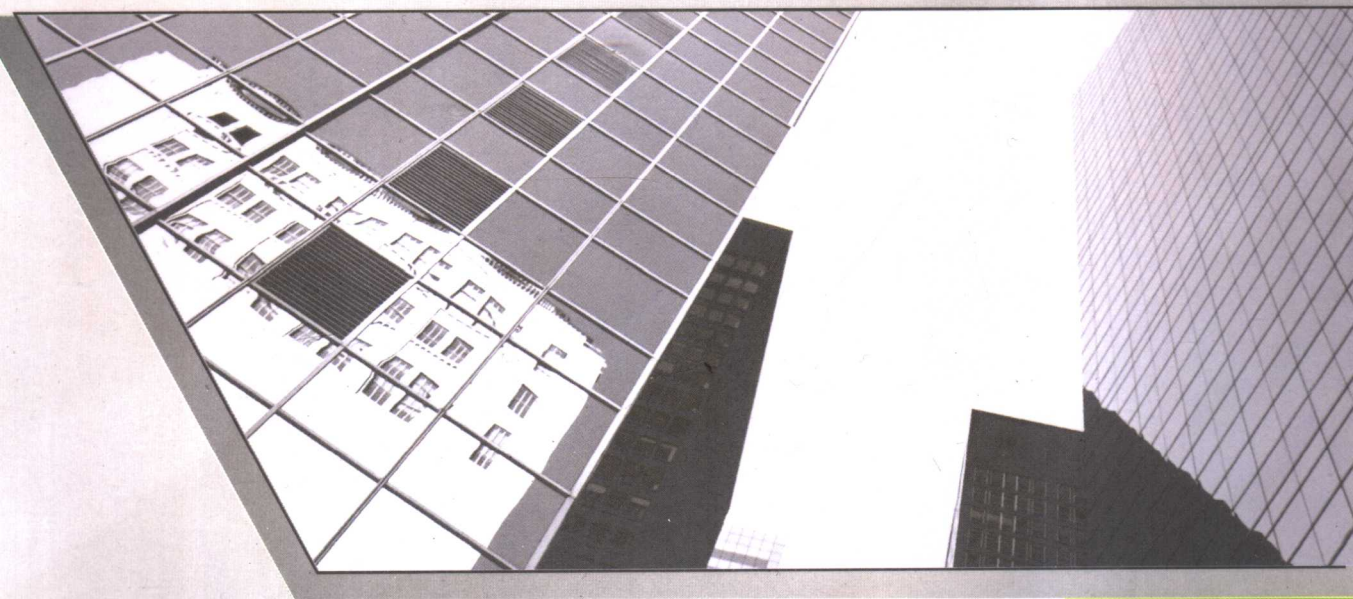


当代建筑材料最新研究成果

JIANZHU CAILIAO
XIN JISHU

建筑材料新技术

王立久 曹明莉◎编著



中国建材工业出版社

当代建筑材料最新研究成果

建筑材料新技术

王立久 曹明莉 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料新技术/王立久, 曹明莉编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 11

ISBN 978-7-80227-324-5

I. 建… II. ①王…②曹… III. 建筑材料—新技术
IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179081 号

内 容 简 介

该专著从各个角度反映了建筑材料领域的最新研究动态。作者编写此书的目的就是为建筑材料生产和建筑行业使用建筑材料提供帮助, 同时对新型建筑材料提供更多的研究途径。

本书主要内容有: 模网混凝土技术、水泥生产新技术、混凝土外加剂新技术、陶粒新技术、建筑节能新技术、建筑微晶玻璃技术、混凝土新技术。

建筑材料新技术

王立久 曹明莉 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 37.5

字 数: 933 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版

印 次: 2007 年 11 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-324-5

定 价: 72.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

建筑材料是指人居环境构筑物所需材料的总称,它涉及人类衣、食、住、行、工作、学习、娱乐等各个方面,既是人类社会发展的物质基础,也是人类文明进步的里程碑。

古代人们最初“穴居巢处”,后来“凿石成洞”、“伐木为棚”,进而烧制砖瓦、石灰,到近代的钢材、水泥和混凝土相继问世,都标志着社会的进步、时代的发展,也才有万里长城、都江堰、阿房宫、故宫、赵州桥等著名古代建筑;才有石器时代、铁器时代以及“秦砖汉瓦”之说,以及人民大会堂、历史博物馆、长江大桥……等现代建筑。

现代社会的房地产业仍然是我国经济发展的命脉,一直牵动着国民经济的增长、人民生活水平的提高甚至社会的安定,而建筑材料又一直制约着我国房地产业的发展水平。解放初期我国还很贫穷,百废待兴,因此强调因陋就简、就地取材,因而砂、石、灰/水泥、混凝土、沥青、钢筋、砖/烧土制品共七大类材料就成为当时建筑材料的主流,俗称传统建筑材料。20世纪60年代自然灾害、“文化大革命”影响了20世纪70年代建筑材料的发展。直到20世纪80年代才出现了区别于传统建筑材料,以灰砂砖、免烧砖为代表的新型建筑材料的研究。20世纪90年代的高效减水剂和高性能混凝土的出现,使新型建筑材料的研究和应用呈现出如火如荼的局面。21世纪伊始,随着实心黏土砖在全国170多个城市被明令禁止,新型建筑材料被赋予了新的内涵,这正是进一步开拓新材料的良好时机。

然而,建筑材料学术界和生产领域乃至建筑业不乏有抄袭和低水平的重复现象,这些除与其自身的道德修养有关外,还和传统建筑材料的狭隘定义、禁锢性的科研/教学理念、粗放性生产,甚至当时经济发展水平密切相关,也和缺乏具有创造性的学术专著息息相关。

作者本人长期从事新型建筑材料和环境材料研究,多年来一直在科研、教学和指导硕士生、博士生默默耕耘,积累了丰富的颇有见地的创造性成果,同时还培养了一大批颇有成绩的学生弟子。本书就是在作者多年指导研究生和博士生的毕业学位论文的基础上整理修改完成的。而书中课题都是由生产实际的技术难题和技术前沿中抽象和归纳出来的,反过来也随着这些难题和前瞻性课题的解决又使其既服务于社会、培养了人才,又使建筑材料理念得到充实和升华。协助我编写本书的有曹明莉、任铮钺、王宝民、艾红梅、刘军、王晴、罗玉萍、崔诗才、周旭东、赵善宇、郑芳宇、史非、迟耀辉、朱琪、穆红英、邢可、张东华、纪彤国等。

作者将近年来指导研究生和博士生研究的成果汇编成书,目的是与同行交流,但愿能对同行们在新型建筑材料研究方面有所补益,对建筑材料生产和建筑业发展有所帮助。本书所作试验均采用当时实行的国家标准和规范,在此特别说明。

该专著试图从各个角度反映建筑材料领域的最新动态,当然,这还不能说就代表着当代建筑材料最高的学术水平,但从某种意义上却可以说它是当代建筑材料方面很有价值的创新成果。不过,学术研究还应是诸子百家,本书只代表一家之言,不当甚至错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编者

2007年10月

目 录

1 模网混凝土技术	1
1.1 建筑模网混凝土技术概述	1
1.2 建筑模网混凝土增强机理	4
1.3 模网混凝土聚合物改性砂浆保护层	28
2 水泥生产新技术	45
2.1 少熟料水泥	45
2.2 多联产水泥技术	73
2.3 节能水泥——水泥工艺外加剂技术	96
2.4 杂化水泥	125
3 混凝土外加剂新技术	153
3.1 混凝土超缓凝剂	153
3.2 改性木质素磺酸盐减水剂	176
3.3 聚羧酸磺酸盐减水剂	199
4 陶粒新技术	227
4.1 免烧镁质陶粒	227
4.2 超轻高强陶粒	245
4.3 陶粒滤料	273
4.4 碱渣陶粒技术	297
5 建筑节能新技术	321
5.1 相变节能建筑材料及节能体系	321
5.2 卫型墙体砖	350
5.3 保温节能混凝土	374
5.4 微孔硅酸钙保温材料	402
5.5 微孔硅酸钙保温材料	425
6 建筑微晶玻璃新技术	447
6.1 复合建筑微晶玻璃	447

6.2	微晶泡沫玻璃	465
6.3	微晶玻璃着色技术	483
7	混凝土新技术	502
7.1	大掺量粉煤灰混凝土多参数设计	502
7.2	大掺量粉煤灰混凝土断裂性能	520
7.3	混凝土柱箍筋优化	537
7.4	高耐久性双掺混凝土	569

1 模网混凝土技术

1.1 建筑模网混凝土技术概述

建筑模网混凝土技术属于新技术、新工艺。在建筑材料工业倡导走可持续发展道路的形势下,对建筑模网混凝土进行深入的探索和研究就显得尤为重要和紧迫。目前,从全国范围来讲,此技术尚属初步应用阶段,大连理工大学建筑材料研究所对建筑模网混凝土开展了研究,为建筑模网的推广做了大量开拓性工作。

建筑模网是由钢板网(或称蛇皮网)、竖向加劲肋及水平折钩拉筋组成的三维空间网架体系,具有足够的强度和刚度,能够承受从顶端浇筑拌合物所形成的侧压力。这种结构可以让混凝土在建筑模网内部流动,使混凝土可以实现不振捣自密实,并可满足强度和刚度的要求。

建筑模网改善了混凝土的性能,主要表现为四个效应,即渗滤效应、消除容器效应、环箍效应、限裂效应。钢板网孔的渗滤作用,可使为浇筑混凝土而掺入的多余水分迅速通过网孔排掉,减小水灰比,提高混凝土强度;建筑模网是一种开敞式空间网架结构,钢板网本身代替了常规模板,随着混凝土中多余水分排除的同时,也能够排除混凝土拌合物所含的空气,提高混凝土的均匀性;建筑模网的空间网架结构构成环箍效应,使混凝土的抗压、抗剪强度及延性显著增强,在混凝土硬化后,钢板网与加劲肋、折钩拉筋一起,形成钢筋混凝土的墙体;限裂效应使模网混凝土的收缩值小于普通混凝土的收缩值,能避免各种裂缝的产生。

根据现阶段建筑模网的使用情况,可以推断,在建筑工程中采用建筑模网,将会带来巨大的经济效益、环境效益,也将会给设计、施工乃至建筑体系带来一次大变革,建筑模网在建筑行业的发展前景广阔,意义重大。

新型墙材的优越性使其在建筑工程中得到了一定程度的应用,但又因本身固有的缺陷限制了它们的适用范围和使用程度。“砖”、“砌块”、“板材”有其各自的优缺点,它们组成了目前新型墙体材料的基本体系。而建筑模网克服了“砖”、“砌块”、“板材”的缺点,并拥有自身的技术特点和优越性,属于新技术、新产品、新工艺,是我国墙体材料的又一次革命。

1.1.1 建筑模网

建筑模网是由两片固定于竖向加劲肋的钢板网在沿加劲肋间距 100mm(用 $\Phi 4$ 低碳钢丝)或间距 228mm(用 $\Phi 5$ 冷轧带肋钢筋)的水平折钩拉筋构成空间三维体系的网架结构。如有保温要求,则在钢板网与加劲肋之间放置聚苯板等保温层。最后,在建筑模网内浇筑混凝土,就构成了建筑模网混凝土。开敞式网架结构混凝土在其内部流动自如,使混凝土达到

不振捣自密实的程度，并满足使用所要求的刚度和强度。图 1-1-1 为建筑模网实物图，建筑模网构造如图 1-1-2 所示。

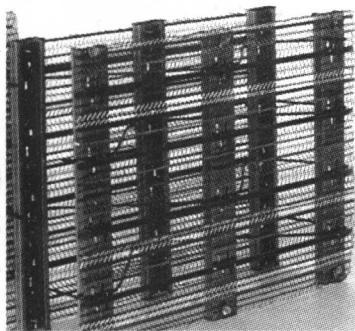


图 1-1-1 建筑模网实物图

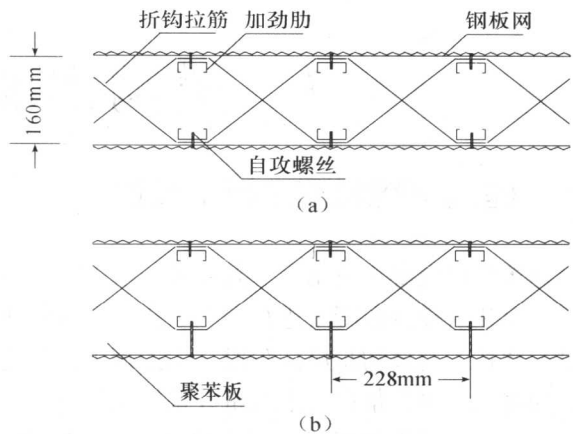


图 1-1-2 建筑模网构造图
(a) 标准型；(b) 带聚苯板保温层

建筑模网具有足够的强度和刚度，它能承受从顶端浇筑混凝土拌合物的冲击而保持尺寸准确、不变形，因此施工时不需要常规钢、木模板，直接向建筑模网内浇筑大流动性混凝土，建筑模网的开敞式网架结构可使大流动性混凝土在其内部实现免振捣、自密实，并满足结构要求。浇筑后不必拆掉模网，建筑模网能起到钢筋骨架作用，形成真正的钢筋混凝土墙体。因此，可以将建筑模网混凝土结构认定为不用模板的模板混凝土结构。不用模板不仅节约了模板费用，而且在施工过程中也省去了模板工程。在现浇混凝土结构中，模板工程约占总造价的 30%，占总用工量的 50%，使用建筑模网，对提高工程质量、加快施工速度、提高劳动生产率、降低工程成本和实施文明施工都有十分重要的意义。

大连栾金村 43 号楼首次采用模网混凝土结构，于 1999 年 6 月竣工并投入使用，2000 年，国家康居示范小区——大连锦绣园示范小区共 6 栋民用大开间住宅相继竣工并投入使用（图 1-1-3、图 1-1-4）。

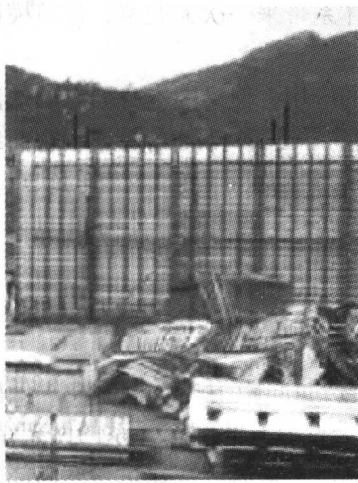


图 1-1-3 建筑模网施工现场



图 1-1-4 栾金村 43 号住宅楼

1.1.2 建筑模网混凝土

1.1.2.1 普通混凝土缺陷

为达到一定的工作性,传统浇筑混凝土时,要实现泵送必须使新拌混凝土保持一定的坍落度,必然要有适合的水灰比,为此要掺进一定数量、甚至过量的水分。致使硬化后的混凝土内部或表面形成气泡,甚至出现蜂窝麻面和孔洞。传统混凝土是在钢(木)模板内(相当于容器)浇筑,塑性状态混凝土会对模板产生巨大压力,给混凝土施工中支模、拆模带来麻烦,浪费人力、物力。这种容器效应,使得所拌混凝土内含有水分和空气,造成混凝土的不均匀性,影响混凝土的自密实性。

传统混凝土会在水硬化过程中产生大量水化热,如是大体积混凝土易引起温度裂缝,其水化生成物前后体积变化会使混凝土产生化学收缩,施工中温度、湿度或风力作用会使混凝土形成表面裂缝甚至通缝或结构裂缝,影响混凝土的力学性能和耐久性。

1.1.2.2 建筑模网混凝土工作原理

建筑模网混凝土克服了普通混凝土的缺陷,大连理工大学王立久教授通过研究,提出建筑模网混凝土增强机理这一概念,它是建筑模网技术的理论基础。

第一,渗滤效应:蛇皮网孔的渗滤作用,可使为浇筑目的而掺入的多余水分迅速通过蛇皮网孔排掉,人为地使混凝土在浇筑过程把水灰比自然减少。根据 Bolomey 公式, $f_{cu} = Af_c \left(\frac{C}{W-B} \right)$, 这种低水灰比必然提高混凝土的强度。

第二,消除容器效应:建筑模网的空间网架结构属开敞式结构,在混凝土浇筑过程中随着渗滤作用逐渐通过蛇皮网孔排除混凝土拌合物所含的空气,可提高混凝土均匀性,达到混凝土的自密实。

第三,环箍效应:由于建筑模网的空间网架结构构成环箍效应,有效地限制了内部混凝土的横向变形,从而使混凝土处于三向受压状态,提高了混凝土抗压强度、抗剪强度、延性。

第四,限裂效应:由于建筑模网是典型的空间网架结构,对新拌混凝土有渗滤效应、消除容器效应,能够排除混凝土内部多余的水分和空气,增强其密实性,降低混凝土的干缩值;钢板网对其内部的混凝土有强有力的束缚作用,因此建筑模网能有效抵抗各种裂缝的产生,同时网外挂浆又可显著提高抹面砂浆的牢固度。

1.1.3 建筑模网技术特点

建筑模网技术首先巧妙地解决了模网空间网架与外保温层一体化的问题,由于建筑模网与外保温层是在工厂内采用依次到位的制作方案,因此适合于工厂机械化、自动化生产,产品运到现场即可组装、支立、固定、浇筑混凝土,形成了“一次性先浇成型外保温模网混凝土墙体”的崭新的建筑施工工艺。外保温墙兼有承重作用,功能分明,从内向外依次是:承重抗震、保温隔热、防水、装饰等,且具有无毒、安全等多项优异功能。

参考文献

- [1] 王立久. 帝枇建筑模网 [J]. 房材与应用, 1994 (4): 15~18.
- [2] 王立久, 詹海燕, 任铮钺. 建筑模网混凝土技术 [J]. 新型建筑材料, 2003 (3): 15~17.

1.2 建筑模网混凝土增强机理

本技术在试验的基础上，量化了建筑模网混凝土的增强机理，即渗滤效应、消除容器效应、环箍效应、限裂效应，建立了建筑模网技术的理论基础。

通过剪力墙抗剪承载力的试验值与理论计算值的比较，说明建筑模网剪力墙的抗剪承载力与普通混凝土剪力墙的相近。除考虑混凝土承担的剪力作用外，还应考虑钢板网和折钩拉筋的抗剪作用；通过剪力墙抗弯承载力的试验与理论值的比较，说明偏心受压建筑模网剪力墙抗弯承载力与普通混凝土剪力墙的相近，可以采用普通混凝土剪力墙偏心受压抗弯承载力的计算公式。

1.2.1 建筑模网混凝土增强机理研究

1.2.1.1 成型方式对建筑模网新拌混凝土强度的影响

(1) 试验设计

研究建筑模网混凝土振捣与不振捣的影响。采用 $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 钢板网，向模网内浇筑 C10、C15、C20 混凝土。浇筑各种强度混凝土时，其中一组（3 件）浇筑过程中振捣，另一组（3 件）不振捣，均采用自然环境养护，28d 测抗压强度。

(2) 试验材料及配合比

试验中所采用的材料及配合比如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 试验材料及配合比

kg

等 级	C	S	G	W	W/C	S_p
	P. O 32.5	$M_x = 2.4$	$D_{\max} = 25\text{mm}$	饮用水		
C10	313	778	1074	235	0.75	0.42
C15	362	757	1046	235	0.65	0.42
C20	428	715	1030	227	0.53	0.53

(3) 试验结果（表 1-2-2）

表 1-2-2 各试块 28d 抗压强度

MPa

等 级	模网振捣试块	模网不振捣试块
C10	12.1	16.8
C15	16.5	21.4
C20	21.2	28.9

从表 1-2-2 可知，模网混凝土振捣试块强度低于不振捣试块，其原因在于振捣易造成模网内混凝土跑浆过量，不能保证在粗集料之间有足够的砂浆层，因此降低了模网内混凝土的强度。因此，使用建筑模网时，在施工过程中不能振捣混凝土，否则将降低混凝土的强度。

模网混凝土施工时不需要振捣混凝土,施工速度加快,因此减少了人工费用。另外,对周围环境无噪音污染,可实现文明施工。建筑模网在我国问世,将会引发建筑业,特别是墙体施工工艺的重大变革。

1.2.1.2 建筑模网混凝土均匀性和密实性研究

使用钻芯法来测定模网混凝土在不同高度的抗压强度、密度,并通过 SEM、XRD 进行密实性分析。

(1) 试验设计及材料 (表 1-2-3)

表 1-2-3 试验材料及配合比

原材料	水泥/C	砂/S	石/G	水/W
指 标	P. O 32.5	$M_s = 2.4$	$D_{\max} = 25\text{mm}$	饮用水
1m ² 用量 (kg)	425	705	1030	240

本试验采用尺寸 1000mm × 200mm × 2000mm 的建筑模网,现场浇筑混凝土,免振捣,室内养护 28d,然后采用钻芯法在不同高度上取芯 (图 1-2-1),两端面磨平磨光,制作成 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的试样,测抗压强度,与普通混凝土进行对比 (图 1-2-2 和图 1-2-3)。对建筑模网混凝土芯样进行电镜分析和 X 射线衍射分析,参见图 1-2-4 ~ 图 1-2-7。

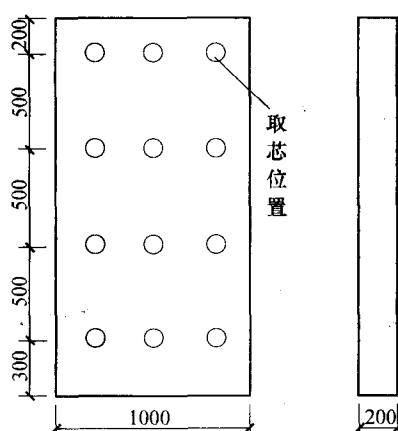


图 1-2-1 模网尺寸示意及取芯位置图

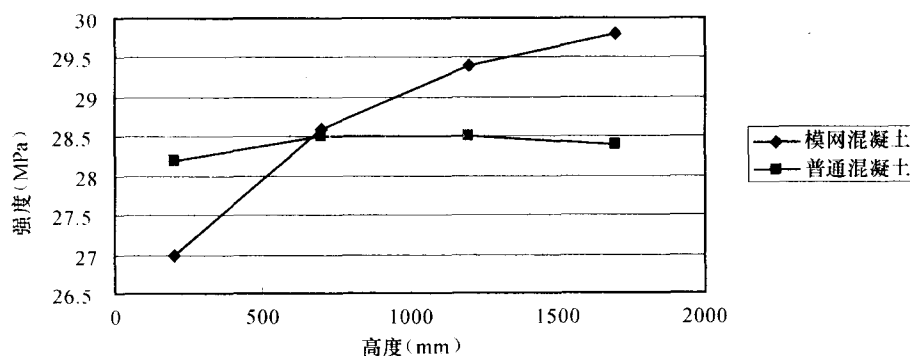


图 1-2-2 模网混凝土与普通混凝土强度

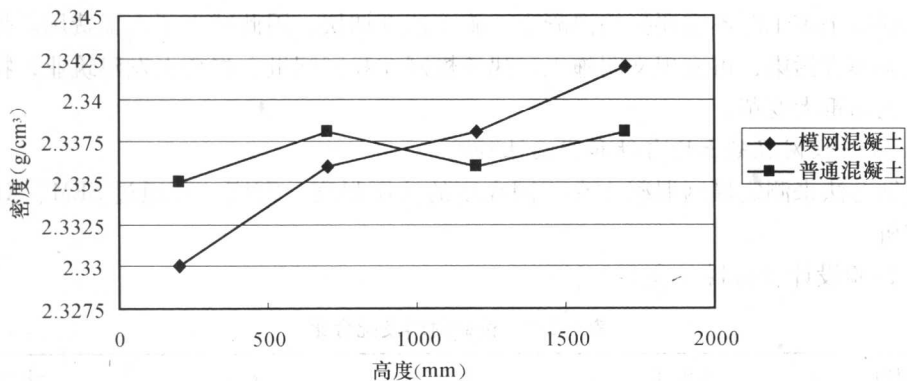


图 1-2-3 模网混凝土与普通混凝土密度

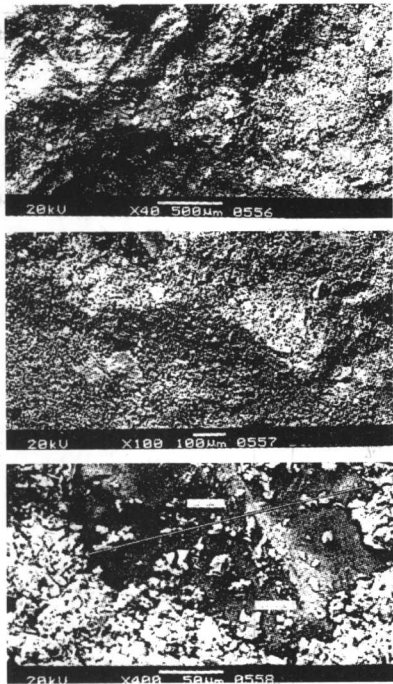


图 1-2-4 上部混凝土芯样不同倍数电镜照片

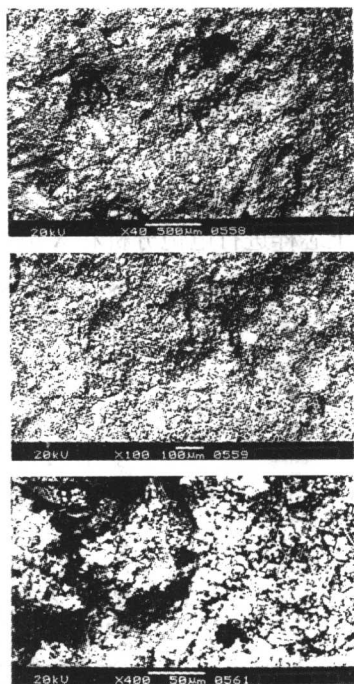


图 1-2-5 下部混凝土芯样不同倍数电镜照片

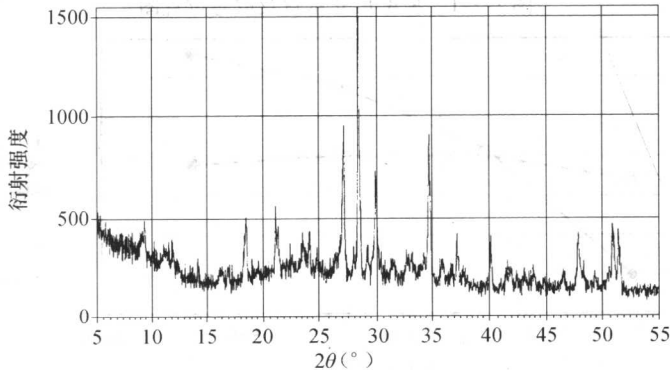


图 1-2-6 上部混凝土芯样的 X 射线衍射分析

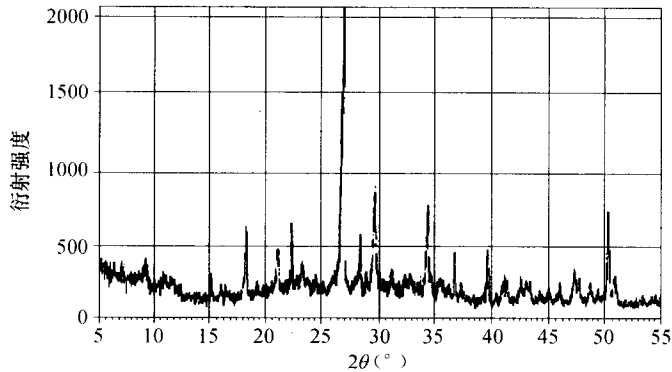


图 1-2-7 下部混凝土芯样的 X 射线衍射分析

(2) 试验结果 (表 1-2-4)

表 1-2-4 取芯强度及密度

混凝土类别 高度 (mm)	模网混凝土		普通混凝土	
	强度 (MPa)	密度 (g/cm^3)	强度 (MPa)	密度 (g/cm^3)
200	27	2.330	28.2	2.335
700	28.6	2.336	28.5	2.338
1200	29.4	2.338	28.5	2.36
1700	29.8	2.342	28.4	2.338

(3) 电镜分析

图 1-2-4 为上部芯样不同放大倍数的电镜照片, 图 1-2-5 为对应的下部照片, 试样均为钻芯取样试件受压破坏时的样品。从上下部芯样的电镜照片观察来看, 没有发现不同的水化物产生, 基本以Ⅲ型 C-S-H (不规则等大粒子) 为主的水化物。但从水泥基与细集料界面来看, 上部芯样有明显的裂痕, 而下部芯样没有发现界面裂缝, 说明上部混凝土的密实程度稍差, 与集料界面粘结强度较弱。这与钻芯取样试件, 上部芯样强度低于下部的强度的结果一致。

(4) X 射线衍射分析

图 1-2-6 为上部芯样 X 射线衍射分析, 图 1-2-7 为下部芯样 X 射线衍射分析。从 X 射线衍射分析图可以看出, 两者衍射峰相同, 但下部芯样峰值要稍高于上部 [图中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 特征峰 27.87。上部强度 315, 下部强度 393], 也说明上部水化程度要稍弱于下部, 与电镜芯样的强度情况基本吻合。

(5) 漏浆强度与渗滤效应系数

向建筑模网中浇筑混凝土时, 通过钢板网孔渗出一定量的砂浆。可以明显发现, 渗滤出的砂浆比较稀。在试验中收集了部分砂浆, 制作成立方体试块, 测试抗压强度, 并与原配合比砂浆强度做比较, 如表 1-2-5 所示。

表 1-2-5 砂浆抗压强度

项 目	模网漏浆 (MPa)			原配合比砂浆 (MPa)		
	1	2	3	1	2	3
强 度	15.04	13.42	14.2	15.74	16.88	16.32
强度平均值	12.19			16.31		

利用公式计算如下:

$$f'_{m,cu} = 0.293f_{ce,k} \left(\frac{C}{W} - 0.4 \right)$$

式中 $f'_{m,cu}$ ——砂浆强度, MPa;

$f_{ce,k}$ ——水泥强度等级, 本试验取 43.1MPa;

$\frac{C}{W}$ ——灰水比。

计算模网漏浆的水灰比: $\left(\frac{W}{C} \right)_l = 0.732$

原配合比砂浆的水灰比: $\left(\frac{W}{C} \right)_0 = 0.591$

可以看出, 通过建筑模网渗滤出的砂浆水灰比比原砂浆配合比增大, 新拌混凝土通过钢板网孔渗滤出大量的自由水, 因而能够降低了建筑模网内混凝土拌合物中为达到浇筑目的而使用的多余水分。定义渗滤效应系数为 F , 可以用下式表达:

$$F = \frac{\left(\frac{W}{C} \right)_l - \left(\frac{W}{C} \right)_0}{\left(\frac{W}{C} \right)_0} = \frac{0.732 - 0.591}{0.591} = 0.24$$

渗滤效应系数可以反映渗滤出的砂浆水灰比的变化程度。 F 值大, 说明漏浆的水灰比改变较大, 渗滤过程比较充分; F 值小, 说明漏浆的水灰比改变较小, 渗滤过程不充分。

(6) 分析

无论从混凝土芯样抗压强度、电镜分析还是从 X 射线衍射分析, 都可以看出, 建筑模网混凝土上部、下部比较均匀一致, 只是随着浇筑高度的不同, 混凝土的密实程度稍有差别, 上部混凝土密实程度稍差, 下部混凝土密实程度较高。其水化程度也是上部稍差于下部。建筑模网混凝土的平均强度稍高于普通混凝土, 这主要和混凝土成型时水灰比的大小有关系, 因为向建筑模网内浇筑混凝土时, 混凝土的水灰比有所降低。

(7) 结论

传统浇筑混凝土为达到一定的工作性, 要实现泵送, 必须使新拌混凝土保持一定的坍落度, 必须要有适合的水灰比, 为此要掺进一定数量水分, 甚至过量的水分, 过量的水在硬化后混凝土的内部或表面形成气泡, 甚至蜂窝、麻面和孔洞。另外, 传统混凝土是在钢 (木) 模板内 (相当于容器) 浇筑, 这种容器效应, 使得所拌混凝土含纳水分和空气, 造成混凝土的不均匀性, 影响混凝土的密实性。可见, 造成混凝土缺陷的因素主要是存在超出水泥水化而满足其工作性的多余水分和模板形成的容器效应。

由于建筑模网特殊的结构形式使得新拌混凝土在其内部向两侧流动。钢板网孔的渗滤作用,可使以浇筑为目的的多余水分迅速通过钢板网孔排掉,使混凝土在浇筑过程中降低了水灰比,从而提高了混凝土的强度。在浇筑过程中随着渗滤作用逐渐通过蛇皮网孔排除混凝土拌合物所含纳的空气,提高了混凝土的均匀性,提高了混凝土的自密实性。渗滤过程如图 1-2-8 和图 1-2-9 所示。

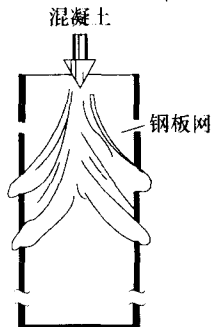


图 1-2-8 模网渗滤过程

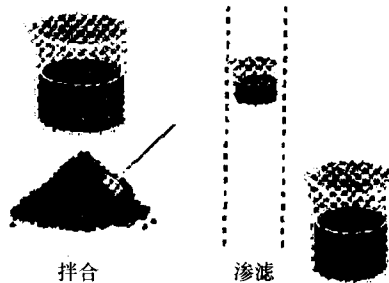


图 1-2-9 模网减小水灰比的示意图

另外,建筑模网混凝土在渗滤过程中,还逐步减小了所拌混凝土对建筑模网的压力。国外研究人员的试验表明,建筑模网可减少侧压力 90%,仅为 1.05MPa,进而避免了使用传统封闭式混凝土模板所带来的支模、拆模、搬运等繁重的体力劳动,使施工方便快捷,施工现场文明,可节省大量人力、物力、财力。

1.2.1.3 建筑模网混凝土环箍效应试验及分析

(1) 试验设计

建筑模网表面为钢板网,内部有加劲肋和折钩拉筋,形成强度、刚度、稳定性均佳的“钢板网-钢筋”的模型。钢板网、折钩拉筋的双重套箍作用形成环箍效应,使混凝土抗压、抗剪强度显著增强,如图 1-2-10 所示。

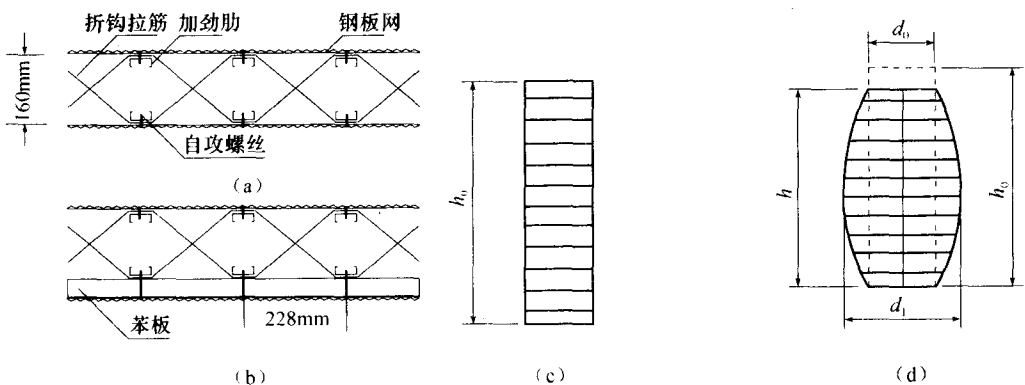


图 1-2-10 建筑模网环箍效应示意图

为了验证建筑模网对混凝土的环箍效应,采用 100mm × 100mm × 300mm 建筑模网分别向每组模网内浇筑强度等级为 C10、C15、C20、C25、C30 的混凝土,形成棱柱体模网混凝土构件,测试轴心抗压强度,并与素混凝土轴心抗压强度进行比较。

(2) 试验结果

C10、C15、C20、C25、C30 的立方体抗压强度 f_{cu} 、素混凝土轴心抗压强度 f_c 、模网约束混凝土轴心抗压强度 f_{ce} 及模网套箍系数 λ ，如表 1-2-6 所示。

表 1-2-6 混凝土轴心抗压强度

项目 (MPa)	f_{cu} (MPa)	f_c (MPa)	f_{ce}	λ
C10	16.5	11.5	15.2	0.11
C15	21.3	15.6	19.3	0.081
C20	27.5	18.7	22.6	0.064
C25	31.6	21.1	25.3	0.057
C30	35.8	25.0	28.1	0.049

根据简单的分析可以认为钢管混凝土的套箍系数 θ 、螺旋箍筋套箍系数 ϕ 与矩形箍筋配箍特征值 λ 在数值上是相等的。即：

$$\theta = \frac{A_s f_y}{A_c f_c} = \rho_v \frac{f_y}{f_c} = \lambda_v = \phi$$

因此本研究定义建筑模网的套箍系数： $\lambda = \rho_v = \frac{f_y}{f_c}$

式中 ρ_v ——建筑模网混凝土试件含钢率，%；
 f_y ——用于制作钢板网的连续厚度锌薄钢板带的屈服强度，MPa；
 f_c ——素混凝土轴心抗压强度，MPa。

根据实物测试，可以得出 82.5cm² 的钢板网上共有 96 个孔，每个孔的尺寸为 9.2mm × 7.0mm，即单个孔的面积为 64.4mm²，因此该网上孔的总面积为 6182.4mm²，所以孔面积占钢板网面积的 75%，钢板占钢板网面积的 25%；钢板网的厚度为 0.45mm。由此可以算出 100mm × 100mm × 300mm 的模网混凝土试件的含钢率：

$$\rho_v = \frac{0.45 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 0.3 \times 0.25 \times 4}{0.1 \times 0.1 \times 0.3} = 0.0045$$

用于制作钢板网的连续厚度锌薄钢板带的屈服强度：

$$f_y = 280$$

混凝土强度等级为 C10 时：

$$\lambda = \rho_v \frac{f_y}{f_c} = 0.0045 \times \frac{280}{11.5} = 0.11$$

混凝土强度等级为 C15 时：

$$\lambda = \rho_v \frac{f_y}{f_c} = 0.0045 \times \frac{280}{15.6} = 0.081$$

混凝土强度等级为 C20 时：

$$\lambda = \rho_v \frac{f_y}{f_c} = 0.0045 \times \frac{280}{18.7} = 0.064$$

混凝土强度等级为 C25 时: $\lambda = 0.057$

混凝土强度等级为 C30 时: $\lambda = 0.049$

不同强度等级混凝土的模网套箍系数 λ 也列在表 1-2-6 中。

回归分析混凝土轴心抗压强度相对增大值 $(f_{cc} - f_c)/f_c$ 与模网套箍系数 λ 的数据, 可以得到两者之间的关系为:

$$(f_{cc} - f_c)/f_c = 2.96\lambda$$

即:

$$f_{cc} = (1 + 2.96\lambda)f_c$$

上式与矩形箍筋约束混凝土轴心抗压强度公式 $f_{cc} = (1 + 1.79\lambda_v)f_c$ 进行比较, 在混凝土强度等级相同, 配箍特征值 λ_v 与模网套箍系数 λ 相等的情况下, 可以认为建筑模网约束混凝土的轴心抗压强度大于矩形箍筋约束混凝土的轴心抗压强度。

与螺旋箍筋约束混凝土轴心抗压强度公式 $f_{cc} = f_c(1 + 2\phi)$ 相比, 在混凝土强度等级相同, 套箍系数 ϕ 与套箍系数 λ 相等的情况下, 可以认为建筑模网约束混凝土的轴心抗压强度大于螺旋箍筋约束混凝土的轴心抗压强度。

与钢管混凝土轴心抗压强度公式 $f_{cc} = f_c(1 + \alpha\theta)$ 进行比较, 在混凝土强度等级相同, 钢管混凝土套箍系数 θ 与模网套箍系数 λ 相等的情况下, 可以认为建筑模网约束混凝土的轴心受压强度小于钢管混凝土的轴心受压强度。

因此, 建筑模网对混凝土的约束效果强于矩形箍筋约束混凝土、螺旋箍筋约束混凝土的效果弱于钢管混凝土。

(3) 试验分析及结论

建筑模网的空间网架结构构成环箍效应, 使混凝土抗压、抗剪强度显著增大。建筑模网的环箍效应使混凝土具有良好的整体强度和刚度。浇筑混凝土时, 钢板网能够承受住一个楼层高度浇筑混凝土的冲击; 在混凝土硬化后, 钢板网与加劲肋、折钩拉筋一起, 形成真正的“铁壁混凝土墙”, 因而模网混凝土结构具有良好的抗震性能。我国处于多震地区, 根据《建筑抗震设防分类标准》(GB 50223—2004), 处于地震烈度 6 度及 6 度以上地区的建筑物应进行抗震设防, 使用建筑模网是进行抗震设防的措施之一。

建筑模网具有优异的整体性能, 在混凝土施工过程中, 具有充当模板和代替钢筋的双重作用, 因此节省了大量支模、拆模的施工量, 在施工中不用脚手架, 降低了施工造价, 大大地缩短了施工工期。

1.2.1.4 建筑模网混凝土限裂效应研究

在建筑工程施工过程中常出现混凝土裂缝的问题, 混凝土裂缝产生的原因较为复杂, 其中有荷载作用引起的, 也有非荷载作用引起的, 裂缝影响构件及建筑物的可靠性和适用性, 同时直接关系到建筑工程质量的评定, 所以始终被施工界和广大研究人员所重视。

(1) 建筑模网抗裂试验

由于建筑模网是典型的空間网架结构, 对新拌混凝土有渗滤效应、消除容器效应, 因此能够排除混凝土内部多余的水分和空气, 增强其密实性; 另外, 经渗滤过的混凝土外侧表面最为密实, 表面强度较大, 能够防止各种有害物质的侵蚀; 钢板网对其内部的混凝土有强有力的束缚作用, 因此建筑模网能有效抵抗各种裂缝的产生。