



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

物理性能 检测技术

WULI XINGNENG JIANCE JISHU

主 编 田凤兰 杨永利

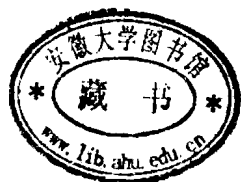


 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

物理性能检测技术

主 编	田凤兰	杨永利	
副主编	郑建军	徐海军	武海燕
参 编	李庆阳	李艳梅	张丽娟
主 审	朱 彪	魏爱琴	



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材由5个项目组成,共包括15个检测任务。项目1介绍水泥取样方法;项目2介绍水泥密度、容积密度的检测;项目3介绍水泥细度的检测(包括筛析法、勃氏透气法、激光法);项目4介绍水泥净浆标准稠度用水量、凝结时间、安定性的检测;项目5介绍水泥胶砂性能的检测。

本教材可作为高等院校材料工程技术专业的教材,也可作为水泥企业和混凝土搅拌站化验室材料物理性能检测人员进行技术等级考核和员工培训的操作技能培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

物理性能检测技术/田凤兰,杨永利主编. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 12

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7122 - 6

I. ①物… II. ①田… ②杨… III. ①水泥 - 材料 - 物理性质试验 - 高等学校 - 教材 IV. ①TQ172.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 310812 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 195千字

版 次 / 2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

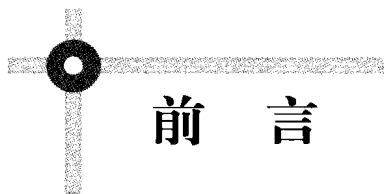
定 价 / 32.00元

责任编辑 / 廖宏欢

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换



前言

本书是一门联系实际较强的专业教材，是主要针对高等院校材料工程专业而编写的教学培训用书，属实践性教学环节，以水泥物理性能检测为主要训练项目，同时也是学习和研究建筑材料的重要方法。本书除满足高等院校的教学要求外，也可作为水泥企业和混凝土搅拌站化验室材料物理性能检测人员进行技术等级考核和员工培训的操作技能培训教材。

本书在编写的过程中，严格按照教学大纲的要求并结合工程实际或工业企业的需要进行选材，根据现行国家标准或其他规范、资料进行编写，重点突出仪器设备的使用、维护和检测操作技能的描述。本教材的编写本着“先进性、必需性、实用性”的原则，采用“项目引导、面向过程、工学结合、任务驱动”的教学模式编排，更有利于教学过程的具体实施。

本书由5个项目组成，共包括15个任务。项目1介绍水泥取样方法；项目2介绍水泥密度、容积密度检测；项目3介绍水泥细度检测（包括筛析法、勃氏透气法和激光法）；项目4介绍水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检测；项目5介绍水泥胶砂性能检测。

本书由田凤兰和杨永利担任主编，其中田凤兰编写项目3、4、5三个部分，杨永利编写项目1和2两个部分，由白东海校稿。由郑建军、徐海军、武海燕担任副主编，参编人员有李庆阳、李艳梅、张丽娟等，主要参与资料收集和部分项目的编写。本书由中联集团金山特种水泥公司朱彪、魏爱琴审稿。在编写过程中得到中联集团金山特种水泥公司的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于本书是按材料物理性能检测课程教学大纲的要求编写的，并不包含所有水泥物理性能检测的全部内容。同时，由于科学技术水平的进步和生产条件的不断发展，今后遇到本书所述检测内容以外的实验时，可查阅有关指导资料，并注意各种材料标准或规范的修订动态，以作相应修改。

由于编者水平有限，读者如发现错误或不足之处，敬请批评指正。

编 者



目 录

项目 1 水泥取样方法	1
任务 1 水泥取样方法	1
1.1.1 取样术语	1
1.1.2 取样工具	2
1.1.3 取样部位	4
1.1.4 取样操作	4
1.1.5 取样量的确定	4
1.1.6 样品制备	5
1.1.7 样品的包装与储存	5
1.1.8 取样单	5
项目小结	5
思考题	5
项目 2 水泥密度、容积密度检测	7
任务 1 水泥密度、容积密度概述	7
2.1.1 水泥密度	7
2.1.2 容积密度	8
任务 2 水泥密度检测	9
2.2.1 检测原理	9
2.2.2 检测仪器和用品	9
2.2.3 检测方法和步骤	11
2.2.4 检测结果处理	12
2.2.5 检测注意事项	12
2.2.6 操作技能测评	13
任务 3 容积密度检测	13
2.3.1 检测原理	13
2.3.2 检测仪器与用具	14
2.3.3 检测方法 with 结果计算	14
2.3.4 检测注意事项	15
项目小结	15

思考题	16
项目3 水泥细度检测	17
任务1 水泥细度检测方法——筛析法	17
3.1.1 筛析法检测原理	18
3.1.2 检测仪器	18
3.1.3 检测方法	22
3.1.4 结果计算及处理	23
3.1.5 水泥试验筛的标定	24
3.1.6 检测注意事项	25
3.1.7 水泥细度筛析法操作技能成绩评定	26
任务2 水泥比表面积检测方法——勃氏透气法	28
3.2.1 检测原理	29
3.2.2 检测仪器与用品	29
3.2.3 仪器的标定	32
3.2.4 检测步骤	34
3.2.5 结果计算	35
3.2.6 检测注意事项	36
3.2.7 比表面积检测操作技能评定	37
3.2.8 FBT-9型自动比表面积测定仪操作方法	38
任务3 水泥颗粒级配检测方法——激光法	50
3.3.1 检测原理	51
3.3.2 术语和符号	51
3.3.3 检测仪器设备	51
3.3.4 分散介质	69
3.3.5 试验条件和仪器校准	69
3.3.6 测试步骤	69
3.3.7 检测结果记录与处理	71
项目小结	71
思考题	72
项目4 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检测	73
任务1 水泥标准稠度用水量、凝结时间检测	73
4.1.1 水泥标准稠度用水量、凝结时间检测概述	73
4.1.2 检测原理	76
4.1.3 检测仪器设备	77
4.1.4 材料	84

4.1.5 试验条件	84
4.1.6 标准稠度用水量测定方法（标准法）	84
4.1.7 标准稠度用水量测定方法（代用法）	85
4.1.8 凝结时间测定方法	85
4.1.9 检测结果记录	86
4.1.10 操作技能评定	87
任务2 水泥沸煮法安定性检测	89
4.2.1 体积安定性概述	89
4.2.2 沸煮法检测原理	91
4.2.3 检测仪器与用具	92
4.2.4 材料	96
4.2.5 试验条件	96
4.2.6 安定性测定方法（标准法）	96
4.2.7 安定性测定方法（代用法）	97
4.2.8 检测注意事项	98
4.2.9 检测结果记录与处理	99
4.2.10 操作技能评定	99
任务3 水泥压蒸法安定性检测	100
4.3.1 检测原理	100
4.3.2 仪器与用具	101
4.3.3 试验材料	107
4.3.4 试验条件	107
4.3.5 试件的成型	107
4.3.6 试件的沸煮	108
4.3.7 试件的压蒸	108
4.3.8 结果计算与评定	109
4.3.9 安全注意事项	109
项目小结	110
思考题	110
项目5 水泥胶砂性能检测	111
任务1 水泥胶砂流动度检测	111
5.1.1 概述	111
5.1.2 检测原理	112
5.1.3 仪器和设备	112
5.1.4 试验室条件及材料	118

5.1.5	胶砂的制备	118
5.1.6	检测步骤	119
5.1.7	结果与计算	120
5.1.8	操作注意事项	120
5.1.9	操作技能评定	121
任务2	水泥胶砂强度检测方法——ISO 法	122
5.2.1	水泥胶砂强度概述	122
5.2.2	检测原理	124
5.2.3	检测仪器设备	124
5.2.4	试验条件与材料	134
5.2.5	胶砂的制备	136
5.2.6	试件的制备	137
5.2.7	试件的养护	137
5.2.8	强度检测程序	138
5.2.9	水泥的合格检验	139
5.2.10	检测仪器设备	140
5.2.11	试验操作	141
5.2.12	操作技能评定	142
任务3	水泥强度快速检测	144
5.3.1	检测原理	144
5.3.2	检测仪器	145
5.3.3	试验材料与条件	145
5.3.4	胶砂制备和试体成型	145
5.3.5	养护制度	146
5.3.6	抗压强度试验	146
5.3.7	水泥 28 d 抗压强度的预测	146
5.3.8	水泥 28 d 抗压强度预测公式的建立	146
任务4	水泥 28 d 抗压强度匀质性检测	148
5.4.1	检测要求	148
5.4.2	变异系数的计算	148
任务5	水泥胶砂干缩性检测	149
5.5.1	检测原理	149
5.5.2	检测仪器设备	149
5.5.3	试验材料与条件	152
5.5.4	胶砂的组成	152

5.5.5 试体成型	152
5.5.6 试体养护、存放和测量	153
5.5.7 结果计算及处理	154
项目小结	154
思考题	155
参考文献	157

项目 1

水泥取样方法



项目描述

本项目的具体任务是掌握出厂水泥取样方法的术语、取样工具、取样部位、取样步骤、取样量和样品制备与试验等内容。通过本项目的实施，要求学生学会水泥如何取样和进行试样的制备、封存，并掌握取样工具的使用。

任务 1 水泥取样方法

任务描述：掌握出厂水泥取样方法的术语、取样工具的使用与维护、取样部位、取样步骤、取样量和样品制备与试验等内容。

知识目标：掌握出厂水泥取样方法的术语、取样工具、取样部位、取样步骤、取样量和样品制备与试验等相关知识。

能力目标：通过本任务的实施，要求学生学会水泥如何取样以及试样的制备、封存，并掌握取样工具的使用与维护。

1.1.1 取样术语

手工取样 (manual sampling)：用手工取样器采集水泥样品。

自动取样 (automatic sampling)：使用自动取样器采集水泥样品。

检查批 (lot)：为实施抽样检查而汇集起来的一批同一条件下生产的单位产品。

编号 (lot number)：代表检查批的代号。

单样 (unit sample)：由一个部位取出的适量的水泥样品。

混合样 (composite sample)：从一个编号内不同部位取得的全部单样，经充分混匀后得到的样品。

试验样 (laboratory sample)：从混合样中取出，用于出厂水泥质量检验的一份称为试验样。

封存样 (retained sample)：从混合样中取出，用于复验仲裁的一份称为封存样。

分割样 (division sample)：在一个编号内按每 1/10 编号取得的单样，用于匀质性试验的样品。

通用水泥 (common cement): 用于一般土木建筑工程的水泥。

1.1.2 取样工具

1.1.2.1 手工取样器

手工取样器可自行设计制作, 常见手工取样器包括散装水泥取样器和袋装水泥取样器, 如图 1-1 ~ 图 1-4 所示, 单位为毫米 (mm)。散装水泥取样器长 (L) 1 000 ~ 2 000 mm, 袋装水泥取样器长 (L) 约 730 mm。

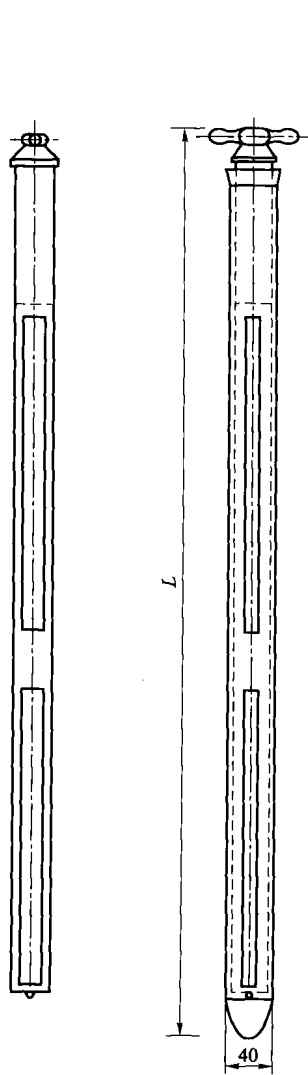


图 1-1 散装水泥取样器

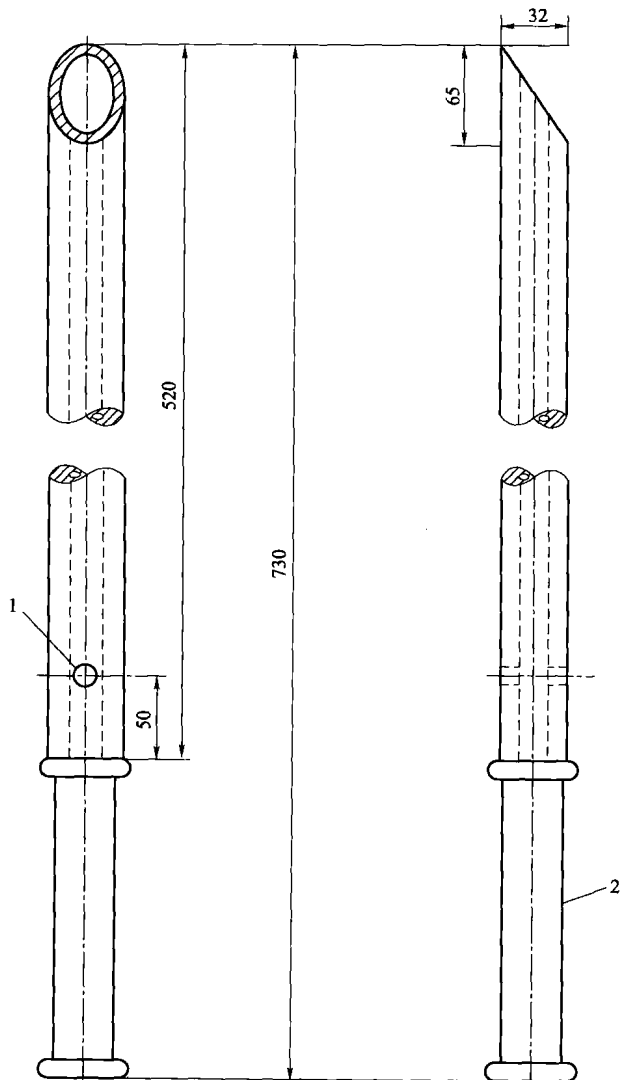


图 1-2 袋装水泥取样器

1—气孔; 2—手柄

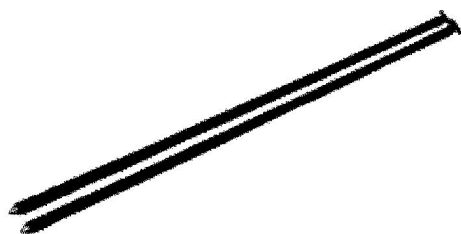


图 1-3 水泥新标准取样器



图 1-4 水泥不锈钢取样器

1.1.2.2 自动取样器

自动取样器可自行设计制作，主要适用于水泥成品及原料的自动连续取样，也适用于其他粉状物料的自动连续取样，如图 1-5 ~ 图 1-7 所示。

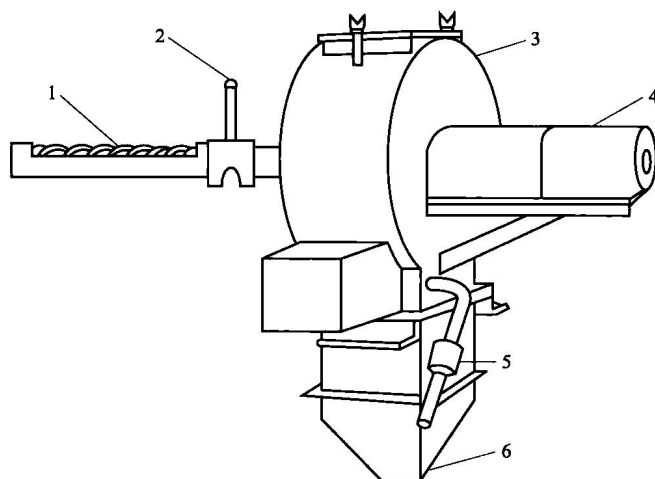


图 1-5 水泥自动取样器示意

1—入料处；2—调节手柄；3—混料筒；4—电动机；5—配重锤；6—出料口

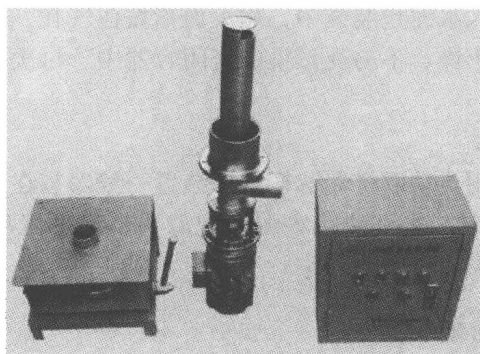


图 1-6 水泥智能取样器实物

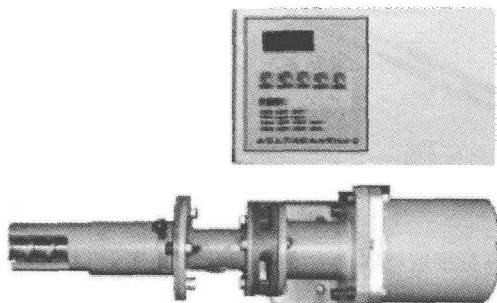


图 1-7 水泥连续取样器实物

1.1.3 取样部位

取样应在有代表性的部位进行，并且不应在污染严重的环境中取样。一般在水泥输送管路中、袋装水泥堆场和散装水泥卸料处或水泥运输机具上取样。

1.1.4 取样操作

1.1.4.1 手工取样

1. 散装水泥

当所取水泥深度不超过 2 m 时，每一个编号内采用散装水泥取样器随机取样。通过转动取样器内管控制开关，在适当位置插入水泥一定深度，关闭后小心抽出，将所取样品放入洁净、干燥、不易受污染的密闭容器中。每次抽取的单样量应尽量一致。

2. 袋装水泥

每一个编号内随机抽取不少于 20 袋水泥，采用袋装水泥取样器取样，将取样器沿对角线方向插入水泥包装袋中，用大拇指按住气孔，小心抽出取样管，将所取样品放入洁净、干燥、不易受污染的密闭容器中。每次抽取的单样量应尽量一致。

1.1.4.2 自动取样

自动取样就是采用自动取样器取样。该装置一般安装在尽量接近于水泥包装机或散装容器的管路中，从流动的水泥流中取出样品，然后将所取样品放入洁净、干燥、不易受污染的密闭容器中。

1.1.5 取样量的确定

(1) 混合样的取样量应根据相关水泥标准的要求确定。

(2) 分割样的取样量应符合下列规定：

- ① 袋装水泥：每 1/10 编号从一袋中取至少 6 kg；
- ② 散装水泥：每 1/10 编号在 5 min 内取至少 6 kg。

1.1.6 样品制备

1.1.6.1 混合样

每一编号所取水泥单样通过 0.9 mm 方孔筛后充分混匀，一次或多次将样品缩分到相关标准要求的规定量，平均分为试验样和封存样。试验样按相关标准要求进行试验，封存样应按要求密封储存以备仲裁，且样品中均不得混入杂物和结块。

1.1.6.2 分割样

每一编号所取 10 个分割样应分别通过 0.9 mm 方孔筛，不得混杂，并按相关要求要求进行 28 d 抗压强度匀质性试验，且样品中不得混入杂物和结块。

1.1.7 样品的包装与储存

(1) 样品取得后应储存在密闭的容器中，封存样要加封条。容器应洁净、干燥、防潮、密闭、不易破损并且不影响水泥性能。

(2) 存放封存样的容器应至少在一处加盖清晰、不易擦掉的标有编号、取样时间、取样地点和取样人的密封印，如只有一处标志，则应在容器外壁上。

(3) 封存样应密封储存，贮存期应符合相应水泥标准的规定。试验样与分割样也应妥善贮存。

(4) 封存样应储存于干燥、通风的环境中。

1.1.8 取样单

样品取得后，应由负责取样人员填写取样单。取样单包括水泥编号、水泥品种、强度等级、取样日期、取样地点和取样人等内容。

项目小结

本项目主要介绍了水泥取样术语，取样工具包括手工取样器和自动取样器及其应用，取样部位如何选取，人工取样和自动取样的步骤，取样量的确定和样品的制备、封存，取样单的填写等内容。

思考题

1. 什么是水泥封存样和分割样？

2. 分割样的取样量如何确定?
3. 水泥取样应有代表性,一般应在哪些部位取样?
4. 如何进行水泥样品的包装与贮存?
5. 水泥取样单应至少包括哪些内容?
6. 如何用自动取样器进行取样?

项目 2

水泥密度、容积密度检测



项目描述

本项目的具体任务是熟练掌握水泥密度、容积密度的测定原理、仪器、操作方法和结果计算，并根据所测定的数据计算水泥的孔隙率。本检测方法适用于测定水硬性水泥的密度，也适用于测定采用本方法的其他粉状物料的密度。

任务 1 水泥密度、容积密度概述

任务描述：掌握水泥密度、容积密度的定义及影响密度大小的因素，熟悉水泥密度、容积密度在工程中的应用及不同品种水泥密度、容积密度的分布范围。

知识目标：掌握水泥密度、容积密度的定义及影响密度大小的因素，熟悉水泥密度、容积密度在工程中的应用及不同品种水泥密度、容积密度的分布范围的相关知识。

能力目标：能正确描述水泥密度、容积密度的含义、影响因素、在工程应用中的意义及不同品种水泥密度、容积密度的分布范围。

2.1.1 水泥密度

水泥在绝对密实（不包含孔隙）状态下，单位体积的质量称为水泥密度（单位： g/cm^3 ）。

水泥的密度是油井、堵塞、地热等特殊工程需用水泥的重要建筑性质之一。在这些特殊工程的施工中，为了便于浇注和保证工程的质量，可根据地层压力和地质条件等的不同，而配制不同密度的水泥浆。例如，在油井、气井的固井工程中，遇到高压油、高压气层时，需要配制高密度的水泥浆；遇到低压油、低压气层，或者漏失层时，则需要配制低密度的水泥浆。同时，在检验水泥的比表面积时，水泥的密度是确定水泥试样质量和计算公式中所不可缺少的数据，因此为了检验水泥的比表面积，也必须先检验水泥的密度。此外，水泥的品种和质量不同，其密度也不相同，因此，必须检验和控制水泥的密度。

影响水泥密度的因素比较多，主要包括熟料的矿物组成、煅烧程度，混合材

料的种类、掺加量以及贮存情况等。

熟料的矿物组成不同时,所制成的水泥密度也不相同。硅酸盐水泥熟料的主要单体矿物包括硅酸三钙 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S)、硅酸二钙 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S , 主要是 $\beta\text{-C}_2\text{S}$)、铝酸三钙 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)、铁铝酸四钙 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)、游离氧化钙 ($f\text{-CaO}$)、方镁石 (MgO) 以及玻璃质等。

硅酸盐水泥熟料的主要单体矿物及玻璃质的密度见表 2-1,可以看出,熟料主要单体矿物中以 C_4AF 的密度最大,所以熟料中增加 C_4AF 的含量,将使制成的水泥密度增大。

表 2-1 硅酸盐水泥熟料的主要单体矿物及玻璃质的密度

矿物	C_3S	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	C_3A	C_4AF	$f\text{-CaO}$	方镁石	玻璃质
密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	3.15	3.28	3.04	3.77	3.34	3.58	3.00

熟料的煅烧程度不同,水泥的密度也不相同。一般生烧熟料的密度小,过烧熟料的密度大,正常煅烧熟料的密度则介于两者之间。所以当熟料的煅烧程度不同时,也将影响制成水泥的密度。在生产中应当注意,熟料密度的变化并不显著,密度并不能精确地反映熟料的煅烧程度。

混合材料的种类及掺加量对水泥密度的影响比较大。当掺加密度较小的矿渣或火山灰质混合材料,而且掺加量增多时,水泥的密度将相应地减小;如果掺加钛铁矿(密度为 $4.44 \sim 5.00 \text{ g/cm}^3$)、磁铁矿(密度为 $4.90 \sim 5.90 \text{ g/cm}^3$)或重晶石(密度为 $4.30 \sim 4.60 \text{ g/cm}^3$)等密度较大的混合材料,而且掺加量增多时,则水泥的密度也相应地增大。

水泥储存时间过长,尤其在比较潮湿的条件下储存时,由于水泥逐渐吸收空气中的水分和二氧化碳(CO_2)而风化,生成密度较小的水化产物,例如, $f\text{-CaO}$ (密度为 3.34 g/cm^3)风化生成氢氧化钙 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, 密度为 2.23 g/cm^3]及碳酸钙(CaCO_3 , 密度为 2.71 g/cm^3)等,所以水泥的密度减小。

水泥品种不同,其密度也不相同。不同品种水泥密度的变动范围见表 2-2。

表 2-2 不同品种水泥密度的变动范围

水泥品种	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	水泥品种	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$
硅酸盐水泥	3.1 ~ 3.2	火山灰水泥	2.7 ~ 3.0
普通水泥	3.0 ~ 3.1	粉煤灰水泥	2.7 ~ 2.9
矿渣水泥	2.8 ~ 3.0	高铝水泥	3.1 ~ 3.3

2.1.2 容积密度

水泥容积密度是在自然状态下(包括空隙)单位体积水泥的质量,单位以