

JIANZHU GONGCHENG ZHILIANG KONGZHI
XIANJIN SHIYONG JISHU SHOUC

建筑工程质量控制 先进适用技术手册



住房和城乡建设部工程质量安全监管司 编写
中国土木工程学会咨询工作委员会

中国建筑工业出版社

建筑工程质量控制 先进适用技术手册 (中)

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 编写
中国土木工程学会咨询工作委员会

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程质量控制先进适用技术手册 (中) /住房和城乡建设部工程质量安全监管司,中国土木工程学会咨询工作委员会编写. —北京:中国建筑工业出版社,2012.11

ISBN 978-7-112-14648-2

I. ①建… II. ①住… ②中… III. ①建筑工程-工程质量-质量控制-技术手册 IV. ①TU712-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 209286 号

本书为《建筑工程质量控制先进适用技术手册》(中),包括混凝土工程、模架工程、砌体工程,从质量问题分析、先进适用技术、检测方法 & 目标、技术前景 (包括国外技术) 4 个方面进行论述,优选先进适用技术解决当前在工程质量上存在的问题和通病,结合 10 项新技术,指出了工程 & 质量控制行之有效的先进适用技术和检测方法,提出了先进适用技术的发展方向。

本书可供建筑工程施工技术人员及监理人员使用,亦可供大中专院校相关专业师生参考。

责任编辑:刘江 岳建光 王砾瑶

责任设计:张虹

责任校对:肖剑 陈晶晶

建筑工程质量控制先进适用技术手册

(中)

住房和城乡建设部工程质量安全监管司 编写
中国土木工程学会咨询工作委员会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:14½ 字数:350 千字

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月第一次印刷

定价:38.00 元

ISBN 978-7-112-14648-2

(22712)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

改革开放 30 多年来,我国人民生活水平得到了显著提高。随着生活水平的提高,国民对生活质量、居住环境提出了更高的要求。而建设工程质量不仅关系到工程项目的投资效益、社会效益和环境效益,更关系到人民群众的生产、生活和生命安全。因此,建筑工程质量一直是社会关注的热点和各级政府行政管理部门管理的重点所在。近几年为节约土地资源、彰显国家经济实力、实现城市现代化,我国大中型城市规划了一批超高层、深基坑、钢结构与超大型项目,给施工技术及工程质量的管控提出了更高的要求。随着一批高、大、难、新、尖项目的顺利实施,以及科研工作者对管控工程质量技术研究的不懈努力,一批先进适用技术在建筑领域得到广泛的应用,有效降低了生产成本、缩短了生产周期、提高了工程质量、产生了良好的社会效益和经济效益,促进了我国建筑施工技术的创新和建筑行业工业化发展。

随着我国基本建设规模的不断扩大,国内各地区管控能力参差不齐,工程出现了基坑失稳、结构倒塌、混凝土裂缝、防水失效等质量问题,造成了一定的经济损失及社会影响。

2010 年,中国土木工程学会咨询工作委员会承接了住房和城乡建设部工程质量安全监管司下达的“先进适用技术对保证工程质量作用的研究”课题。课题研究的目的是希望通过提高工程质量的先进适用技术进行集成并加以创新,使企业能依靠先进适用技术和检测方法进行施工管理,增强社会对工程质量的满意度,提升社会效益。

在课题组大量调研的基础上,我们组织编写了本书。本书按建筑工程分部分项工程划分为上、中、下 3 册:上册包括地基基础工程、钢结构工程;中册包括混凝土工程、模架工程、砌体工程;下册包括建筑防水工程、保温工程、地面工程、装饰装修工程、机电安装工程。每个分部分项工程从质量问题分析、先进适用技术、检测方法及目标、技术前景(包括国外技术)4 个方面进行论述。立足国内、立足施工、立足建筑工程,结合 10 项新技术,优选先进适用技术解决当前在工程质量上存在的问题和通病,指出了工程质量控制行之有效的先进适用技术和检测方法,提出了先进适用技术的发展方向。本书将成为工程技术人员和监理人员的工程参考书。

编 写 委 员 会

顾 问：吴慧娟 吴之乃 许溶烈 徐正忠 叶可明 杨嗣信 洪 瀛
张 雁 毛志兵

编委会主任：常 青

副 主 任：曾宪新 孙振声

编委会成员：廖玉平 苗喜梅 冯 跃 张晋勋 薛永武 梁冬梅 赵福明
李 娟 王清训 郑念中 艾永祥 叶林标 施锦飞 高本礼
张 琨 王存贵 马荣全 李景芳 彭明祥 汪道金 杨健康
杨 煜 郝玉柱 高文生 谷晓峰 靳玉英 李中锡 刘 云

参编人员：张云富 陆海英 刘爱玲 翟 炜 安兰慧 李雁鸣 李洁青
唐永讯 周黎光 曾繁娜 王庆伟 吴明权 刘亚非 仓恒芳
高 丽 姜传库 段 明 刘建国 王巧莉 韩大富 张昌续
孙永民 王 宏 戴立先 刘 曙 杜 峰 杨 霞 高树栋
刘继军 闫永茂 谢 锋 鞠 东 赵秋萍 杨志峰 李铁良
陈 革 王天龄 王国争 焉志远 王文周 马向丽 徐 立
陈汉成 陈智坚 王世强 王德钦 刘 杰

参编单位：中国建筑第六工程局有限公司

北京建工集团有限责任公司

河南省建筑业协会

河南省建设工程质量监督总站

河南省第二建筑集团公司

南京大地建设集团有限责任公司

北京星河模板脚手架工程有限公司

陕西建工集团总公司
陕西省建筑科学研究院
中建钢构有限公司
北京城建集团有限责任公司
山西建筑工程（集团）总公司
北京住总集团有限责任公司
中国新兴建设开发总公司
深圳海外装饰工程有限公司
中铁建工集团有限公司
中建工业设备安装有限公司
北京筑友锐成工程咨询有限公司

总 目 录

(上)

地基基础工程

中国建筑第六工程局有限公司

钢结构工程

中建钢构有限公司

北京城建集团有限责任公司

(中)

混凝土工程

北京建工集团有限责任公司

河南省建筑业协会

河南省建设工程质量监督总站

河南省第二建筑集团公司

南京大地建设集团有限责任公司

模架工程

北京星河模板脚手架工程有限公司

砌体工程

陕西建工集团总公司

陕西省建筑科学研究院

(下)

建筑防水工程

山西建筑工程(集团)总公司

保温工程

北京住总集团有限责任公司

地面工程

中国新兴建设集团

装饰装修工程

深圳海外装饰工程有限公司

机电安装工程

中铁建工集团有限公司

中建工业设备安装有限公司

混凝土工程

参编单位：北京建工集团有限责任公司
河南省建筑业协会
河南省建设工程质量监督总站
河南省第二建筑集团公司
南京大地建设集团有限责任公司

目 录

1 混凝土工程	6
1.1 原材料	6
1.1.1 混凝土细骨料	6
1.1.2 混凝土粗骨料	9
1.1.3 水泥	14
1.1.4 混凝土掺合料	16
1.1.5 混凝土外加剂	18
1.2 混凝土配合比	21
1.2.1 质量问题分析	21
1.2.2 先进适用技术	21
1.2.3 检测方法 & 目标	22
1.2.4 技术前景	23
1.3 混凝土拌制	23
1.3.1 质量问题分析	23
1.3.2 先进适用技术	23
1.3.3 检测方法 & 目标	24
1.3.4 技术前景	24
1.4 混凝土运输	25
1.4.1 质量问题分析	25
1.4.2 先进适用技术	25
1.4.3 检测方法 & 目标	26
1.4.4 技术前景	26
1.5 混凝土浇筑	27
1.5.1 质量问题分析	27
1.5.2 先进适用技术	28
1.5.3 技术前景	29
1.6 高性能混凝土	29
1.6.1 质量问题分析	30
1.6.2 先进适用技术	30
1.6.3 检测方法 & 目标	30
1.6.4 技术前景	31
1.7 清水混凝土	31
1.7.1 质量问题分析	31

1.7.2	先进适用技术	31
1.7.3	检测方法 & 目标	32
1.7.4	技术前景	32
1.8	混凝土检测	32
1.8.1	质量问题分析	32
1.8.2	先进适用技术	33
1.8.3	检测方法 & 目标	36
1.8.4	技术前景	39
2	现浇混凝土结构	41
2.1	混凝土麻面	41
2.1.1	质量问题分析	41
2.1.2	采取的先进适用技术	42
2.2	混凝土露筋	43
2.2.1	质量问题分析	44
2.2.2	采用的先进适用技术	44
2.2.3	处理标准	47
2.3	混凝土蜂窝	48
2.3.1	质量问题分析	48
2.3.2	采用的先进适用技术	48
2.4	混凝土孔洞	49
2.4.1	质量问题分析	49
2.4.2	采取的先进适用技术	50
2.4.3	检测方法	51
2.5	混凝土烂根	51
2.5.1	质量问题分析	51
2.5.2	采取的先进适用技术	52
2.5.3	检测方法 & 目标	54
2.5.4	技术前景	54
2.6	混凝土夹渣	55
2.6.1	质量问题分析	55
2.6.2	采取的先进适用技术	55
2.6.3	检测	56
2.6.4	处理标准	56
2.7	混凝土结构尺寸偏差	56
2.7.1	质量问题分析	56
2.7.2	先进适用技术	57
2.8	现浇混凝土的预埋件控制	59
2.8.1	预埋件位置准确性的重要性	59
2.8.2	如何控制浇筑混凝土时预埋件的准确位置	59

4 目 录

2.8.3 先进适用技术	60
2.8.4 检测方法	60
2.8.5 技术前景	60
2.9 混凝土浮浆过厚	62
2.9.1 质量问题分析	62
2.9.2 先进适用技术	62
2.10 施工缝（冷缝）	63
2.10.1 施工缝的留置	63
2.10.2 施工缝处常见的质量问题	64
2.11 裂缝	81
2.11.1 楼板裂缝	81
2.11.2 地下室外墙裂缝（含大体积墙体）	85
2.11.3 大体积底板混凝土裂缝	86
2.11.4 混凝土冻胀裂缝	87
3 钢筋工程	89
3.1 原材料	89
3.1.1 质量问题分析	89
3.1.2 先进适用技术	90
3.1.3 检查方法及目标	90
3.1.4 技术前景	91
3.2 钢筋加工	91
3.2.1 质量问题分析	92
3.2.2 先进适用技术	92
3.2.3 检查方法及目标	93
3.2.4 技术前景	93
3.3 钢筋连接、钢筋锚固	94
3.3.1 质量问题分析	94
3.3.2 先进适用技术	94
3.3.3 检查方法及目标	95
3.3.4 技术前景	98
3.4 钢筋安装	98
3.4.1 质量问题分析	98
3.4.2 先进适用技术	99
3.4.3 检查方法及目标	103
3.4.4 技术前景	104
4 预应力结构	105
4.1 预应力材料	105
4.1.1 材料存储	105
4.1.2 下料准确	106

4.2 后张有粘结预应力施工	106
4.2.1 预留孔道铺设施工	106
4.2.2 预应力的张拉	109
4.2.3 预应力孔道灌浆	111
4.3 后张无粘结预应力施工	113
4.3.1 无粘结筋铺放	113
4.3.2 预应力的张拉	115
4.3.3 锚具防护	116
4.4 先进适用技术	117
4.4.1 真空辅助灌浆	117
4.4.2 缓粘结预应力技术	118
4.4.3 预应力孔道抽心法	119
5 预制混凝土装配整体式结构	121
5.1 预制梁	122
5.1.1 质量问题分析	122
5.1.2 先进适用技术	122
5.1.3 检测方法	124
5.2 叠合板	126
5.2.1 质量问题分析	126
5.2.2 先进适用技术	126
5.2.3 检测方法	130
5.3 预制柱	132
5.3.1 质量问题分析	132
5.3.2 先进适用技术	132
5.3.3 检测方法	133
5.4 预制楼梯	135
5.4.1 质量问题分析	135
5.4.2 先进适用技术	136
5.4.3 检测方法	136
5.5 技术前景	138

1 混凝土工程

混凝土工程是建筑工程的关键工程，混凝土质量控制是工程建设的重要环节，混凝土工程的质量关系到整体建筑工程质量。先进适用的混凝土技术对保证混凝土工程质量、促进混凝土技术进步具有重要意义。

1.1 原材料

随着工程建设的长足发展，建筑技术不断进步，适应环境要求的各项绿色建造技术不断涌现。混凝土原材料是混凝土工程施工的核心，其施工质量的合格与否直接影响结构的整体质量，尤其与结构的耐久性有直接关联。

1.1.1 混凝土细骨料

细骨料是混凝土的主要组分，约占混凝土体积总量的 30%~40%，其含泥量、细度模数、有害离子含量等指标的质量情况直接影响到新拌混凝土和硬化后混凝土的性能，如混凝土拌合物性能、力学性能、耐久性能等。

1. 质量问题分析

目前国内优质河砂砂源日益匮乏，多数地区面临枯竭或已经枯竭，无序或过度采集天然砂或河道采砂，影响了挖砂堤岸及有关设施安全，不利于河堤（岸）稳定、防汛排洪和水路交通运输，过度采集河砂也不符合国家环保政策要求。天然砂资源短缺地区多数工程使用的天然砂细度模数不符合相应混凝土强度等级的要求，含泥量和泥块含量超标，影响了混凝土强度及耐久性。

沿海城市在工程建设活动中利用未经处理的海砂拌制混凝土和砂浆，使建筑工程出现了氯离子腐蚀情况，降低了工程的耐久性，给工程质量带来了隐患。

2. 先进适用技术

(1) 人工砂混凝土应用技术。

人工砂对混凝土工作性的影响与河砂相比，由于有一定数量的石粉，使得人工砂混凝土的和易性得到改善，可在一定程度上改善混凝土保水性、泌水性、黏聚性，使得混凝土易于成形振捣。在低强度等级混凝土中这些作用明显，使用高强度等级的水泥配制低强度等级混凝土时，人工砂中的石粉很好地解决了在低水泥用量情况下，混凝土强度富余大、工作性差的问题。在高强度等级混凝土中，按照规定指标控制人工砂中石粉含量，由于石粉没有活性，在混凝土中只起到一种惰性掺合料的作用，分散水泥颗粒，降低了水泥的水化热，含气量和泌水率都减少，对混凝土的质量有利。人工砂可以工厂化生产，根据不同指标要求组织生产，满足施工需要。人工砂混凝土应采用强制搅拌生产技术。

(2) 海砂混凝土应用技术。

海砂混凝土用砂应作净化处理。净化处理是指采用专用设备对海砂进行淡水淘洗并使

之符合使用标准的建筑用砂生产过程。未经净化处理的海砂一律不得用于建筑工程的混凝土和建筑砂浆。海砂混凝土不得用于预应力混凝土结构。配制海砂混凝土时，宜采用海底砂，并宜与人工砂混合使用。当海砂混凝土用于除冰盐环境、长期处于潮湿的严寒环境、严寒和寒冷地区冬季水位变动等环境时应掺用引气剂，混凝土含气量可为4.5%~6.0%，不宜超过7.0%。当采用人工砂与海砂混合配制海砂混凝土时，海砂与人工砂的质量比宜为2/3~3/2。对于重要工程结构，混凝土中最大碱含量不宜大于3.0kg/m³；对于与预防碱-骨料反应措施有关的混凝土总碱含量计算，粉煤灰碱含量计算可取粉煤灰碱含量测值的1/6，矿渣粉碱含量计算可取矿渣粉碱含量测值的1/2。

海砂混凝土还可以添加钢筋阻锈剂作为保护钢筋不受氯盐腐蚀的一种辅助措施。目前国内的钢筋阻锈剂种类主要有：阳极型、阴极型、综合型等，由无机或有机化学物质组成。

3. 检测方法及目标

(1) 人工砂的检测。

人工砂的粗细程度可按其细度模数分为粗、中、细三级，人工砂的石粉含量应根据混凝土强度等级确定。石灰岩质人工砂混凝土用于低温硫酸盐侵蚀环境时，应试验验证其抵抗碳硫硅钙石型硫酸盐侵蚀性能。人工砂混凝土用于有特殊性能要求的混凝土工程时，配合比应通过试验确定。

人工砂的颗粒级配宜符合表 1-1 的规定。

人工砂的颗粒级配 表 1-1

筛孔尺寸		4.750mm	2.360mm	1.180mm	600μm	300μm	150μm
累计筛余 (%)	I 区	10~0	35~5	65~35	85~7	95~80	100~90
	II 区	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90
	III 区	10~0	15~0	25~0	40~16	85~55	100~90

人工砂的实际颗粒级配与表 1-1 中累计筛余相比，除公称粒径为 4.75mm 和 600μm 的累计筛余外，其余公称粒径的累计筛余可超出表中限定范围，但超出量不应大于 5%。

当人工砂的实际颗粒级配不符合表 1-1 的规定时，宜采取相应的技术措施，并经试验证明能确保混凝土质量后方可使用。

人工砂中含有适量石粉能改善其混凝土的工作性，但过量的石粉会因吸附更多的水分，导致混凝土工作性变差。石粉含量对混凝土和易性的影响随水泥用量、水胶比及施工工艺等不同而不同，人工砂中的石粉含量应符合表 1-2 的规定。

人工砂的石粉含量 表 1-2

项 目		指标		
		≥C60	C55~C30	≤C25
石粉含量 (%)	MB<1.4 (合格)	≤5.0	≤7.0	≤10.0
	MB≥1.4 (不合格)	≤2.0	≤3.0	≤5.0

用于生产人工砂母岩的强度应符合表 1-3 的规定。

人工砂母岩的强度 表 1-3

项 目	指标		
	火成岩	变质岩	水成岩
母岩强度（MPa）	≥100	≥80	≥60

人工砂的饱和面干吸水率不宜大于 2%。

人工砂的氯离子含量、碱活性、泥块含量、坚固性、压碎值和有害物质含量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52）的规定。

人工砂石粉含量的测定推荐采用亚甲蓝快速试验方法。当人工砂中石粉含量为 15% 时，泥含量由 0.15% 增加到 7.5%，亚甲基蓝 MB 值随着含泥量的增加而增加；当泥含量为 2%、3%、5% 时，MB 值分别在 0.85～1.25、0.85～3.0、1.1～2.95 之间。因此，MB 值<1.0 时，人工砂中的泥含量远低于 5%，泵送混凝土中适量增加石粉含量，有利于改善混凝土的和易性；当 MB 值≥1.4 时，人工砂中含泥量较高，影响混凝土性能。

（2）海砂的检测。

海砂的质量要求应符合现行行业标准《海砂混凝土应用技术规范》（JGJ 206）的规定。海砂质量检验的试验方法应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》（JGJ 52）的规定。海砂应进行碱活性检验，当采用有潜在碱活性的海砂时，应采取预防碱-骨料反应的技术措施。海砂中的贝壳最大尺寸不应超过 4.75mm。贝壳含量应符合表 1-4 的要求。对于有抗冻、抗渗或其他特殊要求的强度等级不大于 C25 混凝土用砂，其贝壳含量不应大于 8%。

海砂中贝壳含量 表 1-4

混凝土强度等级	≥C60	C40～C55	C35～C30	C25～C15
贝壳含量（按质量计，%）	≤3	≤5	≤8	≤10

海砂混凝土拌合物的水溶性氯离子最大含量应符合表 1-5 的要求。

海砂混凝土拌合物水溶性氯离子最大含量 表 1-5

环境条件	水溶性氯离子最大含量（%，水泥用量的质量百分比）	
	钢筋混凝土	素混凝土
干燥环境	0.3	0.3
潮湿但不含氯离子的环境	0.1	
潮湿而含有氯离子的环境	0.06	
腐蚀环境	0.06	

4. 技术前景

国内外对人工砂混凝土的研究和应用已有数十年，国家现行标准《人工砂混凝土应用技术规程》（JGJ/T 241）已发布实施。实践证明，人工砂中的石粉对混凝土性能有一定的改善和提高，应主要根据混凝土强度等级、施工工艺确定。应用人工砂降低工程成本，能够解决当地建筑地材资源日益匮乏的问题，符合国家提倡的环保要求，同时提高了工程质量，能够产生良好的社会效益和经济效益。

建筑工程中应用的海砂大致可分为滩砂和海底砂，其中以海底砂为主。海砂未经净化

处理,会造成钢筋锈蚀等混凝土结构的耐久性问题,海砂混凝土在日本、英国、我国台湾地区等已有数十年的应用历史,20 世纪 90 年代以来,我国海砂混凝土的应用有了较大发展。

1.1.2 混凝土粗骨料

混凝土粗骨料质量控制项目主要包括颗粒级配、针片状含量、含泥量、泥块含量、压碎值指标和坚固性,用于高强混凝土的粗骨料主要控制项目还包括岩石抗压强度。

1. 质量问题分析

目前通常用的粗骨料包括碎石、卵石两种。卵石光滑,少棱角,孔隙率及总表面积小,工作性好,水泥用量少,但粘结力差,强度低;碎石多棱角,孔隙率及总表面积大,工作性差,水泥用量多,但粘结力强,强度高。在相同条件下,碎石混凝土比卵石混凝土的强度约高 10%左右。粗骨料存在的质量问题主要有:

(1) 颗粒级配及最大粒径。

目前混凝土的粗骨料普遍存在着级配比较差,风化石太多等严重影响混凝土强度等各项性能的情况。

(2) 有害杂质。

粗骨料中常常含有泥块、淤泥、细屑、硫酸盐、硫化物和有机物等有害杂质,有时粗骨料中会出现国家严禁出现的煅烧过的白云石或石灰石块等。

(3) 针、片状颗粒。

粗骨料存在过多针、片状颗粒,会使混凝土的和易性变差,强度降低。

(4) 碱-骨料的存在。

对粗骨料或用于制作粗骨料的岩石,应进行碱活性检验,包括碱-硅活性检验和碱-碳酸盐活性检验;对于有预防混凝土碱-骨料反应要求的混凝土工程,不宜采用有碱活性的粗骨料。有防水要求或处于潮湿环境、干湿交替环境施工的混凝土结构,若采用了碱活性骨料,混凝土中的碱与骨料中的活性组分之间会发生破坏性膨胀反应,即碱-骨料反应(Alkali-Aggregate Reaction,简称 AAR),碱-骨料反应会引起混凝土开裂而出现裂纹,该反应不同于其他混凝土病害,其开裂破坏是整体性的,病害会使混凝土耐久性迅速下降,最终导致混凝土破坏。碱-骨料反应是影响混凝土长期耐久性和安全性的主要因素之一。

(5) 含泥量、泥块含量、压碎值指标和坚固性。

含泥量属于包裹型,泥块含量属于团块型。一般含泥量高于泥块含量。泥粘附在骨料的表面,妨碍水泥石与骨料的粘结,降低混凝土强度,还会增加拌合水量,加大混凝土的干缩,降低抗渗性和抗冻性。泥块对混凝土性质的影响更为严重,因为它在搅拌时不易散开。石子的压碎指标只能是判断石子强度的间接指标,没有石子立方体抗压强度准确。对于有抗冻要求的混凝土所用粗骨料,要求测定其坚固性。即用硫酸钠溶液法检验,试样经五次循环后,其质量损失应不超过规范的规定。有腐蚀性介质作用或经常处于水位变化区的地下结构或有抗疲劳、耐磨、抗冲击等要求的混凝土用碎石或卵石,其质量损失应不大于 8%。

2. 先进适用技术

(1) 关注化学成分对混凝土力学性能的影响。

碱-骨料反应是混凝土产生耐久性破坏的重要原因之一,而且这种破坏一旦发生,混

凝土将产生整体性破坏而无法补救。破坏发生的原因是由于骨料中的活性成分,如 MgO 、 CaO 等与水泥产生化学反应,引起混凝土体积膨胀,从而使混凝土内部产生自应力,超过其承载能力而导致破坏失效。如果上述有害化学成分超标,即不宜采用。骨料化学成分对混凝土力学性能影响的另一方面,是某些活性骨料,如碳酸盐,能在界面与水泥中的 C_3A 发生反应生成水化碳铝酸钙,从而增加了骨料与砂浆的界面胶结强度,化学反应式:

$$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$$
能与水泥发生化学反应的活性碳酸盐骨料,主要包括石灰石、大理石等。石英骨料、硅酸盐骨料在一定条件下也能与水泥发生反应,但较少见。由于化学成分量化分析在技术上比较困难,而工程现场粗骨料来源比较稳定,因此大多数配合比设计中不作专门考虑。

(2) 关注粗骨料强度、弹性模量对混凝土力学性能的影响。

通过观察高强混凝土(抗压强度大于 C60)的抗压破裂面情况,发现其破坏不仅发生在浆、骨交界面,而且粗骨料本身也发生贯穿性破裂,表明粗骨料的强度、弹性模量已成为影响高强混凝土力学性能的重要因素之一。总体上看,粗骨料的强度应大于混凝土强度,变形特性(一般以弹性模量表示)应与水泥砂浆的变形特性尽量接近,使两者受力、变形情况一致较为有利。衡量粗骨料力学特性的标准方法应为立方体抗压强度与弹性性能试验,但该试验需要岩石的切割、磨平,多数现场试验机构尚不具备这样的条件,因此一般采用压碎指标试验代替。压碎指标除主要取决于岩石强度外,还受粗骨料针片状含量的影响可达 $7\% \sim 9\%$ 。用 4 种不同材质粗骨料,包括辉绿岩、石灰石、砂岩和花岗岩拌制的混凝土,其强度、弹性模量试验表明,辉绿岩、石灰石骨料的抗压强度、弹性模量相对较高。究其原因,辉绿岩自身强度、弹性模量高,石灰石能与水泥发生反应,均对混凝土强度、弹性模量的提高有利,除此之外,粗骨料的表观密度、吸水率对混凝土的耐久性,尤其是抗冻融性能有重要影响。骨料的吸水也会导致和易性随时间而损失。

(3) 关注粗骨料颗粒形状对混凝土性能的影响。

碎石的针片状含量一般比卵石高,对混凝土的力学性能会有负面影响,尤以对抗折强度的损害更为显著。在对混凝土拌合物和易性的影响方面,卵石表面由于较为光滑,相同水灰比拌合而成的混凝土具有比碎石混凝土更好的和易性。两种骨料上述差异直接影响到混凝土配合比的设计,因而在许多情况下需要分别试验统计,获取不同的混凝土性能预测方程。粗骨料颗粒形状的评定,除按上述碎石、卵石划分外,进一步的描述还可按照英国 BS812 标准分为圆形、不规则形和有棱角形三类,具体数字化的描述,可用棱角数试验和颗粒球度试验确定。棱角数试验主要用于量化测定粗骨料颗粒表面粗糙度,而三维比例的测定则用颗粒球度描述比较准确,当然简单地也可按照针片状含量试验进行评价。

(4) 关注粗骨料颗粒级配对混凝土性能的影响。

具有良好级配的骨料,能够最大限度地减少孔隙率,降低水泥砂浆的用量,从而节约水泥,降低成本。而水泥用量的降低又可以减小混凝土的干缩,降低水化热,这对大体积混凝土的浇筑是十分有利的。除此之外,良好的颗粒级配,还可以在用水量相同的情况下,提高混凝土的和易性,具有显著的技术经济效益。

颗粒级配优劣的评价理论主要有以下 3 种:①最大密度理论。最大密度理论认为孔隙率最小、密度最大的级配为最优级配。由富勒(W. H. Fuller)等人于 1901~1907 年提出;②表面积理论。表面积理论认为,骨料表面积越小,用来包裹其表面的水泥浆用量越