砖垛与干燥

陈荣生 刘宗云

贵州省建材科研设计院有限责任公司 贵阳 550007

摘要：烧结砖“一次码烧”机械码坯工艺中，机械码坯机能够一次码放一层湿坯，码坯效率要比码坯机器人高，特别适应普通砖的码坯，当窑车平面有保证时，湿坯砖垛码放整齐、垂直，砖垛稳定性较好，能够保持砖垛湿坯一致的外观尺寸。能够适应后续静停预干燥、干燥窑和焙烧隧道窑的热工要求。除需要保持较低的成型水分，保证湿坯的外观尺寸和强度，同时，还需要根据不同窑截面和产品规格，确定泥条长度和切坯数量。其中，确定砖垛湿坯的形式、规格和密度最为重要，由于“一次码烧”的特性，砖垛湿坯在干燥过程中，垛的形式、规格和密度，对干燥介质的流动阻力影响较高，传热升温不均匀，排潮不畅，极易导致坯体开裂、变形和垮塌，特别是垛中部及下部的湿坯，由于干坯残余水分不均匀，这些部位的砖坯焙烧后制品裂纹及断砖比较普遍。因此，确定合理的砖垛形式、规格和密度，以及降低干燥隧道窑送热风系统阻力，是顺利通过干燥环节，获得均匀、充分和较低残余水分干坯的基础条件，是获得较高强度和色泽一致，无变形，外观尺寸完整产品的基础条件。

生产实践证明，以切条切坯、编组、窑车定位和机械码坯机的成套装备，已经成为“一次码烧”隧道窑码坯工艺的主流设备，在截面 4 米左右及以下的隧道窑工艺中得到广泛应用。

关键词：砖垛湿坯、码窑密度、砖坯垛组合、干燥送热系统

1、普通砖湿坯垛

烧结砖“一次码烧”工艺中，普通砖湿坯直接由机械码坯机码放到窑车上，窑车顺序通过干燥窑和焙烧窑，获得成品。按照工艺要求，湿坯的码放原则，仍然遵循焙烧“边密中稀”的要求进行。泥条按照预定长度切条、切坯，湿坯编组，夹坯机夹持湿坯上升，夹坯机编组垛型，第一层顺坯，第二层夹坯机旋转 90° 后形成横坯，依次码放窑车，获得一定形式的湿坯砖垛，见图 1。

图 1 窑宽 3.6 米码坯机编组垛型、湿坯垛型、成品

图 1 显示，码坯机一次夹码一层，按照预先设定的坯垛组合，顺序实现顺坯和横坯的码放，直至达到预定的码坯层高。

（1）窑截面、泥条、密度

“一次码烧”工艺中隧道窑的截面参数与普通砖的大面参数 240×115mm 尺寸中 240mm 具有直接联系，码窑采用 240mm 为基本模数（横坯，也是坯体数量）进行，由于湿坯存在一定的干燥和焙烧收缩率，原料不同，收缩率也不相同，一般湿坯长度为 240~250mm、高度为 115~120mm。个别原料收缩率偏大，长度会超出 250mm。此外，考虑干燥和焙烧收缩率后，湿坯厚度能够达到 58mm。

本文计算数据采用湿坯长度 250mm、高度 120mm 和厚度 58mm 为基本模数叙述。

按照生产实践，如内宽 2.5 米隧道窑，可以容纳 8 块横坯，湿坯长度 250mm 时，湿坯宽度达到 2 米，窑宽剩余尺寸成为砖垛间隙，用作通风道。随着隧道窑内宽增加，如窑内宽 4.0 米隧道窑，则可以容纳 14 块横坯，湿坯宽度达到 3.5 米，同样，窑宽剩余尺寸为坯垛间隙，用作通风道。

湿坯采用叠码方式，单数层与双数层需要旋转 90°，砖垛湿坯码放窑车上，形成正方形，砖垛呈现对称的矩阵排列（见图 1）。

湿坯采用每层高度为 120mm 计算，根据不同窑高，可以码放 12 层、13 层、14 层、15 层等，均较为常见。个别厂甚至出现码放 17 层。砖垛高度增加，窑截面温度不易均匀。因此，采用增加湿坯码放高度来提高产量的方式，需要慎重。

（2）砖垛的横、顺坯形式

泥条切坯数量，与坯垛的密度相关，随着泥条切坯数量增加，坯垛密度增加，每辆窑车容坯数量相应增加。根据生产实践，窑截面宽度与容纳长度为 250mm 的数量关系密切。坯体数量越多，坯垛密度越大，坯垛内部阻力也越大，坯垛之间间隙越小，窑截面通风道面积减少，窑道内系统阻力也相应增加。

机械码坯码放窑车第一层时，采用顺坯码放，第二层则采用横坯码放。一般坯垛外形有 0.5×0.5 米，此时，码放顺坯数量为 6 块或 5 块，或称为 2 压 6、2 压 5。湿坯厚度 58mm 时，湿坯厚度累计尺寸为 0.348 米，垛的内部湿坯与湿坯之间的间隙合计还有 0.152 米；码放顺坯数量 5 块时，垛的内部湿坯与湿坯之间的间隙合计还有 0.21 米，内部

间隙加大，阻力降低。

同样，对于砖垛外形为 0.75×0.75 米，可以码放 9 块，或称为 3 压 9，此时，砖垛内部湿坯与湿坯之间的间隙合计还有 0.228 米，码放 7 块时，内部间隙为 0.344 米，内部间隙加大、阻力降低。

对于坯垛外形为 1.0×1.0 米时，可以码放 11 块，或称为 4 压 11，此时，垛的内部湿坯与湿坯之间的间隙合计还有 0.362 米，码放 9 块时，砖垛内部间隙 0.478 米，内部间隙加大。

在坯垛一定外形尺寸范围内，随着顺坯码放数量增加，码窑密度增加，但是坯垛内部间隙减小，阻力增加，不利于干燥介质的传热传质和潮气的排出。如果减少顺坯码放数量，虽然有利传热传质和潮气的排出，但是码窑密度降低，窑车砖坯容量减少，单位时间内产量降低，并且坯垛的稳定性受到一定影响。

坯垛码高，窑车砖坯容量提高，对提高单位时间内产量有利，码坯高度的确定，应考虑以下因素：坯体成型水分、空心砌块的规格大小，以及窑内横截面温度能否控制均匀。

（3）砖垛组合

当前，国内较多的中小断面“一次码烧”隧道窑，内宽为 2.5 米、3.0 米、3.3 米、3.6 米、3.9 米、4.0 米，均在运行中，采用一次码放一层湿坯的机械码坯机。有的窑码的坯垛外形尺寸虽然一样，但坯垛码放数量却有差别，垛与垛的间隙也不一样。以下三种宽度隧道窑的坯垛组合分析如下。

① 内宽 3.0 米隧道窑，采用单一规格的坯垛，外观尺寸为 0.75×0.75

米， 9 个坯垛。当采用 3 压 9 时、码高 14 层，每辆窑车容普通湿砖坯数量为 3402 块。当遵循边密中稀原则时，中间坯垛改为 3 压 7 时，四角坯垛不变仍然为 3 压 9，此时每辆窑车容普通湿砖坯数量为 3150 块。中部码窑密度减少 252 块，坯垛中部实现稀码。

② 内宽 3.6 米隧道窑，生产中，存在两种坯垛组合，第一种是外观尺寸为 0.75×0.75 米坯垛， 16 个坯垛，如果全部采用 3 压 8 码高 14 层，每辆窑车容普通湿砖坯数量为 5376 块。

如果采用 0.75×0.75 米坯垛，12 个泥条，每个泥条切坯 30 块，16 个砖垛，采用四角坯垛 3 压 8，中间坯垛 3 压 7 组合时，每辆窑车容普通湿砖坯数量为 5040 块，窑车坯垛中部实现稀码。

第二种则是外观尺寸为 1.0×1.0 米坯垛， 9 个坯垛，如果全部坯垛均采用 4 压 11 码高 14 层，每个坯垛码放湿坯 616 块，共 9 个坯垛，每辆窑车容普通湿砖坯数量为 5544 块。

③ 内宽 4.0 米隧道窑，生产中，码高 14 层，如采用外观尺寸为 1.0×1.0 米、1.0×0.75 米、0.75×0.75 米四种规格的砖垛组合， 16 个坯垛的组合形式。其中 1.0×1.0 米坯垛为 4 个、1.0×0.75 米坯垛为 8 个、0.75×0.75 米坯垛为 4 个。

分别采用 4 压 9，4 压 8、3 压 8 的分层交替码放时，每辆窑车码放湿坯数量为 6664 块。

外观尺寸为 0.75×0.75 米的 4 个坯垛采用 3 压 7 时，每个坯垛码放 294 块；16 个 0.5×0.75 米坯垛，采用 2 压 5 和 3 压 7 分层交替码放

时，每个坯垛码放 203 块；16 个 0.5×0.5 米坯垛，采用 2 压 5，每个坯垛码 140 块；每辆窑车码放 36 坯垛，窑车湿坯数量仍然为 6664 块，但是坯垛外形减少。

烧结砖企业往往需要根据原料性能、坯垛形式及密度，及时进行调整，确保坯垛内部间隙有利于干燥介质的传热传质交换和水蒸气的排出，也保证焙烧有较高的火行速度。

截面宽度 3.6 米和 4.0 米隧道窑的两种砖垛及组合形式见图 1、图 2。

④ 砖垛与窑截面宽度

当前，“一次码烧”隧道窑的运行中，中小截面隧道窑较为普遍，截面规格也较多，不仅包括常见的 2.5 米、3.0 米、3.3 米、3.6 米、4.0 米等规格，同时还衍生出相近规格，如 2.4 米、2.9 米、3.8 米等等，其中原因，不排除因原料收缩指数偏低或偏高，砖垛外观尺寸降低或减小，从而稍微减小或扩大窑截面尺寸。此外，部分企业烧结普通砖产品，外观尺寸控制为标准误差的下限值，使得砖垛尺寸减小，从而调整隧道窑截面规格。

国内年产 6000 万块烧结普通砖生产线中，常见宽度为 3.6 米或 4.0 米“一次码烧”隧道窑，两种窑型中，湿砖坯垛的组合形式，不同宽度隧道窑的垛间间隙，见图 1、2。

图 2 宽度 4.0 米隧道窑 16 个砖垛或 36 个砖垛的组合

图 1 内宽 3.6 米隧道窑中，能够实现两种码垛形式，偶数 16 垛时，坯垛窑内中部能够保留纵向风道，而采用奇数 9 垛时，则不能设置纵向风道；图 2 截面 4.0 米隧道窑，可以采用 16 个坯垛或 36 个坯垛组合，偶数坯垛，窑内中部能够保留纵向风道；偶数砖垛的组合形式符合码窑“边密中稀”的原则，有利于干燥隧道窑内中部坯垛阻力降低，有利干燥介质流动、有利于横截面的温度均匀。同时，坯垛外观尺寸降低，有利于内部砖坯水分排出。偶数坯垛在窑内，由于坯垛中部风道，有利高温带横截面温度均匀分布，能够避免中部温度偏高而出现过火砖。

3.6 米截面采用垛型为 1.0×1.0 米，共 9 个坯垛组合，为奇数坯垛，窑内中部没有纵向风道，中部干燥介质流动阻力偏大，中部坯体不易烘干，且焙烧中中部温度明显高于边部。

图 2 照片显示，生产实践中，偶数码垛形式，干燥效果有所改善。同为内宽 4.0 米隧道窑，垛型由 1.0×1.0 米调整为 0.75×0.75 米和 0.5×0.5 米后，窑车容坯数量没有减少，垛型外观变小，干燥效果改进较为明显。

当生产 240×200×115mm 空心砌块时，湿坯垛型可由 0.75×0.75 米调整为 0.5×0.5 米，更有利于干燥。

2、干燥

国外宽型“一次码烧”隧道窑，基本全部采用清洁燃料、主要生产空心砌块，坯垛码高一般低于 14 层（120mm 方向），采用外置钢管输送干燥介质，顶送、顶排。该类系统，坯垛之间间隙较大，送风及

排潮阻力较低，加上产品为空心砌块，湿坯携带的水分较少，窑道内砖垛阻力也比较低，有利于空心砌块均匀干燥，国内“一次码烧”宽型隧道窑，用于生产普通砖，不仅热耗高，产量低，产品缺陷也较多，无法充分发挥此类宽型隧道窑的优势，究其原因，是燃料不同、产品不同、坯垛密度不同引起的气体流动阻力大，造成干燥窑干燥周期延长、干燥缺陷增加，不能满足干燥产量质量要求造成的。

国内“一次码烧”隧道窑的发展，则立足内燃焙烧，普通砖为主导产品，湿坯干燥后需要对废气进行污染物治理，干燥窑普遍采用红砖砌筑的内置风道输送干燥介质，顶部排潮。窑内两侧直墙布置散热孔，热工系统弯道多、摩擦阻力较大。码窑密度高，坯垛之间间隙小，码高往往超过 14 层，有些高达到 17 层，另外，普通湿砖坯产品携带的水分比空心湿砖坯也要高很多，加之大气污染物治理系统，也给干燥窑增添了不少阻力，湿坯干燥难度增加。

对比分析，国内“一次码烧”干燥窑，普遍存在如下特征，**主导产品是普通砖、热工系统阻力大、生产能力预期要求高（如采用“一烘两烧”、密码、高码等）、横截面温度均匀性较差。**因此，垛的中下部砖坯残余水分偏高且不均匀、裂纹、断坯、垮坯等缺陷现象较为普遍，也必然导致焙烧制品合格率低。特别每年秋冬季节，“一次码烧”隧道窑工艺，抵抗环境因素变化的能力较低，对于高码、密码、一烘两烧工艺，此类缺陷现象更加严重。有的企业将提高生产能力的措施，简单地采取增加码坯高度、增加码垛密度，但这样做并不能达到预期效果。还有的企业采用加大送热风机和排潮风机的规格，意图克服窑

内阻力，但往往囿于电费因素、又仅仅配置较小功率的电动机，最终不能避免干燥缺陷的产生。

干燥窑内系统阻力，与坯垛组合、密度、间隙分布有直接关系，降低窑内系统阻力，是避免干燥缺陷、缩短干燥周期、提高干燥质量和产量的关键措施。

（1）送热风机过渡段、内置烟道和外置烟道

国内干燥窑的热介质，均由送热风机将焙烧窑内的烟气抽出后，送入干燥窑的支烟道。支烟道形式有两种，一种是内置式，另外一种是外置钢制。大部分中小断面干燥窑，均采用内置式支烟道。内置式支烟道分布在干燥窑两侧内直墙和外直墙之间，红砖砌筑，预制板盖顶。

送热风机出风口一般通过过渡段后接裤衩管，再通过竖井连接两侧的内置式支烟道，干燥窑的过渡段、裤衩管、竖井和内置支烟道内壁均采用红砖砌筑，内表面没有砂浆粉刷。风机出风口至支烟道的这段结构中存在裤衩管分配不精确、内表面摩擦阻力较高、竖井 90°弯形成较大阻力，加上烟气流速较高，因此，烟气的动压损失较大，使得烟气在支烟道内流速明显降低。进入干燥窑内后，烟气缺乏动力穿透每个垛内的间隙，大部分只能穿进垛与垛之间、垛与窑顶的间隙、垛与内墙的间隙，干燥效率较低。

过渡段、裤衩管、竖井 90°直角弯和表面摩擦等形成较大阻力，应引起重视。采用内粉刷、准确分风角度、平缓过渡转弯、避免直角转弯等措施，避免烟气动压降低，此类技术措施，要比单纯更换大规格送热风机的措施管用，且能耗并不增加。

有些企业，拟准备在现有干燥窑长度基础上，进一步加长，认为长度需要达到 130 米，这种条件下，如果送热风机出风口到支烟道的这部分系统阻力损失不能很好避免，那么加长后的干燥窑，由于系统阻力的增加，不仅不能实现均衡干燥，甚至还会产生排潮不畅，容易塌坯的现象。此外，随着系统阻力的增加，排潮风机负荷相应提高，如当风机选型不当，不能克服脱硫系统阻力时，则干燥系统将不能正常运行。

外置钢制风道设置在干燥窑顶部，直接与送热风机出风口连接，通过钢制管道，进行顶送风，也有采用顶送风和两侧送风相结合的形式，有利干燥介质在干燥窑内的均匀分布。

根据经验，当风温和风量确定后，总风道内烟气体流速低于 15 米/秒，一般控制为 10~12 米/秒。

此时，总风道横截面积（m^2）=干燥室所需总风量（m^3/s）÷道内流速（m/s）。

生产中，有些企业干燥窑配置的总风道，由于计算风量偏低，总风道横截面积往往偏小，阻力增加。此种现象在外置钢制风道中较为普遍。

图 4 送热风机与裤衩管、竖井结构

（2）散热孔位置及面积

中小型干燥窑内介质的输送，多采用两侧直墙下部分散送热风形

式，布置长度达到进车端第 2 车位。散热孔位置需要与窑车接头、坯垛间隙保持位置一致，如此才能够减小干燥介质进入窑道内的阻力，有利湿坯的干燥。由于干燥窑建设在前，码垛在后，因此，位置一致，需要在干燥窑建设前，确定湿坯垛组合形式。后期，采用坯垛间隙去适应散热孔位置，则可能出现误差，影响干燥介质的输送。

码垛采用偶数垛组合时，直墙散热孔的分布，能够方便地与窑车接头和窑车中部位置相吻合，误差较小。否则，可能出现直墙散热孔的分布与坯垛间隙不能一一对应的状况，干燥介质直接喷射在坯垛上，影响坯垛内部的传热。

直墙进风孔规格，尺寸不一，宽度 30~120mm、高度 360~500mm 均有应用，基本由承建窑炉公司确定。实践中，不同规格进风孔的作用，干燥效果还缺乏准确评价，常常出现需要调整的现象。

干燥窑内靠近送热风机出风口距离较近的直墙进风孔，其出口横截面风速能够达到 3～4 米/秒，支烟道中段部分进风孔，风速有所降低，而少量进风孔存在没有热风状况。判断此类现象应与内置支烟道内壁摩擦阻力和局部阻力影响有关，同时，也与内置支烟道横截面宽度有关。靠近顶排潮孔下方的进风孔，热气体存在沿直墙向上流动的迹象。热气体密度较轻，具有上浮特性，加上顶排潮孔的负压影响，直墙进风孔出口干燥介质的流速和方向，均会受此影响出现偏差。

根据经验，进风孔面积确定：所有两侧进风孔横截面积之和，应大于支烟道横截面积的 1.5～2 倍。随着干燥窑横截面的加大，进风孔数量应予增加。

（3）排潮孔位置、面积和排潮风道

中小型干燥窑排潮方式，基本为分散顶排潮，排潮段长度覆盖进车端第 2 第 10 车位左右，干燥窑顶部排潮孔位置，以分布在两窑车接头处上方为主，预留中间排潮孔，排潮孔长度与窑内宽相同，孔宽度为 200~300mm，可以采用活动盖板调节每个排潮孔的面积。排潮孔面积之和，应该达到进风孔总面积的 1.5 倍左右，便于水蒸气及时排出。对于较长的干燥窑，排潮段长度应延长，面积应增加。有些干燥窑，在进车端的 3~8 车位处易出现水蒸气冷凝、引起坯垛垮塌。这与送热风机能力、支烟道阻力、坯垛组合、码高、排潮孔位置、排潮风机能力、排潮与废气治理系统设置有关。

水蒸气脱离干燥窑后，进入排潮风道和排潮风机，这部分系统各连接处应注重密闭性，管道、风机接口、进车端、砂封等处漏风，将严重降低排潮风机的抽力，降低窑内潮气的排出量。不仅如此，漏风还会导致废气治理后的含氧量增加。

（4）窑与坯垛的间隙

干燥隧道窑横截面与坯垛需要保持一定间隙，在窑纵向方向，两车之间的坯垛也应有一定间隙，两个方向的间隙，应恰当，否则，会对干燥效果产生不良影响。

我院设计的两烘两烧“一次码烧”隧道窑，内宽由 4.6 米改为 4.8 米，窑车长度由 4.35 米改为 3.9 米，砖垛为 1.0×1.0 米，四垛三列共 12 垛，横截面间隙面积由原来 18%左右提高到 21.3%，垛间间隙面积增加，有利干燥介质的传热传质和排潮。

窑车长度由 4.35 米改为 3.9 米，纵向间隙面积由原来的 2.7 平方米降低到 1.9 平方米，降低 30%左右。避免了两车坯垛间间隙过大，干燥热效率低，同时隧道窑单位长度内，容坯量增加，有利提高产量。

该生产线投产后，能够实现煤耗在 280-300 千卡/kg 产品，日产量达到 50 万块（折标砖）。

反观我省某砖厂，内宽 6.9 米一次码烧隧道窑，窑车长度为 4.35 米，原为人工码坯，技术改造中，采用一次码放一层的机械码坯，窑车 6.9 米方向分两次码放，采用 0.75×0.75 米坯垛组合，每辆窑车共码放 2×16 垛，限于窑车长度 4.35 米，正方形矩阵宽度限制，坯垛码放完成后，两辆窑车之间坯垛纵向间距达到 1.11 米；采用 1.0×1.0 米坯垛，每辆窑车共码放 2×9 垛，两车之间坯垛纵向间距仍然为 1.11 米左右（见图 5）。存在如此宽的间距，使得干燥介质在众多大间隙中，不能进入坯垛内部，无效流动最终排出窑外，不能充分发挥传热传质的作用，干燥效率低下，干燥窑垮坯、残余水分偏高等现象频繁产生。

该案例表明，在非正方形窑车采用矩阵式一次码放一层的机械码坯机时，需要计算两窑车上坯垛之间的间隙，不能出现纵向间隙过大的码垛现象，否则，不能采用当前传统的机械码坯形式。纵向间隙过大，同样产生干燥和焙烧效果不良的现象。

图 5　6.9×4.35 米窑车机械码坯纵向坯垛间隙过大，垮坯

图 5 照片显示，两车之间湿砖坯垛间隙太宽，容积扩大，不利于热介质的稳定流动，同时，热气上浮作用和受到排潮风机负压影响，干燥介质很难均衡地通过砖垛内间隙。减小车上坯垛的纵向间隙，才能有助干燥介质在窑道内的合理运行。

4 结束语

烧结砖“一次码烧”隧道窑工艺中，降低干燥和焙烧系统阻力，能够增加气体输送能力、提高干燥介质传热传质效率，提高干燥质量和产量，其中，调整坯垛和坯垛组合、调整窑体和坯垛间隙应引起重视。

（1）干坯残余水分

干燥过程中，常见坯垛规格为 1.0×1.0、0.75×0.75 和 0.5×0.5 米三种，根据坯垛内部干坯的残余水分的检查，坯垛规格越大，则经干燥后坯体残余水分越高，处于中下部位的坯体残余水分高于上部的。在确保安全的条件下，采用 0.75×0.75 米坯垛，要比采用 1.0×1.0 米坯垛组合的干燥效果好。因此，降低坯垛外形尺寸，有利窑内干燥介质的流动和窑车中部坯垛的传热传质及排潮。

对于空心砌块，因规格比普通砖大，采用规格 0.5×0.5 米坯垛稳定性也较好，较小的坯垛有利于干燥。

（2）偶数垛和奇数垛

码坯采用偶数垛的组合，能够保证窑横截面中部风道的顺畅，有利于横截面温度的均匀，避免干燥时中部残余水分偏高、焙烧时中部过火等弊病。采用奇数垛，缺乏中部风道，与“边密中稀”的码窑原则相悖，对于大断面隧道窑，弊病多于小断面。

奇数垛组合，窑直墙进风孔的分布只能设置在两窑车接头处或垛与垛之间，窑车中间因存在坯垛，不能设置，需要考虑坯垛组合位置确定，因此常常出现进风孔与坯垛间隙位置不能配合的情况。

码放偶数垛或奇数垛，主要与已建成隧道窑横截面有关，在有条件的情况下，应尽量采用偶数垛较为有利于干燥。

当产品以空心砌块为主时，由于空洞率的因素，坯垛阻力相对普通砖坯垛降低很多，特别是顺向水平孔坯垛阻力更小。

（3）码窑密度

坯体数量和码高层数，决定了窑车的码窑密度，坯垛之间的间隙越小，窑横截面整体通风面积降低；坯体数量越多，坯垛内湿坯与湿坯间隙越小，不利于砖坯之间的传热传质及排潮；在有限坯垛外形尺寸内，坯体数量越多，密度增加，阻力加大，是垛内中下部砖裂纹、断砖产生的主要原因。

增加码坯层数，则需要关注湿坯成型水分高低、产品规格变化及窑车平面平整度等方面影响，同时，需要加强窑横截面温度均匀性控制。

随着码窑密度的增加，整个干燥和焙烧系统配置的风机能力需要相应提高，否则，窑内坯垛偏斜、垮坯、裂纹、断砖等现象将持续不断的出现，调整困难。

（4）进风孔位置

干燥隧道窑的进风孔分布，必须与窑车、坯垛组合和分布的位置相适应，有利于气体穿透坯垛内间隙，否则，进风孔出口气体直接吹在坯体上，干燥介质在窑道内和坯垛内的传热传质效率降低。

调整坯垛组合形式时，需要考虑直墙进风孔位置的影响。

（5）降低送热风系统阻力

送热风机出口到窑直墙进风孔的送热风系统，需要降低管道内摩擦阻力和局部阻力，平滑转弯，及时清理，避免堵塞，以确保窑道内干燥介质具有稳定的流速和进入坯垛内部的动力，降低热气体上浮和顶排潮孔的负压影响。

（6）注重排潮系统的密闭性

努力减少干燥窑进车端漏风、防止砂封槽等处漏风。排潮段由于潮气温度降低和密度增加，一旦出现漏风，排潮风机对窑内潮气的抽力降低，窑内潮气排出效率降低，如果不能及时将潮气排出，潮气继续降温以及停留时间较长时，低温潮气则容易在 3~8 车位处形成冷凝导致垮坯塌垛。

排潮系统漏风，还会造成废气治理系统排出的气体含氧量超标，影响实际排放指标的折算。

（7）坯垛与窑墙、窑顶间隙

决定坯垛与窑墙间隙和窑顶间隙，应该建立在隧道窑结构设计前，并在对原料干燥烧成收缩、产品规格、坯垛组合等基础数据进行分析的基础上，该间隙不宜过大，否则，对窑内横截面温度均匀有较大影响，均匀干燥程度降低，焙烧成品合格率降低、单位产品能耗增加。

传统烧结砖关于码坯与焙烧之间联系的俗语“七分码、三分烧”，在当前“一次码烧”的机械码坯工艺中，湿坯垛的码放和组合显得更为重要。

参考文献：

[1] 烧结砖瓦厂工艺设计、西北建筑设计院

北京：中国建筑工业出版社， 1982.

[2] 流体力学风机及泵 华南工学院 上海化工学院

北京：中国建筑工业出版社 1980.12

[3] 大断面隧道窑码垛方法分析

程瑞星 砖瓦 2020.2

[4] 截面 2.4 米一次码烧隧道窑工艺质量控制的认识

陈荣生 刘宗云 砖瓦 2019.2