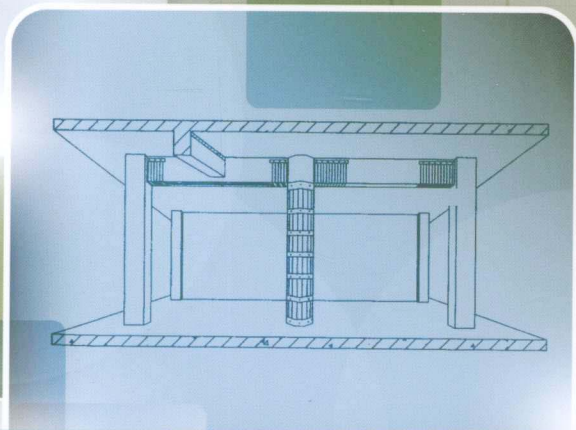
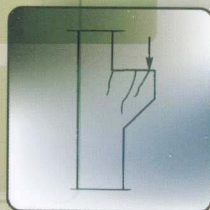
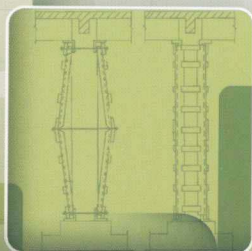


SHIYONG HUNNINGTU JIEGOU
JIAGU JISHU

实用混凝土结构 加固技术

陈凤山 主编



化学工业出版社

SHIYONG HUNNINGTU JIEGOU
JIAGU JISHU

实用混凝土结构 加固技术

陈凤山 主编

 化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合最新的政策、法规、标准、规范及先进技术进行编写，具有很强的实用性和操作性。主要包括：混凝土结构加固材料、混凝土结构检测、混凝土结构鉴定、混凝土结构裂缝分析与处理、混凝土结构加固设计、混凝土结构加固施工、多层及高层钢筋混凝土房屋抗震加固。

本书可作为钢筋混凝土结构工程检测、加固设计、加固施工人员的学习参考用书，也可供高等院校土建专业师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用混凝土结构加固技术/陈凤山主编. —北京:
化学工业出版社, 2013.3

ISBN 978-7-122-16401-8

I. ①实… II. ①陈… III. ①混凝土结构-加固
IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 018292 号

责任编辑: 彭明兰
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 郑 直
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 359 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元

版权所有 违者必究

编 委 会

主 编 陈凤山

参 编 (按姓氏笔画顺序排列)

未翠霞 王春乐 石 岩 石 琳

刘其林 刘海锋 张 健 张 敏

张大林 李 伟 李 松 李冬云

杜 岳 杨蝉玉 陈 达 陈凤山

陈阳波 隋红军 韩 旭

前言



近年来,随着我国建筑业和城市建设的迅速发展,混凝土结构作为一种主要的建筑结构形式,越来越广泛地应用于各种建筑物中。然而在建筑工程施工过程中,有时会由于施工质量不能满足设计和规范要求,建筑使用功能改变,大量混凝土结构老化以及水泥质量、施工方法、配合比等因素的影响,造成混凝土强度偏低,如果弃之返工会造成很大的经济损失,因此,必须采取一些措施对混凝土结构进行补强加固、改造、维护。此外,由于各种新材料、新成果、新技术在加固领域的应用,加固的方法和手段也越来越多样化,使得很多人对这一领域使用的材料和加固的方法感到陌生,而这种情况已影响到了加固施工的质量和效果。为满足广大读者对于混凝土结构加固设计与施工方面新知识的渴求,我们深入总结了混凝土结构加固的理论研究和实践工作中的经验,编写了此书。

本书依据现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)和《建筑结构加固工程施工质量验收规范》(GB 50550—2010)等最新标准、规范编写。本书结构体系上重点突出、详略得当,还注意了相关知识的融贯性,突出整合性的编写原则。

本书可作为钢筋混凝土结构工程检测、加固设计、加固施工人员的学习参考用书,也可供高等院校土建专业师生阅读。

由于编者学识和经验有限,难免存在疏漏或不妥之处,望广大读者批评指正。

编者
2013.3

1

混凝土结构加固材料

1

1.1 水泥	1
1.1.1 通用硅酸盐水泥	1
1.1.2 特种水泥	4
1.2 混凝土	7
1.2.1 混凝土的一般规定	7
1.2.2 混凝土的分类	8
1.2.3 混凝土强度要求	9
1.3 钢材	11
1.3.1 钢材的一般规定	11
1.3.2 钢材强度要求	12
1.4 其他混凝土加固材料	15
1.4.1 纤维和纤维复合材	15
1.4.2 结构加固用胶黏剂	17
1.4.3 混凝土裂缝修补材料	19
1.4.4 阻锈剂	19

2

混凝土结构检测

21

2.1 混凝土结构检测基本规定	21
2.1.1 建筑结构检测范围和分类	21
2.1.2 建筑结构检测工作程序与基本要求	21
2.1.3 建筑结构检测方法	22
2.1.4 混凝土结构检测要求	23
2.2 混凝土结构强度检测	30
2.2.1 回弹法检测混凝土强度	30
2.2.2 钻芯法检测混凝土强度	33
2.2.3 拔出法检测混凝土强度	35
2.2.4 超声回弹综合法检测混凝土强度	40
2.3 混凝土结构质量检测	42
2.3.1 混凝土裂缝及内部缺陷检测	42
2.3.2 混凝土碳化深度及保护层厚度检测	49
2.3.3 钢筋种类及锈蚀检测	50
2.4 钢筋混凝土结构火灾后的检测	52
2.4.1 火灾温度的判定	52

3

2.4.2	火灾后混凝土结构的综合评定	54
2.5	建筑物变形、沉降与倾斜观测	55
2.5.1	结构构件变形检测	55
2.5.2	建筑物沉降观测	57
2.5.3	建筑物倾斜观测	57

混凝土结构鉴定

59

3.1	混凝土结构鉴定一般规定	59
3.1.1	混凝土结构鉴定的分类	59
3.1.2	混凝土结构鉴定程序及其工作内容	60
3.1.3	鉴定评级标准	61
3.2	混凝土结构构件的安全性鉴定	64
3.2.1	混凝土结构构件安全性鉴定的基本规定	64
3.2.2	混凝土结构构件安全性鉴定	65
3.3	混凝土结构构件的使用性鉴定	68
3.3.1	混凝土结构构件使用性鉴定的基本规定	68
3.3.2	混凝土结构构件正常使用性鉴定	68
3.4	混凝土结构鉴定单元安全性和使用性评级	69
3.4.1	鉴定单元安全性评级	69
3.4.2	鉴定单元使用性评级	70
3.5	混凝土结构建筑物可靠性评估	70
3.5.1	可靠性评级	70
3.5.2	适修性评估	70
3.5.3	耐久性评估	71
3.5.4	鉴定报告	72
3.6	混凝土结构建筑物危险性鉴定	73
3.6.1	鉴定前的准备与评定方法	73
3.6.2	构件危险性鉴定	73
3.6.3	建筑物危险性鉴定	74

4

混凝土结构裂缝分析与处理

77

4.1	混凝土结构裂缝调查分析	77
4.1.1	混凝土结构裂缝的形式	77
4.1.2	混凝土结构裂缝调查分析	81
4.2	混凝土结构裂缝的处理	82
4.2.1	掩饰裂缝	82
4.2.2	修补裂缝	83
4.2.3	封闭裂缝	84
4.3	常见混凝土结构裂缝与处理	87
4.3.1	预应力混凝土空心板裂缝与处理	87



4.3.2	预应力混凝土大型屋面板裂缝与处理	89
4.3.3	钢筋混凝土墙体常见裂缝与处理措施	89
4.3.4	钢筋混凝土梁常见裂缝与处理措施	90
4.3.5	钢筋混凝土柱常见裂缝与处理措施	91

5

混凝土结构加固设计

93

5.1	混凝土结构加固设计要求	93
5.1.1	加固设计一般规定	93
5.1.2	加固设计计算原则	93
5.1.3	加固方法及配合技术	95
5.2	增大截面加固法	97
5.2.1	增大截面加固法的适用范围	97
5.2.2	增大截面加固法设计计算	98
5.2.3	增大截面加固构造要求	101
5.2.4	增大截面加固法实例	103
5.3	置换混凝土加固法	105
5.3.1	置换混凝土加固法的适用范围	105
5.3.2	置换混凝土加固法设计计算	106
5.3.3	置换混凝土加固构造要求	107
5.3.4	置换混凝土加固法实例	107
5.4	外加预应力加固法	108
5.4.1	外加预应力加固法的适用范围	108
5.4.2	外加预应力加固法设计计算	109
5.4.3	外加预应力加固构造要求	113
5.4.4	外加预应力加固法实例	114
5.5	外粘型钢加固法	118
5.5.1	外粘型钢加固法的适用范围	118
5.5.2	外粘型钢加固法设计计算	118
5.5.3	外粘型钢加固构造要求	122
5.5.4	外粘型钢加固法实例	122
5.6	粘贴纤维复合材加固法	124
5.6.1	粘贴纤维复合材加固法的设计要求	124
5.6.2	粘贴纤维复合材加固法设计计算	125
5.6.3	粘贴纤维复合材加固构造要求	132
5.6.4	粘贴纤维复合材加固法实例	135
5.7	粘贴钢板加固法	136
5.7.1	粘贴钢板加固法设计要求	136
5.7.2	粘贴钢板加固法设计计算	138
5.7.3	粘贴钢板加固构造要求	141
5.7.4	粘贴钢板加固法实例	142
5.8	增设支点加固法	144

5.8.1	增设支点加固法设计要求	144
5.8.2	增设支点加固法设计计算	144
5.8.3	增设支点加固构造要求	144
5.8.4	增设支点加固法实例	145
5.9	植筋加固技术	148
5.9.1	植筋加固技术的特点及要求	148
5.9.2	植筋锚固设计计算	149
5.9.3	植筋加固构造要求	151
5.9.4	植筋加固实例	152
5.10	锚栓加固技术	153
5.10.1	锚栓加固技术要求	153
5.10.2	锚栓加固设计计算	154
5.10.3	锚栓加固构造要求	163

6

混凝土结构加固施工

164

6.1	增大截面加固施工	164
6.1.1	增大截面加固施工工艺	164
6.1.2	增大截面加固施工质量验收	166
6.2	置换混凝土加固施工	167
6.2.1	置换混凝土加固施工工艺	167
6.2.2	置换混凝土加固施工质量验收	168
6.3	外加预应力加固施工	169
6.3.1	外加预应力加固施工工艺	169
6.3.2	外加预应力加固施工质量验收	171
6.4	外粘或外包型钢加固施工	171
6.4.1	外粘或外包型钢加固施工工艺	171
6.4.2	外粘或外包型钢加固施工质量验收	173
6.5	外粘纤维复合材加固施工	174
6.5.1	外粘纤维复合材加固施工工艺	174
6.5.2	外粘纤维复合材加固施工质量验收	176
6.6	外粘钢板加固施工	176
6.6.1	外粘钢板加固施工工艺	176
6.6.2	外粘钢板加固施工质量验收	178
6.7	植筋、锚栓加固施工	178
6.7.1	植筋加固施工	178
6.7.2	锚栓加固施工	180
6.8	混凝土结构裂缝修补施工	181
6.8.1	混凝土结构裂缝修补施工工艺	181
6.8.2	混凝土结构裂缝修补施工质量验收	185



7.1	多层级高层钢筋混凝土房屋抗震鉴定	186
7.1.1	一般规定	186
7.1.2	A类钢筋混凝土房屋抗震鉴定	187
7.1.3	B类钢筋混凝土房屋抗震鉴定	190
7.2	多层级高层钢筋混凝土房屋抗震加固	195
7.2.1	抗震加固技术及选择	195
7.2.2	抗震加固设计与施工	199

附录

206

附录 A	高压水射流技术应用规定	206
附录 B	现场推定新增混凝土强度的取样规则与评定方法	207
附录 C	黏结材料黏合加固材与基材的正拉黏结强度现场测定方法及评定标准	208
附录 D	锚固承载力现场检验方法及评定标准	211

参考文献

214





1

混凝土结构加固材料



1.1 水泥

混凝土结构加固用的水泥，应采用强度等级不低于 32.5 级的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥，但其强度等级不应低于 42.5 级，必要时，还可采用快硬硅酸盐水泥。当混凝土结构有耐腐蚀、耐高温要求时，应采用相应的特种水泥。配制聚合物砂浆用的水泥，其强度等级不应低于 42.5 级，且应符合聚合物砂浆产品说明书的规定。

1.1.1 通用硅酸盐水泥

通用硅酸盐水泥是以硅酸盐水泥熟料和适量的石膏，及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料。通用硅酸盐水泥按混合材料的品种和掺量分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

1.1.1.1 通用硅酸盐水泥的组分

通用硅酸盐水泥的组分应符合表 1-1 的规定。

表 1-1 通用硅酸盐水泥的组分

单位：%

品种	代号	组分(质量分数)				
		熟料+石膏	粒化高炉矿渣	火山灰质混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	P·I	100	—	—	—	—
	P·II	≥95	≤5	—	—	—
		≥95	—	—	—	≤5
普通硅酸盐水泥	P·O	≥80 且 <95	>5 且 ≤20			—
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	≥50 且 <80	>20 且 ≤50	—	—	—
	P·S·B	≥30 且 <50	>50 且 ≤70	—	—	—
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	≥60 且 <80	—	>20 且 ≤40	—	—
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	≥60 且 <80	—	—	>20 且 ≤40	—
复合硅酸盐水泥	P·C	≥50 且 <80	>20 且 ≤50			—

1.1.1.2 通用硅酸盐水泥的技术要求

通用硅酸盐水泥的技术要求见表 1-2。

1.1.1.3 通用硅酸盐水泥的特征

通用硅酸盐水泥的主要特征见表 1-4。

表 1-2 通用硅酸盐水泥的技术要求

项 目	要 求
化学指标	通用硅酸盐的化学指标应符合表 1-3 的规定
碱含量	水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。若使用活性骨料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中的碱含量应不大于 0.60%或由买卖双方协商确定
凝结时间	硅酸盐水泥初凝不小于 45min,终凝不大于 390min 普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥初凝不小于 45min,终凝不大于 600min
安定性	沸煮法合格
细度	硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥以比表面积表示,不小于 $300\text{m}^2/\text{kg}$;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥以筛余表示, $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10%或 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 30%

表 1-3 通用硅酸盐水泥化学指标

单位: %

品种	代号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	氧化镁 (质量分数)	氯离子 (质量分数)
硅酸盐水泥	P · I	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0 ^①	≤0.06 ^③
	P · II	≤1.50	≤3.5			
普通硅酸盐水泥	P · O	—	≤5.0	≤4.0	≤6.0 ^②	
矿渣硅酸盐水泥	P · S · A	—	—		≤6.0 ^②	
	P · S · B	—	—		—	
火山灰质硅酸盐水泥	P · P	—	—	≤3.5	≤6.0 ^②	
粉煤灰硅酸盐水泥	P · F	—	—			
复合硅酸盐水泥	P · C	—	—			

① 是指如果水泥压蒸试验合格,则水泥中氧化镁的含量(质量分数)允许放宽至 6.0%。

② 是指如果水泥中氧化镁的含量大于 6.0%,需进行水泥压蒸安定性试验并合格。

③ 是指当有更低要求时,该指标由买卖双方协商确定。

表 1-4 通用硅酸盐水泥的主要特征

水泥品种	优 点	缺 点
硅酸盐水泥	(1)早期强度高 (2)凝结硬化快 (3)抗冻性好	(1)水化热较高 (2)耐热性较差 (3)耐酸碱和硫酸盐类的化学侵蚀性差
普通硅酸盐水泥	(1)早期强度高 (2)凝结硬化快 (3)抗冻性好	(1)水化热较高 (2)耐热性较高 (3)抗水性差 (4)耐酸碱和硫酸盐类化学侵蚀性差
矿渣硅酸盐水泥	(1)对硫酸盐类侵蚀性的抵抗能力及抗水性好 (2)耐热性好 (3)水化热低 (4)在蒸汽养护中强度发展较快 (5)在潮湿环境中后期强度增长率大	(1)早期强度较低,凝结较慢,在低温环境中尤甚 (2)抗冻性较差 (3)干缩性大,有泌水现象
火山灰质硅酸盐水泥	(1)对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较好 (2)水化热较低 (3)在潮湿环境中后期强度增长率大 (4)在蒸汽养护中强度发展较快	(1)早期强度低,凝结较慢,在低温环境中尤甚 (2)抗冻性较差 (3)吸水性大 (4)干缩性较大

续表

水泥品种	优 点	缺 点
粉煤灰硅酸盐水泥	(1)水化热较低 (2)对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力和抗水性好 (3)干缩性小 (4)耐磨性好 (5)后期强度增长率大	(1)早期强度低 (2)耐热性较差,抗冻性较差 (3)抗碳化能力较差

1. 1. 1. 4 水泥的选择

(1) 水泥品种的选择 常用水泥品种的选用见表 1-5。

表 1-5 常用水泥品种的选用

混凝土工程特点或所处的环境条件		优先选用	可以选用	不宜选用
普通 混凝土	在普通气候环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	—
	在干燥环境条件中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	在高温环境中或处于水下的混凝土	矿渣硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	—
	厚大体积的混凝土	粉煤灰硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥
有特殊 要求的 混凝土	要求快硬的混凝土	快硬硅酸盐水泥 硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	高强(大于 C40)混凝土	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	严寒地区的露天混凝土和处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	严寒地区处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	—	矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	有抗渗要求的混凝土	普通硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥	—	矿渣硅酸盐水泥
	有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥

(2) 水泥强度等级的选择

① 硅酸盐水泥的强度等级可分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六个等级。

② 普通硅酸盐水泥的强度等级可分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四个等级。

③ 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的强度等级可分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六个等级。

不同品种不同强度等级的通用硅酸盐水泥，其不同龄期的强度应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 通用硅酸盐水泥的强度

单位：MPa

品种	强度等级	抗压强度		抗弯强度	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
	62.5	≥28.0	≥62.5	≥5.0	≥8.0
	62.5R	≥32.0		≥5.5	
普通硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥	32.5	≥10.0	≥32.5	≥2.5	≥5.5
	32.5R	≥15.0		≥3.5	
	42.5	≥15.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥19.0		≥4.0	
	52.5	≥21.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥23.0		≥4.5	

1.1.2 特种水泥

1.1.2.1 低热微膨胀水泥

低热微膨胀水泥具有低水化热和微膨胀的特性，主要适用于要求较低水化热和要求补偿收缩的混凝土、大体积混凝土，也适用于要求抗渗和抗硫酸盐侵蚀的工程。其定义和技术要求见表 1-7。

表 1-7 低热微膨胀水泥的定义和技术要求

项 目	内 容
定义	凡以粒化高炉矿渣为主要组分，加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏，磨细制成具有低水化热和微膨胀性能的水硬性胶凝材料，称为低热微膨胀水泥，代号 LHEC
技术要求	(1)三氧化硫(SO ₃):三氧化硫(SO ₃)含量(质量分数)应为 4.0%~7.0%
	(2)比表面积:比表面积不得小于 300m ² /kg
	(3)凝结时间:初凝不得早于 45min,终凝不得迟于 12h;也可由生产单位和使用单位商定
	(4)安定性:用沸煮法检验,必须合格
	(5)强度:各龄期强度不得低于表 1-8 中的数值
	(6)水化热:水泥的各龄期水化热应不大于表 1-9 中的数值
	(7)线膨胀率:水泥净浆试体水中养护时各龄期的线膨胀率应符合以下要求: 1d 不得小于 0.05% 7d 不得小于 0.10% 28d 不得小于 0.60%
	(8)氯离子:水泥的氯离子含量(质量分数)不得大于 0.06%

表 1-8 水泥的等级与各龄期强度 单位：MPa

强度等级	抗压强度		抗弯强度	
	7d	28d	7d	28d
32.5	18.0	32.5	5.0	7.0

表 1-9 水泥的各龄期水化热

强度等级	水化热/(kJ/kg)	
	3d	7d
32.5	185	220

1.1.2.2 抗硫酸盐硅酸盐水泥

抗硫酸盐硅酸盐水泥的定义及技术要求见表 1-10。

表 1-10 抗硫酸盐硅酸盐水泥的定义及技术要求

项 目	内 容
分类与定义	按其抗硫酸盐侵蚀程度分为中抗硫酸盐硅酸盐水泥和高抗硫酸盐硅酸盐水泥两类 以特定矿物组成的硅酸盐水泥熟料,加入适量石膏,磨细制成的具有抵抗中等浓度硫酸根离子侵蚀能力的水硬性胶凝材料,称为中抗硫酸盐硅酸盐水泥,简称中抗硫水泥,代号 P·MSR 以特定矿物组成的硅酸盐水泥熟料,加入适量石膏,磨细制成的具有抵抗较高浓度硫酸根离子侵蚀能力的水硬性胶凝材料,称为高抗硫酸盐硅酸盐水泥,简称高抗硫水泥,代号 P·HSR
技术要求	(1)组分 中抗硫水泥,硅酸三钙含量:≤55.0%,铝酸三钙含量:≤5.0% 高抗硫水泥,硅酸三钙含量:≤50.0%,铝酸三钙含量:≤3.0%
	(2)烧失量:水泥中烧失量不大于 3.0%
	(3)氧化镁(MgO):氧化镁(MgO)含量不大于 5.0%,如果经过压蒸安定性试验合格,则水泥中氧化镁(MgO)含量允许放宽到 6.0%
	(4)三氧化硫(SO ₃):水泥中三氧化硫的含量应不大于 2.5%
	(5)不溶物:水泥中的不溶物应不大于 1.5%
	(6)比表面积:水泥的比表面积不应小于 280m ² /kg
	(7)凝结时间:初凝时间不早于 45min,终凝时间应不迟于 10h
	(8)安定性:用沸煮法检验,必须合格
	(9)各龄期强度:各龄期抗压强度和抗弯强度应不低于表 1-11 的数值
	(10)线膨胀率 中抗硫水泥 14d 线膨胀率应不大于 0.060% 高抗硫水泥 14d 线膨胀率应不大于 0.040%

表 1-11 水泥的等级和各龄期的强度 单位：MPa

强度及龄期 强度等级	抗压强度		抗弯强度	
	3d	28d	3d	28d
32.5	10.0	32.5	2.5	6.0
42.5	15.0	42.5	3.0	6.5

1.1.2.3 钢渣硅酸盐水泥

钢渣硅酸盐水泥适用于一般工业与民用建筑、地下工程与防水工程、大体积混凝土工程

等。钢渣硅酸盐水泥的定义及技术要求应符合表 1-12 中的规定。

表 1-12 钢渣砌筑水泥的定义及技术要求

项 目	内 容
定义	凡由硅酸盐水泥熟料和转炉或电炉钢渣(简称钢渣)、适量粒化高炉矿渣、石膏,磨细制成的水硬性胶凝材料,称为钢渣硅酸盐水泥,水泥中的钢渣掺加量(按质量的百分比计)不应少于 30%,代号为 P·SS
技术要求	(1)三氧化硫:水泥中的三氧化硫含量不得超过 4.0%
	(2)比表面积:水泥比表面积不得小于 350m ² /kg
	(3)凝结时间:初凝时间不得早于 45min,终凝时间不得迟于 12h
	(4)安定性:必须合格;用氧化镁含量大于 13%的钢渣制成的水泥,经压蒸安定性检验,必须合格
	(5)强度:钢渣硅酸盐水泥强度等级分为 32.5、42.5。各等级水泥的各龄期强度均不得低于表 1-13 中的数值

表 1-13 水泥的强度等级与各龄期强度 单位: MPa

强度等级	抗压强度		抗弯强度	
	3d	28d	3d	28d
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5

1.1.2.4 硫铝酸盐水泥

硫铝酸盐水泥是以适当成分的生料,经煅烧所得以无水硫铝酸钙和硅酸二钙为主要矿物成分的水泥熟料掺加不同量的石灰石、适量石膏共同磨细制成,具有水硬性的胶凝材料。硫铝酸盐水泥可分为快硬硫铝酸盐水泥、低碱度硫铝酸盐水泥、自应力硫铝酸盐水泥,其定义及技术要求见表 1-14。

表 1-14 硫铝酸盐水泥的定义及技术要求

项 目	内 容
定义	快硬硫铝酸盐水泥:由适当成分的硫铝酸盐水泥熟料和少量石灰石、适量石膏共同磨细制成的,早期强度高的水硬性胶凝材料,代号 R·SAC 低碱度硫铝酸盐水泥:由适当成分的硫铝酸盐水泥熟料和较多量石灰石、适量石膏共同磨细制成,碱度低的水硬性胶凝材料,代号 L·SAC 自应力硫铝酸盐水泥:由适当成分的硫铝酸盐水泥熟料加入适量石膏磨细制成,具有膨胀性的水硬性胶凝材料,代号 S·SAC
技术要求	(1)硫铝酸盐水泥性能应符合表 1-15 的规定 (2)强度指标 ①快硬硫铝酸盐水泥强度应不低于表 1-16 中的数值 ②低碱度硫铝酸盐水泥强度应不低于表 1-17 中的数值 ③自应力硫铝酸盐水泥所有自应力等级的水泥抗压强度,7d 不小于 32.5MPa,28d 不小于 42.5MPa。自应力硫铝酸盐水泥各级别各龄期强度应符合表 1-18 中的要求

表 1-15 硫铝酸盐水泥性能指标

项 目	指 标		
	快硬硫铝酸盐水泥	低碱度硫铝酸盐水泥	自应力硫铝酸盐水泥
比表面积/(m ² /kg)	≥350	≥400	≥370
凝结时间 ^① /min	初凝	≤25	≤40
	终凝	≥180	≥240

续表

项 目		指 标		
		快硬硫铝酸盐水泥	低碱度硫铝酸盐水泥	自应力硫铝酸盐水泥
碱度 pH 值		—	≤10.5	—
28d 自由膨胀率/%		—	≤0.00~0.15	—
自由膨胀率/%	7d	—	—	≤1.30
	28d	—	—	≤1.75
水泥中的碱含量 (Na ₂ O+0.658K ₂ O)/%		—	—	<0.50
28d 自应力增进率/(MPa/d)		—	—	≤0.010

① 用户要求时，可以变动。

表 1-16 快硬硫铝酸盐水泥强度

强度等级	抗压强度/MPa			抗弯强度/MPa		
	1d	3d	28d	1d	3d	28d
42.5	30.0	42.5	45.0	6.0	6.5	7.0
52.5	40.0	52.5	55.0	6.5	7.0	7.5
62.5	50.0	62.5	65.0	7.0	7.5	8.0
72.5	55.0	72.5	75.0	7.5	8.0	8.5

表 1-17 低碱度硫铝酸盐水泥强度 单位：MPa

强度等级	抗压强度		抗弯强度	
	1d	7d	1d	7d
32.5	25.0	32.5	3.5	5.0
42.5	30.0	42.5	4.0	5.5
52.5	40.0	52.5	4.5	6.0

表 1-18 自应力硫铝酸盐水泥的各龄期强度

强度等级	抗压强度/MPa		抗弯强度/MPa		
	7d	28d	7d	28d	
3.0	≥32.5	≥42.5	≥2.0	≥3.0	≤4.0
3.5			≥2.5	≥3.5	≤4.5
4.0			≥3.0	≥4.0	≤5.0
4.5			≥3.5	≥4.5	≤5.5

1.2 混凝土

1.2.1 混凝土的一般规定

结构加固用的混凝土，其强度等级应比原结构、构件提高一级，且不得低于 C20 级。配制结构加固用的混凝土，其骨料的品种和质量应符合下列要求。

(1) 粗骨料应选用坚硬、耐久性好的碎石或卵石 其最大粒径：对现场拌合混凝土，不