

# 隔热保温材料在回转窑的衍化应用\*

赵晓东

重庆电子工程职业学院, 重庆 401331

**摘要** 回转窑分别使用第一、二、三代隔热保温材料后, 筒体表面温度与未使用这类材料比能实现50 ℃以上的降温效果。回转窑的分解带砌筑低导热多层复合莫来石砖, 其筒体表面温度较使用耐火纤维材料平均下降12 ℃; 回转窑的固相反应带砌筑低导热多层复合莫来石砖, 其筒体表面温度较使用隔热耐火复合砖平均下降10 ℃。从隔热节能角度出发, 回转窑分解带与固相反应带的衬砖应该首选低导热多层复合莫来石砖。

**关键词** 耐火纤维材料 隔热耐火复合砖 低导热多层复合莫来石砖 隔热保温 衍化 回转窑

## 0 引言

根据熟料煅烧理论可知, 熟料煅烧过程产生的热损失主要是集中在窑系统热工设备的表面散热损失、窑系统排出废气带走的热损失及出篦冷机熟料带走的热损失等三个方面。其中窑系统排出废气带走的热损失, 随着立磨和纯低温余热发电技术的成功应用, 已经得到充分回收利用; 熟料带走的热损失, 也随着热效率已经达到75.00%~85.00%的第四代篦冷机的成功问世及应用得到最大限度地回收利用; 篦冷机、三次风管、预热器及分解炉等静态热工设备, 已经采取了隔热保温效果比较理想的技术措施, 其散热损失占窑系统热工设备总散热损失的35.00%~40.00%。回转窑是动态热工设备, 受自身不断转动的客观因素影响, 筒体表面散热损失最大, 占窑系统热工设备总散热损失的60.00%~65.00%, 亟待需要采取隔热保温技术措施。

笔者有幸在同一个水泥生产企业(辽西渤海水泥有限公司)亲历并见证了三种不同隔热保温材料在回转窑的衍化应用, 今将其生产应用效果(所有效果均与未使用这三种隔热保温材料之前比较)详细总结出来, 旨在与水泥业界的广大同仁交流学习。

## 1 耐火纤维材料的应用

耐火纤维材料是应用于回转窑的第一代隔热

保温材料。

耐火纤维材料作为隔热保温材料, 最早应用于回转窑的固相反应带与分解带。实际应用耐火纤维材料时, 需要与耐火砖配套组合砌筑。耐火砖要设计成特殊异型砖, 预留与耐火纤维材料相匹配的沟槽, 确保耐火纤维材料牢固地放置在沟槽中, 二者形成完整的一体结构。

选用山东某耐火材料厂生产的硅酸铝纤维毡作为回转窑分解带的隔热保温衬料<sup>[1]</sup>, 与之配套的黏土砖型如图1所示, 加砌耐火纤维毡部位如图2所示的1~7段分解带。砖脚占整个接触面积的20%, 紧密与筒体接触, 对耐火纤维毡具有保护、定位作用。硅酸铝纤维毡的设计规格为200 mm×600 mm×20 mm, 技术性能如表1所示。加砌耐火纤维毡的两条回转窑, 都取得了比较理想的隔热效果, 其中1号回转窑1~7段筒体表面温度平均下降50 ℃, 散热损失下降37.96%; 台时产量增加1.85%, 熟料强度增加1.70%, 标准煤耗下降2.33%, 累计创直接经济效益22.50万元。2号回转窑1~7段筒体表面温度平均下降45 ℃, 散热损失下降33.90%; 台时产量增加1.89%, 熟料强度增加2.23%, 标准煤耗下降2.82%, 每年累计创直接经济效益达到18.60万元。

## 2 隔热耐火复合砖的应用

隔热耐火复合砖是应用于回转窑的第二代隔

\*基金项目: 重庆市高等教育学会高等教育科学重点研究课题: “供给侧”改革视域下的高职创业教育模式研究; 课题编号: CQGJ17159B

热耐火材料。

隔热耐火复合砖采用同步成型、同步煅烧工艺，具有隔热层与工作层构成的双层结构。砖的外

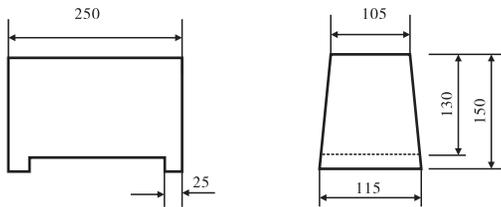


图1 加砌耐火纤维毡的黏土砖型

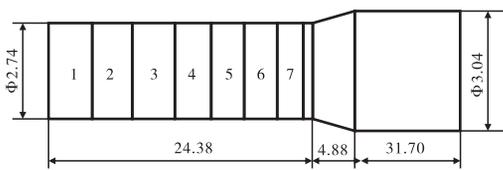


图2 加砌耐火纤维毡的部位

层是隔热层，属于轻质砖，与筒体紧密接触，具有隔热保温性能；砖的里层为工作层，属于磷酸盐砖，与物料接触，具有较好的高温耐磨性能。因此，隔热耐火复合砖应用于回转窑的固相反应带与分解带。

选用山东某耐火材料厂生产的隔热耐火复合砖作为固相反应带的衬料<sup>[2]</sup>，隔热耐火复合砖的结构如图3所示，砌筑部位如图4所示的1~10段，技术性能如表2所示。使用隔热耐火复合砖取得了显著的节能与经济效益，1~4段的筒体表面温度平均降低60℃，筒体表面散热损失平均下降32.11%；5~10段的筒体表面温度平均降低44℃，筒体表面散热损失平均下降27.39%；1~10段的筒体表面温度平均降低52℃，筒体表面散热损失平均下降29.75%；台时产量增加5.48%，熟料强度增加4.80%，标准煤耗下降7.15%，每年累计创直接经

表1 硅酸铝纤维毡技术性能

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	SiO <sub>2</sub> /%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	重烧收缩/%	导热系数/[kJ·(m·h·℃) <sup>-1</sup> ]
45~50	48~53	≤1.50	0.15~0.25	≤4	0.50~1.05

济效益达到61.20万元。

### 3 低导热多层复合莫来石砖的应用

低导热多层复合莫来石砖是应用于回转窑的第三代隔热耐火材料。该砖采用同步成型、同步煅

烧工艺，具有工作层、保温层及隔热层构成的三层复合结构。工作层采用电熔莫来石、均化矾土熟料、优质红柱石及添加剂等材料，具有较强的抗碱侵蚀能力、良好的耐高温性能、优良的热震稳定性和高温强度。保温层选用莫来石复合原料和优质结合剂，以锯齿形与工作层互嵌结合，耐压强度达到75.00 MPa，导热系数低于1.50 W/(m·K)。隔



图3 隔热耐火复合砖的结构示意图

热层采用密度小、隔热效果好、导热系数低于0.03 W/(m·K)的锆质超低导热材料制成。该砖适用于回转窑的固相反应带与分解带。

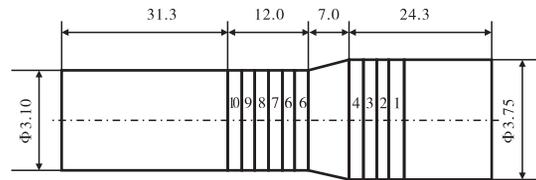


图4 隔热耐火复合砖的砌筑部位

表2 隔热耐火复合砖的技术性能

性能	里层（磷酸盐砖）	外层（轻质砖）
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	≥78	≥52
常温耐压强度/MPa	≥78.4	≥9.8
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	≥2.8	≤1.5
耐火度/℃	≥1790	
导热系数/[kJ·(h·m <sup>2</sup> ·℃) <sup>-1</sup> ]		≤0.75

2017年8月，选用NBR低导热多层复合莫来石砖作为分解带与固相反应带的耐火衬砖，其中在固相反应带1~5段砌筑20 m，在分解带6~7段砌筑8 m。低导热多层复合莫来石砖的结构如图5所示，砌筑部位1~7段如图6所示，技术性能如表3所示。

为了测试和计算方便,从窑尾方向开始,将砌筑28 m的低导热多层复合莫来石砖顺次均分14等

份,每份检测长度为2 m,其隔热保温效果的检测及计算结果如表4所示。使用低导热多层复合莫来石砖前后一年窑的主要生产技术指标对比如表5所示。

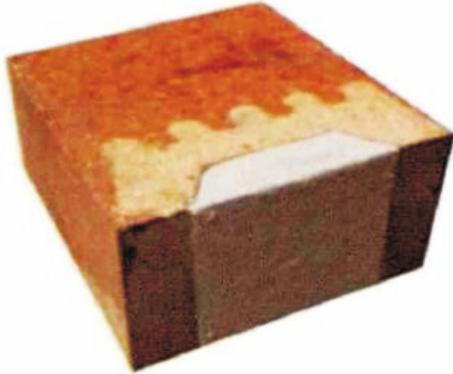


图5 低导热多层复合莫来石砖结构示意图

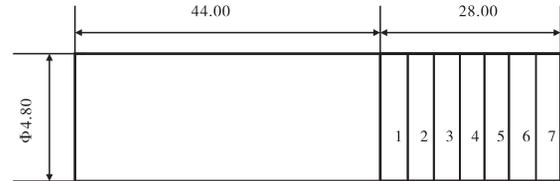


图6 低导热多层复合莫来石砖的砌筑部位

由表4可知,砌筑低导热多层复合莫来石砖后,2017年两次检测的结果是筒体表面温度平均下降62℃,筒体表面散热损失平均减少44.96%;2018年检测的结果是筒体表面温度平均下降58℃,

表3 低导热多层复合莫来石砖的技术性能

性能	工作层	保温层	隔热层
显气孔率 /%	≤17	22	
体积密度 / (g · cm <sup>-3</sup> )	≥2.65	2.0	0.15
常温耐压强度 /MPa	≥90	75	
荷重软化温度 (T <sub>0.6</sub> ) /℃	≥1 680	1 600	1 200
热震稳定性 (1 100℃水冷) /次	≥15	10	
导热系数 (1 000℃) / [W · (m · K) <sup>-1</sup> ]	≤1.7	≤1.5	≤0.03

表4 低导热多层复合莫来石砖的隔热检测及计算结果

序号	L/m	S/m <sup>2</sup>	镶前测试及计算结果			镶后测试及计算结果 1			镶后测试及计算结果 2			镶后测试及计算结果 3		
			T/℃	$\frac{K}{[kJ \cdot (h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}]}$	$\frac{Q}{(kJ \cdot h^{-1})}$	T/℃	$\frac{K}{[kJ \cdot (h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}]}$	$\frac{Q}{(kJ \cdot h^{-1})}$	T/℃	$\frac{K}{[kJ \cdot (h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}]}$	$\frac{Q}{(kJ \cdot h^{-1})}$	T/℃	$\frac{K}{[kJ \cdot (h \cdot m^2 \cdot ^\circ C)^{-1}]}$	$\frac{Q}{(kJ \cdot h^{-1})}$
1	2	30.14	176	71.51	379 334.81	119	57.64	206 735.08	124	58.86	219 981.01	126	59.35	225 389.93
2	2	30.14	178	72.00	386 274.24	121	58.13	211 996.62	126	59.35	225 389.93	127	59.59	228 097.41
3	2	30.14	180	72.48	393 218.50	122	58.37	214 631.16	127	59.59	228 097.41	129	60.08	233 594.64
4	2	30.14	182	72.97	400 275.48	124	58.86	219 981.01	129	60.08	233 594.64	131	60.57	239 150.95
5	2	30.14	185	73.70	410 943.83	126	59.35	225 389.93	130	60.32	236 345.82	132	60.81	241 931.37
6	2	30.14	188	74.43	421 744.20	128	59.83	230 819.35	132	60.81	241 931.37	133	61.05	244 726.25
7	2	30.14	191	75.16	432 676.58	130	60.32	236 345.82	135	61.54	250 400.11	136	61.78	253 238.69
8	2	30.14	195	76.13	447 438.85	132	60.81	241 931.37	137	62.03	256 133.04	139	62.51	261 833.14
9	2	30.14	199	77.10	462 435.01	133	61.05	244 726.25	138	62.27	259 000.86	140	62.76	264 822.10
10	2	30.14	203	78.07	477 665.05	135	61.54	250 400.11	140	62.76	264 822.10	141	63.00	267 733.62
11	2	30.14	209	79.54	501 043.14	139	62.51	261 833.14	143	63.49	273 643.17	143	63.49	273 643.17
12	2	30.14	213	80.51	516 859.71	143	63.48	273 600.07	145	63.98	279 611.79	146	64.22	282 596.26
13	2	30.14	217	81.48	532 910.16	147	64.45	285 550.88	147	64.47	285 639.49	148	64.71	288 653.19
14	2	30.14	221	82.46	549 261.11	152	65.67	300 852.66	148	64.71	288 653.19	154	66.17	307 132.03
H			2 737		6 312 080.67	1 851		3 404 793.45	1 901		3 543 243.93	1 925		3 612 542.75
P			196		450 862.91	132		243 199.53	136		253 088.85	138		258 038.78

备注：（1） $L$ 为选定的窑筒体长度；（2） $S$ 为长度2 m的窑筒体表面积；（3） $T$ 为测试的筒体表面温度；（4） $K$ 为散热系数；（5） $Q$ 为散热损失；（6） $H$ 为合计值；（7） $P$ 为平均值；（8）换砖前测试时间是2016年7月24日，气温30℃，风速0.60 m/s，气压759 mmHg柱；换砖后测试1的时间是2017年9月15日，气温29℃，风速0.50 m/s，气压760 mmHg柱；换砖后测试2的时间2017年9月26日，气温30℃，风速0.600 m/s，气压759 mmHg柱；换砖后测试3的时间2018年8月12日，气温30℃，风速0.80 m/s，气压758 mmHg柱；（9）厂区海拔高度20 m。

筒体表面散热损失平均减少42.77%。但随着衬砖使用时间的延长，其厚度会逐渐变薄，锆质隔热保温材料也会发生微小收缩变形，致使隔热效果逐渐降低。使用一年时间以后，砌筑低导热多层复合莫来石砖的筒体表面温度平均升高4℃，筒体表面散热损失平均升高2.19%。

由表5可知，使用低导热多层复合莫来石砖后，台时产量提高265.68 t/d，每年多产熟料89 080 t，创直接经济效益267.24万元；运转率提高1.63%，每年多产熟料32 606 t，创直接经济效益97.82万元；熟料强度提高2.52 MPa，每年多掺加混合材12 000 t，创直接经济效益48.00万元；熟料标准煤耗下降

表5 使用低导热多层复合莫来石砖前后一年的生产指标对比

项目	2017.9 ~ 2018.8	2016.9 ~ 2017.8	增加量
窑运转率/%	91.86	90.23	1.63
fCaO 合格率/%	95.60	90.25	5.35
熟料强度/MPa	58.97	56.45	2.52
台时产量/(t·d <sup>-1</sup> )	5 480.48	5 214.78	265.68
熟料标准煤耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	111.65	116.83	-5.18

5.18 kg/t，每年节约标准煤9 518 t，创直接经济效益571.08万元。累计年创直接经济效益984.14万元。

#### 4 结束语

从耐火纤维材料到隔热耐火复合砖，再到低导热复合莫来石砖在回转窑的衍化应用，见证了隔热保温技术的发展历程。实验及生产实践证明：第一、二、三代隔热材料与未使用这种材料比，筒体表面温度可下降50~62℃；回转窑的分解带砌筑低导热多层复合莫来石砖，其筒体表面温度较使用耐火纤维材料平均下降12℃；回转窑的固相反应

带砌筑低导热多层复合莫来石砖，其筒体表面温度较使用隔热耐火复合砖平均下降10℃。从隔热节能角度出发，回转窑分解带与固相反应带的衬砖应该首选低导热多层复合莫来石砖。

#### 参考文献

- [1] 赵晓东. 耐火纤维材料在生产上的应用[J]. 水泥. 1999(2): 12-13.
- [2] 赵晓东. 隔热耐火复合砖在回转窑上的应用[J]. 水泥. 2002(1):30-31.

(收稿日期：2018-12-20)

