

# 水泥科技

4  
2018

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)

2018年第4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 胡春静

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

- 水泥窑NO<sub>x</sub>减排-SCR烟气脱硝设计及应用  
.....廖玉云 / 1
- 辊压机循环重载胶带提升机的研发与应用  
.....唐维贤 金磊 杨勇 /13
- 浅谈水泥厂工程建设安全监理要点和措施  
.....马猛 /23
- 水泥厂石灰石圆管带式输送机运行故障分析及处理  
.....何雪梅 /31
- 装配式钢结构建筑叠合楼板和支撑的设计  
.....章益民 计康生 董哲武 /38
- 合肥水泥研究设计院有限公司科研项目经费管理浅析  
.....袁玮 /47
- 采用先烧后浇消失模铸造工艺制作出口国外大型水泥磨机衬板  
.....谢志勇 熊晖 许涛 /53
- 基于PCS7 V8.0冗余控制系统在水泥生产线中应用  
.....顾威/ 60
- 钢丝胶带提升机在生料辊压机系统中的应用  
.....杨勇/ 67
- VPN软件的实际应用  
.....胡子光/ 73

# 水泥窑 NO<sub>x</sub> 减排

## —SCR 烟气脱硝设计及应用

廖玉云 毛志伟

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

### 1 前言

水泥行业作为我国重点污染行业之一，是主要的氮氧化物排放源，其排放量占全国氮氧化物总量的 10%左右，污染物减排形势严峻。党的十九大做出“打赢蓝天保卫战”的重大决策部署，要求 2018 年-2020 年，3 年内大幅减少主要大气污染物排放总量，到 2020 年，二氧化硫、氮氧化物排放总量分别比 2015 年下降 15%以上。国家生态环境保护部 2018 年对水泥行业提出了更严格的排放控制要求。从 3 月 1 日起，“2+26”城市由执行大气污染物排放标准中限值标准升级为执行的特别排放限值（见表 1）。

表 1 GB4915-2013《水泥工业大气污染物排放标准》大气污染物特别排放限值

		单位: mg/m <sup>3</sup>					
生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO <sub>2</sub> 计)	氟化物 (以总 F 计)	汞及其化合物	氨
矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	20	100	320	3	0.05	8 <sup>(1)</sup>
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	20	400 <sup>(2)</sup>	300 <sup>(2)</sup>	—	—	—
	破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—

注：(1) 适用于使用氨水、尿素等含氮物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。  
(2) 适用于采用独立热源的烘干设备。

然而由于国内水泥产量巨大，即便单位污染物排放指标已经相对严格，但是污染排放总量仍然巨大。因此，水泥行业推行“超洁净排放”以便进一步降低污染物排放总量是发展趋势。

江苏省环保厅印发的《关于开展全省非电行业氮氧化物深度减排的通知》明

确,将在非电行业实现达标排放基础上,大力推进焦化、钢铁、水泥、玻璃等行业氮氧化物深度减排。要求 2019 年 6 月 1 日前,全省水泥行业实现水泥窑烟气氮氧化物排放浓度不高于  $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。2018 年 2 月,河南省发布 2018 年大气污染防治攻坚战环保项目清单的通知。明确了水泥行业的“超低排放”限值。提出 2018 年 10 月底前,鼓励在水泥熟料企业试点开展超低排放改造。水泥窑废气在基准氧含量 10%的条件下,颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度要分别不高于  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

现阶段,水泥行业基本完成 SNCR 脱硝改造,其脱硝效率一般为 40~60%左右,在排放标准收严后采用 SNCR 脱硝技术将难以实现达标排放。选择性催化还原法(SCR)是一种高脱硝效率、低氨逃逸的脱硝技术,在已运行的电站锅炉 SCR 装置中,脱硝率达到 80~90%,氨逃逸在  $3\text{mg}/\text{Nm}^3$  以下,非常符合水泥厂进一步的高脱硝效率要求。

本文对水泥窑 SCR 脱硝的布置形式及催化剂选择、清灰方法等进行探讨,并结合水泥窑 SCR 中试应用实践进行说明,为水泥行业深度氮氧化物减排积累经验 and 数据。

## 2 水泥窑 SCR 脱硝装置不同布置形式、催化剂选择及清灰方式

如图 1 所示,水泥窑 SCR 脱硝装置的布置主要有 3 种形式。不同布置方式的应用特点见表 2。不同布置方式时,要考虑催化剂和清灰方法的选择。

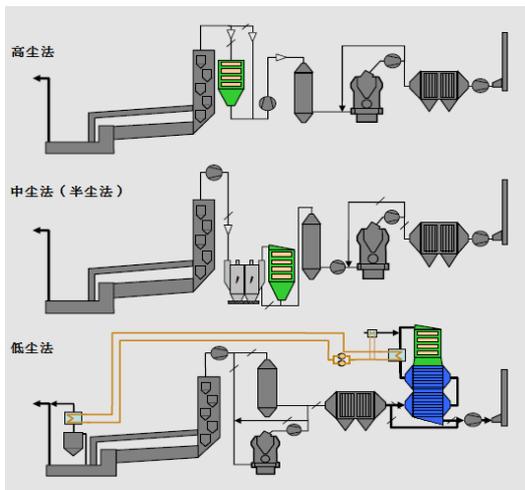


图 1 水泥窑 SCR 烟气脱硝三种布置工艺图

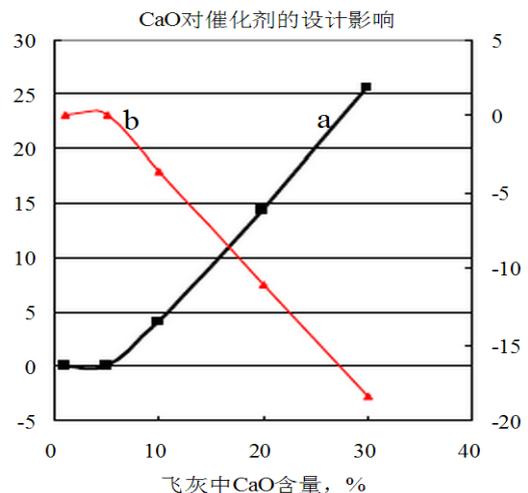


图 2 CaO 对催化剂设计影响

表 2 水泥窑 SCR 脱硝装置不同布置位置应用特点

序号	布置方式	位置	温度	应用特点
①	高温高尘	一级预热器出口处	300~400℃	优：投资最低，因温度高硫的影响最小。烟气温度恰好适合目前常用催化剂活性范围。 劣：粉尘浓度高，催化剂易堵塞，对吹灰系统和催化剂耐磨性要求高。可能影响余热发电。
②	中温中尘	余热锅炉后	200℃左右	优：粉尘浓度适中，可预除尘。不影响余热发电，适合中国水泥工业。 劣：需要相应温度的催化剂。（目前在国内垃圾焚烧厂已有应用业绩）。粉尘温度仍需重视。
③	低温低尘	除尘装置后	150℃以下	优：粉尘浓度低，催化剂寿命延长。 劣：易形成硫酸铵覆盖，造成催化剂中毒；烟气温度低，易结露。目前低温催化剂处于研制当中。

## 2.1 水泥窑高尘法 SCR 脱硝催化剂选型布置

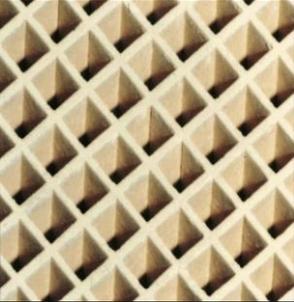
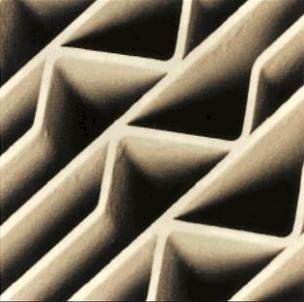
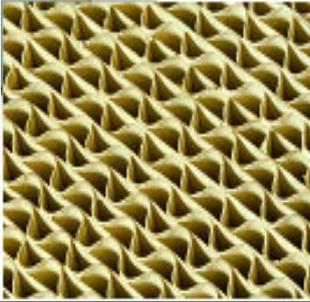
国外水泥窑 SCR 脱硝工艺布置大都采用高尘布置法（见图 1，表 2）：反应器布置在悬浮预热器出口之后，烟温在 300~400℃ 的范围内，非常适合于常用催化剂的反应温度，脱硝反应的效率很高。但反应器工作在“原始”的高尘烟气中：水泥窑尾预热器出来的烟气中粉尘含量高达 80~120g/Nm<sup>3</sup>，且存在大量的碱土金属 CaO，全部未经处理直接通过催化剂，有堵塞催化剂的风险，易加快催化剂的磨损和中毒。当未在反应器前设置预除灰装置时，需特别注意窑尾烟气中的碱土金属对催化剂的中毒影响。

资料表明<sup>[1]</sup>，当烟气中 CaO 含量小于 5% 时，其对催化剂的失活影响不大，但是当 CaO 含量超过 5% 以后，失活速率随 CaO 含量线性递增（见图 2），这与催化剂用量递增的趋势是对应的。特别是当 CaO 含量在 30% 左右时，催化剂用量比低钙工况下的用量增加 25% 左右。水泥窑预热器出口烟尘中 CaO 含量可高达 40%，过高的 CaO 含量极易导致催化剂的失活。此时，考虑催化剂的活性与老化速度，为保证 24000 小时的化学寿命，设计时，须留有充足的催化剂体积富余量，导致所需催化剂体积数较大。同时，必须配套强有力的清灰措施，以保证催化剂的正常使用。此时在催化剂选择与布置时主要考虑以下几部分：

### 2.1.1 合理选择催化剂类型。

SCR 脱硝普遍采用氧化钛基催化剂，活性温度在 300~420℃之间，根据外观形状可分为蜂窝式、板式与波纹式三种。这些催化剂的矿物组成比较接近，都是以 TiO<sub>2</sub>（含量约 80~90%）作为载体，以 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>（含量约 1~2%）作为活性材料，以 WO<sub>3</sub> 或 MoO<sub>3</sub>（含量约占 3~7%）作为辅助活性材料，具有相同的化学特性，但外观形状的不同导致物理特性存在较大差异。表 3 为各种催化剂的性能比较：

表 3 各种催化剂的性能比较

项目	蜂窝式	板式	波纹板式
结构形式			
基材	整体挤压成型	不锈钢网	纤维
加工工艺	均匀挤出式	涂覆式(钢架构支撑)	覆涂式 (玻璃纤维架构支撑)
比表面积	大	小	中
同等条件下所需体积	小	大	大
抗堵性	强	强	中等
抗磨性	强	强	中等
压损	中	小	大
全球业绩	≈65%	≈33%	很少

根据水泥窑的实际飞灰浓度，应选择节距大的催化剂，脱硝反应是在催化剂的表面进行的，蜂窝式催化剂的比表面积大（约 300~600m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>），因而在同等工程设计条件下，所需体积量较小，可使反应器设计体积减小，降低建设 SCR 脱硝装置的初期投资成本。尤其蜂窝式催化剂应用非常广泛，目前在国外水泥窑 SCR 系统中，65%以上使用的是蜂窝式催化剂，其可靠性和催化效果得到了实践的认证。见表 4<sup>[2]</sup>。

表 4 欧洲安装 SCR 脱硝系统的水泥厂

水泥企业	国家	布置方式	催化剂类型	现状
Solnhofen	德国	高尘	蜂窝式	2005 年关闭
Monselice	意大利	高尘	蜂窝式	正在使用
Searched	意大利	高尘	蜂窝式	正在使用
Mergelstetten	德国	高尘	蜂窝式	正在使用
Rohrdofer	德国	低尘	板式	正在使用
Mannersdorf	奥地利	高尘	蜂窝式	正在使用
Rezzato	意大利	高尘	蜂窝式	正在使用
Kirehdorfer	奥地利	RTO-SCR	蜂窝式	正在使用
Joppa	美国	中尘	蜂窝式	正在使用

## 2.1.2 孔数和节距的选择

选择合适的催化剂节距对于避免灰分在催化剂表面的沉积和搭桥有非常重要的作用，灰分的沉积和搭桥会减少催化剂活性反应面积，同时造成更大的压降<sup>[3]</sup>。由催化剂的设计特点可知，催化剂的孔数较多，其节距越小、壁厚越薄，具有较大的几何比表面积，如表 3 所示。因此，催化剂用量也较少。以蜂窝式催化剂为例，其孔数每增加一级，如从 15×15 孔向上增加为 16×16 孔时，对于同一项目，催化剂的设计用量可以减少在 8% 以上，由此可以节约催化剂采购成本 8% 以上。但同时，孔径变小后，烟气通过截面缩小，在高飞灰条件下，极易发生飞灰的架桥堵灰。因此，结合水泥窑烟气含尘量高的特性，要选择大孔径的催化剂，如表 5 中的 15 孔、13 孔或 10 孔的催化剂。

表 5 催化剂常见型号及适用飞灰浓度

类型	孔数 n×n	节距/mm	开孔/mm	内壁厚 /mm	比表面积/ (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	开孔率/%	适合配置方式
10/12.56	10×10	14.6	12.56	2.0	225	70.1	高尘（飞灰浓度 > 30g/m <sup>3</sup> ）
13/9.88	13×13	11.3	9.88	1.5	300	73.4	
15/8.43	15×15	9.8	8.43	1.4	335	71.0	
16/6.98	16×16	9.2	6.98	1.2	365	73.4	半尘（飞灰浓度 10~30g/m <sup>3</sup> ）
18/6.98	18×18	8.2	6.98	1.2	406	70.2	
20/6.40	20×20	7.4	6.40	1.0	455	72.8	
30/4.34	30×30	4.9	4.34	0.6	700	75.2	低尘（飞灰浓度 < 10g/m <sup>3</sup> ）
35/3.68	35×35	4.2	3.68	0.6	845	73.7	

### 2.1.3 催化剂壁厚的选择

催化剂内壁厚为 0.6~0.7mm 范围称为薄壁，0.9~2.0mm 范围内称为厚壁。催化剂壁厚的选择与飞灰的浓度及飞灰的硬度有关。研究表明<sup>[1]</sup>，当飞灰中 SiO<sub>2</sub> 与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量比在 2:1 左右时，此时飞灰硬度较大，飞灰对催化剂的冲击磨损较严重。水泥窑烟尘浓度大，硬度不低，易对催化剂造成冲击磨损。为了保证催化剂的抗磨损能力，可对催化剂进行前端硬化处理和表面特殊涂层处理来提高耐磨和防堵灰措施，同时，为了 SCR 运行的经济性，在催化剂选型时宜考虑选择壁厚不小于 0.8mm 的催化剂，以便将来采用再生技术，延长催化剂的使用寿命。一般而言，内壁厚度越小，机械破损风险越高，此类风险并不因顶端硬化而缓解。

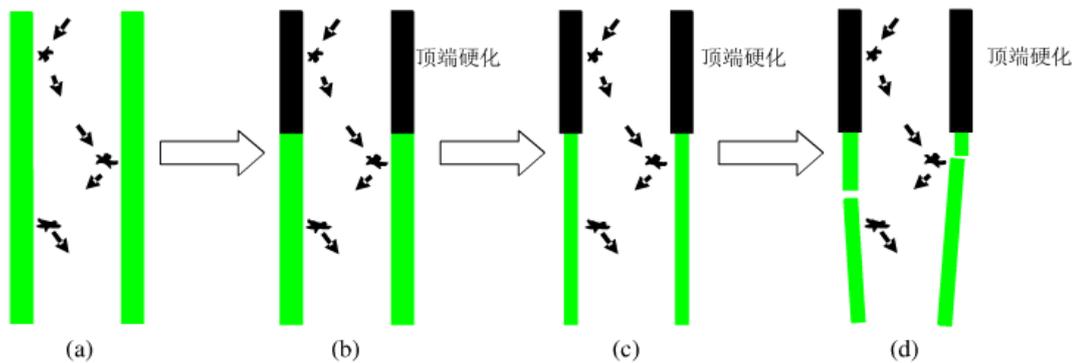


图 3 催化剂内壁随烟气流通时间变化情况

图 3 (a) 是烟气流经催化剂蜂窝孔的情况。飞灰颗粒在整个元件长度内倾向于弹性碰撞催化剂内壁，造成从顶端到底部的均匀磨损。顶端硬化处理后（图 3b-c-d），随着颗粒碰撞，在顶端硬化部分之下的催化剂壁开始变薄，最终由于壁变薄，催化剂在顶端硬化部分之下开始破裂（图 3d）。鉴于此，薄壁催化剂更易导致机械性能丧失，而机械破损将导致堵塞率增加，压降上升。

### 2.1.4 催化剂合理布置

受烟气及水泥炉窑的高浓度飞灰的影响，催化剂活性随运行时间逐渐降低：运行初期，惰化速率最快；超过 2000 小时后，惰化速率趋缓。为了充分发挥每层催化剂的残余活性，最大限度利用现有催化剂，应采用“X+1”或“X+2”模式布置催化剂，初装 X 层，内用 1~2 层，同时，如前面所述，水泥窑最好选择 13 孔以

上的催化剂，催化剂的孔数越少，则比表面积也越小，所需的体积越大，同时由于水泥窑烟尘 CaO 含量高，为避免催化剂失活，要留有较多的富余设计量，因此，水泥窑 SCR 催化剂的用量要比相应燃煤电厂锅炉 SCR 催化剂的用量要高得多，催化剂的层数也较多。受制于布置场地大小时，可将催化剂较多层布置。

### 2.2 水泥窑中低尘 SCR 脱硝的催化剂选型及布置

水泥窑 SCR 反应器采用低尘布置时，SCR 反应器布置在窑尾除尘器之后，这时烟气中含尘浓度低，烟气温度约为 100~220℃左右，经过催化剂的烟气已经经过除尘后，相对洁净，可以有效避免原先粉尘造成的催化剂磨损、堵塞和碱金属/碱土简述中毒等问题，延长催化剂的寿命。同时，由于低粉尘含量，可以大大减小 SCR 反应器的体积。由于进入 SCR 反应器的烟气温度低，因此要求催化剂在较低的温度时：一、仍然具有较高的催化活性，二是较好的抗 SO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 效果。

采用低尘布置时催化剂选型应注意：

#### 2.2.1 选择低 SO<sub>2</sub> /SO<sub>3</sub> 转化率的催化剂、控制反应器出口氨逃逸量及合理选择喷氨点；

催化剂会将烟气中 SO<sub>2</sub> 氧化为 SO<sub>3</sub>，SO<sub>3</sub> 与烟气中的 NH<sub>3</sub> 反应形成硫酸氢铵（新型干法水泥窑一般 SO<sub>2</sub> 含量不高，但也存在因原燃料的带入而较高的情况），反应式如下：



此反应极易在低温时发生，反应速率的大小，与温度、烟气中的 NH<sub>3</sub>，SO<sub>3</sub> 及 H<sub>2</sub>O 浓度有关。硫酸氢铵是一种极其粘稠的物质，粘附在设备表面极难清除。如果粘附在催化剂表面，又会继续粘附飞灰颗粒，导致 SCR 催化剂积灰堵塞。

因此，在脱硝系统设计时，应注意 1) 选择低 SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> 转换率的催化剂：烟气中的 SO<sub>2</sub> 在通过 SCR 催化剂时，少部分将反应成 SO<sub>3</sub>，限制 SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> 的转换率在一定比例下，可降低 SCR 出口的 SO<sub>3</sub> 浓度，以减少其与 NH<sub>3</sub> 反应量，亦可降低硫酸氢铵的产生，根据经验，SCR 的 SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> 的转换率应限制在 1~1.5% 以下；2) 控制 SCR 反应器出口的 NH<sub>3</sub> 逃逸量：一般将 SCR 出口的 NH<sub>3</sub> 逃逸量控制在

3mg/Nm<sup>3</sup> 以下，可减轻下游设备发生硫酸氢铵堵塞的机会。3) 控制喷氨温度点：为了消除或减少(NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub> 对设备的粘附和腐蚀，只能在(NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub> 的露点温度以上喷入 NH<sub>3</sub>，以使生成的(NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub> 呈气态，随烟气流过 SCR 系统。烟气中(NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub> 的露点温度和气相中 SO<sub>3</sub>、NH<sub>3</sub> 的平衡分压有关，烟气中 SO<sub>3</sub> 浓度越高，平衡分压越大，则(NH<sub>4</sub>)HSO<sub>4</sub> 的露点温度越高，要求的喷氨温度越高（见图 4），当实际烟气温度不高或者稍高于要求的最低喷氨温度时，易导致硫酸氢铵的沉积过多而堵塞蜂窝催化剂的开口部。此种情况下进行催化剂设计时，如果烟气中 SO<sub>2</sub> 含量很高，要求最低喷氨温度较高，致使 SCR 反应器的布置难度增加，或者需要加装热交换器对烟气进行二次加热，以提高 SCR 进口烟气温度。

### 2.2.2 选择低温时高活性、抗硫、抗水性高的催化剂

低温低尘法布置时，烟气温度低于常规催化剂的活性温度 300~400℃，此时若仍使用常规催化剂则其反应活性降低，难以达到要求的脱硝效率，此时可通过 1) 采用热交换器对烟气进行二次加热，提高烟气温度来满足反应活性，但投资较大，工艺系统复杂；2) 使用低温烟气催化剂。

沈伯熊<sup>[6]</sup>等总结了几种低温催化剂的反应温度及脱硝效率。如表6所示，可看出，Mn基催化剂的低温活性好，NO转化率高；

表 6 几种催化剂的低温 SCR 性能

催化剂（活性物质/载体）	反应温度	NO 转化率%
Mn/NaY-沸石	150	82
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /C	250	79.7
Fe/C	180	97
Mn/C	150	73
V/C	180	78.6
Mn/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	150	55

浙江大学的马昊<sup>[7]</sup>研究了水泥窑低温 SCR 催化剂的载体组分对抗水性和机械性能的影响。结果表明 TiO<sub>2</sub> 与分子筛对抗水性的影响相当，但 TiO<sub>2</sub> 对机械性能提升作用优于分子筛，在优化的 TiO<sub>2</sub> 添加量条件下，催化剂具有最优的抗水性和较强的机械性能。同时发现 Co 的参入可以有效抑制成型催化剂表面的载体和活性组

分的硫酸化以及硫铵盐的沉积，从而可以大大提高催化剂在同时含 H<sub>2</sub>O 和 SO<sub>2</sub> 气氛中的耐受性。

目前，受限制于低温催化剂的研发及应用，低温低尘 SCR 脱硝应用实例较少，如果在低温烟气催化剂上取得突破，那么制约水泥窑 SCR 脱硝技术发展的难题将迎刃而解。采用适合于水泥窑烟气特性的脱硝催化剂是水泥窑脱硝成败的关键。

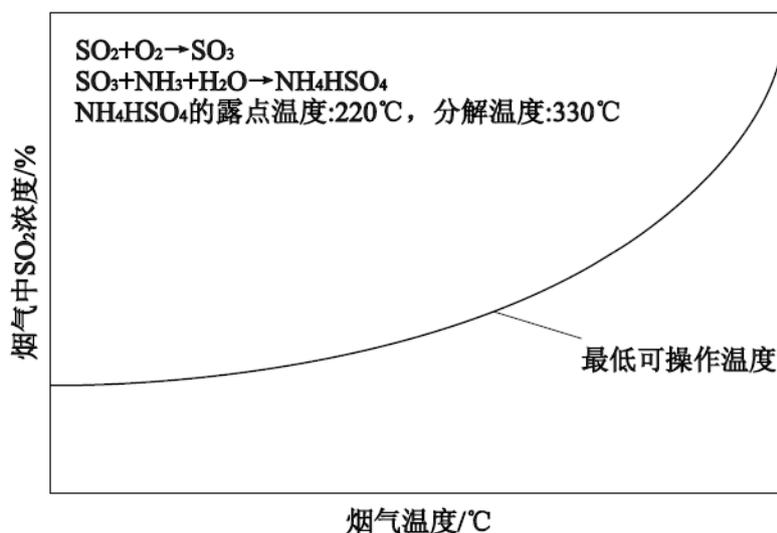


图 4 烟气中 SO<sub>2</sub> 含量与可操作温度的关系示意图

## 2.3 水泥窑 SCR 脱硝的吹灰系统

有效的吹灰系统是决定水泥窑 SCR 脱硝的关键之一。目前主要的清灰方法包括蒸汽吹灰、声波吹灰和压缩空气吹灰<sup>[4]</sup>三种。三种吹灰方式的对比见表 5：

表 5 三种吹灰方式比较

吹灰方式	蒸汽/压缩空气吹灰	声波吹灰
优点	(1)吹灰能量大 (2)对结渣性较强，灰熔点低和较粘的灰有较明显效果	(1)能量衰减慢 (2)无死区 (3)无副作用，对催化剂无损害 (4)结构紧凑，故障率极低，维护成本低 (5)价格低廉，安装简单，不需要大型安装平台，节约安装费用 (6)耗气量小，运行成本低
缺点	(1)存在吹灰死区 (2)采用半伸缩结构，活动部件多，故障率高，机械、电气维护和检修量大 (3)蒸汽/压缩空气耗量大，运行成本高 (4)压缩空气需要加热	(1)仅对松散结灰有效果 (2)能量较小，对严重堵灰以及坚硬的灰垢无法清除 (3)作用距离有要求

根据水泥窑烟气粉尘的特性以及各吹灰方式的特点，采用高尘布置法时，水

泥窑 SCR 催化剂宜采用压缩空气/蒸汽吹灰方式, 以保持催化剂清洁, 避免因灰尘堆积减弱催化剂的活性。但采用压缩空气清灰方式时耗量是巨大, 据计算, 5000t/d 水泥生产线, 烟尘含量高达 80~100g/m<sup>3</sup> 时, 催化剂按 4 层布置, 每层 3 台吹灰器, 单台吹灰器耗气量高达 20Nm<sup>3</sup>/min。因此, 考虑到实际运行成本, 可考虑在反应器前设置预除灰装置时, 首选预除大部分烟尘, 以减小清灰气量和碱土金属对催化剂的中毒影响。国内目前已有案例。

采用中低尘布置法或设置预除灰装置大部分出去烟尘时, 可采用声波清灰方式为主, 辅以压缩空气清灰补充。

### 3. 水泥窑 SCR 脱硝中试应用

我院在某 5000t/d 熟料生产线窑尾烟气管道上增设 10000Nm<sup>3</sup>/h 的 SCR 脱硝中试装置, 综合考虑前述因素, 还原剂采用厂区原 SNCR 脱硝还原剂氨水, 布置方式采用中温中尘 (余热发电之后), 选择适合水泥窑的 13×13 孔中温催化剂, 将氨水蒸汽成氨气后喷入 SCR 反应器前段。具体布置见图 5~8。投入 SCR 催化剂后, NO<sub>x</sub> 浓度从投入前的 330mg/Nm<sup>3</sup> 逐渐下降至 100mg/Nm<sup>3</sup> 左右, 喷氨后烟囱处氨逃逸为 2.5mg/Nm<sup>3</sup>。同时获得的脱硝效率约为 70% 左右。



图 5 脱硝还原剂储存制备区



图 6 水泥窑 SCR 脱硝装置图



图7 催化剂安装

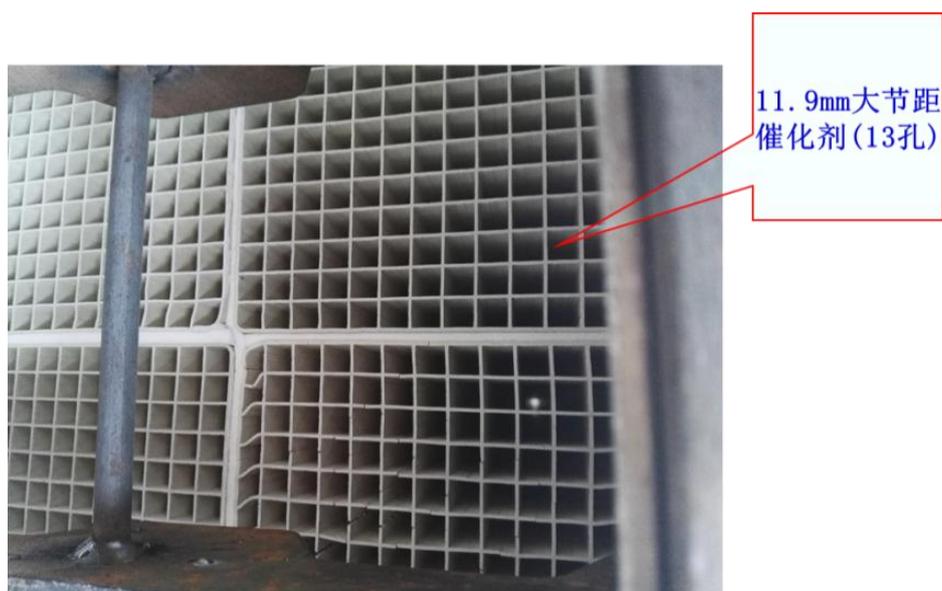


图8 大孔径催化剂（节距 11.3mm）的表面情况

#### 4.结论

(1) 水泥窑 SCR 脱硝应结合水泥窑烟气特性，从布置位置、催化剂选择、清灰方式的选用等方面进行。

(2) 高尘法布置时，脱硝催化剂可从催化剂种类、孔数及节距、厚度等几个方面进行选型，合理的布置催化剂的层数以及吹灰方法。在 SCR 催化剂布置温度较低时，应注意控制硫酸氢铵生成和造成的堵塞；

(3) 水泥窑 SCR 脱硝中试试验得出, SCR 脱硝技术能够获得较高的脱硝效率, 但催化剂的使用寿命有待考证。

**参考文献:**

- [1]肖雨亭, 陆金丰, 汪德志, 彭光军, 脱硝催化剂的影响因素与选型[J], 《节能与环保》, 2012(10):48-50
- [2]周延伶, 春日贵史, Nagl Thomas SCR 技术在欧洲水泥工业的应用及脱硝催化剂介[J]《水泥》2015.12
- [3]段传和, 夏怀祥等燃煤电站 SCR 烟气脱硝工程技术[M].中国电力出版社.2009
- [4]毛志伟, 程群氮氧化物减排[M] 中国建材工业出版社.2014.1
- [5]马昊水泥炉窑烟气低温 SCR 脱硝成型催化剂优化研究[D] 浙江大学 2015.1
- [6]沈伯熊.烟气低温 SCR 脱硝技术的现状和进展[C], 第十一届全国燃煤二氧化硫氮氧化物污染治理技术“十一五”烟气脱硫脱氮技术创新与发展交流会.
- [7]马昊.水泥窑炉烟气低温 SCR 脱硝成型催化剂优化研究[D].杭州: 浙江大学.2015.1

# 辊压机循环重载胶带提升机的 研发与应用

唐维贤 金磊 杨勇

(中建材(合肥)机电工程技术有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

辊压机普遍应用于现代水泥厂生料和水泥粉磨系统,作为系统重要组成的循环提升机是其关键装备之一。目前,国内外普遍使用板链或中央链提升机完成循环料提升。2014年,我们在国内首次针对辊压机系统工况,提出并开发成功水泥辊压机循环重载胶带提升机,经过几年的应用和不断完善,取得了比较理想的应用效果,目前已成为辊压机循环提升可供选择的方案之一,业已拓展至部分生料辊压机制成系统。

本文对辊压机循环胶带提升机开发应用情况进行回归总结,从工艺适应性和物料特性出发,对重载提升机用胶带结构、料斗及装配方式、驱动轮清扫装置、智能驱动系统等技术进行创新研究,完成了辊压机循环重载胶带提升机的工程化应用,取得了系统的应用经验。

## 1 辊压机循环重载胶带提升机的工艺研究

### 1.1 工艺适应性分析

辊压机在水泥行业广泛应用以来,随着粉磨和分选技术不断进步,在生料和水泥粉磨系统中,从最初的辊压机预粉磨方案,逐步发展出联合粉磨等多种粉磨工艺方案,形成多种不同的设备选择和流程组合。粉磨系统中涉及的辊压机循环提升机,一般是指辊压机(含前级给料仓)与选粉分级设备(如V型选粉机、打散分级机等)之间的循环物料提升设备。综合考虑粉磨系统处理能力、来料特性和参数控制、厂房高度和结构等多方面因素,目前辊压机循环提升机,可以分为“双提升机”与“单提升机”两种循环方案。

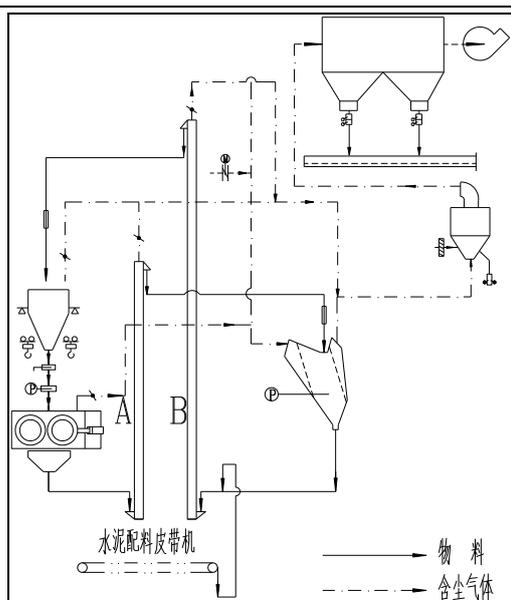


图1 “双提升机”典型方案

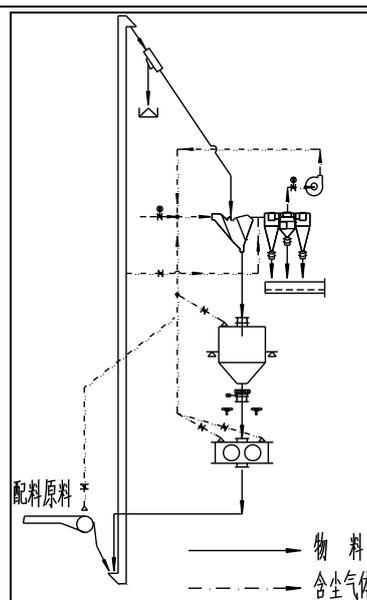


图2 “单提升机”典型方案

(1)“双提升机”方案在生料和水泥粉磨系统中较为常见，典型的工艺流程（局部）如图1所示，其风选分级设备并不直接位于辊压机前级给料仓的上方，而是与辊压机分开布置，降低了厂房总体高度和对土建的要求。出辊压机的物料由提升机A送入V型选粉机，出选粉设备的物料由提升机B送入辊压机前级仓。

原料配料的“新鲜料”（水泥辊压机原料配料包括水泥熟料、石膏、混合材等；生料辊压机原料配料的石灰石、粘土、校正原料等），在不同的工艺方案中，有可能通过提升机B先进入辊压机前级仓，有可能通过提升机A先进入选粉机，或者也可能单独通过皮带机送入辊压机前级仓或选粉机。双提升机方案中的“新鲜料”来料，显然会大大增加提升机物料的复杂性。相对来说，如果“新鲜料”先进入提升机B或辊压机前级仓，提升机A来料条件相对来说就更理想，这种情况下提升机A也更适合于应用循环重载胶带提升机。

(2)“单提升机方案”多见于粉磨系统处理量相对较低的项目，典型的工艺流程（局部）如图2所示，将选粉设备布置在辊压机前级仓上方，选粉出来的粗颗粒可以直接溜入前级仓，工艺流程更紧凑，但对土建结构和厂房高度要求更高。单提升机方案的循环料与“新鲜料”均进入同一台提升机，物料情况更为复杂，对提升机也提出了更高的要求。循环重载胶带提升机能否适用于这一岗位，要根

据实际原料情况和工艺条件来综合判断。

### 1.2 辊压机循环料的物料分析

物料分析是输送设备研制的核心前提之一。辊压机循环料具有输送量大、容重大、粒度大的特点，不同于一般的粉状物料，必须充分考虑“重载”输送的共性要求；同时，辊压机循环来料特点与物料特性，随生料、水泥粉磨制成系统的不同工艺流程、不同设备组合、复杂的现场工况变化，具有各不相同的特殊性：

(1) 由于辊压机系统的循环量难以保持绝对稳定，输送量的波动较大，一旦出现前级仓塌料、磨辊快速泄压等意外情况，瞬时的大量冲料可能会导致后级提升装备出现堵料甚至过载跳停，并由此造成环境污染，清理维护工作量大。因而，提升机需要考虑较大的循环负载系数和富余能力，视不同规模和配套设备情况，输送能力一般可以达到 1000~1500tph 甚至更大。

(2) 物料特性复杂：温度较高（一般在 100~120℃）、容重大（达到 1.4~1.5t/m<sup>3</sup>）、粒度大（部分物料粒径 < 40~60mm）、粒度分布范围宽、磨蚀性强，不同工艺条件物料还可能含有高水分、具有高粘性，对提升机核心牵引件的综合性能、重载料斗设计和填充率控制、回料率、关键部位的耐磨性提出了更高的要求；

(3) 工艺流程和条件不同导致物料差异。例如来料全部来自辊压机卸出的循环料，或者掺有配料系统来的“新鲜料”，水分、粘度、颗粒度等必然有显著差异；又如，水泥熟料生产线的粉磨系统和独立的水泥粉磨站，连续生产线熟料和经长途运输至粉磨站的熟料，物料初始温度会有较大区别；

(4) 受工况条件、设备性能、生产制度、品控指标等多方面因素影响，即便同样的工艺流程和设备配置，实际物料情况也会千差万别，需要充分重视现场来料温度、粒度分布、水分等基本条件。

## 2 辊压机循环重载胶带提升机的研发

基于对辊压机循环提升机所处工艺环境、工况条件和物料特性的充分调研，综合历次胶带提升机的开发经验，在钢丝胶带、重载料斗、驱动轮清扫、智能控制、耐磨结构等方面进行了创新开发，成功研制辊压机循环重载胶带提升机，主要技

术方案如下：

## 2.1 重载钢丝胶带的开发

钢丝胶带是辊压机重载胶带提升机的核心部件。我们结合多年胶带提升机开发经验，开发了高强度、防撕裂、耐高温、低延展性的重载钢丝胶带。其基本结构如图3所示，其中，1为橡胶层（1a中心橡胶基层、1b表面橡胶层）、2为钢丝绳层、3为防撕裂网层。与普通的钢丝胶带相比，增加了特殊设计的防撕裂网层（序号3），增强了钢丝胶带承受破断荷载和防撕裂的能力，延长了钢丝胶带的使用寿命；同时，通过合理选择胶带表面层（序号1b）的橡胶材质，使后续安装的料斗螺栓更容易沉入胶带橡胶基层中，降低长期运行过程中料斗螺栓对头轮覆胶的挤压损伤。

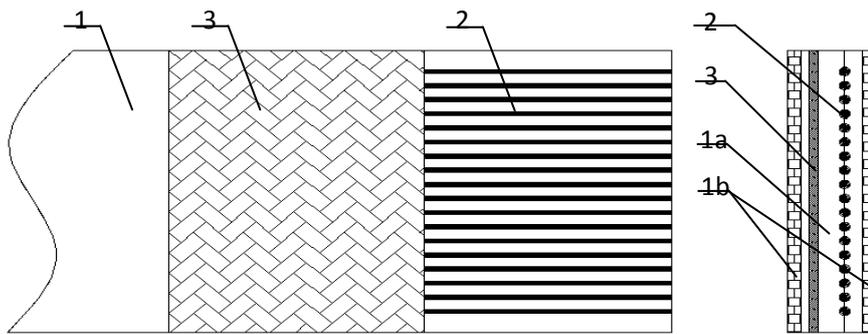


图3 重载钢丝胶带结构示意图

钢丝胶带的安全系数计算公式如下：

$$A = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2) B}{gM}$$

公式中A为钢丝胶带安全系数， $\sigma_1$ 为橡胶层强度； $\sigma_2$ 为钢丝强度；B为胶带宽度；g为重力常数，一般取9.8N/kg；M为胶带、料斗及输送物料的总重量。重载钢丝胶带安全系数主要依赖于 $\sigma_1$ 和 $\sigma_2$ 的综合强度。

一方面我们对胶料配方和原料炼制进行试验优化，合理选择胶带厚度，加上防撕裂层的增强效应，保证了足够的 $\sigma_1$ 强度。同时，考虑钢丝胶带在料斗进料、舀

料、输送、卸料过程中长期承受循环交变应力，也要满足橡胶疲劳强度高、延伸率低的要求；另一方面，我们从钢丝预紧力、钢丝直径、排布密度等方面入手，大大提高了 $\sigma_2$ 的强度。

实践证明，重载钢丝胶带其各项性能指标达到了辊压机重载循环提升的要求，为设备的长期稳定运行提供了保障。

## 2.2 重载料斗及安装方式研究

由于辊压机循环物料粒度大、硬度高、磨蚀性强，不同于普通的粉状物料，运行中大颗粒物料有可能卡在胶带与料斗的间隙中不易脱出，对胶带和料斗造成长期挤压磨损。重载提升机配套专用的重载料斗（如图4所示），在料斗背面增加“ $\Sigma$ ”形背板，消除了料斗和胶带的间隙，有效避免了前述磨损伤害，提高了钢丝胶带的寿命。同时，在重载料斗边缘四周设计耐磨边保护层，增强料斗的耐磨性。

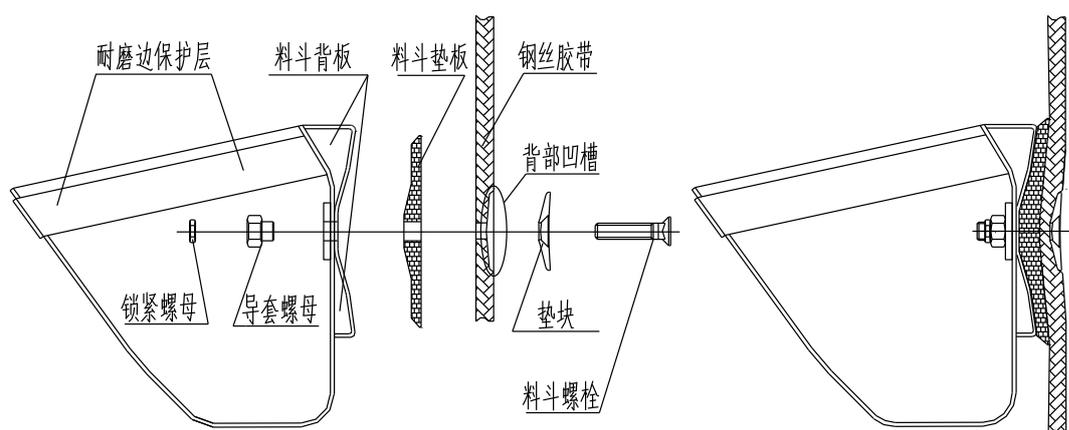


图4 重载料斗结构与安装方式示意图



图5 钢丝胶带的背部凹槽和方头料斗螺栓

重载提升机料斗运行至机尾舀料过程中，承受的载荷较之普通胶带提升机显著增大。一旦出现机尾埋料等意外情况，可能需要带载启动，因而对料斗的固定

强度、钢丝胶带应对料斗螺栓的抗撕裂性能提出了更高的要求。

不同于普通的料斗螺栓直接穿过钢丝胶带固定料斗的方式，重载料斗的安装方式如图 4 所示：钢丝胶带的背面、沿钢丝胶带的宽度方向设置胶带凹槽（如图 5 所示），凹槽的纵切面为弓形凹面，料斗安装时料斗螺栓平头垫板以弧形面与料斗靠背相贴合；方头料斗螺栓依次穿过钢丝胶带、料斗垫板、料斗背板、螺栓孔，在料斗中由螺母紧固。这种方式可以有效降低局部应力集中和胶带撕裂风险，提高钢丝胶带服役寿命。

### 2.3 驱动轮清扫装置

提升机头部壳体上安装驱动轮清扫装置（如图 6 所示），通过驱动轮清扫装置可以去除驱动轮上残留的物料，避免对钢丝胶带和驱动轮表面造成损伤，延长胶带使用寿命。



图 6 提升机驱动轮清扫装置

### 2.4 开发提升机智能驱动系统

提升机智能驱动控制系统，充分利用变频器的变频调速和矢量控制、主从同步控制等技术，通过工控 PLC 智能算法实时监控提升机运行状态。主要实现以下功能：（1）对运行转矩、电流、进料量等监控并实时优化，节电 10~20%；（2）实现柔性启停，延长胶带和减速机等关键件的使用寿命；（3）双驱动电机实现电流平衡；（4）实现系统智能运行和快速应急处理。为设备安全稳定运行提供保障。

### 2.5 高耐磨结构设计

提升机进料口、出料口等关键部位设置高强耐磨层，结构如图 7 所示。适应磨蚀性物料的反复冲击，保证提升机结构安全。

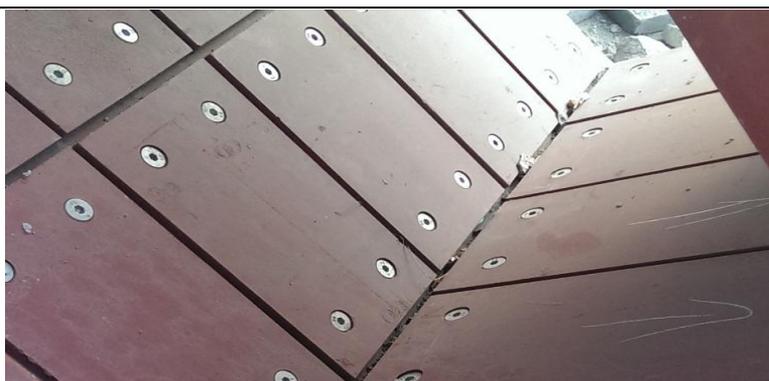


图 7 高强耐磨层结构

### 3 辊压机循环重载胶带提升机的应用案例分析

辊压机循环重载胶带提升机研制成功后，在应用实践中不断优化改进，经历了输送能力从小到大、输送物料由水泥辊压机循环料拓展至生料辊压机循环料的过程。目前，陆续在上海金山南方、缅甸瓦城银珍珠、江苏绿森-绥江浙浦等多个改造和新建项目的辊压机循环料提升环节上成功投运（详见表 1），取得了良好的使用效果。

表 1 辊压机循环重载胶带提升机应用业绩

序号	项目名称	设备型号 (N-TGD)	数量 /台	辊压机循环方案	输送物料	输送能力 t/h	辊压机品牌/型号	新建/改造	投运时间
1	上海金山南方	800×36500mm	1	“双提升机”方案中的提升机 A	水泥辊压机循环料	380, max: 550	合肥院 HFCG 140-80	板链改造（保留原壳体与传动系统）	2014 年
2	瑞丽市宏力-缅甸瓦城银珍珠	800×43150mm	2	“双提升机”方案中的提升机 A	水泥辊压机循环料	500	江苏鹏飞 PFG140-80	新建项目	2016 年
3	瑞丽市宏力-缅甸瓦城银珍珠	800×38450mm	1	“双提升机”方案中的提升机 A	水泥辊压机循环料	500	江苏鹏飞 PFG140-80	新建项目	2017 年
4	江苏绿森-绥江浙浦	1250×22500mm	1	“双提升机”方案中的提升机 A	生料辊压机出料循环（出辊压机进 V 选）	1000, max: 1100	成都利君 CRP180120	新建项目	2017 年
5	江苏绿森-绥江浙浦	1250×26000mm	1	“双提升机”方案中的提升机 B	生料辊压机进料循环（出 V 选进辊压机前级仓）	1000, max: 1100	成都利君 CRP180120	新建项目	2017 年
6	泸州纳溪赛德	900G×45910mm	1	“单提升机”方案	水泥辊压机循环料	840, max: 970	成都利君 CLF120100	中央链改造（保留原壳体与传动系统，非标设计）	2018 年

### 3.1 技改方案与技改案例

#### 3.1.1 典型技改方案：

在现场工艺和物料情况满足要求的前提下，辊压机循环板链或中央链提升机可以改造为循环重载胶带提升机。视工艺工况条件及用户要求，一般有两种技改方案：

一是整机更换，典型的技改方案一般需要注意以下要点：

a、安装原提升机的楼板预留孔，如果小于胶带提升机壳体尺寸，视主次梁位置和土建安全要求，可以进行扩孔和加固处理；

b、注意提升机进料方向是否与胶带面垂直，如果偏角过大，需要留有一定的过渡非标，或对提升机进料口进行特殊设计，否则在长期大流量冲击的情况下，很容易造成提升机胶带运行跑偏；

c、如果原提升机地脚基础孔位与胶带提升机的差别过大，无法沿用原有基础孔位，可以通过采用钢板和 H 型钢过渡的方式解决；

d、如果原提升机机尾布置在地坑里，需要注意地坑四壁净空尺寸，保证机尾的抽轴检修空间；

e、注意提升机机头检修平台、吊架安装方案及起吊净空；

二是保留原提升机壳体和传动系统，可以通过非标设计胶带提升机相关部件来完成改造。例如泸州纳溪赛德项目，出于节省改造成本和施工周期考虑，需要保留原中央链提升机全部壳体与传动系统。为配合原有壳体尺寸，全套非标设计提升机头轮、尾轮、机尾张紧机构、钢丝胶带、料斗等部件，顺利实现技改目标。

#### 3.1.2 典型技改案例----上海金山南方水泥有限公司

该厂水泥粉磨系统采用辊压机联合粉磨工艺，生产 P.O42.5 水泥。辊压机循环提升机原采用国产 NE300 板链提升机。辊压机循环提升机所处工艺流程如图 8 所示。

由于板链环节多磨损快、故障率高、维护量大，影响水泥粉磨系统的正常运转。2014 年该厂将此板链提升机改造为重载胶带提升机（如图 9 所示），型号

N-TGD800×36500mm，输送能力正常 380 t/h，最大 550t/h。

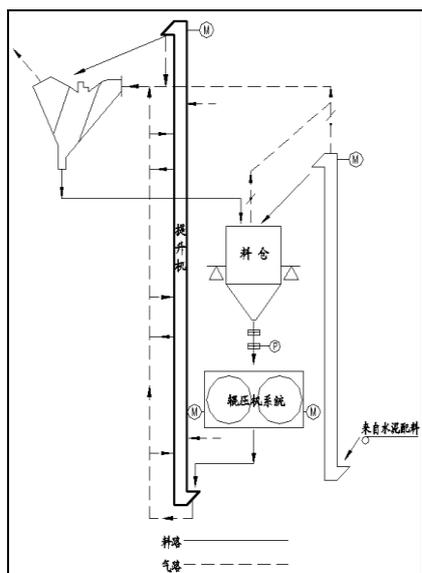


图 8 水泥辊压机循环提升机工艺流程



图 9 改造后的水泥辊压机循环胶带提升机

图 10 为改造前后由中控记录的单日内的提升机电流曲线的对比。原板链提升机运行时平均电流约 107A，波动值接近 5A；改造后的胶带提升机运行平均电流为 95A，波动值不超过 3A，电流曲线平稳，节能效果显著。投运 4 年多来，设备长期运行稳定，效果良好，得到用户好评。

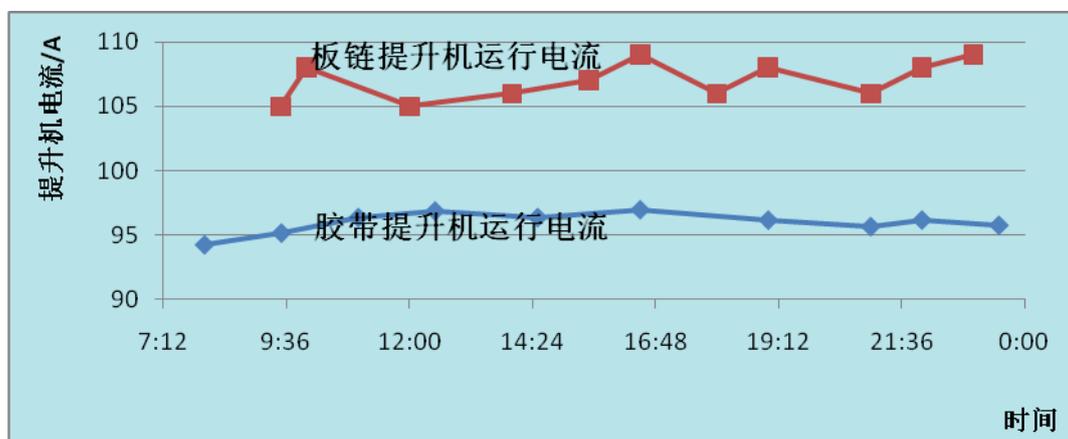


图 10 改造前后单日内提升机运行电流曲线对比

## 3.2 新建项目应用案例

在新建项目的辊压机循环提升环节，选用胶带提升机，替代传统的板链或中央链式提升机。从设计之初就充分考虑工艺条件优化和物料参数控制，使之更适合循环重载胶带提升机的使用，从而大大提高设备运行效率，节约设备维护成本，已成为水泥厂和设计单位的选择之一。

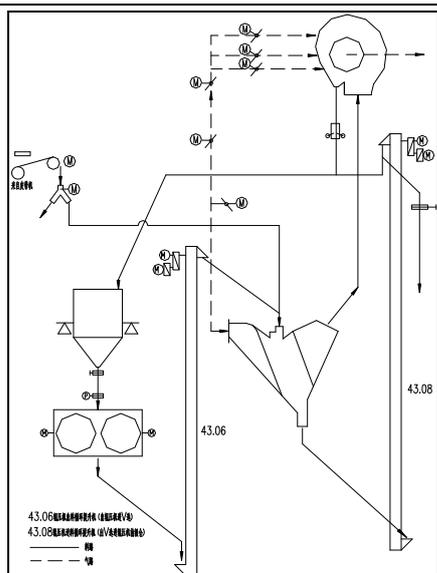


图 11 生料辊压机循环提升机工艺流程



图 12 改造后的生料辊压机循环胶带提升机

绥江县浙浦水泥有限责任公司于 2016 年新建一条 2000t/d 水泥生产线，生料粉磨系统采用辊压机终粉磨方案。辊压机循环采用双提升机方案，工艺流程如图 11 所示。生料辊压机和 V 型选粉机之间双向循环岗位选用了 2 台重载胶带提升机（如图 12 所示），规格均选用 N-TGD1250 型，输送能力分别达到 850t/h 和 1100t/h。项目从设计到现场管理，对生料原料配料水分、粒径等参数进行严格控制，优化了胶带提升机使用条件。2017 年设备投运以来，运行效果良好。

#### 4 总结

(1) 重载胶带提升机应用于生料或水泥辊压机循环提升环节，属于国内首创，填补了国内技术空白。该项创新成果可以作为部分辊压机循环提升机选择方案之一。

(2) 由于辊压机循环提升机输送的物料粒度和水分等情况不一，同时考虑到工厂的运行管理状况差异，对不同工厂的设备选型和应用，要有针对性的方案和技术再创新。

(3) 目前辊压机重载胶带提升机已在线运行超过 5 年，最大输送量已达 1100t/h（单纯用于熟料输送达到 2100t/h），已从水泥辊压机制成系统拓展到部分生料辊压机制备系统，今后还将进一步拓展砂石骨料、矿山等领域。

# 浅谈水泥厂建设工程安全监理要点和措施

马 猛

(合肥水泥研究设计院有限公司中亚监理公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

随着中国水泥技术和装备的进步, 中国企业在国内和国外都新建了大批新型干法水泥生产线, 生产线的施工速度也大为加快, 一些日产 5000 吨熟料的生产线建设周期国内不到一年。快的施工进度给建设单位带来了好的效益, 但施工过程中安全管理工作却不容乐观, 安全事故时有发生。原因在于施工单位对安全生产的重视程度仍然不够, 在施工过程中往往只注重节省成本和赶进度, 对安全生产存有侥幸心理。监理单位由于管理权力有限, 往往偏重于质量、进度、投资方面的监理, 对施工的安全监理工作力度不足。建设单位往往为了抢进度、赶工期, 对施工单位的安全管理听之任之。针对以上情况, 笔者认为, 作为水泥厂建设工程的监理人员, 在工程管理和监理中应该将安全监理也放在同等重要的地位。

本文结合笔者多年来从事监理工作的经历和经验, 重点阐述水泥厂建设工程安全监理依据、安全监理方法和要点。

## 1 安全监理依据的标准及规范

水泥厂建设工程监理必须遵守下列安全生产的技术标准及规范要求:

- (1) 《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)
- (2) 《建筑施工高处作业安全技术规范》(JGJ80-2016)
- (3) 《液压滑动模板施工安全技术规程》(JGJ65-2013)
- (4) 《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ46-2005)
- (5) 《建筑施工安全检查标准》(JGJ59-2011)

## 2 水泥厂建设工程安全监理的方法

### 2.1 安全监理遵守预控在先的原则。

(1) 在施工前监理工程师要审查施工组织设计的安全内容，检查施工单位的安全保证体系、安全生产资质和项目经理、安管人员和特殊作业人员的资格等。

(2) 审查施工单位报审的专项施工方案，重点审查施工安全技术措施是否有针对性、可操作性、是否有漏缺项，是否符合工程建设强制性标准和《建设工程安全生产管理条例》的有关规定。对于存在的问题应责令施工单位及时整改、补充和完善。

(3) 检查施工单位专职安全员的配备和到岗情况。

## **2.2 监理单位应加强现场巡视和检查，由建设单位或监理单位定期组织安全大检查，形成检查定期安全检查制度。**

(1) 监理工程师每天现场巡视和检查安全问题，检查实际施工是否符合施工组织设计和专项施工方案的内容，如模板支撑、垂直运输、基坑支护、临时用电等，如发现与施工组织设计和专项施工方案不符的地方，及时签发监理通知单，责令施工单位整改或报批补充方案。

(2) 每周由监理单位牵头组织安全检查，每次检查后在监理例会上进行讲评。当检查中发现工程存在安全事故隐患时，应签发监理通知单，要求施工单位限期进行整改，情况严重时，应签发工程暂停令要求局部停工整改；整改后组织复查整改结果，不走过场。

(3) 每月由建设单位牵头组织安全大检查。每次检查后均签发安全检查简报。对于存在安全隐患的部位停工整改，对于连续两次安全不合格的施工单位项目部，可由建设单位致函给施工单位总部，要求其单位来人监督检查。

## **3 监理工作的创新实践**

我公司为加强安全监理工作的管理，促进安全监理工作向程序化、规范化、科学化发展，指导和督促公司相关部门开展好安全监理工作，保证建设工程的安全生产，结合本公司的实际情况，制定了本公司《建设工程安全监理规程》。

本规程以《建筑法》《建设工程安全生产管理条例》（简称《条例》）、《建设工程监理规范》和《关于落实建设工程安全生产监理责任的若干意见》等法律、法

规、规范和标准为依据，在总结公司安全监理工作实践的基础上，将安全监理工作主要内容和实施要求具体化，有利于进一步规范安全监理行为，提高安全监理工作实效，切实提高公司工程监理和安全管理水平。包括总则、术语、基本规定、安全监理责任及工作保障体系、安全监理主要工作内容、安全监理策划、安全监理实施、安全监理资料管理。

### 3.1 安全监理方案应包括以下主要内容：

- (1) 安全监理工作依据；
- (2) 安全监理工作目标；
- (3) 安全监理范围和内容；
- (4) 安全监理工作程序；
- (5) 安全监理岗位设置和职责分工；
- (6) 安全监理工作制度和措施；
- (7) 初步认定的危险性较大工程一览表和安全监理实施细则编写计划；
- (8) 初步认定的需办理验收手续的大型起重机械和自升式架设设施一览表；
- (9) 其他与新工艺、新技术有关的安全监理措施。

### 3.2 安全监理实施细则应包括以下主要内容：

- (1) 相应工程概况；
- (2) 相关的强制性标准要求；
- (3) 安全监理控制要点、检查方法、频率和措施；
- (4) 监理人员工作安排及分工；
- (5) 检查记录表。

## 4 水泥厂建设工程安全监理的要点和措施

下面以人工挖孔桩、窑尾塔架高空作业、筒仓滑模、施工现场临时用电等水泥厂建设工程中几个重点部位为例来阐述施工安全监理要点和措施。

### 4.1 人工挖孔桩的安全监理

日产 5000 吨熟料的生产线的均化库、熟料库、水泥库、窑尾等部位基础经常

采用人工挖孔桩形式的桩基，数量达到数百根，施工周期长达 2 个月，深度 20 米以上，投入的劳动力多，是安全管理的重点部位之一。监理工程师要经常检查下列内容：

(1) 检查提升机的辘轴、支架、吊绳、挂钩、保险装置和吊桶（或土筐）、刹车制动等设备和工具是否完好无损，防护设施是否安置到位和正确牢固可靠，发现问题及时修理，待设备运行正常后方准许正式使用。

(2) 检查每节护壁混凝土设计强度、厚度、直径及垂直度，每挖成一节督促及时绑扎钢筋支模并浇灌混凝土，护壁混凝土浇灌要周围同步上升，振捣密实，待混凝土达到规定强度后方可拆模。

(3) 检查作业人员上下井时是否乘坐专用安全乘人吊笼，督促作业人员禁止攀爬护壁和乘坐吊桶、吊绳等方式上下井。当井下有人作业时，监督井上作业人员不得擅自离开岗位；注意不得有工具、石块落入井下。井下作业照明必须使用 36 伏的低压照明光源。

(4) 当挖孔深度超过规定深度时，检查施工单位是否采用压力风管引至井底进行送风，并且确认无有毒气体后方可下井，作业过程中督促不得间断送风，以防有害气体中毒窒息事故发生。

(5) 每日作业结束后检查井口覆盖；遇特殊情况需夜班作业时，须经现场安全负责人同意，并由安全员现场指挥、监督检查与技术指导。

(6) 在作业区外围设置围栏、安全网、安全警示牌，夜间设置警示灯光，非施工人员不得进入施工场地内。

#### 4.2 窑尾塔架高空作业安全监理

窑尾塔架一般采用钢框架结构，顶层高度可达 90 米以上，是水泥厂最高的建筑物。连同预热器的安装，其安装周期需要六个月以上。这个部位的施工是水泥厂建设工程中最易出伤亡事故的部位，监理单位对此要重点防范。

(1) 检查临边作业的防护措施须齐全完整，应设置安全网、栏杆，做好孔洞覆盖等。

(2) 高空临空作业须佩带安全带，上下传递物件须可靠，所有可能坠落的物件须撤除或固定。

(3) 人员上下须有通道，局部使用直爬梯的，必须可靠设置。

(4) 塔吊往钢平面上吊物件时，务必防止碰到人。这类事件在有的工地造成过伤亡。

(5) 雨天、雪天高处施工时，须可靠防滑、防跌、防寒、防冻，水、冰、雪须及时清理干净方可施工。

(6) 检查防雷装置的引下线，与接地体相连良好。

(7) 窑尾塔架地面四周设置警示牌，非施工人员不得靠近。



临汾山水水泥厂 4500t/d 熟料生产线窑尾安装

### 4.3 筒仓滑模施工过程中安全监理

水泥厂的均化库、熟料库、水泥库等筒仓结构常采用滑模施工方法，施工时24小时连续不间断，施工人员和监理人员都是十几天连续工作，容易疲劳。要特别重视对滑模施工的安全管理。重点做好下列检查工作：

(1) 检查滑模过程当中安全通道的设置。

(2) 检查操作平台及吊脚手架上的铺板是否严密平整、防滑、固定可靠。

(3) 检查操作平台边缘设钢制防护栏杆，其高度不小于 1.2 米，内外吊脚手架，应兜底满挂安全网，且应符合规定要求，不得使用破烂变质的安全网、安全网与吊脚骨架用铁丝或用尼龙绳进行连接。

(4) 检查滑模操作平台上随升井架，在人道口应设防护栏杆，且不得低于 1.2 米。

(5) 检查操作平台上的孔洞（如上、下层操作平台的通道孔、梁模滑空部位等）应设盖板封严。

(6) 检查平台上防雷装置是否设专用的引下线，并与接地体连接良好。

(7) 检查操作平台上是否设置足够适用的灭火器以及其他消防设施。

(8) 检查操作平台上配电装置及夜间照明能否满足工作面照明需要。

(9) 滑模装置的拆除必须在白天进行，宜采用分段整体拆除，在地面解体；严禁将拆除的部件及操作平台上的一切物品从高空抛下。



怀远中联水泥厂 4500t/d 熟料生产线均化库滑膜施工

#### 4.4 施工现场临时用电安全监理

施工用电现场检查的项目包括：外电防护、接地与接零保护系统、配电箱、开关箱、现场照明、配电线路、电器装置、变配电装置等内容。水泥厂建设用电特点是用电的场地大，点多面广，有土建施工用电，有安装施工用电，还有各个施工单位生活用电，白天施工时用电集中。监理工程师重点做好下列检查工作：

(1) 当施工现场的外脚手架、临设和塔吊等与外电线路达不到最小安全操作距离时，检查是否采取增设屏障、遮栏、围栏或保护网等外电防护措施。

(2) 在施工现场检查专用的中性点直接接地的电力线路中采用 TN—S 接零保护系统情况。电气设备的金属外壳必须与专用保护零线连接。保护零线不得作为工作零线，必须采用多股铜芯线，统一标志为黄绿双色，截面不小于工作零线的截面；保护零线上不得装设开关或熔断器，在配电箱内必须通过端子板连接，在其他地方不得有接头。

(3) 检查工地重复接地装置是否少于三处，阻值 $<10\Omega$ 。接地线是否由二根以上的导体（角钢、圆钢、钢管和扁钢）在不同点与接地体作电气连接。

(4) 检查电缆干线是否采用埋地或架空敷设，严禁沿地面明设，避免机械损伤和介质腐蚀。架空线是否采用绝缘铜线或绝缘铝线。电缆穿越建筑物、构筑物、道路时是否加防护套管。

(5) 检查配电箱与开关箱是否三证齐全，箱体必须采用铁板制作，进出线路应在箱底进出。箱体内工作零线和保护零线的连接必须通过接线端子板，配电箱、开关箱的连接线必须采用绝缘导线，接头不得松动，不得有外露带电部分，配电箱和开关箱的金属箱体，金属电器安装板以及箱内电器不应带电的金属底座，外壳等必须做保护接零。

(6) 配电系统是否按三级配电三级保护，总—分—开进行设置，开关箱内有无装置漏电保护器。其每台用电设备是否实行“一机一闸”制，严禁用同一个开关电器直接控制二台及二台以上用电设备。

## 5 工程安全监理实例

在笔者监理过程中，对建设工程安全监理工作非常重视和认真落实。列如，对于怀远中联水泥有限公司 4500t/d 新型干法熟料水泥生产线工程做出了如下安全监理措施：

(1) 项目监理部根据在监项目情况召开安全管理主题研讨会，落实工作职责，内部加强安全知识的深化学习，进一步强化监理人员的安全意识。

(2) 召开施工监理双方参加(邀请业主参加)安全专题协调会,以高标准,严要求为方针,制定安全管理奖罚机制。

(3) 把安全措施作为施工方案审核的必备条件,不合要求的不予签认。

(4) 监理通过巡查、旁站等形式,对现场发现的安全隐患及时以监理通知形式通知施工承包方整改,情节严重的同步下达停工令,并及时向业主报告安全控制状况。

(5) 督促施工方落实安全施工教育,召开安全施工教育例会,例会纪要提交监理、业主备案。

(6) 要求施工承包方针对工程特点,制定施工防火、安全用电、场地排水、高空作业等安全专项保证方案,经监理审定后执行,并报业主备案。

## 6 水泥厂建设工程安全监理的体会

安全监理是一项责任很强的工作,上述阐述的内容是水泥厂建设工程施工现场经常会遇到的安全监理工作问题,当然,不可能面面俱到,写作此文主要目的是抛砖引玉,与监理同行进行交流,共同提高安全监理水平。要真正做好施工现场的安全管理工作,重点还是要求作为施工安全责任主体的施工单位自身加强监督管理,督促施工单位健全自身施工安全保证体系并切实搞好自控,只有这样,才能有效消除施工现场人的不安全行为和物的不安全状态,消除各种事故隐患,实现安全监理目标。

# 水泥厂石灰石圆管带式输送机 运行故障分析及处理

何雪梅

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 前言

圆管带式输送机(简称管带机)是在通用皮带机的基础上发展起来的一种新型带式输送机。日本 JPC 公司(Japan Pipe Conveyor Co.)最早开发,并于 1979 年制造出世界上第一台管带机。管带机主要靠摩擦驱动,利用按一定间距布置的正六(八)边形托辊组强制输送带卷成圆管形,将物料包住密闭运行的输送设备,它具有比一般皮带机环保、节能、布置紧凑、适应复杂地形的特点。后来欧洲一些国家也开始设计和使用管带机,我国在上世纪九十年代引进日本普利斯通 TPE 公司(前身即 JPC 公司)的管带机技术,在国内开始管带机的设计和制造及使用。

我国大多数水泥厂石灰石矿山距离厂区都有一段距离,通过汽车运输进场成本较高。目前全国各地多处水泥厂已用管带机输送石灰石、原煤、熟料,甚至有些厂用管带机双向输送(送进和送出)水泥厂的各种物料。印尼某水泥公司 5000t/d 水泥厂采用 D350 管带机将破碎后的石灰石输送进厂。

## 1 石灰石管带机基本技术参数

### 1.1 工程概述

印尼某水泥公司为一条 5000TPD 熟料水泥生产线,矿山距离厂区约 1km。石灰石在矿山进行破碎,石灰石破碎机规格为 MB/70,能力 $\geq 1000\text{t/h}$ ,出口尺寸 $\leq 25\text{mm}$ (90%)。破碎后的石灰石通过 D350 管带机将在矿山破碎后的石灰石穿过河流,向下输送到厂区,输送距离约 1000m 左右。

### 1.2 管带机布置示意图及主要技术参数

#### (1) 管带机布置示意图



图 1 管带机布置示意图

(2) 管带机的主要技术参数

本项目要求管带机输送能力满足两条线的石灰石需要量，确定输送能力为 1200t/h，结合地形地貌、业主征地情况确定输送路线为跨越一条河流，总体呈丁字形，向下倾斜输送石灰石，整个输送距离约为 1km。基于上述情况，确定本管带机的主要技术参数，详见表 1。

表 1 管带机主要技术参数表

名称	单位	参数	备注	
地区气象资料	年平均降雨量	mm	1816	
	最高气温	℃	41	
	最低气温	℃	24	
	设备设计温度依据	℃	41	
	抗震烈度	级	7	
输送物料特性	物料名称		石灰石	
	堆比重	t/m <sup>3</sup>	1.375	
	粒度	mm	≤25mm	
	含水率	%	8	
设备性能参数	管径	mm	350	
	带宽	mm	1300	
	带速	m/s	3.5	
	头尾滚筒中心高差	m	-17.4	向下输送
	设计最大输送能力	t/h	1200	
	实际最大输送能力	t/h	1143	
	水平投影长度	m	1000	
	水平转弯角度	°	85.27	
	水平转弯半径	m	260	
	机头过渡段	m	28.32	
	机尾过渡段	m	19.785	
	提升高度	m	-17.4	
	输送带	型号	EP200x4	抗拉强 800N/mm
	变频电机	YVF2-355L-4	315kW	
	减速机	B3SH11-FAN		
	传动滚筒	mm	Φ 1030	
	机尾滚筒	mm	Φ 630	
	张紧装置		重锤张紧装置	
张紧滚筒	mm	Φ 630		
改向滚筒	mm	Φ 500、φ 400		
托辊直径	mm	Φ 133		



图片 1 印尼某水泥厂输送石灰石用的 D350 圆管带式输送机穿过农田和村庄



图 2 D350 圆管带式输送机成管段（上管输送石灰石、下管为返回管）

## 2 管带机常见故障、故障原因分析及其应对措施

### 2.1 D350 石灰石管带机在投产初期出现的故障及其原因分析

本项目的 D350 管带机以往在水泥行业使用较少，本项目的安装单位也是第一次安装管带机，尽管安装过程在项目部、供货厂家、安装公司等单位严把安装质量关，使得管带机空载和负荷试车基本顺利，但在投产初期输送量一直维持在 800t/h 左右，管带机出现了跑偏、扭曲、局部轻微塌管等现象，项目部花费了大量的人力和物力来进行调整和整改，运行一段时间后输送带硫化接头处几次出现

断裂现象，项目部组织相关方面人员对管带机进行了彻底排查，并对中出现故障的原因进行了认真的讨论和分析，发现除石灰石夹隙土较多，石灰石含水量较大（8%左右），管带机输送量顶面遮雨棚宽度不够导致管带机在风大时飘雨容易等客观原因导致输送带打滑、物料粘结，不易清理外，还有因安装或使用不当等原因导致的各类运行故障。项目部针对在运行初期出现的输送带跑偏和扭曲、轻微塌管、输送带接头断裂等几类故障进行原因分析，并一一进行了调整和整改，通过整改目前该设备基本运行正常。下面就该设备在运行初期出现的几类故障及其原因分析列出。

### 2.1.1 输送带跑偏和扭曲

生产期间该输送带出现了跑偏和扭曲现象，造成此现象的原因可能有以下几个方面：

#### （1）输送带的设计选型及制造质量

管带机的总体布置要考虑倾角、转弯半径、转弯角度、头尾过渡段长度、上下托辊间距等数据在规范规定的范围内，以确保管带机的稳定运行。

为了保持管带机输送带有良好的成管性和密封性，输送带必须有适当的弯曲刚度。输送带边缘芯层较薄，且向里侧卷曲，有助于形成管状。管带机输送带的弹性、纵向柔韧性和抗疲劳性能比通用皮带机的胶带要求更高，要求其能反复经受管状成形和弯曲。输送带的规格和芯层形式的选择要考虑最大张力值、输送距离、使用条件及许用安全系数等因素。

输送带生产厂家要根据管带机的使用条件设计橡胶的配方和厚度，调整贯穿嵌入输送带边缘的帆布，确保输送带搭接部分要有良好的可挠曲性，这样在空载运行时不易产生扭曲。

输送带在下料前生产厂家先要根据具体的工况要求，设计好配方，制作出样品，对输送带的样品进行拉伸应力应变性、层间粘合强度、胶层硬度、热空气加速老化和耐热试验、全厚度拉伸强度、扯断伸长率和参考力伸长率、耐臭氧龟裂静态拉伸试验、耐磨性、横向拉伸强度等性能指标进行检测，只有在样品的所有指标全部合格后才能进行正式生产。

设备正常运行时输送带应在全长范围内平稳、对中运行。圆管状部分的扭转，以输送带搭接部分的理想中心与圆管的圆心之垂线为基准，左右扭转角度应不超过 $20^{\circ}$ 为宜。

### (2) 管带机安装或使用维护不当

① 管带机受料口尺寸不合适、来料不均匀且不可控、落料点不对中等设计或安装原因；

② 输送带接头位置不合理或接头过多，接头不垂直、输送带张力不够等安装或调试工作不到位的原因；

③ 调试过程中超载、物料粘结各种滚筒、输送带上的润滑脂或润滑油没有及时清洗掉，导致输送带表面变软或膨胀，造成输送带损坏等使用及维护过程的原因。

### 2.1.2 轻微塌管

本管带机提升高度为-17.4m，即向下输送物料，在初期运行过程中，在靠近接近头部输送带展开前的下坡阶段，输送带和两侧的托辊间隙达到5mm左右，和顶部托辊缝隙达到10mm左右，输送带搭接处产生了轻微塌管。造成此现象的原因主要有两方面，一方面该输送带横向刚度可能稍微偏低，搭接处向外的弹性不足，另一方面是石灰石的填充率过低（只有60%左右），且因为下坡，石灰石在输送带中向前滑动造成的。

本项目管带机输送的石灰石粒度 $\leq 25\text{mm}$ ，不到管径的 $1/10$ ，圆管内的填充率为75%较为适宜，当填充率为75%时的圆管断面面积为 $0.066\text{m}^2$ ，带速 $v$ 为 $3.5\text{m/s}$ ，输送量 $Q=(693/175) \times (3.5 \times 60) \times 1.375=1143\text{t/h}$ 。

### 2.1.3 输送带接头处断裂

本管带机在运行了半年多后出现了多起输送带接头断裂的现象，影响了设备运转率。一般情况下，出现此类情况的主要原因是胶料成分和输送带不匹配，或者质量较差。使用的溶剂没有达到要求的指标，胶料未能充分溶解，出现颗粒物或者不均匀物，粘接操作不符合规范。硫化过程不符合操作规程等。项目部经过了解，安装单位在购买用于溶解胶料的溶剂时，没有购买到标准要求的120#航空

煤油，而是用的 90#汽油代替，导致胶料溶解不完全，影响硫化接头质量，导致后期出现接头断裂。

上述几类问题，项目部通过不断整改和完善，目前管带机运行正常。

## 2.2 管带机在运行过程中常见故障类型、故障原因分析及其应对措施

管带机是近些年来才使用到水泥行业的，在水泥行业内的使用经验较少，编者根据本管带机在调试及生产期间出现的几类问题，同时结合其他行业对管带机的使用经验，对管带机在生产运营中管带机常见故障进行分类、对故障原因进行粗浅的分析，并提出应对措施。

**表 2 管带机在运行过程中常见故障类型、故障原因分析及其应对措施**

故障类型	故障原因	应对措施
输送带跑偏	1. 落料堆积偏心	调整来料漏斗位置或导料槽侧挡板斜度。
	2. 输送带张力不匀	1. 管带机尾部跑偏时，可调整和改变尾部滚筒的槽型托辊位置； 2. 头部和重锤拉紧装置跑偏时，可调整和改变尾部滚筒、槽型托辊组、改向滚筒及增面滚筒的位置； 3. 检查输送带是否严重变形损坏。
	3. 传动滚筒、改向、增面、张紧、尾部等滚筒上表面粘料	及时将各滚筒表面清扫干净。
输送带扭曲和打滑	1. 输送带本身设计和制造质量问题，如弯曲刚度不合适，成管后的稳定性和密封性不好，安装质量不好	1. 要调整橡胶的配方和输送带横向厚度设计及生产，确保输送带成管密封和稳定性； 2. 当输送在承载段和回程段中间部位扭曲时，可调整窗式托辊组的棍子位置角来纠正。
	2. 受料口尺寸不合适，	调整收料口尺寸，使下料速度和管带机速度相匹配。
	3. 或未使用给料机等设备给料，导致给料不均匀	设计时要采取措施确保均匀给料。
	4. 落料点不对中	调整落料点位置，使落料点位置位于管带机受料段中心位置。
	5. 物料超载，它会使过渡段托辊受到较大的阻力，严重时甚至会爆管	确保喂料量不超过额定的最大输送量，即 $\leq 1143\text{t/h}$ 。
	6. 未及时清理回程带下的散落物料，散落物料因堆积过高，被回程输送带卷入尾部滚筒，造成扭曲或翻带	要及时清扫散落物料。
	7. 输送带接头过多，接头不垂直	输送带订货和安装时要尽量减少切割次数，在硫化接头施工时，确保接头垂直和硫化质量。
输送带打滑	输送带张力不够	调整输送带重锤拉紧装置，使输送带张力保持在合适的范围内。
	托辊轴承损坏	更换托辊架或轴承
	托辊架变形	校正或更换托辊架

故障类型	故障原因	应对措施
输送带接头 断裂	胶料成分和输送带成分不匹配，或者胶料质量较差	粘结输送带胶料的成分与性能必须与制造输送带时采用的材料的成分一致。
	使用的溶剂没有达到要求的指标，胶料未能充分溶解，出现颗粒物或者不均匀物	各种胶料和 120#航空煤油要分别按照规定的比例和规定的浸泡时间，确保经过浸泡过的胶料中没有颗粒或不均匀物。
	粘接和硫化过程不符合操作规程	1. 按照规范进行粘结操作； 2. 硫化过程严格按照规范规定的温度、压力、时间参数进行； 3. 输送带搭接处必须在输送带承载段上方和返回段下方。
输送带轻微 塌管	设计和制造的输送带弯曲刚度过低	要根据各种设计条件选择合适的输送带类型和不同的径向厚度，要确保输送带搭接部分要有良好的可挠曲性。
	圆管内填充率过低	圆管内填充率一般保证在 75%左右，如果过低就会产生轻微塌管，如果过多，可能产生爆管。
输送带爆管	过载。过载运行将使输送带胀出增加托辊阻力，并影响其平稳运行。	严格控制喂料量，尽量使圆管内填充率不超过 75%。一般情况下，要求托辊的摩擦系数应小于 0.019。
输送带粘料	清扫装置位置不合适或者失效	采用质量较好的清扫器，及时调整清扫器位置，或及时更换损坏的零部件。
	石灰石含较多的夹杂土，且水分较大	1. 在输送廊道上方设置能覆盖两侧走道的防雨棚； 2. 开采时尽量减少石灰石中的夹杂的粘土，控制其水分。
	输送带撒落物料较多	查找撒落原因并排除故障，及时清扫撒落物料。
停车时输送 带倒转或顺 滑	制动器损坏	及时更换制动器
	制动器调整过松	及时调整制动力矩，保证制动效果。
托辊转动声 音异常	轴承损坏	更换托辊或托辊组
	密封损坏	
滚筒轴承温 升过高	轴承损坏	更换轴承
	密封损坏	
	润滑不良	

### 3 结束语

管带机与一般普通皮带机，具有许多优点，但输送带的设计选型、各项技术指标要求及质量检测要求更高，同时严格按照安装规范安装，确保安装质量，才能为后期设备的正常运行打下良好基础。在后期的运行中要制定各种预案，加强巡检，对于出现的各种故障及不正常现象，要对症下药，及时处理，防止因为小问题不及时处理导致输送带扭曲、塌管、爆管、输送带断裂等较大设备故障的发生，造成一系列的直接和间接损失。总之，要在设计选型、制造、安装、调试、生产维护等每个环节把好关，才能确保设备长期稳定运行。

# 装配式钢结构建筑叠合楼板和支撑的设计

章益民 计康生 董哲武

(安徽中亚钢结构工程有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 前言

随着现代工业技术的发展,新型建筑材料和结构体系的不断创新,2016年国务院会议提出大力发展钢结构、混凝土等装配式建筑,积极推进集成化设计、工业化生产、装配化施工、一体化装修,鼓励和引导企业研发新技术、新设备,提高装配式建材应用比例,促进建造方式的现代化。

相对于传统建筑,装配式建筑部品如外墙板、内墙板、叠合板、楼梯等可以在工厂生产,运输至现场安装,减少了大量的湿作业,大幅缩短了建筑的建造周期<sup>[1]</sup>。装配式钢结构具有自重轻、安装速度快,抗震性能良好、绿色环保等优点<sup>[2]</sup>,其楼板结构一般有桁架钢筋混凝土叠合楼板<sup>[3]</sup>、钢筋桁架楼承板<sup>[4]</sup>、传统现浇混凝土楼板等形式。钢筋桁架叠合板和楼承板作为整个楼板中的一部分,既是结构的受力构件又兼作上部现浇混凝土层的底模,从而节约了大量模板,缩短了工期,减少人工和机械消耗,降低项目的总体造价,综合效益优于传统现浇楼板。

## 2 叠合楼板和支撑在装配式钢结构建筑中的应用

### (1) 叠合楼板的应用

叠合楼板由预制混凝土底板和现浇钢筋混凝土层叠合而成的装配整体式混凝土楼板,其整体性好,刚度大,可节省大量模板,预制混凝土底板下表面平整度较高,便于后期饰面层的装修。叠合楼板的跨度一般为3~6m,适用于多高层住宅、办公楼等民用建筑。预制混凝土底板,一般指桁架钢筋混凝土叠合板,如图1所示,作为现浇混凝土层的永久性模板,民用建筑中常用的厚度为60mm,是楼板结构的组成部分之一。叠合楼板在装配式混凝土结构和装配式钢结构建筑中使用较为普遍,在政府保障性住房等项目中应用较多,在工业化建筑评价中占有一定的比重。随着近年国家提倡大力发展装配式建筑,叠合楼板作为一种安全适用、施

工便捷的楼板结构被逐渐应用在装配式钢结构建筑中。



图 1 钢筋桁架叠合板

叠合楼板在装配式混凝土结构和装配式钢结构建筑中使用较为普遍，在政府保障性住房等项目中应用较多，在工业化建筑评价中占有一定的比重。随着近年国家提倡大力发展装配式建筑，叠合楼板作为一种安全适用、施工便捷的楼板结构被逐渐应用在装配式钢结构建筑中。

## (2) 支撑的应用

装配式钢结构楼板结构中的支撑有普通模板支撑和桁架支撑两种形式。普通模板支撑一般用于混凝土现浇楼板，由脚手架和模板等组成；桁架支撑在钢筋桁架混凝土叠合楼板中应用较为广泛，该支撑安装方便，可多次重复使用，也可根据不同跨度进行调节，如图 2 所示。由于叠合板的刚度相对较弱，跨度较大时，缺少底部支撑时可能造成现浇混凝土施工作业时的安全隐患。通常情况下，钢筋桁架叠合楼板跨度小于 3m 时可不设支撑，跨度 3~4.5m 时设一道支撑，跨度大于 4.5m 时设置两道支撑。



图 2 叠合楼板与桁架支撑

## 3 叠合楼板和支撑的设计

本文以装配式住宅中较为常见的板块  $3.6\text{m}\times 6\text{m}$  为例设计叠合楼板和支撑，如图 3 所示，钢梁上翼缘宽度均为  $200\text{mm}$ ，楼板边界条件为四边简支，混凝土强度等级为 C30，容重为  $25\text{ kN/m}^3$ ，钢筋采用 HRB400，楼板面层荷载为  $1.5\text{ kN/m}^2$ ，活荷载为  $2.0\text{ kN/m}^2$ ，要求叠合板脱模时不允许开裂。

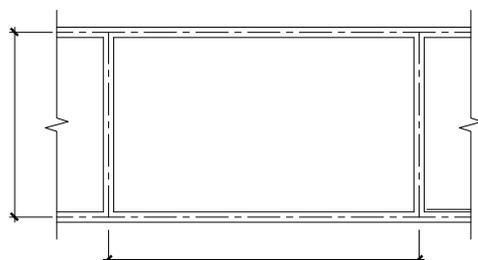
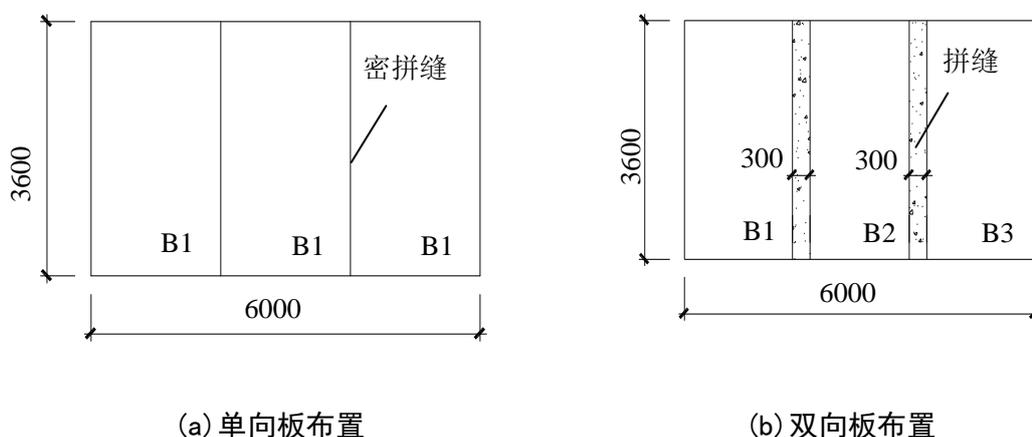


图 3  $3.6\text{m}\times 6\text{m}$  板

### (1) 叠合楼板设计

#### 1) 设计及拆分原则

叠合楼板设计与传统现浇混凝土楼板设计原理基本相同，计算分析时按现浇混凝土楼板设计，再通过深化设计将构件拆分为单向板或双向板，图 4 为单向板和双向板布置方案。



(a) 单向板布置

(b) 双向板布置

图 4 单向板和双向板布置方案

单向板一般采用楼板密拼的方式，拼缝处钢筋断开，缝上部通过构造钢筋搭接加强防止楼板开裂，按照单向板布置的房间，对叠合板配筋和板搭接方向的支座负筋按照单向板计算，但垂直于板搭接方向的支座负筋仍采用双向板房间计算的结果；双向板每块板间设置  $300\text{mm}$  的拼缝，拼缝处钢筋搭接组成一个整体，按

照双向板布置的房间，对叠合板配筋和各方向的支座负筋按照双向板房间计算<sup>[5]</sup>。

楼板拆分时首先根据最小受力原则，将拼缝设置在受力较小的位置，通过构造措施对板缝加强，其次拆分时应做到标准化，以保证制作叠合板时模具的使用率。

## 2) 叠合板选用

叠合楼板采用双向板方案时，根据最小受力原则和标准化原则将楼板沿长度方向拆分为三块相同的叠合板，板缝 300mm 宽，每块叠合板规格为 3.6m×1.8m；采用单向板方案时，同样将楼板拆分为三块相同的叠合板，但板密拼缝，每块叠合板规格为 3.6m×2m。根据工程经验并考虑到板受力后的挠度和施工因素，最终确定楼板总厚为 140mm，即叠合板厚 60mm，上部现浇混凝土厚 80mm。表 1 为单向板和双向板计算结果，其中：A100@450 表示钢筋桁架高度为 100mm，沿宽度方向间距为 450mm，采用 HRB400 级钢筋，上下弦钢筋直径为 8mm，腹杆钢筋直径为 6mm<sup>[3]</sup>。

表 1 单向板和双向板计算结果

板的类型	叠合板宽度方向	四边支座负筋	桁架钢筋及间距
双向板	8@150	8@200	A100@450
单向板	8@200	8@200	A100@500

计算结果表明，沿叠合板跨度方向单向板的板底配筋大于双向板，沿宽度方向单向板的板底配筋小于双向板，用钢量基本相当。由于双向板中相邻叠合板预留了 300mm 宽拼缝，且板侧钢筋伸出在拼缝处搭接，需要另外设置模板和支撑与现浇混凝土层一起整体浇注，增加了额外的现场施工作业工程量；而采用单向板方案时叠合板板侧钢筋不需伸出，相邻叠合板密拼缝，无需另外设置模板和支撑。通过施工便捷性和经济性等综合考虑，叠合楼板宜单向板方案，图 5 为单向板方案叠合板详图。

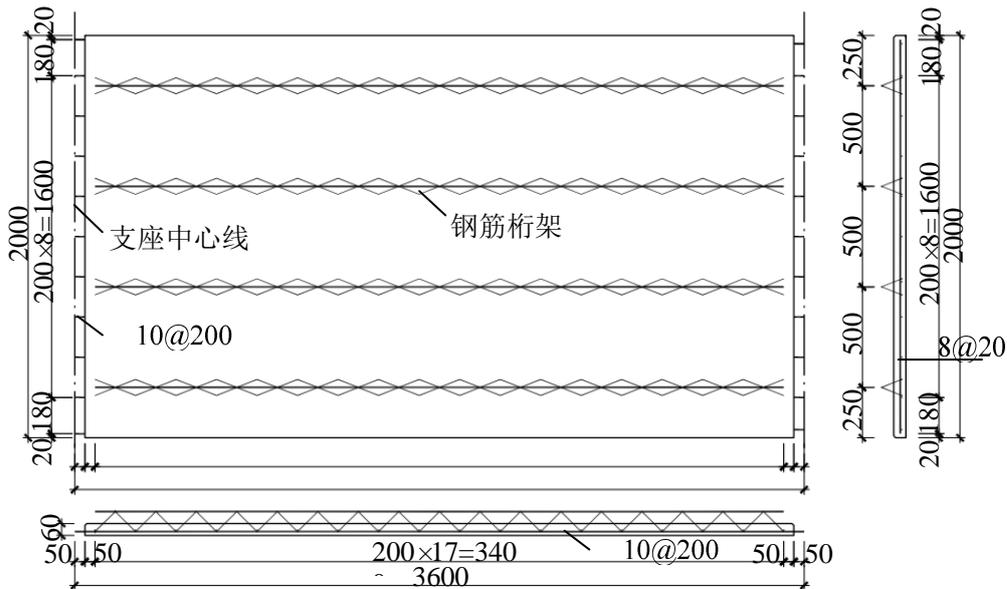


图5 单向板方案叠合板详图

### 3) 叠合板吊点设计

叠合板的吊点一般采用4点起吊，当跨度大于4.2m时，应采用6点起吊。吊点位置设计原则是在叠合板自重或脱模时吸附荷载作用下，根据吊点处板面负弯矩与板底跨中正弯矩大致相等来确定，本文算例采用4点水平起吊，图6为吊点位置及受力图， $M_1$ 、 $M_b$ 分别为沿跨度方向、宽度方向的最大弯矩。

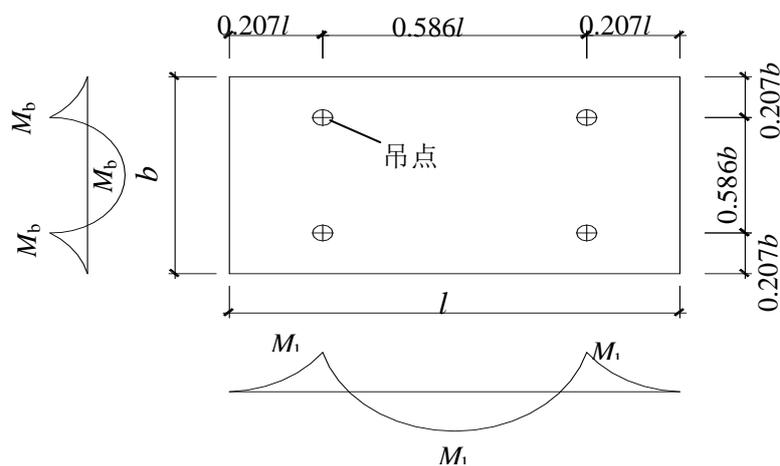


图6 吊点位置及受力图

### 4) 叠合板吊装验算

叠合板吊装时，板底和模具间会产生吸附力，施工吊装时会产生动荷载和冲击力，为保证叠合板吊装时不出现裂缝，应进行脱模验算和吊装施工验算。如脱

模验算和吊装施工时吊点相同，考虑到混凝土强度随着龄期的增长，可只进行最不利吊装环节的验算，即只考虑脱模验算<sup>[6]</sup>。

对于预制钢筋混凝土叠合板，应考虑构件脱模时模具的吸附力和附加吸附力。模具的吸附力通过引入脱模吸附系数来考虑，即将构件自重标准值乘以脱模吸附系数作为等效荷载标准值，施工规范规定脱模吸附系数取 1.5，附加吸附力为 1.5 kN/m<sup>2</sup>。叠合板吸附力的验算可采用等代梁法，并按沿板跨和板宽两个方向分别验算且均应考虑全部吸附荷载的作用，等代梁的宽度一般取 1/2 板跨或板宽，取最不利情况进行计算。

本文算例中叠合板厚度  $t$  为 60mm，等效荷载标准值为 2.25 kN/m<sup>2</sup>，总吸附荷载标准值  $q$  为 3.75 kN/m<sup>2</sup>，根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010(2015 年版)的相关规定<sup>[7]</sup>，叠合板计算截面边缘的混凝土法向应力宜满足  $\sigma_{ct} \leq f'_{tk}$  的规定，其中， $\sigma_{ct}$  为施工阶段计算截面受拉区边缘纤维的混凝土拉应力； $f'_{tk}$  为施工阶段混凝土立方体抗压强度相对应的抗拉强度标准值。因此  $\sigma_{ct}=0.1285q(l/t)^2=0.1285 \times 3.75 \times 10^{-3} \times (3600/60)^2=1.72\text{MPa}$ ，混凝土强度为 C30， $f'_{tk}=2.01\text{MPa}$ ， $\sigma_{ct}/f'_{tk}=0.86$ ，即同条件养护的混凝土立方体抗压强度达到 25.8MPa，方可脱模起吊。

### (2) 支撑设计及深化

叠合板作为现浇混凝土层的模板，只需在其底部设置支撑。由于板块短边受力，沿长度方向设置桁架支撑过大会使安装较为不便，考虑到叠合板与钢梁的有效搭接宽度，可在每块叠合板底中部设置一道桁架支撑，由桁架支撑承受叠合板自重和施工阶段的荷载，图 7 为桁架支撑的布置方案。

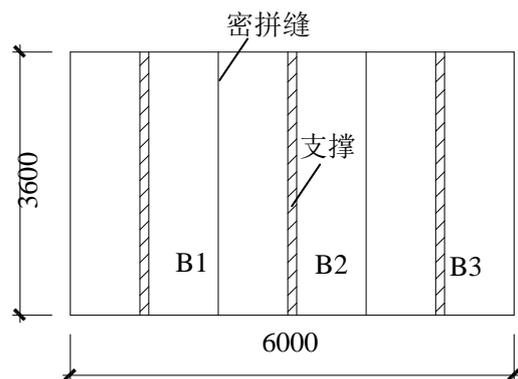


图7 桁架支撑布置方案

施工阶段的荷载包括叠合板自重，现浇层混凝土自重，施工荷载。本文算例恒载为  $25 \text{ kN/m}^3 \times 0.14\text{m} = 3.5 \text{ kN/m}^2$ ，施工活载为  $1.5 \text{ kN/m}^2$ ，荷载由可变荷载效应控制，荷载传递到桁架支撑上弦线荷载为恒载  $7 \text{ kN/m}$ ，活载为  $3 \text{ kN/m}$ ，桁架支撑计算简图如图8所示，节点5、节点10为简支支座，支撑上下弦和腹杆均为Q235等边单角钢。运用3D3S结构设计软件<sup>[8]</sup>建立计算模型，为使上下弦、腹杆杆件截面一致，对上下弦和腹杆设置分组，经优选得出上下弦截面均为L56×5，腹杆为L40×3，最大应力比为0.867，最大挠度为2.9mm，小于规范最大挠度容许值9mm，图9为3.6m桁架支撑挠度图。

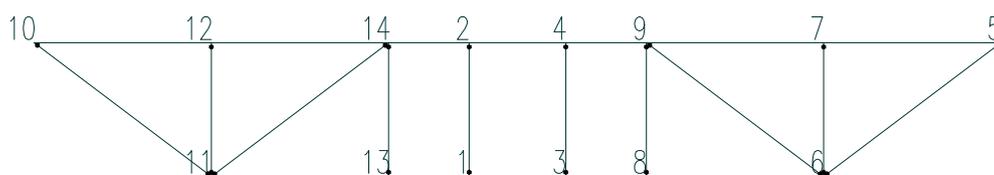


图8 桁架支撑计算简图

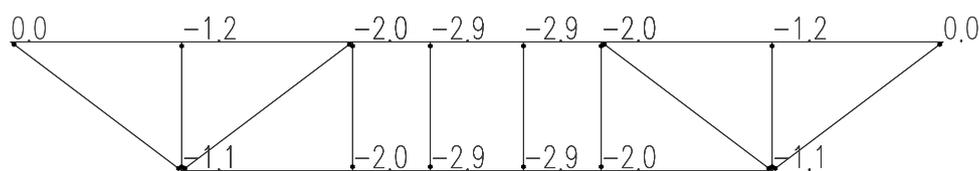


图9 3.6m桁架支撑挠度图

由于民用建筑的房间开间和进深是以3M为模数<sup>[9]</sup>，叠合楼板一般为短跨受力，标志跨度为3~4.5m，每隔300mm为一个跨度。为使支撑加工制作标准化，

可将支撑按跨度设计成可调节支撑，即将图 8 桁架支撑拆分为两个相同的部分，在上下弦开螺栓孔，然后通过普通螺栓连接，如图 10 所示，标志跨度为 3.0m、3.3m、3.6m 为同一种支撑，3.9m、4.2m、4.5m 为另一种支撑，以满足不同跨度的需要，括号内的数字适用于 3.9~4.5m 可调节支撑，表 2 为支撑截面的计算结果。

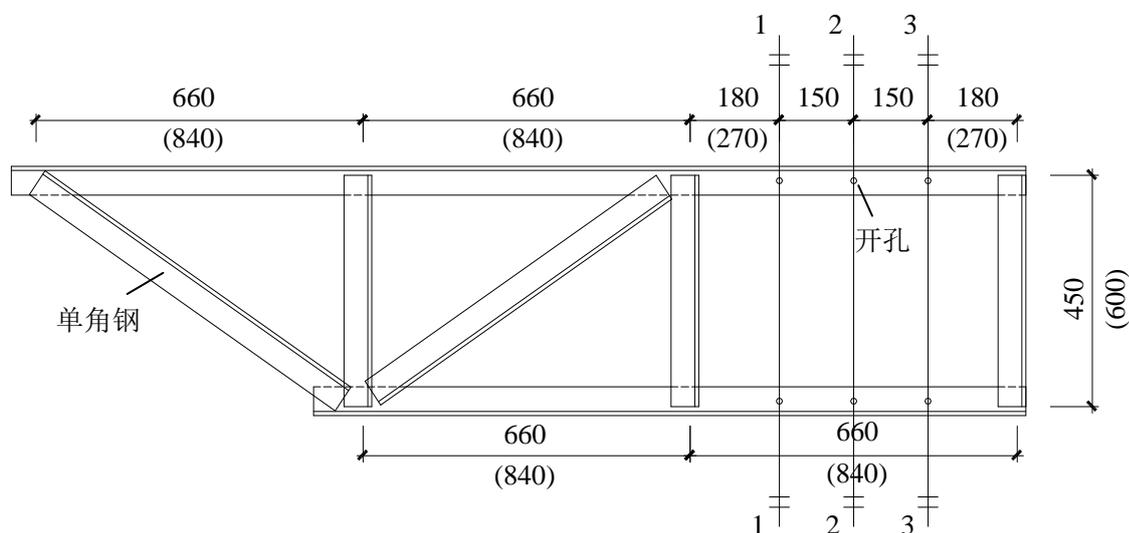


图 10 可调节支撑

表 2 支撑的计算结果

跨度/m	对称轴	上弦	下弦	腹杆	螺栓(8.8 级)	用钢量/ Kg
3.0	1-1	L56×5	L56×5	L40×3	M14	45
3.3	2-2					
3.6	3-3					
3.9	1-1	L75×5	L50×4	L50×3	M14	62
4.2	2-2					
4.5	3-3					

结果表明：可调节支撑用钢量较轻，现场安装方便，且便于周转，可用于不同跨度的叠合楼板支撑。

## 4 结论

(1) 叠合楼板整体性好，刚度大，可节省大量模板，在装配式钢结构建筑中逐渐被推广使用；

(2) 叠合楼板按单向板布置时，设计时应注意叠合板配筋和板搭接方向的支座负筋按照单向板计算，垂直于板搭接方向的支座负筋仍采用双向板房间计算的

结果；按双向板布置时，对叠合板配筋和各方向的支座负筋按照双向板房间计算；

(3) 叠合楼板采用单向板方案在施工便捷性和经济性等方面优于双向板方案；

(4) 叠合板吊点设置应确保吊点处板面负弯矩与跨中正弯矩大致相等，脱模验算应考虑板与模具的吸附力和附加吸附力；

(5) 桁架支撑在钢筋桁架叠合楼板中应用广泛，根据建筑模数可将桁架支撑设计成可调节支撑，便于现场周转，满足不同跨度的需要。

### 参考文献

- [1] 梁栋, 宋彪等. 装配式钢结构建筑研究及应用[J]. 北京: 建设科技, 2016.
- [2] 装配式钢结构建筑技术标准(GB/T 51232-2016)[S]. 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 桁架钢筋混凝土叠合板(60mm 厚底板) (15G366-1)[S]. 中国计划出版社, 2015.
- [4] 钢筋桁架楼承板规范(JGT368-2012)[S]. 中国标准出版社, 2012.
- [5] 装配式结构设计软件 YJK-AMCS 用户手册[M]. 北京盈建科软件股份有限公司, 2016.
- [6] 赵勇, 王晓锋. 预制混凝土构件吊装方式与施工验算[J]. 北京: 住宅产业, 2013.
- [7] 混凝土结构设计规范(GB50010-2010)(2015 年版)[S]. 中国建筑工业出版社, 2015.
- [8] 3D3S 技术手册[M]. 同济大学 3D3S 研发组, 2015.
- [9] 建筑模数协调标准(GB/T 50002-2013) [S]. 中国建筑工业出版社, 2013.

# 合肥水泥研究设计院有限公司科研项目 经费管理浅析

袁 玮

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 加强科研项目经费管理的重要性和必然性

科研创新能力是衡量企业发展潜力的重要指标, 科研项目经费管理水平高低对于能否顺利完成研发任务至关重要。近年来, 全社会对科研的投入呈逐年上升趋势, 企业科研项目经费管理水平已经成为项目验收的重要考核环节, 同时也是认定高新技术企业时重点关注的领域。

合肥水泥研究设计院有限公司(以下统称“合肥院”)是建材行业国家级科研院所, 具有深厚的科学研究底蕴, 曾先后承担和完成大量省、部级以上重点科研项目, 为建材行业科技进步和产业发展做出了重大贡献。近年来, 作为规模以上集科研、设计、产业和工程总承包于一体的高科技型企业, 合肥院年均研究与开发费用支出达 8300 万元, 占年成本费用总额的 6%, 占年管理费用总额的 45%。持续的研发投入对合肥院进一步增强创新动力, 实现健康可持续发展发挥了积极深远的意义。例如, 2015-2017 年, 合肥院因享受高新技术企业税收优惠累计减免企业所得税超过 8000 万元, 因享受研发费用加计扣除政策累计减免企业所得税超过 800 万元, 科研项目研发投入为合肥院直接带来了实实在在的实惠。

随着国民经济不断向高质量发展转型, 全社会对于科技创新愈发重视。科技创新往往以科研项目为载体, 加强科研项目规范管理, 尤其是以往容易忽略的科研经费财务核算的规范性、开支的合理性愈发重要。作为传统科研院所, 合肥院同样也存在着“重研发轻核算”的惯性思维, 如何加强和完善科研项目经费管理, 补齐短板, 这既是外部监管的客观需要, 更是合肥院自身主动作为, 夯实科研创新根基的必然要求。

## 2 合肥院加强科研项目经费管理若干举措

近年来，为更好满足各方对科研项目经费核算监管要求，不断提高全院科研项目经费精细化和专业化管理水平，合肥院从多个方面对科研项目的经费管理进行了有益的探索。

### 2.1 建立科研财务助理制度，增强经费管理责任意识

合肥院科研项目课题组成员大都是专业技术人员，过去大家关注的重点是如何开展研发工作和最终取得的技术成果，对有关科研经费政策和经费开支了解不足，而财务部门常常也疏于与科研人员的沟通对接，往往客观上造成了研发开支与账务核算的脱节，这难免会给项目最终的验收带来隐患。

2017年起，合肥院要求所有在研项目必须配备一名科研财务助理，以加强项目执行过程中的经费管理。财务助理的职责是了解科研项目的概况，参与项目经费预算的编制，对预算的执行进行监督并就过程中遇到的问题与院财务部门进行交流。科研财务助理的加入，增强了课题组自身合理规划、管控研发经费的责任意识，有效降低了科研人员与财务人员沟通过程中的专业壁垒，避免了过去“两不懂，沟通难”的现象，使得经费跟着预算走，保证了各在研项目的顺利实施。

### 2.2 主动作为，落实科研财务职能，提升参与科研的意识

科研项目经费的使用过程最终会以数据的形式体现在合肥院财务账面上，作为核算的主体，财务部门对于项目经费使用情况理应更加熟悉。在传统的管理模式下，财务部门关注的是数据的核算与分析，在就分析结果与科研人员进行沟通方面做的不够，未能有效的将财务分析与科研管理进行融合。

为了提升管理能力，增强科研参与意识，合肥院财务部门主动作为，落实科研财务职能，一方面定期对院重点科研项目的经费使用情况进行分析，就分析过程中发现的不足及时与各课题组进行沟通，提出建议，协助解决；另一方面，加强有关科研财务政策的学习研究，不断提高财务人员参与科研项目经费管理的能力和意识；此外，通过各种走访、调研和座谈等活动，就科研财务管理与各科研项目承担单位进行深入探讨，对如何更好的不断发挥财务部门的科研财务职能进

行交流，增进互信，推动工作目标完成。

### 2.3 实施科研项目备案制度，强化全过程监督管理

一直以来，以科技发展部和财务资产部为主的职能部门监督机制在合肥院科研项目管理中发挥着十分重要的作用。但不可否认，过去也存在部门之间信息传递不及时，以及财务人员对于科研实施过程、科研人员对经费管理规范缺乏必要了解的现实情况，使得监督机制存在一定的滞后性。为了改善这种情况，合肥院加强部门协同，要求各有关单位每年年初报送年度研发费用预算，并在项目成立时，将科研立项书及时由科技部门转交财务部门备案。财务部门通过了解项目研发基本过程，结合科研立项书上的经费预算，对课题组相关开支的规范性进行审核，同时在每个季度末检查各单位实际发生的研发费用与年初预算的相符程度，对出现较大差异的项目及时了解原因并据此对后期预算进行调整。

通过加强科研项目执行过程中的财务管理，一方面增进了财务人员对于科研具体过程的了解，调动了他们的主观能动性，使他们可以对于某些经费支出是否围绕有关项目发生做出较为准确判断，加强了财务的核算管理与预算的执行监督之间的协同效应；另一方面，通过对预算执行进度及经费列支合理性的动态管理，使得各课题组在预算执行存在偏差时及时进行修正，减少了项目验收前临时更正调账的情况，大大降低了财务验收风险。

### 2.4 加强政策宣讲和培训，将问题从事后推向事前

以往在项目验收前，课题组常习惯以补偿性措施去修正项目执行过程发生的经费偏差，这种“遇到问题，解决问题”的事后思维，已实难满足外部的严格监管要求。而导致这种思维产生的一个很重要的原因就是科研人员对财政部、科技部等部门发布的最新科技项目管理政策了解不及时，对项目资金开支范围、项目预算调整权限等重要规定缺少必要的学习。

近年来，为进一步规范合肥院科研项目的预算管理和费用列支，合肥院加大了相关政策的宣传力度，通过内部培训、专题会议、邀请中介机构和财务评审专家授课指导等形式，为科研项目负责人、骨干及财务助理解读相关政策及规定，

使他们在项目立项之初，就把相关政策和规定贯穿项目过程中，改变过去事后修正偏差为事前、事中管控，养成“思考问题、解决问题、执行项目”的项目管理理念。如为了做好省、部级科研项目的财务验收工作，合肥院邀请安徽省科研会计学会的科研财务评审专家同各课题组负责人、财务助理进行专题交流，研究落实各课题组在项目开题前、执行中、验收时遇到的问题及合理应对方案，确保项目财务验收的顺利通过。

### 3 合肥院科研项目经费管理仍须加强和改进的方面

在各方共同努力下，合肥院从思想观念、管理模式、人员配置等方面提升了科研项目经费管理水平，初步建立了行业范围内较为领先的科研项目经费管理模式。但个别科研项目在预算编制、执行过程中仍然存在一些短板和不足，有待改进完善。

#### 3.1 个别项目预算编制缺少必要的财务沟通

个别项目在编制预算时，财务人员的参与程度不足，预算对以往的经验 and 主观估计依赖较大，缺乏科学性和对财务支出标准的把握。这一方面削弱了项目经费预算的科学性和合理性，另一方面，由于对立项目标及资金需求了解不充分，财务人员难以发挥自身的主观能动性，可能导致预算失去按进度控制支出、高效使用资金的目的。

#### 3.2 实际预算执行与批复预算存在偏差

实际预算执行与批复预算存在偏差，主要体现在以下两个方面。一是各项经费的列支进度与批复预算存在偏差，有的费用在项目执行过半时账面发生金额就已经接近了预算总额，有的费用在项目临近尾声时还没有发生；二是科研项目的经费支出结构与批复预算不符，如个别项目会议费、差旅费、接待费的支出可能远远超出了批复预算，而材料费、绩效工资等支出却未能达到预算的金额。

#### 3.3 部分项目申报周期较长，市场环境变化较快

在项目立项阶段，项目组依据研发开展所需设备、材料的名称、数量、金额上报经费预算。由于大部分省、部级项目的申报周期在半年以上，待取得项目申

报批复，市场行情很可能已经出现了变化，部分设备、材料因自身性能改善（预算列名设备、材料已被淘汰）或市场供求变化，价格上涨，原有预算已经无法满足研发要求，使得实际预算执行与批复预算存在偏差。

### 4 进一步加强科研项目经费管理的几点思考

#### 4.1 提高项目预算编制的科学性、合理性

预算编制是否科学、合理关系到科研项目能否正常开展和顺利完成，关系到科研经费能否遵照经费使用的规定合理合规的列支。各科研课题组要建立起科学、规范、高效的预算编制体系，夯实预算执行基础，以项目研究内容、目标为依据，坚持按照目标相关性，政策相符性和经济合理性的原则，科学编制项目预算，切实提高预算的可执行性。

#### 4.2 建立多部门合作，精细化分工的科研管理体系

提升全院科研项目经费管理水平离不开各部门密切配合，需要课题组和院属职能部门的共同参与。各有关部门可以在精细化分工的基础上加强合作，利用现代化软件实现信息共享，把科研经费精细化管理的理念灌输到全体干部职工的思想中，变成各部门和员工的行动自觉，从而保证合肥院科研项目经费管理体系的有效运行。

#### 4.3 加强项目执行过程中的双向沟通，完善监督机制

加强科研项目的管理要避免虎头蛇尾的现象，既要抓立项管理，更要重视项目执行过程中的管理，管理的及不及时，效果名不明显与研发过程中课题组和财务部门之间的双向沟通密切相关。一方面，各科研课题组要密切关注科研项目的进展情况，对经费列支过程中的异常情况保持敏感性，积极就遇到的问题同财务资产部沟通交流；另一方面，财务部门要加强对预算执行进度的管理监督，建立预算执行报警制度，保证项目能够按期顺利完成，同时，要及时发现项目研究过程中存在的问题，给予课题组必要的提醒，并协助解决，扫除项目进行的障碍，为项目的顺利进行保驾护航。

#### 4.4 持续加强政策宣贯，不断提高科研项目经费管理水平

课题组成员作为科研项目管理的主导者和参与者，能否把握国家科技政策，树立经费管理理念，对于课题整体的研发实施至关重要。科研政策的学习需要与时俱进，同时也需要各职能部门通力配合，及时开展多种形式的宣教活动，不断提高全院科研经费管理水平。

科学技术是第一生产力，合肥院作为老牌科研院所，未来的发展更是与自身科研水平、创新能力息息相关。各科研单位和职能部门要保持“学习政策、运用政策、预防为主、动态监控”的管理理念，为进一步提升合肥院科研经费管理水平不懈努力。

# 采用先烧后浇消失模铸造工艺制作 出口国外大型水泥磨机衬板

谢志勇<sup>1</sup> 熊晖<sup>1</sup> 许涛<sup>1</sup> 余仲元<sup>1</sup> 许庆<sup>2</sup> 荆巨升<sup>2</sup>  
(1 合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051;  
2 徐州鑫华耐磨材料有限公司, 江苏 沛县 221618 )

## 1 序言

中材建设有限公司出口阿尔及利亚 ZAHANA 项目 2 套 $\Phi 5.2 \times 17\text{m}$  水泥磨机衬板和 BEC 项目 2 套 $\Phi 4.6 \times 16\text{m}$  水泥磨机衬板于 2017 年 3 月在北京进行招标, 合肥水泥研究设计院有限公司、比利时马科托中国分公司、德国非凡中国分公司、法国拉法基中国分公司等几家单位参与了投标。我院自 2006 年与中材建设有限公司先后合作了广州越堡水泥有限公司 $\Phi 4.2 \times 13\text{m}$  水泥磨机衬板、赞比亚 $\Phi 4.6 \times 15\text{m}$  水泥磨机衬板、埃塞 $4.2 \times 13\text{m}$  水泥磨机衬板等国内外项目, 并且所有衬板邀请法国拉法基中国采购中心质检部进行检查与验收。鉴于我院诸多的成功合作案例, 加上我院几十年的水泥粉磨设计经验和相对的价格优势, 中材建设有限公司最后选择我院为唯一中标单位。

## 2 磨机衬板工况条件与质量要求

阿尔及利亚 ZAHANA 项目和 BEC 项目水泥磨机为两仓开路磨工艺设计, 一二仓之间采用双层筛分装置(配 4mm 孔径内筛板), 用于粉磨波特兰水泥(95%熟料+5%石膏, 湿度 $< 6\%$ )。物料入磨粒度 10~20mm, 要求出磨水泥比表 $\geq 3200 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 出磨水泥温度 $\leq 90^\circ \text{C}$ 。磨机一仓配置 $\Phi 90$ 、 $\Phi 80$ 、 $\Phi 70$ 、 $\Phi 60$ 、 $\Phi 50$  五种规格高铬铸铁球研磨体, 衬板结构形式为沟槽阶梯衬板; 磨机二仓配置 $\Phi 50$ 、 $\Phi 40$ 、 $\Phi 30$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 15$  五种规格高铬铸铁球研磨体, 衬板结构形式为锥形分级衬板。磨机衬板使用寿命要求质保 3 年, 约 22000 小时。

## 3 磨机衬板磨损失效机理与材质选择

### 3.1 一仓衬板磨损失效机理与材质选择

磨机一仓入磨物料粒度为 10~20mm，铁球平均球径 70mm 左右，最大球径 90mm，硬度  $HRC \geq 58$ 。磨机运转时，磨内铁球在沟槽阶梯衬板的提升下形成完全抛落运动，对物料施加粉磨所要求的冲击力。球和物料以较大的冲击力凿削衬板，球在下落滑动或滚动中挤压物料，物料尖角切削衬板，因此，一仓沟槽阶梯衬板的磨损失效机理是以高应力冲击凿削磨料磨损为主，以挤压切削磨损为辅。

一仓沟槽阶梯衬板受高应力冲击凿削，要求材料有足够韧性；受切削磨损，要求材料具有高硬度。根据磨损原理，材料硬度 ( $H_m$ ) 应为物料硬度 ( $H_a$ ) 的 0.8~1.2 倍，即  $H_m / H_a = 0.8 \sim 1.2$ 。水泥熟料硬度为  $HV 500 \sim 550$ ，相当于  $HRC 50 \sim 55$ ，所以衬板材料硬度应在  $HRC 44$  以上才耐磨。由于受高应力冲击凿削，冲击韧性  $a_k \geq 20J/cm^2$  才能不开裂，满足安全使用要求<sup>[1]</sup>。鉴于磨机直径较大，粉磨物料硬度高，加上衬板使用寿命质保三年，我们选择中碳铬钼镍合金钢材质，确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 46$ ，冲击韧性  $a_k \geq 25J/cm^2$ 。

### 3.2 二仓衬板磨损失效机理与材质选择

磨机一仓物料经过铁球冲击与挤压破碎后，通过双层筛分隔仓板进入到二仓，此时物料已变细，尖角变钝。二仓入磨物料粒度  $\leq 4mm$ ，铁球平均球径 25mm 左右，最大球径 50mm，硬度  $HRC \geq 58$ 。铁球通过曲面锥形分级衬板沿轴向从大到小进行自动分级排列，大球集中于进料端有利于粗磨，小球集中于出料端有利于细磨。二仓里的铁球直径 15-50mm，冲击力小，对物料的作用力方式以研磨为主，最外层铁球与衬板之间产生切向滑动。在此工况条件下，二仓锥形分级衬板磨损为磨料磨损、塑性变形以及在较高粉磨温度下的低应力切削磨损等多种失效机制的叠加效应。因此，二仓锥形分级衬板的磨损失效机理是以低应力切削摩擦磨损为主。

二仓锥形分级衬板主要受低应力切削摩擦磨损，要求材料具有一定的韧性和较高的硬度。鉴于磨机直径较大，粉磨物料硬度高，加上衬板使用寿命质保三年，我们选择中碳铬钼合金钢材质<sup>[2]</sup>，确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 50$ ，冲击韧性  $a_k$

$\geq 10\text{J}/\text{cm}^2$ 。

#### 4 磨机衬板化学成分设计

一仓沟槽阶梯衬板材质为中碳铬钼镍合金钢，具体化学成分见表 1；二仓锥形分级衬板材质为中碳铬钼合金钢，具体化学成分见表 2。

表 1 中碳铬钼镍合金钢化学成分 (%)

C	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	S、P
0.30~0.50	5.0~7.0	0.3~1.0	0.3~1.0	0.3~0.8	0.5~1.0	$\leq 0.05$

表 2 中碳铬钼合金钢化学成分 (%)

C	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	S、P
0.45~0.65	5.0~7.0	0.2~0.5	/	0.5~1.0	0.5~1.0	$\leq 0.05$

#### 5 消失模铸造工艺

##### 5.1 模具制作与填埋造型

选用消失模专用 EPS 泡沫板为原料，采用电脑编程机器切割和人工粘接的生产方式分别制作衬板和浇注系统模型。模型表面浸涂水基石英粉涂料或锆石英粉涂料后送入烘房烘干，进行 2-3 次浸涂和烘干，涂料均匀覆盖，厚度控制在 1.5-2mm，确保涂料具有充足的通透性和足够的强度。

事先在五面抽气的专用砂箱底部充填 100-200mm 高 20~50 目干石英或宝珠砂，振实平整后放入烘干组装好的模型，采用雨淋式加砂，边加砂边振动，确保模型填埋紧实。填埋过程中，一旦发现模型表面或浇注系统连接处涂料出现破损，应立即用胶布粘贴修补并补刷涂料，然后用电吹风吹干。

磨机衬板 EPS 泡沫模型如图 1 图、2 所示，图纸设计单重 42-45kg。前期我们采用钢水直接熔化 EPS 泡沫模型的消失模铸造工艺进行试制时，发现衬板表面皱皮、夹渣、气孔较多，内部存在夹渣、气孔、缩孔等缺陷。经过前期多次生产试制试验，我们不断总结，最终确定采用浇冒一体顶注，一浇多件的“先烧后浇”的消失模铸造工艺，工艺出品率控制在 65-70%。



图1 一仓衬板 EPS 模型

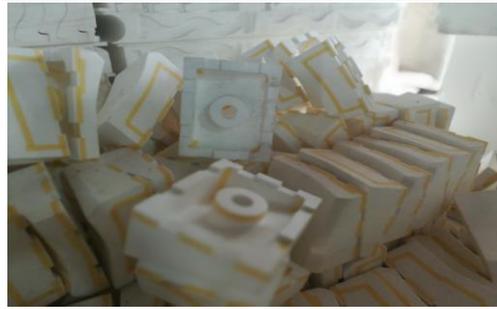


图2 二仓衬板 EPS 模型

## 5.2 熔炼与先烧后浇

采用 2000Kg 碱性镁砂炉衬中频电炉熔炼生产，熔炼前加入石灰石+碎玻璃复合造渣剂，待大部分炉料熔化后扒渣，然后加入锰铁、硅铁脱氧调整成分，按 1kg/t 的量插入铝丝进行终脱氧后出炉浇注。出炉温度控制在 1620~1650℃，钢水镇静若干分钟后浇注，浇注温度控在 1570~1600℃。将浇包预热至 600~800℃，浇注前在浇包内加入一定量的 Re-A1-Bi-Mg 复合变质剂<sup>[3]</sup>。钢水倒入浇包后立即铺撒聚渣剂，使残余熔渣迅速聚集，进一步净化钢水，同时形成一层保温覆盖膜。

浇注前砂箱抽真空形成一定负压，控制在 0.04~0.06Mpa，并一直持续到钢水浇注完成并凝固成型。用乙炔氧气燃烧填埋在砂箱中的 EPS 浇注系统和衬板泡沫模型，泡沫模型燃烧完全后，从浇口杯中注入高温钢水，直至钢水充满燃烧完全后的泡沫模型型腔<sup>[4]</sup>。钢水凝固成型后卸掉负压，在砂箱缓慢冷却，直至衬板铸件表面温度降至 300℃ 以下。开箱倒出凝固成型的衬板铸件，冷却到室温。如图 3、图 4 所示，大部分衬板表面光洁，没有表面皱皮、夹渣、气孔等铸造缺陷。随后进行浇冒口切割和表面飞边毛刺打磨修整，随机切割解剖几件一二仓衬板，没有发现气孔、缩孔、夹渣等铸造缺陷，内部结构十分致密。



图3 一仓衬板浇注工艺



图4 二仓衬板浇注工艺

## 6 热处理工艺的设计

### 6.1 一仓衬板热处理工艺的设计

在淬火升温过程中，钢中的合金元素在奥氏体中的溶解度随温度的升高而增大。淬火温度较低时，碳、铬、钼、镍等合金元素在奥氏体中的溶解度较低，淬火后基体组织中马氏体的含碳量及合金元素含量较低，基体组织硬度较低。随着淬火温度的提高，奥氏体中的含碳量及合金含量增加，淬火后基体组织中马氏体的含碳量及合金元素含量增加，基体组织硬度增加。如淬火温度过高时，奥氏体中的含碳量及合金含量过高，奥氏体稳定性大大提高， $M_s$  点降低，淬火后基体组织中残余奥氏体含量增加，马氏体含量减少，基体组织硬度降低<sup>[5]</sup>。

一仓沟槽阶梯衬板主要承受高硬度钢球和较硬物料高应力冲击凿削，要求具有足够的冲击韧性和较高的硬度。为此我们选择合金含量较高的中碳铬钼镍合金钢作为衬板的材质，以确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 46$ ，冲击韧性  $a_k \geq 25J/cm^2$ 。经过前期大量试验摸索与研究，我们设计了正火+淬火+回火热处理工艺，如图 5 所示。

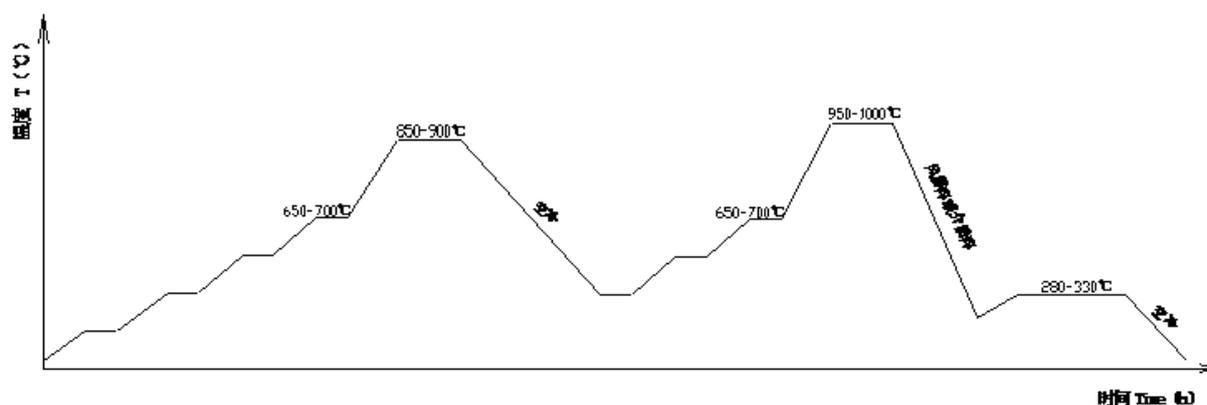


图 5 一仓衬板热处理工艺图

### 6.2 二仓衬板热处理工艺的设计

二仓锥形分级衬板主要承受高硬度钢球和较硬物料低应力摩擦切削，要求具有一定的冲击韧性和较高的硬度。为此我们选择中碳铬钼合金钢作为衬板的材质，以确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 50$ ，冲击韧性  $a_k \geq 10J/cm^2$ 。根据常规热处理要求，我们设计了淬火+回火热处理工艺，如图 6 所示。

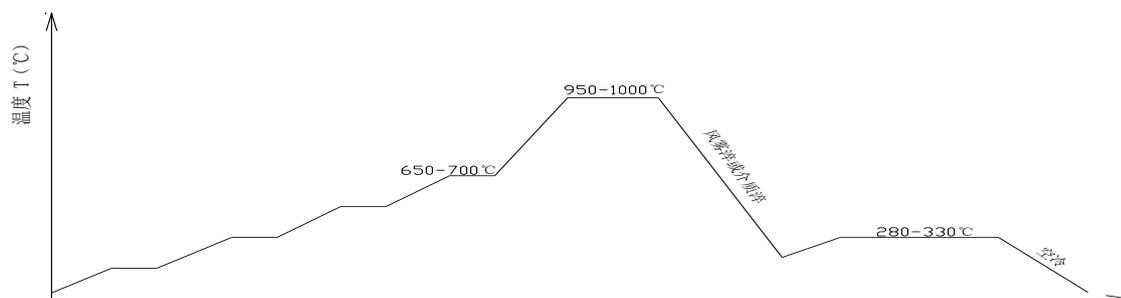


图6 二仓衬板热处理工艺图

## 7 表面着色渗透探伤与机械性能检测

### 7.1 表面着色渗透探伤

根据合同要求,中材建设有限公司派遣专门质检人员对磨机衬板表面渗透着色探伤。随机挑选几件热处理后经过抛丸处理的磨机衬板,表面均匀喷洒专用渗透剂,静置 5-10 分钟,用自来水或专用清洗剂将衬板表面清洗干净,用干净棉布将衬板表面擦干或静置风干,然后均匀喷洒专用显影剂<sup>[6]</sup>。如图 7、图 8 所示,大部分着色后的磨机衬板没有发现裂纹、气孔、缩孔等铸造缺陷,满足国外用户现场使用要求。



图7 一仓衬板着色探伤



图8 二仓衬板着色探伤

### 7.2 机械性能检测

根据合同要求,中材建设有限公司派遣专门质检人员对磨机衬板机械性能进行抽检。随机挑选几件热处理后经过抛丸处理的磨机衬板,在衬板本体上线切割 10×10×55mm 无缺口冲击试样若干,在冲击试验机上进行冲击韧性检测,在台式洛氏硬度计上对冲断后的试样进行硬度检测,具体检测数据如表 3、表 4 所示。热处理后磨机衬板机械性能指标大于预期指标,完全满足使用工况条件。

表 3 一仓衬板机械性能

编号	硬度 HRC						冲击韧性 J/cm <sup>2</sup>					
	1	2	3	4	5	平均值	1	2	3	4	5	平均值
1#	46.5	47.8	48.3	48.8	47.6	47.8	28	30	45	36	42	36.2

表 4 二仓衬板机械性能

编号	硬度 HRC						冲击韧性 J/cm <sup>2</sup>					
	1	2	3	4	5	平均值	1	2	3	4	5	平均值
2#	51.6	52.5	52.4	53.6	54.2	52.9	10	12	14	15	18	13.8

## 8 结语

(1) 一仓沟槽阶梯衬板主要承受高硬度铁球和高硬物料高应力冲击凿削，要求具有足够的冲击韧性和较高的硬度。选择合金含量较高的中碳铬钼镍合金钢作为衬板的材质，确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 46$ ，冲击韧性  $a_k \geq 25J/cm^2$ 。采用正火+淬火+回火热处理工艺，热处理后磨机衬板机械性能指标大于预期指标，完全满足使用工况条件。

(2) 二仓锥形分级衬板主要承受高硬度铁球和高硬物料低应力摩擦切削，要求具有一定的冲击韧性和较高的硬度。选择中碳铬钼合金钢作为衬板的材质，确保热处理后衬板硬度  $HRC \geq 50$ ，冲击韧性  $a_k \geq 10J/cm^2$ 。采用淬火+回火热处理工艺，热处理后磨机衬板机械性能指标大于预期指标，完全满足使用工况条件。

(3) 磨机衬板采用浇冒一体顶注，一浇多件的“先烧后浇”的消失模铸造工艺，工艺出品率控制在 65-70%。出炉温度控制在 1620~1650℃，浇注温度控在 1570~1600℃。对热处理后经过抛丸处理的磨机衬板进行表面渗透着色探伤，大部分没有发现裂纹、气孔、缩孔等铸造缺陷，满足国外用户现场使用要求。

### 参考文献：

[1] 李文学. 水泥工业用管磨机衬板材质的优化选择[N]. 中国建材报, 2009-6-25  
 [2] 鲁修宇, 等. 中碳铬钼合金钢球磨机衬板的研究[J]. 《热加工工艺》, 2010 年第 21 期  
 [3] 郭长庆, 等. 复合变质处理高铬铸铁破碎机锤头的研制[J]. 包头钢铁学院学报, 2006, (6)  
 [4] 杜晓明, 等. 负压下先烧失白模再浇注的消失模铸造[J]. 《铸造》, 2009 年第 58 期  
 [5] 夏立芳, 等. 金属热处理工艺学(修订版)[M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2008-5-1  
 [6] 谢科生. 铸件表面的着色探伤[J]. 《汽车工艺》, 1989 年第 02 期

# 基于 PCS7 V8.0 冗余控制系统在水泥生产线中应用

顾 威

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

水泥生产企业过程控制系统负责整个控制、监视和记录生产及制造过程。控制系统的不可靠将导致系统不稳定,运行错误,停机后产生故障,轻则影响工艺指标造成经济损失,重则产生事故后果无法预计<sup>[1]</sup>,随着水泥厂设备规模的逐渐扩大,水泥工艺生产要求日趋复杂,水泥厂控制系统自动化管理程度不断提高,水泥自动化控制系统的稳定性,可靠性,先进性作用在生产中越来越重要,传统非冗余的DCS 或者FCS 系统由于采用单CPU、单网络,无法保证控制系统长时间稳定高效运行,因此,在过程控制系统中使用冗余设计,可以提高控制系统的稳定性和可靠性,将生产故障的风险和损失降至最低,确保整个系统连续高效的生产运行。

## 1 SIMATIC PCS7和项目简介

SIMATIC PCS7是基于现场总线的新一代过程控制系统,它是一个全集成的,结构完整的,功能完善,面向整个生产过程的过程控制系统,它综合了DCS、PLC及现场总线技术,开放式网络结构、开放式操作系统以及开放式接口使公司范围内,即从生产级到管理级的整个信息系统的最优化<sup>[2]</sup>;基于标准的SIMATIC 软件和硬件组件,强大的HMI系统和基于SQL服务器的归档系统,通过现场总线技术,方便而灵活地实现现场设备和驱动系统集成。

越南广福5000t/d熟料水泥生产线是由合肥水泥研究设计院设计建设生产的一条国外总承包EPC项目,项目位于越南中部广萍省洞海市境内,该项目过程控制系统采用了基于SIMATIC PCS7 V8.0的冗余设计,根据可靠性和故障安全相结合的形式,通过系统网络冗余、服务器冗余、通过光纤同步的控制器的冗余、ET200M

冗余等各个层级上的冗余设计实现了有冗余和故障安全功能的全自动控制系统，提高了整个系统的可靠，安全和稳定性。

## 2 冗余系统网络结构和冗余系统组成

### 2.1 冗余系统网络结构

本控制系统采用了3层网络分布式控制系统结构：终端网络层，系统网络层，现场网络层，控制系统网络结构框图如图1所示：

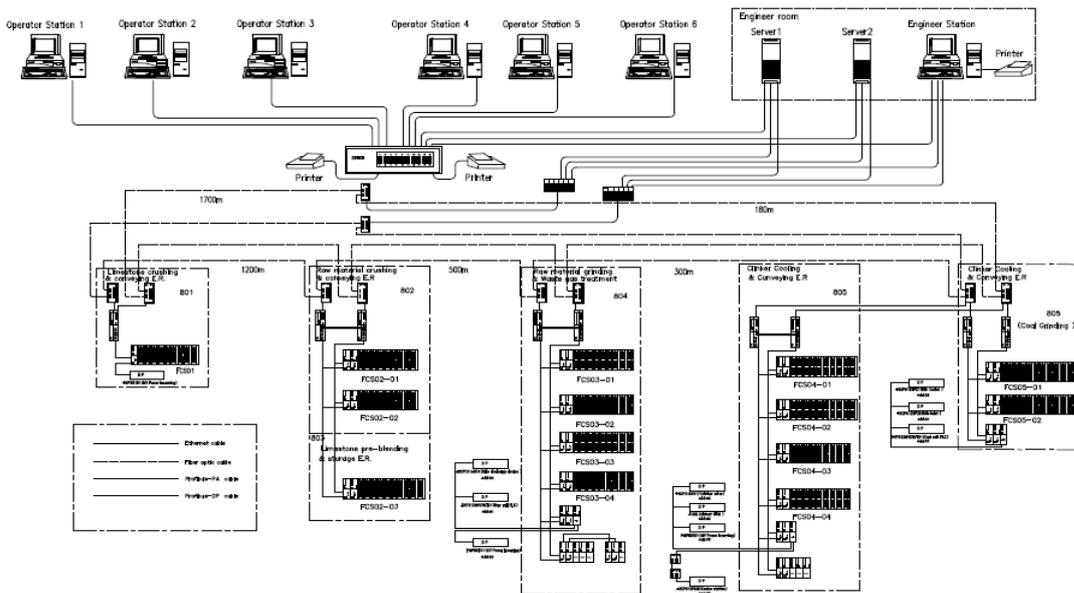


图1 冗余控制系统网络结构图

终端总线网络层：由工程师站上装有的普通网卡，服务器上装有的普通网卡和各个客户机之间形成的基于TCP/IP协议的以太网，客户机操作员站通过服务器获得来自现场控制器的数据并把操作员的输出控制传送到控制器去。

系统总线网络层：由工程师站上装有的两块CP1613网卡，服务器上装有的两块CP1613网卡和现场各系统冗余控制器(AS)之间的通过光纤连接形成基于ISO 协议的双冗余环型结构以太网，满足操作员站，工程师站，服务器对现场设备的监视，控制和管理。

现场级网络层：在PCS7系统中，现场控制器对现场I/O站或对现场智能总线设备及仪表通过PROFIBUS- DP总线进行通信，实现对现场设备及仪表的信号检测和输出控制。

## 2. 2 冗余系统组成

对于本项目控制系统采用了客户机/服务器（C/S）的监控结构，共配置一台工程师站ES (Engineer Station), 两台冗余服务器OS server, 6台客户机OS Clients, 4对冗余的AS控制器和一台单个AS控制器，控制整个水泥熟料生产的全过程。包括：石灰石破碎、辅材破碎，石灰石及辅材预均化堆场，原料配料、生料粉磨、生料均化及窑尾废气处理、窑头及煤磨、熟料储存等部分。

### 2. 2. 1 工程师站ES

项目中配置一台工程师站，工程师站主要实现项目创建，硬件组态，网络配置，组态编程，程序调试等，现场主控制器接收来自工程师站下载的控制程序，并通过工程师站对其参数，程序，运行方式进行修改和监控等，工程师站把编写好的程序经过编译上传到冗余服务器并自动生成组态画面，并通过终端总线网络传送到每个客户机操作员站中。

### 2. 2. 2 冗余服务器OS server

WINCC两台服务器之间的通讯通过一根终端总线互相连接，组成一对冗余服务器，协调工作。每台服务器都有自己的过程连接和自己的数据归档，正常工作时，来自于现场AS控制器的过程数据和消息送往主服务器，如果一台服务器发生故障，则会在操作画面中提示冗余网络故障消息，客户机将自动从故障服务器切换到正常运行的服务器上，从而确保所有的客户机操作员站客户端连续不间断的对全厂自动化系统的监视和操作。在一台服务器发生故障期间，正常的服务器继续归档WinCC 项目中的所有消息和过程数据。当故障服务器恢复正常在线后，故障发生期间的消息，过程值和用户归档的记录会自动复制到恢复后的服务器，从而保证了服务器数据的完整和连续。

### 2. 2. 3 客户机OS Clients

客户机是用于控制和监视自动化过程的 PC 站。客户机操作员站主要以WINCC为基础，将水泥生产的工艺流程以图形方式进行表述，操作员站对全厂整个水泥生产流程进行图形化的监控和操作，同时具备报警记录和历史数据记录功能，通

过报警信息提醒操作员对实际故障的处理。在组态项目时通过在客户机中指定首选服务器，可以在冗余服务器之间分布多个客户机，客户机在服务器之间的分布分担了系统运行的负载，并提高系统的整体性能，同时在从激活状态的服务器到其伙伴服务器的失效转移期间，也可连续操作自动化过程。

## 2.2.4 AS主控制器

该系统现场控制站采用以AS-400H为主控制器构成的PCS7冗余自动化系统，由两套冗余AS416-5H（生料磨站和窑头站），两套冗余AS414-5H（窑尾站和煤磨站），一套AS412-H（石破站）组成。AS-400H控制器用于实现对现场设备的运行状态监控，数据采集及处理，电气设备开关控制等系统控制功能。

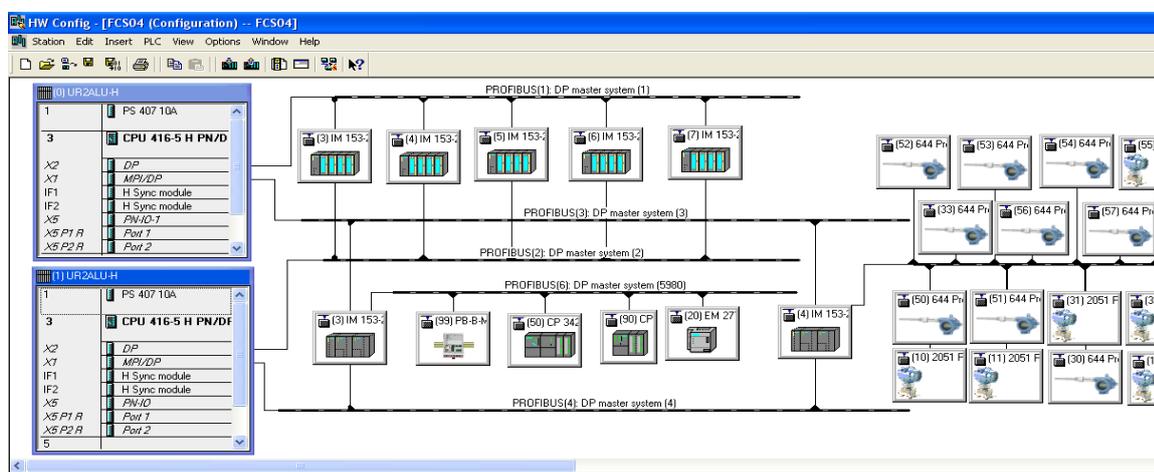


图2 冗余控制器硬件配置

AS-400H主控制器主要由如下几部分组成：

- 1) 全冗余容错热备安装机架（UR2- H）；
- 2) 2个全冗余容错热备电源模块（PS407）；
- 3) 2个全冗余容错热备中央处理单元（CPU400-H）<sup>[3]</sup>；

两套互为热备的AS-400H之间通过两对光纤电缆连接到各个同步模块，形成了两个自动化站之间的冗余连接，共同建立一个“主”和“热备”的双通道容错系统，实现同步通讯功能，可保证两台CPU程序和数据的一致性，在系统正常的运行中，一个CPU为主站，另一个CPU处于热备状态，一旦主CPU出现故障，处于监控状态下的热备CPU立即自动变成主站，以代替原CPU进行无扰动切换接替其控制功能，

保证了系统正常连续运行而不会中断。

全冗余容错热备AS400-H控制站具有2套工业以太网通讯接口模块,通过2条独立的光电交换机和光纤电缆实现与系统服务器、工程师站相连接,同时通过2条独立的Profibus-DP过程现场总线实现与各个分布式现场I/O站相连接。

### 2.2.5 AS控制器与现场I/O站之间的通信

现场控制站ET-200M分布式I/O通过2条冗余Profibus-DP现场总线与主控制器进行实时通信,采集现场数字量或模拟量信号,同时将主控制器的控制信号送至现场。ET200M分布式I/O站的有源背板总线上插有两个IM153-2通信接口模块,在系统运行过程中,当其中某一个IM153-2通信接口模块或电缆发生故障时,系统能快速自动地切换到另一个IM153-2通信接口模块,并可带电热插拔更换发生故障的通信接口模块而无需停止系统,提高了系统现场控制级网络的可靠运行性。

在项目窑头站有一台含DP通讯模块的中压柜微机综保装置;一台带有S7-300 PLC的IKN篦冷机现场控制柜、以及采用带有通讯模块EM277的 S7-200的水泵房自动给水装置,为保证上述智能总线设备和冗余控制器通讯的可能,采用了Siemens的Y-Link和上述设备通讯, Y-Link连接器创建了一个从 AS-400H冗余DP主站系统到非冗余DP从站的网关,通过Y-Link可将只有一个PROFIBUS-DP接口的设备连接到带有冗余DP主站系统。每个Y-Link有源背板总线上插有两个IM157通信接口模块,当其中某一个IM157 通信接口模块发生故障时,系统能自动地切换到另一个IM157通信接口模块,保证了设备层通讯的不间断性。此外,通过DP/PA Link模块实现Profibus-PA总线上的设备与冗余Profibus-DP的连接,本项目中现场通过Profibus-PA总线连接的仪表主要分布在窑尾五级预热器和窑头篦冷机处;主要是测量预热器出口的温度变送器和压力变送器和测量窑头冷风机出口的压力变送器和流量变送器等。

## 3 冗余系统软件设计

### 3.1 控制逻辑组态

本系统的软件设计采用了的SIMATIC PCS7 V8.0 SP1版本,控制逻辑采用

SIMATIC Manager 管理器下的CFC(连续功能图)进行组态, CFC是一种用于连续过程自动化控制的图形组态工具, 以功能块为基础进行组态, PCS7系统配置了很多预编程的功能块, 这些功能块以库的形式体现, 通过利用系统目前最新的PCS7 V8.0 SP1版本APL (Advanced Process Library) 库提供的大量功能块(包括普通电机, 双向电机和各种电动阀等控制模块)来实现驱动现场装置。SFC(顺序功能图)主要用于小型的批量操作等顺序控制的自动化任务, 这种图形化的组态工具通过工艺上的顺序控制, 生成流程图式的结构。

## 3.2 WINCC 画面设计

WinCC 是SIMATIC PCS7 过程控制系统的人机界面组件, 具有完善的监控管理功能, 显示界面丰富, 操作方式合理, 可以对系统各个站点的设备的状态进行控制, 并对主要数据进行实时采集, 传输, 处理, 显示, 报警, 记录打印等:

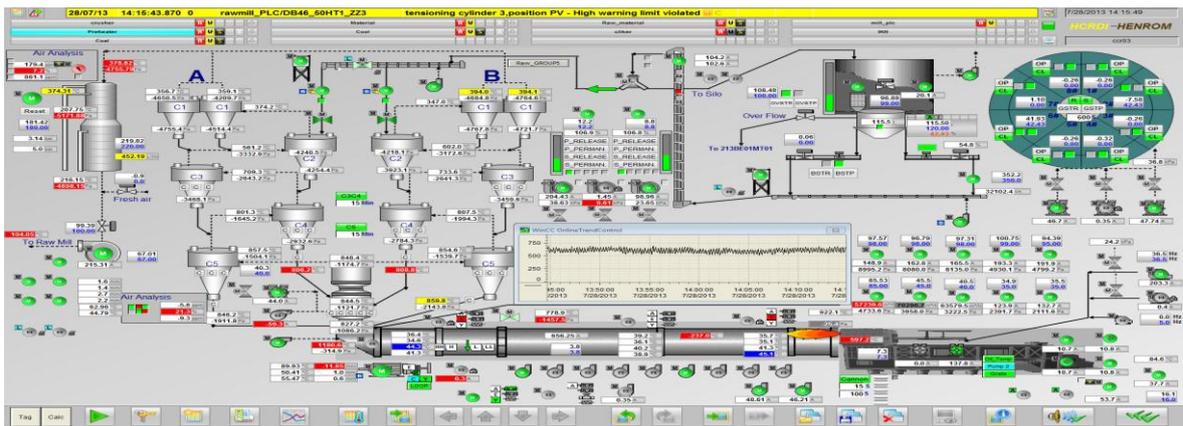


图3 项目“窑-预热器”实时运行画面

具体功能特点如下:

- (1) 工艺流程监控功能: 系统能按工艺要求对水泥生产的各个环节参数及设备状态进行监控, 同时根据工艺要求对工艺参数进行修改, 对水泥生产过程设备按程序设计进行自动控制和调节。
- (2) 实时画面显示功能: 用图形实时地显示现场电机或设备的运行状况, 以及现场的状态参数。用模拟量图, 趋势图, 柱形图动态显示参数的实时变化情况, 使生产操作人员能够快速, 清晰的了解整个系统的运行情况<sup>[4]</sup>。
- (3) 实时数据曲线和历史数据曲线: 对重要的工艺参数包括电流, 温度, 压力,

流量值可以进行实时曲线显示，并选择性记录相关参数历史数据。

- (4) 报警功能：当参数超过设定范围或设备发生故障时，可根据组态显示不同等级的报警并作出相应的反应，所有报警信息均被记录在服务器报警数据库中，有利于以后的事故分析查询使用。

#### 4 冗余系统使用总结

越南广福5000t/d熟料水泥生产线采用的SIMATIC PCS7 V8.0 是基于现场总线的新一代过程控制系统，它是一个全集成的，结构完整的，功能完善，面向整个生产过程的过程控制系统，项目采用先进的客户机/服务器结构，基于标准的SIMATIC软件和硬件，以具有容错技术的控制器S7-400H为中心，实现了对整个熟料水泥生产线的有冗余和故障安全功能的控制系统，同时在整个系统从现场设备层、过程控制层到总线网络层采用冗余的通信方式，其自上而下各层次良好的容错性能在提高系统的可靠性和稳定性的同时，大大提高了水泥企业的产品产量和质量，为企业节省了运行成本，提高企业的竞争力，实现“生态文明建设”方面有着显著的经济效益和社会效益。

#### 参考文献

- [1] 韩服善 赵中敏. 基于容错技术的过程控制系统的可靠性研究 [J]. 起重运输机械. 2009, (1). 3-7
- [2] 胡明瑜. PCS7在水泥行业的应用 [J]. 自动化与仪器仪表. 2010, (1). 67-68
- [3] 马继东. PCS7冗余系统在选矿厂中的应用 [J]. 科技风. 2013, (2). 117-118
- [4] 鄂旭, 乔妍. 基于西门子S7-400H系统在污水处理系统中的应用 [J]. 科技致富向导. 2013, (6). 232

# 钢丝胶带提升机在生料辊压机终粉磨系统中的应用

杨 勇

(中建材(合肥)机电工程技术有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 0 引言

生料粉磨是水泥生产过程的一个重要环节, 此环节的配套可选方案有中卸烘干磨、立磨和辊压机三种方式。随着新型干法水泥生产线的不断发展, 国家对各行业节能降耗要求不断提高, 近几年辊压机作为生料终粉磨制备方式备受青睐。辊压机生料终粉磨系统的典型工艺如图 1 所示。该系统物料提升依靠斗式提升机机械提升, 在原料易磨性中等、相同生料细度的情况下, 大大降低系统用风量和电耗<sup>[1]</sup>。

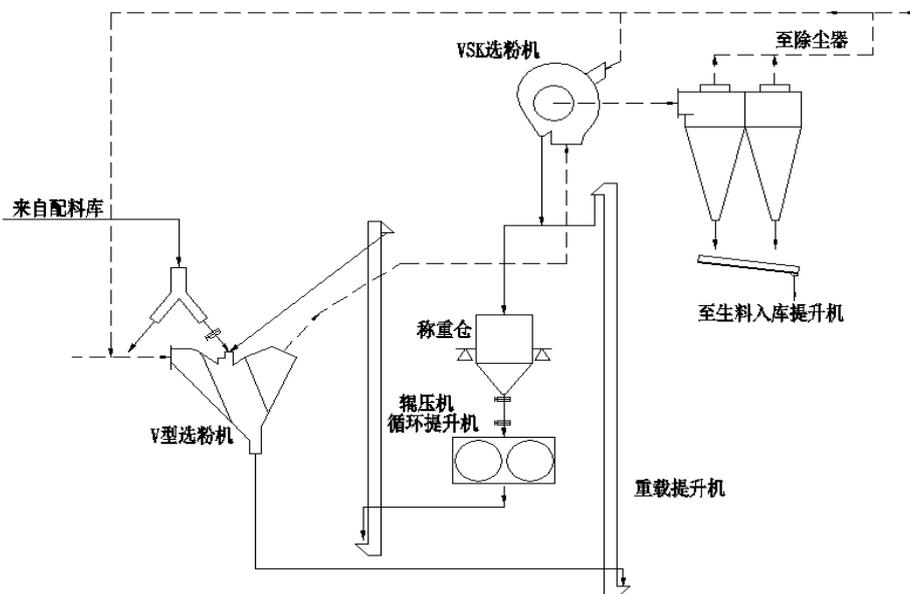


图1 生料辊压机终粉磨系统

## 1 基本现状与存在的问题

目前, 国内外水泥厂生料辊压机终粉磨系统配套的重载提升机(出V选)和循环提升机(出辊压机)普遍采用板链(中央链)提升机。典型工艺流程如图 1

所示。在实际使用过程中，存在以下几方面问题：

(1) 由于比较复杂的原因，早期辊压机系统易出现料仓塌料，导致后级提升机堵料甚至过载跳停等现象，影响生产效率、维护工作量大。国内 A 厂辊压机循环提升机使用中央链提升机，使用情况如图 2-3 所示。

(2) 生料原料和出辊压机混合料具有较高的磨蚀性，板链（中央链）提升机牵引件由多个链板和柱销装配连接而成，物料进入任一连接件均可引起链板或柱销磨损失效，甚至链条断裂，使用安全隐患较高。A 厂辊压机循环中央链提升机，使用中链板柱销断裂情况如图 4-5 所示。

(3) 板链（中央链）提升机牵引件自重大、输送高度低、链速低，在同等输送能力情况下，链式提升机（与胶带提升机相比）效率低、回料率高、能耗高。



图 2、3 A 厂中央链辊压机循环提升机使用情况



图4、5 A厂循环提升机柱销断裂

## 2 工艺方案与技术指标

### 2.1 工艺方案

如前所述，生料辊压机终粉磨系统中板链（中央链）提升机存在相应问题和诸多安全隐患，不利于安全生产和节能降耗。本文以系统的观点提出钢丝胶带提升机应用于生料辊压机终粉磨系统中物料的机械提升。从系统工程出发，将辊压机、胶带提升机及相应工艺装备作为一个系统研究对象，以辊压机和重载提升机联合安全高效运行为目标，同步提供多机监控与料机联动、互相配合的工艺和机电一体化运行保障系统，为用户提供合理、完整、系统的解决方案。

胶带提升机应用于生料辊压机终粉磨系统中的物料提升主要有两种方式：一是替代原有板链（中央链）提升机进行整台更换，二是对原有板链（中央链）提升机进行技术改造，仅保留设备壳体，对传动系统、机头、机尾、牵引件等进行改造更换。

### 2.2 技术指标

本文提出的胶带提升机用于生料辊压机终粉磨系统中的物料提升，主要针对相对高温干粉粒状辊压机循环物料提升（物料粒度 $<50\text{mm}$ 、温度 $<120^{\circ}\text{C}$ 、物料水分 $\leq 2\%$ ）。

## 3 技术方案

由于辊压机运行过程中工况复杂多变、根据辊压机系统输送物料种类、颗粒度、温度、湿度等物料特性，与以往胶带提升机相比，生料辊压机终粉磨系统胶带提升机在关键部件设计、材料选择上进行了多项技术创新。生料终粉磨系统辊压机循环重载胶带提升机由主机、驱动系统、牵引件、提升机构等构成，同时在关键部位设计耐磨结构、头轮清扫装置、防回料系统等。

## 4 使用效果

云南绥江浙浦水泥厂新建日产 2500t/d 水泥熟料生产线，生料粉磨使用 V 型选粉机配套辊压机终粉磨系统，其工艺流程图如图 6 所示。CLF200-160 生料辊压机终粉磨系统，主电动机功率  $2 \times 1250\text{kW}$ ，循环风机处理风量  $450000\text{m}^3/\text{h}$ 、全压

6800Pa，称重仓容量为 30t，辊压机通过能力 $\sim$ 850t/h，料饼厚度 40 $\sim$ 60mm。重载提升机选用波特兰胶带提升机 N-TGD 1250，输送能力 850-1100t/h，循环提升机选用波特兰胶带提升机 N-TGD 1250，输送能力 1000-1200t/h。采用是四组分配料，石灰石：页岩：硫酸渣（磷渣）：煤矸石=79：13：5：3。

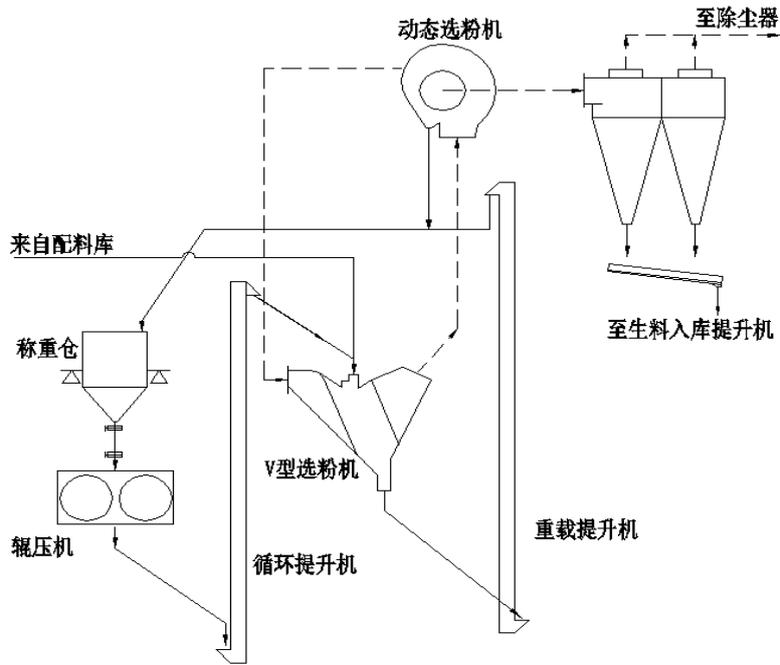


图 6 生料辊压机终粉磨工艺流程

两台胶带提升机投运 1 年多来效果良好，系统运行正常、电流平稳、节能效果显著，用户评价很高。图 7 为正常两个工作周期内中控检测提升机电流示意图。图 8 为生料辊压机终粉磨胶带提升机使用现场。

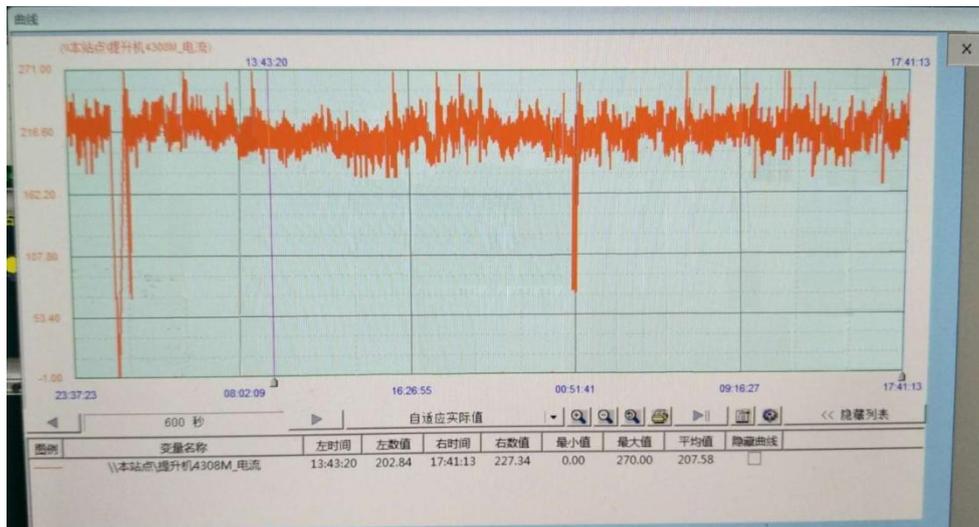


图 7 中控检测循环提升机电流



图8 生料辊压机终粉磨胶带提升机使用现场

## 5 使用中注意问题

(1) 监控循环胶带提升机电流，避免辊压机泄压造成提升机埋料。当称重仓内细粉过多，辊压机开停机时更为关键。因为停机时无块状物料进入，而系统内的粉状物料经循环后进入到称重仓，开气动阀前先将称重仓后级棒条阀间隔插入，控制好入辊压机物料量。

(2) 监控辊压机前级称重仓料位。料位过高或过低，都易造成料仓塌料，物料经辊压机进入胶带提升机，造成提升机尾部埋料。

由(1)或(2)引起的机尾意外埋料情况，应先检查埋料原因，将尾部埋料清理后，重新启动提升机。

(3) 辊压机的侧挡板为易损件，当侧挡板磨损后，部分物料就会不经辊压机而直接进入循环胶带提升机，造成提升机和辊压机主机电流高，日常维护时需注意。

(4) 注意整体系统负压，控制循环风机进口负压低于 6500Pa，适当多用系

统内的循环风，少给系统内增加冷风，减小系统负荷。

(5) 日常操作中主要针对系统的负压(循环风机入口、旋风除尘器入口、V型选粉机入口)及温度进行合理控制，根据称重仓的仓位、辊缝及辊缝差、循环提升机电流、辊压机主电动机的电流等来加减物料，通过调节动态选粉机的转数来调节物料细度<sup>[2]</sup>。

## 6 结论

钢丝胶带提升机在生料辊压机终粉磨系统的成功应用，大大提高了辊压机循环提升工艺环节的效率、安全性和可靠性，同时显著降低了系统能耗。该设备的成功开发，是水泥行业的一次重量级技术创新，对推动水泥行业清洁生产、绿色发展有着重要意义，市场前景广阔。

## 参考文献

- [1] 李新萍. 中卸烘干磨、立磨和辊压机生料终粉磨方案比较[J]. 水泥, 2010 (10): 42—43.
- [2] 王刚. 生料辊压机终粉磨系统在2500t / d生产线上的应用[J]. 水泥, 2008.No. 6.

# VPN 软件的实际应用

胡子光

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

## 1 VPN 软件使用的必要性

### 1.1 网上工作室文件传输的局限性

局域网建设都是为了更加方便快捷地传输文件,一些重要的文件、设计图纸、核心技术资料等通过局域网进行传输远比通过英特网 (INTERNET) 要方便快捷和安全可靠。

我院就是通过网上工作室进行文件传输,其主要作用就是让用户连接上一个局域网内的服务器查看远程计算机有哪些文件,然后把文件从服务器上拷到本机,或把本机的文件送到服务器去。本单位员工可以通过内网分配的 IP 地址访问网上工作室上的共享文件,而其他人无法通过外网访问这些共享文件,这就保障了一些机密文件的安全。但是这种文件传输方式却有个最大的缺点,局限性太小。一旦离开了本单位即使是本单位人员也无法访问网上工作室上的共享文件。目前很多单位都面临着这样的问题:分公司、经销商、合作伙伴、客户和外地出差人员要求随时访问单位局域网的内部信息,而由于普通局域网的文件传输存在局限性无法实现,这就给单位的运作和发展带来很大的不便。

### 1.2 VPN 软件的作用

VPN 的英文全称是“Virtual Private Network”(虚拟专用网络)。它可以通过特殊加密的通讯协议,连接在网络上位于不同地方的两个或多个企业内部网之间建立一条专有的通讯线路。VPN 的核心就是在利用公共网络建立虚拟私有网。VPN 被定义为通过一个因特网建立一个临时的、安全的连接,是一条穿过混乱的公用网络的安全、稳定的隧道;是对单位局域网的扩展,可以帮助远程用户同单位局域网建立可信的安全连接,并保证数据安全传输。

### 1.3 VPN 的优势和必要性

1) 安全性: VPN 传送的数据通过特有的加密算法保证了文件在传输中不被攻击者窥视和篡改, 并且可以防止非法用户对网络资源或私有信息的访问。所以安全性能较高;

2) 传输质量保证: 在网络优化方面, VPN 是充分有效地利用有限的英特网资源, 为重要数据提供可靠的带宽。

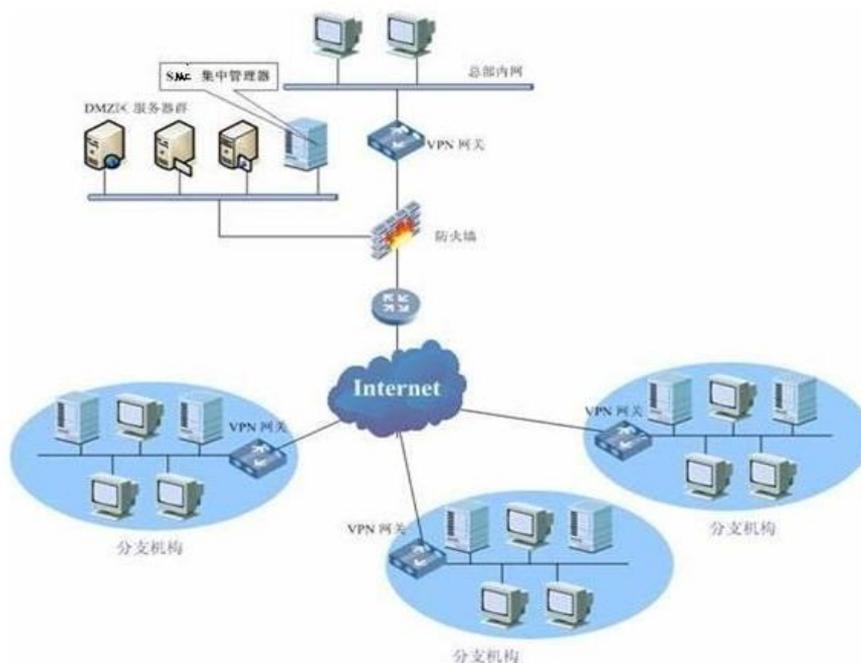
3) 可扩充性和灵活性: VPN 能够支持通过内部网和外联网的任何类型的数据流, 方便增加新的节点, 支持多种类型的传输媒介, 可以满足同时传输语音、图像和数据等新应用对高质量传输以及带宽增加的需求。

4) 可管理性: 由于 VPN 直接构建在公用网上, 实现简单、方便、灵活, 减小网络风险、具有高扩展性、经济性、高可靠性等优点。

## 2 VPN 的典型应用

### 2.1 大中型企业总部与分支机构之间构建 VPN 的解决方案

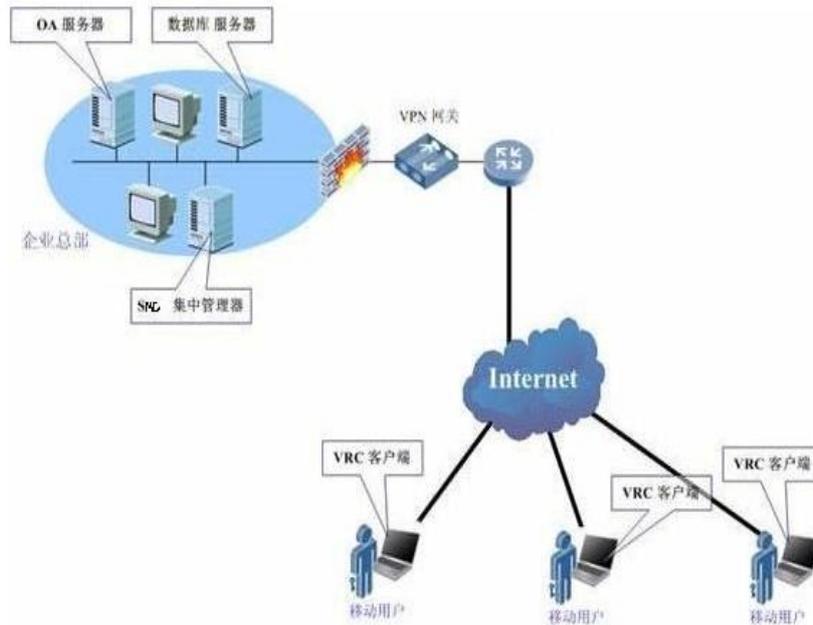
许多大中型企业在全国各地都建有分支机构或者办事处, 随着企业信息化程度的不断提高, 一般在企业总部会部署如 OA 系统、ERP 系统等应用软件, 将企业分布在各地的分支机构和办事处与企业总部互联, 达到安全地共享数据和软件资源的目的, 这是 VPN 网络的典型应用之一。



图一 网络环境示意图

## 2.2 移动用户远程访问企业内部网络的 VPN 解决方案

远程办公的普遍性要求移动用户和公司随时都保持紧密的联系。远程用户除了需要能够随时保密地访问公司网络外，还需要远程用户彼此之间以及远程用户和公司内部的个人之间也能够相互安全通信。这正是 VPN 技术所能够解决的另外一种典型应用。



图二 VPN 应用示例图

## 2.3 实际应用

以我院为例，主要应用财务管理系统以及网上工作室这两个内部系统平台，很多出差人员以及下属单位无法使用院内网络，因而无法访问内部系统平台资源，而通过 VPN 技术则可以实现远程访问内部信息平台，进行信息资源的共享。

在院外网络环境下，计算机中安装 VPN 客户端后进行连接即可直接访问院内财务管理系统、网上工作室或是图档服务器。

我们使用一台院外上网的计算机来实现通过 VPN 软件访问院内信息平台。安装客户端程序后运行设置中心网关地址:61.191.21.3 (图三)，连接成功后 (图四)，我们可以看到计算机通过虚拟连接连入了院 VPN 主机。



图三 连接 VPN 界面



图四 VPN 连接成功界面

接下来通过 VPN 连接，和在院内网络访问内部信息平台一样，可以直接访问网上工作室、内部信息平台 and 财务管理系统以及各服务器，在院外网络环境使用 VPN 软件完全可以实现通过互联网访问院内网的信息平台。

### 3.4 发展展望

随着信息化建设的不断深化，使得分布在世界各地的企业各分支机构、

合作伙伴和客户之间的联系越来越紧密。因此安全的远程接入企业内部网络成为企业尚待解决的问题。

VPN 已被普遍认为是当前实现远程安全访问理想的新一代技术，是解决移动用户在公司外部访问内部应用时最简单最安全最经济的手段，在世界各发达国家已经被越来越广泛地使用。移动办公的实用价值与市场前景不可估量，移动办公、在家办公在这个信息时代必将成为了一种提升工作效率、增加效益的主要有效手段。

综合上述，VPN 可以解决目前由于局域网 FTP 文件传输方式的局限性所造成无法远程访问单位局域网信息的状况；使用 VPN 技术可以在最大限度上节省资源并很好地实现企业各分支机构、合作伙伴和客户之间远程安全，便捷地访问局域网信息。这样做能极大提高单位的运作效率，随之给单位带来更大的经济效益和发展空间。