

烧结砖行业转型升级中面临的问题之探讨

文 堂 柏昊仓 湛 蒙

西安力元有限责任公司

三、整体提升挤出机的性能及配置，真正实现生产线全部自动化控制

（一）挤出机的配置

挤出成型设备是人们关注的焦点，国内目前设计、生产的挤出机仍处于比较原始的状态下，都是在模仿，原创性不足。且由于其配置不够，直接导致了我们的挤出机的运转特性参数不能数字化，进入不了生产线自动化控制平台。众所周知，我们的烧结砖生产线在挤出机前的原材料处理阶段，其控制手段多种多样，如顺序启停、连锁互动等都能实现自动化控制，但是一到挤出机就“卡壳”了。在挤出机后的切、码、运系统以及窑车运转系统都可以实现高度的自动化控制。挤出机是生产线上的主机，但是就像隧道窑焙烧一样，时刻离不开人的关照，成为了实现全生产线自动化控制的“拦路虎”。这种尴尬的状态与我们的挤出机配置不全关系极大。例如，时至今日我们还没有研发出来挤出成型水分的自动控制的装置，成型含水量的高低，全靠人的手感；加水量的多少全靠操作工的心情；再如，挤出机磨损程度如何也全靠机修工的感觉，因为我们的挤出机上没有配置能够反映实时挤出压力变化的压力数据（表）的装置。问及设备制造厂家，有的说没有用，装个压力表几天就坏了；有的说别的厂家都没装，我们为什么要装；有的厂家说，没有合适的压力表等等；也没有配置泥条挤出速度的在线监测。实时挤出压力数据可反映螺旋较刀、泥缸衬套、

芯架等易磨损件的磨损程度，也是对挤出产品质量的有力保证，也能提示什么运动部件该维修了；挤出成型含水量的自动控制，对挤出机的稳产、高产起着关键性的作用；也对后续的切码运系统设备能力的发挥起着重要的作用；同时对成品尺寸的稳定性也得到了保证。没有上述的这些基本配置，我们的挤出机就进入不了生产线的自动化控制平台，也就无从谈起行业的转型升级。下图 18 为奥地利维也纳山公司的烧结保温隔热砌块成型时的实时挤出压力：18.8bars。



图 18 维也纳山公司的烧结保温隔热砌块成型时的实时挤出压力

图 18 中的实时挤出压力，不但工作现场能够看见，在总控制室中也能看到。同时总控制室中还实时监测着挤出机主要轴承的温度、主轴转速、泥条挤出速度在线数据、真空室中的料位指示器、真空度、成型含水量、挤出机电机的电流等等与挤出机运转相关的数据。如果挤出机的配置不够，挤出机的运转参数不能数字化，就无法进入生产

线的自动化控制平台。挤出机配置的完善及性能的提升，对我们行业的意义重大，要尽快结束凡生产高档产品，挤出机（含机口模具）必引进的尴尬局面。

（二）挤出机性能上的提升

1. 挤出机理论研究与实际应用上的突破

真空挤出机在理论上的研究和在生产实践中应用的真正突破是在 1999 年底前后，即 PSM 软件系统的研发成功。这一软件系统的理论基础就是现代流变学理论和实验方法。该软件工具可以精确有效的模拟挤出过程中物料的流动状态，并在工业生产中得到了很成功地应用。本软件首先是由德国的布朗公司从 1992 年开始研究，后又联合德国翰德尔公司、斯多加大学的电子计算机应用研究所、卡尔斯鲁赫大学的机械工艺工程和机械系统研究所、克劳赛尔大学的玻璃陶瓷研究所，在三位博士头衔的教授参与下，先后用了八年时间，按照流变学原理，在解决了一系列的数学问题之后，建立起了数学模型，进而开发出了 PSM 软件。这一软件的核心理论是：挤出过程中物料的流动不是单纯的剪切过程，而是包括整个挤出流动截面上的压力分布等全部影响流动的变量。根据研究认为，与泥料流动有关的参数是具有 k -系数的（机头、机口、芯架、芯头）壁滑动平面、流动极限、壁滑动极限和宾汉姆粘度(Binham Viscosity)。物料的水分及温度，壁的剪切应力和壁的构造（粗糙度、镀层等）影响着壁的滑动。壁的滑动可被解释为是物料的颗粒与壁之间的相互作用。因在壁上特定材料的应力作用，泥料中的颗粒结构被破坏，在挤出泥料和机口、机头壁之

间形成了“一薄的润滑膜”（即细颗粒富集在壁接触的表面上，或称为细颗粒的富集效应）。这就导致了在被挤出坯体中有两种不同粘度的物相系统。流动极限是指在外部施加力的情况下，也即当剪切出现时所加力的大小（值）。壁滑动极限表示的是当壁滑动开始时的应力。物料的特征是以粘—塑性的方式表示，即剪切的衰减 (Shear-attenuating)。粘度极限值是当没有进一步的剪切衰减时的值，被称为宾汉姆粘度。 k -系数是宾汉姆粘度相对应的壁滑动层的厚度。当原材料的这些参数测定出来后，同时将产品规格的信息和原料参数输入该模拟软件系统，可模拟出全部挤出过程。通过计算机就可设计出优化的挤出机头、机口以及螺旋绞刀等。布朗公司已研制出测定这些参数的专用机口，测定的原理就是根据机口内的压力变化来同时测定原材料的四个参数。翰德尔公司已经将这一软件应用到了对生产现场挤出机的评价和改造上。因此，我国的挤出机不能停留在模仿和不可靠经验的基础上。要想生产出高档次的产品，就必须要有以现代科学为基础设计、制造出新型的挤出机。

螺旋输送式的挤出机和真空机组是一高度复杂化的成型系统，因要得到非常满意的挤出过程，在成型中有着大量的参数在共同起着作用。挤出众多类型的产品时，由于被挤出物料的流变学特性，在许多情况下其结果往往相互背离（由于被挤出物料的流变特性的不同，所以挤出时的效果相去甚远），因此必须集合挤出过程中的各种数据，确保最佳挤出。要达到最佳挤出就必须在现场对生产中的设备进行监测，因此德国某公司开发了用于现场监测的“可移式测量系统设备

—MMS (Mobile Measurement System) ”。

磨擦学和流变学原理在挤出成型中有重要的作用。磨擦学涵盖了包括能量和材料消耗过程的研究，其发展方向和措施是如何降低相对磨擦能量及降低诱发磨损材料的损失。在磨擦学术语中，真空挤出机可被描述成为在固体和液体的表面进行相对运动并相互影响的“敞开式磨擦系统”。这涉及到磨擦、磨损、润滑等，从而带来了机械能的产生、传递和转换，其结果是泥料的传输和成型。与间歇式搅拌机比，真空挤出机构成了个敞开系统是因为有连续稳定的新材料供给，均化了材料及挤出了坯体。坯体的密实化允许在该系统内发生能量消耗的过程。当然，以磨擦学术语讲，在真空挤出机的联合系统内螺旋绞刀、泥缸及挤出机头和机口一定要非常合理的配合；然而，**从流变学的观点讲，物料**的流变特性对成型有着决定性的影响。“磨损”一词可被理解为在固体、液体或气体物质的接触中，在固体物质的表面上由于机械磨擦而产生的一类累进式的材料损失过程。磨损就是物体表面小粒子的损失，从而改变了物体的形状和物质的结构。所有的磨损过程基本上都是由于各种不同程度的机械能的引入而产生的结果。

2. 挤出压力的来源

过去在国内一直受到“没有阻力，就没有压力”的错误概念的引导，对于挤出机的挤出压力长期处于一种“糊里糊涂”的状态中，例如要想增大挤出压力，提高挤出速度，就一味地增大电动机。

在下面挤出机的示意图中，表示了在挤出中的压力曲线。图 19 中 x 点的右边是螺旋绞刀头的末端，表示着在泥缸中压力的增加，尽

管这种压力不能度量；X 点的左边依次为挤出机头、机口，表示着压力的降低。能达到的最大压力 P_1 主要是取决于后部螺旋绞刀建立压力带的长度，在示意图中以 $X-RSP_1$ 表示该长度。这一压力不取决于重复的螺旋绞刀的几何形状。因此其角度“阿尔法”（ α ）决定着在挤出机中能达到的最大压力。“阿尔法”（ α ）依次取决于下列因素：

被挤出坯体的内部磨擦；

在坯体、绞刀及泥缸之间的外部磨擦（这些问题涉及到流变学的概念）；

成型过程中挤出机头和机口的阻力。

可将螺旋挤出机区分成为两个子系统（图 19）：

压力发生器：系统螺旋绞刀以及泥缸体；

压力消耗器：在材料离开螺旋绞刀之后必须克服的所有阻力。

仅当在点 X 的两侧（图 19）存在有一个平衡时，陶瓷坯体原材料才能在机头（应该包括机口在内）中流动挤出。

在图 19 中举例进行了描述，螺旋绞刀首先将会把材料紧密地填满它本身直至达到压力的积累起始点（ RSP_1 ）。仅在此时压力是处在用于压力消耗器所必须建立的压力 P_1 的起始位置。

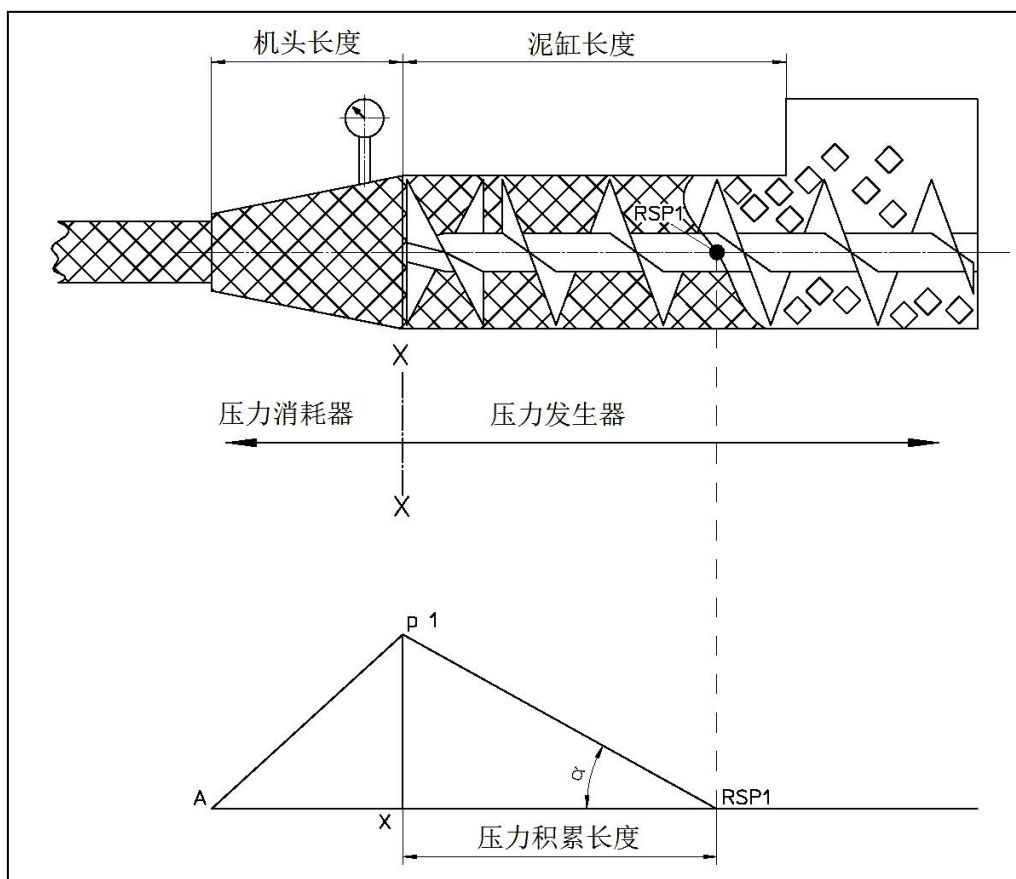


图 19 螺旋挤出机的压力

每一台挤出机均有一个特定的压力形成能力，而压力形成能力是以 bar/cm 来明确表示的（即螺旋绞刀每前进 1cm 挤出压力可提高多少， bar 为气压单位， $1\text{bar}=1.02\text{kg/cm}^2$ ）。

如果一台螺旋挤出机具有 $\text{dpdl}=0.3\text{bar/cm}$ 的压力形成能力，在封闭泥缸的长度 $L=1\text{m}$ 时，就能够建立起 30bar 的压力。数值“ dpdl ”不是一个恒定的数值。这一数值受体积变化的影响。

随着工作时间的增加，绞刀表面粗糙度降低，角度 α 则变化为角度 β 。此时能够达到的最大压力从 $P1$ 下降到 $P2$ 。要想达到所需压力 $P1$ ，后部的压力带就必须沿着图中的绿色线延伸，而到达了挤出机的供料段（在前端机头和机口阻力未变的情况下，此时伴随有返泥）。

因为供料段螺旋绞刀不能产生任何压力，随着压力的下降，生产效率也随之下降[这与从宾汉姆体（流变学中的模型）推导出的连续等式是一致的]。此时如果打开挤出机，泥缸中被挤实的物料填满直到绞刀的根部（返泥）。在相反情况下，也就是在物料和绞刀之间有着最佳磨擦率时，常常仅在绞刀的前部被物料填满，更确切地说后部压力带是非常短的。

3. 挤出过程的优化

对挤出机进行优化，是西欧近年来谈论和实际中对挤出机进行技术改造重要的内容之一。简单说来就是挤出设备的各种工作参数及结构特征怎样与被挤出物料的性能（流变特性）之间达到最佳配合。除了压泥板、阻返泥装置、压力稳定装置外，重要的是螺旋绞刀、绞刀头、机头、机口、芯具、内衬套、主轴转速等的优化。这种优化的理论基础就是现代流变学理论在挤出过程中的实际应用。应用的实例效果是：仅在某一西欧的工厂将绞刀头的几何形状改变，降低主轴转速后，就取得了非常明显的效果。主轴转速从 17.5r/min 降到 11.8r/min，挤出压力的波动就从 $\Delta P=0.6\text{bar}$ 降到 $\Delta P=0.3\text{bar}$ ，泥缸的外壁温度从 52.5℃ 降到 41.8℃，主机电流从 270A 降到 190A；但泥条的挤出速度从 17m/min 增加到 18.2m/min。除产量提高外，由于转速降低，磨损自然减小，更重要的是挤出均匀，坯体质量得到大幅度提高，图 20 是优化前后的对比。实际证明绞刀几何形状的改变，可节约能耗 20~30%，而且同时带来了向前供料均匀和挤出效率高的结果。

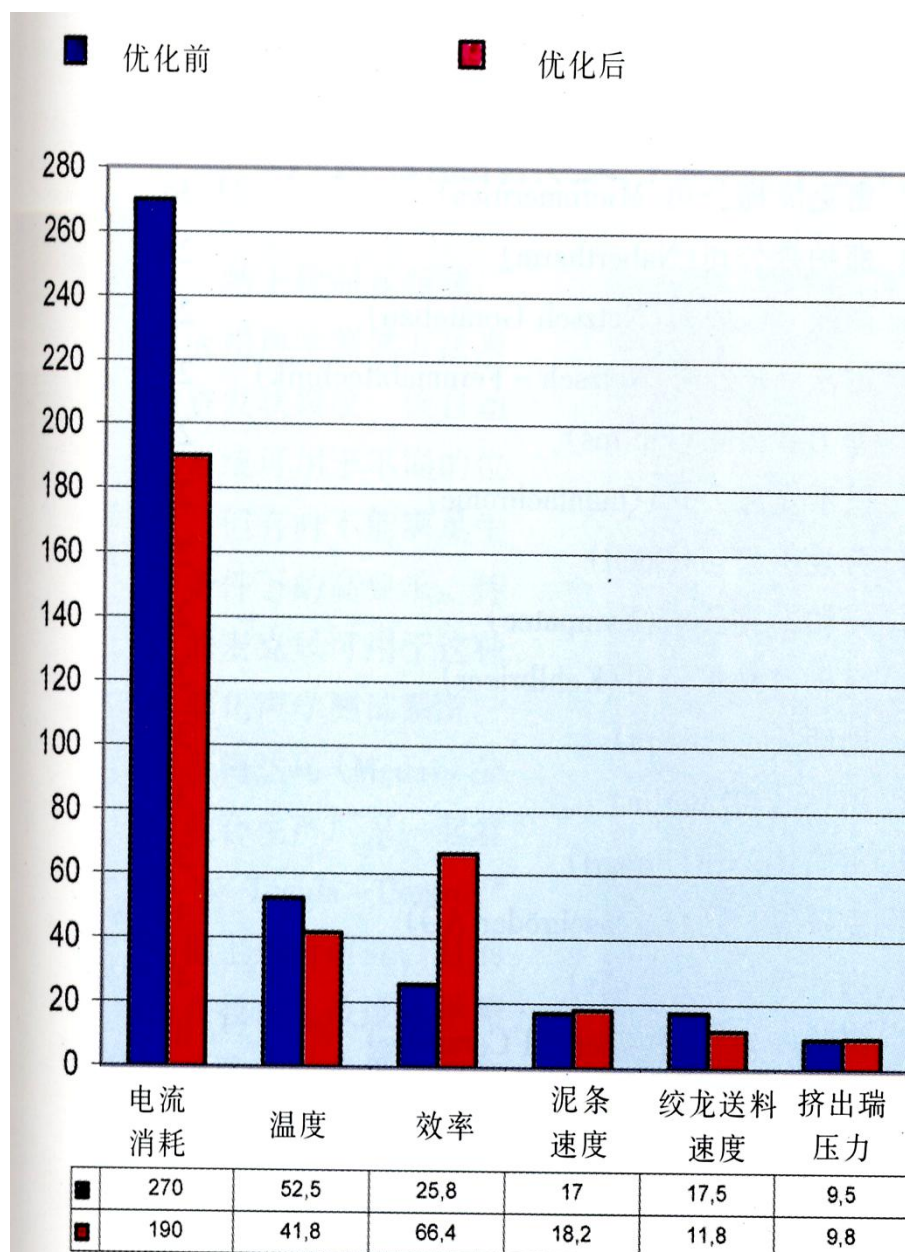


图 20 挤出机优化前后效果对比(德国 Rehart 公司)

4. 挤出机的节能

统计数据及在砖瓦工业内的研究表明：成型工艺使用的能耗平均为砖厂中总能耗的 3% 以下。这种情况甚至在硬挤出工厂中，有相对较高的负荷的真空挤出机也是如此（即挤出机在现代化工厂中所消耗的电力占全厂的比例较低）。此时的问题是：在挤出阶段值得考虑是否和怎样节能吗？或是说应该更注意其他工艺过程中耗能最大的阶

段。能源成本的迅猛增长，以及对能源形势发展的预测表明，节能是世界性趋势，节能的要求即使在小数点后的比例也值得提倡。下表 2 给出了挤出过程最主要的节能内容。

表 2 挤出成型中节能的可能性(Frank Händle)

序号	可能的途径	序号	可能的途径
1	泥条与机口的校正措施	7	最佳恒定的坯体配料
2	成型系数的降低（压缩比）	8	真空设备的精确监测
3	泥缸和绞刀的最佳表面粗糙度	9	现代控制系统包括最先进的传感器
4	泥缸、绞刀的几何尺寸与坯体和其它条件的协调	10	有利挤出的外加剂
5	现代驱动技术	11	机口和机头最佳化的几何形状和表面
6	热成型		

众所周知，在挤出机中的成型实际上不是出现在螺旋绞刀区域，该区域的主要功能是传输和压紧物料，成型是发生在由挤出机头和机口组成的区域中。挤出机头和机口的几何形状、磨擦系数、被挤出坯体的流变学特性，就基本上决定了后部螺旋绞刀产生压力的大小。将这些因数综合考虑，什么是最主要的因素呢？

基于成型系数的改变在成型过程中节能

成型系数是指：进入挤出机头中物料的表面积与机口横截面面积之比（即泥缸横截面与机口横截面面积之比）。成型系数在所有挤出成型系统中起着至关重要的作用，如在钢材的压延、陶瓷和塑料的挤出中都是非常重要的。西欧国家现将 **4.5kWh/t 湿泥条的数据作为挤出机设计标准**（含上下级、真空泵、压泥辊的电动机），实际上在一定条件下这一数据是能够达到的，甚至还可低一点。多机口（多泥条）挤出时，有低的成型系数，其实质上是能量的节约。

可是国内有的挤出机设备制造厂家，用挤出段泥缸直径 650，甚至 700、750 的挤出机，仅挤出一根 120×250mm 的单泥条，成型系数高达 11 以上。如果按照 **4.5kWh/t 湿泥条** 作为判断标准，可见我们的挤出机是不节能的，而且在高成型系数的情况下，挤出坯体的内应力很大，出现缺陷的几率增大。

泥条出口在线监测节能

在挤出蜂窝式技术陶瓷中使用了机口的在线监测技术。挤出泥条几何外形的允许误差为 $<1/10\text{mm}$ ，如超出该误差，机口就必须更换或调整。砖瓦行业应借鉴这些经验。（经计算表明：以我国普通标准砖为例，按 1000 万块为单位，如每块砖坯的长度平均大出 2mm，等于浪费了约 83000 块成品砖；同时也等于浪费了挤出过程中的电耗和烧成的热耗。）

5. 挤出机头和机口的功能及选择

在绞刀头的压力下泥料流动在绞刀头处由两个或三个叶片将泥条分成两股或三股在流动。机头的任务是将物料均匀供给机口，来自

机头的物料进入机口时要在整个截面形成均匀密实的泥条，并保证尽可能没有分层和纹理。物料的传输第一步是在机头内，第二步是在机口内，如不适当的传输，会造成严重的分层。因此机头的设计就更应给予注意。从原理上讲，在每种情况下，对每一机口或是对每一相应规格的产品都有一个最佳的机头存在。但在实际中往往认识不到机头的重要性。现国际上知名的大型砖瓦机械公司均有为适应原材料变化或产品规格不同的各种机头。

为了满足各种产品、规格、不同的物料和操作条件的需要，一般将机头分成下列类型：

对开和不对开的机头——纵向或横向对开的机头；

可用滑动板调节的机头；

可冷却的机头；

为减少磨损内部包复耐磨材料的机头；

带有或不带有过渡板（块）调节的机头；

带有可快速更换机头的装置的机头；

带有旋转装置的机头；

带有机口安装板的旋转装置的机头；

可加油和水的组合机头和机口；

带有单一的或是多个分开式插板的机头；

带有快速安装到泥缸或到机口板上的机头。

机头要做到“量体裁衣”，即根据原材料的流变特性和产品种类合理地选用机头。机头的好坏关乎：

- 能量的节约;
- 磨损的减少;
- 产品质量的提高;
- 操作方便性的增加;
- 产量的提高。

如前文所述，机头（俗称机脖子）在挤出过程中起着非常重要的作用，但在实际中往往忽略了机头的重要性。对于高孔洞率的制品而言，在某些情况下，机头所起的作用比机口要大的多。机头的长度和锥度与原材料的流变特性关系极大，要视具体情况合理配用。

● **机头的多功能性：**

- A、将螺旋绞刀中旋转的物料流转变成为轴向流动的泥条；
- B、缓解螺旋绞刀头末端流出物料的残余脉动；
- C、减少或消除绞刀外沿与靠近轴套（轮毂）之间的流速差；
- D、改变泥条流动断面的形状；
- E、使物料能均匀地流入机口的各部位，并使泥料均匀分布在芯具中。

● **机口的功能：**

- A、保证整个断面上的泥料流速均匀；
- B、保证整个泥条表面光滑且无缺陷；
- C、保证应具有断面。

实际中总是采用其折衷的方法，对不同的机口或是不同规格的产品都用一个机头。因此必须采取的措施是在机口和机头内插入调节闸板。

（三）对我国挤出机发展的几点建议

1. 关于挤出压力

真空挤出机的挤出压力在我国近二十年来受到了越来越多的重视，但对挤出压力必须要有清楚的认识。例如挤出机的最大允许挤出压力与实际工作压力应分别对待。对特定的原材料和产品来说，并不是挤出压力越高就越好。在一定程度上讲，最大允许挤出压力是对设备保护的一限定数值；而工作压力则是根据实际生产的要求，合理选用的生产中的控制参数。在另外的意义上讲，最大允许挤出压力数值也表示着对挤出压力可选用范围的大小。对真空挤出机的使用者来讲，根据自己所要生产的产品要求及所用原材料特点，合理选用挤出压力是直接影响着产品的质量、电耗的高低、设备的维修量等，换句话说，直接影响着生产的成本。根据国际上流行的讲法，挤出压力的范围和大小代表着一定的成型工艺方法。

关于挤出压力和相对应的成型工艺根据西欧的概念分类如下：

- 软塑挤出压力：18bars(相当于 18.36kg/cm^2)以下；
- 半硬塑挤出压力：18~25bars($18.36\sim 25.5\text{kg/cm}^2$)；
- 硬塑挤出压力：25bars(相当于 25.5kg/cm^2)以上。

对于挤出压力，我们必须要有清楚的概念，即实际工作压力在 25.5kg/cm^2 以上时就为硬塑挤出成型； 18.36kg/cm^2 以下就为软挤出。

使用硬挤出完全是为了得到高硬度的坯体，因此曾有一段时期，人们追求使用尽可能高的挤出压力。但是随着节能的呼声愈来愈高，加之人们对烧结砖瓦制品功能的认识逐渐清晰，对某些产品而言，如

大型烧结砌块等宁愿采用较低的挤出压力，采用相对较低的码坯高度，所要求的针入度(或称贯入度)值常为 2.2~2.5(即相应的湿坯强度为 0.22~0.25N/mm²)。这种考虑不仅仅是为了经济上的利益和因为动力消耗过大，而且也是充分考虑到了原材料的特性及产品用途。

鉴于上述对挤出压力的认识，建议我国真空挤出机生产厂家应在挤出压力上给自己生产的真空挤出机定位，如：是用于软塑成型的设备还是半硬塑、硬塑的成型设备；同时建议将挤出压力的标识文字更改为“**最大容许挤出压力**”，这也是对自己所生产的设备进行保护的一种说法，对用户来讲也是一种警示和提醒。

2. 关于产量的表示方法

多年来我国习惯于用每小时可挤出多少块普通标准实心砖来表示真空挤出机的产量。但是随着多孔砖和空心砖生产比例的不断增长，这种表示方法已不适应或是不方便了。在一定程度上讲，这种表示方法实际上把真空挤出机的优点没有体现出来。因为真空挤出机，特别是大型的双级真空挤出机，其进入下级螺旋绞刀或是说进入真空室的物料量是一定的，生产中常发现，挤出实心砖时产量低（按块数说），有时还达不到规定的产量；而在挤出多孔砖时，产量就增加；挤出空心砖，特别是高孔率空心砖时，产量最高（比较而言，按体积计）。其实挤出的绝对吨位数量差不多是一样的，但按体积折合的数量相差很大。国外多年来一直是沿用每小时可挤出多少吨湿泥条来表示真空挤出机的产量。这一表示方法对真空挤出机来说是比较合理的，因现在的真空挤出机生产中产品规格的变化多，用吨位表示产量是较为合

理的。所以建议我国的**真空挤出机用挤出湿泥条的吨位来表示产量**。之所以用湿泥条的吨位表示，也排除了切坯机废泥头对挤出产量描述时的影响。

四、 建立行业原材料分析评价中心，为行业转型升级作技术支撑

众所周知，由于各种原因，在国内还没有建立起完整的、科学的用于烧结砖瓦原材料的评价体系。现在行业内流行的可塑性指数，是1911年瑞典人为土工试验而发明的一种用于土壤的测试方法，而我们将其使用到了煤矸石、页岩等工业废渣的测试上，误差很大，不能正确评价原材料的特性；又如干燥敏感性系数是我们借用前苏联上世纪50年代的方法等等。真正现代科学技术方法我们一直未引入到行业中，如原材料的矿物学分析、与生产工艺密切相关的热分析手段等。正因为对原材料没有一个科学的、切合实际的评价，就给一些不良设备制造厂家推卸责任有了借口，出现问题不从自身设备上找问题，而是“你的原材料不行”。须知，现在用于烧结砖瓦的原材料种类繁多，性能各异，如果事前不能正确评价造成的损失会更大。

另外，环保的要求日益严格，那么，某种燃料或原材料能否用于烧结砖，必须事前给出评价。但是，我们现有的评价体系，虽然说能够测定出含硫量（在常温下），但是焙烧中有多少硫挥发了？是否有氟化物？是否有氮氧化物？没有一个合理的预先测定评价方法。就形成了建厂初期不能正确计算出投资，更不好去计算其运营成本了，所谓的投资回收期就成了不可信的数字。再如，不能对原材料的干燥性能给出确切的评价，没有合理的干燥制度、干燥室的建设就失去了准

则，干燥无章可循，最终只有用户倒霉；同理，对原材料的焙烧特性搞不清楚，不能制定出合理的焙烧制度，那么就造成了窑炉的长短不一，宽窄不一，码坯高度、码坯密度拍脑袋等问题，更谈不上烧砖隧道窑的自动控制了。一个连正常的焙烧周期、烧成温度范围都不知道的人，怎么能建造出来节能、高产的窑炉呢？全内燃烧砖，火行速度都控制不住，怎样能够实现烧砖隧道窑的全自动控制呢？建厂前对原材料、燃料重视不够，没有做正确的、合理的检测分析，盲目建厂而造成了巨大损失的实例很多，如将盐碱土作为原材料，烧成后的产品严重泛霜、粉化；对内燃掺料含硫量的忽视，使得设备、厂房锈蚀严重，而且产品严重泛霜，使用二级脱硫也达不到标准要求；对原材料不经过有资质的研究机构分析检测，不进行矿物成分的鉴别，仅靠某些连化学成分都做不准确的设备制造商的数据，盲目地建厂，但原材料中含大量蒙脱石矿物（页岩）而无法正常生产，有的甚至连一块合格产品也看不到。图 21 为一些原材料选择不当造成的失败工程案例。





盐碱地土壤做成的砖，严重泛霜——新疆



贵州某地页岩中蒙脱石矿物含量过高导致的废品



内蒙某地页岩中蒙脱石矿物含量过高导致的废品



内燃掺料含硫太高，产品未出厂造成的泛霜——皖南某地

图 21 原材料选择不当造成的失败工程案例

不对原材料、燃料进行详细的检测分析而盲目建厂，上述这几个生产厂目前都陷入了困境，更谈不上投资回收。原材料和燃料基本性能的检测分析对原材料处理设备的选择、成型方式的确定、干燥基本特性和焙烧特性的了解、环保措施的选择等都很重要。原材料需要检测分析的项目较复杂，最主要的是矿物组成分析（主要是考察黏土矿物的种类和数量；有用矿物和有害矿物）；化学分析主要是涉及到烟气排放的有害物质（如硫、氟等）；物理分析主要有可塑性指数、普氏成型含水量、干燥线收缩率、干燥敏感性系数、焙烧温度范围以及焙烧温度等；热分析主要有差热失重分析、热膨胀曲线分析、高温荷重分析等（主要为焙烧制度提供依据）。燃料的分析除发热量外，主

要是硫以及氟的有害物质的分析。这里强调一点，无论是原材料还是燃料，对其**含硫量的测定一定要在常温下测定**，传统的化学分析中对硫含量的测定误差很大，不能作为依据。

在烧结砖瓦原材料中，氟化物是最常见的、频繁出现的一类物质。研究表明，氟元素在原材料中主要是与伊利石、蒙脱石、云母类矿物结合在一起。氟元素在地壳中的丰度约为 0.065%，相当于碳、氮及氯的丰度，远多于铜和铅。砖瓦生产使用的黏土、页岩、煤矸石等均含有氟，在国内的高氟地区，土壤中的含氟量达 0.025%~0.148%。无论氟以何种形态存在于原材料中并不是最重要的，关键是原材料中总的含氟量，以及在加热状态下氟的释放量。在我国四川、云南、贵州、湖北、浙江、湖南、山东、山西及东北等地的一些煤矸石、页岩烧结砖厂中，氟化物的排放量均很高，对周围的桑蚕养殖、水果栽培等影响很大，有的排放量超过 100 mg/m³。某权威部门对已建的一煤矸石烧结砖厂的氟化物排放量进行的测定表明，竟高达 279 mg/m³，超过国家现行标准允许排放标准的 93 倍。这样高的排放量，即便是除氟设备的效率达 95%以上，还是难以达到国家规定的排放指标。要预先分析，避免用高氟原料。

以往单凭化学分析来判断原材料的适应性是非常不准确的方法。唯有矿物成分才能够正确反映出原材料的工艺性能。例如，原材料或混合料中的合适的黏土矿物总量达到 35%时，砖的生产才有保证，最少也不应低于 30%。如果生产高孔洞率的砌块时，则要求黏土矿物尽量高一些；生产清水墙装饰砖时混合料中高岭石矿物尽量多一些。又

如，如果某种原材料含有较高比例的蒙脱石，不管是黏土还是页岩，其干燥和焙烧过程必然很困难。蒙脱石超过一定比例，可能连合格品都做不出来；如果某种原材料中含有较高比例的伊利石或是伊蒙混合物，这种原材料的可塑性必然很好，但是其干燥收缩可能也会大得多。矿物学是复杂的一门学科，因而，需要有资质的专门研究机构来做原材料、燃料的测试分析。顺便提及，如果是利用工业固废，还必须做**放射性核素**的测定，明确其使用范围和使用量或是不能使用。例如制铝工业的赤泥、或是某些地区的粉煤灰其放射线剂量超标，根本就不能使用来做烧结砖。

烧结砖类产品行业的特殊性在于使用多种不同性能的原材料来生产不同性能、不同类别的产品。真正的现代科学技术方法我们一直未引入到行业中，如原材料的矿物学分析、与生产工艺密切相关的热分析手段等。正因为对原材料没有一个科学的、切合实际的评价，造成了为数不少的工厂建成后变成了“病态”工厂。须知，现在用于烧结砖瓦的原材料种类繁多，性能各异，如果事前不能正确评价造成的损失会更大，这样的失败案例在国内比比皆是。另外，环保的要求日益严格，那么，某种原材料能否用于烧结砖，必须事前给出评价。但是，我们现有的评价体系，虽然说能够测定出含硫量（在常温下），但是焙烧中有多少硫挥发了？是否有氟化物？是否有氮氧化物？没有一个合理的预先测定评价方法。那么就形成了建厂初期不能正确计算出投资，更不好去计算其运营成本了，所谓的投资回收期都成了不可信的数字。再如，不能对原材料的干燥性能给出确切的评价，没有

合理的干燥制度、干燥室的建设就失去了准则，造成了各说各有理的局面，最终只有用户倒霉；同理，对原材料的焙烧特性搞不清楚，不能制定出合理的焙烧制度，那么就造成了窑炉的长短不一，宽窄不一，码坯高度、码坯密度拍脑袋等问题，更谈不上烧砖隧道窑的自动控制了。如果连正常的焙烧周期、烧成温度范围都不知道，怎么能建造出来节能、高产的窑炉呢？

现在的烧结砖行业，要开展业务也必须遵循“整体解决方案”或是“创造性整体解决方案”（即从原材料到成品的处置方式）作为服务客户的宗旨。因此就必须配备有先进的、完整的原材料性能测试设备以及可用于小型工业性实验的干燥、焙烧装置，并应配备有相当丰富经验的工艺、热工技术人员。力争做到每一单生意都是有针对性的，同时必须要对原材料的特性和产品的性能、生产工艺全过程负责。

建立烧结砖瓦原材料分析评价中心的目的就是为了在市场上具备更大的竞争优势，更好地保证项目的成功。在国内建立起一个现代的烧结砖瓦原材料分析评价中心，同时也是建立起能与国外公司对接的原材料分析评价体系，这对提升整个行业的地位，增强市场竞争能力的作用非常大。所以新建立的原材料分析评价中心应该遵循的试验评价方法就必须具有国际性，要把发达国家的试验评价体系引进来。只有这样，我们才能有与发达国家的同行们有对话的资格。

例如热分析方法在发达国家已经非常普遍地应用在了烧结砖瓦行业，一些知名的公司或是大型的砖瓦生产厂家都有着自己的热分析试验设备。热分析方法已有了 100 多年的历史，在最近 50 多年期间

得到了极其迅速的发展。这是由于采用了先进的测试技术和高精确度的计算机化的特定设备，从而使热分析方法对其测定的过程和对其所获得数据的处理有了显著的改善和发展。在砖瓦行业最常用的热分析方法有差热分析（DTA）；热重量（或失重）分析（TG）；热膨胀分析（DA），或是同步热分析（即差热与失重分析同时进行，STA）。可是在我们行业内，这种常规的热分析方法已被遗忘了快三十年。

再如，原材料的矿物组成分析，这对生产工艺、设备选择、产品性能乃至生产成本等方面的关系紧密，至关重要，可是矿物学的概念好像被忘记了。须知。现今烧结砖瓦产品所使用的原材料不再是单纯的自然界黏土，对于品种繁多的工业废料、页岩、江河湖海淤泥而言，仅靠化学成分分析和用土工试验方法得到的所谓物理性能，根本就不能满足对原材料性能做出正确的评价，也不能对生产工艺参数提出明确的控制指标，更不能解释成型、干燥和焙烧中出现的特殊现象，因而也就谈不上对最终产品质量的保证，更谈不上对生产工艺过程的优化。用现代矿物学概念来指导烧结砖瓦产品的生产在当今形势下就愈来愈现其重要性，因原材料的矿物组成对成型、湿坯性能、干燥、焙烧性能、烧成颜色及产品质量有着直接的影响。但陌涩的矿物学概念及繁杂的矿物反应过程，对生产厂家来讲，又望而却步。

对烧结砖瓦产品单使用传统的化学分析方法得到的氧化物含量，根本就不能表示出坯体混合料的特性。单从化学成分上分析原材料的性能往往会出现有很大的差异，单从化学成分上根本无法预示这些与生产工艺参数关系密切的原材料性能。

矿物学概念在烧结砖瓦生产中的重要性一般情况下不被人们所重视，大多数情况下仅对原材料的化学成分分析及用土工试验方法对其可塑性指数、干燥收缩、干燥敏感性系数、焙烧收缩、焙烧温度和范围等几项简单的测定来判断和预示原材料的适用性及生产工艺参数，其结果使建成的生产线或是在实际生产中问题频出，有的根本就无法达标达产，更不用说提高产品质量和档次、优化生产工艺和降低成本了。例如有的将工厂建在了蒙脱石含量达 60%左右的页岩山下，致使产品质量多年都达不了标；有的对原材料不做矿物组成的判别与鉴定，其结果导致所用原材料中根本就不含有烧结砖瓦产品中所必需有的黏土矿物，使得成型困难重重，烧后产品质量差，不能达标达产；更有甚者，所用原材料中含有大量的有害物质（黄铁矿或石膏），给周围环境造成了严重污染。

关于原材料分析评价中心的建立，完全可以借助于国外的力量，将国外的测试评价方法直接引进来（如德国埃森砖瓦研究所、法国砖瓦技术中心、美国砖瓦研究所、法国科莱亚公司的 4-G 实验室、德国凯乐公司、林格公司、西班牙的福迪斯公司、意大利的黏土实验室等）。

五、干燥室与隧道窑操作系统的分离，提高能源利用效率

行业内多年正常使用的“干燥（drying）”、“焙烧(firing)”、“窑（kiln）”这些专业术语（国际上也是统一使用的专业术语）最近些年也悄然地发生了变化。干燥就是干燥（脱水），焙烧就是焙烧（烧成），“窑”和“室”的名称不能乱用。现行国家标准 GB/T18968—2003《墙体材料术语》中对干燥（5.6 项）的定义如下：“以大气为介质或

在干燥设备中利用各种热源和强制通风来排除坯体中水分的工艺过程”。不知在何时开始，将“一次码烧”的干燥室（dryer）在某些设计图纸上和某些技术文件中悄然变成了“干燥窑”（drying + kiln）。干燥就是脱水，在干燥室中按常理仅是物理变化过程，应该没有化学反应的存在；而在“窑”（kiln）内既有物理变化过程，又有化学变化过程。“窑”内既产生热量，同时又消耗热量；而“炉（furnace or stove）”是向外部提供热量的。正因为如此，在日常习惯中，我们把轮窑不能叫做“轮炉”，把隧道窑不能称作为“隧道炉”一样，也不能将干燥室叫做“干燥窑”。也许是因为窑炉的施工预算定额大大不同于普通热工设施的干燥室，而把干燥室称为“干燥窑”好向用户要出高价钱吧。也许还因为平时我们的生产中干燥室和隧道窑之间的依赖关系过强，故都称之为“窑”了。

由于我们已经习惯了干燥室使用的热全部来自隧道窑的做法，所以在干燥室热源不足时，就会加大坯体中的内燃料。但是也会出现由于隧道窑焙烧不正常，提供不了干燥所需热量，而干燥的效果很差，坯体入窑含水量过高，形成了干坯不足，隧道窑的焙烧速度更低，干燥越慢的“恶性循环中”。因此，从发展的观点看，干燥室和隧道窑之间过强的依赖关系，非常不利于干燥室和窑炉技术的发展。

首先我们分析一下在隧道窑和干燥室之间的联合能量供应系统。在砖瓦工业中现代的隧道窑已达到了对使用性能及均匀产品质量的工艺管理的高度要求，特别是实际中在几乎整个加热区域上及在最终烧成带由固定的燃烧器在相应的位置上提供了所必需的加热过程，而

且同时也在大范围内形成了窑内的脉冲流动。其结果使窑内的温度，窑的断面温度均匀性、气体成分等均达到了工艺上的最佳要求。在预热和最终烧成区域的窑内主要气氛中几乎不计入燃烧器的燃烧产物，燃烧产物通常比化学计算的要少，也就是说窑内只有很少量的过剩空气。冷却带热空气目前几乎都用于湿砖坯的干燥上。所以由于上述的原因，隧道窑中的加热带和最终焙烧带能够利用来自冷却带高质量热空气的量非常少。就现今通常的技术水平而言，砖坯成型所需的含水量是很高的，湿砖坯的对流干燥中所需的热空气携带的热量与隧道窑冷却带释放出的热量正好相等。也就是说来自冷却带的热空气能用于加热和最高焙烧带的热空气所剩不多，这是非常不利的一种方式，因为用于加热助燃空气的热量被拿去干燥室了。

燃烧空气的预热可节能！如果用冷的燃烧空气，要产生 1 公斤 1600°C 的热气体，要用 0.055 公斤的天然气；而将燃烧空气加热到 150°C 时，仅需天然气 0.050 公斤；如将燃烧气体加热到 500°C 时，仅需 0.0385 公斤天然气，可节约 30% 的燃料！（但是实际应用中燃烧空气的预热温度为 300°C ，超过 300°C 后的设备和控制变的非常复杂！）因而干燥室和隧道窑的操作需分离。

干燥室和隧道窑的操作不同步，将窑冷却带的热用于干燥室时就被干扰整个干燥室和隧道窑的焙烧系统。例如在更换产品的品种时，就会造成隧道窑输出热量与干燥室所需热量不匹配，也许多了，被浪费掉了；也许热量不够，延长了干燥的时间，造成了产量的降低。由于这种原因，隧道窑和干燥室必须分开操作。

第三，由于干燥室和隧道窑之间的依赖性太强时，也给着两道工序的管理上带来了困难，很难能够做到干燥室与隧道窑在产量上、运转时间上、热量供给与消耗上的平衡。一旦不平衡，就会带来热能或电能上的浪费。通常的做法就是在干燥室和隧道窑之间储存一定量的干坯来平衡两者之间运转时间的不同步。因为有了储存缓冲区，因此在热量的供给上干燥室也没有必要完全依靠隧道窑。

实际上，我们在西方发达国家看到的隧道窑和干燥室都是分离操作的。有的工厂由于隧道窑可提供给干燥室的热量，不能满足干燥之需，通常都早干燥室外加热风炉。他们的理念是尽量少的从隧道窑中抽取热风，隧道窑的余热最好全部用于加热助燃空气，这样对提高能源使用效率有利。

新的干燥技术的开发，对节约能源的意义更大。我们行业内一般蒸发坯体中水的耗热量为 1100~1200kcal/kg 水，而德国凯乐公司的分流式隧道干燥室蒸发坯体中水的耗热量为 820 kcal/kg 水；德国林格公司的平流式隧道干燥室蒸发坯体中水的耗热量为 780 kcal/kg 水；法国克莱亚公司的快速干燥室蒸发坯体中水的耗热量为 800~900 kcal/kg 水。在近三十年内，对于干燥技术的研究，除西安力元公司研发成功了分段（多级）干燥技术外，整个行业在干燥技术上可以说没有任何进展。

六、 集全行业力量，开展墙体材料全生命周期评价研究，确立烧结砖类材料在可持续发展建筑中的作用与地位

烧结砖类材料全生命周期的评价 (Full life cycle assessment)研究

工作，欧盟国家早已在本世纪初就完成了，从而确立烧结砖类材料可持续发展的绿色特质，并在全世界范围内每两年评选一次砖瓦建筑大奖，至今已经进行了八届，其中来自中国的砖建筑项目曾获大奖，数个中国砖建筑项目入围；美国原来也是两年评选一次砖瓦建筑奖，自从 2010 年开始，每年评选一次砖瓦建筑奖（包括铺地砖）。美国早已将烧结砖明确定义为绿色材料；澳大利亚也已确立烧结砖瓦为可持续发展的建筑材料；亚洲的南韩也认定了烧结砖瓦是健康材料；南非也于 2017 年完成了烧结砖的全生命周期评价研究，其结论是：烧结砖是可持续发展建筑中的“明星”级材料。上述的这些研究结论，已被世界上绝大多数国家和地区认可。我国搞了几十年“墙体材料革新与建筑节能”，但没有对墙体材料进行“全生命周期评价”的研究，从而造成了国人对墙体材料认识的混淆，加之近三十年来，从舆论上讲，烧结砖行业一直处于被批评的状态下中，烧结砖行业没有得到应该有的发展。鉴于此，烧结砖瓦行业更应集中全行业的力量，尽早开展我国墙体材料全生命周期评价的研究，用科学的数据和方法，来确立烧结砖类材料在可持续发展建筑中的作用和地位。

墙体材料的全生命周期评价的方法就是从原材料采掘开始，到运输、生产制造、运输到施工现场、建造过程、使用周期、直至到使用寿命终结后的拆除，所用材料的回收利用，是否可回归自然的全循环过程，对墙体材料进行对生态环境的影响、对资源的有效利用、对能源的消耗、对人体的健康以及人们的喜好等多方面进行评价。完全有理由相信，在中国已经使用了 5500 多年的烧结砖类产品，必然会在

未来可持续发展建筑依然有着重要的作用和地位。

结语

诚然，烧结砖行业在转型升级中还有许多未谈及的问题，如原材料精细化处理技术和设备的研发、高性能（功能性）产品的开发等等，但是笔者认为，我们必须首先解决影响行业发展最根本性的问题。对于全内燃焙烧方式的弊端我们必须要有清晰的认识，知耻而后勇，改变一种习惯势力需要我们的勇气；对于产品表面严重污染失色的问题，好像早已习空见惯，但这是影响着产品质量与行业声誉的大事，必须正视！因此隧道窑焙烧后含有害物质的烟气一定不能直接进入干燥室与湿坯体接触；不符合实际烧结砖生产工艺的排放标准（自杀式标准），也使得行业一度看不到生存的希望，好在山东、河南、陕西等省市地区仍有一批忧国忧民的有识之士，先后调整了烧结砖瓦厂排放废气中的氧含量为 18%，使行业看到了能生存下去的希望；挤出机是生产线上的主机，其性能和配置的好坏，代表着一个行业，如果说我们的挤出机不能进入生产线的自动化控制平台，那么就结束不了凡生产高档产品必引进挤出机的尴尬局面；现代干燥室和隧道窑究竟应如何发展，作为烧结砖行业的一员，也必须知道其方向；原材料、燃料是关乎到行业发展的基础，其评价方法必须与国际接轨，否则，无法与国外同行对话；未来可持续发展建筑是否需要烧结砖类产品，我们需要从资源的属性（黏土、页岩为不可枯竭资源）等方面对烧结砖类材料进行全生命周期评价，以便确立烧结砖类材料在未来可持续发展建筑的作用和地位。不当之处，望业内同仁斧正！