金属刀片，贴在压模表面始终保持接触。

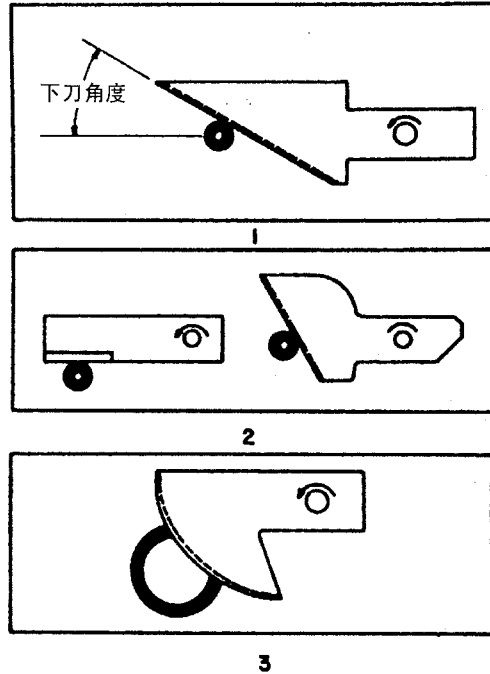


图 2 刀片下刀角度(Harper, 1981)

## 挤压机作业不稳

无论是原料有关问题或是机械有关问题，都能导致挤压机不稳（instability）。事实上，挤压机不稳，或者说挤压机功能表现变动，可能是挤压加工最常见的问题。这些功能变动如纠正不及时，往往造成产品质量异常或停机。经常发生不稳的一个理由可能是因为很多原因都会造成不稳，其中的一些原因如下（Rauwendaal，2001）：

- 1) 喂料斗内的料流问题
- 2) 挤压机内的固体输送问题
- 3) 搅拌能力不够
- 4) 熔化能力不够
- 5) 机膛温度波动
- 7) 螺杆温度波动
- 8) 螺杆转速变动

9) 压模中的挤压物温度的不均匀性

10) 挤压物破裂/鲨鱼皮

11) 模头压力很低

12) 压力形成能力不够

前面提过，配备适合的仪器对于迅速准确地判断问题是至关重要的。一个稳定挤压加工的前提是要有良好的喂料控制系统、良好的挤压机驱动、良好的温度控制系统和好的螺杆设计。挤压不稳可按其发生的时间情况作如下分类（Fenner 等，1979）：

1. 高频率不稳，其发生频率快于螺杆转动频率。
2. 螺杆频率不稳，其发生频率与螺杆转动频率相同。
3. 低频率不稳，其发生频率比螺杆转动频率慢 5-10 倍。
4. 超低频率不稳，其发生频率大约为 10-30 秒。
5. 无规不稳。

高频率不稳往往与压模料流不稳有关，诸如出现鲨鱼皮（shark skin）或熔体破裂（melt fracture）的情况。驱动问题或熔体温度不匀也会造成高频率不稳。鲨鱼皮表现为一种规则起皱的表面变形，皱纹走向与挤压方向垂直（Lue 等，1991），一般认为在压模等直径模孔段(die land)或出口处形成。鲨鱼皮的机理被认为是在物料离开压模时表层很快加速所致。降低挤压速度，提高压模温度，特别是在压模等直径模孔段的温度，一般可以减少鲨鱼皮的发生。熔体破裂是挤压物的一种严重变形，有各种形式：螺纹的、竹纹的、规则的波纹、无序的裂纹等（图 3）（Rawendaal，2001）。熔体破裂不是鲨鱼皮这种表面瑕疵，而是与挤压物整体有关。但是，许多人不去区分鲨鱼皮和熔体破裂，而是把所有这些料流不稳都归为熔体破裂一个词。已提出了许多解释熔体破裂的机理。第一种解释是在挤压机压模进口处出现严重的弹性变形，一般地说，压模进口角越小，出现引发不稳的变形比率越高。第二种解释是压模内料流的滑动—黏附现象，即在超过一定的临界压力时，由于挤压物与压模

之间缺少附着力，挤压物发生间歇滑动，以释放因料流通过压模所吸收的过多变形能量。减少熔体破裂问题的措施有：将压模设计成流线型，提高压模等直径模孔段的温度，以较低产量运行，降低挤压物粘稠度，或加大物料出口通道的横截面积。

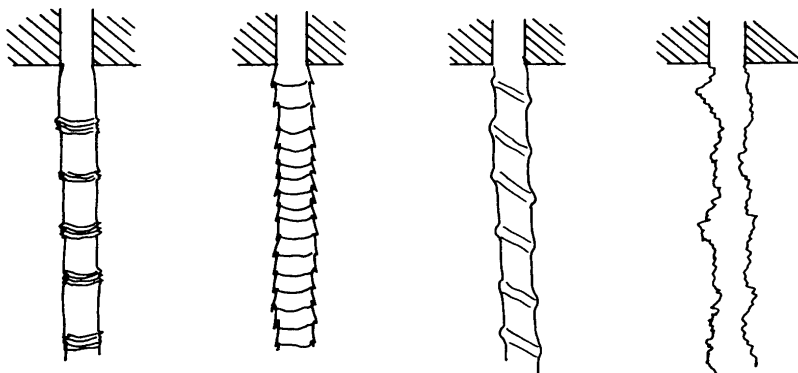


图 3 各种鲨鱼皮或熔体破裂形式(Rauwendaal, 2001)

轻度的螺杆频率不稳实际上在每次挤压作业中都在发生。这可能一部分出于这样的事实，即每次螺片从喂料口旁经过时都会中断喂料斗下料，从而造成周期性压力变化。如果有一个压力显示装置，应能在运转的挤压机上看得到这个现象。这种因喂料不匀形成周期性压力变化所造成的螺杆频率不稳一般影响较小，不致造成大问题。减少喂料斗下料不匀的一个办法是在喂料区采用双螺片螺杆结构。在多数情况下，螺杆频率不稳的主要原因是泵吸（或计量）区中螺片头尾边缘之间的压力差。该压力差随粘稠度、直径、螺杆转速和螺旋角加大而变大。大压力差形成的螺杆频率波动比小压力差要大。在螺杆末端安置一个多螺片螺杆可以少发生螺杆频率不稳。

有人报导，低频率不稳与固体料床沿下流方向平面断裂有关（Fenner 等，1979）。低频率不稳造成压力波涌（pressure surging），其频率大约比螺杆转动低 5-10 倍。Fenner 等（1979）报道，固体料床断裂是由于当固体料床与螺杆之间有一层融化膜时固体料床向挤压机的

塑化区推进所致（图 4）（Chung, 2000）。冷却螺杆可以避免熔化膜形成，这有助于减少波涌。固体料床断裂在螺杆压缩比高（3:1 至 4:1）的情况下也较易发生，而在螺杆压缩比低（2.25:1）的情况下则不易发生。将喂料口处的螺杆槽充填容积除以最后一整节螺片在卸料前的充填容积，即可得出压缩比（Harper, 1981）。另一个可以避免在螺杆表面形成熔化膜的方法，是采用屏蔽螺杆结构，即在屏蔽区开始处将一个屏蔽螺片置入螺杆槽，屏蔽螺片与机镗的间隙通常大于主螺片与机镗的间隙。熔化的挤压物能够流过机镗螺片，但固体颗粒不能。因此，屏蔽螺片造成相的分离，将固态料床限制在机镗螺片的一边，而让熔化的挤压物处在另一边。（图 5）（Chung, 2000）。

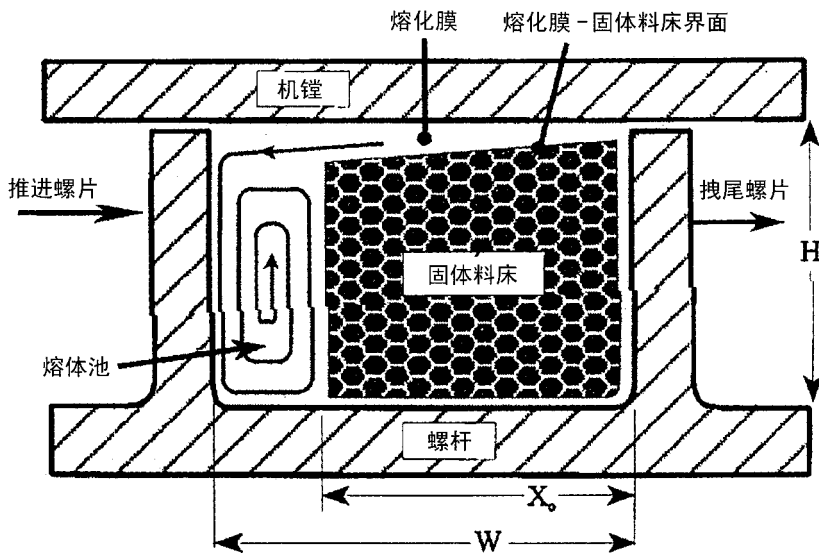


图 4 固体料床的散逸熔化(Chung, 2000)

挤压机机镗沿线温度波动会造成 10-30 秒的波动。从温度显示装置往往不能看出这种温度波动，因为许多温度感应器反应很慢，且温度感应器的安放位置往往与挤压物有相当一段距离。在按时间安排的温度控制系统中，以较短的时间间隔（一般大约是 15-20 秒）增减马力。这些

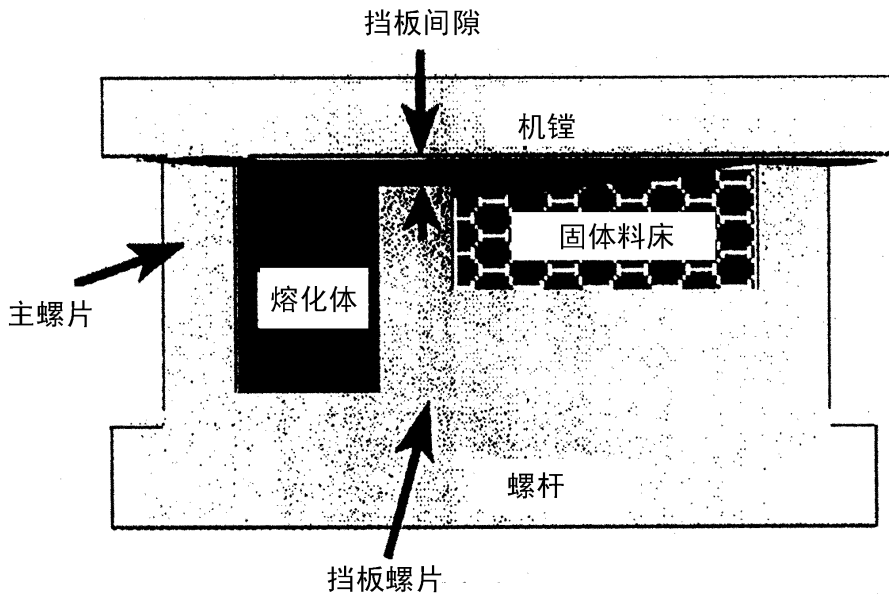


图 5 用机镗螺片分隔固体料床与熔体池(Rauwendaal, 2001)

加热或冷却的能量冲击将造成挤压物/机镗界面温度的短期变化，并有相应的物料通过速度的变化。压力波动与这种通过速度的变动密切相关。在采用开/关温度控制的情况下。这种温度导致的通过量波动可能会严重得多。如果采用蒸汽和水进行挤压机的加热和冷却，应当细心设计水和蒸汽供应线，因为厂内其他部分对水和蒸汽的需求量变动都会剧烈影响这些供应线的压力，而这些压力变动会造成水和蒸气输入速度的变化，从而明显改变挤压机作业情况。在所有这些管线上安装压力调控器对防止一些这类温度波动是至关重要的，但以上措施对于供汽量不足的糟糕设计来说无济于事。

其他很慢的波动（fluctuations）常与温度控制不良、室内条件变化、厂内电压变化和类似原因有关。整流板（breaker plate）、过滤网板或压模堵塞，常造成物料通过量平缓的下降。整流板（图 6）是一个置于机镗和压头或压模适配器之间的打孔圆盘，具有若干重要功能

(Brydson and Peacock, 1973) : 1) 有助于进一步增加反压力；2) 将挤压物的滚动料流转变成平行于螺杆轴线的料流；3) 挡住杂物；4) 挡住未熔化的物料。在整流板与螺杆之间插入一个金属丝筛层(筛网)可能会提高整流板的这些功能。除了拆卸压模和整流板进行清洗再重新装上，一般很难解决堵塞的问题。有的挤压机配备有液压操作的快速更换压模和整流板的装置，只需短暂停止挤压机作业即可完成更换。

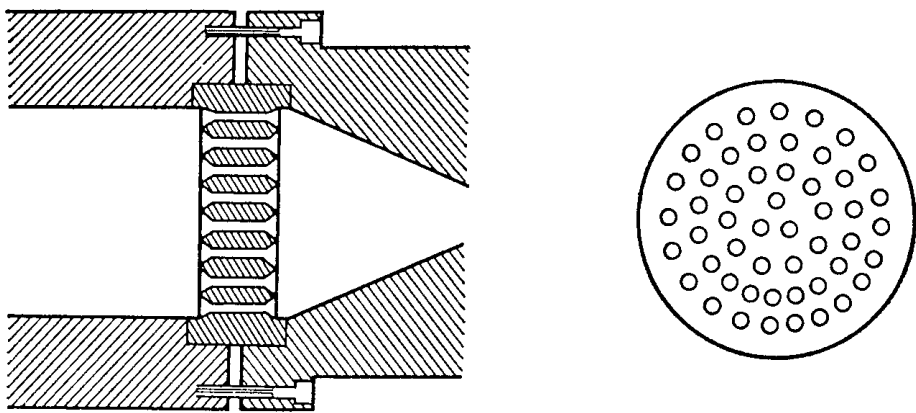


图 6 整流板(Brydson and Peacock, 1973)

无规波动 (random fluctuations) 常与喂料、水或蒸汽的输入速度有关，这些都直接联系到系统的设计。例如，容积喂料器料斗的物料水平可以改变产量。喂入的原料中如含有各种大小不同的颗粒和 / 或，特别是密度不同的颗粒，处理过程中即容易分级，从而导致喂料过程中原料的颗粒构成的变化。料斗或喂料输送的暂时堵塞会很快改变喂料速度，造成严重失常。一次水或蒸汽输入速度的下降可能因使喂入料变得很干而造成严重后果，使挤压机堵塞和 / 或电机超载。在这些情况下，操作员必须迅速移出干的物料，恢复加水量。所有这些变化都会造成喂料器作业波动，挤压机作业的无规不稳。无规不稳也可能与周期波动合并发生(图7)。

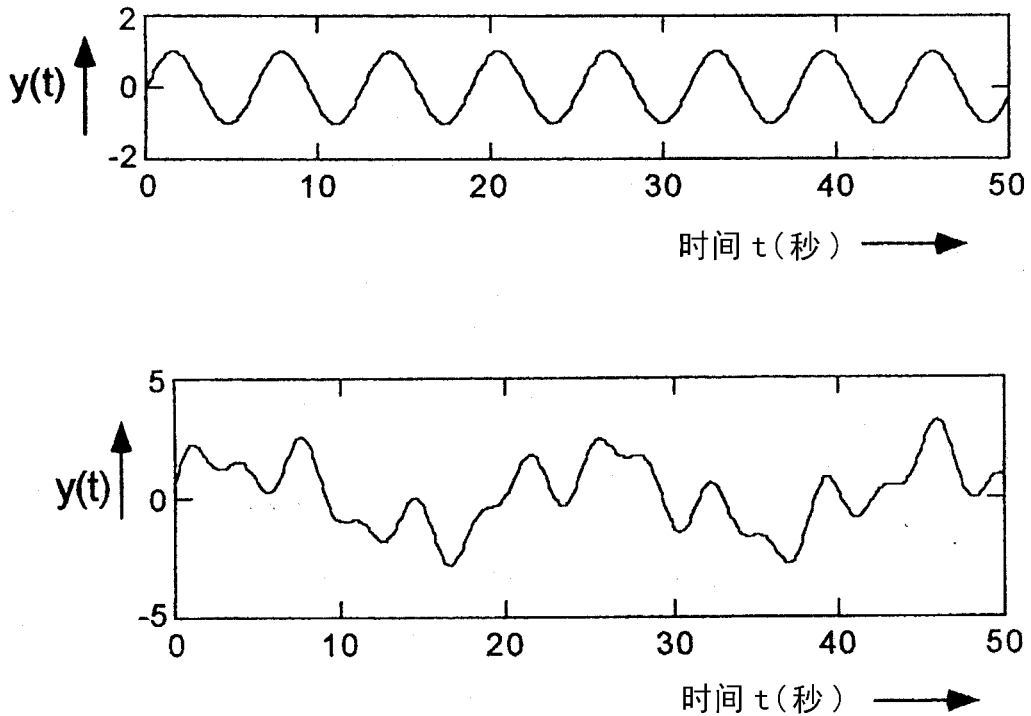


图 7 由三个正弦波振荡变数形成的无规波动  
(Rauwendaal, 2001)

## 波 涌

最普通又最为大家熟悉的挤压机不稳之一是波涌 (surging)。波涌指的是挤压机作业的不平稳状态，常与马力和/或模头压力的波动有关，这两个都是挤压机作业非常灵敏的指标。波涌很多是发生在高温作业形成的蒸汽朝喂料斗方向的螺杆逸散的情况下。蒸汽流冲乱了机槽里密实的物料，瞬时减少了挤压机的出料量。有时把这种情况叫做“回汽”，喂料斗出现蒸汽就是这种情况。冷却喂料区机膛套筒、暂时冷却挤压机出料处和/或提高喂料速度，有时可以停止波涌。后面两种作法都可降低挤压温度，从而使物料重新充满螺杆，回到正常的作业状态。

## 参考文献

- Brydson, J.A. and Peacock, D.G. *Principles of Plastics Extrusion*. Applied Science Publishers, London, 1973.
- Chung, C.I. *Extrusion of Polymers: Theory and Practice*. Hanser Publishers, Munich, 2000.
- Fenner, R.T., Cox, A.P.D. and Isherwood, D.P. Surging in screw extruder. *Polymer*, 20(6):733-736, 1979.
- Gould, R.J. Opportunities for the next decade in extrusion. *Plastics Eng.*, 33 (Oct.), 1998.
- Harper, J.M. *Extrusion of Foods*. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, 1981.
- Lue, S., Hsieh, F. and Huff, H.E. Extrusion of corn meal and sugar beet fiber: Effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. *Cereal Chem.*, 68(3), 227-234, 1991.
- McCandless, W.W. and Maddy, W.D. Extruder wear: screw/barrel compatibility is often overlooked. *Plastics Technology*, 27(2), 89-93, 1981.
- Rauwendaal, C. *Polymer Extrusion*. 4<sup>rd</sup> ed., Hanser Publishers, Munich, 2001.
- Rauwendaal, C. and Pilar Noriega E., M. *Troubleshooting the Extrusion Process*. Hanser Publishers, Munich, 2001.
- Riaz, M.N. *Extruders in Food Applications*. Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, 2000.
- Tadmor, Z. and Klein, I. *Engineering Principles of Plasticating Extrusion*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1970.
- Whelan, T. and Dunnig, D. *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*. Dynisco Inc., Norwood, MA, 1988.