

普通高等学校材料科学与工程学科规划教材



混凝土学

Concrete Technology

中国混凝土与水泥制品协会教育与人力资源委员会 组织编写
全国高等学校建筑材料学科研究会

主 编 宋少民 王 林
主 审 王栋民



武汉理工大学出版社

普通高等学校材料科学与工程学科规划教材

混 凝 土 学

中国混凝土与水泥制品协会教育与人力资源委员会
全国高等学校建筑材料学科研究会
组织编写

主 编 宋少民 王 林
副主编 王 晴 高振国
主 审 王栋民

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内容简介】

“混凝土学”是我国高等学校无机非金属材料本科专业(建筑材料方向)的专业必修课程。本教材共13章,重点介绍现代预拌混凝土的知识体系。各章分别为混凝土概述、水泥、矿物掺和料、骨料、化学外加剂、混凝土拌合物的性能、混凝土力学性能、混凝土的耐久性、混凝土配合比设计、混凝土施工、混凝土开裂及裂缝控制、混凝土的技术进展以及混凝土的质量控制与验收。此外对高性能混凝土、预制混凝土以及几种常见的特种混凝土进行了简单介绍。

本教材既可以作为高等学校无机非金属材料专业(建筑材料方向)教材,也可以作为混凝土与水泥制品行业技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土学/宋少民,王林主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2013. 12

ISBN 978-7-5629-4097-5

I. ①混… II. ①宋… ②王… III. ①混凝土—高等学校—教材 IV. ①TU528

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第301924号

项目负责人:田道全 责任编辑:田道全 万三宝

责任校对:夏冬琴 装帧设计:翰之林

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路122号

邮编:430070

网址:<http://www.techbook.com.cn>

经销者:各地新华书店

印刷者:湖北恒泰印务有限公司

开本:880×1230 1/16

印张:19.75

字数:584千字

版次:2013年12月第1版

印次:2013年12月第1次印刷

印数:1—3000册

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

前 言

我国目前正处于基础设施建设高峰期,钢筋混凝土结构是我国建筑的主体结构,同时交通工程建设中混凝土也是最大宗的建筑材料。我国 2011 年水泥产量为 20.8 亿 t,占世界总产量的 60%。混凝土与水泥制品行业规模巨大。混凝土产业的可持续发展关系到资源、能源的合理利用,对我国节能减排和生态环境保护具有重大意义。

混凝土技术经过长期积累与发展,已经由传统四组分混凝土进入多组分混凝土的新时期。现代混凝土以化学外加剂和矿物掺和料为物质基础,以大流态施工要求为特征。传统混凝土时代的知识体系和许多经典解释越来越不适用于现代混凝土的实践。混凝土理论和技术正在经历一场深刻的科学革命。现代混凝土知识体系虽然没有尘埃落定,但已经基本形成。今后十年我国混凝土产业仍将维持较高的生产与建设规模,许多学者和建筑业界人士呼吁我们应该也可以建造使用几百年乃至上千年的建筑物,保护生态,造福子孙。在此形势下,本教材向学生介绍了混凝土材料与工程的新技术、新知识,使他们毕业后能够尽快适应现代化工程建设的需要,并为混凝土新技术推广做出贡献。这是我们建筑材料专业领域教师的一项紧迫任务。

在 20 世纪 80 年代,大学专业课程使用的《混凝土学》教材,经历了 30 年时间显然已经不再适用。近 2 年也有几部相关教材出版,但是大都没有系统介绍现代混凝土的知识体系。在教材编写上,主流观点认为不是经典的知识和结论不能编入教材。现有教材的结构体系、内容叙述等方面相差不大,许多内容大同小异,没有创意与个性。我们认为,教材应该体现编写者的学术水平和工程能力,应该把编者自己学习和悟出的知识编写入教材,这样有助于引导学生在短时间内把握和理解课程重点与难点,有利于培养学生的学习能力和提高教师的教学效果。如果我们希望学生具有创新意识,我们就应该具有创新精神。作为教材主编之一,本人希望编写一本有特色的教材,系统地介绍现代混凝土技术与理论。

教材的编写受到美国加州大学伯克利分校 Mehta 教授的主张和观点的较大影响,这些在教材知识体系和许多方面都有体现,在此感谢 Mehta 教授。

教材的编写受到清华大学廉慧珍教授、覃维祖教授的指导和帮助。两位教授对本教材矿物掺和料、水泥等部分章节内容进行了审议,提出了许多修改意见,在此表示感谢。

教材编写也吸收了国内许多学者的研究成果和观点,他们的研究和学术观点共同丰富和完善了现代混凝土知识体系。

本教材是由中国混凝土与水泥制品协会教育与人力资源委员会、全国高等学校建筑材料学科研究会组织编写的。教材编写的指导思想是符合教学应用型学校使用,着重培养学生分析与解决实际问题的能力。本教材主要突出以下特点:(1) 要求在各章节中编写例题以引导学生在掌握理论知识的基础上,密切与工程和生产实际相结合,体现学以致用、理论和实践相结合的精神。(2) 本教材包含全国大学生混凝土材料设计大赛试题库部分题目,题型是选择题,知识点覆盖面广,并给出了参考答案。(3) 各章节内容务求体现最新标准、规范和已经广泛应用的新成

果。教学接近试验、模拟工程实际。(4) 教材版式突出基本概念和知识重点,基本概念有英文注释。(5) 对于相关技术标准中存在的问题,提出编者的分析和观点。

本教材由宋少民、王林担任主编,王晴、高振国担任副主编。参加编写的有宋少民(第1章,第3章,第4章,第6章,第9章,第11章,第12章高性能混凝土部分),王林(第2章,第8章,第10章部分内容,第12章大体积混凝土、轻质混凝土部分,附录2、3),王晴(第5章),高振国(第7章),李玉琳(第13章),穆静波(第10章部分内容),赵顺增(第12章补偿收缩混凝土部分),侯云芬(第12章自密实混凝土部分),卞立波(第12章预制混凝土部分,附录1)。

本教材由中国矿业大学(北京)博士生导师王栋民教授担任主审,并提出了许多中肯的意见和建议,在此表示感谢。

由于近几年混凝土理论和技术发展迅速,新技术、新观点不断涌现,标准、规范繁多且问题也较多,加之时间仓促和编者水平所限,书中仍会存在疏漏、不当乃至错误之处,恳请广大师生、工程技术人员等读者批评指正,以便再版时修订和更正(E-mail:John. Song65@163.com)。

编 者

2013年5月

目 录

1 混凝土概述	(1)
1.1 混凝土的历史	(1)
1.2 现代混凝土的定义与分类	(3)
1.2.1 现代混凝土的定义	(3)
1.2.2 混凝土的分类	(4)
1.3 混凝土的组成与特性	(4)
1.3.1 混凝土的组成与作用	(4)
1.3.2 混凝土的性能特点与基本要求	(5)
1.4 混凝土技术的发展重点和方向	(6)
思考题	(6)
2 水泥	(7)
2.1 硅酸盐水泥	(7)
2.1.1 硅酸盐水泥的生产	(8)
2.1.2 水泥熟料矿物组成	(9)
2.1.3 硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	(11)
2.1.4 硅酸盐水泥的技术性质	(15)
2.1.5 水泥石的腐蚀与防止	(19)
2.1.6 硅酸盐水泥的特性与应用	(22)
2.1.7 水泥的风化与储存	(23)
2.2 通用水泥	(24)
2.2.1 通用水泥的种类与定义	(24)
2.2.2 水泥混合材料	(24)
2.2.3 普通硅酸盐水泥	(26)
2.2.4 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥	(27)
2.2.5 复合硅酸盐水泥	(29)
2.3 特种水泥	(31)
2.3.1 白色硅酸盐水泥	(31)
2.3.2 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥	(32)
2.3.3 抗硫酸盐硅酸盐水泥	(33)
2.3.4 道路硅酸盐水泥	(34)
2.3.5 砌筑水泥	(35)
2.3.6 铝酸盐水泥	(35)

2.3.7	硫铝酸盐水泥	(38)
2.3.8	膨胀水泥	(39)
2.3.9	油井水泥	(40)
2.4	水泥相关标准及发展趋势	(41)
	思考题	(43)
3	矿物掺和料	(45)
3.1	粉煤灰	(45)
3.1.1	粉煤灰的定义与分类	(46)
3.1.2	粉煤灰的成分与颗粒特性	(46)
3.1.3	粉煤灰的技术要求	(46)
3.1.4	粉煤灰的三大效应	(47)
3.1.5	粉煤灰对混凝土水密性和界面的影响	(48)
3.1.6	粉煤灰对混凝土性能的影响	(48)
3.1.7	粉煤灰在混凝土中应用的问题与技术要点	(51)
3.2	磨细矿渣	(53)
3.2.1	磨细矿渣的化学成分和物理性质	(53)
3.2.2	磨细矿渣对混凝土性能的影响	(54)
3.2.3	磨细矿渣在预拌混凝土中的合理应用	(56)
3.3	硅灰	(56)
3.3.1	硅灰的物理性质和化学成分	(56)
3.3.2	硅灰对混凝土性能的影响	(57)
3.4	石灰石粉	(59)
3.5	沸石岩粉	(61)
3.6	偏高岭土超细粉	(62)
	思考题	(63)
4	骨料	(64)
4.1	骨料的定义与分类	(64)
4.2	骨料的作用	(65)
4.3	骨料的加工制备	(65)
4.4	级配与粒径	(66)
4.4.1	骨料的级配	(66)
4.4.2	细骨料的粒径	(69)
4.4.3	粗骨料的粒径	(69)
4.5	粒形与表面织构	(71)
4.5.1	骨料的粒形	(71)
4.5.2	骨料的表面织构	(71)
4.6	吸水性和表面潮湿状态	(72)
4.7	强度与弹性模量	(72)
4.7.1	强度	(72)
4.7.2	坚固性	(73)

4.7.3 弹性模量·····	(74)
4.8 有害物质·····	(74)
4.9 河砂与人工砂·····	(76)
思考题·····	(77)
5 化学外加剂·····	(78)
5.1 外加剂的定义及分类·····	(78)
5.2 减水剂·····	(79)
5.2.1 减水剂的分类及发展·····	(80)
5.2.2 减水剂的作用机理·····	(81)
5.2.3 减水剂的作用·····	(82)
5.2.4 减水剂与混凝土原材料之间的相容性问题·····	(82)
5.3 引气剂·····	(83)
5.3.1 常用引气剂·····	(83)
5.3.2 引气剂的作用机理·····	(84)
5.3.3 引气剂与混凝土含气量的关系·····	(84)
5.3.4 引气剂对混凝土性能的影响·····	(84)
5.4 早强剂·····	(85)
5.4.1 常用早强剂·····	(86)
5.4.2 早强剂的作用机理·····	(86)
5.4.3 早强剂应用注意事项·····	(86)
5.5 缓凝剂·····	(87)
5.5.1 常用缓凝剂·····	(87)
5.5.2 缓凝剂的作用机理·····	(87)
5.5.3 缓凝剂对混凝土性能的影响·····	(88)
5.6 速凝剂·····	(89)
5.6.1 速凝剂的分类·····	(89)
5.6.2 速凝剂的作用机理·····	(89)
5.7 膨胀剂·····	(90)
5.7.1 常用膨胀剂·····	(90)
5.7.2 膨胀剂的作用机理·····	(90)
5.7.3 膨胀剂的应用·····	(91)
5.8 防冻剂·····	(91)
5.8.1 防冻剂的分类·····	(91)
5.8.2 防冻剂的作用机理·····	(91)
5.8.3 防冻剂的应用·····	(92)
5.9 阻锈剂·····	(92)
5.9.1 阻锈剂的分类·····	(92)
5.9.2 阻锈剂的作用机理·····	(92)
5.9.3 阻锈剂在混凝土中的应用·····	(92)
5.10 泵送剂·····	(93)
5.11 外加剂与水泥的相容性问题·····	(94)

思考题	(94)
6 混凝土拌合物的性能	(95)
6.1 和易性的概念	(95)
6.2 和易性测定方法及指标	(96)
6.3 影响和易性的主要因素	(97)
6.4 改善混凝土和易性的措施	(100)
6.5 混凝土的匀质性	(101)
6.5.1 影响混凝土匀质性的主要因素	(101)
6.5.2 提高混凝土匀质性的技术措施	(102)
6.6 混凝土拌合物浇筑后的性能	(102)
6.6.1 坍落度损失	(103)
6.6.2 离析	(104)
6.6.3 泌水	(104)
6.6.4 塑性沉降	(104)
6.6.5 塑性收缩	(104)
6.6.6 含气量	(105)
6.6.7 凝结时间	(105)
6.7 新拌混凝土(砂浆、混凝土)流变学常识	(106)
6.7.1 新拌混凝土的流变模型和流变参数测定	(106)
6.7.2 触变性与剪胀性	(107)
思考题	(108)
7 混凝土力学性能	(109)
7.1 硬化混凝土结构	(109)
7.2 抗压强度	(110)
7.2.1 混凝土受压破坏过程	(110)
7.2.2 混凝土抗压强度	(112)
7.2.3 混凝土强度等级	(112)
7.2.4 影响混凝土抗压强度的因素	(113)
7.2.5 影响混凝土强度试验测试结果的因素	(115)
7.3 抗拉强度与抗折强度	(116)
7.3.1 抗拉强度	(116)
7.3.2 劈裂抗拉试验	(116)
7.3.3 抗折强度	(117)
7.4 混凝土抗压强度与抗拉强度的关系	(117)
7.5 混凝土在非荷载作用下的变形	(118)
7.5.1 化学收缩	(118)
7.5.2 温度变形	(118)
7.5.3 干燥收缩	(119)
7.5.4 塑性收缩	(120)
7.5.5 自生收缩	(121)

7.5.6 碳化收缩	(121)
7.6 混凝土在荷载作用下的变形	(122)
7.6.1 在短期荷载作用下的变形	(122)
7.6.2 徐变	(123)
7.7 混凝土的强度发展与开裂	(123)
7.8 结构混凝土强度与混凝土试块强度的区别	(124)
7.9 关于混凝土强度构成的认识	(125)
思考题	(125)
8 混凝土的耐久性	(126)
8.1 混凝土结构耐久性的定义与认识	(127)
8.2 混凝土的抗渗透性能	(127)
8.2.1 抗渗透性的定义、意义及其渗透原理	(127)
8.2.2 抗渗透性的衡量和表征	(127)
8.2.3 抗渗透性的影响因素和提高措施	(129)
8.3 混凝土的抗冻融性能	(130)
8.3.1 抗冻融性的定义和冻融破坏机理	(130)
8.3.2 抗冻融性的表征	(130)
8.3.3 除冰盐对混凝土的破坏	(131)
8.3.4 提高混凝土抗冻融性的措施	(131)
8.4 混凝土的碳化与钢筋锈蚀	(132)
8.4.1 碳化的定义和影响	(132)
8.4.2 混凝土保护钢筋不生锈的原因	(132)
8.4.3 影响碳化的因素	(133)
8.4.4 氯离子对钢筋锈蚀的影响	(133)
8.4.5 钢筋锈蚀对混凝土的影响	(133)
8.4.6 混凝土钢筋锈蚀的环境条件	(134)
8.5 混凝土的抗化学侵蚀性能	(134)
8.5.1 抗化学侵蚀性的定义	(134)
8.5.2 混凝土硫酸盐侵蚀	(134)
8.5.3 混凝土软水溶蚀	(135)
8.5.4 提高混凝土抗化学侵蚀的主要措施	(135)
8.6 混凝土的抗碱-骨料病害	(135)
8.6.1 碱-骨料反应的定义与危害	(135)
8.6.2 碱-骨料破坏的特征	(136)
8.6.3 碱-骨料病害的预防措施	(136)
8.7 典型环境混凝土结构的耐久性设计	(137)
8.8 混凝土的耐火性能	(140)
思考题	(143)
9 混凝土配合比设计	(144)
9.1 混凝土配合比设计的技术理念与参数	(144)

9.1.1	水胶比	(145)
9.1.2	用水量及外加剂掺量	(145)
9.1.3	胶凝材料、矿物掺和料和水泥用量	(146)
9.1.4	砂率	(147)
9.1.5	浆骨比	(147)
9.1.6	砂石比	(148)
9.2	混凝土配合比设计规范与方法	(148)
9.2.1	基本规定	(148)
9.2.2	混凝土配合比设计步骤	(150)
9.3	据以饱和面干骨料的混凝土配合比设计方法	(159)
9.3.1	确定混凝土配合比的原则	(159)
9.3.2	混凝土配合比四要素的选择	(160)
9.3.3	混凝土配合比计算步骤	(160)
9.4	全计算配合比设计	(163)
9.4.1	普遍适用的混凝土体积模型	(164)
9.4.2	混凝土配合比设计中的两个基本关系式	(164)
9.4.3	混凝土全计算配合比设计步骤	(165)
9.4.4	HPC 全计算配合比设计	(166)
9.4.5	以 C80HPC 为例做配合比设计计算	(167)
	思考题	(170)
10	混凝土施工	(171)
10.1	施工技术要点	(171)
10.1.1	混凝土的运输	(171)
10.1.2	混凝土的浇筑	(173)
10.1.3	混凝土的养护	(178)
10.2	施工对结构混凝土的影响	(179)
10.2.1	浇筑与振捣	(179)
10.2.2	养护	(180)
10.3	冬季施工与夏季施工	(183)
10.3.1	冬季施工	(183)
10.3.2	夏季施工	(186)
	思考题	(188)
11	混凝土开裂及裂缝控制	(189)
11.1	混凝土开裂问题的历史沿革	(189)
11.2	混凝土开裂的原因	(190)
11.2.1	混凝土拌合物沉降与泌水	(191)
11.2.2	混凝土在非荷载作用下体积变形对结构开裂的影响	(191)
11.2.3	混凝土的抗拉强度、徐变与结构约束	(193)
11.2.4	结构设计存在的问题	(193)
11.2.5	现代混凝土的特点对开裂的影响	(194)

11.3 混凝土裂缝控制的主要技术措施	(195)
11.3.1 大掺量粉煤灰混凝土技术	(195)
11.3.2 混凝土膨胀剂补偿收缩技术	(196)
11.3.3 混凝土减缩剂的应用	(196)
11.3.4 混凝土纤维增强抗裂作用	(196)
11.3.5 大体积、超长混凝土结构无缝跳仓法施工	(197)
11.3.6 混凝土的养护	(197)
11.4 混凝土结构裂缝的修补技术	(199)
11.4.1 开槽法修补裂缝	(199)
11.4.2 低压注浆法修补裂缝	(199)
11.4.3 表面覆盖法修补裂缝	(199)
思考题	(199)
12 混凝土的技术进展	(201)
12.1 轻质混凝土	(201)
12.1.1 轻骨料混凝土	(201)
12.1.2 多孔混凝土	(204)
12.1.3 轻骨料多孔混凝土	(205)
12.1.4 大孔混凝土	(205)
12.2 大体积混凝土	(206)
12.2.1 大体积混凝土的定义	(206)
12.2.2 大体积混凝土的特点	(206)
12.2.3 大体积混凝土开裂的原因及对策	(207)
12.3 高性能混凝土	(210)
12.3.1 高性能混凝土提出的背景	(210)
12.3.2 高性能混凝土的技术基础和理论要点	(211)
12.3.3 高性能混凝土的定义	(212)
12.3.4 高性能混凝土认识中存在的误区	(213)
12.3.5 高性能混凝土的体积稳定性和匀质性	(215)
12.3.6 高性能混凝土的配制	(215)
12.3.7 高性能混凝土的工程应用	(216)
12.3.8 绿色高性能混凝土	(217)
12.4 自密实混凝土	(218)
12.4.1 自密实混凝土的特点	(218)
12.4.2 自密实混凝土的组成特性	(219)
12.4.3 自密实混凝土的工作性能测试方法	(220)
12.5 补偿收缩混凝土	(222)
12.5.1 补偿收缩混凝土的定义和基本原理	(222)
12.5.2 混凝土膨胀剂	(223)
12.5.3 补偿收缩混凝土的基本性能	(224)
12.5.4 补偿收缩混凝土的施工技术要求和工程应用	(226)
12.6 预制混凝土	(228)

12.6.1	预制混凝土的概况	(228)
12.6.2	预制混凝土的种类及制作	(229)
12.6.3	预制混凝土构件成型方法	(230)
12.6.4	预制混凝土构件养护方法	(230)
12.6.5	新型预制混凝土构件	(232)
12.6.6	预制混凝土的未来	(233)
	思考题	(233)
13	混凝土的质量控制与验收	(234)
13.1	混凝土拌合物质量控制	(234)
13.1.1	初步控制	(234)
13.1.2	生产控制	(235)
13.2	混凝土强度评定	(237)
13.2.1	混凝土强度的质量控制	(238)
13.2.2	混凝土强度保证率	(238)
13.2.3	混凝土配制强度	(239)
13.2.4	混凝土强度的检验评定	(240)
13.2.5	混凝土结构件的强度检验	(241)
13.3	混凝土耐久性的评定	(242)
	思考题	(242)
	附录	(243)
	附录1 “混凝土学”课程教学实验	(243)
	附录2 南京市第二届混凝土材料设计大赛理论试题库(含答案)	(261)
	附录3 全国混凝土材料设计大赛获奖方案选编	(294)
	参考文献	(303)

1 混凝土概述

当我们睁开双眼环顾四周,不难发现我们的世界很大程度上为混凝土所塑造。在中国尤其如此,我国建筑结构的主体是钢筋混凝土结构。以商品混凝土为例,2011年美国、日本、欧盟的产量总和不到中国的55%。作为最重要的结构材料,混凝土对于土木工程的重要意义不言而喻。

混凝土这个名字来自于罗马,它源于拉丁文“concretus”,意思是“在一起成长”。广义来讲,混凝土是由胶凝材料、骨料按适当比例配合,与水(或不加水)拌和制成具有一定可塑性的流体,经硬化而成的具有一定强度的人造石。这门课程所涉及的“混凝土”,是指以无机胶凝材料、骨料和水作为基本组成材料的混凝土。

在学习“混凝土”这门课程之前,必须对混凝土有一个正确的认识。很多人都觉得混凝土简单,包括一些土木工程领域的专业人员,认为“混凝土不就是和和泥吗?没有什么高深的技术,更没有科学可言”。实际情况正好相反,**混凝土是用最简单的工艺制作的最复杂的体系。**著名混凝土学者内维尔这样表述混凝土:“简单得通常认为任何站在那里没事干的人都能直接就去浇筑或捣实混凝土;复杂得至今无法建立实验室试验结果和同样复杂的现场条件下的混凝土行为的相关关系;人们仍不确定混凝土的体内在服役的环境中随时间究竟发生了什么”。砂、石、水泥等材料与水的简单混合,即可出现一个有明显“生命历程”的材料体系,其中水泥自发进行着长期延续的水化硬化过程,带动整个体系经历复杂的物理—化学—力学的变化过程,而就在这变化过程中得到长期使用。不同于其他建材,如玻璃、钢材、陶瓷等,生产工艺虽然复杂,但材料组成简单,结构致密、均匀,从材料结构上讲并不复杂。而混凝土则是多相非匀质体,又有太多的界面和缺陷,且这些界面、缺陷由于各地水泥、掺和料、骨料、外加剂品种、品质相差较大,再加上环境、混凝土结构、施工方法、使用状态多样而呈现不同状态且动态变化着。

我们将要学习的就是这样一种仿佛一眼就能看透,实则奥妙无穷的建筑材料。**结构混凝土的性能不是混凝土生产企业独立可以实现的,需要设计单位、混凝土原材料供应商、混凝土搅拌站、施工单位、监理单位、检测单位、建设管理部门协作完成,所以有学者认为混凝土的学问应该称为混凝土工程学。**

1.1 混凝土的历史

在漫长的人类文明史中,原始混凝土的使用可以追溯到9000年前,那时人类已经使用石灰作为黏结材料来建造房屋地面或平台。约公元前4500年,两河流域的居民在劳动中发现了天然水泥,它**实际上就是含有黏土成分的石灰石过火后的产物。**著名的巴比塔就是利用这种天然水泥、砂、水制成大尺寸的建筑砌块,再用天然水泥胶结而成。约公元前2500年,中南美洲的人们将打碎的火山岩与石灰、泥土混合制成一种特殊的建筑材料,用它建造的地面或屋面更加光滑。这种材料类似于我们今天所说的火山灰混凝土,巴比塔等公元前建筑物就是使用这类材料建造的,参见图1.1、图1.2。

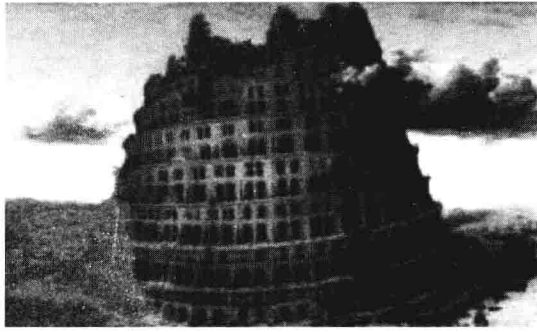


图 1.1 巴比塔



图 1.2 古老的玛雅 kukulcan 金字塔

在古埃及的一座墓室里出土了一幅大约公元前 1950 年的图画,这幅图画展示了当时这种“混凝土”的生产过程,包括从井中打水上来然后拌和砂浆,利用砂浆接缝。有学者就提出著名的埃及金字塔就是利用这种“混凝土”现场浇筑而成的。作为四大文明古国之一的中国,约公元前 3000~1000 年,就通过煅烧石膏和黏土来制作砂浆,这种砂浆不仅有着良好的工作性和使用性,而且防潮性能优良,这种砂浆从周代到明代的墓室建筑中一直被广泛使用。约 5 世纪左右,三合土出现于中国南部。三合土实际上是一种由石灰、黏土、细砂或者石灰、瓷粉、碎石混合而成的原始混凝土。这种混凝土常用于古代建筑的地面、屋顶和基础,经过充分压实以后,也可用于坝体结构,参见图 1.3、图 1.4。

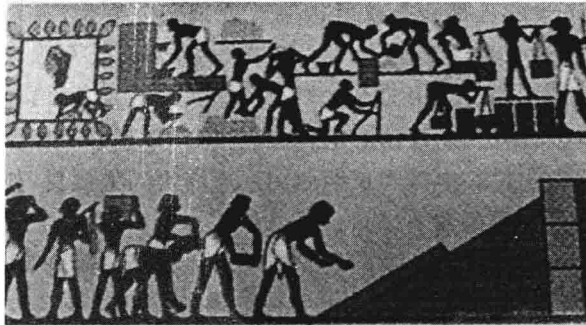


图 1.3 古埃及墓室中的混凝土制作画面

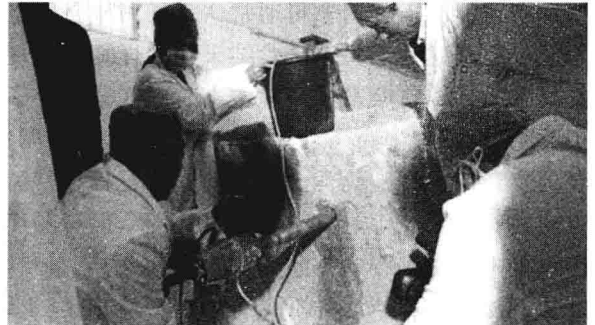


图 1.4 三合土制作的古墓棺椁坚如磐石

火山灰大约在公元前 300 年被古罗马人发现并使用,古罗马人虽然不知道原理,但是经验告诉他们:一种由火山灰、石灰(常为煅烧后的)、砂子和水组成的混合物可以为他们提供一种很好的建筑材料。用它能制造出具有防水和防火功能的混凝土。大约在公元前 25 年,古罗马时期著名建筑师、工程师 Vitruvius 写出了第一部对混凝土有文字叙述的文章。他在一份手稿中这样写道:“一种来自于 Baiae 附近区域和维苏威火山附近生活区的粉末状材料。如果它与石灰、碎石混合在一起,不仅能够提高普通建筑物的强度,而且能使海中结构的强度变得更高,水和洪流都不能够破坏它。”在古罗马时期,关于混凝土的知识,有一个显著的发展。古罗马时期的混凝土与早期混凝土的知识和技术相比,要先进得多。著名的 Pontdu Gard 水渠就是这个时期具有代表性的建筑,它竣工于公元前 18 年,有 3 层,共 49 m 高,其中最长的一层有 275 m 长。此外另一座著名的建筑是 Hadrian 国王于公元 120 年建造的万神殿。它拥有一个独一无二的圆屋顶,直径为 43.3 m,采用了一种轻质的混凝土。在接近圆屋顶的过程中,逐渐降低材料的密度来降低整体结构的密度,以此来追求更高的高度。古罗马建筑的辉煌使其成为混凝土技术发展的重要里程碑,许多学者认为真正意义上的混凝土始于古罗马时期,参见图 1.5、图 1.6。

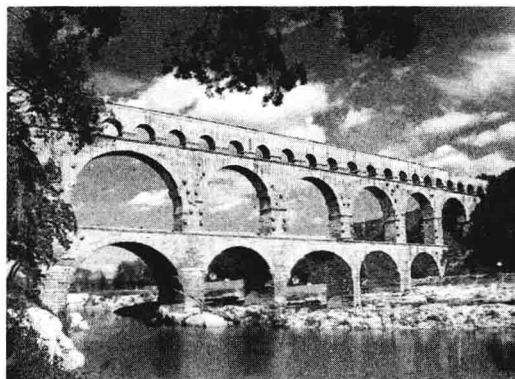


图 1.5 Pontdu Gard 水渠



图 1.6 万神殿

从罗马帝国的衰落到 1700 年,混凝土技术经历了一个“黑暗的时期”,混凝土技术没有实质的进展,而且罗马水泥的制作方法也失传。欧洲工业革命前夕,水泥的研究与开发取得进展,埃迪斯顿灯塔的建造利用含黏土的低品质石灰烧制胶凝材料重新引领人类发明了水泥的烧制技术,参见图 1.7。1764 年挪威的第一个混凝土水坝——Farris 大坝开始动工。波特兰水泥的发明和使用改变了这一切。1824 年约瑟夫·阿斯普丁获得波特兰水泥专利。从此,水泥逐渐代替了火山灰、石灰用于制造混凝土,但主要用于墙体、屋瓦、地面、栏杆等部位。

到 1875 年,威廉·拉塞尔斯(Willian Lascelles)采用改良后的钢筋强化的混凝土技术获得专利,混凝土才真正成为最重要的现代建筑材料。1895 年至 1900 年间用混凝土成功地建造了第一批桥墩,至此,混凝土开始作为最主要的结构材料,影响和塑造现代建筑。此后的半个多世纪中混凝土结构成为重要的结构形式,我国上海外滩的早期混凝土建筑物已经超过 100 年。这一时期的混凝土称为传统混凝土,以干硬性、低塑性为主体;相对水灰比较高,强度等级偏低;现场浇筑的混凝土结构在严酷环境中的耐久性不够理想,参见图 1.8。



图 1.7 1756 年用水硬性石灰和火山灰建造的埃迪斯顿灯塔

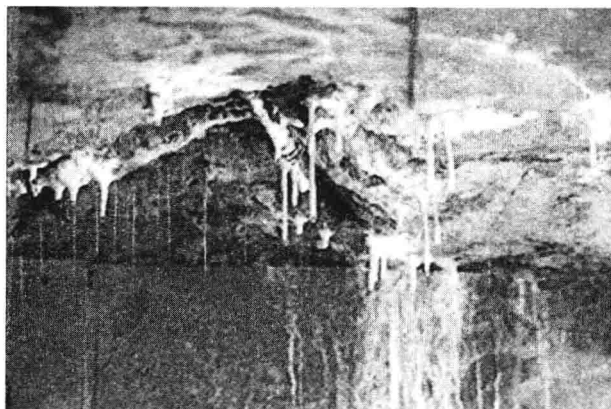


图 1.8 传统混凝土在地下水压环境下的溶蚀析晶现象

1.2 现代混凝土的定义与分类

1.2.1 现代混凝土的定义

相对于砂、石、水泥、水为组成材料的传统混凝土,现代混凝土是建立在混凝土化学外加剂和矿物掺和料两大混凝土科学技术进展基础上的六组分混凝土或多组分混凝土。

1.2.2 混凝土的分类

混凝土的种类很多,从不同的角度考虑,有以下几种分类方法:

(1) 按表观密度(apparent density)分类

① 重混凝土(heavy weight concrete)。表观密度大于 2800 kg/m^3 ,常采用重晶石、铁矿石、钢屑等做骨料和镅水泥、钡水泥共同配制防辐射混凝土,作为核工程的屏蔽结构材料。

② 普通混凝土(normal weight concrete)。表观密度在 $2000 \sim 2800 \text{ kg/m}^3$ 范围内的混凝土,是土木工程中应用最为普遍的混凝土,主要用作各种土木工程的承重结构材料。

③ 轻混凝土(light weight concrete)。表观密度小于 2000 kg/m^3 ,采用陶粒、页岩等轻质多孔骨料或掺加引气剂、泡沫剂形成多孔结构的混凝土,具有保温隔热性能好、质量轻等优点,多用作保温材料或高层、大跨度建筑的结构材料。

(2) 按所用胶凝材料(binding material)分类

按照所用胶凝材料的种类,混凝土可以分为水泥混凝土、硅酸盐混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土、树脂混凝土等。

(3) 按流动性(fluidity)分类

按照新拌混凝土流动性大小,可分为干硬性混凝土(坍落度小于 10 mm 且需用维勃稠度表示)、塑性混凝土(坍落度为 $10 \sim 90 \text{ mm}$)、流动性混凝土(坍落度为 $100 \sim 150 \text{ mm}$)及大流动性混凝土(坍落度大于或等于 160 mm)。

(4) 按用途分类

按用途分类,可分为结构混凝土、大体积混凝土、防水混凝土、耐热混凝土、膨胀混凝土、防辐射混凝土、道路混凝土等。

(5) 按生产和施工方法分类

按照生产方式,混凝土可分为预拌混凝土和现场搅拌混凝土;按照施工方法可分为泵送混凝土、喷射混凝土、碾压混凝土、挤压混凝土、离心混凝土、压力灌浆混凝土等。

(6) 按强度等级分类

① 低强度混凝土。抗压强度小于 30 MPa 。

② 中强度混凝土。抗压强度为 $30 \sim 60 \text{ MPa}$ 。

③ 高强度混凝土。抗压强度大于或等于 60 MPa 。

④ 超高强混凝土。抗压强度在 100 MPa 以上。

混凝土的品种虽然繁多,但在实际工程中还是以普通的水泥混凝土应用最为广泛,如果没有特殊说明,狭义上通常称其为混凝土,是本书所涉及的内容。

1.3 混凝土的组成与特性

1.3.1 混凝土的组成与作用

现代水泥混凝土的基本组成材料是水泥、矿物掺和料、粗细骨料、化学外加剂和水。其中,水泥和矿物掺和料组成的胶凝材料浆体占 $20\% \sim 30\%$,砂石骨料占 70% 左右。胶凝材料浆体在硬化前起润滑作用,使混凝土拌合物具有可塑性,在混凝土拌合物中,胶凝材料浆填充砂子孔隙,包裹砂粒,形成砂浆,砂浆又填充石子孔隙,包裹石子颗粒,形成混凝土拌合物;在混凝土硬化后,胶凝材料浆则起胶结和填充作用。胶凝材料浆多,混凝土拌合物流动性大,反之干稠;混凝土中水泥在胶凝体系中起主