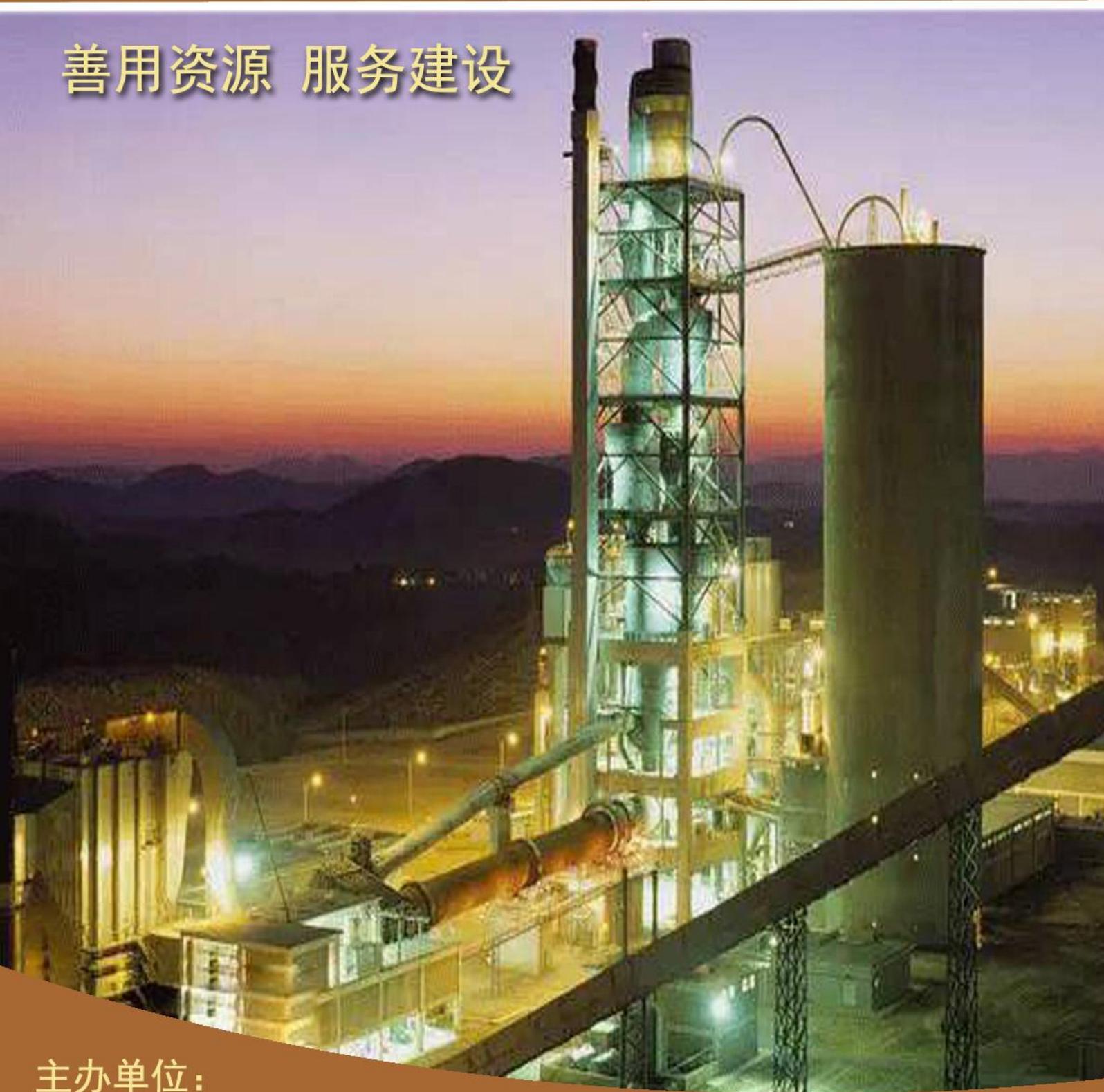


# 水泥科技

2  
2020

SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CEMENT

善用资源 服务建设



主办单位：

合肥水泥研究设计院有限公司

Email: [snkj@hcrdi.com](mailto:snkj@hcrdi.com)

# 水泥科技

(季刊 1988年创刊)

2020年第2期

主办单位:

合肥水泥研究设计院有限公司

## 编委会

名誉主任: 周云峰

主任: 包 玮

副主任: 朱大来、丁奇生

主 编: 陆树标

委 员: (按姓氏笔划排序)

王仕群 王学敏 毛志伟 邓小林

朱文兵 许 涛 邱文斗 何宏涛

张平洪 张自力 陆树标 武青山

林红星 周 啸 郑 青 侯贵斌

施德祥 姚 强 熊焰来

本期编辑: 解姗姗

编辑出版: 《水泥科技》编辑部

地 址: 合肥市望江东路60号

邮 编: 230051

编辑部电话: (0551) 63439575

广告部电话: (0551) 63439575

传 真: (0551) 63439575

网 址: [http:// snkj.hcrdi.com](http://snkj.hcrdi.com)

投稿邮箱: [snkj@hcrdi.com](mailto:snkj@hcrdi.com)

# 目 次

基于颗粒分布对水泥性能影响机制的分析探讨水泥基胶凝材料的颗粒级配的优化	郑青/ 1
煤磨粗粉回磨输送的优化	王江涛/15
ETS生态污水处理技术在水泥企业的应用探究	王崇昊/20
绿色矿山为核心理念的智能环保精品砂石骨料生产线设计	刘光年/24
城市污泥处置新技术发展及探究	石雅军/37
一种回转窑烟气余热回收系统方案设计	李晓琪/41
AC800F与西门子S7-300 实现Profibus DP 通讯在水泥厂的应用	蒋叶峰/45
水泥窑协同处置危险废物环境风险控制	丁大海/49
一种基于cp散装机的水泥散装系统的优化设计	刘军/53
房屋建筑设计常见问题及对策	徐永伦/59

# 基于颗粒分布对水泥性能影响机制的分析探讨 水泥基胶凝材料颗粒分布的优化

郑青

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

随着现代混凝土技术的发展,特别是高性能混凝土技术的研究和实践,不仅对水泥以强度为主要指标的质量指标提出了更高的要求,同时也更加重视水泥的使用性能。研究表明,影响水泥质量和使用性能的因素很多,首先是水泥熟料的质量,包括矿物组成、烧成工艺条件(烧成温度、烧成速度、冷却制度等)等;其次是粉磨工艺条件和参数(磨机类型、选粉机性能、混合粉磨、分别粉磨、助磨剂、温度)等;再次是混合材的种类和掺量。粉磨工艺和参数的变化会对水泥质量和使用性能产生显著影响,因为水泥细度、颗粒分布、颗粒形态、石膏相脱水、熟料相预水化等随着粉磨工艺和参数的变化发生了相应的变化,甚至是很大的变化。本文仅就颗粒分布对水泥基胶凝材料的强度和使用性能影响机制进行分析,探讨对最佳颗粒分布理论的正确理解和应用,从而正确指导生产和实践。

## 1 颗粒分布方程

从颗粒学上讲,粉碎固体物料的目的,是为了使物料达到一定的颗粒分散度,获得一定粒度要求的产品。颗粒分布的概念是随着磨矿和粉碎工程技术的发展而提出的,不少学者认为,粉碎颗粒群各级别颗粒的比例即粒度分布(也称颗粒级配)可用数学函数式来表达,这种数学式称为粒度分布式。比较著名的公式是 RRB 粒度特性方程式:

$$R(x) = 100 \cdot e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (1)$$

通过对上式取两次对数,以  $\log \log \frac{100}{R}$  和  $\log x$  为坐标可得 RRB 颗粒级配直线

图 (图 1)。

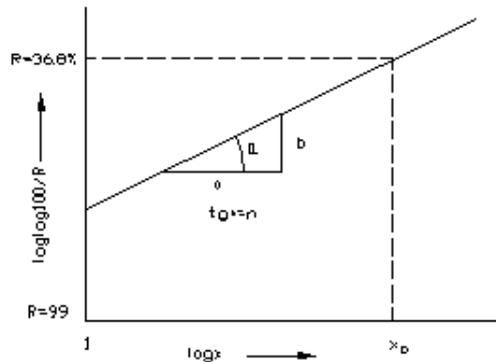


图 1 RRB 颗粒级配图

从图 1 我们可以得到特征粒径  $x_0$  以及均匀性系数  $n$  (粒度线的斜率)。特征粒径  $x_0$  表示物料细度的大小, 而斜率  $n$  表示物料成份中粗粉与细粉的比率。 $x_0$  值大表示物料粗, 反之,  $x_0$  值小表示物料细。对于同样细度值的物料, 颗粒分布窄, 说明它的细粉含量少, 粗粉含量也较少, 斜率  $n$  值大; 颗粒分布宽, 则说明它含的细粉比例较高, 粗粉含量也不低, 斜率  $n$  值小。 $n$  值与物料的特性以及粉磨工艺有关, 一般开路磨水泥  $n \approx 0.9 \sim 1.1$ , 闭路磨水泥  $n \approx 1 \sim 1.2$ , 终粉磨水泥  $1.1 \sim 1.3$ 。采用该公式为我们提供了比较全面评述粒度特性的方法, 用以指导生产实践和科学研究。

## 2 颗粒分布对水泥质量和性能影响的研究

水泥熟料与水作用生成的水化产物是水泥产生胶凝性的根本原因, 水泥表现出来的物理性能与当时水化体中的水化物数量和形态有关, 水泥熟料颗粒的水化程度决定水泥胶凝性的发挥。随着水泥水化的进行, 各矿物从表面与水相互作用而溶解, 形成水化产物的过饱和溶液, 从溶液中不断析出新生物, 水泥颗粒逐渐被 C-S-H 凝胶覆盖, 反应速度逐渐转变为由扩散过程控制。水化速率取决于水分子扩散通过水化层的速率, 服从渗透定律  $h=2t^{0.5}$  (式中  $h$  代表水化深度, 单位为  $\mu\text{m}$ ;  $t$  代表水化时间, 是单位为  $\text{d}$ ), 当包裹层厚度达到  $25\mu\text{m}$  时, 扩散非常缓慢, 水化反应趋于停止, 大于  $32\mu\text{m}$  的水泥颗粒可能存在未水化的内核<sup>[1]</sup>。

在水泥工业生产和水泥实际应用中, 水泥颗粒分布对水泥的质量问题早已经

引起人们的关注，并开展了大量的研究。颗粒分布对水泥浆体的结构和性能有很大的影响，它决定着水泥浆体的堆积密度、水泥水化速度和水化产物的生成量。早在 1968 年 Tpalin<sup>[2]</sup> 提出颗粒分布在水泥水化模型中的重要作用，指出水泥的颗粒分布对水泥和混凝土性能都有很大影响。Powers 强度理论认为，水泥浆体的强度决定于已生成水化产物的量。水泥的强度与水泥的水化程度有直接的关系，水泥水化越快，水化产物越多。大量的水化产物填充孔隙并相互粘结，使得微裂纹和孔隙率减小，提高水泥的强度。硬化水泥浆体的强度与孔结构和孔隙率有关，颗粒分布对强度的影响主要体现在粉体原始堆积密度和水化速率两个方面，最终体现为对水泥石孔隙率的影响。在一定的范围内，较宽的颗粒分布有利于提高堆积密度，而颗粒均匀分布有利于加快水化速度和提高水化程度。从减小孔隙率的角度来看，应综合考虑这两个方面的作用。

水泥熟料晶体尺寸为：阿利特（ $C_3S$ ）小于 $65\mu m$ ，贝利特（ $C_2S$ ）小于 $55\mu m$ ，玻璃体小于2微米。一般水泥成品细度控制在 $320\sim 400m^2/kg$ ， $R_{45\mu m}=5\sim 10\%$ ， $R_{80\mu m}=0\sim 3\%$ ，所以在水泥粉磨过程中的细磨阶段已经进入到晶体粉磨阶段了，单一矿物晶体可以独立形成细颗粒。

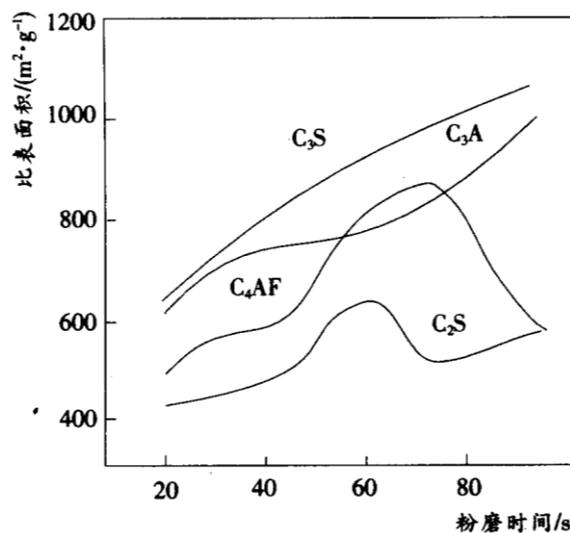


图 2 四种矿物的易磨性

研究表明，水泥熟料不同矿物成分的易磨性差异较大，易磨性难易顺序依次为  $C_2S$ 、 $C_4AF$ 、 $C_3A$ 、 $C_3S$ 。因此，水泥熟料的颗粒大小不同，其化学成分及矿

物组成各异。周棠森<sup>[3]</sup> 从不同粒径水泥的化学分析结果及计算矿物组成和率值说明, 随着粒径的减小, 其  $C_3S$  含量递增,  $KH$  值相应升高, 而  $C_2S$  含量随之下降,  $C_4AF$  含量亦有下降趋势。

水泥熟料中的不同矿物水化速度不同, 相对而言,  $C_3A$  水化最快,  $C_4AF$  次之,  $C_3S$  再次,  $C_2S$  最慢。

$C_3S$  和  $C_2S$  含量是影响水泥强度的主要组成,  $C_3S$  对早期强度的作用远高于  $C_2S$ 。

因此, 从上述分析可以看出, 相同水泥熟料以及相同的比表面积, 水泥的颗粒分布不同时, 由于其矿物成分的易磨性差异, 导致在不同颗粒段的颗粒化学组分及矿物组成的差异, 同时这些不同成分的颗粒水化速度也有差异, 这两种影响因素的叠加, 导致了水泥强度和其他性能的不同。这就解释了为什么水泥粉磨过程并没有改变水泥的化学成分和矿物组成, 但不同的工艺、不同装备甚至不同的参数生产出的水泥性能不一样, 就是因为水泥的颗粒特性发生了变化。

关于水泥颗粒分布对水泥性能影响的理论比较著名的主要有水泥强度性能最佳理论和最佳堆积密度理论, 并产生了两种颗粒级配模型。

## 2.1 水泥水化强度最佳理论的颗粒级配

关于水泥颗粒分布对水泥性能影响的研究是从研究熟料粒度分布对水泥强度的影响开始的。20 世纪 40 年代末就有人提出, 水泥中  $0\sim 30\mu m$  的颗粒对强度起主要作用, 其中  $0\sim 10\mu m$  部分早期强度高,  $10\sim 30\mu m$  部分后期强度高。

上世纪 80 年代, Kuhlmann 等<sup>[4]</sup> 研究认为硅酸盐水泥的比表面积增加, 其硬化速度加快, 增加水泥细粉颗粒含量对提高早期强度比对提高 28 天强度效果明显。将熟料粉颗粒分为  $0\sim 3\mu m$ 、 $3\sim 25\mu m$ 、 $25\sim 60\mu m$  和大于  $60\mu m$  等 4 个粒级, 各粒级的颗粒对各龄期强度的作用不同,  $0\sim 3\mu m$  的细颗粒可获得特别高的 1d 强度,  $3\sim 25\mu m$  的颗粒可获得很高的 90d 强度, 这两部分几乎获得相同的 28d 强度。 $25\sim 60\mu m$  的粗颗粒到 28d 时也只获得较低的强度, 只有到 90d 以后,  $25\sim 60\mu m$  的粗颗粒才获得  $0\sim 3\mu m$  的细颗粒所达到的强度; 一方面, 早期强度的获得要靠  $0\sim 3\mu m$

的细颗粒水化来获得；另一方面，要获得较高的28d 强度，较高的3~25 $\mu\text{m}$  的颗粒含量是非常必要的。后来，S. Tsivilis 等学者[5] 又进一步明确提出，水泥中3~30 $\mu\text{m}$ 的颗粒对强度起主要作用，其重量比例应占65% 以上，尤其是16~24 $\mu\text{m}$  的颗粒更应多些，小于3 $\mu\text{m}$ 的颗粒含量应小于10%。这个结论已逐渐被大多数学者认可和接受。

研究表明，混凝土浇筑 28 天后的水泥水化深度只有 5.46 $\mu\text{m}$ ，这就意味着大于两倍水化深度的颗粒（约 11 $\mu\text{m}$ ）的颗粒就有一部分内核未水化，16、32、64 $\mu\text{m}$  颗粒熟料的水化率分别为 97%、72%、43%。

原中国建筑材料科学研究院施娟英的测定结果是[6]：0~10 $\mu\text{m}$  颗粒，1d 水化达>97%,接近完全；10~30 $\mu\text{m}$  颗粒，7d 水化接近一半；30~60 $\mu\text{m}$  颗粒，28d 水化接近一半；>60 $\mu\text{m}$  颗粒，3 个月后水化还不到一半。

关于水泥粒径分布对其强度影响的研究很多，普遍认为水泥中小于3 $\mu\text{m}$  的细颗粒对3d强度起主要作用，>60 $\mu\text{m}$ 的粗颗粒对水泥强度几乎无贡献，中间颗粒对强度的增长起主要作用。较理想的粒度分布应是：小于3 $\mu\text{m}$  的占10% 以下，3~32 $\mu\text{m}$  占65%~70%，32~45 $\mu\text{m}$  的占10% 左右，大于45 $\mu\text{m}$  的占6%~8%。大于65 $\mu\text{m}$  颗粒最好为零，小于1 $\mu\text{m}$ 的颗粒最好没有，见表1。

表1 水泥粒径分布

<1 $\mu\text{m}$	<3 $\mu\text{m}$	3~32 $\mu\text{m}$	32~45 $\mu\text{m}$	>45 $\mu\text{m}$	>65 $\mu\text{m}$
0	10	65~70	10	6~8	0

## 2.2 最佳堆积密度理论的颗粒级配

粉体颗粒的初始堆积密度在材料领域中是一个非常重要的性质。法国的 Feret 在 1892 年发表了第一篇有关混凝土颗粒密实度的文章，提出了在高质量混凝土中选择合适骨料的可能性，并研究了硬化水泥浆体的孔隙与混凝土抗压强度的关系<sup>[7]</sup>。20 世纪 20 年代有学者提出了最大密实度理论<sup>[8]</sup>，认为应使混凝土的集料所占据的相对体积尽可能的多，集料之间的空隙由具有一定水胶比的浆体填充。研究集料和浆体之间的最密实度填充状态，有利于优化混凝土的配合比设计。在此基础上，陆续有学者提出了混凝土颗粒堆积密实度的数学模型。

关于最佳堆积密度的颗粒分布问题，上世纪初 Fuller 和 Thompson[9] 提出了理想筛析曲线，简称 Fuller 曲线。Fuller 曲线原本是计算混凝土粗、细集料级配的，Ulrich Hinze 等[10]一些学者指出 Fuller 和 Thompson 提出的颗粒分布规律，可以应用于细粉部分。后来 Hummel 和 Wesche 等学者对此式进行了修订：

$$U(x) = 100 \left(\frac{x}{D}\right)^n \quad (2)$$

式中 X 为各分级筛孔尺寸或分级粒径 ( $\mu\text{m}$ )，D 为最大粒径 ( $\mu\text{m}$ )，n 为集料颗粒形状特性指数，砾石类集料取 0.4。

应用于水泥颗粒级配主要是使水泥颗粒堆积紧密，从而减小孔隙率，降低其标准稠度用水量，提高水泥的密实度。在德国水泥厂协会发表的专题研究报告中就将上述计算式 (n=0.4) 用作水泥颗粒分布的理想筛析曲线，并依此对水泥、砂浆及混凝土进行评价。

根据公式 (2)，可以计算出胶凝材料 (水泥) 最大粒径为  $80\mu\text{m}$  时 Fuller 曲线最佳颗粒级配模型见表 2：

表 2 颗粒级配模型

粒径	<1 $\mu\text{m}$	<3 $\mu\text{m}$	<10 $\mu\text{m}$	<32 $\mu\text{m}$	<45 $\mu\text{m}$	<65 $\mu\text{m}$	<80 $\mu\text{m}$
累积含量%	17.33	26.9	43.53	69.31	79.44	92.03	100

### 3 正确理解两种理论的最佳颗粒分布

比较上述两种最佳颗粒分布理论得出的颗粒级配模型 (表1、表2)，两者数据指标差距很大，甚至是矛盾的。张大康按 S. Tsivilis 等水化强度理论的最佳颗粒级配，将  $3\mu\text{m}$  筛余=10%， $60\mu\text{m}$  筛余=0.5% 代入 RRB 方程求得一个最佳性能水泥 RRB 图的均匀性系数和特征粒径分别为 1.31、 $16.77\mu\text{m}$  [11]。研究和生产实践均表明，水泥成品的均匀性系数达到 1.1 以上时，水泥的需水量显著增大，早期强度下降，工作性能变差，砂浆干缩率增大，混凝土易开裂。这显然不符合实际情况，也不能指导生产。

按 Fuller 曲线计算最佳颗粒级配，<  $3\mu\text{m}$  含量 26.9%，<  $45\mu\text{m}$  含量 79.44%，根据不同筛余值用回归分析法得出  $n \approx 0.55$ ， $x_0 \approx 22.7\mu\text{m}$  [11]，按此指导生产水泥，

即使是开路磨生产，也非常困难，结果必然是严重过粉磨，磨机产量低、电耗高、成品温度高。

简单地把两种理论不加分析地直接应用于生产实践，不仅得不到好的效果，甚至产生负面作用。只有了解两种理论的研究主体和背景，才能正确理解其含义，才不至于得出矛盾甚至是错误的结论，也才能科学地指导生产实践。

以S. Tsivilis为代表的水泥水化强度理论得出的最优颗粒级配研究的对象是硅酸盐水泥，其硅酸盐熟料含量约95%，其5%为石膏，此时水化强度发挥最佳状态下的颗粒级配，可以认为是水泥熟料的颗粒级配。所以，简单地把某种水泥产品的颗粒级配与S. Tsivilis性能最优的颗粒级配模型比较，并以此为分析依据来判定是否合理的做法本身就已偏离了理论。

Fuller 理想筛析曲线下的最佳颗粒级配追求的目标是最佳堆积密度，起初研究的对象是混凝土，后来又延伸到水泥基胶凝材料。此时的水泥已不仅是硅酸盐熟料占绝大部分的单一组分，而是含有至少一种以上的混合材细粉，按此计算出的颗粒级配是含有低活性或非活性材料的复合材料体系的颗粒级配。

把两种理论结合有利于解决上述矛盾。在水泥熟料颗粒符合水泥最佳性能的级配基础上，掺有混合材的混合水泥尽量达到符合最佳堆积密度的 Fuller 曲线下的最佳颗粒级配。如此，既可充分发挥水泥熟料的活性，又可发挥混合材的填充作用，实现了性能优化。

由此，我们可以认为水泥基胶凝材料的最佳颗粒级配是在各组分的颗粒级配最优的基础上实现的，也就是说根据组分的作用不同，对应有一个合适的颗粒分布。

水泥品种不同，混合材品种及比例不同，各组分对应的最佳颗粒级配是不同的。主要是由于不同混合材细颗粒的作用机理不同。

研究认为，超细粉煤灰主要是火山灰活性效应、填充效应和形态效应等三种效应；矿渣超细粉主要是火山灰活性效应和填充效应，石灰石细粉主要是填充效应。矿渣粉的活性大于粉煤灰的活性，石灰石几乎为惰性；粉煤灰由于含有玻璃

微珠，其形态效应最好。

研究表明，大部分矿物掺合料的水化程度有限。粉煤灰在28d 时，火山灰反应程度为10% 左右，到90d 时，粉煤灰的反应程度在20% 左右<sup>[12,13]</sup>。活性较高的矿粉60d 时水化程度为30% 左右<sup>[14]</sup>。比表面积为300~ 800 m<sup>2</sup>/kg 的矿渣，在3 d和28 d 时的水化深度分别为0.05μm 及0.25μm<sup>[15]</sup>。

矿物掺合料（混合材）微细粉的填充效应相对于火山灰效应起主导作用，毕竟水泥熟料的活性要远大于混合材活性。当然从改善性能和降低成本的角度出发，发挥混合材的火山灰活性也是非常有利的和必要的。

在水泥中掺入具有不同颗粒分布和活性的矿物掺合料调整水泥熟料粉体的颗粒级配，使混合粉体具有紧密堆积结构，优化复合粉体的活性组分、含量和细度，调控其各组分水化反应的进程、水化放热过程和强度发展过程<sup>[16]</sup>。使其既充分发挥水泥熟料的性能，又符合Fuller曲线。

#### 4 水泥基胶凝材料颗粒级配的优化

将Full曲线理论最佳模型下的颗粒频度分布列表3。从表3可以看出，Fuller曲线的最佳模型分布是不符合正态分布规律的，从频度分布看有几个峰值。

表3 Full曲线理论最佳模型下的颗粒频度分布

粒径/μ m	0-1	1-3	3-10	10-32	32-45	45-65	65-80	80-100
含量/%	17.33	9.57	16.63	25.78	10.31	12.59	7.97	0

将S. Tsivili曲线理论最佳模型下的颗粒频度分布列表4。从表4可以看出，S. Tsivili曲线的最佳模型分布是基本符合正态分布规律的。

表4 S. Tsivili曲线理论最佳模型下的颗粒频度分布

粒径/μ m	0-1	1-3	3-10	10-32	32-45	45-65	65-80	80-100
含量 /%	2.47	7.53	29.88	40.12	10	8	2	0

注：按正态分布规律以及实际粉磨机理，1μ m以下的颗粒含量为零是不成立的，故按RRB图计算得1μm以下的颗粒含量为2.47%。

假定Fuller曲线级配为水泥的最终级配，水泥为熟料和一种混合材的二元系（为简化分析，不考虑石膏的影响），熟料与混合材的比例为80:15，熟料的最佳级配按S.Tsivili模型，各粒径段组分比例的差值就是混合材的理想级配。计算整理

得混合材各组分的理想比例见表5。从表5可以看出，实际上当混合材比例较小低时（PI、PO型），由于Fuller曲线理论模型要求 $1\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量较高，混合材的颗粒分布已不能满足要求了，或者说无法兼顾了。

表5 混合材各组分的理想比例

粒径/ $\mu\text{m}$	0-1	1-3	3-10	10-32	32-45	45-65	65-80	80-100
含量 /%	96.52	20.44	-53.9	-50.64	11.96	37.05	39.78	0

大幅度提高混合材比例，当熟料与混合材的比例为50:45时，计算整理得混合材的理想级配见表6。

表6 混合材的立项级配

粒径/ $\mu\text{m}$	0-1	1-3	3-10	10-32	32-45	45-65	65-80	80-100
含量 /%	33.84	11.84	1.91	9.86	10.65	17.69	14.60	0

从表6看出，混合材级配频度分布呈“M”型或称之为“双峰型”，完全不符合一般正态分布。这种反常的分布不符合一般的粉磨规律，实际生产中无论采用什么工艺和装备只经过一次粉磨过程是难以达到这种分布的产品。

通过上述分析可以看出，简单套用两种理论的模型综合来指导实际生产水泥也比较困难。必须根据不同实际情况辩证地引用两种理论来指导生产实践。

对于生产PO型水泥，以S.Tsivilis模型为主，通过混合材细粉的调整适当增加 $3\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量，既保证强度性能，也兼顾使用性能。此时混合材的粒度应比水泥熟料的粒度更细。

对于PC、PS、PP型等混合材掺量较大的水泥，以Fuller曲线模型为参考，通过调控和优化各组分混合材级配，兼顾粗细颗粒两头，实现总体颗粒体系的级配优化。

如图3、图4所示，Andreas Ehrenberg 博士<sup>[17]</sup>研究了一种双峰颗粒分布高炉矿渣水泥，通过分别粉磨水泥主要组分，掺入活性高的超细矿渣和较粗的矿渣粉校正组分来优化匹配熟料和矿渣的颗粒分布。

其试验结果验证了混合材这种反常分布（双峰型）有利于提高早期强度，后期强度变化很小，同时降低了水泥需水量。

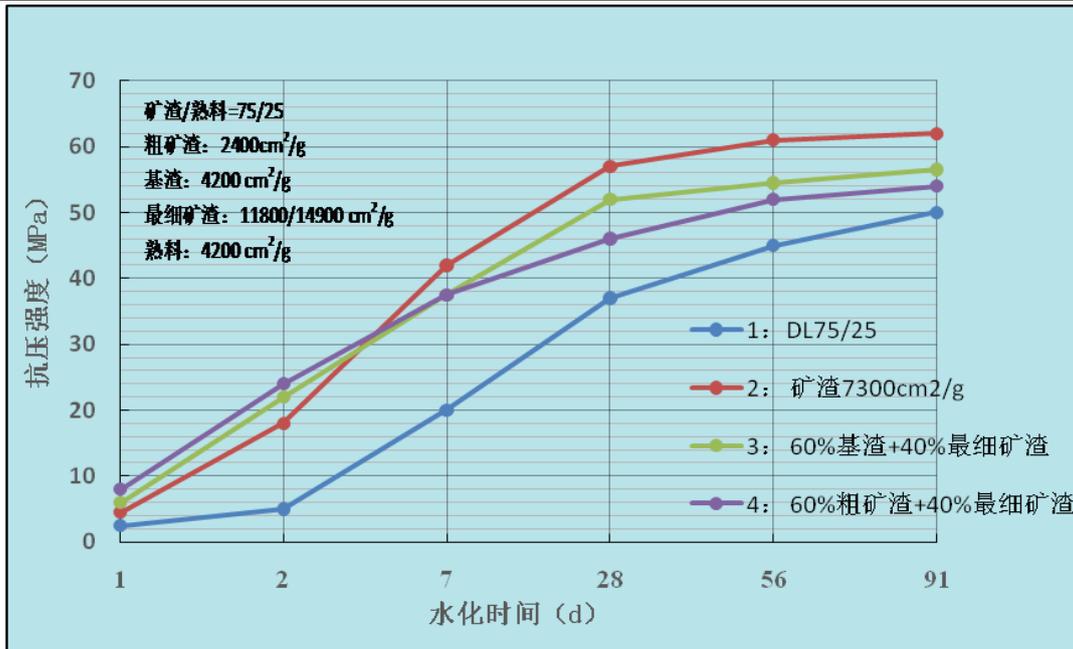


图3 掺有不同细度矿渣的水泥强度变化

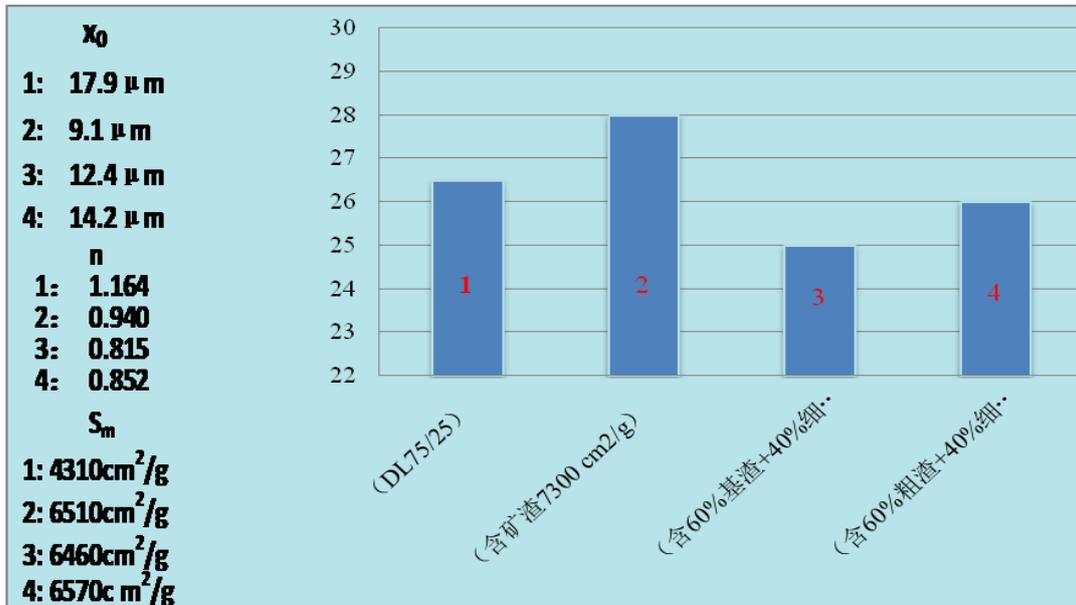


图4 掺有不同细度矿渣的水泥需水量

混合材不同其易磨性有较大差异，易磨性的差异会导致各组分的颗粒分布发生变化。所以，在采用不同的混合材时对于粉磨工艺的要求不一样。

当所采用的混合材相比水泥熟料好磨时，可以采用混合粉磨工艺。如采用石灰石作为混合材，与熟料一起粉磨，由于其比熟料更容易粉磨，混磨时在较细的部分富集，如图5所示<sup>[17]</sup>。当然，采用分别粉磨工艺，可以更精确调控熟料组分和混合材组分的级配优化。

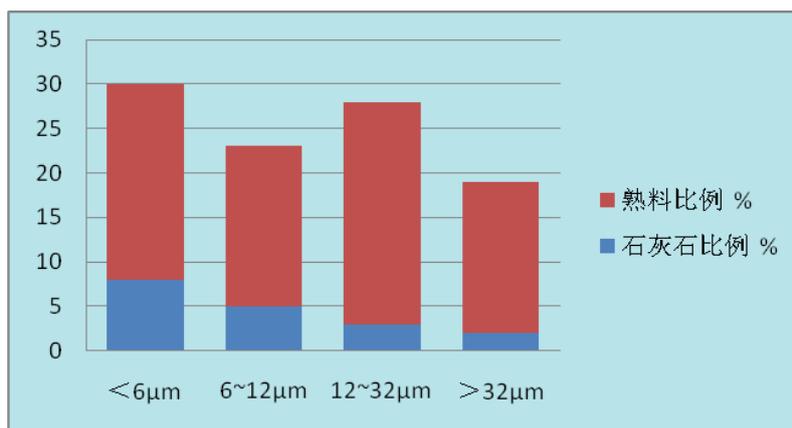


图5 混磨时熟料和石灰石在CEM II/A-LL 32.5R水泥中粒度范围分布

当采用的混合材相比熟料难磨时，更适合采用分别粉磨。如采用矿渣混合粉磨，由于其比熟料更难磨细，会导致熟料和矿渣分别在细颗粒部分和粗颗粒部分富集，如图6所示<sup>[17]</sup>。在<12μm的细粉部分几乎不含矿渣，熟料过度粉磨，使得水泥需水量增加，矿渣粗粉对水泥的早强发展几乎不起作用。

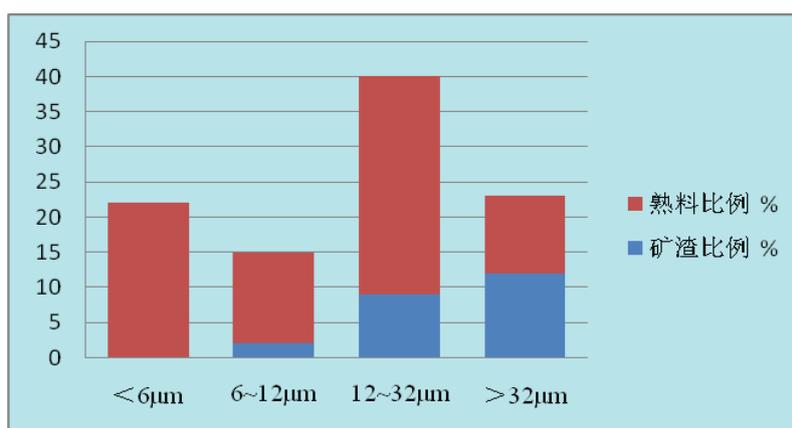


图6 混磨时熟料和矿渣CEM II/B-S 32.5R水泥中的粒度范围的分布

Anslem给出了根据颗粒分布特征值计算比表面积值的公式：

$$S = \frac{K}{n \cdot x_0 \cdot r} \quad (3)$$

式中S-比面积 $\text{cm}^2/\text{g}$ ，n-均匀性系数， $x_0$ 特征粒径，r比重，K-常数，球形颗粒等于 $36.8 \times 10^4$ 。根据公式3可计算出S. Tsivili性能最优的颗粒级配模型对应的比表面积为 $5235 \text{ cm}^2/\text{g}$ 。如果把Anslem公式计算的比表面积认为是仅指熟料部分的细度，则掺加了混合材的水泥比表面积应大于此值才能趋近Fuller曲线。根据Fuller曲线模型的特征值采用Anslem公式计算的比表面积 $8602 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，实际生产即使是

特种早强型水泥，细度也达不到或不需要这么高。

研究表明，水泥细度过细，不仅对水泥长期强度发挥不利，对混凝土的施工和使用性能（耐久性）也产生不利影响。

罗帆<sup>[18]</sup>取原巢湖水泥厂硅酸盐水泥（3102  $\text{cm}^2/\text{g}$ ）再利用振动磨进行粉磨处理获得不同细度（4089  $\text{cm}^2/\text{g}$ 、5740  $\text{cm}^2/\text{g}$ 、8090  $\text{cm}^2/\text{g}$ 、19035  $\text{cm}^2/\text{g}$ ）的水泥并进行不同龄期强度对比试验，试验结果见图 7。

图 8 为 Andreas Ehrenberg 博士研究报告<sup>[17]</sup>得出的结果。

图 7、图 8 均显示，水泥达到一定细度之后，水泥早期强度增长缓慢，后期反而强度下降。

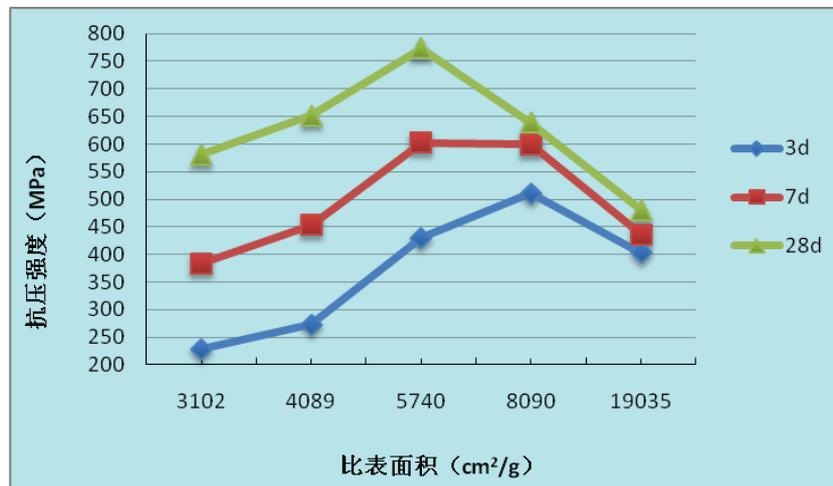


图 7 水泥细度与强度关系

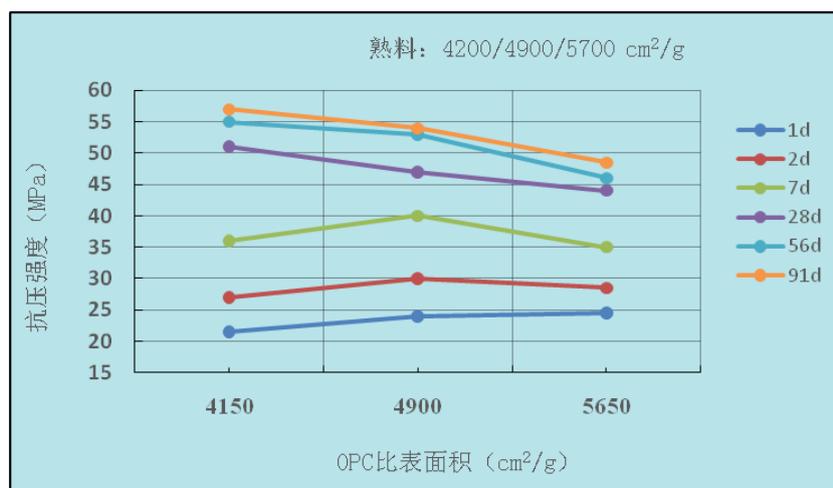


图 8 不同龄期水泥细度与强度的关系

出现上述现象，从 S. Tsivilis 理论来分析，由于水泥过细， $10\mu\text{m}$  以下颗粒占

比较多，20~30 $\mu\text{m}$  颗粒比例过少，早期强度增进过快，后期强度增进乏力了，不利于长期强度的发挥；从水化理论和 Fuller 理论来分析，当水泥颗粒太细时，水泥比表面积增大，准稠度用水量也增大，浆体硬化后内部产生较多的孔隙，致使强度下降。另，水泥颗粒细到一定程度时，水泥颗粒级配不合理，可能导致水化产物量不足以填充原始堆积孔隙，从而使水泥浆体的孔隙率增加，抗压强度降低。

我国市场水泥品种一般以PO和PC为主，混合材掺量15%（不含石膏）以上。根据上述分析，从水泥颗粒级配的优化以及生产成本综合考虑，以此值来比较我国市场的水泥细度，可以说水泥细度总体偏低，还有进一步提高的空间。至于水泥细度应该达到多少更合适还应根据水泥的强度等级、水泥品种以及混合材品种，如是给专门或特殊工程供应，还必须考虑外加剂的适应性。

## 5 结论

通过颗粒分布对水泥性能的影响机制的理论研究的分析和探讨，为正确理解有关颗粒级配理论及如何用于指导生产实践提出参考意见。

(1) 正确理解两种颗粒级配理论，澄清认识误区，有利于科学指导生产实践。

(2) 水泥基胶凝材料的颗粒分布的优化，应是在充分发挥水泥熟料强度活性的基础上，采用不同细度和颗粒分布的混合材对水泥颗粒体系的级配进行调控，实现水泥综合性能的优化。所谓水泥的最佳颗粒级配是相对的，不是固定不变的，关注的不仅是强度性能还包括需水量、和易性、外加剂适应性等施工性能，要根据熟料质量、混合材品种、水泥品种等进行因地制宜的动态优化。

(3) 分别粉磨更有利于实现水泥基胶凝材料的多组分颗粒分布的优化和精确调控。

(4) 我国水泥的颗粒级配优化以及水泥细度提高空间较大，生产企业应根据实际情况进行优化，尤其是应兼顾下游混凝土的性能要求。

有鉴于水泥粉磨过程的不可复制性以及影响颗粒级配优化的因素复杂性，水泥颗粒级配的优化将始终是我们面对的课题，不仅是理论课题，更是实践和应用

课题。由于水泥不是最终产品，水泥界应关注最终产品混凝土的制备和应用情况，从混凝土的强度、耐久性等综合性能出发来研究颗粒级配的优化。近年来混凝土出现了一些问题，特别是使用寿命方面，下游自然把矛盾集中到上游水泥界来，有必要进行反思和厘清，更重要的是发挥水泥界本身的优势，通过下游反馈的信息进行理论和技术创新。

(摘自《中国水泥》2019年第4期)

### 参考文献:

- [1] 沈威,黄文熙,阎盘荣.水泥工艺学 [M]. 武汉:武汉工业大学出版社, 1991.
- [2] TaPlin J H. A model investigation of the influence of particle shape on portland cement hydration[J]. Cement and Concrete Research, 1968, 36(6): 337-421.
- [3] 周崇森. 不同颗粒组成对水泥性能的影响[J]. 水泥, 2002, (5): 33-36.
- [4] Kuhlmann K, Ellebrrock H G., Sprung S, et al. Particle size distribution and properties of cement Part 1: Strength of Portland cement. ZKG, 1985, (6): 136-144.
- [5] Tsvivilis S, Kakali G, Chaniotakis E, et al. A study on the hydration of portland limestone cement by means of TGA[J]. Journal of Thermal Analysis, 1998, 5(2): 863-870.
- [6] 姚燕,王文义. 我国水泥标准同国际接轨后改进产品质量的分析[J]. 水泥, 2003, (6): 1-6.
- [19] 赵飞,冯修吉. 颗粒大小对水泥水化和性能的影响 [J]. 硅酸盐通报, 1992, (4): 10-15.
- [7] Goltermann P, Johansen V, Palbol L. Packing [3] of aggregate: an alternative tool to determine the optimal aggregate mix[J]. ACIMaterials Journal,1997, 94(5): 435-443.
- [8] Lar rard F D, Sedran T. Optimization of ultra-highperformanceconcrete by the use of a packing model[J]. Cement and Concrete Research, 1994, 24(6): 997-1009.
- [9] Fuller W B, Thompson S E. The laws of proportioning concrete. AMERICAN Mixtures Journal of the society for chemical industry, 1934, 53:107-115.
- [10] 乔龄山. 水泥的最佳颗粒分布及其评价方法 [J]. 水泥, 2001, (8): 2-5.
- [11] 张大康. 水泥分组分最佳粒度分布探讨[J]. 水泥, 2008(6):24-28
- [12] M. Ben Haha, K. De Weerdt, B. Lothenbach. Quantification of the degree of reaction of fly ash[J]. Cement and Concrete Research, 2010, 40(11): 1620-1629.
- [13] Lam L, Wong Y L, Poon C S. Degree of hydration and gel/space ratio of high-volume fly ash/cement systems[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(5): 747-756.
- [14] Wang Qiang, Yan Peiyu. Hydration properties of basic oxygen furnace steel slag[J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(7): 1134-1140.
- [15] 牛全林, 冯乃谦, 杨静. 矿渣超细粉作用机理的探讨. 建筑材料学报. 2002, 5(1):84-89
- [16] 杨嘉震. 超微粒子掺合料在水泥混凝土中的应用[J]. 硅酸盐建筑制品, 1990. (2): 25-30.
- [17] 崔源声,汪澜. 水泥制造工艺技术. 中国建材工业出版社. 2007
- [18] 罗帆. 水泥的粒度及其强度作用浅析. 浙江水泥. 1990(1). 9-13.

# 煤磨粗粉回磨输送的优化

王江涛

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 存在的问题

西南地区某石灰窑项目, 配 $\Phi 2.2\text{m}\times 4.4\text{m}$  风扫煤磨, 煤粉动态选粉机 (最大处理风量  $36000\text{m}^3/\text{h}$ ), 系统设计台时产量  $9\text{t}/\text{h}$ 。煤磨粗粉回磨输送形式采用带回转下料器的倾斜溜管 (角度  $56^\circ$ ), 当磨机产量  $7\text{t}/\text{h}$  以上时, 回转下料器容易卡跳停, 严重影响煤磨系统的产能。为避免回转下料器卡跳停, 只能维持煤磨较低产量, 同时为保证回转窑煤粉的供应, 只能加大煤磨系统运转率, 也相应增加了系统电耗及人力成本。

## 2 原因分析

煤磨系统常用的锁风下料设备有回转下料器和翻板锁风阀, 锁风下料设备虽然是小型设备, 但它的故障能引起整个煤磨系统的停机, 对烧成生产线影响非常大。设备检修期间, 工厂相关人员维修更换回转下料器时, 发现内部有粒径  $20\text{mm}$  大的煤粒, 这是造成回转器卡跳停的重要原因, 同时工厂人员认为倾斜溜管角度偏小 ( $\sim 56^\circ$ ) 以及回转下料器随倾斜溜管一道倾斜布置有关。工厂反馈后, 相关设计人员根据以往设计及投产的经验, 在规模更大的煤磨系统中采用倾斜角度较小时 ( $\sim 47^\circ$ ), 同样的溜管布置形式, 在生产时并未出现这样的情况。因此造成溜管上倾斜布置回转下料器卡停的因素主要是大颗粒煤粒, 其次才是回转下料器倾斜布置, 经分析, 如果采用回转下料垂直布置在选粉机粗粉下料口, 并不能解决回料粗粉中出现大颗粒煤粒的问题, 仍然可能造成回转下料器卡停。

粗粉中较大煤粒出现的原因: 风扫煤磨磨机出口中空轴直径为 $\Phi 650\text{mm}$ , 配置的后排风机和动态选粉机风量正常运行时为  $34000\text{m}^3/\text{h}$  的风量, 考虑收尘器及选粉机漏风的因素, 在磨机出口风量为  $30000\sim 32000\text{m}^3/\text{h}$ , 即磨机出口风速

25~26.7m/s，较正常运行风速偏大，带出较大颗粒的物料进入动态选粉机，经选粉机分离后粗粉中出现较大颗粒，造成回转下料器卡料跳停。只能通过降低风机风量，降低磨机出口的风速，可减少粗颗粒带出，但同时也降低系统产量，与工厂反馈的信息吻合。

### 3 优化措施方案

#### 3.1 原工艺流程（见图 1）

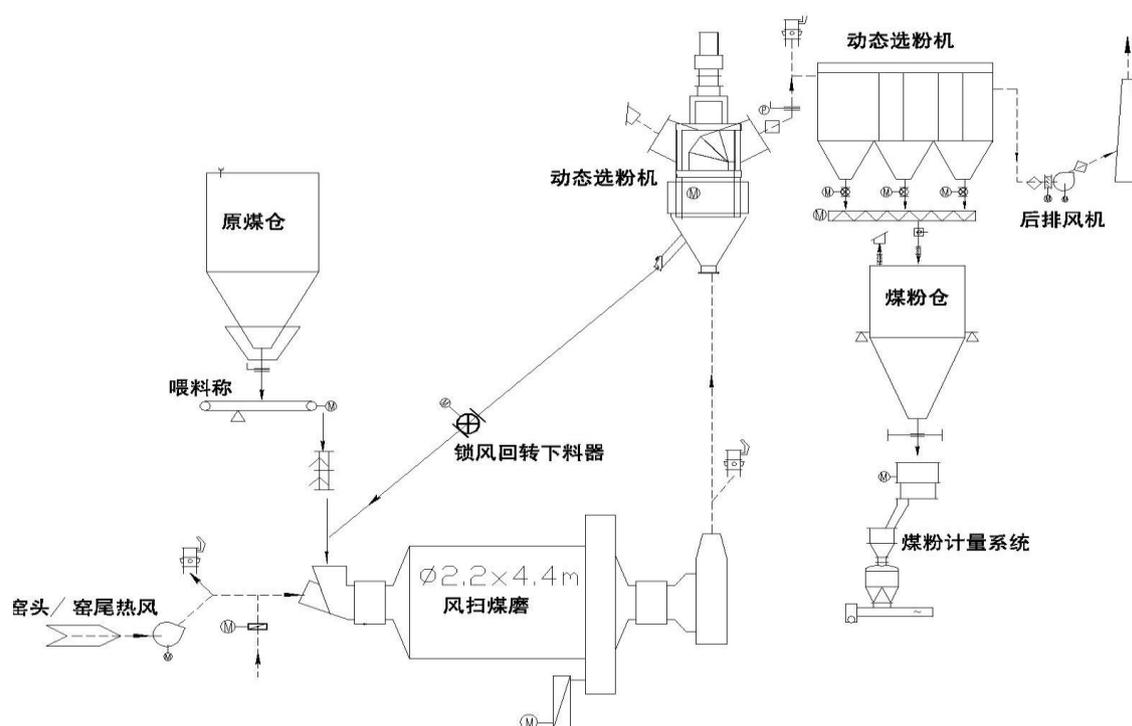


图 1 原工艺流程

出现锁风回转器卡停的原因系磨机出口风速偏高带出粗颗粒造成的，通过改造，增大磨机出口直径、降低风速，避免大颗粒物料的带出，可解决问题。但磨机出口段轴承与出口部分都需要改造，施工期长，费用大，不利于整个项目的经济运行。因此需考虑工期短和费用较小的改造方案。

#### 3.2 改造方案的对比优选

##### (1) 螺旋输送机、FU 拉链机输送方案

根据以往设计和投产的经验，煤磨系统选粉机粗粉回料输送方式，可以采用螺旋输送机或 FU 拉链机输送粗粉回磨头。工艺流程见图 2。

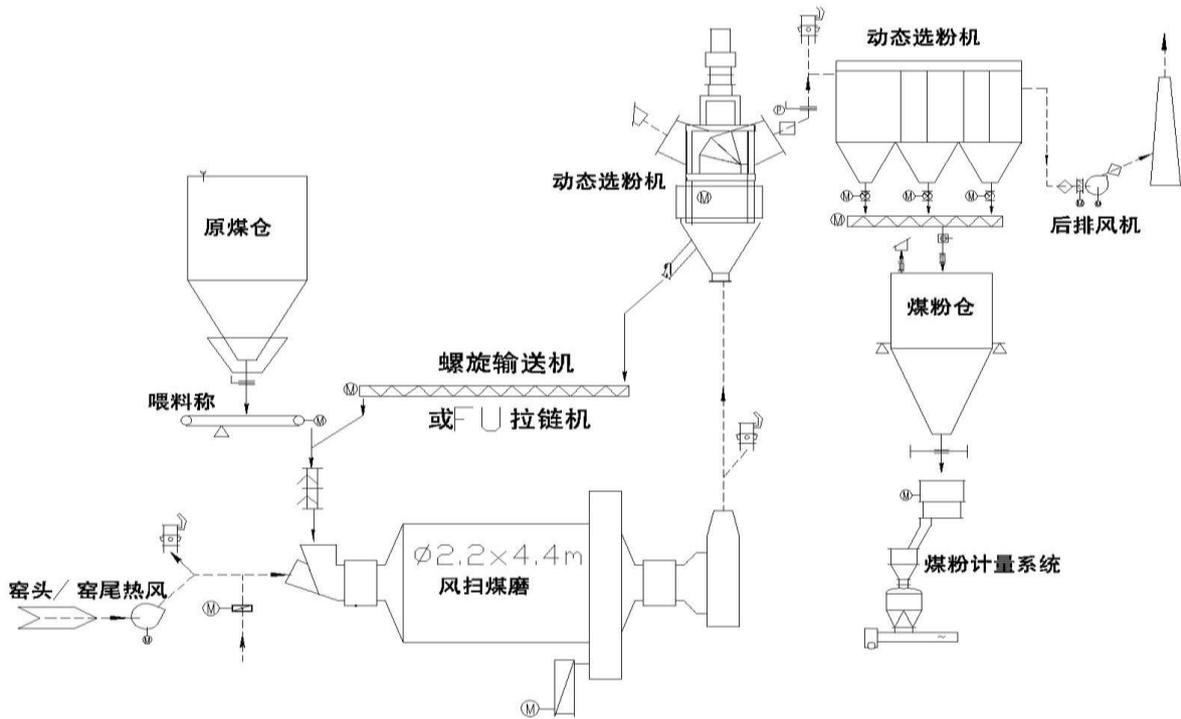


图2 螺旋输送机、FU 拉链机输送工艺流程

(2) 空气斜槽输送方案

选用空气斜槽布置形式时，考虑输送物料中含较大颗粒的煤粒，宜采用较大倾角的斜槽布置，同时在选粉机粗粉下料口设置重锤锁风阀，斜槽下料直接进磨头，斜槽内部的风量通过磨头负压进磨，不再单独设置斜槽收尘。工艺流程见图3。

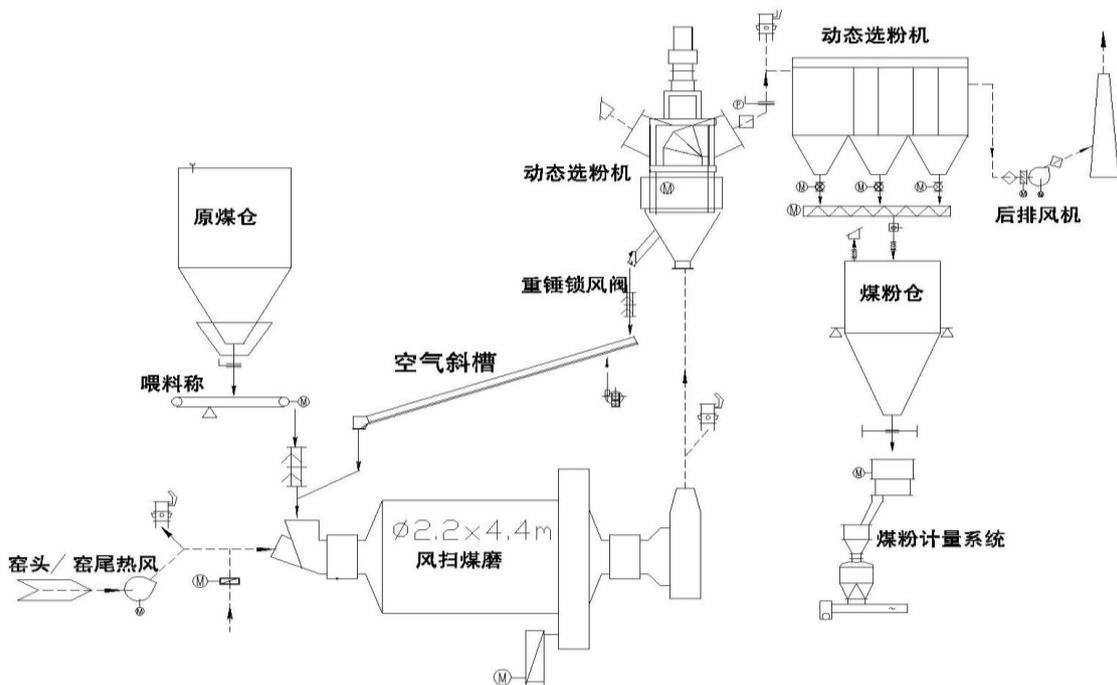


图3 空气斜槽输送工艺流程

### (3) 上述方案比较

风扫煤磨粗粉回料量是正常产量的 3 倍，即 27t/h。本次改造优化磨尾风速较大的问题，粗粉回料量应适当放大，因此考虑 40t/h 的粗粉回磨量。不同输送方案参数对比见表 1。

表 1 不同输送方案参数对比表

	规格	参数	能力 t/h	功率 kW
FU 拉链机	F270×4.5m	水平布置，链速：18.5m/min	40	5.5
螺旋输送机	LS II 500×4.5m	水平布置，转速：32r/min	40	5.5
空气斜槽	XZ315×5.5m	倾斜 35°，461m <sup>3</sup> /h，5242Pa	~80	1.1

由于空气斜槽在输送物料的过程中没用运动构件，与螺旋输送机和 FU 拉链机相比磨损小、电耗低、操作方便、设备重量轻、输送能力大及技改工期安装周期短等优点。而 FU 拉链机和螺旋输送机的主要缺点是电耗大、故障频繁、磨损大、维护费用高，影响煤磨系统的运转率。综合比较后，选择空气斜槽对粗粉回料进行输送的方案。

### 3.3 空气斜槽的设计

选粉机粗粉回料口下方，垂直布置一台规格 300mm×300mm 的双层重锤锁风阀，下方布置斜槽规格 XZ315×5.5m，斜度约 35°，设计能力 80t/h。斜槽卸料出口直接进磨头。

斜槽耗气量计算  $Q=60B \times L \times a$

式中：V—耗气量 m<sup>3</sup>/h； B—斜槽宽度 m； L—斜槽长度 m

a—单位面积耗气量，m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·min（通常按 1.5~3），取值 2

计算风量为 208m<sup>3</sup>/h，考虑放大系数后，选用风机 4-68No4.5A，风量 461m<sup>3</sup>/h，全压 5242Pa，电机功率 1.1kW。

### 3.4 改造优化需注意的环节

(1) 斜槽进料端锁风阀垂直安装，且必须密封好，保证下料正常。

(2) 在满足空气斜槽布置空间时，应尽量增大倾斜角度，以确保粗颗粒的输送顺畅。

(3) 斜槽是露天布置，设置防雨棚防止受潮，同时在斜槽观察孔附近设置检修平台。

#### 4 结束语

改造优化后的流程简单，维修量小，操作方便，且封闭效果好，无煤粉外漏，煤磨系统产能达到设计产量 9t/h。粗粉回料输送未出现堵塞情况，系统得到较大程度的改善，主机设备运转率得到有力保障，具有良好的环境效益和经济效益。

*(摘自《新世纪水泥导报》2018年第5期)*

# ETS 生态污水处理技术在水泥企业的应用探究

王崇昊

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 ETS 生态污水处理系统工艺原理

ETS 生态污水处理系统是将生态工程原理与标准污水处理概念相结合, 利用自然界自净原理, 并通过人工技术, 对污水进行高效的三级处理, 达到回用目的。系统不仅有很高的生物多样性, 而且运行也具有较高的稳定性。

ETS 生态污水处理系统一般工艺流程 (见图 1) 主要分三部分:

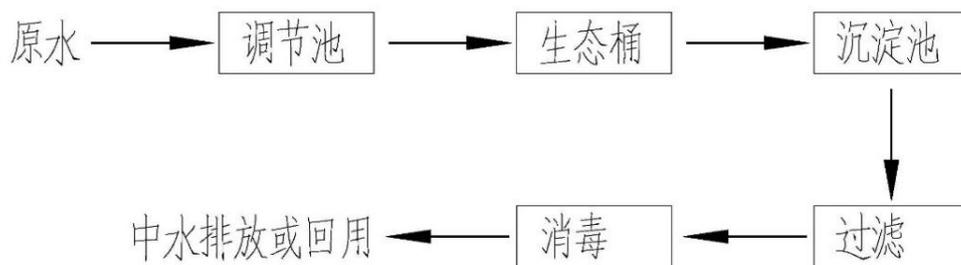


图 1: ETS 生态污水处理系统工艺简图

第一部分是一级处理, 原水经调节池或化粪池预处理后经格栅流入调节池, 该部分主要作用是沉降污水中的较大固体颗粒, 初级降解水中有机物, 混合和均衡水质, 去除异味。

第二部分是二级处理, 该部分包括生态桶、沉淀池和过滤三个装置。经过调节池一级处理后的污水经水泵打入生态桶开始二级处理。生态桶是降解水中污染物的核心部分, 内含景观植物、特种微生物以及为维持生态平衡人工添加的活性物质。桶内植物可以选用美人蕉、水竹等根系发达且有脱氮除磷作用的观赏性植物。经过生态桶后水中污染物如悬浮颗粒、有机物、病菌、氨氮、磷等被逐级降解, 特殊的技术保证了系统中污泥产量极低, 正常情况下无需清理。生态桶出水经沉淀过滤处理后, 有机物、氮、磷、硝酸盐等得到进一步降解, 浊度降低。

第三部分是三级处理，主要包括消毒。污水中含的藻类、细菌和原生动物在消毒装置中绝大部分得到消除，经消毒后的出水可达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）中的水质标准。

该生态污水处理技术有以下特点：

首先适应性强，对污水水质，地形，占地面积等没有特殊要求，用户可根据现场实际情况进行设计；另外由于系统采用模块化设计，用户可根据情况分批建设运行。

其次该系统可以实现全自动运行，方便维护并且出水水质稳定。系统投入运行后，在平衡的生态环境中，能够自动完成对污水的三级处理，具有自我调节功能。并且运行过程中污泥产量极少，无需清理。

再次该系统具有景观功能，可以与系统周围绿化植被结合，不仅处理污水，而且具有观赏性景观功能，对环境不构成伤害，属于绿色环保技术。

最后该系统运行费用低。同传统活性污泥法或生物膜法相比，运行后无需加药清泥、更换填料等，从而减少周期性投资，仅需满足系统运行供电即可。

## 2 ETS 生态污水处理系统在水泥企业的应用研究

水泥企业生产生活过程中所产生的污水主要有水量相对较小，时变化系数比较大，污水中 BOD，COD 等污染物浓度偏低等特点。在水泥企业污水处理中常用的技术见图 2。

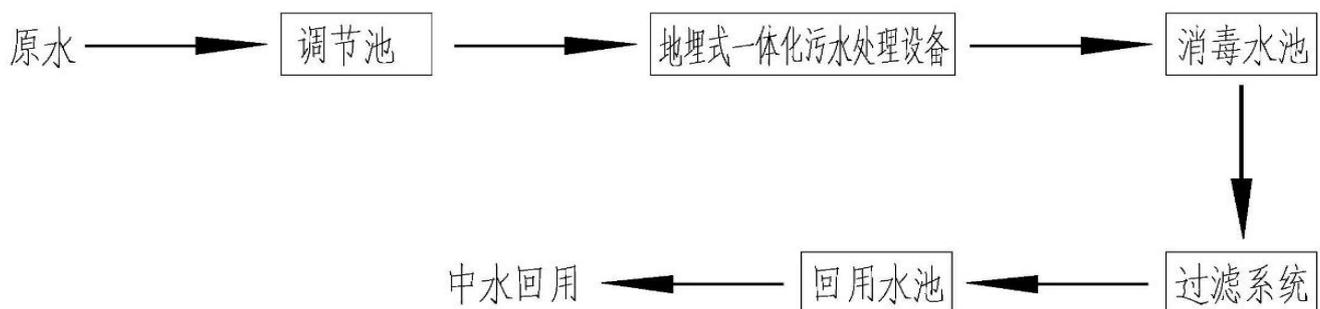


图 2：地埋式一体化污水处理系统

其中该系统核心部分地埋式一体化污水处理设备采用 A0 工艺，原污水、回流污泥首先进入缺氧池，缺氧池内的反硝化菌以原污水中的有机物为碳源，将硝态

氮还原为  $N_2$ ，可不外加碳源；之后混合液进入好氧池，完成有机物的氧化、氨化和硝化反应，实现污水无害化处理。

该系统与 ETS 生态污水处理系统存在各自优缺点，见表 1。

表 1 工艺优缺点比较表

工艺名称	优点	缺点
地理式一体化污水处理系统	设备自动化程度高，技术成熟，不影响地面绿化。	设备埋在地下，易腐蚀、老化，维修、管理不方便，处理水量有限。
ETS 生态污水处理系统	利用自然生物净化功能，可自动运行，操作管理方便，运行费用低，经济效益好，模块化系统，可分期建设。	前期投资偏大

ETS 生态污水处理系统虽然前期投资偏大，但其运行费用很低。通过对一些实际应用的 ETS 生态污水处理系统研究发现，该系统带来的经济效益很明显，用户三到五年内便可以收回成本。

表 2 ETS 生态污水处理系统运行成本参考

规模（吨/天）	25	50	100	150	200 及以上
运行成本（元/吨）	0.43	0.39	0.35	0.32	0.28

ETS 生态污水处理系统主要包括以下几个部分：地下水处理构筑物，包括调节水池、中间水池、沉淀水池等等；温室，可采用钢结构设计，外设玻璃幕墙，里面放置生态桶，供植物光合作用；另外还包括水泵、格栅、风机等配套机械设备。

另外在水泥企业中，粉尘等大气污染比较严重，是水泥企业污染的重要源头。ETS 生态污水处理系统不仅可以处理污水，其生态桶中栽培的植物还能很好的美化环境，吸收粉尘，一举两得。笔者认为在水泥企业中采用 ETS 生态污水处理系统是可行的。

### 3 结论

ETS 生态污水处理系统采用了自然生物处理技术，是目前国际上比较先进的

一种生态污水处理技术，出水水质稳定，运行维护简单，经济效益好，有良好的环境景观价值，是一种适合水泥企业的生活污水处理技术。

(摘自《中国水泥》2020年第7期)

### 参考文献:

- [1]. 武爱国, 杨庆镰, 李爱民等, ETS 生态污水处理工艺在赵楼煤矿设计中的应用[J]. 《煤炭工程》, 2009 (第10期): 14
- [2]. 张自杰. 《排水工程》下册[M]. 第四版. 北京: 中国建筑工业出版社. 2007
- [3]. 北京市市政工程设计研究总院. 《给水排水设计手册》第五册城镇排水[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社. 2004
- [4]. 中国人民解放军总后勤部基建营房部. 《建筑中水设计规范》GB50336-2002[M]. 北京: 中国计划出版社. 2003

# 绿色矿山为核心理念的智能环保精品 砂石骨料生产线设计

刘光年

(合肥固泰自动化有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 前言

随着国内天然砂、河砂等资源的枯竭和政府对开采管控力度加大, 机制砂替代天然砂已成为行业发展必然趋势; 同时随着建筑行业的发展, 不同建筑的结构、建筑方式的变化, 对混凝土特性的要求是逐步提高的。混凝土所用砂石骨料市场的细分越来越完善; 同时国家对矿产资源开采、节能减排和环境保护等方面要求的不断提高和强化管理, 砂石骨料产业转型升级的步伐明显加快, 由传统的粗放的开采方式向工业化、规范化和集约化生产方式快速发展, 同时向建筑固体废弃物再生利用和废弃矿山环境修复产业延伸。这些都有利于提高砂石骨料产业的工业化和产品质量水平; 有利于推动节能减排、资源综合利用和循环经济, 促进行业健康可持续发展; 有利于推动建材行业和建筑业的联动, 完善产业结构体系。

## 1 项目概况

项目规划设计以绿色矿山为核心理念, 矿山剥离的石灰石、电厂固体废物石膏粉和粉煤灰综合利用为主, 同时以高性能混凝土及其高品质骨料发展需求的供给侧改革导向为路径, 选用智能、环保、安全及精品破碎、整形、筛分及控制工艺生产高品质砂石骨料、建筑基料和预拌砂浆。

为实现经济效益与社会效益双丰收, 选用基于上述技术原则下的砂石骨料成套生产线, 达产后可实现年均产能 180 万吨精品粗骨料、精品机制砂、0.075mm 以下钙质干粉以及建筑基料。

利用 180 万吨的砂石骨料生产线生产的细砂作原料, 同时配以电厂固体废物石膏粉和粉煤灰, 延长下游产品, 同时建设 30 万吨的干混砂浆生产线, 年产各种干

混砂浆 30 万吨。

## 2 砂石骨料产线生产工艺

本项目建设一条有效时产 600 吨/小时的智能环保精品砂石骨料生产线，年均有效生产 180 万高性能精品骨料，精品骨料全部采用自动装车系统装载由汽车外运出厂。

年均产量计算公式如下（两班制运行，工作日平均运行率 75%）：

骨料：600 吨/小时×12 小时/天×250 天/年=1800000 吨/年

干混砂浆：100 吨/小时×12 小时/天×250 天/年=300000 吨/年

具体产品方案见表 1、表 2。

表 1 180 万吨石灰岩矿山废石生产精品骨料

序号	产品种类	经济年产量（万吨）	动态可调比例	备注
1	0~0.075mm	13.5	3~10%	钙质石粉
2	0.075~5mm	78.3	15~2.5%	精品机制砂/定制生产
3	5~10mm	10.35	0~15%	精品骨料/定制生产
4	10~21.5mm	42.75	10~25.5%	精品骨料/定制生产
5	21.5~31.5mm	35.1	10~25.5%	精品骨料/定制生产
6	风化砂砾及泥土	20		综合利用
	合计	200		

表 2 30 万吨干混砂浆

序号	产品种类	经济年产量（万吨）		备注
1	预拌砌筑砂浆	8	27%	散装干混
2	预拌地面砂浆	6	20%	散装干混
3	预拌抹灰砂浆	10	33%	散装干混
4	预拌石膏粉浆	6	20%	散装干混
	合计	30	100%	

## 3 砂石骨料生产线设计技术目标

以绿色矿山建设、绿色工厂生产及绿色矿业为核心理念体系：矿山资源充分利用、过程控制能耗管理、环境质量有效控制、人员功耗各尽其用。

### 3.1 绿色环保

以绿色矿山、绿色矿业建设成就为目标，以节能、减排环保理念为根基，展开厂区及成套生产线的系统性规划设计；采用绿色技术、实施绿色生产、洁净生

产。通过系统分析科学计算，建设有效的除尘系统，采用多级多点扬尘/抑尘/收尘技术，厂区颗粒物排放浓度小于 10 毫克/立方米；达到国家环保标准要求，成为行业标杆与区域典范。实现矿地和谐、政企和谐的现代矿业企业发展新方向。

### 3.2 精品骨料

以良性竞争、技术竞争为方向，以先进工艺、现代装备及按需定制为保障，进行高品质、合规化的现代精品骨料定制化生产，实现企业综合竞争力最大化，更好服务混凝土产业，进而实现企业投资收益最大化。

### 3.3 智能高效

对成套装备生产线进行系统科学设计与优化升级，实施集中操控、程序控制、智能监控、安全防护，实现成套系统工作运营的高效流程、智能管控、便捷检护，最大程度提升生产线系统综合作业效率，降低误操作停工时间，降低运行及维修成本，提升企业综合效益。

### 3.4 安全可靠

专用软件程序管理避免控制误操控，全系统多层次安全防护设施降低误伤害，全系统软硬件相互关联设计，最大程度保障生产线工作人员生命财产安全；科学合理计算结构抗疲劳强度，稳健可靠地提高系统运营安全系数。

### 3.5 节能降耗

基于对矿区地形地势的严谨勘测进行成套生产线系统的科学规划、严谨分析与设计计算，实现各传动机构、最合理、有效并节能的驱动机构形式及动力选型。

采用智能装车系统，实施成品料堆存区各料堆自动转运输送全覆盖，并且可实现无间断的连续装车，实现绿色、高效装车，降低企业装运成本，排除装运区块扬尘、撒料等二次污染。

## 4 砂石骨料生产线设计建设范围

原料进厂至成品储存和发运的整条工艺生产线，包括以下各子系统的工艺、土建、机械、结构、液压、气动、电气及自动化控制：

- (1) 原料输送、原料除泥；

- (2) 原料破碎、骨料半成品整形、骨料半成品筛分、机制砂半成品整形、机制砂半成品筛分；
- (3) 过程抑尘、除尘、收尘、控粉及机制砂加湿搅拌；
- (4) 成品输送、成品入库、成品储存及成品自动装载。

### 5 环保智能高品质骨料成套生产线特性

- (1) 总体生产工艺：除泥+破碎+精准整形+干法除尘+石粉调控+级配制砂+砂石同出；
- (2) 主要工艺设备：多缸+超细制砂+整形立轴+筛分+高效除尘+自动装车；
- (3) 总体布局结构：立体式构造+紧凑型布局，节约集约用地；
- (4) 总体技术定位：绿色矿山设计+花园工厂生产+一人一键集中操控+便捷检护无死角；
- (5) 核心控制目标：粒形、级配、含粉率及品种实时便捷可控可调；
- (6) 精品骨料生产，低空隙率控制，降低混凝土成本提升混凝土性能；
- (7) 采用智能装车系统，全厂全程有组织排放，无二次污染、无厂区洒料；
- (8) 专用高效集中除尘系统，自动调控风量，自动管道清灰，节能并高效；
- (9) 全自动操控运营专用软件结合变频驱动系统智能化、集约化技术实现高效运行低能耗；
- (10) 颗粒物有组织排放浓度低指标 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，超低排放指标 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 可选；
- (11) 厂界噪音控制 $\leq 70$  分贝；
- (12) 全环节（破碎+筛分+输送+整形+除尘+装车+控制）电耗 2.63 度/吨；
- (13) 全程三维设计，空间布局深度优化，大幅降低后期安装调试各类成本及检护省时高效；
- (14) 有限元软件辅助分析计算，确保设计成果最大程度保障安全生产及科学合理物尽其用；
- (15) 生产流程工艺与结构装配工艺的相互深度结合，在线监测与预警系统

的多维度设置，保障最大程度的安全、可靠、低故障率、高检修快捷性，是成套生产线全生命周期内更多有效生产时间的精细化经济技术理念。

## 6 工艺流程简述

(1) 中转作业：从附近的石灰石转运站均匀（1000t/h）取料（颗粒直径<100mm），经皮带机输送至除泥筛进行除泥作业。

(2) 除泥作业：除泥筛是由 1#振动筛组除泥作业后，分出 2 个品种，分别为土石粉，>10mm 的矿石，其中土石粉经皮带机输送至泥仓（2000t），石灰石泥料可通过皮带机返回至水泥生产线上；>10mm 的矿石经皮带机输送到中转仓（15000t）。

(3) 细碎、整形作业：矿石由仓底皮带机输送到 2#振动筛，将物料分成 0~45mm 和大于 45mm 两种矿石。0~45mm 的矿石直接进入整形机进行整形，再通过皮带面输送至筛分楼站振动筛；大于 45mm 以上的物料直接进入细碎圆锥进行细碎作业，破碎后的物料经皮带机和斗提再次进入二筛。

(4) 成品筛分、制砂、级配调整作业：经整形的矿石输送至筛分楼站的斗提后，由斗提输送至 3#振动筛后分成五种产品，分别为 0~5mm，5~10mm，10~21.5mm，21.5~31.5mm，大于 31.5mm。0~5mm 由皮带机输送至级配控粉机内进行控粉及级配调整作业，其中，高精品级配砂由皮带机输送至湿拌机进行湿拌，再由皮带机输送至成品仓（10000T），级配调整多余料由皮带机输送至制砂机；5~10mm 的产品可直接由皮带机输送至成品仓（3000T），同时也可以直接进入制砂机进行制砂作业，再由皮带机输送至 2#筛；10~21.5mm 的产品由皮带机直接输送至成品仓（10000T）；21.5~31.5mm 的产品由皮带机直接输送至成品仓（4000T）；大于 31.5mm 的产品由皮带机输送至 2#筛。

(5) 自动装车作业：成品仓内的成品骨料可由仓底皮带机输分别送至装车楼站进行自动装车作业。

(6) 粉尘收集作业：生产过程中将产生粉尘，其中 1#筛分组所产生的粉尘进入除尘器，经除尘器净化后通过排风机排入大气，排入气体的含尘浓度小于 10

毫克/立方米，符合国家排放标准（GB4915-2014）。收尘器收集的粉尘经过湿拌机湿拌后，经螺旋输送机输送至除泥皮带机上，并送至泥仓。

细碎圆锥破碎机、立轴冲击破碎机及 2#、3#筛分组、成品库中产生的粉尘进入除尘器，经除尘器净化后通过排风机排入大气，排入气体的含尘浓度小于 10 毫克/立方米，符合国家排放标准（GB4915-2014）。收尘器收集的粉尘由气力输送系统，统一输送至高钙粉储存仓（1000T），通过仓底自动装车系统装入车辆出厂。

本项目同期建设年产 30 万吨干混砂浆生产线，从选粉机组直接供料，并预留二期年产 30 万 m<sup>3</sup> 的商砼站的骨料输出接口以及厂外大型堆场的输送或带式输送机远程输送的接口。

## 7 工艺流程和设备配置

### 7.1 工艺流程（见图 1）

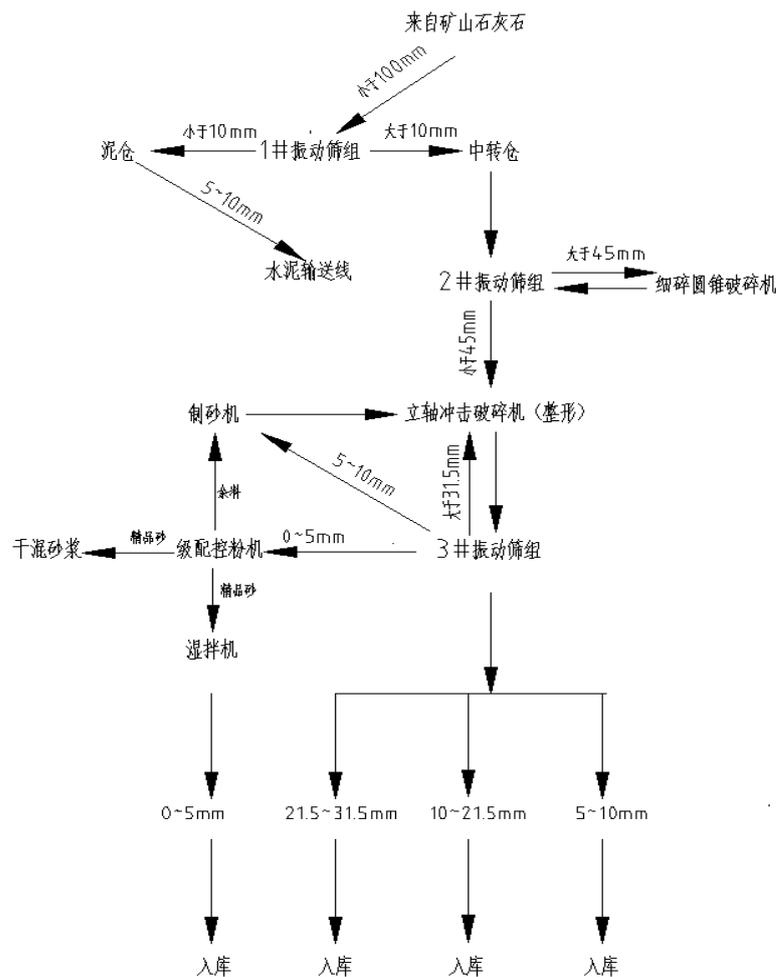


图 1 环保智能高品质骨料工艺流程简图

## 7.2 主机设备

主机设备主要有（此处未给出功率）：振动筛：1#振动筛组、2#振动筛组、3#振动筛组；破碎机：单缸圆锥破碎机、多缸圆锥破碎机；骨料整形机：立轴冲击破碎机；制砂机：超细碎制砂机；级配控粉机；湿拌机；气力输送系统（含仓顶除尘器）；除尘器：1#除尘器；2#除尘器；3#除尘器。

## 7.3 物料平衡

根据砂石骨料销售市场情况，该生产线年工作天数按 250d 考虑，每天 2 班，每班工作 6h，生产线额定效率 600t/h，见表 3。表 4 为各种物料储量及储期。

表 3 物料平衡表

序号	产品种类	经济年产量(万吨)	动态可调比例	备注
1	0~0.075mm	13.5	3~10%	钙质石粉
2	0.075~5mm	78.3	15~52.5%	精品机制砂/定制生产
3	5~10mm	10.35	0~15%	精品骨料/定制生产
4	10~21.5mm	42.75	10~25.5%	精品骨料/定制生产
5	21.5~31.5mm	35.1	10~25.5%	精品骨料/定制生产
6	风化砂砾及泥土	20		综合利用
	合计	200		

表 4 各种物料储量及储期

物料名称	储存形式及规格	储存量(吨)	储存期(天)
0~0.075	钢筒仓	1000	1.9
0.075~5mm	挡墙 3m、1311m <sup>2</sup>	13000	4.2
5~10mm	挡墙 3m、665m <sup>2</sup>	3000	7.2
10~21.5mm	挡墙 3m、1311m <sup>2</sup>	10000	5.8
21.5~31.5mm	挡墙 3m、931m <sup>2</sup>	4000	2.8
泥土	挡墙 3m、200m <sup>2</sup>	2000	3.3

## 8 干混砂浆生产线

### 8.1 干混砂浆生产线的组成

干混砂浆生产设备的主要组成部分为：砂的预处理系统：砂石储存、干燥；含水率<0.5%以下的机制砂可以免烘干；原料储存系统：石膏仓储，胶结料、细实料以及添加剂的仓储；计量系统；混合机；散装系统、预留后期成品包装系统；全自动过程电脑控制系统。

### 8.2 干混砂浆原料来源

水泥：采用国家标准散装 32.5 级普通硅酸盐水泥，可由水泥厂直接在厂区建造水泥储罐进行供应；砂：采用 180 万吨骨料生产线生产的机制砂，如果含水率 <0.5%可免烘干；石膏粉：采用电厂烟气脱硫的副产品；粉煤灰：采用采用电厂的国家标准散装 3 级粉煤灰固体废物，也可利用电厂废炉渣进行加工利用；添加剂：向专业的添加剂生产厂订购；包装袋：向专业的包装厂订购。表 5 为干混砂浆原料比例

表 5 干混砂浆原料比例

序号	原料种类	比例	备注
1	细砂（石膏粉）	70%	烘干
2	水泥	15%	
3	粉煤灰等掺合料	15%	
	合计	100%	

### 8.3 干混砂浆生产线的工艺流程（见图 2）

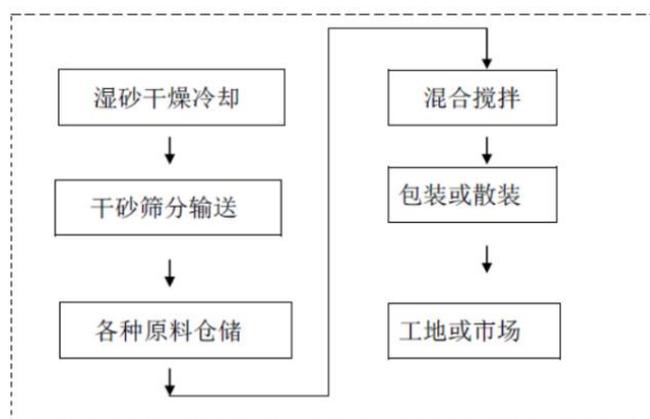


图 2 干混砂浆生产线的工艺流程图

### 8.4 常规设备配置

主楼的结构形式为高塔式。

#### （1）湿砂上料系统

原料输送系统由料仓、斗提机、变频给料皮带机组成。

- ① 湿砂仓容积为 6 m<sup>3</sup> 地上仓。
- ② 定量变频给料皮带机，用于定量给料至斗提机。
- ③ 环链式斗提机，生产能力依产量而定，用于冷料提升到干燥滚筒内。

## (2) 干燥冷却系统

干燥冷却系统由二回程干燥冷却滚筒、沸腾炉组成。

①干燥冷却滚筒采用先进的欧洲技术设计制造。

②滚筒为内外双层结构，内筒为加热筒，外筒为冷却筒，物料由内层流到外层，结构紧凑，占地面积小。

③外筒结构采用与内筒结构相反的导料板，使物料沿干燥方向相反的方向出料；外筒为锥形分段连接，可方便拆除维护导料板，且易保证同心度。

④筒体采用材质为 20g，特殊部位考虑耐磨损处理，能够满足长时间安全稳定运行。滚圈采用锻钢材质，其韧性更高，运行稳定使用寿命长。

⑤采用第四代防爆沸腾炉，破碎机有效对煤块的破碎，利于燃料充分燃烧。燃料供给使用变频电机实现给料量可根据炉温供料，便捷炉工操作。炉体可压火隔夜，综合运营成本低；无二次污染，热风洁净度高与燃油相当，从而有效控制干燥物料的干燥品质，使出料干砂含水率低于 0.5%同时控制出料温度在 65 度以下。

⑥耐磨型高灵敏度热电阻传感器，可精确显示温度。

⑦采用气压传感器，保证滚筒内恒定的真空度，粉尘不外泄。

## (3) 干燥除尘系统

①本机采用重力+布袋二级除尘方式，将重力除尘器收到的粗颗粒粉尘通过螺旋输送机送入干砂皮带机中。布袋除尘器选用大气反吹除灰布袋除尘器，采用精制的专业布袋。

②引风机采用离心式风机,通过 V 型皮带驱动风机。

③除尘系统采用负压检测控制方式，在烟道上装有温度检测装置和冷风阀，系统有温度安全限定功能，确保除尘布袋工作安全。

## (4) 热料筛分提升系统

由直线振动筛分机、斗提机组成

①烘干好的砂由滚筒进入直线振动筛

②直线振动筛单层筛网，筛分粒径为 5mm，可将超限料除去。

③板链式斗提机，生产能力依产量而定，用于将热料提升到原料筒仓顶，运行稳定噪音相对较小。

### （5）分级细筛分机

①一般筛分层面为 3 层，最多可得到 4 种不同级配的砂，筛分粒径可由筛网孔径选择。

②具有筛网清洁系统，有效的筛网清洁系统保证筛机能连续的进行筛分。

③高精度的筛分使有用的原料不会被浪费掉。

④高耐磨筛网，可减少维修费用以及停机时间，进一步提高使用率。

⑤简易筛网拆装装置，使筛网更换更加节省时间

### （6）原料储存系统

原料储存系统由胶结料、细实料筒仓及掺合料、添加剂料斗组成。

①胶结料、细实料筒仓外形与常规粉罐相同，设有高低料位指示器、除尘器、破拱装置、安全阀、手动闸阀、进灰管等。筒仓的数量根据用户的产品原料种类多少而定，常规为粉料罐 3 个，砂罐 4 个。

②掺合料及添加剂料斗一般为 4 个；每个料斗体均配置意大利 WAM 低料位计 ILTC2 一只，意大利振动器一个；对于小型的干混搅拌站，采用人工计量加料时，则没有该料斗。

③细实料（石粉）及胶结料（水泥、粉煤灰等）的输送一般为气力输送，如用户只能买到袋装料时，则采用货梯（简易电动葫芦、升降梯）吊运，人工拆包投料了。

④掺合料及添加剂一般为袋装，采用货梯（简易电动葫芦、升降梯）吊运，人工拆包投料。

### （7）搅拌主楼

①主楼结构采用大型 H 型钢制成。

②底层设有包装系统及气源，并在三层布置一台布袋脉冲除尘器用于包装机

的除尘。控制室位于二层粉罐下。

③第二层预留了散装输送的通道（小型机台没有该层）。

④搅拌主机在第三层，检修空间大。

⑤第四层平台用于安装砂秤、粉秤。

⑥第五层平台用于安装 4 个添加剂料斗和 4 个砂罐。楼内楼层间设有楼梯，可从底层上到第五层。

⑦楼内第五层顶设有货梯（简易电动葫芦、升降梯），可将袋装添加剂原料从地面吊至第五层平台上。

⑧分级细筛分机设在楼顶层。

⑨主楼外封采用 C 型槽钢作框架，外封为彩钢板，窗门为塑钢材料。

#### （8）计量系统

①小型机台配置一个大秤和一个小秤，均为累加计量；中大型机台配置二个大秤和一个小秤，也为累加计量。

②大秤主要称量细实料、胶集料。小秤主要称量掺合料、添加剂，称量后进入粉秤，保证下料完全。

③计量斗由三个压式传感器、连接件（均为美国 TOLEDO）构成称量单元。

④小秤计量斗由不锈钢板制成，斗上设有一个气吹式振动器。

⑤喂料螺旋机采用意大利 WAM 螺旋输送机，所有螺旋均采用变频调速控制，精确计量驱动。

⑥微量变频喂料螺旋机出口处均设有气动蝶阀，可精确控制落差。

#### （9）混合机

①单卧轴铧犁式搅拌主机。

②壳体由低碳钢制成，外框由厚钢板组成，刚性可靠。

③主轴采用平行轴式减速机传动，变频电机，可平稳起动。

④混合机底部一侧装有高速旋转刀，可使物料搅拌均匀、快速，均匀度能达到 1: 100000，能满足彩色砂浆的搅拌。

⑤备有在线取样口，可方便取样化验。

⑥快速单大开门卸料门，卸料干净快速。

⑦犁形搅拌叶片为防磨钢+碳化钨表面，耐磨性好，使用寿命长。

### (10) 气动系统

①气动系统配有一台中山复盛空压机、冷干机，气体缓冲输送罐及管路，济南华能 24v 电磁阀、管件、气缸。

②气源压力：10kg，工作压力：7kg。

### (11) 电控系统

①控制系统由 PLC 和计算机组成，采用双机热备系统-双机双控。

②控制软件：PLC 系统软件由 NFLG 自主知识产权的系统程序。

③计算机控制系统实现砂的干燥冷却、配料、卸料、搅拌和出料全过程的自动控制及手动功能。

④管理及监控计算机系统可被选择为备份机进行工作。

⑤具有打印统计生产日报表、月报表，在线检测、故障诊断及监控作用。

⑥能随机存储各种生产数据，随机打印每拌用料表。

⑦操作台面板设有手动按钮，可完成砂的干燥冷却、原料配料自动控制，卸料、出料手动控制功能，按钮均为施耐德产品。

⑧计算机操作平台为 WindowsNT4.0，控制软件运行可靠。

⑨能存储 20000 个配方及任务号，并能随时修改和调用。

各种机械动作状态模拟显示以及整个生产工艺流程显示。

⑩通过手动输入粉料过秤后的数据，可动态直观显示库存粉料的重量。具备联锁功能。

⑪在自动生产过程可改变为手动操作调整，且不影响后续自动生产过程。

⑫具备落差自动调整修正，确保配料准确度。

⑬电缆采用名牌产品阻燃电缆。

### (12) 成品输送系统

成品输送系统由包装机和散装装置组成。

①包装机一般采用阀口式，定量范围在 25-50 千克，计量精度为±250 克。

②散装装置由脉冲除尘器、散装接头组成。散装接头是一个伸缩料斗，带料位计、双层卸料管，料加满时可及时停止卸料，并配置除尘器，保证卸料口及散装车出料口无粉尘污染。

## 8.5 干混砂浆产品

序号	产品种类	经济年产量（万吨）		备注
1	预拌砌筑砂浆	8	27%	散装干混
2	预拌地面砂浆	6	20%	散装干混
3	预拌抹灰砂浆	10	33%	散装干混
4	预拌石膏粉浆	6	20%	散装干混
	合计	30	100%	

## 9 结论

本文所介绍的设计思路切实贯彻落实“绿水青山就是金山银山”和“打赢环境治理攻坚战”的可持续发展方针，充分利用和节约能源，采用切实有效的措施节能降耗；实现资源节约型的经济增长模式，并减少环境污染；以绿色矿山为核心理念，矿山剥离的石灰石、电厂固体废物石膏粉和粉煤灰综合利用为主，选用智能、环保、安全及精品破碎、整形、筛分及控制工艺，设计出一种新的智能环保年产 180 万吨精品砂石骨料生产线，同时配以电厂固体废物石膏粉和粉煤灰，延长下游产品，建设 30 万吨的干混砂浆生产线，年产各种干混砂浆 30 万吨；项目最终既节约了废石处置费用，减少了投资，保护了环境，又增加了经济效益和社会效益的双丰收，可谓是一举多得，是一种值得各设计院借鉴的设计思想。

（摘自《中国水泥》2020 年第 4 期）

# 城市污泥处置新技术发展及探究

石雅军

(中建材(合肥)粉体科技装备有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 前言

伴随着整个社会的不断进步以及科学技术的不断更新,但随着经济发展而来的是尖锐突出的环境生态问题。而在所有问题中,污水处理以及循环问题成为制约城市不断发展的关键因素。近些年来,城镇污水排放量大量增加,相应的处理能力也在不断提升,而与此同时,剩余污泥的数量也在不断攀升,如果对于剩余污泥不进行合理的处置,也会在一定程度上加剧环境的污染。渗滤液对于土壤造成污染,而污泥反应产生的气体进一步会加剧空气污染,进一步影响着人们的正常生产生活。

## 1 污泥处置技术整体发展过程

污泥处置技术从最初的起步到如今的不断丰富已经具有百年发展历史。在19世纪末,那个年代人们对于环保的重视程度较低,污水处理量相对比较少,相应的产生的污泥量也不多,在当时所用到的污泥处置方法主要是填平洼地,这种方法简单易行,同时也有少量的污泥会用于正常的生产过程,进一步增强土地的产量,同时改善土质结构。而伴随着时间的发展,人们对于环保的重视程度不断加强,这个就使得污泥处理技术得到了发展,污泥厌氧消化技术自此产生并一直沿用至今。到了从20世纪末,整个社会对于污泥处置的重视程度已经提升到非同一般的地步,污泥处理技术也得到持续的改进以及完善,新型处理技术也得到不断的开发,但是由于大多数的技术仍然处于开发的初级阶段,无法用于实际的生产实践过程,因此,如何降低剩余污泥对于环境造成的危害是相关技术人员一直面临的难题。

## 2 污泥处置技术简要介绍

污泥处理是对于污水进行处理工作过程中极其重要的一部分，处理的目的在于实现污泥性质的深层次稳定，这可以有效地降低污泥的实际产量，进一步提升物理、运输、处置的便利性。但是，由于受到经济以及环境等多个层次的因素影响，不同的国家以及区域对于污泥的处置标准以及方式都存在着一定的差异性，各个国家地区都会依据各自的实际发展情况进行相应的标准设定。而我国随着近些年对于污泥处置经验的总结以及分析，也相应的制定了一些比较适合我国实际情况的污泥处置技术标准。

### 3 污泥处置主要技术

#### 3.1 污泥填埋技术

针对于污泥的填埋，可以选择设置独立性的专门填埋场，也可以选择和人们日常生活所产生的垃圾一起进行填埋场的相关处置，在当前阶段，我国污泥的填埋处理主要采用的是雨。日常生活产生的垃圾进行一起填埋的方式。这种方式的主要优点是操作简单，而处理的成本比较低，只需要一次性的建设填埋场，建设工程的周期时间较短，这些因素都会促进污泥填埋的深入应用。但在另一方面，污泥填埋往往需要的空间较大，而污泥在运输过程中也会涉及到一些费用，而通过污泥填埋也可能会对于环境以及地下水产生一定程度的危害，这就会形成二次污染，而在填埋过程中所产生的废气等有害气体又会加剧空气污染；除此以外，很多营养成份会直接在填埋过程中造成资源的浪费，这与国家的相关可持续发展方针政策相违背。因此，污泥在垃圾填埋场直接进行填埋的处理会逐步受到限制。

#### 3.2 投海处理技术

污泥投海技术主要是以海洋作为利用对象，通过海洋所蕴含的稀释以及处理能力来对污泥进行深入处置，并不需要相关部门进行深入的处理，也不用经过脱水过程就可以直接排入到海洋中，容量又很大。通过这种处理方式，污泥的处理费用大大降低，但这也存在着一个问题，就是并没有从根本上对于环境污染进行解决，虽然城市污泥投入到海洋之中对于城市来说是一种处理方法，但是对于海洋来说增大了海洋自身水体处理的负担，长此以往，会对于海洋生态环境产生一

定程度的影响，进一步影响海洋中的物种数量以及种类，造成海洋污染，破坏生态环境，进一步会引起全球性的环境问题。正因如此，投海处理技术并没有在当今时代得到极其广泛的应用。

### 3.3 污泥焚烧技术

城市所产生的污泥中往往含有这一定量的有机物以及纤维素，这些成分中往往含有较高的热量。通过焚烧可以对于污泥中所含有的病原微生物进行最彻底的清除，同时又可以减小污泥所占的体积，而在焚烧中产生的热量，又可以通过一些方式进行回收再利用，这是目前城市污泥处置方法中最为有效的一种。而对于污泥焚烧所产生的能量，通过合理的方法可以成功将热能转化为人们生产生活所需要的电能。但是城市污泥焚烧过程中又会产生对于环境和人类都有害的二氧化硫等气体，这就需要相关部门要对于焚烧所产生的气体进行深入的处理，这也是当前污泥焚烧技术中急需解决的问题。我国对于污泥的焚烧技术仍然处于最初阶段，对于相关方法的运用还不是十分合理，涉及到的方式主要有三种。第一种就是将污泥与垃圾进行混烧，但是由于二者的来源以及适宜炉型存在着一定的差异性，对于焚烧后的利用方式也存在着区别，这就造成整体成本偏高，限制了应用的范围。另外一种方式就是污泥进行单独焚烧，其中对于干化焚烧的应用比较广泛。而最后一种就是将污泥与电厂一同掺烧，这主要适用于在与电厂距离较近的污泥厂，可以减少运输过程中的费用，针对现有的相关设施进行进一步的利用。

### 3.4 土地利用技术

伴随着整个社会对于环境保护的重视程度不断提高，对于剩余污泥的利用程度也在不断加深，当前阶段，剩余污泥往往会用于土地结构以及成分的改良。同时利用相关的技术进行不断发展，这是满足当前绿色方针政策的一种处理技术。由于城市污泥中往往含有大量的由于污泥中含有大量的腐殖质以及适合植物生长的营养元素，这可以进一步改善土壤的生物活性，增强土壤的产能。而除此以外剩余污泥还可以用于退化草地以及林地的后续修复等。但是由于污泥中含有极其大量的重金属以及污染物，这在一定程度上影响着土地利用技术的适用范围。

## 4 结语

本篇文章通过介绍污泥处置技术整体发展过程,进一步具体介绍污泥处置主要技术,主要涉及到污泥填埋技术、投海处理技术、污泥焚烧技术以及土地利用技术等,而在相关技术的实际应用时,要针对具体的环境以及情况进行充分考量,进一步实现社会以及经济效益的双重提高。只有做好这些才能够真正的落实好可持续发展的基本国策,实现人与自然的和谐发展

(摘自《四川水泥》2018年第9期)

### 参考文献:

- [1]谭克林, 吴喜勇. 城市污水厂污泥处理及处置现状分析[J]. 广东化工, 2017, 44(13):186-187.
- [2]张广鸿. 科学分析我国城镇污泥处理处置技术的应用和发展[J]. 科学家, 2016, 4(8):14-15.
- [3]陈晓娟, 吕小芳. 浅谈城市污泥的处理、处置与资源化利用[J]. 环境保护与循环经济, 2012, 3201:41-45.
- [4]王学魁, 赵斌, 张爱群, 沙作良. 城市污水处理厂污泥处置的现状 & 研究进展[J]. 天津科技大学学报, 2015, 3004:1-7.
- [5]白晓峰. 城市污水厂污泥处理处置技术评估及工艺选择[J]. 中国新技术新产品, 2016(5):143-144.

# 一种回转窑烟气余热回收系统方案设计

李晓琪

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽, 合肥 230051)

## 1 项目概况

某公司 800t 回转窑工艺系统现有余热烟气资源  $360000\text{Nm}^3/\text{h}-320^\circ\text{C}$ , 年运行时间 300 天/年。窑尾设置布袋式收尘器进行粉尘收集, 为了保证收尘器和引风机安全稳定运行, 需要设置一套烟气热回收装置将收尘器入口烟气温度降到安全范围。本设计方案通过烟气换热装置将烟气废热转换为饱和蒸汽, 再利用饱和蒸汽拖动螺杆膨胀机组发电。采用螺杆膨胀机组的好处是相较于汽轮发电机组省去了大量辅机设备, 同时节约汽轮机房和循环冷却水池的土建投资, 对于建设场地有限的工程项目具有很大优势。

## 2 螺杆膨胀技术简介

螺杆膨胀机属于实现热功转换的热能机械, 可以利用低品位热源, 实现功率输出。传统的热功转化, 是利用高压、高温过热蒸汽推动汽轮机转动, 再带动同步发电机, 从而实现热转功。例如汽轮机发电机组, 消耗的是高品位能源或原料, 无法使用低品位的能源。

螺杆膨胀动力机正好可以利用低品位的热源, 实现热功转换, 从而弥补低位热源回收方面的空缺。

根据热能回收方式, 目前螺杆膨胀机主要有两种形式, 一种是利用高压蒸汽直接驱动的蒸汽型螺杆膨胀机, 蒸汽型螺杆膨胀机利用蒸汽的压差进行发电, 用于带压热源余压的能量回收, 实测等熵效率 70%以上。另一种是利用热源温度能驱动的 ORC 螺杆膨胀机, ORC 型螺杆膨胀机利用热流体的温度加热有机工质, 有机工质被加热后压力升高, 带压有机工质进入膨胀机后膨胀降压, 推动转子转动进行发电。因其对可利用热源温度要求很低并且效率较高, 是当前进行低品质能

源回收利用的一种不错的选择，目前做的较好的 ORC 型螺杆膨胀机实测等熵效率 85%。

图 1 和图 2 分别为蒸汽螺杆膨胀及 ORC 螺杆膨胀原理图。蒸汽螺杆膨胀使用的热源介质为 0.4MPa-1.0MPa 水蒸气，ORC 螺杆膨胀使用的热源介质为 85° C 以上热流体（可以是热水或低压蒸汽），ORC 内部循环工质目前常规使用 R245fa。

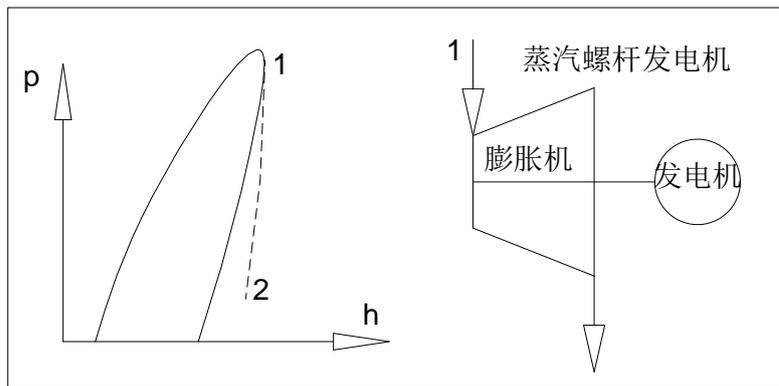


图 1 蒸汽直接膨胀原理图

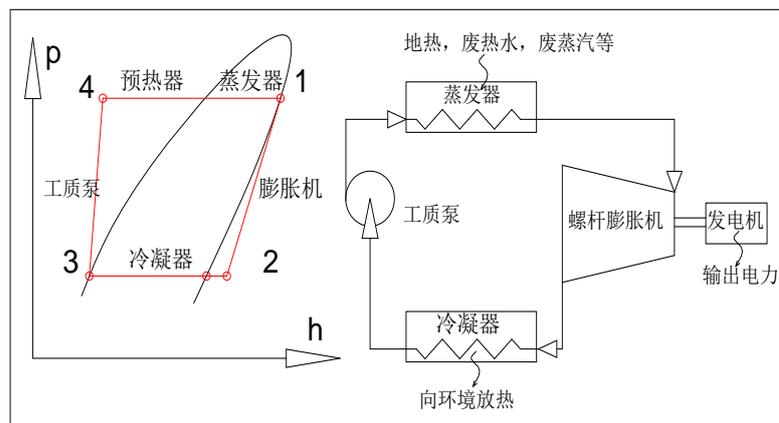


图 2 ORC 热力循环原理图

### 3 项目系统介绍

本项目方案设计中，利用烟气热回收装置将  $360000\text{Nm}^3/\text{h}$ - $320^\circ\text{C}$  烟气温度的降到  $160^\circ\text{C}$  并产出  $1.0\text{MPa}$ - $180^\circ\text{C}$  饱和蒸汽作为膨胀机热源，考虑到回转窑工艺出口烟气成份中含硫浓度在 1% 左右，为了避免烟气结露腐蚀，需要保证排烟温度在  $150^\circ\text{C}$  以上。图 3 为系统热平衡计算流程，根据计算结果，通过蒸汽螺杆膨胀+ORC 螺杆膨胀两级发电方式可实现  $3759\text{kW}$  发电能力，其中蒸汽螺杆膨胀直发  $2402\text{kW}$ , ORC 螺杆膨胀发电  $1357\text{kW}$ 。

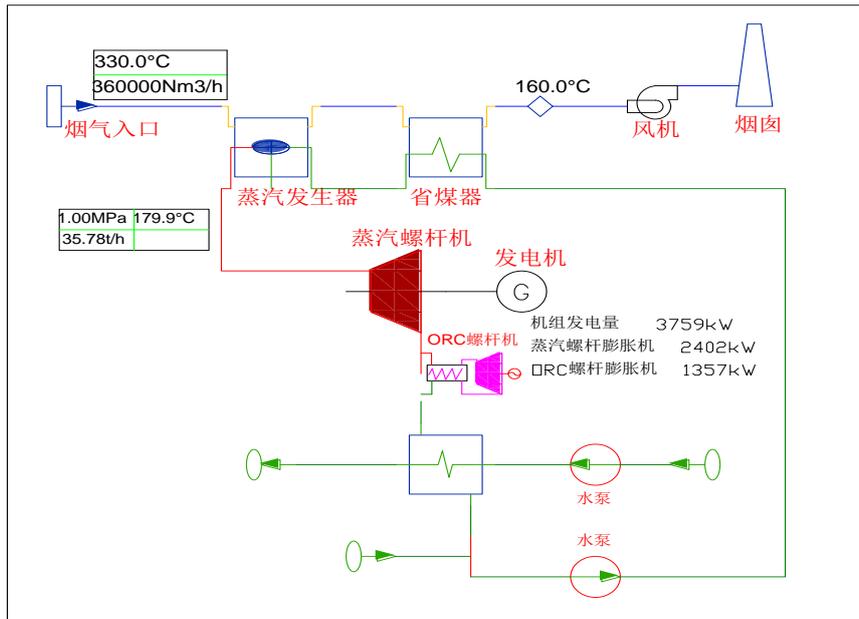


图 3 螺杆膨胀发电系统流程图

表 1 蒸汽直接膨胀螺杆机性能表

饱和蒸汽	压比	3	4	5	6	7	8	9	10
入口温度	°C	135	145	153	160	166	172	177	182
入口压力	MPa	0.32	0.42	0.53	0.63	0.74	0.84	0.95	1.0
出口温度	°C	101	101	101	101	101	101	101	101
出口压力	MPa	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
净发电功率 P	kW/t	32	41	48	53	58	61	65	68

表 2 ORC 螺杆膨胀机性能表

蒸汽进气温度	°C	100		
蒸发温度	°C	95		
冷凝温度	°C	35	25	10
蒸汽量	t/h	1	1	1
膨胀机轴功率	kW/t	58.8	70.4	75.6
净发电功率	kW/t	42	52.9	57.7

表 1 和表 2 为所参考蒸汽直接膨胀螺杆机和 ORC 螺杆机组性能参数，由表中数据可见，蒸汽直接膨胀机组进汽压力 1.0MPa 时，单位净发电功率可达到 68 kW/t。ORC 螺杆膨胀机的单位净发电功率受冷凝温度影响较大，在常规工况下净发电功率可达 50kW/t。

#### 4 环境经济效益

根据设计，系统年总运行时间为 300 天，有效发电功率 3759kW，年发电量 2732

×104kWh，可年减少 9047 吨标准煤的燃烧，年可减少 2.4 万吨 CO<sub>2</sub> 排放，76.8 吨 SO<sub>2</sub> 排放、68 吨 NO<sub>x</sub> 排放。

相较于汽轮发电机朗肯循环发电系统，本方案节省了汽轮机房和循环水池的土建成本，根据实际发电能力，本项目初步估算总装机 4MW，其中蒸汽螺杆机组 2.5MW，ORC 螺杆机组 1.5MW，按照目前常规投资成本估算，约需投资 3600 万元，根据年发电能力 2732 万 kWh，年节约电费约 1300 万元，投资回收期约为 3 年。

## 5 总结

(1) 在进行回转窑工艺烟气换热设备选型计算时，应充分考虑烟气中硫成份结露对换热管道的腐蚀影响，控制排烟温度不宜过低；

(2) 螺杆膨胀机组由于对低品位热源的适应能力较高，在工业低温热源回收领域具有十分广阔的应用前景，在进行机组选型时，可以根据热源情况进行相应的计算搭配；

(3) 螺杆膨胀机组占地面积小，系统组成简单，对于建设场地有严格限制的项目具有较大的优势；

(4) 目前螺杆膨胀机单功率装机投资成本还是比较高的，但随着技术不断成熟与进步，在设备投资成本进一步降低后，该系统将是工业低温余热利用方面的优势选择。

(摘自《中国水泥》2018 年第 9 期)

### 参考文献：

- [1]张理论, 赵金辉, 张力隽. 余热蒸汽资源回收系统的设计及应用. 节能技术, 2013, No. 3 (250-253)
- [2]范刚, 吴晗, 王留阳. 余热蒸汽梯级回收发电系统的设计及应用. 价值工程, 2013, No. 11 (85-86)
- [3]白俊丽. 螺杆膨胀机余能回收发电技术在钢铁行业的应用. 冶金能源, 2017. NO. 4 (50-53)
- [4]徐明照, 周岳, 王亚洲, 王宇, 杨小强. 水蒸汽螺杆膨胀机余热发电系统设计与优化. 化工设备与管道, 2016, NO. 2 (46-50)

# AC800F与西门子S7-300实现 Profibus DP通讯在水泥厂的应用

蒋叶峰

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 应用背景

ABB DCS 系统在新型干法水泥生产线中应用十分广泛，水泥生产线 DCS 系统一般在几个主要的生产车间设置过程站，即生料站、窑尾站、窑头站、煤磨站、水泥磨站、包装站等。像一些车间点数不多，但离过程站较远的车间一般设置 I/O 远程站，如石灰石破碎远程站、原料配料远程站等。另外水泥厂有很多自带专用控制柜的设备，包括生料磨 PLC 柜，篦冷机 PLC 柜，水泥磨综合控制 PLC 柜等。过程站与远程 I/O 站以及设备专用控制柜间进行数据采集可以采用传统的点对点接线方式或者通过通讯的方式。相比点对点的数据采集方式，在自动控制领域采用通讯方式传输数据更受大家的青睐。采用通讯方式进行数据交换的主要优点包括通讯数据传输量大、便于安装施工、便于后期运行维护、以及节省电缆材料以及 I/O 模块等，Profibus DP 通讯的数据传输示意图如图 1。

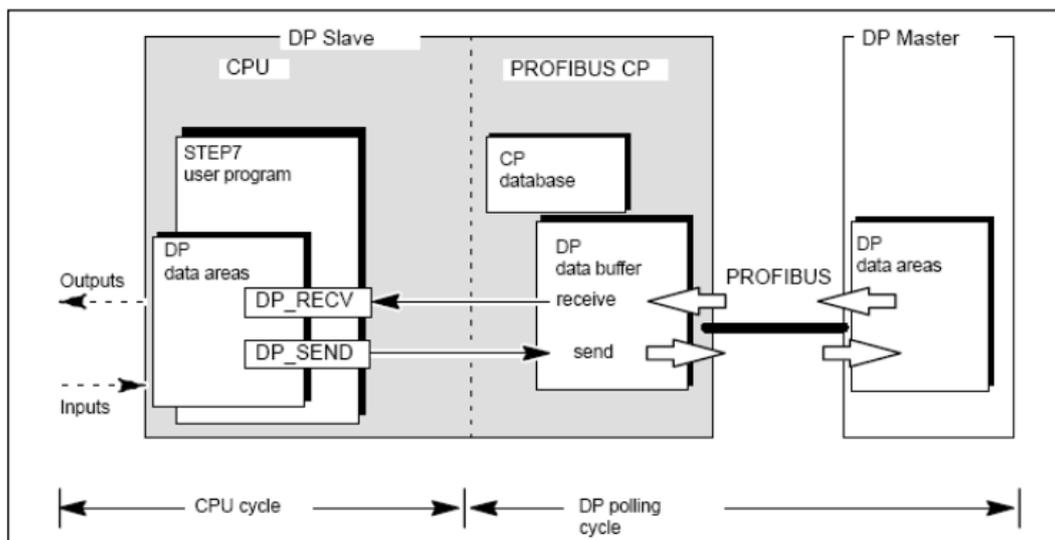


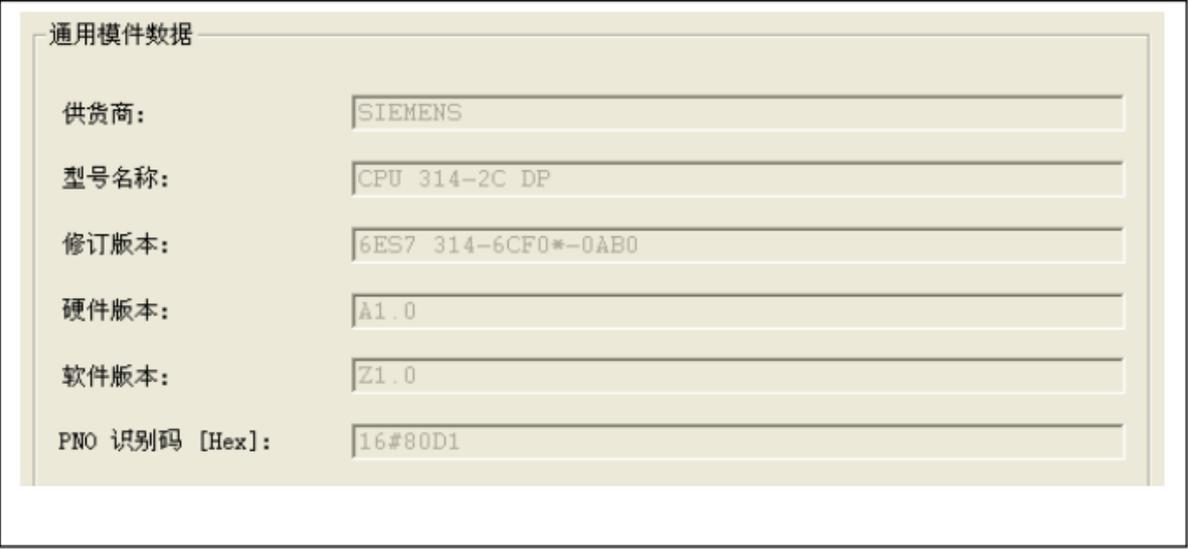
图 1 Profibus DP 通讯数据传输示意图

本文现以内蒙古蒙西水泥股份有限公司 4000t/d 新型干法水泥熟料生产线项目中生料磨现场过程站中 ABB 公司 AC800F 控制器和生料磨配套的专用 PLC 控制柜（配 Siemens S7-300 PLC）间的 ProfiBus DP 通讯为例，对 ProfiBus DP 总线通讯原理和具体编程组态方法作一总结介绍。

## 2 具体实现方法

### 2.1 ABB AC800F 组态

本项目中生料磨电气室内设有生料控制站，AC800F FI830 ProfiBus Master 连接到 S7 CP342-5 ProfiBus DP 通信模块，在 AC800F 中导入生料磨 S7-300 PLC 的 GSD 文件，该 PLC 的 CPU 型号为 CPU314-2，导入 GSD 文件后的界面如图 2，在总线技术实际应用过程中，经常会由于系统配置或编程组态不合理，造成数据无法传输、生产监控无法进行的局面。注意查看导入的 GSD 文件要和现场生料磨 PLC 的硬件一致。然后需要定义从设备基本通信参数，从设备地址设置时需要与 Step 7 设置一致，本项目中现场生料磨 PLC 柜的 DP 站点地址设为 21。



通用模块数据	
供货商:	SIEMENS
型号名称:	CPU 314-2C DP
修订版本:	6ES7 314-6CF0*-0AB0
硬件版本:	A1.0
软件版本:	Z1.0
PNO 识别码 [Hex]:	16#80D1

图 2 GSD 文件导入后提示界面

然后需要在 A800F 中插入数据通信模块，注意数据通信块类型和顺序必须与 Step 7 中的定义一致。本项目中的数据通信块对应图 3 所示的接口数据定义。

供货商:	SIEMENS
模块名称:	CP342-5 Cu Slave
标签名称:	SL_4F1_7
总线地址:	21

位置	模块名称	模块类型
0	M4F1_7_0	2byte DI/constcy 1byte
1	M4F1_7_1	2byte DI/constcy 1byte
2	M4F1_7_2	2byte DI/constcy 1byte
3	M4F1_7_3	2byte DI/constcy 1byte
4	M4F1_7_4	2byte DI/constcy 1byte
5	M4F1_7_5	2byte DI/constcy 1byte
6	M4F1_7_6	2byte DI/constcy 1byte
7	M4F1_7_7	2byte DI/constcy 1byte
8	M4F1_7_8	16word AI/constcy 1word
9	M4F1_7_9	16word AI/constcy 1word
10	M4F1_7_10	16word AI/constcy 1word
11	M4F1_7_11	16word AI/constcy 1word
12	M4F1_7_12	8word AI/constcy 1word
13	M4F1_7_13	4word AI/constcy 1word
14	M4F1_7_14	2byte DO/constcy 1byte
15	M4F1_7_15	2byte DO/constcy 1byte
16	M4F1_7_16	2byte DO/constcy 1byte
17	M4F1_7_17	2byte DO/constcy 1byte
18	M4F1_7_18	2word AO/constcy 1word
19	M4F1_7_19	2word AO/constcy 1word

图 3 AC800F 中接口数据定义

## 2.2 S7-300 组态

远程站 Siemens S7-300 系列控制器支持标准 ProfiBus DP 接口并可以设置为从模式。在 S7-300 系列控制器中需要通过 Step 7 编程软件对接口通信参数及通信数据包进行组态后,才能与 ABB DCS 系统实现 I/O 级对应收发通信。如果 S7-300 控制器内的接口数据模式与 CBF 软件编程不一致就可能会造成 DP 通信失败。

在 SIMATIC 管理器打开硬件组态,需要对 DP 通讯模块 CP342-5 模块进行编辑,设置站点地址为 21,在数据通讯组态设置中按照 AC800F 中数据组态就行一一对应组态。

同时为了提高数据通信质量,可以在程序块中加入 OB35 块以调整任务周期控制数据发送速度以及 OB82,OB86,OB121,OB122 来加强通信回路质量。

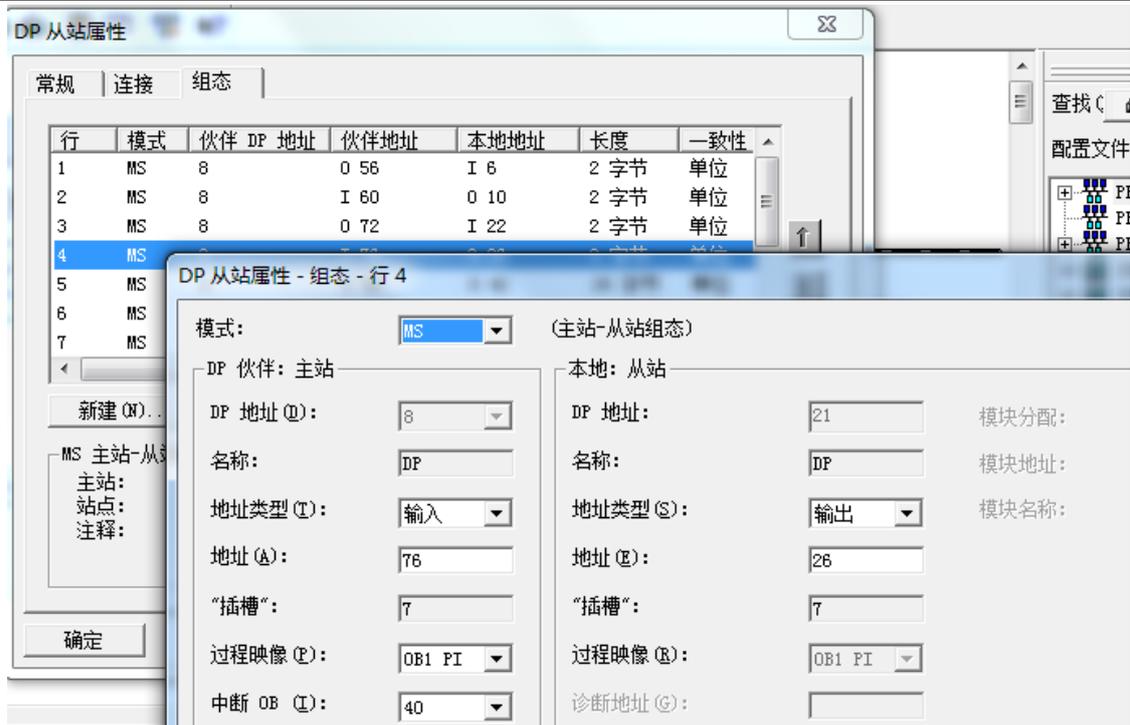


图 4 SIMATIC 软件中 DP 从站组态

### 3 结论

目前内蒙古蒙西水泥股份有限公司 4000t/d 新型干法水泥熟料生产线 DCS 系统和该生产线生料磨 PLC 专用控制柜间通讯运行正常, 事实表明 AC800F 与西门子 S7-300 通过 ProfiBus DP 通讯进行数据传输的方案可靠稳定。

(摘自《中国水泥》2019 年第 9 期)

# 论述水泥窑协同处置危险废物环境风险控制

丁大海

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 水泥窑协同处置危险废物的优势

水泥窑协同处置危险废物, 先利用水泥窑的高温且长时间的停留, 使危险废物焚烧得更为彻底, 重金属污染物也更好地被固定, 所产生的二次污染较小, 具有无害化的优势。水泥窑协同处置危险废物, 是对危险废物处置的有益补充, 在资源化和经济性方面有突出的优势。现阶段, 采用干法水泥窑协同处置技术, 危险废物的适应性较强, 能使各种危险废物充分混合, 使碱性物料能充分地吸收有害成分, 洗气效率较高, 废气的处理性能较好。

## 2 水泥窑协同处置危险废物环境风险控制措施

### 2.1 水泥窑协同处置危险废物的特性要求

禁止将不适合用于水泥窑协同处置的危险废物放入水泥窑处置, 比如放射性废物、爆炸物和反应性废物、未经拆解的废电池、废家用电器与电子产品、含汞的温度计、血压计、荧光灯管及其开关、未知特性以及未经检查检定的废物。要求入水泥窑的危险废物必须满足特性要求, 不能影响水泥的生产过程与水泥产品的质量, 必须满足水泥生产对原材料或燃料的基本特性要求, 要求化学组成和理化性质稳定。烟气的排放量与水泥产品环境与健康安全性满足标准要求, 具有腐蚀性的废物必须经过预处理后确保不会对设施造成腐蚀后才能进行协同处置。进入水泥窑协同处置的废物物理特性, 尤其是颗粒度、粘度和硬度等需满足输送与投加设施的技术要求。对替代混合材的废物特性要求, 作为混合材能掺入到水泥熟料中的废物, 主要是一些工业矿渣, 必须满足国家或行业的标准, 且不会对水泥的生产及其产品造成任何不利。没有经过处理的废物、含有机物的固体废物以及液态和半固态的废物不能作为混合材掺料。

## 2.2 水泥窑协同处置危险废物的技术要求

对于协同处置设施的技术要求,可采用新型干法水泥窑进行危险废物协同处置,要求水泥熟料生产规模不能小于 2000t/d,还需要的设施及其技术包括窑磨一体机、布袋除尘和环评,同时配置自动化和定量装置,实现对水泥窑协同处置的在线监测和控制。对于专门的贮存设施,要求专门建设,危险废物禁止和原材料混存,危险废物的贮存设施必须满足防水、防风 and 防尘等标准要求。预处理设施,应具备混匀、破碎、搅拌、碾磨等功能。另外建设现场实验室用于对危险废物的检测。在水泥企业首次进行危险废物协同处置前必须对水泥窑协同处置设施进行性能测试,后期要定期开展协同处置危险废物设施性能检测,目的是为检验与评价水泥窑在协同处置危险废物时对有机化合物的焚烧去除能力和对污染物排放的控制能力。协同处置运行操作的技术要求,在处置前要求对危险废物进行取样分析,确定是否可以入窑,以及需要采取的措施,在入窑时要注意检查废物是否与合同规定符合。废物的贮存、运输、预处理和入窑协同处置的技术流程、技术参数等应在协同处置方案中明确标识出来。

## 2.3 不同过程中对水泥窑协同处置危险废物的环境风险防范和控制

### 2.3.1 运输过程中环境风险防范控制

在厂外运输时是最容易产生环境风险问题的,因为在厂外运输危险废物时更容易受到外界因素的影响,容易出现容器损坏破裂、设备故障、运输车辆翻车等而导致危险废物泄漏,从而对周围环境产生严重的破坏。在运输时由于无法确定时间和具体位置会出现危险废物泄漏事故,所以很难及时采取措施加以处置,一旦出现废物泄漏问题就会将影响范围扩大。厂外运输过程中危险废物环境风险的控制可采取以下措施:

(1) 危险废物先进行分类然后再装货运输,运输人员在出车前必须对危险废物的信息单子进行检查,根据信息单的内容进行危险废物的分类并做好检查与核对工作,保证不同种类的危险废物分类装车在不同车辆上,避免出现混合装车运输的情况。

(2) 运输危险废物的车辆必须严格遵守危险品交通运输的法律规定，即设置专门运输危险废物的通道，且该运输路线上需设置避开人口密集和交通拥堵的路段，根据危险废物需处置量以及地区分布、交通状况等严格按照危险废物运输规定装车运输。

(3) 为避免出现危险废物泄漏而引起的环境风险事故，需要设置防渗漏的措施，配备车辆在发生抛锚、撞车等事故时的紧急设施，运输车辆还要设置明显的危险废物标志，包括危险物的名称、数量、危险类别、紧急措施等。

### 2.3.2 厂内贮存过程中环境风险的防范控制

危险废物在厂内贮存必须满足危险物在污染控制方面的贮存标准，设置良好的贮存环境，并建立危险废物贮存和处理的台账。针对危险废物在贮存时可能出现的风险，除了要根据有关法律规定做好贮存场地和设施的选址、设计和建设外，还必须加强对危险物贮存的管理，做好防渗漏、防水防流失等措施，设置明显的警示标志，配备相应的照明、消防以及其他紧急处理设施。

### 2.3.3 预处理过程中环境风险的防范控制

危险废物在进入水泥厂后，必须根据危险物的特性和入窑的要求，采取破碎、混合、搅拌等预处理措施。但在预处理时可能会出现泄漏，甚至爆炸等污染环境事故。在预处理阶段可能出现的环境风险可采取以下安全防范措施：

(1) 固体废物，应在破碎、碾磨和混合搅拌的过程中采取负压操作，要求操作人员做好安全防护措施，尽可能地远离处理设施。

(2) 半固态和固态混合的危险废物，在预处理时应在室内车间进行，要求车间内合理设置通风换气设施，在气体排出时对其进行收集，然后送到水泥窑焚烧处理或进入专门的废弃处理设施处理。

(3) 易燃易爆的危险废物，在预处理时要求加入在破碎机中加入可以使破碎机环境变成惰性环境的添加剂，设置防火防爆设施，保证操作人员和环境的安全。

### 2.3.4 入窑焚烧过程中环境风险的防范控制

危险废物在加入水泥窑之前要进行再次性能检测，并对水泥窑内处理设施进

行性能测试，压在投入到水泥窑之后，使危险废物在高温环境下快速分解，在这一过程中尤其要保证水泥窑的稳定，可采取以下环境风险安全防控措施：

(1) 对不同危险废物在入窑前必须采取分类控制，禁止放射性物质、爆炸性和容易反应的危险废物进入水泥窑中。

(2) 加强对含有重金属的危险废物的控制，要求入窑的重金属量不能超过水泥窑协同处置危险废物相关技术规范规定的最大量。

#### 4 结语

水泥窑协同处置危险废物，在危险废物运输、贮存、预处理和入窑焚烧过程中都可能出现危险废物泄漏、爆炸而造成的环境风险问题。为此，水泥生产企业在进行危险废物水泥窑协同处置时先要制定环境污染事故的紧急处理方案，建立完善的针对危险废物协同处置的管理制度和专门组织机构，确保在发生重大环境污染事故时能及时采取应急措施，有效组织救援工作，将环境风险带来的损失降到最低，满足企业安全生产和可持续发展的目标。

(摘自《智能城市》2020年第6期)

#### 参考文献：

- [1] 蒋为公. 危险废物水泥窑协同处置技术应用及废气污染物排放分析[J]. 中国水泥, 2016 (02): 75-77.
- [2] 韩凤凤. 北京水泥厂：肩负利废使命 打造环保名片[J]. 中国建材报, 2016 (03): 9.
- [3] 孙绍峰, 蒋文博, 郭瑞等. 水泥窑协同处置危险废物管理与技术进展研究[J]. 环境保护, 2015 (01): 41-44.

# 一种基于CP散装机的水泥散装系统的优化设计

刘军

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

SAQR AL-KEETAN 粉磨站工程是本公司在伊拉克承包的 EP 项目。该粉磨站水泥粉磨工艺采用经典的球磨机+选粉机组成的闭路水泥粉磨系统,使用熟料和石膏两种水泥原料,熟料分为 SR 和 OP 两种类型。<sup>[1]</sup> 主要包含三个车间:水泥配料车间、水泥磨车间和水泥包装车间,其中水泥包装车间包含两个水泥库、两套水泥散装系统和一套水泥包装系统,其中水泥包装车间包含两个水泥库、两套水泥散装系统和一套水泥包装系统。

水泥散装机是将水泥库与水泥罐车相连,进行水泥散装的专用设备。<sup>[2]</sup> SAQR AL-KEETAN 粉磨站水泥散装系统的核心设备是德国 Claudius peters 公司的两套库底固定式散装机,每套散装机的电气设备包含一台微压风机、一台卷扬机,配套上下极限安全开关及料满检测压力开关。该款设备具有封闭性强,扬尘小,不易堵料,安全性高等特点。<sup>[3]</sup>

## 1 散装系统使用问题分析

通过对散装系统各设备的机装、电气、自动化工程调试,所含设备均达已到约定的性能质量要求,原有控制方案也完全可以满足用户的生产需要,但在带料生产中发现散装系统控制仍然存在一些细节问题:

(1) 一些需要配合散装的设备必须在中控操作,如下料充气气动阀、下料弧形阀、下料执行器,以及收尘器、罗茨风机、库底充气箱环吹系统,而核心设备又需要在现场开启,如卷扬机、微压风机、散装头。所以每次散装都需要现场和中控反复对话,现场在操控核心设备之余,还要不停呼叫中控打开或关闭某些辅助设备。不仅降低了效率,而且由于库底罗茨风机工作噪音很大,现场和中控的

通话非常困难，甚至因未听清造成误动作。

(2) 因包装车间多以现场操作为主，不像水泥磨需要频繁操作，从成本角度考虑，中控未专门设立包装车间的操作员，过多的在包装散装页面操作严重影响了其对水泥磨的操作和监控。一心二用也容易造成事故的发生。

## 2 散装系统的改进方案

### 2.1 系统硬件的改造

针对实际使用中的这些问题，制定了改进控制方式的计划，首先对部分电气自动化硬件结构的进行了部分改造，结合 DCS 软件编程，对散装系统进行了优化。

电气改造以增加库底散装现场对整体系统的监控为主，在散装现场箱体上增加若干指示灯，使得相关设备的运行状态不仅在中控，也可以在现场显示，方便操作人员及时了解情况，不再需要为了解哪些联锁条件不满足、确认相关设备的开启情况，而不断的呼叫中控；其次将 Claudius peters 散装机中重要的信号直接引入包装车间 DCS 柜中，方便整体系统的联动编程。

自动化控制改造将散装系统所有相关设备都纳入了一个整体进行控制，大大增加自动化程度，另外通过利用现有信号完善了设备间的联锁保护，增加了设备的可靠性。<sup>[4]</sup>

### 2.2 控制方案的设计

#### 2.2.1 主要控制程序的设计

散装系统的控制以现场操作为主，但中控也有画面进行监控，并做了报警归档和状态记录。其画面如图 1。

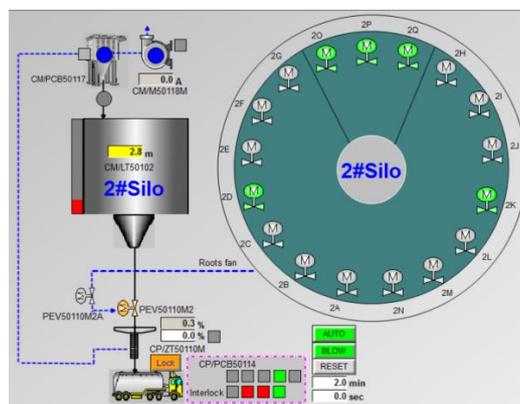


图 1 2#库散装系统中控监控画面

(1) 库内环吹：为了使库内水泥流态化，防止库内水泥结块，同时也促进下料的顺畅，库底 13 个气动阀可在自动模式下不断地依次循环对吹。环吹间隔时间可以任意设置，且为了使阀门切换更加平稳，上一组阀门在下一组启动 3 秒后才关闭。

(2) 为了达到能耗和吹库效果的最佳结合，库底 6 台罗茨风机（3 大 3 小，4 用 2 备）可根据水泥库料位计显示值自动组启动相应数量的风机。但该模式也可取消，手动选择启动。

罗茨风机联锁：程序检测库底所有风口阀门，包括下料充气以及库内充气阀门至少达到任意一个库有两个以上处于开启状态，方可开启罗茨风机，防止罗茨风机出口风路被“憋死”。

### (3) 散装机的控制

当罗茨风机启动，且环吹系统激活后，才可以对散装机进行操作。

散装机启动流程：现场启动按钮→散装头打开→微压风机启动→收尘器启动→卷扬机“下降”（手动）至罐装口（行程开关）→拉绳开关跳停卷扬机→充气阀、下料执行器、下料阀依次打开，开始下料。

程序实时监控所有相关设备运行状态，必须满足所有条件，方可下料，且当如下条件满足任一时：

- a. 故障值为 1；
- b. 料满压力开关值为 1；
- c. 下料口行程开关值为 0；
- d. 微压风机超过 2 秒没有运行；
- e. 现场手动按下停止按钮。

对应库底的下料弧形阀应当关闭，下料执行器关闭至 0%，停止下料，微压风机延时 5 秒后停止。

### 2.2.2 其他一些参数的设定

压力开关整定值：通过微压风机向下料管道输送正压，当散装车料满时，料

口被堵上，压力开关就会报警，通过现场实测，压力开关报警值设为 10mbar。

下料执行器开度自动给定：由于水泥散装流量不需要像均化库那样精确，从设备成本角度考虑，无需增加冲板流量计之类的测点，仅仅根据库存水泥多少标定执行器开度即可。根据现场测定，按照表 1 情况自动赋值。

表 1 执行器开度给定

库存	执行器开度
>70%	30%
50%~70%	40%
30%~50%	50%
10%~30%	70%
<10%	100%

当散装机相应连锁触发时，执行器开度强制赋 0。另外，为了检修需要，自动赋值也可点击取消，手动赋值。

### 3 散装系统硬件结构

#### 3.1 硬件结构简介

SAQR AL-KEETAN 粉磨站设有两个自动化站和一个远程站，在不增加 PLC 的情况下，散装系统的控制就近由包装控制室的 S7-400 CPU 完成。硬件结构如图 3. 1a 所示。

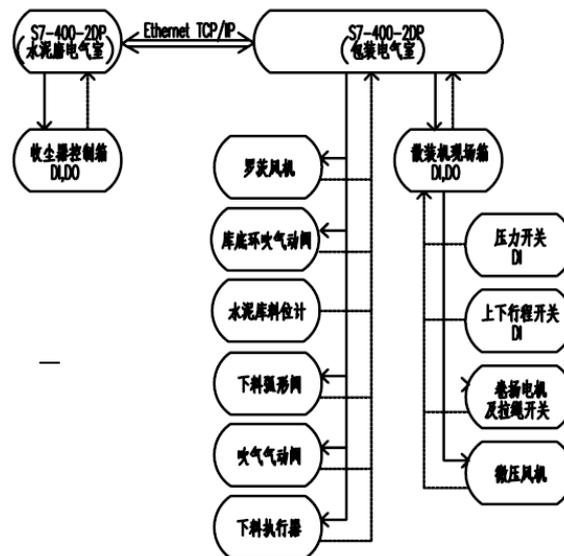


图 2 散装系统硬件结构

DCS 系统直接对收尘器、罗茨风机、库底环吹阀、下料弧形阀、吹气阀、下料执行器进行控制，同时监控系统整体，以联锁方式，对散装机进行控制。并且点对点接收散装机现场的压力、行程等信号，进行判断，形成一个完整的监控系统。

### 3.2 自动化站之间的通讯问题

由于工段设置原因，散装机收尘器位于水泥库顶，动力及控制均设在水泥磨电气室，而散装机则在包装电气室，因此需要将收尘器的状态和驱动从水泥磨 CPU 通过以太网通讯到包装 CPU 再行控制。

新版本 step7 V5.6 中有现成的块可以完成以太网通讯，在 Libraries→SIMATIC\_NET\_CP→CP400 分类中有很多适用于外挂 CP400 的通讯块，本项目采用 AG\_SEND 和 AG\_RECV 块，网络设置中在包装 CUP 端注入新的连接，类型为“ISO-TCP-connection”，记下 ID 和 LADDR 两个引脚的设置，在包装项目的 OB1 中添加 AG\_SEND 和 AG\_RECV，做如图 3.2 设置。

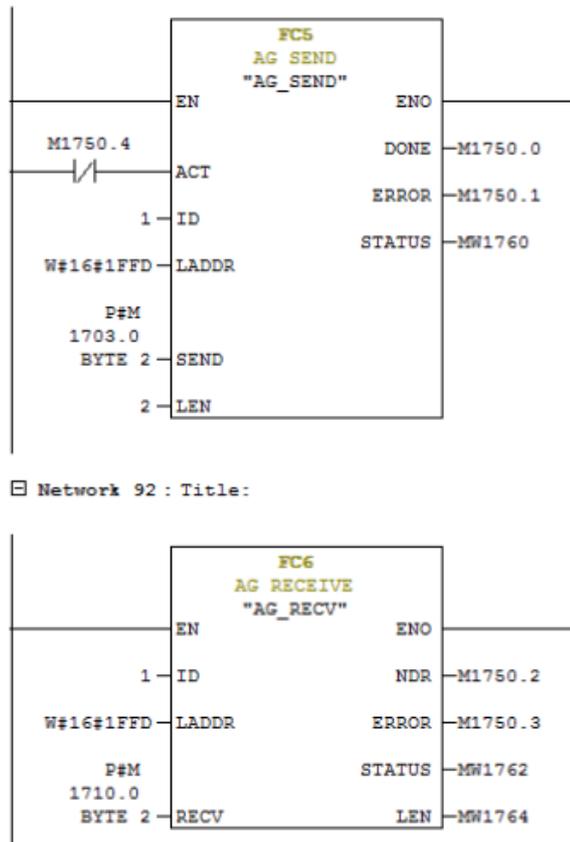


图 3 S7-400 站间通讯设置

同样在水泥磨项目的 OB1 也做类似的设置，AG\_SEND 的 ACT 引脚通过一个常闭点激活即可实现通讯。

#### 4 结语

经过一段时间的现场实际测试表明，该水泥散装系统控制方案优化后，系统不但性能安全可靠、故障率低，而且操作简单、减轻了工人的劳动，基本达到了优化的初衷和目标。

可待改进的地方：在成本允许的情况下，通过增加测点，及系统分析，可以自动给出各种故障可能性百分比列表，如微压风机开机后压力开关马上报警，料满时卷扬机不能自动上升，料未满时压力开关报警等。并在现场设置一台上位机或显示面板，方便查询和检修。

*(摘自《中国水泥》2020年第6期)*

#### 参考文献:

- [1] 李海涛 主编. 郭献军, 吴武伟 副主编. 新型干法水泥生产技术与设备 北京: 化学工业出版社. 2005.
- [2] 刘军旭, 刘军轩. 新型水泥散装机的设计及应用. [J]起重运输机械. 2014 (7).
- [3] Claudius Peters Company. Technical Documentation (Assembly, Operation and Maintenance)
- [4] 张立旺, 孟繁颖. PLC 在水泥散装机电气控制上的应用[J]. 中国水泥. 2007(09)

# 房屋建筑结构设计常见问题及对策

徐永伦

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 引言

在经济快速发展过程中, 建筑业同样得到飞速发展和进步, 为满足这种发展要求, 必须不断提高设计水平, 围绕设计工作中存在的各种问题, 采取合理有效的解决对策保证结构设计质量。但房屋建筑结构设计是一项综合问题, 需要在实际工作中做好综合考虑与分析。

## 2 房屋建筑结构设计常见问题

### 2.1 梁、柱、基础负荷方面的问题

建筑地基及基础的设计必须做好科学合理, 相关设计人员需要以地质勘察报告为依据, 对多方影响因素做综合考察, 再根据考察结果确定适合的基础类型, 并为后续上部结构设计提供参考。在房屋建筑当中, 梁、柱、基础所受负荷没有按照规范要求乘以相应的折减系数。在对多层的房屋建筑进行设计时对于负荷的计算没有按照规范的做法在荷载基础上乘以相应的折减系数, 导致计算所得荷载结果不准确[1]。

### 2.2 柱间距离过小

柱之间的距离如果过小, 未能达到现行设计规范提出的最小距离要求, 则对建筑正常使用将造成较大影响。尤其是错桩或试桩等的间距设置, 经常被相关设计人员所忽略, 这不仅对试桩最终结果有直接影响, 而且还危及建筑结构安全。

### 2.3 将多孔砖砌作为承重砖基础

由于多孔砖墙具有特殊的结构构造, 所以规范要求防潮层及地面的以下不得使用这种基础形式。在对承重柱进行设计时, 截面高度确定的过小, 很多设计人员错误的认为建筑六度设防和不设防没有区别, 未进行受力分析, 直接取最小截

面高度,导致梁柱线刚度明显增大。或将梁视作铰支梁,对柱直接按照轴心受压进行计算。

## 2.4 高度比及房屋高度不合规范

房屋建筑现行设计规范有明确的适用高度及高宽比要求。但目前很多房屋建筑实际高度都超出了这一要求,而且也未采取相应的特殊措施。在实际的结构设计过程中,如果房屋建筑实际高度或高宽比超出规范要求,则应视作超限建筑来进行特殊设计。

## 3 异形柱及楼板结构设计常见问题

近几年,国内房屋建筑,尤其是小高层建筑,正大量使用异形柱。在实际设计工作中,异形柱存在很多问题,如采用异形柱的建筑大部分都超高,建筑体型不规则,或结构实际布置欠合理等。我国现在针对异形柱开展的延性、受剪与节点承载力等进行的专项试验还不够充分,没有深刻认识到异形柱具有的抗震性能。基于这种实际情况,在设计中必须从严掌握。

板也是房屋建筑常见承重构件,其作用在于向梁墙体传递荷载,在对楼板进行设计时,需要综合考虑其它所有构件。如果实际设计中没有充分考虑,则会引起质量问题,甚至产生安全隐患。在进行楼板设计时经常会见到以下问题:

(1) 设计中为简化计算或未能正确认识楼板受力,视双向板为简单的单向板实施计算,导致计算假定和楼板实际受力一个方向上只产重不符,使单方向上的配筋较大,同时在另外按照构造配筋最终造成楼板开裂[2]。

(2) 现代房屋建筑经常以楼板为基础布置隔墙,此时对这些楼板进行设计时,经常对线荷载进行换算,在得到等效荷载以后,视为均匀完成配筋设计和计算。而部分设计人员会将隔墙荷载附以楼板总面积。此外,对于隔墙顶部,经常采用斜砌的方法与上层楼板顶紧,这样一来,会为上层楼板提供支承点,形成连续板,导致支承点的上部产生一定负弯矩,但在楼板设计过程中却未能考虑这一部分造成的影响,最终引起板顶开裂。

(3) 对于双向板的高度，设计取值过大。对双向板而言，其两个方向都会有弯矩产生，所以其跨中钢筋必须纵横两个方向叠放，在短跨方向上，需将钢筋布置在下面，而在长跨方向上，需将钢筋布置在短跨上面。

### 4 房屋建筑各楼层平面刚度设计

部分设计在结构观念不正确或缺少有效措施的情况下，运用楼板变形分析计算和设计程序。虽然这一程序在模型上完全成立，但对变形程度的准确确定一般难以保证准确性。如果计算和设计的前提都不能做到准确，则最终结果不可能正确。按此做出的设计必然存在隐患，如安全储备不合理等。为确保程序所得结果能真实反映出目标结构受力，防止产生较大的误差，在设计过程中应采用刚性楼面。而要实现这一目标，需要在方案阶段避免使用楼面有变形的平面；而且还要在配筋与结构整体布置方面给予支持，若因功能要求无法实现，则可在设计工作中采取于洞口边增设暗梁、设置连系梁板等措施来达到刚性楼板要求，或对因不是刚性楼板而出现的偏差进行弥补[3]。

### 5 房屋建筑结构伸缩缝、后浇带的设置与组合式结构

(1) 对超长建筑而言，为避免温度变化造成较大影响，需设置伸缩缝。很多设计人员都认为后浇带可以替代伸缩缝，事实上这种做法并不正确，主要因为设置后浇带只可以减小由于干缩现象造成的影响，无法解决温度变化带来的影响。在后浇带位置上的混凝土完全封闭以后，如果结构受到温差因素影响，则后浇带将失去作用。

(2) 如果超长结构不允许设置伸缩缝，则不仅要设置后浇带，而且还要采取有效加强措施，比如对顶层屋面隔热予以加强，针对受温差因素影响较大的部位合理配置温度筋等。

(3) 实践表明，运用组合式结构能解决建设高层建筑时出现的问题，除了具有良好的工作性能，还能节省材料，提高效率。在很多种情况中都可运用组合式结构彻底取代单的钢结构或钢筋混凝土结构，保证科技含量的同时，减少或避免对环境造成的污染，目前已在众多行业得到广泛应用[4]。

## 6 结束语

综上所述,房屋建筑结构设计具有极高的全面性与系统性,重视对现存问题的分析和研究,并提高自身设计技术水平,加强对新技术的应用,以此设计出更高标准的建筑结构形式,适应建筑行业快速发展需要。

(摘自《门窗》2018年第5期)

### 参考文献:

- [1] 吴强.房屋建筑结构设计常见问题及对策探究[J].质量探索,2016,13(5).
- [2] 赵强.房屋建筑结构中常见问题及对策分析[J].门窗,2015(9).
- [3] 蒋玉胜.房屋建筑结构中常见问题及对策之初探[J].山东工业技术,2014(21).
- [4] 朱葛明.房屋建筑结构中常见问题及对策分析[J].科技传播,2014.



祁东煤泥矸石电厂脱硫系统改造工程