

学校编码: 10384  
学 号: 200236011

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

(超) 高层钢结构建筑厚涂型  
防火涂料研究

Study on The Thick Fire Resistant Coating  
for Steel Structure of Highrise or Super Highrise Buildings

庄 勋 港

指导教师姓名: 戴李宗 教授

专 业 名 称: 高分子化学与物理

论文提交日期: 2005 年 7 月

论文答辩时间: 2005 年 7 月

学位授予单位: 厦 门 大 学

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2005 年 7 月

Study on The Thick Fire Resistant Coating  
for Steel Structure of Highrise or Super Highrise Buildings



*A Dissertation Submitted to the Graduate School in Fulfillment  
of the Requirements for the Degree of Master of Science  
at Xiamen University*

*by*

**ZHUANG Xun-Gang**

*Supervised by*

**Professor DAI Li-Zong**

Department of Materials Science & Engineering

Xiamen University, Xiamen

July 2005

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

火灾是当今世界上发生最频繁、最具毁灭性的灾害之一，它所导致的直接损失约为地震的 5 倍，仅次于旱灾和洪灾。随着城市化、工业化步伐加快，人口、物资的集中使建筑物火灾位居火灾事故首位。作为一种最为简便、高效的安全防火措施，功能型涂料——防火涂料在建筑行业中得到极大的应用。

随着钢结构技术的发展，高层、超高层钢结构建筑已逐渐成为众多现代城市建筑的主流。钢材虽是不燃物，但导热系数大，随着温度的升高，钢材的机械力学性能迅速下降（失效临界温度  $540^{\circ}\text{C}$ ）。未加防火保护的钢结构，遭遇火灾只需 10 多分钟，自身温度就可达  $700^{\circ}\text{C}$  以上，在纵向压力和横向拉力作用下，钢结构扭曲变形、甚至跨塌损毁。为了满足建筑钢结构 1~3 小时的耐火极限要求，必须对钢结构实施防火保护。

当涂覆在被保护基材上的防火涂料在遭遇高温时，能够依靠涂层的耐火阻燃特性以及某些物理化学反应，减缓热量向钢结构基体的传导，使之达到规范规定的耐火极限要求，以利于人员安全疏散和消防灭火，减轻和避免火灾损失。

本文所研制的超高层建筑厚涂型钢结构防火涂料是一类主要由胶结料（粘接剂、粘接改性剂）、轻质耐火隔热骨料、隔热耐火粉料、复合纤维以及添加剂等原料组成的改性无机型防火涂料。

该防火涂料在配方上：采用复合改性剂、复合纤维、高分子聚合物、活性微粉增加涂层粘结、耐水、团结、抗爆裂性能，提高各组分的协同作用；工艺上：对粘结剂进行复合改性，对填料进行表面改性处理，并采用自替代复合纤维技术强化涂层团结、

稳定性。

本文就如下几个方面展开研究：

1.通过研究主粘结剂、粘接改性剂及其之间的复合，探讨了复合配比及含量对厚涂型防火涂料性能的影响，确定了各自的适用范围，即无机主粘接剂在 30-40%，有机粘接改性剂在 2-8%、无机粘接改性剂含量在 4-8%。并得出复合后最佳配比，即主粘接剂:有机改性剂为(8~12):1；主粘接剂:有机改性剂:无机改性剂为(7~9):(0.5~1):1。

2.通过研究轻质阻燃隔热骨料的单一及复合使用、骨料的表面改性处理等因素对厚涂型防火涂料的性能影响，认为单一使用膨胀蛭石作为阻燃骨料时，适用范围 25~30%，而单一使用膨胀珍珠岩时，适用范围 20~25%。当涂料中膨胀蛭石与膨胀珍珠岩总掺量为 30%时，二者适合配比为 2:1。经表面处理后，骨料吸水性均得到大幅度的下降，膨胀蛭石和膨胀珍珠岩的吸水率分别最大下降 91.20%和 92.16%，涂料密度降低，涂层的力学、耐火性能均提高。

3.研究单一及复合使用耐火隔热粉料对厚涂型防火涂料耐火性能的影响，认为单独采用氢氧化铝、氢氧化镁等原料作为耐火隔热粉料时适用范围为：氢氧化铝 30~40%、氢氧化镁 10~30%、碳酸钙 10~20%、高岭土 15~30%。同时开展了复合对比对耐火性能的影响实验，结果表明配比为 3:2 的碳酸钙、高岭土复合体系和配比为 10:5:2:8 的石灰石、高岭土、三聚氰氨、聚磷酸铵的有机-无机复配体系均能提高涂层的耐火性能。

4.探讨了无机耐火纤维及低熔点聚合物纤维之间的复配对厚涂型钢结构防火涂料的增强、力学性能提高以及涂层的耐火稳定

性等影响；探讨了自替代复合纤维技术的使用效果。确定单独使用无机纤维适用范围在 2~8% 和单独使用聚合物纤维适用范围 0.1~0.5%，以及无机纤维和聚合物纤维二者形成的复合纤维体系适用配比为 (4~5):0.1。

5. 通过使用诸如超细矿物原料等类型的外加剂，增进及改善涂层的多项性能，提高耐水、增强、施工使用性，对外加剂种类及含量对防火涂物理化性能的影响开展实验。

6. 就防火涂料的生产、工程应用中出现问题，提出改进措施。介绍了微养护在建筑防火工程中的实施，应用结果。本研制所生产的厚涂型防火涂料产品，经国家防火建筑材料质量监督检验中心检验，各项性能达到或超过 GB 2002—14907 的要求，产品已经在厦门九州大厦等工程项目中得到应用。

关键词：（超）高层建筑，钢结构，厚涂型防火涂料

**ABSTRACT**

Fire loss is one of the most deadly and frequency disasters in the world. The loss caused by fire is just followed that by flood and by drought disasters, and quintuple of that by earthquake. With the step of urbanization and industrialization, architecture fire holds the first place in fire loss. As one of the functional coatings, fire resistant coatings are used to reduce or prevent the fire spreading efficiently.

With the development of steel structure technique, steel structure is widely used in highrise buildings in many big cities. Steel framed buildings offer many advantages over traditional methods of construction. But, it was proved that the steel is not solidly in the fire. In the event of building fire, the temperature of unprotected steel will increase to a point at where the steel becomes soft quickly, and the steel framework will distort or collapse in fifteen minutes.

In order to prevent the fire spreading and increase the fire resistant limit of steel structure to one to three hours, it is necessary to fireproof the steel structure.

In high temperature of fire circumstance, some physical and chemical reactions will proceed inside the fire resistant coating and it will slow down the speed of heat delivery to steel structure, which will help the people disperse and reduce or avoid heavy loss.

In our work, we developed a special steel structure fire-resistant coating for highrise or super highrise buildings. It belongs to modified inorganic fire resistant coating. In the formula, it is made up of main



binding material and complex modifying agent, light fireproofing aggregate and powder, self-replace multiple fibers, active micro powder and so on. All those increase the coatings' adhesive strength, compressive strength, waterproof and the cooperative effect of all component. In the technics, we use the multiple modifying binding material technic, surface modifying technic of light fireproofing aggregate, and self-replace fibers technic to strengthen the stability of coating and prevent the coating crazing and prolong the fire resistant time.

In this dissertation, the contents were studied in detail as follows:

1. By study the effect of complex ratio of primary binder to its modifier and their contents on the adhesive strength of fire-retardant coatings, the best content and ratio of them can be obtained as follows: 30~40% primary binder(PB), 2~8% polymer modifier(PM), 4~8% organo-modifier(OM),  $[PB]:[PM]=(8\sim 12):1$ ,  $[PB]:[PM]:[OM]=(7\sim 9):(0.5\sim 1):1$ .

2. Using single or multiple light thermal insulation aggregate and its of surface modified treatment will influence the coating properties. When using single aggregate, the suitable content of expanded vermiculite is 25~30%, and the expanded perlite is 20~25%. The ratio of the two aggregate is 2:1, and the total content is 30% if using multiple aggregate. After surface modified, water absorbability of this two aggregate reduces greatly, which decrease the coating's density and improve its mechanics and fireproof properties. The water absorbability of expanded vermiculite reduces 91.2%, as well as

92.16% to expanded perlite。

3. We also adopt single or multiple thermal insulation powder to improve fireproof performance of coatings. The mass percent of single thermal insulation powder is as follows: 30~40%aluminum hydroxyde , 10~30%magnesium hydroxide , 10~20%calcium carbonate, 15~30%kaolin,When using multiple powder, the ratio of calcium carbonate to kaolin is 3:2 and the ratio of calcium carbonate, to kaolin, to melamine, to ammonium polyphosphate is 10:5:2:8. The multiple powder system will improve coating's fireproof performance evidently.

4.By study the effect of multiple application inorganic fiber and polymer fiber on coating's mechanical properties, stabilization and so on, we discussed the effect of self-replace of multiple fiber technic. The results indicate that the content of inorganic fibre is 2~8% and polymer fiber is 0.1~0.5% when they are single used in coatings. The ratio of inorganic fibre to polymer fiber is (4~5) : 0.1 if they are used together.

5.In addition, we also introduce active micro powder and other additive to improve the coating's waterproof and mechanical strength. and flowing of slurry, which is in favor to workability. The effect of the species and content of the addition agent on coating's physicochemical properties are also studied.

6. Finally, we offer some resolve or improved measures to the problems that aroused in industrialization and practical construction period. The coating's micro-curing in construction period is also

introduced. The thick fire-resistant coating of our research production had passed the fire-retardant architectural materials' quality checking held by National Checking Center and its technological index reached or higher the national standard GB14907-2002. The product had already applied in "Jiuzhou" building project and so on.

**Keywords:** highrise or super highrise buildings, steel structure,  
thick fire-retardant coatings

# 目 录

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iv
<b>第一章（超）高层钢结构建筑及防火涂料.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1（超）高层建筑与钢结构.....</b>	<b>1</b>
1.1.1（超）高层建筑其特点.....	1
1.1.2 钢结构建筑及其特点.....	2
1.1.3 国外（超）高层钢结构建筑的发展.....	3
1.1.4 我国（超）高层钢结构建筑发展沿革.....	6
1.1.4.1 高层钢结构建筑的结构体系.....	6
1.1.4.2 我国（超）高层钢结构建筑发展现状.....	7
<b>1.2 高层建筑火灾危害及钢结构建筑防火措施.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 钢结构的高温特性.....	8
1.2.2 高层建筑火灾特点及危害.....	9
1.2.3（超）高层建筑火灾介绍.....	10
1.2.4 钢结构的主要防火技术.....	11
1.2.5 防火涂料相关法规及要求.....	12
<b>1.3 防火涂料及其发展现状.....</b>	<b>14</b>
1.3.1 防火涂料发展沿革.....	14
1.3.2 防火涂料的分类及特点.....	15
1.3.3 钢结构防火涂料的分类和国家规范要求.....	17
1.3.4 钢结构防火涂料研究开发现状.....	19
<b>1.4 钢结构防火涂料的组成及防火机理.....</b>	<b>20</b>

1.4.1 防火涂料的阻燃机理 .....	21
1.4.1.1 膨胀型防火涂料防火机理 .....	21
1.4.1.2 非膨胀型防火涂料防火阻燃机理 .....	21
1.4.2 厚涂型钢结构防火涂料配方设计原理 .....	22
<b>1.5 本研究的主要内容及意义 .....</b>	<b>25</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>27</b>
<b>第二章 实验材料、仪器和实验方法 .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 主要原料 .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 主要实验仪器 .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3 实验方法 .....</b>	<b>32</b>
2.3.1 防火涂料的制备 .....	32
2.3.2 防火涂料试样的制备 .....	33
2.3.2.1 浆料的制备 .....	33
2.3.2.2 试样的制作 .....	33
2.3.2.3 试样的养护 .....	33
2.3.3 性能测试 .....	33
2.3.3.1 高温燃烧实验 .....	33
2.3.3.2 标准理化性能测试 .....	35
2.3.3.3 基本数据表示 .....	35
<b>第三章 粘接材料对厚涂型钢结构防火涂料性能的影响 .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 主粘接剂含量对防火涂料性能的影响 .....</b>	<b>36</b>
3.1.1 主粘接剂含量与涂层粘接强度的关系 .....	37
3.1.2 主粘接剂含量与涂层抗压强度的关系 .....	38
<b>3.2 聚合物粘接改性剂对防火涂料的影响 .....</b>	<b>39</b>
3.2.1 以聚合物粘接改性剂为变量的防火涂料配方设计 .....	40

3.2.1 聚合物粘接改性剂对涂层力学性能的影响.....	41
3.2.2 聚合物粘接改性剂对涂层耐火性能的影响.....	43
<b>3.3 改性水玻璃对防火涂料性能的影响.....</b>	<b>43</b>
3.3.1 以水玻璃为变量的防火涂料配方设计.....	44
3.3.2 水玻璃对涂层力学性能的影响.....	45
3.3.3 水玻璃对涂层耐火性能的影响.....	46
<b>3.4 本章小结.....</b>	<b>46</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>47</b>
<b>第四章 骨料对厚涂型钢结构防火涂料性能的影响.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 膨胀蛭石对防火涂料性能的影响.....</b>	<b>50</b>
4.1.1 膨胀蛭石对涂层密度的影响.....	51
4.1.2 膨胀蛭石对涂层力学性能的影响.....	52
4.1.3 膨胀蛭石对涂层体积收缩率的影响.....	53
4.1.4 膨胀蛭石对涂层耐火性能的影响.....	53
<b>4.2 膨胀珍珠岩对防火涂料性能的影响.....</b>	<b>54</b>
4.2.1 膨胀珍珠岩对涂层密度的影响.....	55
4.2.2 膨胀珍珠岩对涂层力学性能的影响.....	55
4.2.3 膨胀珍珠岩对涂层体积收缩率的影响.....	56
4.2.4 膨胀珍珠岩对涂层耐火性能的影响.....	57
<b>4.3 二元复合骨料对防火涂料性能的影响.....</b>	<b>58</b>
4.3.1 二元复合配比对涂层密度的影响.....	58
4.3.2 二元复合配比对涂层力学性能的影响.....	59
4.3.3 二元复合配比对涂层耐火性能的影响.....	60
<b>4.4 三元复合骨料对防火涂料性能的影响.....</b>	<b>60</b>
4.4.1 三元复合配比对涂层密度的影响.....	61

4.4.2 三元复合对比对涂层力学性能的影响 .....	62
4.3.3 三元复合对比对涂层耐火性能的影响 .....	63
<b>4.4 本章小结.....</b>	<b>63</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>64</b>
<b>第五章 隔热阻燃粉料对厚涂型钢结构防火涂料性能的影响...65</b>	
5.1 碳酸钙含量对防火涂料耐火性能的影响.....	65
5.2 高岭土粉料含量对涂层耐火性能的影响.....	67
5.3 氢氧化铝含量对涂层耐火性能的影响.....	68
5.4 氢氧化镁含量对涂层耐火性能的影响.....	69
5.5 石灰石、高岭土、三聚氰氨、聚磷酸铵复配对涂层耐火性能的影响...71	
5.6 本章小结.....	72
参考文献.....	72
<b>第六章 纤维对厚涂型钢结构防火涂料性能的影响.....75</b>	
6.1 无机纤维对防火涂料性能的影响.....	77
6.1.1 纤维含量对涂层施工性能的影响 .....	78
6.1.2 纤维含量对涂层力学性能的影响 .....	79
6.1.3 纤维含量对涂层耐火性能的影响.....	79
<b>6.2 聚合物纤维对防火涂料性能的影响.....79</b>	
6.2.1 纤维含量对涂层施工性能的影响.....	80
6.2.2 纤维含量对涂层力学性能的影响.....	80
6.2.3 纤维含量对涂层耐火性能的影响.....	80
<b>6.3 复合纤维对防火涂料性能的影响.....81</b>	
6.3.1 复合纤维含量对涂料施工性能的影响 .....	81
6.3.2 复合纤维含量对涂层力学性能的影响.....	82
6.3.3 复合纤维含量对涂层耐火性能的影响.....	82

<b>6.4 本章小结</b> .....	<b>83</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>83</b>
<b>第七章 骨料表面改性及微养护方法研究</b> .....	<b>85</b>
<b>7.1 骨料表面改性实验</b> .....	<b>85</b>
7.1.1 表面处理对骨料吸水性能的影响.....	86
7.1.2 骨料表面处理对涂层密度的影响.....	87
7.1.3 骨料表面处理对涂层力学性能影响.....	87
7.1.4 骨料表面处理对涂层体积收缩率的影响.....	88
7.1.5 骨料表面处理对涂层耐火性能影响.....	89
<b>7.2 养护方式对防火涂料性能的影响</b> .....	<b>89</b>
<b>7.3 微养护方法的研究</b> .....	<b>90</b>
<b>7.4 本章小结</b> .....	<b>91</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>91</b>
<b>第八章 外加剂对厚涂型钢结构防火涂料性能的影响</b> .....	<b>93</b>
<b>8.1 减水剂对防火涂料性能的影响</b> .....	<b>93</b>
<b>8.2 增稠剂对防火涂料性能的影响</b> .....	<b>94</b>
<b>8.3 防水剂对防火涂料性能的影响</b> .....	<b>95</b>
<b>8.4 超细硅粉对防火涂料性能的影响</b> .....	<b>96</b>
<b>8.5 本章小结</b> .....	<b>97</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>97</b>
<b>第九章 厚涂型钢结构防火涂料中试及改进</b> .....	<b>100</b>
<b>9.1 酒精喷灯燃烧实验</b> .....	<b>100</b>
<b>9.2 涂层厚度对防火涂料耐火性能的影响</b> .....	<b>101</b>
<b>9.3 大板燃烧法燃烧实验</b> .....	<b>102</b>



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库