



高等职业教育建筑工程技术专业工学结合“十三五”规划教材

混凝土结构工程施工

□ 主编 宋功业



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等职业教育建筑工程技术专业工学结合“十三五”规划教材

混凝土结构工程施工

主 编 宋功业

副主编 鲁 平 闫帅平



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构工程施工/宋功业主编. —武汉:武汉大学出版社, 2016. 8
高等职业教育建筑工程技术专业工学结合“十三五”规划教材
ISBN 978-7-307-17830-4

I. 混… II. 宋… III. 混凝土结构—混凝土施工—高等职业教育—教材
IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 103623 号

责任编辑:邹莹 责任校对:路亚妮 装帧设计:吴极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:403 千字

版次:2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-17830-4 定价:39.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

我国正处于一个新的建设期,城镇化给高层建筑施工技术的发展创造了新的历史机遇,为建筑类高职院校学生的发展创造了条件,也为混凝土施工技术的发展创造了条件。

就目前混凝土施工技术现状而言,以现浇混凝土施工技术为主,同时也在向干硬性混凝土方向发展。

编者通过对形势的分析以及教学实践探索,根据建筑类高职院校学生的教学现状,选取了“地坪无筋混凝土工程施工”“钢筋混凝土结构工程施工”和“钢混结构工程施工”三个项目组织教学。在项目1中,安排了地坪普通无筋混凝土施工和干硬性混凝土施工两个学习情境;在项目2中,安排了脚手架施工、垂直运输与垂直运输设备、模板工程施工、钢筋工程施工、混凝土工程施工、抗渗混凝土工程施工和大体积混凝土工程施工七个学习情境;在项目3中,安排了钢管混凝土施工与型钢混凝土施工两个学习情境,使高职院校学生能够较全面地认识和掌握混凝土施工技术。

本书由江苏建筑职业技术学院宋功业担任主编,武汉科技大学鲁平、济源职业技术学院闫帅平担任副主编。考虑到各学校的课时安排情况以及对学生的要求不同,教学中可将本教材的部分内容列为选修内容。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

2016年3月

目 录

项目 1 地坪无筋混凝土工程施工	(1)
学习情境 1 地坪普通无筋混凝土施工	(2)
任务 1 混凝土组成材料	(3)
任务 2 混凝土的性能	(25)
任务 3 混凝土配制	(30)
任务 4 无筋混凝土施工	(35)
实训一	(40)
学习情境 2 干硬性混凝土施工	(43)
任务 1 干硬性混凝土的性质	(44)
任务 2 干硬性混凝土的成型方法	(45)
任务 3 干硬性混凝土的检测	(47)
实训二	(51)
项目 2 钢筋混凝土结构工程施工	(53)
学习情境 3 脚手架施工	(54)
任务 1 脚手架的选择	(54)
任务 2 扣件式钢管脚手架	(67)
任务 3 门式脚手架	(77)
任务 4 碗扣式脚手架	(86)
任务 5 满堂脚手架	(92)
任务 6 悬挑式脚手架	(94)
实训三	(97)
学习情境 4 垂直运输与垂直运输设备	(99)
任务 1 垂直运输设备的选择	(100)
任务 2 垂直运输设备的搭设	(115)
任务 3 垂直运输设备的使用与维护	(123)
任务 4 垂直运输设备的拆除	(127)
实训四	(129)
学习情境 5 模板工程施工	(131)
任务 1 模板的分类与选择	(132)
任务 2 建筑模板结构	(140)
任务 3 基础模板的支设与验收	(141)
任务 4 柱模板的支设	(142)
任务 5 梁模板的支设与验收	(144)



任务 6	剪力墙模板的支设与验收	(146)
任务 7	电梯井模板	(148)
任务 8	楼面板模板的支设	(150)
任务 9	屋面结构模板工程	(152)
任务 10	楼梯模板工程	(153)
实训五		(154)
学习情境 6	钢筋工程施工	(156)
任务 1	钢筋的采购与进场验收	(157)
任务 2	钢筋的堆放	(161)
任务 3	钢筋翻样	(162)
任务 4	钢筋加工	(163)
任务 5	钢筋的连接	(169)
任务 6	钢筋安装	(186)
任务 7	钢筋的隐蔽验收	(193)
实训六		(194)
学习情境 7	混凝土工程施工	(196)
任务 1	混凝土的采购	(196)
任务 2	混凝土的进场验收	(197)
任务 3	混凝土的浇筑	(199)
任务 4	混凝土的养护	(216)
学习情境 8	抗渗混凝土工程施工	(221)
任务 1	抗渗混凝土	(221)
任务 2	抗渗混凝土结构的节点处理	(227)
学习情境 9	大体积混凝土工程施工	(232)
任务 1	大体积混凝土的技术要求	(233)
任务 2	大体积混凝土的温控措施	(237)
任务 3	大体积混凝土施工	(239)
项目 3	钢混结构工程施工	(247)
学习情境 10	钢管混凝土施工	(248)
任务 1	钢管制作安装	(248)
任务 2	钢管混凝土浇筑	(253)
学习情境 11	型钢混凝土施工	(258)
任务 1	型钢混凝土的构造	(259)
任务 2	型钢混凝土结构的施工	(263)
参考文献		(266)



项目1

地坪无筋混凝土工程施工

最早的混凝土里面是没有钢筋的，这种混凝土称作无筋混凝土。无筋混凝土是很脆的，因此这样的混凝土只能用于房屋的基础、柱子等主要承受压力的结构，而不能用于房屋的大梁、楼板等主要承受拉力的结构。混凝土科学的第一次革命是在无筋混凝土里面加入了钢筋，混凝土将钢筋紧紧地包裹在一起，这样的混凝土叫作钢筋混凝土。钢筋混凝土在受到外来荷载时，两种材料发挥了各自的受力特性：混凝土主要用来承受压力，钢筋主要用来承受拉力。

无筋混凝土中各种材料的关系是根据填充理论设计的，即 1 m^3 混凝土的粗骨料的体积是 1 m^3 ，骨料之间的空隙靠较小粒径的石子填充，空隙直径小于 5 mm 时靠砂子填充，砂子之间的空隙靠水泥浆填充。填充空隙的水泥浆没有多余时，被称为贫浆混凝土，简称贫混凝土；填充空隙的水泥浆有多余时，被称为富浆混凝土，简称富混凝土。



学习情境 1 地坪普通无筋混凝土施工

【学习目标】

通过对混凝土及其组成材料的了解、认识,能组织无筋混凝土施工。

【关键概念】

1. 无筋混凝土与有筋混凝土、普通混凝土与干硬性混凝土。
2. 水泥强度与水灰比。
3. 粗骨料与细骨料。
4. 外加剂与掺合料。

【技能点与知识点】

1. 技能点:

- (1) 普通无筋混凝土与干硬性混凝土的施工方法。
- (2) 砖胎模的砌筑方法。

2. 知识点:

- (1) 水泥的性质与混凝土的性质。
- (2) 硅酸盐系列水泥的品种、代号。
- (3) 无筋混凝土施工工艺。
- (4) 干硬性混凝土施工方法。

【提示】

1. 水泥的强度是在水灰比为 0.5 时试验确定的。
2. 碾压混凝土就是将干硬性混凝土用机械设备强迫成型的混凝土施工方法。
3. 砖胎模和地模常用作无筋混凝土的模板。

【相关知识】

1. 沥青混凝土与环氧树脂混凝土。
2. 混凝土的生产、运输方法和要求。
3. 外加剂与掺合料的相同点与不同点。

任务 1 混凝土组成材料

一般的混凝土是由胶结剂、骨料、掺合料、外加剂和水按一定比例配合并搅拌均匀而成的胶凝性建筑材料。胶结剂通常是指水泥,也包括活性掺合料。对混凝土组成材料的要求,也就是对胶结剂、骨料、掺合料、外加剂和水的要求。



重难点

1.1.1 水泥

水泥(图 1-1)是一种粉末状无机胶凝材料,加水拌和成塑性浆体后经物理化学作用可变成坚硬的石状体,并能将砂、石等材料胶结成为整体。水泥属于水硬性胶凝材料。



水泥图

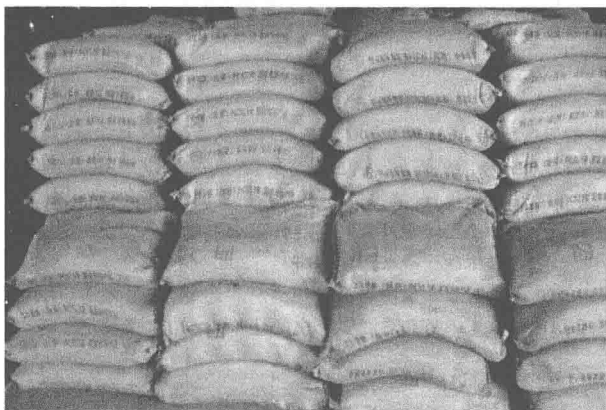


图 1-1 水泥

水泥的品种很多,可从不同的角度进行分类。

① 按化学成分分类,分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥等。我国水泥产量 90% 左右属于硅酸盐系列水泥。

② 按用途分类,分为通用水泥、专用水泥、特种水泥。

1.1.1.1 通用硅酸盐系列水泥标准要求

(1) 水泥的品种与组分

通用硅酸盐系列水泥包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥,各品种的组分和代号应符合表 1-1 的规定。



通用硅酸盐
水泥视频



表 1-1

通用硅酸盐系列水泥的组分

名称	代号	组成/%				
		熟料 ^①	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, <100	≤5	—	—	—
			—	—	—	≤5
普通硅酸盐水泥	P·O	≥80, ≤94	>5, ≤20 ^②			—
矿渣硅酸盐水泥	P·S	≥30, ≤79	>20, ≤70 ^③	—	—	—
火山灰硅酸盐水泥	P·P	≥60, ≤79	—	>20, ≤40 ^④	—	—
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	≥60, ≤79	—	—	>20, ≤40 ^⑤	—
复合硅酸盐水泥	P·C	≥50, ≤79	>20, ≤50 ^⑥			—

注:① 该组分为硅酸盐水泥熟料和石膏的总和。

② 该组分材料为符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)第 4.2.3 条的活性混合材料,其中允许用不超过水泥质量 5%的窑灰或不超过水泥质量 8%、符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)第 4.2.4 条的非活性混合材料代替。

③ 该组分材料为符合《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203—2008)或《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)的活性混合材料,其中允许用不超过水泥质量 8%且符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)第 4.2.3 条和第 4.2.4 条的粉煤灰、火山灰、窑灰、石灰石中的任一种材料代替。

④ 该组分材料为符合《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005)的活性混合材料。

⑤ 该组分材料为符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)的活性混合材料。

⑥ 该组分材料为由两种或两种以上符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)第 4.2.3 条的活性混合材料或符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)第 4.2.4 条的非活性混合材料组成,其中允许用不超过水泥质量 8%的窑灰代替。掺矿渣时混合材料的掺量不得与矿渣硅酸盐水泥重复。

(2) 水泥的材料成分

① 硅酸盐水泥熟料。

硅酸盐水泥熟料由主要含 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的原料,按适当比例磨成细粉烧至部分熔融所得以硅酸钙为主要矿物成分的水硬性胶凝物质。其中,硅酸钙矿物含量不小于 66%,氧化钙和氧化硅的质量分数不小于 2.0%。

② 石膏。

a. 天然石膏。天然石膏应符合《天然石膏》(GB/T 5483—2008)中规定的 G 类、M 类或 A 类二级(含)以上的石膏、混合石膏或硬石膏。

b. 工业副产石膏。工业副产石膏是指工业生产中以硫酸钙为主要成分的副产品。采用工业副产石膏时,应经省级以上权威机构鉴定,证明对水泥性能无害。

③ 活性混合材料。

活性混合材料是符合《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203—2008)的粒化高炉矿渣〔或《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)的粒化高炉矿渣粉〕、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)的粉煤灰、《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005)的火山灰质混合材料。



④ 非活性混合材料。

非活性混合材料是指活性指标低于《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203—2008)[或《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)]、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)、《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005)标准要求的粒化高炉矿渣(或粒化高炉矿渣粉)、粉煤灰、火山灰质混合材料以及石灰石和砂岩,其中石灰石中的 Al_2O_3 含量应不超过 2.5%。

⑤ 窑灰。

应符合《掺入水泥中的回转窑窑灰》(JC/T 742—2009)的规定。

⑥ 助磨剂。

水泥粉磨时允许加入助磨剂,其加入量应不超过水泥质量的 0.5%。

(3) 水泥的强度等级

① 水泥的强度等级划分。

a. 硅酸盐水泥强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R。

b. 普通硅酸盐水泥强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R。

c. 矿渣硅酸盐、火山灰硅酸盐、粉煤灰硅酸盐、复合硅酸盐水泥强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

② 水泥的各龄期强度。

水泥强度等级按规定龄期来划分,各强度等级水泥的各龄期强度应符合表 1-2 的要求。

(4) 水泥的技术要求

① 化学要求。

水泥的化学要求应符合表 1-3 的规定。

表 1-2 各强度等级水泥的各龄期强度

品种	强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		3 d	28 d	3 d	28 d
硅酸盐水泥	42.5	17.0	≥ 42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0		4.0	6.5
	52.5	23.0	≥ 52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0		5.0	7.0
	62.5	28.0	≥ 62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0		5.5	8.0
普通硅酸盐水泥	42.5	16.0	≥ 42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0		4.0	6.5
	52.5	22.0	≥ 52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0		5.0	7.0



续表

品种	强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		3 d	28 d	3 d	28 d
矿渣硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥 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	5.5
	42.5	15.0	≥ 42.5	3.5	6.5
	42.5R	19.0		4.0	6.5
	52.5	21.0	≥ 52.5	4.0	7.0
	52.5R	23.0		4.5	7.0

表 1-3 水泥的化学要求

项目	硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	粉煤灰硅酸盐水泥	火山灰硅酸盐水泥	复合硅酸盐水泥
	P·I	P·II	P·O	P·S	P·F	P·P	P·C
不溶物/%	≤0.75	≤1.50	—	—	—	—	—
烧失量/%	≤3.0	≤3.5	≤5.0	—	—	—	—
三氧化硫/%	≤3.5	≤3.5	≤3.5	≤4.0	≤3.5	≤3.5	≤3.5
氧化镁/%	≤5.0 ^①			≤6.0 ^②			
氯离子/%	≤0.06						

注：① 如果水泥压蒸安定性合格，则水泥中氧化镁的含量允许放宽至 6.0%。

② 如果水泥中氧化镁的含量大于 6.0%，应通过水泥压蒸安定性试验。当矿渣硅酸盐水泥中混合材料总掺量大于 40% 或火山灰硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥中混合材料总掺量大于 30% 时，则制成的水泥可不做水泥压蒸安定性试验。

② 碱含量要求。

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% 或由供需双方商定。

③ 物理要求。

a. 凝结时间。硅酸盐水泥初凝时间不小于 45 min，终凝时间不大于 6.5 h；普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥初凝时间不小于 45 min，终凝时间不大于 10 h。

掺活性混合材料时，最大掺量不得超过水泥质量的 15%，其中允许用不超过水泥质量 5% 的窑灰或不超过水泥质量 10% 的非活性混合材料来代替。

掺非活性混合材料时，最大掺量不得超过水泥质量的 10%。

b. 安定性。沸煮法合格。

(5) 水泥的试验方法

① 水泥的组分试验。



由生产者选择最适宜的方法或按《水泥组分的定量测定》(GB/T 12960—2007)进行。在正常生产情况下,生产者应至少每月对水泥组分进行校核,年平均值应符合通用水泥标准技术要求的规定,单一结果最大偏差为 $\pm 2\%$ 。

为保证水泥组分测定结果的准确性,生产者应采用适当的生产程序和适宜的验证方法对所选方法的可靠性进行验证,并将经验证的方法作为企业标准。

② 不溶物、烧失量、氧化镁、三氧化硫和碱含量的试验。

按《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2008)进行。

③ 氯离子试验。

按《水泥原料中氯离子的化学分析方法》(JC/T 420—2006)进行。

④ 凝结时间和安定性试验。

按《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2011)进行。

⑤ 强度试验。

按《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—1999)进行。但掺火山灰混合材料的普通硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时,其用水量按 0.50 水灰比和胶砂流动度不小于 180 mm 来确定。当流动度小于 180 mm 时,须以 0.01 的整倍数递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度不小于 180 mm。

胶砂流动度试验按《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T 2419—2005)进行,其中胶砂制备按《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—1999)进行。

⑥ 比表面积试验。

按《水泥比表面积测定方法 勃氏法》(GB/T 8074—2008)进行。

⑦ 细度试验。

按《水泥细度检验方法 筛析法》(GB/T 1345—2005)进行。

(6) 水泥的检验规则

① 编号及取样。

a. 水泥出厂前按同品种、同强度等级编号和取样。袋装水泥和散装水泥应分别进行编号和取样。每一编号为一取样单位。水泥出厂编号按单线年生产能力规定:

(a) 120 万吨以上,不超过 1200 吨为一编号。

(b) 60 万~120 万吨,不超过 1000 吨为一编号。

(c) 30 万~60 万吨,不超过 600 吨为一编号。

(d) 30 万吨以下,不超过 400 吨为一编号。

b. 取样方法。按《水泥取样方法》(GB/T 12573—2008)进行。当散装水泥运输工具的容量超过该厂规定出厂编号吨数时,允许该编号的数量超过取样规定吨数。

取样应有代表性,可连续取,亦可从 20 个以上不同部位取等量样品,总量不少于 12 kg。

② 出厂检验。

出厂检验的项目包括水泥的化学要求和物理要求等技术要求。



(7) 水泥的判定规则

① 出厂检验判定。

a. 出厂检验结果符合通用水泥标准中的化学要求与物理要求等技术要求时,判为出厂检验合格。其中化学要求和物理要求中的凝结时间、安定性为检验合格,水泥强度为确认合格后方可出厂。每批水泥出厂时应附有质量保证书。

b. 当化学要求与物理要求条款中的任何一项不符合通用水泥标准技术要求时,判其为不合格品。

c. 水泥包装标志中水泥名称、强度等级、生产者名称和出厂编号不全时,判为包装不合格。

② 试验报告。

试验报告内容应包括通用水泥标准规定的各项技术要求和细度的检测结果,混合材料名称和掺加量,属旋窑或立窑生产。

当用户需要时,生产者应在水泥发出之日起 7 d 内寄发除 28 d 强度以外的各项试验结果。28 d 强度数值应在水泥发出之日起 32 d 内补报。

(8) 水泥的交货与验收

① 交货时水泥的质量验收可抽取实物试样以其检验结果为依据,也可以生产者同编号水泥的检验报告为依据。采取何种方法验收水泥由买卖双方商定,并在合同或协议中注明。卖方有告知买方验收方法的责任。当无书面合同或协议,或未在合同及协议中注明验收方法时,卖方应在发货票上注明“以本厂同编号水泥的检验报告为验收依据”字样。

② 以抽取实物试样的检验结果为验收依据时,买卖双方应在发货前或交货地共同取样和签封。取样方法按《水泥取样方法》(GB/T 12573—2008) 进行,取样质量为 20 kg,缩分为两等份。一份由卖方保存 40 d,另一份由买方按本标准规定的项目和方法进行检验。

在 40 d 以内,买方检验认为产品质量不符合本标准要求,而卖方又有异议时,则双方应将卖方保存的另一份试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。

③ 以生产者同编号水泥的检验报告为验收依据时,在发货前或交货时买方在同编号水泥中取样,双方共同签封后由卖方保存 3 个月,或认可卖方自行取样、签封并保存 3 个月同编号水泥的封存样。

在 3 个月内,买方对水泥质量有疑问时,则买卖双方应将共同认可的试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。

④ 水泥安定性仲裁检验时,应在 10 d 以内完成。

(9) 水泥的包装、标志、运输与贮存

① 包装。

水泥可以袋装或散装,袋装水泥每袋净含量为 50 kg,且应不少于标志质量的 98%;随机抽取 20 袋总质量(含包装袋)应不少于 1000 kg。其他包装形式由供需双方协商确定,但有关袋装质量要求,必须符合上述规定。水泥包装袋应符合《水泥包装袋》(GB 9774—2010)的规定。



② 标志。

a. 水泥包装袋上应清楚标明生产者名称,生产许可证编号,水泥名称、代号、强度等级,出厂编号,执行标准号,包装日期。

b. 包装袋两侧应印有水泥名称和强度等级,其中硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的两侧印刷采用红色,矿渣硅酸盐水泥的两侧印刷采用绿色;火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥的两侧印刷采用黑色或蓝色。

散装运输时应提交与袋装标志相同内容的卡片。

③ 运输与贮存。

水泥在运输与贮存时不得受潮和混入杂物,不同品种和强度等级的水泥应分别贮存与运输,不得混杂。

1.1.1.2 硅酸盐水泥的性能

硅酸盐水泥的主要性能包括强度、需水性、与外加剂适应性、水泥的碱-骨料反应等。

(1) 水泥的强度

我国水泥的强度等级先后用硬练标号、软练标号和强度等级三种方法表示,新中国成立初期至20世纪70年代左右,水泥的强度等级用硬练标号表示,水泥标号有300号、400号、500号。20世纪80年代到1999年12月31日24时,水泥强度等级用软练标号表示,常用的水泥标号有325号、425号、525号,其中,软练标号中的325号、425号水泥与硬练标号中的400号、500号水泥相对应。2000年1月1日起我国启用了新的水泥标准,水泥强度用强度等级表示,常用的硅酸盐系列水泥有32.5级、42.5级、52.5级三个强度等级。由于确定水泥强度的胶砂比试验标准的变化,32.5级、42.5级的水泥强度相当于软练标号的425号、525号水泥的强度。

(2) 水泥的需水性

在用水泥制备净浆、砂浆或拌制混凝土时,都需要加入一定量的水,这些水一方面与水泥粉起水化作用使其凝胶硬化,另一方面使净浆、砂浆和混凝土具有一定的流动性,以便于施工。

需水性也是水泥的重要建筑性质之一。在其他条件相同的情况下,需水量越小,水泥石的质量越高。表示水泥需水量大小的一般有标准稠度用水量和一定水灰比下的流动度两种,前者多用于水泥净浆,后者多用于水泥砂浆和混凝土。

① 水泥净浆标准稠度用水量。

为了使水泥凝结时间、体积安定性的测定具有可比性,人为地规定水泥净浆处于一种特定的可塑状态,称为标准稠度,它是通过规定的仪器测定的。标准稠度用水量是指使水泥净浆达到标准稠度时所需要的拌和水量,以占水泥重量的百分数表示。

流动度也是人为规定的水泥砂浆和混凝土处于一种特定的和易状态,砂浆流动度是通过跳桌仪器测定的,用mm表示其大小,混凝土是用坍落度表示的。

标准稠度的高低与水泥粉磨方式(颗粒级配和形貌)、粉磨细度以及掺合料(主要是粉煤灰)品种、品质有密切关系。

② 满足混凝土和易性的用水量。

一般来说,当水灰比达到0.2时,就可以满足混凝土中水泥的水化反应。由于施工



过程中混凝土需要具备一定的和易性(即工作度)才方便施工,水灰比总是大于 0.2,多余的水是施工方便的需要。这些水在混凝土中占有一定的空间,蒸发后留下了空隙,使混凝土强度降低。水灰比越大,这种影响就越大。因此,在满足施工要求的条件下,尽可能地降低水灰比,有利于提高混凝土的质量。通常情况下,施工要求与实际的水灰比可能产生矛盾,在其他条件不变时,适当增加混凝土减水剂可以缓解这种矛盾。

③ 混凝土的用水量。

混凝土用水量的增大,除水泥本身的因素以外,掺合料(如粉煤灰等)的品质也对其有着十分重要的影响,这可以通过测试掺合料需水量比来了解并进行调整。其次,骨料级配、粒径和表面形状对混凝土流动性也有影响。好的骨料空隙小,在相同条件水泥浆量下,可使混凝土获得较大的流动性。再次,外加剂与水泥的适应性也对混凝土用水量有着一定的影响,如果外加剂的实际减水率因适应性差而降低,同样会使混凝土的需水量增高。

④ 改善混凝土用水量的措施。

a. 适当增加外加剂掺量。

b. 调整粉煤灰品质或使用矿渣粉。

c. 混凝土拌和料中具有流动性的根本因素是水泥浆。若水泥需水量过大,可采取适当降低水泥用量,利用矿粉等量替代或粉煤灰超量替代水泥的方法来调节。

d. 改善骨料级配,适当提高细骨料砂的细度模数。

(3) 水泥与外加剂的适应性

水泥与外加剂适应性是指水泥和所用外加剂在使用过程中是否匹配,即将经检验符合有关标准的某种外加剂掺加到用按规定可以使用该品种外加剂的水泥所配制的混凝土中,若能够产生应有的效果,就认为该水泥与这种外加剂是适应的。

(4) 水泥的碱-骨料反应

碱含量高有可能产生碱-骨料反应。混凝土碱-骨料反应是指来自水泥、外加剂、环境中的碱在水化过程中析出的 NaOH 和 KOH 与骨料(指砂、石)中活性 SiO_2 相互作用,形成碱的硅酸盐凝胶体,致使混凝土发生体积膨胀呈蛛网状龟裂,导致工程结构破坏。

① 碱含量。

碱含量就是水泥中碱物质的含量,用 Na_2O 合计当量表达,即碱含量 = $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 。碱物质主要来自于水泥生产原材料,尤其是黏土。

② 发生碱-骨料反应的条件。

a. 骨料中具有碱活性物质。

b. 混凝土中具有足够量的碱(主要来自水泥),碱含量大于 3.0 kg/m^3 。

c. 工程处在一定湿度条件下。

以上三项条件同时存在时,才会发生混凝土碱-骨料反应。

③ 预防碱-骨料反应的措施。

a. 控制水泥中含碱量。自 1941 年美国提出水泥含量低于 0.6% 氧化钠当量(即 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$)为预防发生碱-骨料反应的安全界限以来,虽然有些地区的骨料在水泥含量低于 0.4% 时仍可发生碱-骨料反应对工程造成损害,但在一般情况下,水泥含碱

量低于0.6%作为预防碱-骨料反应的安全界限已为世界多数国家所接受,已有二十多个国家将此安全界限列入国家标准或规范。许多国家(如新西兰、英国、日本等)国内大部分水泥厂均生产含碱量低于0.6%的水泥。加拿大铁路局则规定,不论是否使用活性骨料,铁路工程混凝土一律使用含碱量低于0.6%的低碱水泥。

b. 控制混凝土中含碱量。由于混凝土中碱的来源不仅有水泥,而且有混合料、外加剂、水,甚至有时是骨料(例如海砂),因此,控制混凝土各种原材料总碱量比单纯控制水泥含碱量更重要。对此,南非曾规定每立方米混凝土中总碱量不得超过2.1 kg;英国提出每立方米混凝土全部原材料总碱量(Na_2O 当量)不超过3 kg,已为许多国家所接受。

c. 对骨料的选择。如果混凝土含碱量低于 3 kg/m^3 ,可以不做骨料活性检验;如果水泥含碱量高或混凝土总碱量高于 3 kg/m^3 ,则应对骨料进行活性检测。如经检测为活性骨料,则不能使用;或与非活性骨料按一定比例混合后,经试验对工程无损害时,方可按试验规定的比例混合使用。

d. 掺混合料。掺某些活性混合料可缓解、抑制混凝土的碱-骨料反应。根据各国试验资料,掺5%~10%的硅灰可以有效抑制碱-骨料反应。据悉冰岛自1979年以来,一直在生产水泥时掺5%~7.5%的硅灰,以预防碱-骨料反应对工程的损害。另外掺粉煤灰也很有效,粉煤灰的含碱量不同,经试验,即使含碱量高的粉煤灰,如果取代30%的水泥,也可有效地抑制碱-骨料反应。另外常用的抑制性混合料还有高炉矿渣,但掺量必须大于50%才能有效地抑制碱-骨料反应对工程的损害。目前,美、英、德诸国对高炉矿渣的推荐掺量均为50%以上。

e. 隔绝水和湿空气的来源。如果在混凝土工程可能发生碱-骨料反应的部位有效地隔绝水和空气的来源,也可以取得缓和碱-骨料反应对工程损害的效果。

(5) 水泥强度与混凝土强度的关系

根据混凝土配合比设计,在完全相同条件下,混凝土强度主要取决于水灰比(W/C)。根据这一模型,推算水泥对混凝土的有效贡献。即:

$$\text{水泥在标准稠度状态下的水灰比} = \frac{\text{标准稠度}}{\text{水泥强度}}$$

其中,标准稠度状态下的水泥水灰比越低,强度越高,即水泥对混凝土的有效贡献越大。

1.1.1.3 硅酸盐水泥

(1) 硅酸盐水泥的定义、类型及代号

① 定义。

凡由硅酸盐水泥熟料、0~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥(即国外通称的波特兰水泥)。

② 类型及代号。

a. I型硅酸盐水泥,指不掺混合材料的硅酸盐水泥,代号P·I。

b. II型硅酸盐水泥,指粉磨时掺加不超过水泥重量5%的石灰石或粒化高炉矿渣混合材料,代号P·II。

c. 硅酸盐水泥分为42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R三个强度等级六个类型。