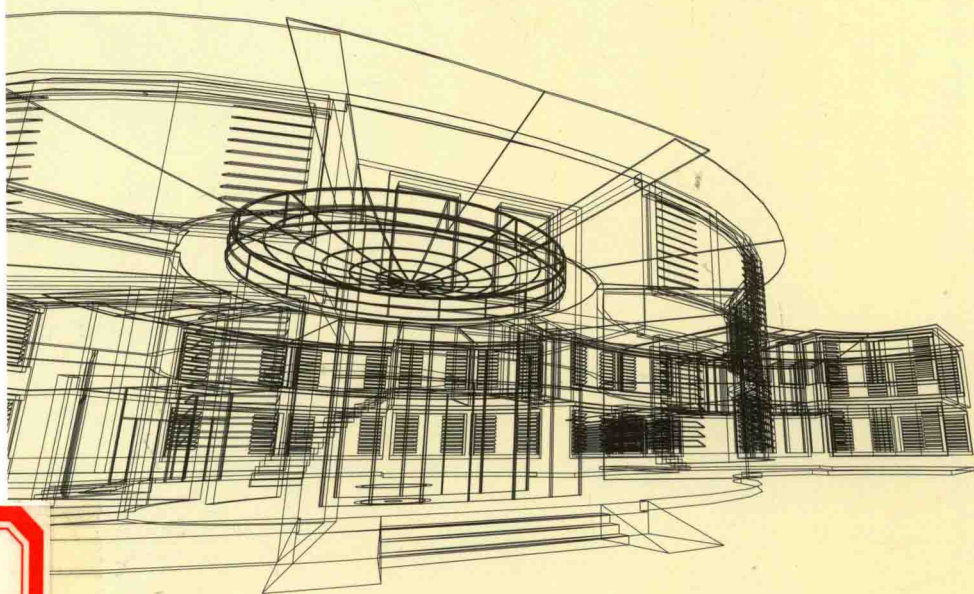


绿色混凝土 施工技术与质量控制

宋功业 编著

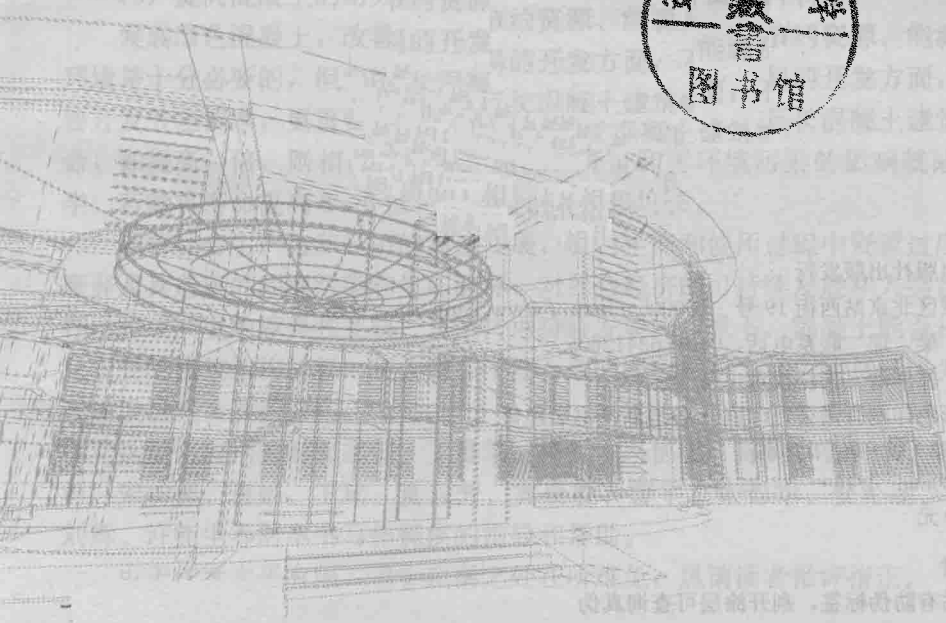


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

食 画 卷 内

绿色混凝土 施工技术与质量控制

宋功业 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 简 介

绿色混凝土施工是工程建设中一项重要的关键技术,运用得当,可以有效地提高工程质量,降低工程成本,提高建筑物的耐久性和施工的安全度,还可以大量地应用建筑垃圾与工业废料,变废为宝,减少污染,改善环境。

为帮助工程技术人员在工程中少走弯路,本书从绿色混凝土的组成材料、绿色混凝土施工、绿色混凝土的质量控制及绿色混凝土的应用四个章节,重点介绍了绿色混凝土施工技术 with 质量控制方法。本书可作为现场工程技术人员参考用书,也可以作为大、中专建筑类专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

绿色混凝土施工技术与质量控制/宋功业编著. —北京:中国电力出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-5123-5771-6

I. ①绿… II. ①宋… III. ①混凝土施工—无污染技术②混凝土施工—质量控制
IV. ①TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 075399 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:梁 瑶 联系电话:010-63412605

责任印制:郭华清 责任校对:马 宁

北京博图彩色印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2015 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

700mm×1000mm 1/16·17.25 印张·324 千字

定价:39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

混凝土材料是支持现代人生活,尤其是城市功能正常运转不可缺少的基础物质。传统的混凝土材料在给人居环境带来很多方便的同时,也带来了很多负面的影响。在全世界瞩目地球环境问题,确立了走持续发展之路这一方针的背景下,开发绿色混凝土材料,充分发挥混凝土材料的正面作用,减少对环境的负面效应,为现代人营造更加舒适的生存环境,同时为后代留下更加美好的地球家园,是时代赋予我们的使命。

绿色混凝土是指既能减少对地球环境的负荷,又能与自然生态系统协调共生,为人类构造舒适环境的混凝土材料,即可理解为节约资源、能源,不破坏环境,更有利于环境。

绿色混凝土包含三层含义:

(1) 对自然资源应是低消耗的,并且尽可能地利用废弃的工业残渣(如各种矿渣、粉煤灰、煤矸石等)和城市垃圾。

(2) 使混凝土本身在施工和使用过程中对环境无污染或低污染,有益于生态的良性循环。

(3) 提高混凝土的耐久性,并且使混凝土本身可循环再利用。

发展绿色混凝土,改善人居环境,在生产过程中尽量节约资源、能源及保护环境是十分必要的,但应注意其局限性。我们在混凝土材料的开发方面,不仅仅要开发节能技术,更重要的是提高混凝土的耐久性。若能延长混凝土建筑物的寿命,如提高一倍,则相应地资源、能源、资金和对环境污染的影响就减少了一半。若能将寿命提高5~6倍,则获益也将成倍增长。

随着社会生产力和经济的高速发展,材料生产和使用过程中资源过度开发和废弃及其造成的环境污染和生态破坏,对社会经济的可持续发展和人类自身的生存已构成严重的障碍和威胁。在坚持可持续发展的背景下,混凝土能否长期作为最主要的建筑结构材料,其关键在于能否成为绿色材料。绿色建材已成为土木工程建设材料发展的方向。

这里需特别感谢郭起剑、丁维华、杨锐、冯郁馨、陈光、张开文、杨艳、胡勇、宋功祁、肖娟、王玮、夏云芳、冀焕胜、鲁平、张哲华、安沁丽、解恒参、刘辉、许能生等对本书写作提供的指导和帮助。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

目 录

前言

第一章 绿色混凝土的组成材料	1
第一节 绿色混凝土胶粘料	1
第二节 绿色混凝土骨料	24
第三节 绿色混凝土用水	35
第四节 绿色混凝土原材料测试与要求	39
第二章 绿色混凝土施工	44
第一节 绿色混凝土配合比设计	47
第二节 绿色混凝土生产	72
第三节 绿色混凝土浇筑	87
第四节 绿色混凝土养护	106
第五节 混凝土冬期施工	116
第六节 混凝土夏期及雨期施工	135
第七节 混凝土工程验收	138
第三章 绿色混凝土的质量控制	151
第一节 绿色混凝土的原材料质量控制	151
第二节 绿色混凝土的过程控制	160
第四章 绿色混凝土的应用	178
第一节 高性能混凝土的研究与应用	178
第二节 高强混凝土的研究与应用	181
第三节 大体积混凝土施工	183
第四节 干硬性混凝土的研究与应用	210
第五节 轻骨料混凝土的研究与应用	244
第六节 清水混凝土施工	258
参考文献	272

第一章 绿色混凝土的组成材料

绿色混凝土是由胶粘料、粗细骨料、外加剂、掺合料和水按一定比例配合并搅拌均匀而成的胶凝性建筑材料。胶粘剂通常是指水泥，也包括活性掺合料。对绿色混凝土组成材料的要求，也就是对胶粘剂、粗细骨料、掺合料、外加剂和水的要求。

第一节 绿色混凝土胶粘料

绿色混凝土的胶粘料包括水泥、外加剂与掺合料。与普通混凝土胶粘料相比，主要是能为混凝土提供更好的性能（包括使用性能与工作性能），能使混凝土的强度提高，更密实，耐久性、抗冻性、抗裂性更好，同时能降低水泥用量，降低工程成本。

一、水泥

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

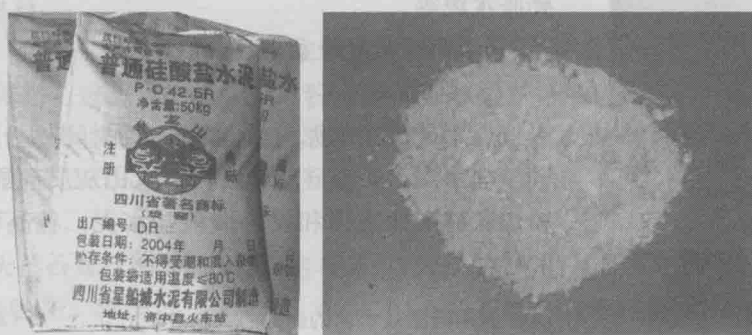


图1-1 水泥

据测算，水泥生产过程排放的温室气体占人类造成的温室气体总排放量的5%~8%，所以根据绿色混凝土对水泥的要求，在不同场合应注重对水泥的选择，以减少水泥的生产对环境的影响。

水泥的品种和成分不同，其凝结时间、早期强度、水化热和吸水性等性能也

不相同，应按适用范围选用。

(1) 在普通气候环境或干燥环境下的混凝土、严寒地区的露天混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥。

(2) 高强混凝土（大于 C40）、要求快硬的混凝土、有耐磨要求的混凝土应优先选用硅酸盐水泥。

(3) 高温环境或水下的混凝土应优先选用矿渣硅酸盐水泥。

(4) 厚大体积的混凝土应优先选用粉煤灰硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥。

(5) 有抗渗要求的混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。

(6) 有耐磨要求的混凝土应优先选用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥。

(一) 水泥分类

水泥的品种很多，可从不同的角度对其进行分类。

1. 按化学成分分类

按水泥的化学成分可将其分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥等。我国水泥产量的 90% 左右属于硅酸盐系列水泥。

2. 按用途分类

按水泥的用途可将其分为通用水泥、专用水泥、特种水泥。

(1) 通用水泥：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、火山灰质硅酸盐水泥等。



图 1-2 硅酸盐水泥

(2) 专用水泥：中、低热水泥，道路水泥，砌筑水泥等。

(3) 特种水泥：快硬硅酸盐水泥、抗硫酸盐水泥、膨胀水泥等。

(二) 通用硅酸盐水泥标准要求

1. 组分

通用硅酸盐水泥包括硅酸盐水泥（图 1-2）、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，各品种的组分和代号见表 1-1。

表 1-1 通用硅酸盐水泥的组分 (单位: %)

名称	代号	组 成				
		熟料 ^①	磨细矿渣 矿渣	火山灰质 混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	P·I	100	—	—	—	—

续表

名称	代号	组 成				
		熟料 ^①	磨细矿渣 矿渣	火山灰质 混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	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	—	—	—
火山灰质硅酸盐水泥	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			—

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 GB 175—2007 标准第 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 GB 175—2007 标准第 4.2.4 条的非活性混合材料代替。

③本组分材料为符合《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% 符合 GB 175—2007 标准第 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本组分材料为符合《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本组分材料为符合《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本组分材料为由两种或两种以上符合 GB 175—2007 标准第 4.2.3 条的活性混合材料或符合 GB 175—2007 标准第 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。掺矿渣时混合材料掺量不得与矿渣硅酸盐水泥重复。

2. 材料

(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的以硅酸钙为主要矿物成分的水硬性胶凝物质。其中，硅酸钙矿物含量不低于 66%，氧化钙和氧化硅的质量比不小于 2.0%。

(2) 石膏。

1) 天然石膏 (图 1-3)，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。

2) 工业副产石膏，是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，证明其对水泥性能无害。

(3) 活性混合材料。

活性混合材料应符合《用于水泥中的粒化高炉矿渣》(GB/



图 1-3 石膏

T 203—2008) 中规定的磨细矿渣 [或《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008) 中规定的磨细矿渣粉]、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005) 中规定的粉煤灰、《用于水泥中的火山灰质混合材料》(GB/T 2847—2005) 中规定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) 标准要求的磨细矿渣(或磨细矿渣粉)、粉煤灰、火山灰质混合材料以及石灰石和砂岩, 其中石灰石中的三氧化二铝含量应不超过 2.5%。



图 1-4 水泥助磨剂

(5) 窑灰。窑灰应符合《掺入水泥中的回转窑窑灰》(JC/T 742—2009) 中的规定。

(6) 助磨剂。水泥粉磨时允许加入助磨剂(图 1-4), 其加入量应不超过水泥质量的 0.5%, 助磨剂应符合《水泥助磨剂》(JC/T 667—2004) 中的规定。

3. 强度等级

水泥强度等级是按规定龄期来划分的, 各强度等级水泥的龄期强度应符合表 1-2 中的要求。

表 1-2

各强度等级水泥的龄期强度

(单位: MPa)

品 种	强度等级	抗 压 强 度		抗 折 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	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		抗 折 强 度	
		3d	28d	3d	28d
矿渣硅酸盐水泥	32.5	10.0	≥ 32.5	2.5	5.5
	32.5R	15.0		3.5	5.5
火山灰质硅酸盐水泥	42.5	15.0	≥ 42.5	3.5	6.5
粉煤灰硅酸盐水泥	42.5R	19.0		4.0	6.5
复合硅酸盐水泥	52.5	21.0	≥ 52.5	4.0	7.0
	52.5R	23.0		4.5	7.0

注：R 指早强型。

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 中的规定。

表 1-3 水泥的化学要求

项目 代号	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	火山灰质硅 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 不大于 (%)	0.75	1.50	—	—	—	—	—
烧失量 不大于 (%)	3.0	3.5	5.0	—	—	—	—
三氧化硫 不大于 (%)	3.5	3.5	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5
氧化镁 不大于 (%)	5.0 ^①			6.0 ^②			
氯离子 不大于 (%)	0.06						

①水泥中氧化镁的含量，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水泥中氧化镁的含量，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% 或火山灰质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，制成的水泥可不做水泥压蒸安定性试验。

(2) 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。当使用活性骨料或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。

1) 凝结时间:

①硅酸盐水泥初凝时间不低于 45min, 终凝时间不超过 6h30min。

②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低于 45min, 终凝时间不超过 10h。

掺活性混合材料时, 最大掺量不得超过 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%。

2) 安定性: 沸煮法合格。

5. 合格水泥的判定规则

(1) 出厂检验判定:

1) 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、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证明书。

2) 当化学要求与物理要求条款中任何一项不符合通用水泥标准技术要求时, 判为不合格。

3) 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, 属旋窑生产还是立窑生产。

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

6. 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、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) 中的规定进行, 取样量为 20kg, 缩分为两等份: 一份由卖方保存 40d; 一份由买方按本标准规定的项目和方法进行检验。

在 40d 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, 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 个月的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, 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应在 10d 以内完成。

(三) 水泥的性能

1. 水泥的需水性

在用水泥制备净浆、砂浆或者拌制混凝土时, 需要加入一定量的水分, 这些水分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 and 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。而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制水量, 以占水泥质量的百分数表示。

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, 用毫米表示其大小, 混凝土用坍落度表示。

标准稠度的高与低, 与水泥粉磨方式 (颗粒级配和形貌)、粉磨细度及掺合料 (主要是粉煤灰) 的品种和品质有密切关系。

(2) 满足混凝土工作度的用水量。一般地, 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) 以方便施工, 水灰比总是大于 0.2 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。由于施工要求与水灰比的实际情况往往会产生矛盾, 在其他条件不变的情况下, 适当增加混凝土减水剂可以得到缓解。

(3) 混凝土用水量的影响因素。混凝土用水量的增大, 除水泥本身因素外, 掺合料 (如粉煤灰等) 的品质对其有着十分明显的影响, 这可以通过测试掺合料

需水量来了解并进行调整。另外骨料级配、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，在相同的水泥浆量下，可使混凝土获得较大的流动性。另外，外加剂与水泥的适应性也会对混凝土用水量产生一定的影响。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：

- 1) 适当增加外加剂掺量。
 - 2) 调整粉煤灰品质或使用矿渣粉。
 - 3) 混凝土拌合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。
 - 4) 改善骨料级配，适当提高细骨料砂的细度模数。
2. 水泥与外加剂的适应性

水泥与外加剂的适应性就是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，我们就认为该水泥与这种外加剂是适应的；相反，如果不能产生应有的效果，则该水泥与这种外加剂之间存在不适应性。水泥与外加剂适应性的具体表现见表 1-4。

表 1-4 水泥与外加剂的适应性

外加剂因素	具 体 表 面
熟料矿物成分	熟料中的 C ₃ A（铝酸三钙）对减水剂分子的吸附程度很高，可削弱有效外加剂掺量
水泥的碱含量	水泥中的 Na ₂ O 和 K ₂ O 含量对适应性会产生很大影响，尤其是使混凝土坍落度损失增大
石膏形态	无水或半水石膏表面极易与减水剂分子形成吸附膜层，使之无法溶出水泥浆体所需要的 SO ₄ ²⁻ 离子，无法快速与水化铝酸盐生成难溶的水化硫铝酸钙，造成 C ₃ A 大量水化，出现相当数量的相互连接的水化铝酸钙结晶体，导致混凝土坍落度损失过快，重者混凝土异常快凝
水泥细度	水泥颗粒对减水剂分子具有吸附性，水泥颗粒越细，其比表面积越大，即对减水剂吸附量也越大
水泥新鲜度	越新鲜的水泥所带的正电性越强，对外加剂的吸附能力越大
水泥温度	水泥温度越高，水化反应越快，混凝土坍落度损失也越快

水泥与外加剂适应性的改进措施见表 1-5。

表 1-5

水泥与外加剂适应性的改进措施

改 进 措 施	具 体 表 现
外加剂采用后掺法或分批添加法	降低早期对外加剂的吸附量
适当增加减水剂掺量	弥补被吸附的外加剂剂量
复合一定量的反应性高分子材料	减轻外加剂的吸附程度
适当复配保水、保塑的组分	减缓水化速度, 包括选用聚羧酸类等

3. 水泥的碱骨料反应

(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 $\text{碱含量} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 。水泥中的碱主要是从水泥生产原材料带入的, 尤其是从黏土中带入。

碱含量高有可能发生碱骨料反应。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) 中的活性 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。

(2) 发生碱骨料反应的条件:

- 1) 骨料中具有碱活性物质。
- 2) 混凝土中具有足够量的碱 (主要来自水泥), 碱含量大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 3) 工程处在一定湿度条件下。

以上 3 项条件同时存在时, 才会发生混凝土碱骨料反应。

(3) 改善措施 (使用对象):

- 1) 降低水泥总量, 使用矿渣粉代替, 可有效降低混凝土中的总碱量。
- 2) 选择低硫酸钠减水剂。市场主流高效萘系减水剂中, $\text{Na}_2(\text{SO})_4$ 含量在 $2\% \sim 20\%$, 其对混凝土总碱量影响不容忽视。

3) 使用非活性骨料。

4) 非长期受湿部分不必强调低碱要求。

4. 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, 即水泥在标准稠度状态下的水灰比 $= (\text{标准稠度}) / (\text{水泥强度})$ 。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。

例如, 甲水泥强度 50MPa , 标准稠度 24% ; 乙水泥强度 55MPa , 标准稠度 28% 。

甲：有效活性系数 $=24/50=0.48$ 。

乙：有效活性系数 $=28/55\approx0.51$ 。

结果：甲比乙对混凝土的有效贡献大、强度高。

产生这种情形的原因是，水泥强度按固定水灰比试验，而混凝土应用时会根据工作度要求需要调整，即在相同工作度条件下调整水灰比。

二、外加剂

在混凝土拌合物中掺入外加剂，可以改变混凝土的性能，是绿色混凝土施工技术的重要措施之一。

现行标准规范规定，在混凝土拌合时，使用掺加量一般不大于水泥质量5%、能改善混凝土拌合物或硬化后混凝土性质的材料，称为外加剂。值得注意的是，实际工程中存在着很多大于水泥质量5%的现象。

混凝土外加剂可以改善混凝土性能，是混凝土中不可缺少的组成部分。现在使用的外加剂常具有多种功能，其化学成分可以是有机物、无机物或两者的复合产品。

一般情况下混凝土搅拌站在常温季节使用缓凝型减水剂，冬期施工期间使用早强剂、防冻剂。缓凝型减水剂一般为表面活性剂，这些化合物以离子状态存在，吸附在水泥颗粒表面，能降低水的表面张力，起到分散、润滑和湿润作用。

（一）外加剂的种类与技术要求

根据《混凝土外加剂中释放氨的限量》(GB 18588—2001)的规定，混凝土外加剂中释放的氨量必须小于或等于0.10%（质量分数）。该标准适用于各类具有室内使用功能的混凝土外加剂，但不适用于桥梁、公路及其他室外工程用混凝土外加剂。

常用外加剂有如下几种：

（1）普通减水剂，在保持混凝土稠度不变的条件下，具有一般减水增强作用的外加剂。

（2）高效减水剂，在保持混凝土稠度不变的条件下，具有大幅度减水增强作用的外加剂。

（3）引气剂，在混凝土搅拌过程中，能引入大量分布均匀的微小气泡，以减少混凝土拌合物泌水离析，改善和易性，并能显著提高硬化混凝土抗冻融耐久性的外加剂。

（4）引气减水剂，兼有引气和减水作用的外加剂。

（5）缓凝剂，能延缓混凝土凝结时间，并对其后期强度发展无不利影响的外加剂。

（6）缓凝减水剂，兼有缓凝和减水作用的外加剂。

(7) 早强剂,能提高混凝土早期强度,并对其后期强度无显著影响的外加剂。

(8) 早强减水剂,兼有提高早期强度和减水作用的外加剂。

(9) 防冻剂,在规定温度下,能显著降低混凝土的冰点,使混凝土液相不冻结或仅部分冻结,以保证水泥的水化作用,并在一定的时间内获得预期强度的外加剂。

(10) 膨胀剂,能使混凝土(砂浆)在水化过程中产生一定的体积膨胀,并在有约束条件下产生适宜自应力的外加剂。

(11) 钢筋阻锈剂,加入混凝土中能阻止或减缓钢筋腐蚀的外加剂。

(二) 外加剂的选用原则

(1) 一个工程使用哪种外加剂应根据工程设计和施工技术要求,在工程开工前进行认真优选,并根据原材料进行严格的适应性试验论证确定。

(2) 为了方便管理,一个大中型工程应优选出 1~2 种同类外加剂(包括备用在内),一般情况下,在工程施工中不要随便更换外加剂的品种。

(3) 相对于其他原材料而言,外加剂掺量虽然较少,但对混凝土质量至关重要,因此其掺量经试验论证确定后,应严格控制。

(4) 外加剂质量及其稳定性应按相关标准在出厂和使用过程中进行严格检验,外加剂的运输和储存也要按相关标准规定严格执行。

(三) 外加剂对混凝土性能的影响

1. 高效减水剂对混凝土性能的影响

(1) 新拌混凝土的减水作用。高效减水剂是高分子表面活性剂,具有很强的固-液界面活性作用,可使混凝土的流动性大大提高,但对气-液界面活性小,起泡作用不大,基本无引气作用。随着掺量提高,减水率也提高。

(2) 坍落度和损失。掺加高效减水剂后,混凝土坍落度从 6~8cm 增加到 18~22cm,但损失较快。

(3) 凝结时间。通常高效减水剂对凝结时间影响不大,但不同的高效减水剂,使用的水泥和掺合料不同,其结果有较大差别。

(4) 泌水性。由于高效减水剂对水泥混凝土有较强的分散作用,提高了拌合物的稳定性和均匀性,因此能减少泌水。

2. 减水剂对硬化混凝土性能的影响

减水剂对硬化混凝土性能的影响见表 1-6。

表 1-6 减水剂对硬化混凝土性能的影响

性能	未加减水剂	减水剂
泌水性	小	更小
坍落度损失	快	更快

续表

性能	未加减水剂	减水剂
凝结时间	不缓凝, 有时异常	不缓凝, 无异常
水泥适应性	对铝酸盐水泥不适应	适应
拌合物黏度	一般	增大
减水率	18%~30%	18%~25%
早强作用	好	更好
增强作用	好	好
耐火性	不能用于耐火混凝土	可用于耐火混凝土

3. 无机盐对混凝土性能的影响

无机盐对水泥性能的影响见表 1-7。

表 1-7 无机盐对水泥性能的影响

品种	凝结	强度	收缩
NaCl	稍有促凝	后期强度降低	大
CaCl ₂	促凝	早期强度提高	大
NH ₄ Cl	促凝	早期强度提高	大
Na ₂ CO ₃	显著促凝、假凝	后期强度降低	大
K ₂ CO ₃	稍有促凝	强度提高不大	大
CaSO ₄	促凝	后期强度降低	大
Na ₂ SO ₄	稍有促凝	早期强度提高	大
NaNO ₃	稍有促凝	早期强度提高	大
Zn(NO ₃) ₂	显著缓凝、假凝	早期强度显著降低	—

4. 缓凝剂对混凝土性能的影响

(1) 针对缓凝剂对凝结时间的不同影响, 可用于控制坍落度损失、水泥水化热等。

常用缓凝剂的掺量如下: 糖蜜类 0.1%~0.3%; 木质素类 0.2%~0.3%; 羟基羧酸及其盐类 0.01%~0.1%; 无机类 0.05%~0.2%。

(2) 在合理的掺量范围内, 混凝土的后期强度一般会有提高。缓凝剂过量太多后, 不但会造成严重缓凝, 后期强度也会受到较大影响。

(3) 缓凝剂的作用受到水泥品种及用量、掺合料、掺量、配合比、环境温度等因素的影响, 使用前应根据具体的材料、温度等条件进行试验, 确认符合要求后才能使用, 避免出现过度缓凝等。