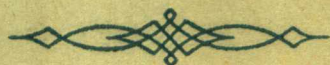


耐火混凝土

К.Д. 涅克拉索夫 A.Б. 佐托夫合著



建筑工业出版社

內容提要 本書敘述了耐火混凝土的主要性能、配合比和
配制方法,以及热工設備使用耐火混凝土的設計和施工
指示。

本書可供設計和建筑單位的工程技術人員,以及科学
研究机关的工作人員参考之用。

原本說明

書名 ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОГНЕУСТОЙЧИВЫХ БЕТОНОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

著者 К. Д. Некрасов
А. В. Зотов

出版者 Государственное издательство строительной литературы

出版地点及日期 Москва — 1950

耐火混凝土

劉景林、汪培初 譯

*

建筑工程出版社出版 (北京市東城門外南土廠)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 052 号)

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書号163 字數15千字 787×1092 1/32 印張 7/8

1957年4月第1版 1957年4月第1次印刷

印數:1—4,300册 定價(10) 0.15元

目 錄

序 言	2
第一章 耐火混凝土概論	4
第二章 对材料的基本要求	7
第三章 耐火混凝土的配制、澆灌及养护	10
第四章 整体澆灌混凝土时模板的准备及块件在模型中的制作	14
第五章 混凝土的干燥及其在开工期間的燒透	15
第六章 混凝土質量的檢查	15
第七章 耐火混凝土的成分	15
第八章 耐火混凝土窑爐的設計和施工指示	19

序 言

苏联重工业的强大发展，动力能率的进一步增加，以及其他工业部門的企业中許多重要工程开工生产，要求供应大量的耐火材料。

由此可見，无论是用于各种热工设备的里襯或是用于砌筑在高温条件下的建筑結構，合理使用耐火材料的問題該具有何等重大的实际意义。

因此，扩大耐火材料的品种，特别是扩大耐火混凝土的品种，就有着重要的国民經济意义。

直接在施工現場配制的并且在很多情况下完全可以代替大量耐火粘土磚的耐火混凝土，极其符合一切工业部門的要求。

近几年来，用礬土水泥配制的耐火混凝土經过了較好地研究，并且应用它来建筑工业窑爐。因此，現在可以指出，工业窑爐很多重要的構件，如煉鋼电爐爐底、平爐爐底、加热爐爐底、貝塞麦吹煉爐底、托馬斯吹煉爐底、煉焦爐爐門、高爐爐底下部、隧道窑窑車，及許多其他窑爐的構件，都用耐火混凝土或搗結料建筑，同时，这些材料的使用結果証明，完全可以用它来代替耐火磚。

技术科学碩士 К. Д. 涅克拉索夫(К. Д. Некрасов) 在中央工业建筑科学研究所耐火建筑材料及結構實驗室，系統地研究了在高温下硬化的矽酸鹽水泥、灰漿和混凝土的性質，并且試用了矽酸鹽水泥和磨細摻合料(微粒骨料)配制的耐火混凝土，該混凝土适用于建筑热工設備和建造处于温度为 $1250 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 的建筑結構。

本書系根据中央工业建筑科学研究所和苏联热工設備建筑公

司的研究工作結果，以及有关耐火混凝土的文献資料綜合編写的。

耐火混凝土主要用于建筑温度不高($1000\sim 1250^{\circ}\text{C}$)，而数量又很多的热工設備，因而它能弥补耐火材料供应不足的缺陷。

由于耐火混凝土易于广泛制得，它将用于建筑一些至今尚用普通混凝土制作的重要結構，虽然这些結構的使用寿命甚短。此类結構包括：高爐基础、平爐蓄热室外殼等，在这些地方，普通混凝土因長期受高温影响会导致破損。在这些情况下，耐火混凝土无疑地将会提高構築物的質量和耐久性。

中央工業建筑科學研究所

第一章 耐火混凝土概論

耐火混凝土可作为实心复盖层或单独的块件用于热工设备和長期受高温作用的建筑結構中。此类热工設備包括：工业窑爐及其基础和窑爐的各种結構構件，例如：爐牆、爐頂、斜面及弧形面、砌体的異形部分。工业窑 爐砌体的上述構件，如制有适当形狀的模板或样板，就不難用耐火混凝土来澆制。

采用此种混凝土的优点如下：1)不必进行一般耐火材料所需的预先煅燒，而且其加热处理可以在使用热工設備 时来进行；2)无須进行繁重的劳动：砍凿、研磨和精細地鋪砌每块制品；3)施工机械化；4)利用施工地点的地方材料，如：用过的 耐火材料、耐火的冶金渣及細石英砂等；5)窑爐的建筑造价較采用普通粘土耐火材料为低。

利用用过的碎磚和冶金渣时，則采用耐火混凝土的經 济效果將会显著提高。

用耐火混凝土澆灌难以用磚砌筑的窑爐構件，如：爐頂、斜面及弧形面，以及砌体的其他異形部分，最为适宜，同时节约 价值能达50%。如果用耐火混凝土代替專門定制的非标准異 形耐火磚，則节约价值將会更高，在个别情况下竟能达到75%。

耐火混凝土是一种特殊混凝土，它能够長期耐高温，不破裂也不失去必要的承重能力，并且能够 满足对一般耐火 材料的基本要求。

根据工艺特点和物理机械性能，耐火混凝土分为下列几种：

(一) 用水泥配制的混凝土：1)用礬土水泥配制的；2)用矽

酸鹽水泥摻入磨細摻合料(耐火粘土、熟耐火粘土、石英、粘土制品碎塊、高爐渣等)配制的;

(二) 用粘土配制的混凝土;

(三) 用水玻璃配制的混凝土。

采取下列材料作為細的和粗的骨料(細砂—песок 和碎塊—щебень^①): 熟耐火粘土、鎢礦、耐火的冶金渣或其他非可塑性耐火材料。

工業窯爐砌體各種構件所用耐火混凝土的主要性能和成分(符合計算溫度和強度要求的),列於表1及表2。

用矽酸鹽水泥摻入磨細摻合料(微粒骨料)配制的耐火混凝土,是一種新的耐火材料,因而其物理機械性能在書籍中闡述得很少;至於用礬土水泥、粘土和水玻璃配制的耐火混凝土,則有專門的細則。因此,本書概論中只着重敘述用矽酸鹽水泥摻入磨細摻合料配制的耐火混凝土。

用矽酸鹽水泥摻入磨細摻合料配制耐火混凝土的實質在於:當水泥塊加熱至 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 時,磨細摻合料能使水泥塊保持強度和結構。同時保證水泥塊中氫氧化鈣脫水時取得的石灰與摻合料間發生反應(在固態下),生成無水矽酸鹽和鋁酸鹽。

配制混凝土時,起初利用普通混凝土所具有的安裝強度,在高溫時混凝土即獲得陶瓷性質;此性質將賦予它熱穩定性。

不摻入磨細摻合料時,於耐火混凝土中禁止採用矽酸鹽水泥。

用矽酸鹽水泥摻入磨細摻合料配制的耐火混凝土的主要物理技術性能敘述如下。

① Песок原系砂粒之意,但本書內是指碎磚和礦渣等經細碎加工後的產物,故譯成細砂;

щебень原系碎石之意,但本書內是指碎磚和礦渣等經粗碎加工後的產物,故譯成碎塊,下同——譯者注。

經800~1250°C 加熱後，耐火混凝土的抗壓強度極限（根據其成分和磨細摻合料的不同而改變）為50~200公斤/平方公分。抗彎強度極限為20~100公斤/平方公分。

高溫荷重（2公斤/平方公分）變形開始點為1000~1250°C，終止點為1200~1350°C。耐火混凝土的熱穩定性指標符合於標準耐火粘土制品的熱穩定性。

溫度在800~1250°C 時，耐火混凝土試樣的綫收縮率為0.2~3.8%；這符合於熟耐火粘土制品標準的要求。

顯氣孔率為20~35%。吸水率為10~20%。容重為1.6~2.6。

耐火混凝土與一般耐火制品不同，製造時不用焙燒，經過配製成混凝土混合物和達到要求強度後，即可直接用於砌體中。這樣，耐火混凝土的加熱處理是在熱工設備工作過程中進行。

實際上耐火混凝土中含有5~20%左右的粘合料（每立方公尺混凝土內含有80~350公斤），因為甚至有5%以下的耐火粘土，混凝土的可塑性和結合性仍然不夠；而粘合料含量超過20%時，因為收縮率大，耐火混凝土就會產生裂紋（用粘土配制的混凝土），以及大大降低軟化點的溫度（用水泥配制的混凝土）。

採用礬土水泥作粘合料及Ⅰ級和Ⅱ級熟耐火粘土或鎂礦作骨料配制的耐火混凝土具有抗渣性能，其耐火度為1500~1800°C，抗壓強度極限為150~250公斤/平方公分。

用礬土水泥和矽酸鹽水泥摻入摻合料所配制的耐火混凝土加熱到脫水溫度（250~1000°C）時，其強度會降低，為原來強度的75~50%；而加熱到粘合料燒結溫度（1200~1300°C）時，此類混凝土的強度復又增高，達到或甚至超過其原來的強度。含有耐火粘土和熟耐火粘土的耐火混凝土在乾燥狀態時的抗壓強度極限為20~30公斤/平方公分，而加熱到粘土燒結溫度後，則為75~100公

斤/平方公分。

用耐火粘土配制混凝土时,必須選擇軟化溫度能符合熱工設備中混凝土的工作溫度的粘土,因為在粘土未燒結前混凝土的強度是極低的。

用水玻璃配制的混凝土與用水泥配制的混凝土的不同點在於:前者的強度隨著溫度的提高逐漸增加,其抗壓強度極限約為150公斤/平方公分。當溫度為 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 且在該溫度下機械荷重較大時,採用以水玻璃配制的混凝土較其他混凝土為佳。

經過物理化學變化(用水泥和水玻璃配制的混凝土)或由於加熱後物料乾燥和燒結作用(用粘土配制的混凝土)的結果,混凝土開始凝固和硬化。在後一種情況下的耐火混凝土常常稱為搗結料。

骨料的顆粒組成對耐火混凝土的密度及其他物理機械性能有很大影響,為了保證混凝土具有較大的密度,通常骨料必須有各種大小不同的顆粒。

利用耐火混凝土施工時,其周圍氣溫不得低於 $+10^{\circ}\text{C}$,即必須在溫暖的季節里或在暖棚內進行施工。

第二章 對材料的基本要求

(一) 粘料和磨細摻合料

礬土水泥 應符合國定全蘇標準969-41的要求。

矽酸鹽水泥 應符合國定全蘇標準970-41的要求。

水泥的標號應不低於300。

水玻璃 應符合國定全蘇標準962-41的要求。

配制耐火混凝土時採用的水玻璃的模數(即二氧化矽和氧化鈉之比)為 $2.3\sim 3.0$ 。

，**矽氟酸鈉**(工业用) 用以加速水玻璃配制的混凝土的凝固和硬化，其中純 Na_2SiF_6 含量应不少于85%。

耐火粘土 粘土的耐火度应符合砌体結構構件的計算温度。

最适宜的是微粒的可塑粘土，它具有良好的結合性能(在风干状态下，其抗弯强度极限不少于20公斤/平方公分)，并且在 1300°C 时燒結，例如，恰索夫雅尔粘土、拉特納雅、柳貝金諾和其他矿区的各种可塑粘土。也可采用烏拉尔粘土中的下烏維尔、布斯庫尔、斯梅林、季莫菲耶夫、別尔金和特罗伊拜諾夫等地的粘土。

工作温度达 1100°C 以下的地方，应当采用微粒的难熔的庫金諾夫“皂石”型可塑粘土。

粘土制品碎块 为取得粘土制品碎块，可以采用建筑用紅磚碎块、瓦块、陶器碎块和陶瓷工业的其他廢料。这些碎块在粉碎前必須清除掉雜質。

冶金渣 配制耐火混凝土时，可以利用高爐粒渣作磨細摻合料。

耐火粘土粉 可以用粘土碎磚制作，但須清除其中的熔渣、垃圾和其他雜質，該碎磚应符合計算温度的要求。

石英砂 其中二氧化矽(SiO_2)的含量不应少于90%，氧化鈉和氧化鉀(Na_2O ; K_2O)的含量不应超过2.5%。

飞灰 可以采用发电站鍋爐燃燒莫斯科近郊粉煤时所产生的飞灰作磨細摻合料。

煅烧时計算的未燃粉末量不应超过8%。

硫酸鹽中的 SO_3 含量不应超过4%。

飞灰中应含有25%以上的氧化鋁(Al_2O_3)。

上述摻入矽酸鹽水泥內的摻合料都要磨細，同时其磨細和混合粘合料(水泥+摻合料)的制备，可以用干法或湿法进行。

磨細程度应保証用200号篩子(900孔/平方公分)过篩时的篩

余量(按重量)不超过10%,而用90号筛子(4900孔/平方公分)时的通过量不应少于50%。

附注:磨細每批料時,取出重100克的平均試料,以測定其磨細程度。

干摻合料的湿度必須适当,以保証顆粒間不致結块。

不得加入任何加速耐火混凝土硬化的摻合料(在該問題未經研究解决以前)。

磨碎不溶解于水的摻合料(粘土熟料粉、石英砂、粘土制品碎块和矿渣)时,以及設有集中磨碎和磨碎混合設備时,一般采用干法制造摻合料。

用干法磨碎时,块料予先在破碎机內压碎。材料从破碎机出来后,立即进行干燥,使其含水量在1.5~3%以下。干燥后的材料送入球磨机或棒磨机中磨細。

能溶解于水的材料(粘土),最好采用湿法磨細。

为了磨碎到所需的細度,可以在普通的砂漿攪拌机或混凝土攪拌机內加水攪拌。

(二) 骨 料

用碎紅磚、冶金渣、碎粘土磚和鉻矿制备的細砂和碎块,应符合下列要求:

1. 由上述任何一种材料制备的細砂和碎块,都必须清除其中的尘污、垃圾和杂质;

2. 冶金渣中可以采用:电爐冶金渣、鈦-鋁渣等,其耐火度不应低于1580°C;

3. 根据化学成分,鉻矿应含有:

Cr_2O_3 ——不少于32%; SiO_2 ——不超过8%。

厚度在100公厘以上的里襯所用的細砂和碎块的顆粒組成,宜

采用下列的：

(1) 碎塊的顆粒組成

粒度介于25~10公厘之間的.....45~55%

粒度介于10~5公厘之間的.....55~45%

(2) 細砂的顆粒組成

粒度介于5~1.2公厘之間的.....40~55%

粒度介于1.2~0.15公厘之間的.....60~45%

附注：(1) 厚度在100公厘以下的里樓，其中所用的碎塊的最大粒度不得超過里樓規定厚度的0.25倍，混合料的顆粒組成根據上述細砂的顆粒組成擬定。

(2) 破碎每批料時，取出重5公斤的平均試料，以測定其粒度。

耐火混凝土的拌水和潤濕，可以采用普通混凝土所用的水。

第三章 耐火混凝土的配制、澆灌及养护

(一) 用水泥配制的混凝土

可以采用礬土水泥或摻有磨細摻合料的矽酸鹽水泥作粘合料。

采用干法磨碎的摻合料時，最好予先將矽酸鹽水泥和摻合料在強制作用的攪拌機中混合。混合時間的長短，应当保證混合物的顏色達到完全均勻為止，無論如何不得少於7分鐘。混合好的干料由攪拌機送往料倉貯存。用干法混合的粘合料配制混凝土時，可按一般程序進行。

采用濕法磨碎的摻合料時，首先往攪拌機轉筒加入矽酸鹽水泥和摻合料（呈膠體狀或乳狀），攪拌1~1.5分鐘，然後往攪拌機中加入骨料和水，水量應能保證制得具有一定流動性的混凝土，接着按照一般的程序進行攪拌。

采用未予先与矽酸鹽水泥混合的干狀摻合料时,可 按与湿狀摻合料相同的程序將其加入攪拌机的轉筒中;同时 摻合料 同水泥和水的予先混合時間,应当增加到2~2.5分鐘。

用人工配制混凝土混合物时,首先將矽酸鹽水泥 和磨細摻合料拌合,然后再將已混合好的粘和料和骨料拌合,接着加入所需量的水,將混合物攪拌到完全均匀为止。

混凝土混合物內的水量应适宜,以保証其坍落度(按标准錐体測定)在用人工澆灌时介于3~5公分之間,振動时不超过3公分。

耐火混凝土的澆灌采用与普通混凝土工程施工时 相同的方法^①。

澆灌爐頂时必须遵守下列指示。

一班內能够澆灌 完的不大的爐頂和拱形复盖层,澆灌时不得中断,同时从兩面,即从拱脚向拱心澆灌。在特別重要的情況下,澆灌大型爐頂时,必須分別制訂适合該种情况的澆灌程序。

澆灌拱形及摺疊式結構时,所采用混凝土的稠度必須保証当其澆灌在斜面上时不致移动,否則,必須采用双面模板。

当与水平面的傾斜角大于45°时,必須采用复式模板,使用噴射法时則屬例外。

当模板变形或拼合板移动时,必須停止澆灌混凝土,并校正与加固模板。在混凝土尚未最后失掉流动性之前,应当立即將模板的整个变形部分校正。

耐火混凝土(用水泥配制的)硬化时,必須遵守对普通混凝土所要求的温度及湿度制度^②。为此,混凝土表面应用席子、毛布及砂子等复盖。混凝土澆灌后經過24小时再用水潤湿,并且在5~7

① 參閱“一般土木建築工程施工驗收暫行技術規范”,重工業出版社,1953年12月版,第111~117頁。

② 參閱“一般土木建築工程施工驗收暫行技術規范”,重工業出版社,1953年12月版,第117~118頁。

天内应繼續澆水。

根据試块試驗結果确定混凝土已經达到要求强度时，可以进行窑爐的干燥和燒透，但是不能早于下述期限(于正常条件下硬化时)：1)用礮土水泥配制的混凝土——5天；2)用矽酸鹽水泥摻入磨細摻合料配制的混凝土——15~20天。

(二) 用粘土配制的混凝土

采用耐火粘土摻入占粘土重量2~3%的水玻璃作粘合料。

混凝土的配制基本上是依据实际施工时所采用的一般程序进行的。稀釋耐火粘土的水量，在每种情况下視混凝土的澆灌条件、粘土及骨料的种类和湿度，根据經驗确定。將称量后的水玻璃(比重1.32~1.38或波美35~40°)加入已經配制好的粘土泥漿中，然后加入粗的和細的骨料，并將混合物攪拌至勻質为止。

混凝土的攪拌量应按使用6~8小时計算。配制好的混凝土混合物，如果在湿润条件下于封閉的容器中貯存，則于一晝夜內仍旧可用。

搗固模板中的混凝土混合物时，可用人工方法或风动搗固法进行，基本上与干硬性的普通混凝土施工时所采用的方法相同。

用人工方法搗固时，使用底部面积为40平方公分、重量为4公斤的鑄鐵搗錘。

輕輕搗固时，混凝土混合物无粘附于搗錘現象和无脫层現象，这就是用以断定各层搗固完毕的标志。

为了保証搗制混凝土的整体性，澆灌工作必須逐层連續进行(每层厚4~6公分)。工作中断时，已搗固层的上部硬化部分必須去除，然后方可繼續澆灌。

拆除模板不得早于混凝土澆灌完毕后5晝夜。

用粘土配制的混凝土在澆灌完毕后，应处于温度不低于+10°

C 的干燥环境中。

(三) 用水玻璃配制的混凝土

采用水玻璃掺入矽氟酸鈉(作为速凝剂)作粘料。磨細的(干的)、細的和粗的骨料,与用矽酸鹽水泥掺微粒骨料配制的混凝土中所用的一样。

混凝土混合物的流动性,在用人工方法澆灌时,根据标准錐体測定应为3~5公分;而以振动法澆灌时,則其流动性根据标准錐体測定应不大于3公分。

用机械攪拌时,先向混凝土攪拌机的轉筒中 加入細 的和粗的骨料,然后加入掺矽氟酸鈉的粉狀骨料,并將这些料攪拌1.5~2分鐘。随后,往轉筒內加入配好的水玻璃(其稠度 按比重为1.32~1.38,即波美35~40°),并再进行不少于1.5分鐘的攪拌。

用人工攪拌时,宜按下列程序配制混凝土:予先单独地仔細拌合矽氟酸鈉和磨細的骨料,然后于帶有平 板的攪拌台上攪拌全部混合物。随后,逐渐加入配好的水玻璃,并拌合至完全均匀为止。

混凝土的硬化应于温度不低于+10°C 的风干条件下进行(与用水泥配制的混凝土不同,因为它要求湿润环境)。在上述温度下,混凝土經過2~3小时即开始凝固,其强度經過6~7天后 达到設計强度的70~80%。

不得在以水玻璃配制的已硬化的混凝土上澆水。

用水玻璃配制的混凝土混合物的澆灌 方法,与普通混凝土混合物的澆灌方法相同。

第四章 整体澆灌混凝土時模板的 準備及塊件在模型中的制作

模板宜根据技术规范^①，用木板制作或以鋼板制作，但接縫处必須保持必要的緊密度。

模板应当用高度不超过400公厘的予制單个拼合板裝配成，以保証混凝土能很好地搗固。

为了减少模板同混凝土的粘附，宜將木模板与混凝土相接触的表面涂以石灰乳，也可涂以石油或重油。

裝設爐頂和复盖层模板时，必須特別注意模板的剛性和强度，并須根据全部施工負荷計算模板的結構。

爐牆設有金屬外殼时，爐牆里襯用的模板应从內側一側安設。

裝配模板时，必須考慮在用耐火混凝土澆灌的里襯中留出伸縮縫的必要性。

用水泥或水玻璃配制的耐火混凝土(用粘土配制的混凝土除外)制作块件或異形構件时，可在窑爐外部用專門的木模型或金屬模型制作。

用振動方法制作时，混凝土块件可在模塑完毕后立即于底板上脫模。人工搗固时，块件經1~2晝夜才能脫模。

① 參閱“一般土木建築工程施工驗收暫行技術规范”，重工業出版社，1953年12月版，第97~102頁。

第五章 混凝土的干燥及其在開工 期間的燒透

下述的混凝土的干燥及燒透制度系暫定的;視混凝土的種類和里襯的結構不同,它可能改變。必須注意,快速干燥混凝土可能引起裂紋的產生,甚至完全破損。

對於所有品種的混凝土,宜採用如下的混凝土里襯的干燥和燒透制度: 1) 在10~12小時內溫度上升到100~110°C; 2) 在100~110°C 溫度下保持到完全結束干燥過程為止,但不得少於1晝夜; 3) 混凝土干燥完畢後,將溫度以每小時30~50°C 的速度升至500~600°C; 4) 繼續升高溫度時,可以按每小時80~100°C 的速度進行。

第六章 混凝土質量的檢查

耐火混凝土的檢查,應根據國定全蘇標準 4069-48、4070-48、4071-48 和 2409-44 的耐火材料試驗方法,及國定全蘇標準 90050—39 的混凝土機械試驗方法進行。

第七章 耐火混凝土的成分