利用耐火砖做骨料配制耐热混凝土的研究*

徐广飞[1,2]，杭美艳[2]

（1. 包头钢铁职业技术学院，内蒙古 包头 014010；
2. 内蒙古科技大学土木工程学院，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章以包头市铝厂电解池车间地面的耐热混凝土作为研究对象，介绍了利用耐火砖为粗骨料、矿渣粉为掺和料配制混凝土的工程实践。通过耐火砖和矿渣粉在混凝土中不同的作用，以及各个配合比的混凝土在高温灼烧后的强度差值来比对普通混凝土的耐热能力，评价耐火砖和矿渣粉在耐热混凝土中的作用：其工作性能和力学性能与普通未掺矿渣粉的混凝土相比较高，耐热性能有了很大的提高，而且还保证了混凝土的实用性。

关键词： 耐火砖；矿渣粉；耐热混凝土；实用性

中图分类号： TU528.34 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2020)01－0079－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.01.023

Research of Preparing Heat Resistance Concrete with Refractory Brick as Aggregate

Xu Guang－fei[1,2], *Hang Mei－yan*[2]

(1. *Baotou Iron and Steel Vocational Technical College, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *School of Architecture and Civil Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the engineering practice of preparing concrete with refractory brick as coarse aggregate and slag powder as mineral admixture through taking the heat resistance concrete for ground of electrolytic cell workshop of Baotou Aluminium Manufacturer as the research subject. The functions of refractory brick and slag powder for heat resistance concrete are evaluated through comparing the intensity differences of concrete with every mix proportion after burning of high temperature with the heat－resisting ability of normal concrete. Compared with normal concrete without slag powder, its working performance and mechanical performance are higher, the heat resisting property is improved greatly and the practicability of concrete is guaranteed.

Key words: refractory brick; slag powder; heat resistance concrete; practicability

包头东河区铝厂的电解车间地面的混凝土，由于使用年限较长，表面很多地方发生骨料剥离的情况，为了改善混凝土的耐热性，铝厂相关负责人决定重新浇筑耐热混凝土[1]。该车间地面温度局部可

* **收稿日期：** 2019－05－10

基金项目： 内蒙古自治区研究生教育创新计划资助项目(S20151012701)；内蒙古自然科学基金项目：2013MS073；内蒙古高等学校科学研究项目：NJ05068。

作者简介： 徐广飞(1983－)，男，河北省承德市人，讲师，建造师，主要从事混凝土耐久性研究。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

达300 ℃左右，企业要求混凝土的耐久性能要满足日常生产的使用，利用耐火砖代替石子的混凝土在耐热混凝土工程中应用不太广泛，而根据以往的经验，掺入矿渣粉能提高硬化混凝土的力学性能和耐久性，但是本工程耐火砖在目前能不能抵抗车间的耐热问题，成为主要研究内容。本次试验就是针对当地生产的耐火砖和矿渣粉掺入到混凝土中，而进行的耐热混凝土的性能的实验。

1 试验用原材料与试验方法

1.1 原材料的选择

耐热混凝土是一种能长期承受高温作用(200 ℃以上)，并在高温作用下保持所需的物理力学性能的特种混凝土，而代替耐火砖用于工业窑炉内衬的耐热混凝土也称为耐火混凝土。本试验用水泥采用铝酸盐水泥，原因是该水泥的化学成分中含有较多的Al_2O_3，在1 000 ℃左右发生烧结产生陶瓷结合后，具有更高的烧结强度和耐火度[2]。

普通混凝土耐热性不好的主要原因是一些水泥的水化产物为$Ca(OH)_2$，水化铝酸钙在高温下脱水，使水泥石结构破坏而导致混凝土碎裂；另一个原因是常用的一些骨料，如石灰石、石英砂在高温下发生较大体积变形，还有一些骨料在高温下发生分解，从而导致普通混凝土结构的破坏，强度降低。因此，骨料是配制耐热混凝土一个很关键的因素，耐热骨料是配制耐热混凝土一很关键的因素。

掺合料的作用主要有两个：一是可增加混凝土的密实性，减少在高温状态下混凝土的变形；二是在用普通硅酸盐水泥时，掺合料中的Al_2O_3和SiO_2与水泥水化产物$Ca(OH)_2$的脱水产物CaO反应形成耐热性好的无水硅酸钙和无水铝酸钙，同时避免了$Ca(OH)_2$脱水引起的体积变化。所以，掺合料应选用熔点高、高温下不变形且含有一定数量Al_2O_3的材料。本次试验选择的材料是包头本地区生产的矿渣微粉和耐火砖，根据相应的试验规程进行检验见表1。

在配制耐热混凝土时，可掺加减水剂以降低水灰比，以此减少混凝土结构内部的空隙率，减水剂用非引气性，减水剂指标见表2，耐火砖的物理性能见表3。

表1 矿渣微粉的物理性能指标

样品编号	比表面积/($m^2 \cdot kg^{-1}$)	胶砂流动度/mm	加水量/mL	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
				3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
J	390	175	225	5.1	7.4	8.2	27.2	34.8	50.4
1#	508	178	215	4.0	6.8	8.4	16.8	27.6	53.2
2#	658	174	228	4.4	7.4	9.3	18.5	29.2	58.4

注：养护温度为20 ℃。

表2 减水剂性能指标

性能	减水率/%	坍落度保留值/($mm \cdot h^{-1}$)	抗压强度比/%		掺量/%
			7 d	28 d	
指标	30	220	120	148	1.2

表3 耐火砖的物理性能指标

样品	粒径/mm	级配	表观密度/($kg \cdot m^{-3}$)	压碎指标/%	针片状含量/%	含泥量/%
1	5～30	连续	2 250	36.5	3.0	1.2%

1.2 试验方法

本实验参考YB/T 4252—2011《耐热混凝土应用技术规程》。

2 试验结果及讨论

2.1 本试验耐热混凝土概况

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

工程中所用的普通混凝土不耐高温，故不能在高温环境中使用。其不耐高温的原因是：水泥石中的氢氧化钙及石灰岩质的粗骨料在高温下均要产生分解，石英砂在高温下要发生晶型转变而体积膨胀，加之水泥石与骨料的热膨胀系数不同。所有这些，均将导致普通混凝土在高温下产生裂缝，强度严重下降，甚至破坏。本研究中涉及到的混凝土的耐热机理是：水泥熟料中的硅酸三钙和硅酸二钙的水化产物在高温的作用下脱水，生成的氧化钙与矿渣中的二氧化硅和三氧化二铝又反应生成具有较强耐热性的无水硅酸盐和无水铝酸钙，从而使混凝土具有较好耐热性[3]。为了更好的提高混凝土的和易性，混凝土中加入矿渣粉[4]。

本次施工的混凝土设计强度等级为 C30，用量约 800 m^3，施工要求坍落度为 170 ~ 190 mm。工程要求混凝土具有良好的施工工作性能，并且能够满足混凝土在高温烘烤(300 ℃以上)下有足够的抗压强度和耐久性，以及在外荷载作用下不产生有害裂缝的要求[5]。

2.1.1　混凝土的配合比

本次试验的耐热混凝土的配合比设计采用经验配合比为初始配合比，再通过试配得到可用于工程上的配合比[6]。混凝土配合比的设计强度等级为 C30，设计坍落度为 170 ~ 190 mm，可以先假定混凝土容重 1 900 kg/m^3，胶凝材料的总量为：560 kg，矿渣粉的掺量为胶凝材料的 20%、30%、40%，外加剂的掺量为胶凝材料的 1.2%，砂率采用 45%，进行混凝土试配试验，配合比见表 4。

表 4　耐热混凝土的配合比

序号	水泥 /(kg·m^{-3})	矿渣粉 /(kg·m^{-3})	砂 /(kg·m^{-3})	耐火砖 /(kg·m^{-3})	水 /(kg·m^{-3})	减水剂 /(kg·m^{-3})	塌落度 /cm	流动度 /cm
基准	560	0	623	846	330	6.7	19	50
1	448	112	620	850	325	6.7	20	51
2	392	168	625	855	320	6.7	21	52
3	336	224	625	855	310	6.7	21	53

2.1.2　混凝土的耐热试验及分析结果

本实验采用的方法是每个配合比成型四组试块，标准养护 28 d，在 110 ℃烘干 24 h，分别放在高温炉子中，在 300 ℃、500 ℃、700 ℃的温度下恒温灼烧 3 h，然后冷却，测量烧后的抗压强度，并以此作为某个配合比下的某级温度下的烧后强度值。比较混凝土强度损失率，试验所测得的结果如表 5 所示。

表 5　耐热混凝土的抗压强度值

序号	抗压强度(110 ℃烘干)/MPa	烧后抗压强度值/MPa		
		300 ℃	500 ℃	700 ℃
基准	35.3	36.7	25.8	15.3
1	38.6	40.8	31.5	20.4
2	39.4	41.2	34.2	25.6
3	36.1	37.8	28.6	14.5

评价耐火材料的耐火性能的技术指标中最直观的就是耐火之后的抗压强度，检验烧后的抗压强度，可以从宏观上分析出混凝土在高温作用下的组织变化，以及能够承受的压力，由上述试验结果得知：不同掺量的混凝土在 300 ℃的灼烧后抗压强度均大于 28 d 烘干强度，原因是混凝土在 300 ℃时，混凝土内部的游离水大量被烘出，在混凝土内部形成了蒸汽养护条件，水泥水化进一步加快，主要产物 C－S－H 凝胶也开始脱水，C－S－H 凝胶逐渐致密；随着温度的升高 C－S－H 凝胶开始脱水，强度降低。用耐火砖配置的混凝土中掺入 20% 的矿渣粉其耐火性能较好，这个混凝土中 C－S－H 凝胶的生成量相对较多，且比基准配合比的混凝土致密，但是从表中也可得出每种配合比下的混凝土强度在 700 ℃灼烧后降低都比较明显。

本次试验的耐火混凝土可以在 700 ~ 900 ℃的温度下工作并保持其物理力学性能，它与耐热混凝土有许多共同之处，在一些资料中甚至不将二者加以区分。它与耐热混凝土的区别主要在于它往往直接暴露于高温火焰中，工作温度亦更高，且较少反复加热冷却情况。耐火混凝土广泛运用于冶金、石油、化工及核电等工业窑炉中，它比耐火砖生产工艺简单，施工效率高，成本低，易于满足异形部位施工与维修，其寿命较耐火砖可提高很多。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 结论

(1) 通过用磨细矿渣粉和高效减水剂来降低水胶比,并以耐火砖为骨料配制300~500 ℃的耐热混凝土是可行的,但是矿渣粉应该使用活性较好的,降低了水泥的用量节约成本。

(2) 随着矿渣粉的掺入混凝土达到了比较好的流动性,流动度在矿渣粉的掺量为30%时较大,而且混凝土中水胶比也随着矿渣粉掺量的增加而减少,与此同时混凝土的28 d抗压强度也达到了最大值,但是随着矿渣粉掺入量的增加强度有下降的趋势。

(3) 不同掺量的混凝土在300 ℃的灼烧后抗压强度均大于28 d烘干强度,并且随着温度的升高,抗压强度降低。经过高温灼烧的混凝土,从抗压强度的差值可以看出,矿渣粉掺量为30%的混凝土的前后压强差较小,表明耐热性能力较强,而且其和易性与工作性能都好,既方便施工又可以节约成本。

(4) 本研究的另外亮点是可以用耐火砖代替碎石用作混凝土粗骨料,这样既保证了混凝土的强度要求,有更好的提高了混凝土中骨料的耐热性能。

参 考 文 献

[1] 赵俊梅,杭美艳. 包头铝厂焙烧炉炉壁耐热混凝土胀裂事故分析[J]. 内蒙古科技大学学报,1998,(2):130-133.
[2] 李长亨,付宝华,高桂波. 耐热混凝土的配制与应用[J]. 山东建材,2005,26(5):54-56.
[3] 孙庆霞,曹万智,薛海儒,等. 纤维增强轻骨料混凝土耐高温性能及有限元分析[J]. 混凝土,2011,(7):23-26.
[4] 李井海. 耐火混凝土用掺合料的选择[J]. 建筑技术,1990,(11):36-38.
[5] 黄鹏清. 大体积耐热混凝土的应用与质量控制[J]. 中国新技术新产品,2012,(12):100.
[6] 宿晓萍,隋艳娥,赵万里. 高温后混凝土力学性能的对比分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版),2001,2(3):23-28.

(上接第53页)

从表4中可以看出,试样1推拉力、滑轨寿命和功能测试不合格,试样2所有检测项目全部合格,达到用户的要求。按照试样2的成分和工艺设计实现批量生产。

4 结论

(1) 滑轨钢化学成分设计添加C、Si和Mn元素,热轧卷取温度采用620 ℃和退火温度采用700 ℃可以提高屈服强度和抗拉强度,同时形成铁素体和弥散分布的珠光体组织。

(2) 试样2工艺经过用户加工成抽屉后按照行业标准进行检测满足要求,可以稳定供货。

参 考 文 献

[1] 王宁,黄秋菊. 大型冰箱用500 MPa级重型冷轧滑轨钢研究[J]. 鞍钢科技,2014,(3):19-22.
[2] 刘晓春. 轿车座椅高强度钢板冲压滑轨的冲压工艺研究[D]. 长春:吉林大学,2014.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net