

《耐火混凝土》资料专辑

中国建筑材料科学研究院技术情报中心

一九八八年三月

《耐火混凝土》资料专辑



前 言

耐火混凝土是不定形耐火材料的一个重要品种,由于其具有不经预先煅烧,可直接筑炉、生产工艺简单、施工制作方便、可任意造型、可延长窑炉的使用寿命等特点。因此,近年来,发展迅速,品种不断增加。它已应用于冶金系统的选烧、炼铁、炼钢、轧钢、耐火;石油化工、水电、建材等工业的多种窑炉和热工设备上,并取得了显著的效果。为促进耐火混凝土的发展,使它在社会主义建设中发挥更大的作用。现就我们馆藏资料经筛选整理成这本《耐火混凝土》资料专辑。由于耐火混凝土的品种很多,有些没有能够收入,若用户另有要求,我们将竭诚为您提供定题服务。本专辑可供从事耐火混凝土生产、设计、使用的有关人员参考。

中国建筑材料科学研究院技术情报中心

资料组 1988.3月

陆爱池 整理

目 录

1、民主德国耐火混凝土的发展和应用	1
2、耐火混凝土的孔结构与强度的关系	13
3、水泥含量对 90% Al_2O_3 耐火混凝土 蠕变性的影响	31
4、采用表面活化物质做耐火混凝土的增塑剂	41
5、耐火混凝土用的干拌合料	55
6、利用矿渣采掘工业的废渣生产耐热混凝土	60
7、不加矾土水泥的高级耐火混凝土	63
8、正磷酸对硅酸铝混凝土性能的影响	73
9、高铝水泥耐火混凝土	84
10、某些高强度耐火混凝土的成分和制备	93
11、用不锈钢纤维增强的耐火混凝土	99
12、能流动废气的耐火混凝土	102
13、钢纤维增强耐火混凝土窑口部位的应用	112
14、钢纤维增强耐热混凝土初步试用小结	120
15、钢纤维增强耐火混凝土在水泥回转窑上的试用	126

民主德国耐火混凝土的发展和应用

引 言

近年来耐火混凝土在耐火制品中间占据了一个牢固的位置，在开发、生产和应用方面呈现增长的趋势。这首先归功于它和喷涂料、浇注料、捣打料、预成型的大小异型预制件以及预制要求很高的多层安装构件等相比，在应用方面有很大的灵活性。

除了提高热工设备的作用率、备用率、和使用寿命，改善工业炉筑衬和操作时的劳动条件和生活条件等这些已多次显示过的技术经济效果外，最近由于工业炉建造中利用耐火混凝土制品实行轻型结构方式而特别在节能方面取得了显著效果。

下面报道一下“耐火混凝土”制品的主要发展情况。

轻质混凝土

轻质耐火混凝土既能以预制品也能以捣打料和浇注料供货。表1列出了使用民主德国拥有的轻质添加料，由国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂最近生产的轻质混凝土品种的主要性能。结构型耐火轻质混凝土 F 11-241 和 F 12-241 系使用灰份烧结料作轻质添加剂，用波特兰水泥结合制成的，其使用温度可达 1200 °C，而且比其它轻质混凝土品种的强度要高。

结构型轻质耐火混凝土主要代替工业上通用的粘土质普通混凝

土用于与火焰直接接触的炉墙衬。除显著节能外，还具有使用寿命长的优点，特别是在间歇操作的炉子上（隧道窑、退火炉、加热炉等），原因是它的热稳定性好。

结构型轻质耐火混凝土 F 14-343 是以高铝轻质砖颗粒料为原料制造的，可在 1400 °C 以内使用。

所谓高度隔热的轻质耐火混凝土可理解为多孔耐火混凝土。它是利用一种很轻的珠状可烧掉的有机添加物即聚苯乙烯泡沫球制成的。

加热时，泡沫状聚苯乙烯于 300 °C 开始气化，不残留灰份，同时形成类似加气混凝土的组织。通过配用各种材料现已发展出温度级别为 1100 °C、1300 °C 和 1600 °C 的泡沫聚苯乙烯轻质混凝土，主要用作耐火蚀损层隔热的永久衬。这些混凝土的加工主要在现场进行，而制造预制件，由于机械强度低，只限于小型预制件。但可以制出相当复杂的异型件，而过去制造轻质砖是相当费事的。

使用高度隔热的耐火轻质混凝土后，可以用数据处理计算机对工业炉进行耐火衬热工技术的最佳控制。结果表明，只有工业炉的多层壁结构才能达到良好的能源和经济效益。

事实上，在标准炉子上已多次证明了预期的能源和经济效益。在某钢管连续式加热炉上，用泡沫聚苯乙烯轻质混凝土代替了传统的炉衬，再加上气凝性硅酸盐混凝土和矿物棉板，使筑衬时的劳动生产率提高了 12%，同时耐火粉料用量节省 25%，总费用减少

原书缺页

原书缺页

28%，每年节约10 TJ（太焦）能源。

在另一回转式加热炉上使用复合轻型结构品代替抗蚀损耐火混凝土和硅酸盐拱顶后，每年节能25 TJ。

在一座以类似方式新筑衬的隧道窑上，与传统内衬相比每年节能1.05 TJ。

某水泥厂用轻质耐火混凝土GB-11-221作立波尔格子拱的隔热材料后，每年节约能量达22 TJ。

上述使用实测例表明，工业炉使用轻质耐火混凝土后能节省大量能量。

目前正在研究发展微气孔率很高的特殊轻质耐火混凝土以及采用温度级别达1500℃的结构型轻质耐火混凝土，以便在工业炉中进一步实现轻型结构。

钢筋耐火混凝土制轻质结构件

特别是冶金工业和金属加工工业中现有的大量多种加热炉和热处理炉消耗了民主德国大部分城市煤气和天然气。

为了实现在新建和修理这些工业炉方面合理化，弗莱堡燃料研究所与国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂和民主德国冶金炉建筑部门密切合作，研究试用了炉子上部结构的一些新方案。其基础是钢筋耐火混凝土，即普通耐火混凝土和标准混凝土钢筋一起制成的材料。由此发展成的新型炉子上部构件尽管有钢筋混凝土骨架，但通过选用优质隔热材料，已成为一种安装方便的轻型结构件。它的特殊优点

是能使用高效烧嘴。这种新研制出的轻型结构件有三种基本结构（图 1）：

- 中小型炉子用的悬空带肋板；
- 大中型炉子用的框型结构；
- 大型炉子用的吊顶构件。

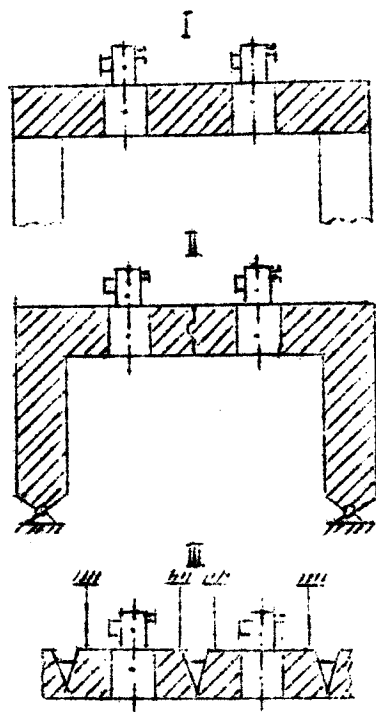


图 1 钢筋耐火混凝土轻型结构元件基本类型

I —带肋板； II —框型结构； III —吊顶构件

根据数学模型和用于有温度应力的钢筋混凝土结构的计算规范对这三种基本类型的使用极限进行了静态热工测定，接着又进行了

近于实际的半工业试验。

从这些基本构型中也可导出特殊情况下使用的结构。

国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂主要负责制造钢筋耐火混凝土制的炉子上部结构件。

自1979年起民主德国就开始单个构件的工业应用了。某轧板厂的三座大型步进式加热炉上采用了垂直辐射炉顶，使用三年多以来节约能量达20~30%。另一例子是某锻造厂内的平底步进式加热炉，采用带辐射式烧嘴的带肋顶构件，它以1250℃三班制作业。节约能量达12%，比原来拱顶结构大大改进了冷态起动状态和调节过程，在此基础上，该厂所有其它炉子全部改造建成新型结构。

带肋板只能达到炉子上部的封口部位，可用二或三个铰接棚将整个炉子上部砌上衬。例如在一钢管厂的辊底加热炉上就用二个铰接棚构件代替了费用昂贵的小型异型砖砌的吊挂炉顶。在大工业试验时，由于取消了吊挂顶，修理时间缩短了约80%，钢材需要量减少了60%。

钢筋混凝土吊挂顶构件的特殊优点是能通过装在外边的吊环直接吊挂在钢筋加固件上。由此不再需要陶瓷锚固砖，这种砖常常是一个主要的不稳定因素。

还为较高温度研制了耐高温吊挂顶构件，例如用于步进式加热炉和转底炉。

不久前察特海因钢管厂的一座大型转底炉的炉底、炉墙和炉顶用这种预制件筑衬，只用了很短的安装时间，并已投产。由于使用了轻型吊挂顶构件及辐射式烧嘴，每年可节约大量进口天然气。

人造多孔耐火混凝土

为了使工业炉炉墙对节能起积极作用，需要发展一些传统的方法和建筑材料。这里特别推荐一种与料流量同时进行的热交换方法。

由于对热力学和流体工程学进行了广泛的科研工作，再加上对一般耐火混凝土有大量的实践经验，这就推动了民主德国人造多孔耐火混凝土的发展、生产和应用。

所谓人造多孔耐火混凝土，是以专利方法在不同品种混凝土中制出一定直径，一定数量和一定分布形式的直通圆孔，成为耐火混凝土预制件。与传统的致密耐火材料相比，人造多孔耐火混凝土是一种技术上活跃的建筑材料，而且还保留了耐火混凝土的已知优点。图2为这种方法的原理图，以前称作“内换热式”。

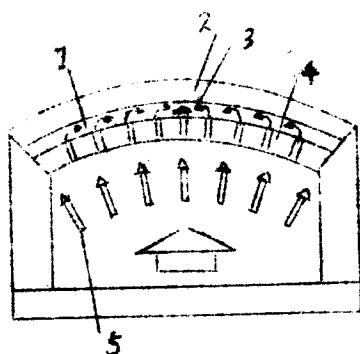


图2 “内换热式”原理图

1—烟气集合道；2—致密拱顶；3—废气；4—人造多孔拱顶；5—加热物料后的烟气

在这种人造多孔耐火混凝土方法中，除了一般的致密材料拱顶外，在炉中还有另一层由多孔耐火混凝土制的拱顶，通过一个废气集合道与外面的致密材料层隔开。废气通过特殊构成的气孔（通道）部分或全部排出炉子，由此使炉墙内侧得到了附加加热效果，从而提高了给加热料的固体辐射传热。根据铺设情况，同时还可达到较低的外壁热损失，提高废热利用。

民主德国至今在180座工业炉上对这种方法做了实际试验，结果总结出以下优于传统建筑材料的优点：

- 1、根据炉子类型和操作条件不同，能量单耗下降5~30%；
- 2、多孔耐火混凝土能提高内侧炉墙温度，同时能提高对物料的升温速度（快速加热）；
- 3、利用多孔耐火混凝土的“内换热式”工业炉能改善工艺操作状况，比传统的炉子炉料温度更均匀；
- 4、多孔耐火混凝土工业炉与致密型结构的设备相比，其调节状况得到了改善，炉内流动场和温度场更均匀。

由于结构及材料技术原因，多孔耐火混凝土预制件目前只能用于拱顶跨度不大于3米的炉子，因此现正寻找新的结构途径。能源研究所与国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂共同研制出一种用多孔耐火混凝土制成的轻型大跨度炉顶构件，成功地进行了试验，于1984~1985年间将进行工业试用。这种新发展可使任何尺寸或跨度的炉子都能使用新型的建筑材料，都能应用“内换热”原理。

冶金炉和冶金设备用碱性耐火混凝土

国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂与应用工业科学研究院及高等院校合作，最近几年研制出大部分使用当地原料和二次原料的各种碱性耐火混凝土品种。勃兰迪斯厂生产有高级电蓄热加热设备的蓄热异型砖；液体和化学结合、温度级别达 1200°C ，用于各种使用领域特别是水泥和发电厂设备的耐磨耐火混凝土；用作耐磨耐高温车间铺地砖（温度级别达 1300°C ）的钢纤维加固耐火混凝土板；尤其还有用于钢铁工业、温度级别达 1400°C 的碱性耐火混凝土。由于最后一个品种的生产量占总量的80%左右。下面将详细介绍该组产品。

民主德国钢厂的平炉，下部结构的蓄热室直到1975年都用烧成砖砌砖格子，砖格子的上部几层几乎全用含铬镁砖，当时其换热功能和使用寿命都属最好，由于民主德国须全部用进口原料生产大量的镁铬砖，又由于在 $1550\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 高温烧成时很费能量，这就给民主德国的耐火工业提出一项任务，看能否在不烧耐火混凝土制品开发、生产和应用方面已达到的水平上，也将耐火混凝土用作砖格子材料。

在国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂与民主德国的钢厂密切合作下，短短几年内就研制出一种化学结合的适当的耐火混凝土品种，进行了试用并正式用于工业中。表2列出了种类符号为F 14-477的特种混凝土的性能，还列出了被取代的MC4—碱性砖，以资比较。

~10~

温度级别达1400℃的碱性耐火混凝土的特殊性能

表2

功 能	单 位	耐火混凝土 F 14-475	耐火混凝土 F 14-477	镁 铬 砖 M C 4
荷重(0.2 MPa)软化温度	℃	1530	1600	1595
常 温 耐 压 强 度	不 烧	MPa	26	25
	烧 600℃	MPa	16	—
	成 1000℃	MPa	3.5	—
	后 1400℃	MPa	8.5	—
体 积 密 度	kg/dm ³	2.5	2.7	2.8
开 口 气 孔 率	%	20	16	22
(20~600℃之间)平均比热	KJ/kg·k	1.07	1.07	1.07
导 热 率	20℃	w/m·k	2.8	3.5
	600℃	w/m·k	2.3	2.0
	900℃	w/m·k	2.8	1.8
热 稳 定 性	n	8	15	6

在民主德国四个具有代表性的钢厂中组织了用不烧耐火混凝土砖 F 14-477 代替 MC 4-砖的试验获得了成功。将要使用的耐火混凝土砖在国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂作为标准形状按高产量自动流水工艺生产。利用这种工艺也已经生产了砖格子预制件，这样预制件使钢厂砌砖格子时节省了大量的工作时间，并缩短了修理时间。

民主德国的钢铁工业和耐火工业的合作，经过7年的操作经验，可以总结出以下几点成果：

- 1、使用优质二次原料后节省了进口原料；
- 2、取消了烧成过程，在耐火工业和国民经济中节省了能源；
- 3、无论是耐火工业还是钢铁工业都降低了材料费用。

在均热炉渣线区域用碱性耐火混凝土 F 14-475 代替烧成碱性砖品种后也取得了如平炉下部结构类似的好结果。特别是抗液态含铁均热炉渣的能力强，使用寿命为烧成碱性砖三倍，因而也有可观的经济效益。

展 望

近年来耐火混凝土由于效益高，在国营勃兰迪斯硅酸盐制品厂的各种制品中，它的生产和应用占着主要地位。

因此研究工作特别集中在开发和引入新的结合剂，如磷酸盐结合、流体热力结合；引入新型优质氧化铝水泥类型以及开发耐火混凝土生产合理化的新工艺，找出多层轻型结构和人造多孔耐火混凝

土的新结构途径等。

(陆华译自《Silikattechnik》, 1985,

No. 7, 202~204; 武洞明校)

耐火混凝土的孔结构与强度的关系

周季楠 李玉梅 田其暉 王永亭 袁林

(建材院水泥所)

一、引言

以高铝水泥为结合剂的耐火混凝土,在加热到 $800\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的中温阶段,会产生大幅度的强度下降。作者认为这是由于水化物结构和陶瓷化结构更替过程中化学反应导致体积收缩,形成疏松状结构的缘故。当在耐火混凝土中引入摩尔体积较小的物质,使化学反应形成的膨胀效应,以补偿因收缩而造成的强度损失,就可以改善并克服中温强度下降的弊病。

作者曾用浸油法测定各种耐火混凝土在加热过程中的体积变化和孔隙率的变化,并用以说明收缩补偿效应对强度的增强效果。但是,由于浸油法的局限性,不可能用来作为进一步控制耐火混凝土基质结构的手段,为此,采用水银压入法来测定耐火混凝土经不同温度处理后的孔径分布和孔隙率。

试验结果表明,收缩补偿效应不仅能降低耐火混凝土的孔隙率,而且可以明显地改善耐火混凝土的孔径分布状况,使有害孔径的孔大大减少,从而,使耐火混凝土的中温强度得到大幅度提高。

试验结果还表明,收缩补偿效应能否充分发挥其增强效果,还需要进一步和耐火混凝土的基质结构控制相结合。微细粉的采用,使孔结构更趋合理,从而取得更理想的增强效果。而测孔法是一有效研究手段。

试验结果预示,如果进一步采用超微细粉技术和高效能减水剂,耐火混凝土的性能可望进一步改善和提高。

二、试 验

(1) 试验用材料

(2) 试验方法

加水搅拌成标准稠度,震动成型,并于 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 湿气养护一天后脱模,并继续养护3天,然后经 110°C 烘烤24小时, 800°C , 1100°C 和 1400°C 分别处理4小时,冷却后分别测定:

- 1、抗压和抗折强度;
- 2、浸油法测定体积密度和气孔率;
- 3、把它破碎成 $4 \sim 6\text{mm}$ 的颗粒,用水银压入法测定不同孔径的体积;
- 4、 1100°C 热态抗折强度。