

耐火混凝土的 性质和应用

К.Д. 聶克拉索夫 著
胡如林 譯

冶金工业出版社

81.53-
031

耐火混凝土的性質和应用

K. Д. 聶克拉索夫 著
胡 如 林 譯

冶金工业出版社

本書根据苏联国立建筑書籍出版社(Государственное издательство строительной литературы)出版的 К.Д. 聶克拉索夫 (К.Д. Некрасов) 所著“耐火混凝土的性質和应用”(Огнеупорные бетоны, их свойства и применение) 1949年版譯出。

本書包括苏联中央工業建筑科学研究院於 1942年至 1949 年內研究耐火混凝土的結果。

書中叙述用矽酸鹽水泥加各种細磨摻合料調制耐火混凝土的有关資料，指出了这些混凝土的性能、它們的組成、調制和在热工設備上应用的方法。

本書供建筑、設計和使用热工設備的工程技術人員以及科学工作者和研究試驗人員使用。

全書譯文承夏啓明同志校閱。

К.Д. НЕКРАСОВ

ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ, ИХ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ
СТРОИИЗДАТ (Москва—1949)

耐火混凝土的性質和应用

胡如林 譯

編輯：徐忠本 設計：周广珍 赵香苓 責任校對：吳研琪

1957 年 10 月第一版 1957 年 10 月北京第一次印刷 1,200 册

850×1168 • 1/32 • 110,000 字 • 印張 $4\frac{16}{32}$ • 定价 (10) 0.75 元

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0699

冶金工業出版社出版 (地址：北京灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

前 言

苏联不断地增建高爐、平爐、煉焦爐，扩展有色冶金企業，进一步發展动力工業，以及在冶金工業、化学工業和其他工業部門的企業內一系列其他重要項目的生产，都需要大量的耐火材料。

因此，無論是用於各种热工設備的襯体，或者是在高溫作用下的建筑結構中，合理使用耐火材料的問題，都具有重大的实际意义。

由此可知，研究更完善的新型的耐火材料，特別是研究耐火混凝土，在我国有头等的国民經济意义。

耐火混凝土在大多数情况下是一种效能良好而价格低廉的耐火材料。因而耐火混凝土可以广泛地用在各类工業部門的热工設備內。

近年来，以矾土水泥制造的耐火混凝土已研究得比較透徹，且已应用在工業爐內。但是，更为經濟的是用矽酸鹽水泥代替矾土水泥来制造耐火混凝土，因为矽酸鹽水泥与矾土水泥不同，它是一种产量既多又比較便宜的材料。

本書作者科学技术碩士 K. Д. 聶克拉索夫，於 1942 年至 1949 年期間在中央工業建筑科学研究所 (ЦНИПС) 的耐火建筑材料和結構試驗室，有系統地研究过高溫下硬化的矽酸鹽水泥砂漿和混凝土的性狀^①；試驗結果研究出了用摻磨細摻合料（細填料）的矽酸鹽水泥調制的耐火混凝土。这种混凝土使用在承受 1250—1300°C 溫度作用的热工設備和建筑結構內，事先無須經過煅燒。

經過苏联学者的試驗，已足能闡明水泥石和混凝土在高溫作用下發生的物理化学过程，並且已經研究出这种混凝土的基本物理机械性能，如：耐火度、高溫作用前后混凝土的强度、加热狀

① 科学工作者 E. B. 別特罗娃参加了作者的科学研究工作。

态下的强度、高温荷重变形、耐激冷激热性、热膨胀、线收缩、导热性、气孔率、吸水率、容重等等。这些研究的结果，已被作为“工业炉耐火混凝土的制造和使用技术规程”的基础，并且在制订“建筑法规大全”时也已加以考虑。

耐火混凝土可以广泛地使用于温度不十分高(1000—1250°C)的热工设备内；也可使用在许多重要的结构内，这些结构直到现在为止，还是采用普通混凝土做成，其中如高炉基础和平炉蓄热室的外壳(壳套)等；这些地方，普通混凝土在长时期的高温作用下会损坏。如果在这些结构中使用耐火混凝土，无疑将会提高其质量和耐久性。

苏联学者试验研究的成就以及有磨细掺合料矽酸盐水泥耐火混凝土在工业上的应用，已远远地超过了国外的技术，并且肯定了在这方面的祖国科学的优越性。

中央工业建筑科学研究院院务委员会

緒 論

耐火混凝土在建筑热工設備方面还使用得比較少。阻碍耐火混凝土广泛采用的原因之一，是由於对耐火度的理解過於狹隘，並且認為只有矾土水泥才适宜制造耐火混凝土的陈旧观念。最后，最重要的原因是不正确地按照結合剂的耐火度来估計混凝土的耐火度。對於耐火混凝土，水泥的不高的熔化溫度並不能够也不應該作为混凝土耐火度的特征。混凝土的耐火度主要決定於集料的耐火度和混凝土混合物的組成。

以膠凝材料为基础的耐火混凝土，特別是摻磨細摻合料的矽酸鹽水泥的耐火混凝土，不應該看作耐火材料的代用品，而应看作可以和普通耐火材料同样使用的特种耐火材料。

这些見解与院士 A.A. 拜科夫〔2〕对普通耐火材料所作的結論是一致的，結論說：「耐火制品放入煅燒窯以后，在煅燒時間內（煅燒过程）……並沒有結束本身的硬化过程，而只有在冶金爐砌体中在很高溫度下經過数月之后才能完成硬化过程，此时还發現耐火制品有惊人的轉化現象，可以說这种現象能完善地改变制品的外形和物理性能。」

耐火混凝土的优点，在於不需要經過預先煅燒（这在制造普通耐火材料时則是必需的）和混凝土的火力处理过程在热工設備热作業的条件下进行。这个見解完全符合於所引証的院士 A. A. 拜科夫關於耐火材料的結論。

B. H. 雍格發表的關於普通混凝土細填料的理論，已被我們加以發展与利用，即將細填料（粘土熟料、耐火粘土和石英砂等細填料）用在矽酸鹽水泥的耐火混凝土內。

關於高溫对矽酸鹽水泥的水泥石和混凝土的影响問題，根据現有的文献資料和我們試驗結果的分析，可以得到下列理論与实际的概括結論。

矽酸鹽水泥在正常狀態下硬化或进行湿热处理时，往矽酸鹽

水泥內加入磨細摻合料，根据磨細摻合料的性狀类推，可以肯定：在高溫下工作的硬化矽酸鹽水泥的主要条件之一，是水泥熟料礦物質水化作用时所分出的氫氧化鈣必須化合为含水矽酸鹽和含水鋁酸鹽。此外，当氫氧化鈣、部分含水矽酸鹽和含水鋁酸鹽脫水时因受热而生成的氧化鈣，必須化合为無水矽酸鹽和無水鋁酸鹽。

矽酸鹽水泥耐火混凝土的制造依据如下：磨細摻合料（細填料）在水泥石受热时对水泥石有稳定作用，这种作用首先保證摻合料与石灰發生化学反应（在固体状态下）而生成無水矽酸鹽和無水鋁酸鹽，以后当出現部分液相时，这种作用就保證液相同摻合料和在固体状态下的反应产物發生化学反应。

在耐火混凝土內采用矽酸鹽水泥的基本原理如下：当制造混凝土时，在开始是利用普通混凝土所具有的安裝强度，而当高溫加热时（超过1100—1200°C），水泥就失去其水硬性膠凝材料的性能，而混凝土却具备了陶瓷的性能，这种性能加强新生成物的耐激冷激热性。

耐火混凝土可以作成整体耐火混凝土复盖層而应用，也可以作成单独成型的混凝土砌塊来应用。

苏联科学研究人員研究高溫对矽酸鹽水泥混凝土的影响，有成效的有：B. H. 雍格教授、П. П. 布德尼科夫院士、B. И. 穆拉舍夫教授、B. M. 莫斯科文講師、Г. М. 魯舒克講師、И. Е. 古尔維奇講師、H. И. 列文講師、Г. Н. 杜傑罗夫講師等人。

苏联科学研究人員研究結果，已能使耐火混凝土广泛地实用在我国建筑中，这將增进工業用热工設備的耐久性。

目 录

前言	4
緒論	6
第一章 耐火混凝土分类	8
第二章 关于高温对混凝土影响的主要資料	10
一、矾土水泥混凝土	10
二、矽酸鹽水泥混凝土和水玻璃混凝土	15
第三章 水泥石和混凝土在高温作用下的物理化学过程	32
一、与水泥石受热有关的热化学过程的实质	32
二、再水化作用时的放热作用和受热的水泥石内游离石灰的測定	35
三、水泥石和集料在受热时的变形	39
四、水泥石和砂浆在受热时的强度变化	43
五、水泥石和混凝土的显微研究	53
第四章 耐火混凝土的物理-机械性質	71
一、混凝土的組成及其各成份的技术特性	71
二、耐火度	74
三、强度	75
四、高温荷重变形	101
五、耐激冷激热性	103
六、热膨胀	108
七、線收縮	119
八、导热性	120
九、气孔率、吸水率和容重	122
第五章 耐火混凝土的制作及其在工业爐中的应用	132
参考文献	141

1466300

81.53-
031

耐火混凝土的性質和应用

K. Д. 聶克拉索夫 著
胡 如 林 譯

冶金工业出版社

本書根据苏联国立建筑書籍出版社(Государственное издательство строительной литературы)出版的 К.Д. 聶克拉索夫 (К.Д. Некрасов) 所著“耐火混凝土的性質和应用”(Огнеупорные бетоны, их свойства и применение) 1949年版譯出。

本書包括苏联中央工業建筑科学研究院於 1942年至 1949 年內研究耐火混凝土的結果。

書中叙述用矽酸鹽水泥加各种細磨摻合料調制耐火混凝土的有关資料，指出了这些混凝土的性能、它們的組成、調制和在热工設備上应用的方法。

本書供建筑、設計和使用热工設備的工程技術人員以及科学工作者和研究試驗人員使用。

全書譯文承夏啓明同志校閱。

К.Д. НЕКРАСОВ

ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ, ИХ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ
СТРОИИЗДАТ (Москва—1949)

耐火混凝土的性質和应用

胡如林 譯

編輯：徐忠本 設計：周广珍 赵香苓 責任校對：吳研琪

1957 年 10 月第一版 1957 年 10 月北京第一次印刷 1,200 册

850×1168 • 1/32 • 110,000 字 • 印張 $4\frac{16}{32}$ • 定价 (10) 0.75 元

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0699

冶金工業出版社出版 (地址：北京灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 录

前言	4
緒論	6
第一章 耐火混凝土分类	8
第二章 关于高温对混凝土影响的主要资料	10
一、矾土水泥混凝土	10
二、矽酸盐水泥混凝土和水玻璃混凝土	15
第三章 水泥石和混凝土在高温作用下的物理化学过程	32
一、与水泥石受热有关的热化学过程的实质	32
二、再水化作用时的放热作用和受热的水泥石内游离石灰的测定	35
三、水泥石和集料在受热时的变形	39
四、水泥石和砂浆在受热时的强度变化	43
五、水泥石和混凝土的显微研究	53
第四章 耐火混凝土的物理-机械性质	71
一、混凝土的组成及其各成份的技术特性	71
二、耐火度	74
三、强度	75
四、高温荷重变形	101
五、耐激冷激热性	103
六、热膨胀	108
七、线收缩	119
八、导热性	120
九、气孔率、吸水率和容重	122
第五章 耐火混凝土的制作及其在工业炉中的应用	132
参考文献	141

1466300

前 言

苏联不断地增建高爐、平爐、煉焦爐，扩展有色冶金企業，进一步發展动力工業，以及在冶金工業、化学工業和其他工業部門的企業內一系列其他重要項目的生产，都需要大量的耐火材料。

因此，無論是用於各种热工設備的襯体，或者是在高溫作用下的建筑結構中，合理使用耐火材料的問題，都具有重大的实际意义。

由此可知，研究更完善的新型的耐火材料，特別是研究耐火混凝土，在我国有头等的国民經济意义。

耐火混凝土在大多数情况下是一种效能良好而价格低廉的耐火材料。因而耐火混凝土可以广泛地用在各类工業部門的热工設備內。

近年来，以矾土水泥制造的耐火混凝土已研究得比較透徹，且已应用在工業爐內。但是，更为經濟的是用矽酸鹽水泥代替矾土水泥来制造耐火混凝土，因为矽酸鹽水泥与矾土水泥不同，它是一种产量既多又比較便宜的材料。

本書作者科学技术碩士 K. Д. 聶克拉索夫，於 1942 年至 1949 年期間在中央工業建筑科学研究所 (ЦНИПС) 的耐火建筑材料和結構試驗室，有系統地研究过高溫下硬化的矽酸鹽水泥砂漿和混凝土的性狀^①；試驗結果研究出了用摻磨細摻合料（細填料）的矽酸鹽水泥調制的耐火混凝土。这种混凝土使用在承受 1250—1300°C 溫度作用的热工設備和建筑結構內，事先無須經過煅燒。

經過苏联学者的試驗，已足能闡明水泥石和混凝土在高溫作用下發生的物理化学过程，並且已經研究出这种混凝土的基本物理机械性能，如：耐火度、高溫作用前后混凝土的强度、加热狀

① 科学工作者 E. B. 別特罗娃参加了作者的科学研究工作。

态下的强度、高温荷重变形、耐激冷激热性、热膨胀、线收缩、导热性、气孔率、吸水率、容重等等。这些研究的结果，已被作为“工业炉耐火混凝土的制造和使用技术规程”的基础，并且在制订“建筑法规大全”时也已加以考虑。

耐火混凝土可以广泛地使用于温度不十分高(1000—1250°C)的热工设备内；也可使用在许多重要的结构内，这些结构直到现在为止，还是采用普通混凝土做成，其中如高炉基础和平炉蓄热室的外壳(壳套)等；这些地方，普通混凝土在长时期的高温作用下会损坏。如果在这些结构中使用耐火混凝土，无疑将会提高其质量和耐久性。

苏联学者试验研究的成就以及有磨细掺合料矽酸盐水泥耐火混凝土在工业上的应用，已远远地超过了国外的技术，并且肯定了在这方面的祖国科学的优越性。

中央工业建筑科学研究院院务委员会

緒 論

耐火混凝土在建筑热工設備方面还使用得比較少。阻碍耐火混凝土广泛采用的原因之一，是由於对耐火度的理解過於狹隘，並且認為只有矾土水泥才适宜制造耐火混凝土的陈旧观念。最后，最重要的原因是不正确地按照結合剂的耐火度来估計混凝土的耐火度。對於耐火混凝土，水泥的不高的熔化溫度並不能够也不應該作为混凝土耐火度的特征。混凝土的耐火度主要決定於集料的耐火度和混凝土混合物的組成。

以膠凝材料为基础的耐火混凝土，特別是摻磨細摻合料的矽酸鹽水泥的耐火混凝土，不應該看作耐火材料的代用品，而应看作可以和普通耐火材料同样使用的特种耐火材料。

这些見解与院士 A.A. 拜科夫〔2〕对普通耐火材料所作的結論是一致的，結論說：「耐火制品放入煅燒窯以后，在煅燒時間內（煅燒过程）……並沒有結束本身的硬化过程，而只有在冶金爐砌体中在很高溫度下經過数月之后才能完成硬化过程，此时还發現耐火制品有惊人的轉化現象，可以說这种現象能完善地改变制品的外形和物理性能。」

耐火混凝土的优点，在於不需要經過預先煅燒（这在制造普通耐火材料时則是必需的）和混凝土的火力处理过程在热工設備热作業的条件下进行。这个見解完全符合於所引証的院士 A. A. 拜科夫關於耐火材料的結論。

B. H. 雍格發表的關於普通混凝土細填料的理論，已被我們加以發展与利用，即將細填料（粘土熟料、耐火粘土和石英砂等細填料）用在矽酸鹽水泥的耐火混凝土內。

關於高溫对矽酸鹽水泥的水泥石和混凝土的影响問題，根据現有的文献資料和我們試驗結果的分析，可以得到下列理論与实际的概括結論。

矽酸鹽水泥在正常狀態下硬化或进行湿热处理时，往矽酸鹽

水泥內加入磨細摻合料，根据磨細摻合料的性狀类推，可以肯定：在高溫下工作的硬化矽酸鹽水泥的主要条件之一，是水泥熟料礦物質水化作用时所分出的氫氧化鈣必須化合为含水矽酸鹽和含水鋁酸鹽。此外，当氫氧化鈣、部分含水矽酸鹽和含水鋁酸鹽脫水时因受热而生成的氧化鈣，必須化合为無水矽酸鹽和無水鋁酸鹽。

矽酸鹽水泥耐火混凝土的制造依据如下：磨細摻合料（細填料）在水泥石受热时对水泥石有稳定作用，这种作用首先保證摻合料与石灰發生化学反应（在固体状态下）而生成無水矽酸鹽和無水鋁酸鹽，以后当出現部分液相时，这种作用就保證液相同摻合料和在固体状态下的反应产物發生化学反应。

在耐火混凝土內采用矽酸鹽水泥的基本原理如下：当制造混凝土时，在开始是利用普通混凝土所具有的安裝强度，而当高溫加热时（超过1100—1200°C），水泥就失去其水硬性膠凝材料的性能，而混凝土却具备了陶瓷的性能，这种性能加强新生成物的耐激冷激热性。

耐火混凝土可以作成整体耐火混凝土复盖層而应用，也可以作成单独成型的混凝土砌塊来应用。

苏联科学研究人員研究高溫对矽酸鹽水泥混凝土的影响，有成效的有：B. H. 雍格教授、П. П. 布德尼科夫院士、B. И. 穆拉舍夫教授、B. M. 莫斯科文講師、Г. М. 魯舒克講師、И. Е. 古尔維奇講師、H. И. 列文講師、Г. Н. 杜傑罗夫講師等人。

苏联科学研究人員研究結果，已能使耐火混凝土广泛地实用在我国建筑中，这將增进工業用热工設備的耐久性。

第 一 章

耐火混凝土分类

在現有的文献和一些專門的規程內，所用耐火膠泥和耐火泥料的術語，使人們對於這類耐火產品的概念模糊不清。例如，有這樣一些名稱：“膠泥”、“火泥”、“灰泥”、“塗料”、“結合劑”；有時，把耐火混凝土稱為“搗打料”，而相反把搗打料又稱為“混凝土”等等。常常又將所有這些名稱統稱為“耐火水泥”。

由於耐火混凝土、耐火膠泥和耐火泥料的用途不同，因而它們的性質、製造方法和使用方法也迥然不同。所以，按照用途分類並確定其相應的名稱是適當的。

B. A. 布龍〔3〕將全部耐火膠泥和耐火泥料分成下列幾類：

1. 結合用耐火膠泥或火泥。

在建築或修理爐窯的過程中砌築耐火磚所用結合耐火磚的膠泥，即為這類耐火膠泥。

2. 防止耐火襯體或砌體受損壞的耐火泥料。

塗抹在襯體或砌體表面上，使它們在工作過程中不受侵蝕作用（例如爐渣的侵蝕）的塗料，屬於這類耐火泥料。

3. 製造整體砌體或襯體用的耐火泥料。

混凝土、搗打料和燒結料都屬於這類耐火泥料。它們的用途是製造砌體或襯體。在許多情況中這類耐火泥料都可用來代替耐火磚。

4. 爐窯在生產中損壞時修補用的耐火泥料（補爐料或灰泥）。

耐火砌體或襯體在高溫使用時，塗抹修補砌體或襯體用的補

爐料屬於這類耐火泥料。

確定並推行上述的分類法，可提出下列耐火混凝土的定義與分類：

1. 耐火混凝土是一種特殊的混凝土，它在長期高溫作用下，既不會損壞，也不會喪失必需的承載能力，而且符合普通耐火材料所具備的基本條件。

2. 耐火混凝土根據熱工設備內可能作用在混凝土上的溫度分為：

1) 耐熱混凝土——工作溫度在 900°C 以下；

2) 耐火混凝土——工作溫度為 900°C 及其以上。

屬於耐熱混凝土的是下述承重結構用的混凝土：煙囪、高爐、平爐及其它工業爐的基礎，煉焦爐、熱風爐、工業鍋爐及其它工作溫度在 800°C 以下的構造物。

工業爐、煙道、熱管道及其它熱工設備的襯體中所用的混凝土屬於耐火混凝土類。

3. 根據所用膠凝材料的種類，混凝土可分為：

1) 礫土水泥混凝土；

2) 有磨細摻合料的矽酸鹽水泥混凝土；

3) 摻矽氟酸鈉摻料的水玻璃膠凝材料的混凝土。

根據標準命名法，耐火度介於 $1580-1770^{\circ}\text{C}$ 的材料稱為耐火材料。耐火度低於 1580°C 的材料通常稱為難熔的或易熔的材料。

如果我們不根據按耐火度而取的耐火材料標準命名法，而將耐火混凝土看作一種可以和普通耐火材料同樣使用的特殊的耐火材料，那麼，就有可能將工作溫度高於 900°C 的混凝土稱為“耐火混凝土”，而不將它稱為“難熔的”或者“易熔的”，因為後兩個名稱是用在粘土製成的材料上。

本書主要是研究用有磨細摻合料（細填充料和水硬性摻合料）的矽酸鹽水泥的耐火混凝土在工作溫度為 $600-1300^{\circ}\text{C}$ 時的性狀。