

《建造·性能·人文与设计》系列丛书

张 宏 主编

构件成型·定位·连接与空间和形式生成

——新型建筑工业化设计与建造示例

张 宏 朱宏宇 吴 京 王海宁
张莹莹 刘 聪 张李瑞 王 玉 著

东南大学出版社

《建造·性能·人文与设计》系列丛书

张 宏 主编

构件成型·定位·连接与空间和形式生成

——新型建筑工业化设计与建造示例

张 宏 朱宏宇 吴 京 王海宁

张莹莹 刘 聪 张李瑞 王 玉 著

东南大学出版社
· 南京 ·

内容提要

钢筋混凝土材料出现后,迅速应用到大量房屋的建造中,深刻地影响着建筑的进程。混凝土也成为中国改革开放后城市化发展中房屋结构建造的主要建材。本书基于国家“十二五”科技支撑计划的科研成果,研究了钢筋混凝土结构构件成型、定位、连接和装备技术的国内外发展及现状,以构件成型、定位、连接技术和外墙板预制装配技术为主要研究对象,通过建造示例,展示了自主研发的成套混凝土构件成型定位装备的应用实况。结合结构空间的限定和使用,从建筑学和工程学的角度,研究了建筑工业化产品模式的构成和实现方法。初步建立了基于构件的、适合装配式建造要求的工业化建筑设计方法,补充了建筑产品模式的内容,推进了经典建筑学的发展,为培养社会急需的大量性工业化建筑设计人才做了基础性的工作。

本书可作为建筑学、土木工程学、工程管理学、建筑材料学的科研、教学参考书,也可作为建筑设计、施工和构件生产企业科研团队的用书,以及建筑产业工人培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

构件成型·定位·连接与空间和形式生成:新型建筑工业化设计与建造示例/张宏等著. —南京:东南大学出版社, 2016.3

(建造·性能·人文与设计系列丛书/张宏主编)

ISBN 978-7-5641-6422-5

I. ①构… II. ①张… III. ①钢筋混凝土结构—研究
IV. ①TU37

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第053649号

书 名:构件成型·定位·连接与空间和形式生成:新型建筑工业化设计与建造示例

著 者:张 宏 朱宏宇 吴 京 等

责任编辑:戴 丽

文字编辑:贺玮玮 陈东方

责任印制:张文礼

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京市四牌楼2号 邮编:210096

网 址:<http://www.seupress.com>

出 版 人:江建中

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

排 版:南京新洲制版有限公司

开 本:889mm×1194mm 1/16 印张:12.75 字数:343千字

版 次:2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-6422-5

定 价:49.00元

经 销:全国各地新华书店

发行热线:025-83790519 83791830

* 版权所有,侵权必究

* 本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

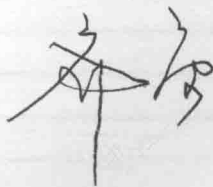
序

2013年秋天，我在参加江苏省科技论坛“建筑工业化与城乡可持续发展论坛”上提出：建筑工业化是建筑学进一步发展的重要抓手，也是建筑行业转型升级的重要推动力量。会上我深感建筑工业化对中国城乡建设的可持续发展将起到重要促进作用。2016年3月5日，第十二届全国人民代表大会第四次会议的工作报告中指出，我国应大力推进新型建筑工业化，推动建筑产业现代化发展。可见，中国的建筑行业正面临着由粗放型向可持续型发展的重大转变。新型建筑工业化是促进这一转变的重要保证，建筑院校要引领建筑工业化领域的发展方向，及时地为建设行业培养新型建筑学人才。

张宏教授是我的学生，曾在东南大学建筑研究所工作近20年。在到东南大学建筑学院后，张宏教授带领团队潜心钻研建筑工业化技术研发与应用十多年，参加了多项建筑工业化方向的国家级和省级科研项目，并取得了丰硕的成果，这本书就是阶段性成果，后续有系列化的“建造·性能·人文与设计”系列丛书陆续出版发行。

我和张宏经常讨论建筑工业化的相关问题，从技术、科研到教学、新型建筑学人才培养等等，见证了他和他的团队一路来的艰辛与努力。作为老师，为他能取得今天的成果而高兴。

这本书只是记录了一个开始，希望张宏教授带领团队在未来做得更好，培养更多的新型建筑工业化人才，推进新型建筑学的发展，为城乡建设可持续发展做出贡献。



2016年3月

目录

序	
第一章 混凝土历史简析	1
1.1 混凝土的由来	1
1.1.1 天然材料的混凝土	1
1.1.2 人工材料的混凝土（第一次进步）	2
1.1.3 具有结构计算理论与方法的混凝土（第二次进步）	2
1.1.4 作为商品的混凝土（第三次进步）	2
1.1.5 装备化定型定位技术的混凝土（第四次进步）	3
1.2 混凝土的性能及用途	4
1.2.1 混凝土材料构件建造的难点和材料的性能缺陷	5
1.2.2 混凝土材料优点	5
1.2.3 总结	6
参考文献	6
第二章 混凝土构件成型技术和定位技术的发展	7
2.1 混凝土构件成型技术的发展历程研究	7
2.1.1 混凝土构件现浇成型技术的发展	7
2.1.2 混凝土构件预制成型技术的发展	16
2.2 构件定位技术的发展研究	21
2.2.1 传统建筑构件定位技术	21
2.2.2 建筑构件电子定位追踪技术	23
2.3 总结	29
参考文献	30
第三章 模架一体化装备的物质构成	31
3.1 基本情况介绍	31
3.2 建造设计逻辑	31
3.2.1 研发目标	31
3.2.2 研发逻辑	31
3.2.3 实现功能	32
3.3 宏观建造设计方法	32
3.3.1 组合框模	32
3.3.2 独立模架	33
3.4 模架一体化装备的物质构成	33

3.4.1	一级工厂化阶段	34
3.4.2	二级工厂化阶段	37
3.4.3	三级工厂化阶段	38
第四章	江北车库建造示例	39
4.1	基本情况概述	39
4.1.1	地点选择	39
4.1.2	实验施工人员选择	40
4.1.3	场地情况	40
4.2	微观关键技术点	40
4.2.1	模架稳定性	40
4.2.2	渗滤模板	41
4.2.3	混凝土质量	41
4.2.4	顶杆承载力	42
4.2.5	可调底座	42
4.2.6	模架大模块安拆	42
4.3	实验结果分析	43
4.3.1	系统优点	43
4.3.2	待解决问题	43
第五章	工业化装备生产线研究	46
5.1	基本情况概述	46
5.1.1	区域产业分布特点	46
5.1.2	生产企业选择	47
5.1.3	备选企业基本情况	47
5.2	工业化生产模式的特点及要求	49
5.2.1	独立研发能力	49
5.2.2	生产层级	49
5.2.3	生产模式	50
5.2.4	质量要求	51
5.2.5	精度要求	52
5.2.6	信息互联	52
5.2.7	加工设备硬件设施	52
5.2.8	员工素质	53
5.2.9	场内起吊能力	53
5.2.10	运输能力	54
5.3	后续产业重组改造	54
5.3.1	设备升级	55
5.3.2	加工企业整合	55
5.3.3	后期产能预期	55

第六章 会展与燕子矶保障房建造	56
6.1 会展建造	56
6.1.1 项目介绍	56
6.1.2 关键技术点研究	57
6.1.3 遗留问题及解决策略	60
6.2 燕子矶保障房建造	62
6.2.1 项目介绍	62
6.2.2 关键技术点研究	62
6.2.3 遗留问题及解决策略	65
6.3 总结	65
第七章 钢筋模架现浇结构体设计与成型定位工法新型工业化建造——揽青斋建造示例	66
7.1 项目综述	67
7.2 工程概况及特点	67
7.2.1 建筑工程概况	67
7.2.2 工业化实施项目概况	68
7.2.3 周边建筑物及环境情况	71
7.3 施工组织计划	71
7.4 工业化施工	73
7.4.1 工业化施工总体流程	73
7.4.2 汽车吊的选择和分析	73
7.4.3 施工准备	75
7.4.4 构件定位与连接	79
7.4.5 绿色建筑评估	109
7.5 工程记录	110
7.5.1 工厂加工照片	110
7.5.2 现场施工照片	111
7.5.3 竣工照片	113
7.6 总结	113
7.6.1 工业化施工的成效	113
7.6.2 展望	115
参考文献	115
第八章 混凝土结构体+钢结构体独立组合设计与成型定位工法新型工业化建造——忆徽堂建造示例	116
8.1 项目综述	117
8.2 工程概况及特点	117
8.2.1 整体概况	117
8.2.2 建筑工程概况	117
8.2.3 工业化实施项目概况	119
8.2.4 周边建筑物及环境情况	119
8.3 构件建造	121

8.3.1	基本钢筋混凝土结构体构件成型定位技术	121
8.3.2	基本钢结构体构件定位与组合技术	121
8.3.3	基本围护体预制装配	124
8.3.4	内隔墙系统的安装	131
8.3.5	楼地面系统的安装	131
8.3.6	其他	132
8.4	适合新型工业化建造的构件组分类逻辑	134
8.4.1	构件组的定义	134
8.4.2	交织关系与独立关系	135
8.4.3	功能构件组	136
8.4.4	性能构件组	137
8.4.5	文化构件组	143
8.5	绿色建筑评价	145
8.5.1	绿色建筑评估	145
8.5.2	碳排放计算	145
8.6	工程管理	147
8.6.1	施工全过程记录	147
8.6.2	管理方式的缺陷	151
8.7	协同设计与协同建造	151
8.7.1	协同设计	151
8.7.2	协同建造	151
8.8	总结	154
8.8.1	成功的启示	154
8.8.2	改进的思考	154
8.8.3	特区推进模式	155
	参考文献	155
	附录一 混凝土的成分与构成	156
	附录二 水泥的种类与用途	159
	附录三 混凝土构件工厂生产成型设备	161
	附录四 RFID 技术简介	167
	附录五 新型工业化建造施工方式节能减排分析与测算——以“江苏绿色建筑博览园示范项目——揽青斋”为例	171
	参考文献	191
	图片表格来源	192
	后记	194

第一章 混凝土历史简析

1.1 混凝土的由来

混凝土作为现阶段我国建筑业使用量最大的建筑材料,无论是直接裸露在外还是被隐藏在结构体之中,它充斥着人们日常生活的每个角落,提供着安全坚固的设施遮蔽空间。混凝土作为一种广泛使用的材料,其发展经历了漫长的过程。

1.1.1 天然材料的混凝土

古罗马时期产生了诸多像万神庙、阿皮亚古道、空中引水渠类型的著名建筑和构筑物,它们之所以能够经历战乱、岁月侵蚀和自然灾害的洗礼,屹立至今,不光与其精妙的结构设计和完美的传力路线有关,其中更重要的原因在于所用建筑材料的耐久性。其中位于那不勒斯的一段建于公元前 37 年的古罗马防波堤,经过了 2000 年海水冲刷后依然继续抵挡着风浪^[1]。

古罗马建筑耐久性的秘密在于其使用了含有特殊配方的混凝土,相当于现代水泥中添加的石灰石与矿渣。据史料考证,古罗马作家老普利尼所著的书中提到:“最好的水泥是由那不勒斯,特别是波佐利的火山灰制作而成的。”

火山灰由岩石、矿物、火山玻璃碎片组成,其主要成分为氧化硅和氧化铝。玻璃体由火山喷发出的酸性岩浆遇水急速冷却后形成。火山灰混凝土的形成有两个主要反应阶段:①其中的水泥原料遇水反应后产生氢氧化钙这一碱性物质;②火山灰中的氧化硅与氧化铝与 1 阶段产生的氢氧化钙发生反应,产生水化硅酸钙。2 阶段的产物为强胶性材料,可将其他材料黏结成整体,且由于反应的不断进行,此胶性材料在增强混凝土强度的基础上,还能起到阻塞混凝土中的毛细孔隙的作用,进而显著提高混凝土的整体抗腐蚀能力。相对于现代的钙硅结构的水泥,古罗马人使用的钙铝硅结构的火山灰水泥更加坚固,耐久性也更高。

作为天然材料的混凝土,罗马人将其材料的特性发挥到了极致,考虑到其抗压强度远远高于抗拉强度,因此创造性地采用了拱券结构来解决大跨度问题,建于公元 118—128 年的古罗马万神庙在空间跨度上达到了 43.3 米(图 1-1),这一记录一直保持到 1000 多年后的工业革命时期,才在 1867 年被以金属作为结构材料的巴黎博览会机械展览馆的 115 米的跨度所超越。

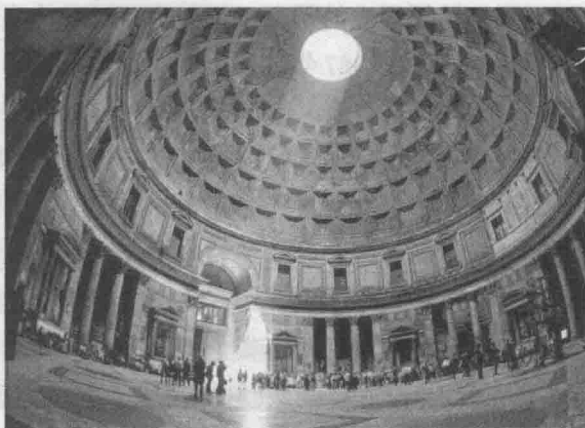


图 1-1 万神庙穹顶内部

1.1.2 人工材料的混凝土（第一次进步）

18 世纪处于工业革命的发展时期，大量新兴建筑拔地而起，但是传统的砖石砌筑的施工方式效率太低且整体性不佳，古罗马时期的天然混凝土的配方也已经失传，关键是天然混凝土需要大量的优质火山灰，可大多数地区连火山都没有。如果在整个欧洲大量采用天然混凝土，意大利地区的火山灰会迅速被消耗殆尽。因此，人们迫切需要一种高效率、高质量的建筑材料的诞生。

1774 年，工程师约翰·史密顿（John Smeaton）在修筑灯塔的工程中，克服了水下砌筑的问题，通过多次试验，最终采用石灰石、黏土、沙子和铁渣经过烧制、粉碎并用水调和后注入水中的方法，成功地在英吉利海峡筑起了第一个航标灯塔。英国烧瓦工人约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin）根据前人的经验，摸索出石灰石、黏土及铁渣的最合适配比，进一步完善此种人造石头的生产工艺^[2]，并于 1824 年成功申请专利。由于此种胶质材料硬化后的颜色和强度与波特兰出产的石材接近，故取名为“波特兰水泥”。

至此，人类可以在不受地域限制的情况下，大量使用混凝土进行建设，而人工混凝土的主要材料——石灰石，广泛存在于天然石材中，可以在世界上的任何地区找到。此时期的混凝土主要使用在市政交通领域，作为大体量主要受压构件而被使用。由于没有解决受拉问题，作为建筑结构材料使用仅能用于墙、柱。

1.1.3 具有结构计算理论与方法的混凝土（第二次进步）

此种材料虽有诸多优点，但是同时也具有与石材一样的缺点，抗拉、抗冲击强度低且易脆断。基于以上研究，法国工程师约瑟夫·莫尼尔（Joseph Monier）利用钢筋抗拉强度高与水泥硬度大的特点，首先提出了将钢筋引入水泥的设想，并于 1861 年成功地采用水泥、钢筋和砂石筑起了一座水坝，并取名为“混凝土”水坝，标志着“混凝土”正式进入人类舞台并被广泛使用。到 1867 年他取得了用格子状配筋制作桥面板的专利，该年为全世界公认最早的钢筋混凝土桥架设的一年，混凝土工艺得到了迅速的发展^[3]。

混凝土作为单一结构材料在 19 世纪中期开始得到应用。由于当时水泥和混凝土的质量都较差，同时设计计算理论尚未系统建立，所以发展速度较为缓慢。直到 19 世纪末以后，随着生产的发展、实验工作的开展、计算理论的研究、材料施工技术的改进，这一技术才得到较快发展，为现代建筑的蓬勃发展提供了技术保障。1887 年德国人科尼恩（Konen）提出了采用混凝土承受压力而钢筋承受拉力的受力计算模型，德国科学家约翰·包辛格（John Bauschinger）提出并研究了混凝土中钢筋抗锈蚀等问题^[4]。

随着现代主义建筑的蓬勃发展，以及 20 世纪两次世界大战所造成的大量房屋的损毁，人们迫切希望在短时间内得到大量建筑产品来弥补家园受损而造成的建筑短缺，此时混凝土成为了建筑师和工程师在民用建筑方面最喜欢使用的材料。作为现代主义设计理念的“新建筑五项原则”与新“国际风格”都与混凝土有着紧密的关联。第一次世界大战以后，混凝土开始在世界范围内使用。而二战之后，在许多饱受战争蹂躏的国家中，混凝土被认为是大规模住房建造和公共建筑建造的主要材料，而在欧洲、北美和日本以外的地区，混凝土也被认为是现代化建设必不可少的基础建筑材料之一。

1.1.4 作为商品的混凝土（第三次进步）

早期混凝土的制备工作全部集中在工地现场进行，虽然可以在第一时间将制备完毕的混凝土马上进

行浇筑,但是由此带来了一系列的问题。如现场需要大量的水泥、黄沙及石子等物料堆场,需要为每个工地提供大型的搅拌设备,且混凝土质量不能得到有效的保证。而作为钢筋混凝土施工,从时间角度来讲,浇筑仅仅是整个施工过程很小的一部分,因此堆场及搅拌设备在工地现场大量的时间中处于闲置状态,却占用了宝贵的土地、资金成本。

商品混凝土的出现完美地解决了上述问题,其以集中的方式,将原本散落在工地的物料及设备集中在混凝土搅拌站(图1-2),采用订单模式进行生产制备,而后采用混凝土搅拌车快速运送至工地进行浇筑,其包括搅拌、运输、泵送和浇筑等工艺。商品混凝土提供方同时提供相应泵送浇筑服务,施工方仅需要提供少量工人进行作业配合即可(图1-3)。由于生产模式与生产方法的革新,在降低混凝土价格的同时,提高了混凝土的质量及售后保障,也降低了工地现场的仓储及作业负担。



图 1-2 商品混凝土搅拌站



图 1-3 混凝土泵车与搅拌车进行浇筑作业

商品混凝土的蓬勃发展,是围绕混凝土为中心的,对于混凝土早期制备与运输的集成化、装备化发展,它采用工厂化、大批量的模式代替了现场的手工、小批量的零散制备运输工作,对于后续建筑工业化以及以混凝土为主体的定型定位技术的研发奠定了装备物质基础及市场供应模式。

1.1.5 装备化定型定位技术的混凝土(第四次进步)

混凝土作为一种大量性使用的建筑材料,经过了现代主义建筑时期的普及发展后,其应用范围也被大大扩展,从原先的大量用于工业建筑及住宅扩展到各种其他建筑类型。

早期的建筑工业化主要集中在住宅建设领域,由于战后急需大量的住宅以弥补家园重建问题,此时建造速度成为了第一要素,混凝土又因为其造价低廉成为了大量住宅建设的理想材料,其拌和浇筑过程较为简便快捷,但是混凝土成型定位过程的模板支护较为耗时耗力且效率过低,大量工地建造时间被花费在此过程上。因此建筑工业化在此背景下发展起来,简而言之即通过设计、生产、运输、吊装及建造技术的整合,将工地现场耗时耗力的工作转移到设备及环境更佳的工厂内完成。早期建筑工业化具体形式为预制装配工法,在工厂阶段将梁、板、墙、柱加工成预制混凝土构件,通过公路运输至工地进行安装作业。此种建造模式对于混凝土的生产制备提出了更高的要求,由于采用重型构件现场定位组装,对

于构件的尺寸具有一定的精度要求。

为了提高效率,对于构件的形式种类进行了控制,以降低模板数量和现场施工的难度,但是同时也带来了一些问题。特别是随着“数量时代”的结束,伴随着居民生活水平提高所带来的需求提高,工业化建筑的一些问题也渐渐显露出来。如以20世纪70年代的法国为例,其主要问题集中在以下几点:①住宅区选址不合理,受到周边交通和工业设施干扰;②功能单一,缺乏活力,居民早出晚归,“卧城”效应明显;③平面设计呆板,建筑缺乏个性,面貌单调且难以识别;④住宅公共设施缺乏,在使用功能上存在诸多缺陷;⑤住宅保温隔热性能不良,部件接口存在渗漏现象;⑥住宅区与周围环境不协调,交通阻塞严重。以上6条中有4条与混凝土的成型定位技术息息相关。

随着第一次石油危机所带来的世界经济环境的极大变化,多数国家进入经济衰退期,政府投资的集合住宅建设量锐减,原先千户以上的大工程大多变成了不足百户的小工程。人们对建筑的质量要求提高,工业化也呈现出多样化发展趋势,从单调向丰富转变。从建造方式上看,多种体系并存发展且均以工业化预制装配构件为主,形成了一个完整及系列化的建造体系,这其中以混凝土体系居多,如法国在1981年选定的25个建造体系中,除少部分为木结构与钢结构外,绝大部分为混凝土预制体系。由于构件的多样化、小批量发展趋势,对于混凝土构件的生产制备提出了新的要求,同时由于进入工业化领域的厂家数量激增,对于构件的生产要求不光局限于精度方面,而在通用互换性方面也提出了新的需求。丹麦是世界上第一个将模数法制化的国家,ISO模数标准即以丹麦标准为蓝本。丹麦采用“产品目录设计”为中心推动通用体系发展,将通用部件称为“目录部件”。设计人员可以任意选用总目录中的产品进行设计。其主要通用部件有混凝土预制楼板和墙板等主体结构构件,部件的连接构造符合模数协调标准,因此不同厂家的同类产品具有一定的互换性。

混凝土作为一种材料贯穿建筑工业化发展的全过程,它的构件化的生产、加工、建造方式的发展及优化是工业化建筑逐步走向成熟的技术见证。其为人类提供建筑的同时,自身的成型定位技术也在一个个项目的推进过程中得到稳步提升。混凝土作为流体材料,其浇筑施工速度较快,特别是随着商品混凝土及其相关设备的采用,浇筑工程所占整个建筑施工的比重较小,但是其定型定位过程却耗费了大量的时间与精力,钢筋混凝土建筑工业化的研究方向主要集中在采用装备化高效率、安全地解决定型与定位问题。

1.2 混凝土的性能及用途

混凝土作为我国乃至世界上使用量最多的建筑材料,它也是少有的可以建造高层房屋的,同时可以制作梁、板、墙和柱,不需要后期特殊护理的材料。它的广泛使用具有一定的优势和特点。混凝土作为一种成分多元化的复合材料,它的构成与成型技术不同于一般普通的建筑材料,所应用的领域也更加广泛。

1.2.1 混凝土材料构件建造的难点和材料的性能缺陷

1) 复合成型材料

混凝土作为多种材料组合而成的复合成型材料, 为了达到预定的强度、密实度、耐久度、经济性等, 需要对各部分材料进行精确配比, 如水灰比不正确将严重影响其强度形成, 同时造成孔隙过多而影响后期耐久性。在保证配比的情况下, 各材料的大小和形态也严重影响着混凝土的性能, 如骨料的级配不佳、骨料的粒径过大等因素均会影响混凝土的强度和密实度。各部分的化学成分也会严重影响质量, 如骨料中硫与碱含量过高会造成钢筋的腐蚀以及混凝土的碱骨料反应, 这些都严重影响着其耐久性。

2) 成型过程中的难点

混凝土为胶凝性气硬材料, 未凝固的混凝土具有极佳的流动性, 正是因为此特征使其具有可塑性及施工便利性。但正是上述特性也造成了成型和定位过程的繁琐与复杂。以一般高层住宅为例, 虽然整层的混凝土浇筑作业仅需不到6个小时就能完成, 但是前期准备工作却需要整整5天的时间, 这其中包括脚手架支护2天, 模板架设1天, 钢筋绑扎2天。以上三部分均对后期混凝土的质量产生深远影响, 如脚手架与模板不光共同承托钢筋与流质混凝土的重量, 还要承受泵车浇筑时所带来的竖向及侧向冲击荷载, 同时还要尽量避免渗漏问题的产生。而钢筋绑扎作业同样至关重要, 如钢筋与模板保护层厚度设定不足会造成钢筋腐蚀加快而带来结构安全性的影响; 主筋、腰筋及箍筋等相互间距不足会造成混凝土空鼓, 影响强度及耐久性。

3) 裂缝处理困难

混凝土会产生裂缝, 而板与梁是带缝工作的, 特别是板底与梁底的受拉部分, 可以说任何混凝土材料都会产生裂缝。而裂缝恰恰是结构耐久性的大敌, 它会造成钢筋的腐蚀从而带来内部应力的激增, 挤压周围的混凝土, 最终造成块状剥落。虽然裂缝问题不可能完全避免, 仅能通过一定的技术手段将其控制在安全区域, 如采用预应力混凝土、提高配筋率、表面涂抹柔性高分子材料等手段, 同时也可以采用主动手段处理该问题, 即引导裂缝发生在预先设定的对整体结构影响最小的区域。

4) 高碳排放材料

混凝土作为一种重型材料, 其物料的运输过程中需要耗费大量的能源。作为主材料的水泥、石子与黄沙三类材料, 水泥的生产制备要经过两磨一烧的过程, 石子的生产需要进行爆破、粉碎、分拣等过程, 而黄沙也要通过机械从河底挖出。以上过程会耗费能源, 产生大量二氧化碳。且混凝土结构拆除后会产生大量无法回收使用的建筑垃圾, 而相应的钢结构与木结构的主体材料均能进行二次利用, 进入下一个物质循环。由此看来, 碳排放量高和不可持续性是混凝土作为大量性建筑材料的短板。

1.2.2 混凝土材料优点

1) 复合用途

混凝土作为复合用途材料, 可以独立形成梁、板、墙、柱等几乎所有的建筑构件类型, 这在人类建筑的发展史上是十分鲜见的。砖石作为一种古老的材料, 建造方面, 受力性能好且较为耐久, 但是砖石材料仅能组成墙和柱, 不能直接形成较大跨度的梁与板, 仅能通过拱券的形式达到目的, 虽然带来了极佳的形式感, 但是也难以避免空间浪费、建造复杂程度高等问题。木材与钢材虽然可以形成以上四种建

筑构件,但是其耐久性、防火性与隔声性能均不能满足要求。混凝土除了可以独立形成梁、板、墙、柱,混凝土还可以形成壳体结构,实现形式感与经济性的统一。

2) 安全耐久有保证

混凝土作为一种人造石材,本身具有很好的安全性与耐久性。唯一影响安全性的因素为其抗拉强度低、韧性差,但是随着增强材料如钢筋、纤维的加入,混凝土的安全性得到了极大的改善提高,同时由于增强材料被混凝土基质包裹,也避免了增强材料的腐蚀。因此,作为复合材料的混凝土,其内部各成分之间相互促进,从材料角度共同为整体结构的安全与耐久提供保障。

3) 受力合理、各司其职

混凝土材料适用于现阶段大多数的结构类型,如框架结构、剪力墙结构、壳体结构、桁架结构、巨框结构等。其整体受力合理,不同材料之间各司其职,并充分利用各种组成材料的力学特性,发挥优势屏蔽弱点。如水泥与骨料形成的人造石材部分抗压强度大于抗拉强度,而增强材料则恰恰相反。由此在结构计算中,受拉应力均由增强材料承受,压力荷载由混凝土与钢筋整体承受,钢筋等增强材料通常与受力方向平行排布,周围被混凝土固定又避免了失稳造成的刚度缺失的问题。

1.2.3 总结

混凝土作为一种古老而优良的建筑材料,在过去与现在深刻地影响着建筑的进程,也将继续影响着我国未来建筑工业的发展。纵观混凝土的发展历史,建筑工业化是该材料应用的关键,而工业化方面的研究也大多围绕着以混凝土为材料的建筑体系来进行。针对混凝土本身的成分、配比、运输、浇筑、保养等方面的研究已有许多,但是对应前端部分——定型定位技术的研究较为缺乏,而此领域恰恰是影响施工效率与后期质量的关键所在。因此本书以此视角为切入点阐述了对于此领域的研究工作及成果。

同时应当清醒地认识到,由于上述归纳的种种特性,从宏观开发角度来讲,钢筋混凝土比较适合作为高层建筑的结构体部分。但是由于其环保、绿色及可持续性方面的短板,因此需要逐步控制使用量,使其作为一种过渡性的建筑产品,而作为国民终极居住目标的实现来讲,应该大力发展多、低层的房屋系统,共同促进城乡建设的可持续发展。

参考文献

- [1] 叶苏紫. 神奇的古罗马混凝土[J]. 百科新说, 2015(04): 50-51
- [2] 陈家珑, 方源兴. 我国混凝土骨料的现状与问题[J]. 建筑技术, 2005(01): 23-25
- [3] 罗洪波. 混凝土发展史[J]. 城市建设理论研究, 2015(05): 45-47
- [4] 彭一春, 马守才, 张粉芹. 混凝土孔结构和抗盐腐蚀性能关系的研究[J]. 中国建材科技, 2011(04): 15-17

第二章 混凝土构件成型技术和定位技术的发展

2.1 混凝土构件成型技术的发展历程研究

混凝土结构起源于古罗马。由于混凝土可以有效地抵抗压力,但受拉和受扭能力较差,所以早期的混凝土多为拱形结构,其代表建筑为罗马万神殿。万神殿混凝土结构的成型与建造采用了临时脚手架和模板,而这项技术不止用于混凝土浇筑,也广泛用于石材砌筑中。早期混凝土的主要成分是石灰与火山灰混合物,在很长时间内,混凝土的使用都受到了材料生产地域与材料性能的限制。19世纪初硅酸盐水泥的出现,使得混凝土在拥有了良好的建筑性能的同时,突破了使用区域的限制。而钢筋等受拉材料的出现,让混凝土能够形成受拉受弯构件,并可同时形成墙、板、梁、柱等多种构件类型,一次成型结构体,从而迅速替代其他建筑材料。

混凝土构件的成型过程主要包括浇筑和捣实,模具系统是混凝土结构浇筑成型的模壳及支架,它的选择和使用是混凝土施工的关键因素之一,直接影响混凝土的质量和整体性。而混凝土构件的成型技术也随着模具系统的更新,不断地向前发展。

2.1.1 混凝土构件现浇成型技术的发展

在混凝土施工中,模具系统是混凝土成型的构造设施,其构造包括面板体系和支撑体系。面板体系包括面板和所联系的肋条;支撑体系包括纵横围囿、承托梁、承托桁架、悬臂梁、悬臂桁架、支柱、斜撑与拉条等。模板分类见表2-1。在现浇混凝土结构工程中,模板工程一般占混凝土结构工程造价的20%~30%,占工程用工量的30%~40%,占工期的50%左右^[1]。模板技术对于提高工程质量、加快施工进度、降低工程成本和实现文明施工,都具有重要的影响。

表2-1 混凝土模板分类

类型	内容	类型	内容
模板体系	(1) 组合式 (2) 工具式 (3) 永久式	按结构分类	(1) 基础模板 (2) 柱模板 (3) 楼板模板 (4) 楼梯模板 (5) 墙模板 (6) 壳模板 (7) 烟囱模板
按材料分类	(1) 木模板 (2) 钢木模板 (3) 胶合板模板 (4) 钢模板 (5) 塑料模板 (6) 玻璃钢模板 (7) 铝合金模板	按施工方法分类	(1) 现场装拆模板 (2) 固定式模板 (3) 移动式模板

1. 模板发展历程

现浇混凝土模具多采用板材模具系统。最初的混凝土模板是采用木制散板,按照结构形状拼装成混凝土的成型容器。这种模板安装与拆卸都很费时费力,拆模后形成一堆散板,很难再次使用,板材损耗很大。20 世纪初开始出现了具有标准尺寸の木模板(图 2-1)。根据工程需要,预先设计出一套定型模板,在工厂生产完成。施工时,按照结构形式预先做好配板设计,在现场进行拼装,模板拆除后还可周转使用。

20 世纪 70 年代末从日本引进开发了薄板钢材制作而成的具有一定比例模数的定型组合钢模板(图 2-2),用“U”形卡、“L”形插销、钩头螺栓、蝶形扣件等连接件拼成形态各异的模板^[2]。这种钢模板采用模数制设计,通过标准板块的组合,实现不同尺寸要求,拆除后可以多次重复使用。

由于组合钢模板存在尺寸小、拼缝多等问题^[3],20 世纪 90 年代后,随着高层建筑和超高层建筑的大量兴建,大规模基础设施和城市交通、高速公路的飞速发展,全钢大模板得到了大量的推广应用。全钢大模板板面平整、拼缝少、使用次数多、能适应不同板面尺寸的要求,整体刚度好,具有很高的强度和稳定性,拆模后的混凝土墙面平整、顺直、光滑,只要薄刮抹便可达到装饰效果,大大减少了湿作业工作量^[4]。但是,全钢大模板的一次性投入大,造价高,而且由于重量过大,施工中过多的依靠塔吊,工作效率不高。

随着我国建筑结构体系的发展,工程质量要求越来越高,施工技术也更加复杂,因此,建筑施工技术在新旧并举、不断创新的形式下,模板技术也有了新的发展。采用新材料的建筑模板如铝合金模板、塑钢模板、新型钢木模板、钢网免拆模板等模板使用也越来越广泛。免拆模板和半免拆模板的使用比一般模板具有更好的应力强度及形状的自由性,因而对工程质量、结构安全、降低施工成本有良好的作用。在模板体系创新上,不仅各种通用性较强的新型组合式模板层出不穷,还结合工程结构构件的构造特点和工艺要求,研制开发了适应竖向和水平结构构件施工的工具式模板和永久式模板,使我国的模板技术逐步朝着多样化、标准化、系列化和商品化方向发展^[5]。

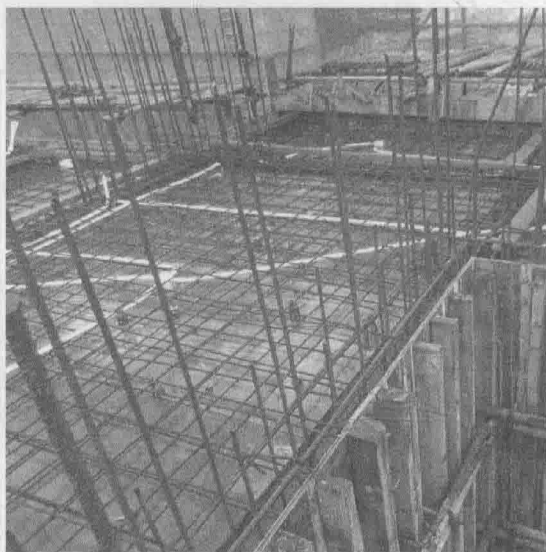


图 2-1 混凝土木模板

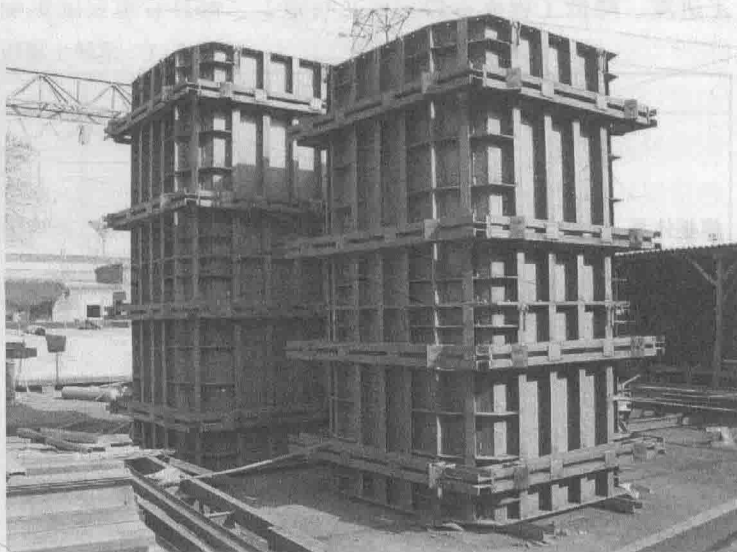


图 2-2 混凝土钢模板

2. 模板的应用

1) 组合模板的应用

木胶合板模板（图 2-3）具有材质轻、性能好、表面平整光滑、容易脱模、耐磨性强、能多次重复使用等特点，适用于墙体、楼板等各种结构施工。随着木胶合板模板的胶合性能和表面处理等技术的不断进步，木胶合板模板已经成为国外许多国家应用最广的模板之一^[6]。我国早在 20 世纪 70 年代的建筑施工中已采用过木胶合板模板，近几年在国家新技术示范工程中，也有不少施工单位采用了木胶合板模板。由于我国木材资源缺乏，因此不可能大量推广应用^[7]。

我国的木材资源相对匮乏，但竹材资源十分丰富，竹材年产量占世界竹材年产量的 1/3^[8]。竹材还具有生长周期短，再生能力强的特点。因此，在我国木材资源短缺的情况下，以竹材为制作原料的竹胶合板模板（图 2-4），具有资源丰富、使用性能好、表面平整光洁、周转次数多、价格较低等特点，是用作建筑模板的理想材料，主要适用于楼板、平台等水平结构施工。近十几年来，竹胶合板模板的使用经历了从盲目使用、制定标准、规范市场发展逐步推广使用的过程，其中双面覆膜胶合板模板占据了主导地位。竹胶合板模板在各地重点工程及国家新技术示范工程中都已得到大量应用，使用效果也较好^[9]。



图 2-3 木胶合板模板

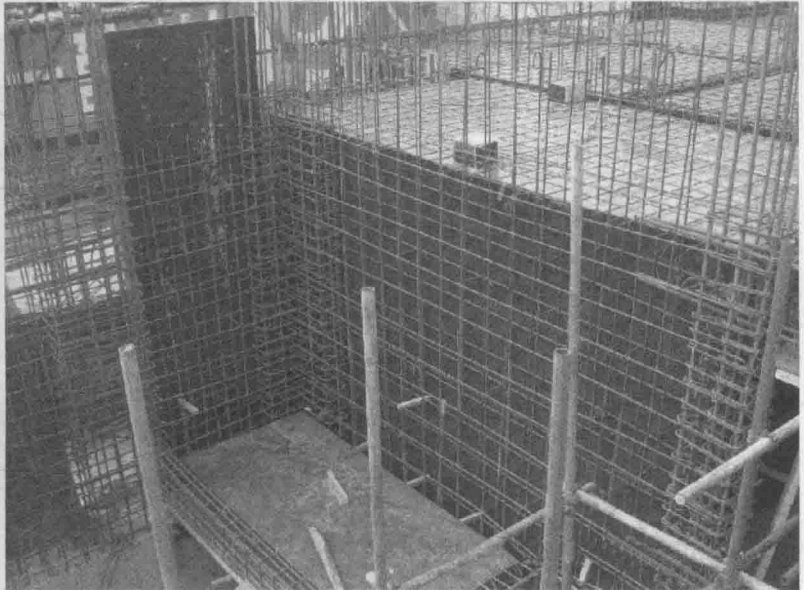


图 2-4 竹胶合板模板

组合钢模板是一种定型的工具式模板，可用连接构件拼装成各种形状和尺寸，适用于多种结构形式。新型钢模板支撑体系采用伸缩主梁、钢包木次梁、阴阳角等技术（图 2-5）^[10]，实现墙板梁柱一次性整体浇筑。采用钢模板可以节省劳动力，提高施工质量，加快工程进度，提高了施工效率。组合钢模板多用于工业与民用建筑结构的模板，也可用于隧道施工、水坝、高大构筑物等。由于大型高层现浇剪力墙建筑急剧增加，全钢大模板也得到广泛使用。将模数化板材自由组合，可以满足不同建筑物施工的需求，极大地提高了剪力墙结构施工的效率和质量。全钢大模板可以重复使用 500 次以上，浇筑后的剪力墙平整度优于国家标准^[11]。