

预拌混凝土绿色制造技术

王国富 逢鲁峰 编著

中国城市出版社

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 预拌混凝土发展状况	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 预拌混凝土发展历程	1
1.1.3 预拌混凝土行业总体布局	3
1.1.4 预拌混凝土行业与国外先进水平的差距	3
1.1.5 预拌混凝土行业存在的主要问题	5
1.1.6 预拌混凝土发展方向	7
1.2 预拌混凝土的绿色制造	8
1.2.1 预拌混凝土绿色制造的内涵	8
1.2.2 预拌混凝土绿色制造现状分析	8
1.2.3 预拌混凝土绿色制造实现途径	9
第 2 章 绿色胶凝材料	11
2.1 概述	11
2.1.1 绿色胶凝材料的现状	11
2.1.2 绿色胶凝材料的发展	11
2.2 绿色高性能水泥	12
2.2.1 绿色高性能水泥概述	12
2.2.2 绿色高性能水泥的性能	13
2.2.3 绿色高性能水泥的生产	14
2.3 粉煤灰	16
2.3.1 粉煤灰的化学性质和等级划分	16
2.3.2 粉煤灰对混凝土性能的影响	18
2.3.3 粉煤灰在混凝土的应用	21
2.4 水淬磨细矿渣粉	22
2.4.1 磨细矿渣粉的化学成分和物理性能	22
2.4.2 磨细矿渣粉对混凝土性能的影响	23
2.4.3 磨细矿渣粉在混凝土中应用时应注意的问题	27
2.5 硅灰	28
2.5.1 硅灰的物理性质和化学成分	29
2.5.2 硅灰对混凝土性能的影响	29
2.6 脱硫石膏	31
2.6.1 脱硫石膏的来源	31

2.6.2 脱硫石膏的性质	32
2.6.3 脱硫石膏对混凝土用砂浆性能的影响	34
2.7 石灰石粉	37
2.7.1 石灰石粉的化学成分和矿物成分	37
2.7.2 石灰石粉的研究与应用	39
2.7.3 石灰石粉对混凝土性能的影响	40
2.8 钢渣粉	48
2.8.1 钢渣粉的化学成分及性质	48
2.8.2 钢渣粉的水硬活性及活化措施	49
2.8.3 钢渣微粉对混凝土性能的影响	50
第3章 绿色骨料	52
3.1 概述	52
3.2 人工砂	52
3.2.1 人工砂的特性	52
3.2.2 人工砂的生产及制备	53
3.2.3 石粉含量对普通干混砂浆性能影响	56
3.2.4 人工砂掺量对混合砂混凝土性能影响	57
3.2.5 人工砂对高性能混凝土性能影响	58
3.3 建筑垃圾再生骨料	59
3.3.1 再生骨料的发展	59
3.3.2 再生骨料的性能及来源	60
3.3.3 再生骨料的改性处理	60
3.3.4 再生粗骨料对混凝土性能影响	61
3.3.5 再生细骨料对混凝土性能影响	68
3.4 钢渣粗骨料	73
3.4.1 钢渣粗骨料的综合应用	73
3.4.2 钢渣泵送配重混凝土的制备	75
3.4.3 钢渣粗骨料混凝土的耐久性	82
第4章 绿色高性能外加剂	87
4.1 概述	87
4.1.1 混凝土外加剂的定义和分类	87
4.1.2 混凝土外加剂的作用	88
4.1.3 混凝土外加剂的发展	88
4.2 聚羧酸高效减水剂	89
4.2.1 聚羧酸高效减水剂的定义	89
4.2.2 聚羧酸减水剂的作用机理	89
4.2.3 聚羧酸高效减水剂的结构特性和性能优点	90
4.2.4 聚羧酸高效减水剂的合成方法	92
4.2.5 聚羧酸高效减水剂对混凝土性能的影响	93

4.3	缓凝剂	95
4.3.1	缓凝剂的分类及特点	95
4.3.2	缓凝剂的作用机理	95
4.3.3	缓凝剂的研究应用现状	96
4.3.4	缓凝剂对混凝土性能的影响	96
4.4	泵送剂	97
4.4.1	泵送剂的组分	97
4.4.2	泵送剂的技术要点	97
4.4.3	泵送剂对混凝土性能影响	98
4.5	引气剂	99
4.5.1	引气剂的应用现状	99
4.5.2	含气量的影响因素	100
4.5.3	引气剂对混凝土性能的影响	101
第5章	绿色高性能混凝土的配合比设计	103
5.1	高性能混凝土配合比设计概述	103
5.1.1	高性能混凝土配合比设计的发展	103
5.1.2	高性能混凝土配合比设计的目的	104
5.1.3	高性能混凝土配合比设计的基本原则	104
5.2	多组分混凝土配合比的设计	106
5.2.1	现代多组分混凝土强度理论数学模型	107
5.2.2	混凝土体积组成石子填充模型	109
5.2.3	石子填充法在混凝土配合比设计中的应用	110
5.2.4	多组分混凝土配合比的设计的特点	114
第6章	预拌混凝土绿色生产技术	116
6.1	预拌混凝土用水的全利用技术	116
6.1.1	废水回收系统设计	116
6.1.2	废水配制混凝土技术	117
6.1.3	废水成产预拌混凝土	120
6.2	预拌混凝土泥浆回收技术	121
6.2.1	概述	121
6.2.2	废弃泥浆的性质	122
6.2.3	废弃泥浆对混凝土工作性能的影响	123
6.2.4	废弃泥浆对混凝土力学性能的影响	123
6.3	预拌混凝土砂石分离技术	124
6.3.1	砂石分离技术的意义	124
6.3.2	砂石分离后的材料检查	124
6.3.3	废料分离回收后配制混凝土技术研究	125
6.3.4	废料回收砂石配制混凝土实际生产应用	125
6.4	预拌混凝土粉尘、噪声控制技术	125

6.4.1	预拌混凝土粉尘控制技术	125
6.4.2	预拌混凝土噪声控制技术	126
第7章	碳排放定额研究与推进	127
7.1	碳排放现状	127
7.2	混凝土工业涉及的碳排放	128
7.3	混凝土碳排放量的影响因素	129
7.4	碳排放数学计算模型	130
7.5	预拌混凝土碳排放量定额研究	131
7.5.1	单位混凝土产品原材料引入碳排放量化方法 (C_Y)	131
7.5.2	单位混凝土产品生产能耗导致的碳排放量化方法 (C_N)	131
7.5.3	单位产品运输油耗导致的碳排放量化方法 (C_O)	132
7.5.4	计算实例	133
7.5.5	掺入固体废弃物后 CO_2 排放量计算	133
7.5.6	绿地吸收 CO_2 排放量的计算	134
7.6	预拌混凝土碳排放控制系统	134
7.7	预拌混凝土企业降低碳排放途径	135
第8章	绿色制造全过程实时监控体系	138
8.1	概述	138
8.2	影响预拌混凝土绿色制造质量的因素	138
8.2.1	人员	138
8.2.2	材料	139
8.2.3	生产设备	139
8.2.4	施工与检测	140
8.2.5	人为环境	140
8.3	绿色制造实时监控体系	140
8.3.1	与传统方式的比较	140
8.3.2	监控体系的特点	141
8.3.3	建设监控体系的准备	142
8.3.4	在线信息系统	144
8.3.5	现场视频监控系统	145
第9章	预拌混凝土绿色产品	148
9.1	清水混凝土	148
9.1.1	概述	148
9.1.2	清水混凝土配合比设计	148
9.1.3	清水混凝土表面缺陷分析及防治措施	149
9.1.4	清水混凝土的工程应用实例	152
9.2	高强泵送混凝土	153
9.2.1	概述	153
9.2.2	高强泵送混凝土实现途径	154

9.2.3 高强泵送混凝土的制备 154

9.2.4 高强泵送混凝土施工 155

9.3 超高层泵送混凝土 155

9.3.1 概述 155

9.3.2 超高层泵送混凝土泵送压力计算方法 156

9.3.3 超高层泵送混凝土配合比设计 157

9.3.4 超高层泵送混凝土的工程应用实例 158

9.3.5 超高层泵送混凝土的应用及问题 159

9.4 轻骨料混凝土 160

9.4.1 概述 160

9.4.2 轻骨料混凝土的优良特性 161

9.4.3 配制轻骨料混凝土的主要技术措施 162

9.4.4 轻骨料混凝土工程应用实例 162

9.5 重晶石防辐射混凝土 163

9.5.1 概述 163

9.5.2 重晶石防辐射混凝土原材料技术要求 163

9.5.3 重晶石防辐射混凝土的配合比设计 164

9.5.4 重晶石防辐射混凝土施工工艺 164

9.6 植生混凝土 165

9.6.1 概述 165

9.6.2 多孔混凝土配合比设计方法 166

9.6.3 多孔混凝土的制备 167

9.6.4 植生混凝土碱度 167

9.7 大掺量矿物细粉活性粉末混凝土 168

9.7.1 概述 168

9.7.2 活性粉末混凝土的研究现状 168

9.7.3 活性粉末混凝土的制备原理及改善方法 169

9.7.4 活性粉末混凝土存在的问题 170

9.7.5 活性粉末混凝土应用前景 170

9.8 大体积混凝土 171

9.8.1 概述 171

9.8.2 大体积混凝土裂缝分析 171

9.8.3 大体积混凝土浇筑裂缝的预防 172

9.8.4 大体积混凝土浇筑收缩现象 172

第 10 章 预拌混凝土绿色制造企业建设 174

10.1 预拌混凝土制造基地低碳化建设 174

10.2 预拌混凝土制造基地厂址选择及场地利用 174

10.3 预拌混凝土制造基地原材料管理 175

10.3.1 混仓 175

10.3.2	混凝土制造基地的砂石管理	176
10.3.3	混凝土制造基地的超细粉末管理	176
10.3.4	混凝土制造基地的外加剂管理	176
10.3.5	混凝土制造基地原材料的质量波动	176
10.4	混凝土制造基地粉尘控制技术.....	177
10.4.1	混凝土搅拌站的粉尘来源	177
10.4.2	搅拌站防尘构思——钢结构封闭设计.....	177
10.4.3	混凝土搅拌组合除尘技术	179
10.5	混凝土制造基地噪声控制技术.....	181
10.5.1	混凝土制造基地噪声控制标准	181
10.5.2	混凝土制造基地噪声控制途径	181
10.6	混凝土制造基地设备选择.....	182
10.7	商品混凝土生产工艺的控制.....	182
10.8	混凝土制造基地监测控制.....	183
10.9	混凝土制造基地评价标准.....	184
参考文献.....		185

第 1 章 概 论

1.1 预拌混凝土发展状况

1.1.1 概述

混凝土是世界上最大宗的建筑材料，也是最主要的建筑结构材料，混凝土质量对建筑结构质量起着根本和决定性的作用。2010 年我国水泥产量 18.79 亿 t，混凝土总用量达到了 30 亿 m^3 ，水泥和混凝土用量居世界首位，是名副其实的水泥生产和混凝土用量大国。随着建筑技术的进步，全国混凝土行业从业人数超过 500 万人，已成为国民经济中的一个重要产业，而预拌混凝土则是混凝土行业的主力军。近年来，几乎所有的特大工程、重点工程、重要结构几乎全部采用预拌混凝土，如奥运工程、城市重大基础设施建设项目、市政工程、公路铁路交通、跨海大桥、核电、军工、港工、冶金等几乎无一例外，预拌混凝土在国民经济建设和发展中发挥着巨大的作用（图 1-1）。

预拌混凝土作为一个独立、新兴的产业，已经走过了近 30 年的历程。政策的推动、市场的培育、技术的进步等一系列因素推动了预拌混凝土行业的快速发展。然而，进入 21 世纪以来，由于盲目扩容、恶性竞争和生产环境长期得不到根本性的治理，预拌混凝土行业在社会上造成了质量信任危机和“脏、乱、差”的行业形象。在一些城市和城区甚至被限制发展，北京将混凝土企业限期迁出五环以外，还有的城市规定要集中在郊区某一区域内发展。种种迹象表明，预拌混凝土在为城市建设作出重要贡献的同时，也给城市发展带来了巨大的环境负荷。行业规模和发展速度与管理水平的不协调加大了质量风险，尤其是起步、发展较晚的城市和地区，如果管理跟不上，环境状况得不到根本的改变，今后行业将无法在城市立足，更不能实现可持续发展。所以，行业的科学管理和发展规划必须引起我们的高度重视。

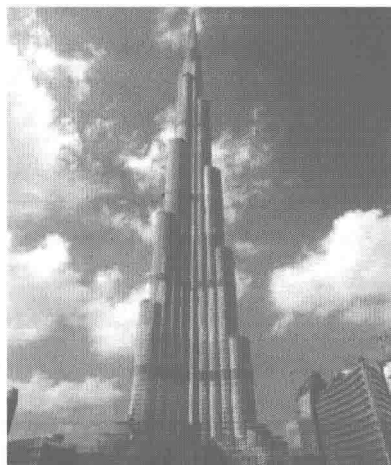


图 1-1 世界第一高楼哈利法塔

1.1.2 预拌混凝土发展历程

预拌混凝土又称商品混凝土，是随着建筑技术的发展而兴起的一个新型产业，其特点就是工厂内集中搅拌，市场化供应。具体是指将水泥、集料、水及根据需要掺入的外加剂

和掺合料等组分按一定比例集中在搅拌站（厂），经计量、拌制后出售，并用运输车在规定时间内运抵使用地点的混凝土拌合物。混凝土集中拌制有利于采用新技术，提高机械化、自动化程度，严格控制拌制工艺，提高计量精度，确保混凝土工程质量，降低消耗，提高劳动生产率；同时还可以加快工程进度，提高建筑工业化水平和行业的整体素质，促进混凝土及相关产业的技术进步与发展，大量利用工业固体废弃物改善城市环境，促进城市文明建设，具有良好的经济效益和社会效益。推广预拌混凝土是经济发展和社会化大生产的必然，也是提高建筑工程机械化水平、保证工程质量、满足规模施工、减少城市环境污染的需要。

预拌混凝土在我国兴起于 20 世纪 50 年代。当时一些大型建设工程需要大量现浇混凝土，由于施工场地狭窄、工期紧迫等原因，组织施工遇到困难，承担施工的企业在施工现场和施工现场附近设立混凝土搅拌设施，采用翻斗式汽车运输，吊斗浇筑混凝土，解决了施工中的急需问题。这是预拌混凝土的初始阶段。这一时期的预拌混凝土是针对某一工程专门设立搅拌站集中搅拌混凝土，而不向其他工程和社会供应，一般采用翻斗车运输，多数是塑性混凝土。20 世纪 70 年代末至 80 年代初，北京、上海、天津、无锡、沈阳等城市的预拌混凝土开始社会化供应，并采用搅拌车运输、泵车输送浇筑，混凝土发展为以流态为主，技术逐步成熟和完善。从这时起，预拌混凝土作为一个独立的、新兴的产业真正开始起步，走向发展。这一时期的预拌混凝土由于受到技术和规模的限制，供应范围较小，覆盖半径一般为 10~15km，搅拌站的年生产能力一般为 5 万~15 万 m^3 。进入 20 世纪 90 年代，改革开放带来了经济建设的快速发展，城市建设和基础设施建设逐年增多，混凝土需求量也随之增大，由此带动了预拌混凝土行业的快速发展。“八五”和“九五”期间，国家发放施工企业技术改造专项贷款 11 亿元，其中有 5 亿元用于支持预拌混凝土的发展。到 1995 年，全国有预拌混凝土站（厂）616 个，预拌混凝土企业年设计生产能力约 6000 万 m^3 ，年实际产量达 2600 万 m^3 ，预拌混凝土发展进入第一个高峰阶段（图 1-2）。

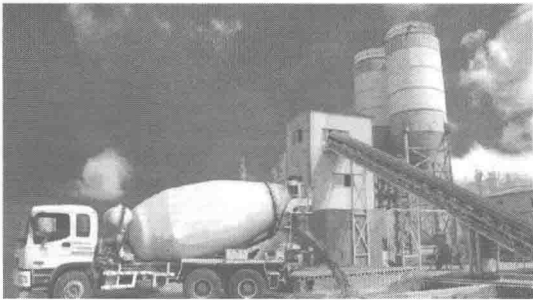


图 1-2 混凝土搅拌站

2003 年 10 月 16 日，商务部、公安部、建设部、交通部四部委联合颁布了《关于限期禁止在城市城区现场搅拌混凝土的通知》（商改发〔2003〕341 号文），该文件明确规定在我国 124 个城市禁止现场搅拌混凝土，使我国预拌混凝土进入了第二个高速发展时期。据不完全统计，到 2010 年，我国已建成预拌混凝土站（厂）5000 多家，年设计生产能力达到 15 亿 m^3 ，实际产量接近 10 亿 m^3 。北京、上海、广州、南京、沈阳、大连、常州等城市应用的预拌混凝土量已达到该城市混凝土总用量的 60% 以上，接近经济发达国家水平。这一时期预拌混凝土更多地出现了一些年产 50 万~100 万 m^3 的大型混凝土搅拌站。这些大型搅拌站的计量精度、质量控制水平、自动化程度、工业废料的利用条件、环保设施都明显优于 20 世纪 80 年代自行配套的搅拌站，预拌混凝土设备的配套技术、混凝土生产技术、管理经验逐步趋于成熟。预拌混凝土施工技术发展也很快。在全国预拌混凝土行业，

泵送混凝土的使用已达到 80% 以上，解决了高等级和低等级混凝土的泵送问题。在泵送高度上也有很大提高，北京 C60 混凝土一次泵送高度已达到 200 多米；上海金茂大厦一次泵送高度达到 382.5m，广州电视塔 C100 混凝土一次泵送高度达到 400 多米，混凝土泵送技术日趋成熟（图 1-3）。

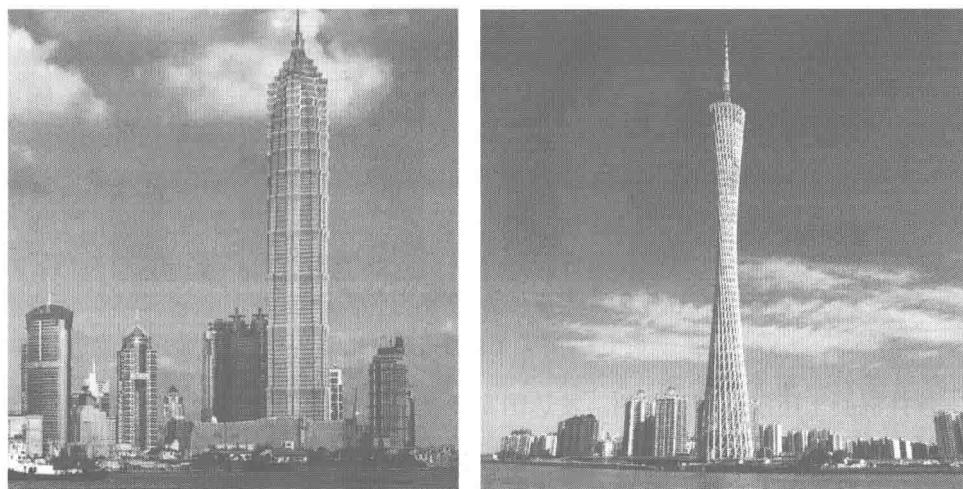


图 1-3 上海金茂大厦（左）与广州电视塔（右）

混凝土平均强度等级也有了提高。20 世纪 80 年代以前，我国混凝土平均强度等级长期徘徊在 20MPa 左右，进入 20 世纪 90 年代和 21 世纪后，混凝土强度等级发展为以 C30、C40 为主，C50、C60 的高强高性能混凝土已开始大量应用于实际工程，C80、C100 以及更高等级的混凝土已研制成功，并开始在部分工程中得到应用。

随着矿物掺合料和高效减水剂的大量应用和技术发展，预拌混凝土的运营半径超过 50km。在混凝土搅拌、运输工艺上，掺合料与外加剂的应用设备也逐步完善，环保条件明显改善，控制系统正向着计算机智能化的管理方向发展。高性能混凝土的制作和施工技术达到国际先进水平。例如，一次浇筑混凝土土方量达到 3 万 m³，结构最大厚度达到 10.07m，逐步完善了大体积混凝土施工技术。

1.1.3 预拌混凝土行业总体布局

我国预拌混凝土发展很不均衡，南方和东部沿海城市预拌混凝土兴起较早，发展较快，已经普及到了县级市甚至乡镇；北部和西部地区起步较晚，主要集中在省会城市和地级城市。就全国而言，规模小、属地建设的站点占多数；大型的、集团化管理和跨地区分布的较少。规模分布大致见图 1-4。

1.1.4 预拌混凝土行业与国外先进水平的差距

虽然我国从 20 世纪 50 年代开始就在一些大型工程建设工地设立混凝土集中搅拌站，但真正实行社会化生产、商品化供应是在 20 世纪 70 年代末、80 年代初才开始，起步较晚。虽然近几年混凝土技术发展较快，取得了长足进步，但与国际先进水平相比还存在一定的差距。主要表现在以下几个方面：

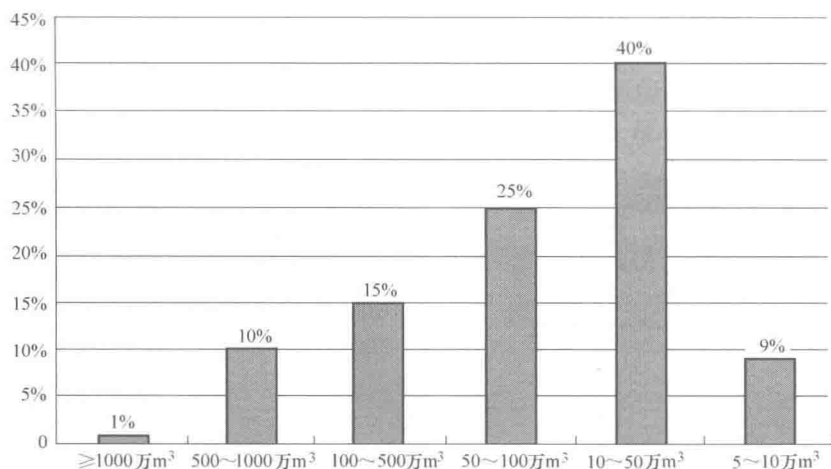


图 1-4 各类企业所占总量比例

1. 预拌混凝土还没有普遍应用。发达国家预拌混凝土的用量一般要占现浇混凝土总量的 80% 以上, 而我国只有上海、北京、广州、南京、沈阳、大连、常州等几个少数城市达到 60% 左右, 发展很不均衡, 有的地区才刚刚起步, 有的地区甚至为零, 预拌混凝土占混凝土总量的比率在全国平均只有 30% 左右, 与发达国家相比还有较大差距 (表 1-1)。

2014 年全国各省市预拌混凝土产量及增长率

表 1-1

省、市、区	产量(万立方米)	增长率	省、市、区	产量(万立方米)	增长率
北京市	5655.28	-5.27%	湖北省	10800.00	21.35%
天津市	4884.88	0.31%	湖南省	7941.72	34.61%
河北省	7553.00	-9.00%	广东省	21000.00	17.32%
山西省	5100.00	-2.91%	广西区	4954.00	30.37%
内蒙古	5870.00	2.98%	海南省	2275.00	8.33%
辽宁省	8400.00	1.20%	四川省	9502.33	14.32%
吉林省	3300.00	13.79%	贵州省	4300.00	19.44%
黑龙江省	4200.00	-2.33%	云南省	5700.00	9.62%
上海市	5866.93	0.64%	重庆市	5959.48	11.35%
江苏省	24600.00	-7.08%	西藏区	390.00	50.00%
浙江省	17692.37	13.01%	陕西省	5800.00	11.54%
江西省	5280.00	11.02%	甘肃省	2300.00	24.05%
安徽省	9086.00	9.47%	青海省	997.00	32.93%
福建省	7120.00	3.19%	宁夏区	1560.00	7.59%
山东省	21978.19	10.14%	新疆区	5000.00	0.60%
河南省	1200.00	11.11%	全国合计	237066	7.94%

2. 混凝土强度等级仍然偏低。发达国家的混凝土平均强度等级已达到 40~50MPa, 大量应用了 C60、C80 混凝土, 最高已达到 200MPa。而我国混凝土平均强度仍以 C30 为

主，C80~C100 的混凝土虽已研制成功，但目前还只在少量的重点工程或重要部位进行了应用，距离实际工程的大量应用尚需一段时间。

3. 高性能混凝土的应用量少。我国对高性能混凝土的研究与应用是从 20 世纪 90 年代初期开始，起步较晚，应用范围虽逐步增加，但由于对混凝土的结构性能和长期性能研究不够，应用范围还不够广泛。

4. 相关技术没有同步发展。如外加剂、掺合料等关键材料的相对落后，制约了混凝土技术的发展。外加剂就材系而言，在我国仍以萘系产品为主，减水率一般为 15%~25%，配制高等级混凝土相对困难，加大了成本，亟需升级换代；矿物掺合料缺乏合理的优化复合和叠加效应的综合利用，没有形成优质掺合料的商品化供应市场。

5. 生产工艺和管理技术相对落后。我国从事预拌混凝土生产的搅拌站，除少量引进国外成套产品以外，多数为国内配套或自行组装，自动化程度低，基本上是靠人工控制和组织生产，与国外智能化管理相比较还有较大的差距，（单方）劳产率仅为 2000m³/（人·年），相当于发达国家的 1/4~1/5。

6. 混凝土的泵送技术相对落后，全国发展不均衡。上海金茂大厦一次泵送高度已达到 382.5m，广州电视塔一次泵送达到 400 多米，而北京的最大泵送高度只有 200 多米，其他城市也保持在较低水平，今后应重视混凝土泵送技术的研究（图 1-5）。

1.1.5 预拌混凝土行业存在的主要问题

混凝土主要用做建筑结构材料，它直接关系到居住安全，甚至生命安全，关系到未来经济社会的发展。因此，我们应该高度重视混凝土的工程质量。

由于混凝土质量影响因素多，技术复杂，工艺、材料、管理以及控制手段等方面的问题，致使混凝土生产质量始终存在着不可预见的风险和隐患，这种风险和隐患超过一定限度就会造成质量事故。由于混凝土的不可修复性，一旦发生质量事故，就会给国家和人民的生命财产造成巨大的损失。这样的例子在全国时有发生，教训非常深刻。

混凝土质量控制难度大主要有以下方面的原因：

1. 行业管理方面

（1）国家、行业、地方的现行标准、规范不配套，有的甚至相互矛盾，可操作性差，不能很好地指导生产与施工。

（2）多头管理（住建委、协会、散办、工信局）造成管理系统上下不对应，甚至出现职能空缺。

（3）“强化验收、淡化过程”对混凝土行业不适宜，它忽视了混凝土的不可修复性，过程控制决定最终质量，过程控制在混凝土生产中永远是一个不可忽视的重要环节。

（4）“群龙无首”和“条块分割”迫使“地方自治”和“行业自治”，造成行业区域性管理水平差异较大。有的地方混凝土生产基本上处于“无政府”状态。



图 1-5 混凝土泵车

2. 技术方面

(1) 新技术的研发和储备不够,对混凝土的长期性和耐久性研究不够。各类特种混凝土、侵蚀环境下的混凝土制备与施工技术不够完善。

(2) 基础理论研究不够,投入也少,致使一些实用技术缺乏必要的理论支持。

(3) 专业技术人才匮乏,有的地方和企业技术岗位只能采取低能高就的办法仓促上马或者干脆自己“土灶培养”,技术负责人的能力和专业水平不足,造成质量纠纷和质量问题频繁发生。

(4) 全国行业技术水平不均衡,大中城市的差异、东西南北的差异比较明显,有个别地方技术还停留在 20 世纪五六十年代的水平。

(5) 行业和领域的技术差异比较大,如城建、铁路、公路交通、水利电力、军工、石油化工、核电等的标准不统一,各行其是,影响了行业的整体进步。

(6) 科技成果的转化速度慢,缺乏有效的机制和政策支持。自主知识产权的创新少,效仿和模仿的多,甚至盗用、乱用。新技术、新材料、新工艺(成熟的)的推广力度不够,行业内部相互交流和学习的机制没有真正建立起来。

(7) 先进的制备技术和严格的组织管理缺乏有机的统一,影响了一些尖端技术的推广和应用。

(8) 有些地方还存在不规范操作和缺乏职业道德的行为。如混凝土配制强度偏低、安全储备不够,强度验收打擦边球通过甚至出现不合格;次要部位降低混凝土等级或同一部位采用不同等级的混凝土(如地面、路面、桩、基础等);季节施工缺少必要的技术措施(如冬施材料加温、防冻剂质量等,夏季防晒、防雨等);混凝土设计密度偏低($2350\sim 2380\text{kg/m}^3$),密实性差,方量不足,有的甚至通过降低密度人为造成亏方;配合比设计不合理,水泥中的混合材、矿粉中的复合材料、混凝土中矿物掺合料掺加严重超标,混凝土中硅钙比和碱度降低,致使混凝土后期强度增长缓慢,不增长甚至倒缩。

3. 资源方面

(1) 中心城市砂石资源基本枯竭,靠周边城市供应;尾矿砂石综合利用也缺乏统一组织和科学有效的考评;海砂(未处理)、挖槽砂、粗石粉开始应用,砂子含石量高($30\%\sim 40\%$),泥块含量和含泥量高(有的高达 $7\%\sim 8\%$),严重影响了混凝土的耐久性。石子级配差(孔隙率 $45\%\sim 48\%$)、风化颗粒多、含粉量高,影响混凝土的密实性和耐久性。

(2) 水泥发展速度过快。水泥生产消耗了大量的矿山和煤炭资源,出现了南剩北缺的局面。水泥使用缺乏必要的均化和熟化期,生产旺季水泥出磨后直接运到搅拌站入仓,有的使用温度高达 90 多 $^{\circ}\text{C}$,甚至超过 100 $^{\circ}\text{C}$,造成混凝土速凝、假凝,二次硬化混凝土强度大幅度降低,出现事故还一时找不到原因。另外,水泥富余强度少,与其他材料的相容性差。在有些地方,立窑水泥、小窑水泥甚至“勾兑水泥”开始用于预拌混凝土。不同厂家、不同品种、不同强度等级的水泥混用浇筑同一部位。

(3) 掺合料缺乏必要的优化和合理的组织,生产旺季供不应求,总体利用率很低(只有 $20\%\sim 30\%$)。矿粉货源紧张,生产厂家使用的水渣质量差,有的甚至不是水淬渣,掺加助磨和激发材料,有的还掺加炉渣灰、石灰石粉等,细度降低,活性变差。粉煤灰由于多是运输单位组织,货源紧张时,多个厂家同时供应,有的灰粗,筛余量高($40\%\sim 45\%$),含碳量多,需水量大,配制的混凝土碳化快,28d 高达 5~8mm。

(4) 外加剂受市场影响价格降低、含固量减少、减水率低,混凝土流动性差、保持时间短,工作性能不能满足实际施工需要。样品和大货存在差异。

4. 环保方面

目前,我国每年的混凝土总用量已达 30 亿 m³,水泥产量达 18.79 亿 t, 占全球总量的 50%以上,是名副其实的水泥生产和混凝土用量大国。我国水泥工业和混凝土行业在快速发展的同时,也造成了能源、资源和环境方面的危害,给国民经济和可持续发展带来了严峻的挑战。因此,推广绿色生产和绿色高性能混凝土是减少自然资源和能源消耗、保护环境、提高混凝土结构使用寿命、减少维护修补费用、实现可持续发展的根本出路。

1.1.6 预拌混凝土发展方向

1. 产能与产量

我国是一个发展中国家,基础设施建设和城市建设的高峰期还将持续 25~30 年,在这段时期内混凝土的保有量还将持续稳定在一个水平上。全国混凝土总量每年约为 30 亿 m³,按照发达国家预拌混凝土占 80%的比例计算,我国预拌混凝土产量最高将达到 25 亿 m³左右,还有很大的发展空间。预计今后 10 年内,我国预拌混凝土产能将达到 30 亿 m³,实际产量达到 25 亿 m³ (图 1-6)。



图 1-6 2013、2014 年我国预拌混凝土累计产量及同比增速

2. 地区与区域发展

预拌混凝土首先在直辖市和省会城市兴起,目前正向中等城市和乡镇发展,在今后一个时期内,中小城市将成为预拌混凝土发展的重点。布局上也将由南向北、由东向西发展,今后 10 年内北方和西部地区将成为我国预拌混凝土的重点发展区域,并逐渐达到平衡。在一些预拌混凝土比较发达的城市限制混凝土搅拌站的新建和扩建,关闭一批规模小、设备陈旧、管理落后的站(厂),扶持龙头企业,带动行业的进步与发展,使供求基本达到平衡。

全国预拌混凝土的比重平均只有 25%左右,与经济发达国家相比,我国预拌混凝土还属于初级阶段,国家应在资金、交通、税收等方面制定配套政策给予支持。

3. 注重环保和资源的综合利用

随着城市建设的发展,资源和能源的消耗也日益增加。资源不可再生,资源不再取之不尽、用之不竭,必须注重资源的综合利用,实现资源、环境与经济的协调发展。

要充分利用工业废料和固体废弃物,减少水泥熟料用量,开发利用尾矿砂石,尽量减少矿山的开采,改进现有的设备和生产工艺,减少粉尘和噪声污染,开发利用城市中水和工业废水,实现废气和废水的零排放,科学组织生产,减少剩灰和固体废弃物,实现文明生产。加强生产区的绿化,改善生产环境,建立花园式企业,发展低碳混凝土技术。

4. 改进工艺设备

采用液压自动润滑系统、噪声小、密封性好、安全可靠、生产效率高的生产设备;改进生产工艺,使搅拌站可同时储存多种原材料,根据需要实现不同材料的相互转换和组合,以满足不同的工程需要;采用液体外加剂,提高计量精度;改变骨料的储存方式,减少骨料露天堆放,避免风沙天气扬尘;夏天暴晒使混凝土出机温度升高,有利于混凝土裂缝控制;冬期采取保温措施,减少和避免结冰,雨雪天气含水率变化小,有利于质量控制。

1.2 预拌混凝土的绿色制造

1.2.1 预拌混凝土绿色制造的内涵

预拌混凝土面向可持续发展的绿色制造,又称为环境意识制造和面向环境的制造,是一个综合考虑环境影响和资源消耗的现代制造模式。其目标是使预拌混凝土从选材、设计、生产、运输、使用到报废处理的整个生命周期,对环境负面影响最小、资源利用率最高,并使企业经济效益和社会效益协调优化。

绿色混凝土的生命周期可大致分为5个阶段:原材料绿色制备阶段、产品绿色设计与清洁生产阶段、产品的绿色流通阶段、产品绿色使用阶段及产品再资源化阶段。包括了绿色选材、绿色设计、清洁生产、绿色运输、再资源化技术及企业环境管理等内容。其中,绿色设计是绿色制造的核心,它在企业硬件、软件、组织机构、管理模式的支持下,不断地同预拌混凝土生命周期的其他阶段以及外部环境因素交换信息,通过信息的反馈与控制实现预拌混凝土的清洁生产、回收处理及再利用。绿色制造谋求经济性的同时实现产品生命周期环境协调特性:(1)节省资源与能源;(2)良好的环境保护特性;(3)良好的劳动保护特性。

1.2.2 预拌混凝土绿色制造现状分析

对预拌混凝土企业从选材、设计、生产、运输、使用到报废处理的整个生命周期中的关键过程与绿色制造的三大环境协调特性(资源与能源、环境保护、劳动保护)之间的关注点作出分析,才能有效制定针对性的改进措施,大力发展属于预拌混凝土企业特色的绿色制造。

目前预拌混凝土行业存在的主要问题有:

1. 预拌混凝土搅拌站生产区域的绿化率较低,企业厂区内废水外溢,飞尘四逸,混

凝土的生产设备和运输车辆泥泞不堪，脏乱差现象普遍存在，与城市整体区域环境有一定反差，对周边环境卫生状况有很大影响。

2. 整体的企业生产过程环保不达标，尤其是噪声污染、粉尘污染和工业废水污染物超标，往往会给临近企业的广大居民造成生活上的影响（图 1-7）。



图 1-7 混凝土搅拌站粉尘污染

3. 企业的科学生产意识差，人员管理水平不达标，相应的具有高级、中高级职称的专业技术人员少，使得企业在整个生产过程中，对工业废料、可再生资源的利用率低，过度消耗不可再生资源，造成了极大的浪费。

4. 对生产过程中所产生的不合格产品，特别是已经废弃的混凝土制品，做不到有效利用，从而形成了新的建筑垃圾，不仅影响了区域环境，也加大了企业本身的生产成本。

1.2.3 预拌混凝土绿色制造实现途径（图 1-8）

1. 选用绿色胶凝材料

水泥是混凝土生产过程中能耗较大的部分，因此，可选用低能耗的高性能水泥，使原材料生产环节，就可以控制能耗。

同时，可以掺用粉煤灰、水淬磨细矿渣粉、硅灰、脱硫石膏、石灰石粉及钢渣等工业废料。首先，可以起到节约水泥的作用；其次，这些工业废料可以进行二次水化反应，从而提高混凝土的各项性能指标；第三，可以综合利用工业废料，减少环境污染。

2. 选用绿色骨料

在传统的混凝土生产中，天然河砂是最常用的骨料之一。然而，天然河砂是短时期内不可再生资源，随着经济不断发展，城镇化进程的快速推进，基础设施、房地产建设规模的日益扩大，全国大部分地区都面临天然河砂资源枯竭的困境。应多选用工业废渣、尾矿石、石屑、建筑垃圾等再利用生产出的机制砂，如人工砂、建筑垃圾再生骨料以及钢渣粗骨料等。

3. 选用绿色高性能外加剂

外加剂是现代混凝土技术中最鲜明的特点之一，外加剂技术经过几代的更迭，也日益完善。应多选用绿色高性能聚羧酸减水剂，逐步淘汰高掺量、高污染、低减水率的普通减水剂。同时，根据工程实际情况，合理选用其他功能的外加剂，如缓凝剂、泵送剂及引气剂等。

4. 优化配合比设计

多设计生产低用水量、高掺合料、低水胶比、高流动性、体积稳定性良好的高性能混凝土。多设计生产含有再生骨料或者人工砂原料的混凝土。

引入多组分混凝土配合比设计方法，改善原有质量法求混凝土配合比的不足，精确计算各组分在混凝土配合比中的用量。

5. 应用新型技术

在预拌混凝土生产过程中，采用先进的研究成果，尤其是废物利用及污染控制技术，实现混凝土生产过程的绿色化，如预拌混凝土用水全利用技术、泥浆回收技术、砂石分离技术、粉尘和噪声控制技术等，能够更彻底地节约资源，保护环境。

6. 量化碳排放指标

混凝土在生产和运输过程中，伴随巨大的碳排放，给整个环境带来极大的压力。因此若将混凝土生产使用过程中的碳排放环节加以量化，并考虑到混凝土设计中，就能从宏观上更好地把握碳排放过程。

7. 实时监控体系

目前国内大多数搅拌站是将主机操作员、调度员、技术值班、维修人员的办公地点安排在搅拌楼上，这样不利于生产保护、劳动保护及人体健康，所有人员应远离搅拌楼，生产、质量和设备点检查监控采用视频、ERP 系统。

8. 规范预拌混凝土制造基地建设

传统的预拌混凝土制造基地尚有许多缺陷，无法实现理论上的绿色制造，现代化制造基地的建设应考虑场地建设、原材料管理、粉尘、噪声控制、设备选择、控制工艺、监控以及制定评价标准等。

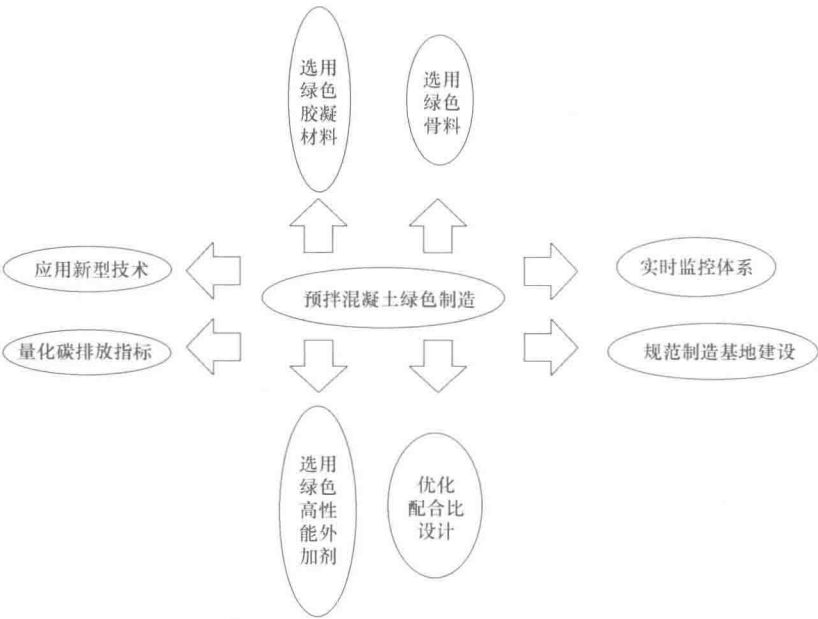


图 1-8 预拌混凝土绿色制造途径