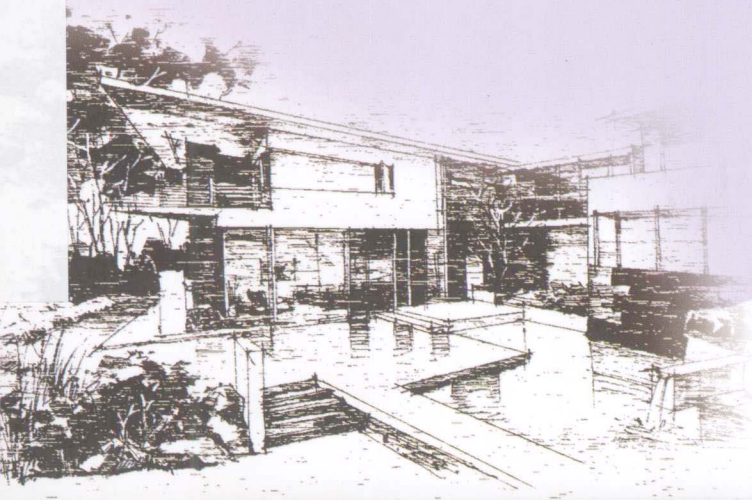




普通高等教育“十二五”规划教材

混凝土工艺学

李国新 宋学锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

混凝土工艺学

主编	李国新	宋学锋
编写	史琛	刘云霄
主审	王福川	



中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了混凝土各工艺的相关理论知识、工艺及设备,内容包括混凝土的模板工艺、混凝土的钢筋工艺、混凝土的搅拌工艺、混凝土的输送工艺、混凝土的密实成型工艺及混凝土的养护工艺。本书力求理论联系实际,内容丰富翔实,对相关学科师生和相关行业从业人员有较好的指导和参考价值,可供材料专业、土木工程专业的本科生作为教材使用,也可供从事相关研究的专业人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土工艺学/李国新,宋学锋主编. —北京:中国电力出版社,2013.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4601-7

I. ①混… II. ①李…②宋… III. ①混凝土-生产工艺-高等学校-教材 IV. ①TU528.06

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第134993号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年8月第一版 2013年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12印张 290千字

定价 22.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

混凝土是世界上使用量最大、使用范围最广的工程材料，是人类文明建设中不可或缺的物质基础。随着社会的发展和进步，人民的物质文化水平不断提高，带动了国家基本建设项目的空前发展，人们对混凝土的品质指标和经济指标提出了更高的要求。而混凝土材料是由水泥、砂、石、水、外加剂及矿物掺合料等多组分组成的一种复合材料，其使用性能除了取决于混凝土的配比组成以外，也取决于混凝土的各制备工艺过程。

编者编写的混凝土工艺学讲义，在西安建筑科技大学材料科学与工程专业经过了2年的试用，期间作者不断地补充和完善内容，形成了本教材。

混凝土工艺学课程是材料科学与工程专业的主要专业课之一，本教材围绕混凝土制备过程中的各工序，系统地阐述了混凝土的模板工艺、钢筋工艺、搅拌工艺、输送工艺、密实成型工艺及养护工艺的原理、工艺过程及设备。全书共分6章，包括混凝土的模板工艺、混凝土的钢筋工艺、混凝土的搅拌工艺、混凝土的输送工艺、混凝土的密实成型工艺及混凝土的养护工艺。

本书由李国新、宋学锋主编并统稿。史琛编写第1章；李国新编写第2章、第3章；刘云霄、史琛编写第5章；宋学锋编写第4章、第6章。

本书在编写过程中得到了西安建筑科技大学材料科学与矿资学院教材编写专项资助，得到了中国电力出版社的大力支持和帮助，在此致以衷心感谢。西安建筑科技大学王福川教授主审了全书，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2013年5月于西安建筑科技大学



目 录

前言

第一章 混凝土的模板工艺	1
第一节 模板材料的种类与性能	1
第二节 脱模剂	6
第三节 模板的施工	9
第四节 模板工艺的经济性	18
复习思考题	20
第二章 钢筋工艺	21
第一节 钢筋冷加工工艺	21
第二节 钢筋连接工艺	26
第三节 钢筋的配料与代换	32
第四节 预应力混凝土工艺	34
复习思考题	62
第三章 混凝土的搅拌工艺	63
第一节 混凝土搅拌的基本理论	63
第二节 混凝土搅拌机	67
第三节 混凝土搅拌楼	78
复习思考题	92
第四章 混凝土的输送工艺	93
第一节 混凝土流变学原理	93
第二节 常用混凝土输送设备简介	99
第三节 混凝土搅拌运输车	101
第四节 混凝土泵	109
第五节 混凝土布料装置及混凝土泵车	118
第六节 混凝土输送与浇筑	122
复习思考题	124
第五章 混凝土的密实成型工艺	125
第一节 振动密实成型工艺	125
第二节 离心密实成型工艺	133
第三节 真空密实成型工艺	140
第四节 压制密实成型工艺	144
第五节 喷射成型工艺	146
复习思考题	149
第六章 混凝土的养护工艺	151
第一节 混凝土养护分类	151

第二节 现浇混凝土的自然养护..... 152

第三节 混凝土制品的常压湿热养护..... 157

第四节 混凝土制品的压蒸养护..... 174

第五节 混凝土制品的其他养护方式..... 179

复习思考题..... 183

参考文献..... 185



第一章 混凝土的模板工艺

混凝土的模板工艺即模板的制备、安装、监护、移置和拆除等工艺的技术构成和工艺流程。

模板工艺在现浇混凝土结构施工和预制混凝土构件制备中居于非常重要的地位，主要体现在以下几个方面：

(1) 模板工艺对混凝土结构和制品的成型尺寸及外观质量起主导作用。模板按混凝土结构或构件的设计位置和构造尺寸支设，不仅在支设时要达到轴线和构造尺寸准确以及支撑和固定牢靠的要求，而且在浇筑过程中必须能够承受可能出现的最大荷载作用（包括混凝土拌和物的自重、侧压力及浇筑时的冲击力和振动荷载等），确保不会出现超过规定的沉降和变形以及开模、跑浆等其他问题，在拆模之后达到混凝土结构的成型尺寸和外观质量要求。当模板支固不牢时，将会影响浇捣作业要求的严格执行，会出现振捣不足等影响结构密实的问题。当过早拆除模板支撑时，将会出现结构裂缝等问题。因此，模板工艺不仅决定和主导着混凝土结构的成型尺寸和外观质量，而且也是实现浇筑质量要求的重要前提和基础条件。

(2) 模板工艺是确保混凝土结构施工安全的重点。模板工艺既是混凝土结构工程，也是建筑施工中多发事故和重大事故较多出现的领域。

(3) 模板工艺体现了企业施工能力和综合水平。模板工艺在混凝土结构施工的费用和劳动量中占有较大的比重，其主要施工方案和措施常是整个工程施工中的关键；模板工艺中各种结构的连接方式、施工设备、施工方法的优选和改进都在发展之中，并且与之相关的设计计算、施工的组织与管理的方法也在发展之中，是新材料、新结构、新技术、新工艺不断出现、应用和正在发展的重要领域。

(4) 模板工艺决定着混凝土的总费用。模板工艺就其应用范围和费用两方面来说，都是混凝土施工中的一个十分重要的组成部分。模板工艺的费用往往超过混凝土的费用；对于有些结构，模板工艺的费用甚至超过混凝土和钢筋费用总和。

第一节 模板材料的种类与性能

混凝土结构所用的模板材料包括木材、覆（复）面木胶合板、覆（复）面竹胶合板、钢材、铝合金、塑料、玻璃钢、预制混凝土薄板、压型钢板以及带孔并内衬特殊织布的透水模板等。此外，还有一种以纸基加胶或浸塑制成的不同直径和厚度的圆形筒模和半圆筒模，可锯割成需要长度使用，用于在墙板中设置各种管径的预留孔道和构造圆柱模板。辅助材料包括钉子、螺栓、螺钉、模板拉杆、锚固件及其他配件。

模板材料应当具有下列特性：

- (1) 足够的强度；
- (2) 足够的刚度；
- (3) 表面光滑；

(4) 经济性 (考虑初始费用和重复使用次数)。

一、钢模板

钢模板有两大类,一类是组合钢模板,另一类是大模板。钢模板的使用范围有混凝土墙,现浇的混凝土渠道,混凝土墩、柱,混凝土隧道的内衬,混凝土坝,预制混凝土构件及装饰混凝土。

钢模板的优点是有足够的刚度和强度。如果有适当的搬运设备,则钢模板的安装、拆除、移动及重新安装都能迅速进行。使用钢模板成型后的混凝土表面光滑,并且该模板可重复使用多次,非常经济。

钢模板也有一些缺点,如果重复使用次数不多,则费用昂贵;在寒冷气候下浇筑混凝土时,钢模板如不采用专门的预防措施,其保温性能很差。

1. 组合钢模板

组合钢模板 (也称组合小钢模) 自 20 世纪 70 年代引进我国并大力推广应用以来,获得了迅速而巨大的发展,我国生产的组合钢模规格品种已达 125 种以上、年生产能力达 800 万 m^2 以上,施工企业和模板租赁业的组合钢模拥有量已达 1 亿 m^2 左右,已成为我国现浇混凝土结构模板工艺中的主导模板。

(1) 材质。采用厚 2.3~2.5mm 的 Q235 钢板冲压成槽板后再加焊肋板而成。

(2) 分类。有平面模板、阴角模板、阳角模板和连接角模四种类型,如图 1-1 所示。

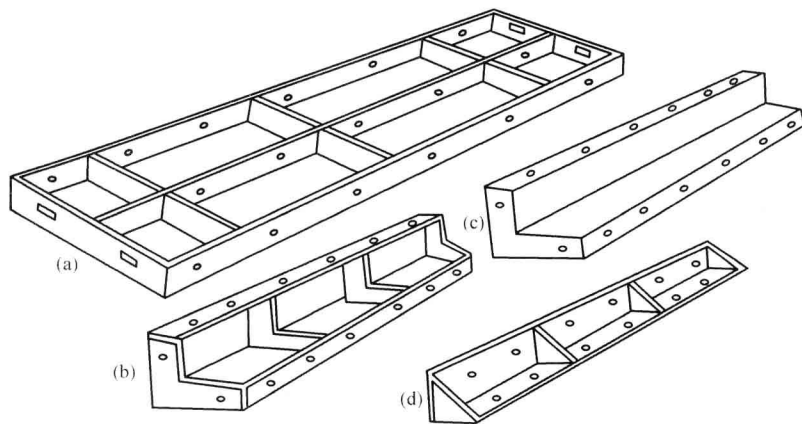


图 1-1 组合钢模的模板类型

(a) 平面模板; (b) 阴角模板; (c) 阳角模板; (d) 连接角模

(3) 规格。

1) 平面模板的基本规格为厚 50mm, 长度 l_a 以 450mm 为基数、按 150mm 进级, 即 $l_a = 450 + 150n$ (mm, 其中 $n = 0, 1, 2, 3 \dots$), 宽度 $l_b = 100 + 50n$ 。

2) 阴角模板为 100mm×100mm 和 150mm×150mm。

3) 阳角模板为 100mm×100mm 和 50mm×50mm。

4) 连接角模为 50mm×50mm。

(4) 连接件。

1) U 形卡: 用于模板拼接, 间距应不大于 300mm, 可每隔一个孔设卡。

- 2) L形插销：插入相邻模板端部横肋的插销孔，用以增强模板纵向的拼接刚度。
 - 3) 钩头螺栓：用于模板与内外连杆的连接固定，间距一般不宜超过 600mm。
 - 4) 对拉螺栓：用于连接柱、梁和墙壁两侧模板，规格较多，直径有 $\phi 12$ 、 $\phi 14$ 、 $\phi 16$ 和 $\phi 18$ 等，可根据设计要求选用。
 - 5) 碟形扣件：用于矩形截面连杆与模板或连杆之间的扣紧。
 - 6) 弓形扣件：用于圆钢管连杆与模板或连杆之间的扣紧。
- 组合钢模的组合构造和连接件如图 1-2 所示。

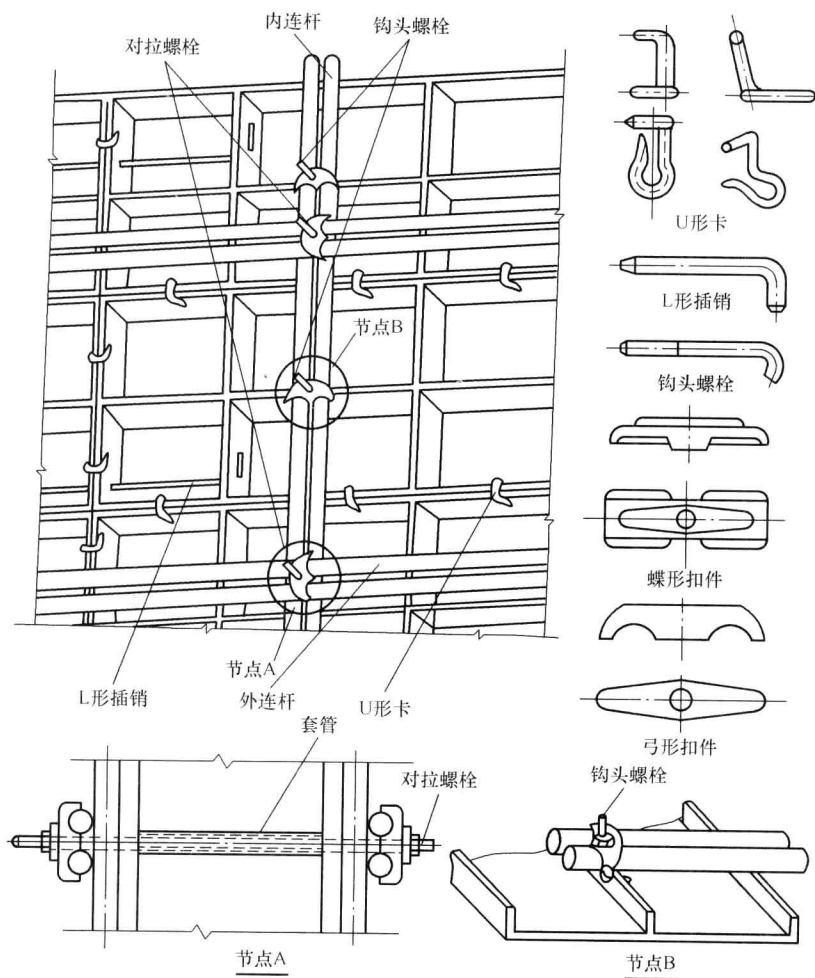


图 1-2 组合钢模的组合构造和连接件

2. 大模板

大模板通常用于各类混凝土墙体的施工，材料有普通碳素钢和低合金钢，通常面板采用 4~5mm 厚的钢板，横肋用 $\square 6.5 \sim \square 8$ 的槽钢、间距 300~400mm，竖肋为 2 根 $\square 8$ 槽钢，间距 1000mm 左右，小肋用 $\angle 60 \times 6$ 的角钢、间距 400~500mm。

大模板施工具有速度快、机械化程度高、劳动强度低等显著优点，确保大模板具有足够的刚度（保证在周转使用中不变形）和接缝平整、紧密是其技术关键。大模板的一次投入较大，因此必须科学地划分施工流水段，以期用最少的模板配置量达到施工的要求。

二、木模板

木模板由面板和支撑系统组成。面板是使混凝土成形的部分，支撑系统是稳固面板位置和承受上部荷载的结构部分。模板的质量关系到混凝土工程的质量，关键在于尺寸准确，组装牢固，拼缝严密，装拆方便。应根据结构的形式和特点选用恰当形式的模板，才能取得良好的技术经济效果。木模板中基础模板采用松木板，地梁侧板厚度为 20mm；主体梁底模板也采用松木板，底模板厚度为 40mm；柱模板及楼层模板采用机制木模板，模板厚度为 12mm；支撑系统采用杉原木，小头直径不小于 70mm，拉接采用小方木规格 400mm×500mm，其中底层支撑系统为钢管支撑。木模板及支撑系统不得选用脆性、严重扭曲和受潮变形的木材。

模板工艺中使用的木模板一般承受一种或多种应力，包括受弯纤维应力、顺纹受剪应力、横纹及顺纹承压应力。木材能够承受应力的能力，要根据木材品种、木材等级、荷载持续时间及木材含水率等确定。

三、覆面木、竹胶合板

覆面胶合板是在传统的木模板的基础上，采用覆面胶合板替代需要刨光、涂脱模剂的木模板。其采用克隆木、柳安、桦木、马尾松、云南松、落叶松等树种的 5~11 层（均为单数）单板，厚 1.5~4.0mm，按邻层板纹理方向相互垂直、以酚醛树脂胶粘剂胶合并经热压固化而成，覆面胶合板具有高耐气候、耐水性等特性。

对胶合板技术性能的要求主要有胶合强度、弹性模量和静曲强度三项。根据母材的不同，其胶合强度一般为 0.7~1.0MPa，桦木的胶合强度较大，一般大于 1.0MPa；弹性模量为 3500~4500MPa；静曲强度为 25~35MPa。我国生产的模板用木胶合板基本上仍按英制标准，幅面主要有 3'×6' 和 4'×8' 两种，还有 3'×7' 和 4'×6'，厚度则有 12、15、18mm 和 20mm。

竹材具有良好的力学性能（一般顺纹抗拉强度约为 180MPa，为杉木的 2.5 倍和松木的 1.5 倍左右；顺纹抗拉强度为 60~80MPa，是杉木的 1.5 倍和松木的 2.5 倍；静弯曲强度为 150~160MPa）。用竹材制作的胶合板面板用 1~2 层木单板，兼具木胶合板表面平整的优点，采用酚醛树脂胶热压胶合而成。模板用竹胶合板的厚度为 9~18mm，常用厚度为 12mm 和 15mm 两种，对其表面采用酚醛树脂涂料涂面、环氧树脂涂面或瓷釉涂料涂面等方法进行处理。

四、木塑模板

木塑即木塑复合材料，是国内外近年蓬勃兴起的一类新型复合材料，指利用聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等代替通常的树脂胶黏剂，与 35%~70% 以上的木粉、稻壳、秸秆等废植物纤维混合而成的木质材料，再经挤压、模压、注射成型等塑料加工工艺，生产出的板材或型材。主要用于建材、家具、物流包装等行业。将塑料和木质粉料按一定比例混合后经热挤压成型的板材，称之为挤压木塑复合板材。

木塑建筑模板是代替钢模板和竹木胶板的新颖模板。具有质量小、抗冲击强度大、拼装

方便、周转率高、表面光洁、不吸湿、不霉变、耐酸碱、不开裂、板幅大、可锯、可钉、可加工成任何长度等诸多优点，并可反复回收利用。此外，还具有优良的阻燃性能、离火自熄、无烟、无任何毒气等特点，是新一代安全绿色环保节能型产品。

五、各类模板的比较

大钢模板、木模板、覆面胶合板及木塑模板相比具有各自的优缺点，为了较合理地选择模板方案，应从工人的技术水平、结构构件成型的表观尺寸、材料性能指标、环境保护、施工周期、适用范围、价格等多方面选择最佳模板方案。

1. 应用范围

大钢模板、传统木模板、胶合板及木塑模板均可适用于不同的工程规模、结构形式和施工工艺；但是特殊结构钢模板可根据需要制作成各种形式的构件实际尺寸，如圆形柱、穹顶结构等，适用性优于普通模板。在生产混凝土制品时，钢模板通常用于产量较大的定型产品，木模板用于小批量的零星、异型制品的台座法生产。

2. 吊装工作量

大钢模板质量大，在整个模板安装及拆除期间一直需要吊车辅助作业，所花费的机械台班数量大；木模板、胶合板和木塑模板质量较小，仅使用人工就可以进行模板的安装工作，几乎不需要使用吊车就可作业。

3. 混凝土结构尺寸

钢模板加固系统，部件强度高，组合刚度大，板块制作精度高，拼缝严密，不易变形，混凝土结构尺寸准确，表面光洁；木模板、胶合板和木塑模板部件强度较低，组合刚度相对较小，板块制作精度高，拼缝严密，混凝土结构尺寸准确，表面光洁。但现场施工过程中木模板加固体系普遍变形比钢模板大。大钢模板的抗弯、抗剪强度较高，挠度变形小，与普通木模板相比具有较大的优势。综合比较可发现，在混凝土尺寸控制、外观质量的美观程度等方面大钢模板优势大于普通木模模板。

4. 工人技术水平

大钢模板常用于北方，南方地区模板加固体系一般为普通木模板，北方区域工人对大钢模板的技术水平及实际应用相对较成熟，南方地区大钢模板应用较少，工人技术水平及实际应用经验相对欠缺。

5. 使用灵活性

大钢模板使用时必须按预定设计钢模模数施工；普通木模板使用较灵活，没有模数的限制，可以按要求加工。在施工过程中如发生设计变更或短墙肢数量较多，剪力墙异形截面变化导致的长度变化等，都会影响施工。综合分析普通木模板优势比较明显。

6. 周转次数、损耗及价格

大钢模板工厂预制化加工，损耗较小，周转次数较多，但综合单价高于普通木模板；普通木模板使用的次数相对少，在加工的过程中有一定损耗，但综合单价与大钢模板相比仍具有较大的优势。进行完循环回收折算后，木塑模板的价格优势比较明显。一次性投入方面，木塑模板比钢模板的投资少，并且在折算后的最终价格方面，又比胶合板、竹胶板、木板大幅度减少。其中，以PVC为基材的木塑模板的成本最低，其力学性能也完全满足建筑模板的要求。常见模板的经济指数分析见表1-1。

表 1-1

常见模板的经济指数

模板类型	规格 (mm)	价格 (元/块)	面积 (m ²)	周转次数 (次)	单位面积 价格 (元/m ²)	单次费用 (元/m ²)	折算价格 (元/m ²)
钢模板	—	—	—	50	167	3.34	3.34
钢框模板	—	—	—	35	130	3.71	3.71
竹胶板	1220×2440×(12~18)	90~150	2.98	4~6	30~50	7.33	7.33
木胶合板	915×1830×(12~18)	45~90	1.67	3~4	27~54	8.98	8.98
木模板	1220×2440×(9~20)	48~85	2.98	2~3	16~28	8.75	8.75
PE 基	—	—	0.48	25	110.4	4.42	2.94
PP 基	—	—	0.48	25	108.2	4.33	2.89
PVC 基	—	—	0.48	25	91.7	3.67	2.45
PS 基	—	—	0.48	25	123.98	4.96	3.31

7. 施工进度

根据施工经验普通木模板平均 5.7m²/(人·工日)，大钢模板平均 3.4m²/(人·工日)，大钢模板与普通木模板在投入同样的劳动力、同样的工程量下，普通木模板具有优势。

目前，国内混凝土施工的模板多使用木材、竹（木）胶合板作面板，但木材的大量使用不利于保护国家有限的森林资源，而且周转使用次数少的不耐用的木质模板在施工现场将会造成大量建筑垃圾，应引起重视。为符合环保的要求，应提倡“以钢代木”，即提倡采用轻质、高强、耐用的模板材料。

第二节 脱 模 剂

为了保证混凝土构件或制品具有设计所要求的表面质量，减轻拆模工作的劳动量，提高劳动生产率和减少模板的损耗，除了改进模板结构之外，常采用脱模剂（也称为隔离剂）来降低模板与混凝土之间的粘接力，这对形状复杂的制品尤为重要。

一、对脱模剂的技术要求

脱模剂应能有效减小混凝土与模板间的吸附力，并应有一定的成膜强度，且不应影响脱模后混凝土表面的后期装饰。为了保证混凝土脱模剂的质量，《混凝土制品用脱模剂》(JC/T 949—2005)对混凝土脱模剂性能提出了技术要求。

1. 基本要求

产品的安全性非常重要，脱模剂在使用过程中不应应对操作者和周围环境造成危害，也不应对混凝土表面及混凝土性能造成危害，应无毒、无刺激性气味。

2. 匀质性

匀质性包括密度、黏度、pH 值、固体含量和稳定性等指标。

(1) 密度。多数脱模剂的密度在 1g/cm³ 以下，同一产品的密度与固体含量有一定的对应关系，在进行检测时测试密度比测试固体含量更简便。

(2) 黏度。黏度指标表示脱模剂的可涂刷性能，通常有两种测定方法。一般采用《涂料黏度测定法》(GB 1723—1993)中使用的涂-4 黏度计法，也有采用《胶黏剂黏度的测定》

(GB/T 2794—1995) 中规定的回转黏度来测试黏度, 该方法比较复杂, 一般单位不具备试验条件。

(3) pH 值。脱模剂 pH 值一般为 7~9, 金属皂类的 pH 值稍低些, 为 6~7。脱模剂原料一般都不含强碱或强酸, pH 值适中; 皂化油类用碱皂化, pH 值稍高些, 如果 pH 值太高, 则可能是皂化不完全或碱超标, 将影响稳定性和脱模效果。pH 值应为生产厂控制值 ± 1 , 以防止质量波动。

(4) 固体含量。固体或液体产品都含有一定水分, 可以按含固量指标来表示水分的多少, 称为固体含量。控制该指标是为了保证产品的均匀稳定。

(5) 稳定性。固体脱模剂比较稳定, 液体脱模剂(如乳化油类)在一定条件下会破乳。无论固体还是液体脱模剂稀释至使用浓度后均匀性都将有所下降, 为保证使用时脱模剂的质量, 要求原液脱模剂在 5~40℃下稀释至使用浓度的固体或液体脱模剂, 在 24h 内无分层离析, 能保持均匀状态, 以此作为稳定性指标。

3. 施工性能

施工性能包括干燥成膜时间、脱模性能、耐水性能、对钢模板的锈蚀作用和极限使用温度等指标。

(1) 干燥成膜时间。脱模剂涂刷在模板上, 经过一定时间后在模板表面干燥成膜, 成膜后再浇筑混凝土才能保证脱模效果。乳化油类、石蜡类及金属皂类脱模剂干燥成膜时间都不相同, 但基本都为 10~50min。

(2) 脱模性能。脱模性能是脱模剂施工性能的重要指标。脱模剂质量通过脱模效果的好坏来体现, 仅以能顺利脱模、保持混凝土棱角完整无损、表面光滑还不够, 应有定量指标, 标准规定以混凝土黏附量指标评定。

(3) 耐水性能。混凝土制品大多在室内生产, 但也有些在露天生产。如果模板涂刷脱模剂后, 被雨水浸湿, 有可能影响脱模效果。耐水性能表示成膜后的耐水性, 是混凝土制品露天生产时使用的脱模剂的必检指标。室内生产混凝土制品使用的脱模剂可不对耐水性能进行检验。

(4) 对钢模板锈蚀作用。用于钢模的脱模剂应对钢模板无锈蚀危害。

(5) 极限使用温度。脱模剂有一定的使用温度范围, 比如乳化油类脱模剂在负温下会结冰, 使脱模剂破乳。混凝土制品大多使用蒸汽养护, 温度高达 90℃以上, 有些脱模剂在这么高的温度下性能会发生变化, 影响混凝土的质量。

二、脱模剂的脱模机理

混凝土制品的脱模是克服模板和混凝土之间的黏结力或自身内聚力的结果, 脱模剂一般通过下列三种功能起到此种效果。

1. 机械润滑作用

纯油类脱模剂涂于模板后, 在模板与混凝土之间起机械润滑作用, 从而克服混凝土与模板之间的黏结力而达到脱模效果。

2. 隔离膜作用

含成膜剂的乳化油脱模剂、溶剂类脱模剂和树脂类脱模剂等, 涂于模板后, 迅速干燥成膜, 在混凝土和模板之间起隔离作用而达到脱模效果。

3. 化学作用

含脂肪酸等化学活性成分的脱模剂，涂于模板上后，首先使模板具有憎水性，然后与模内新拌混凝土中的游离氢氧化钙或氢氧化铝等起皂化反应，生成具有物理隔离作用的非水溶性皂，既起到润滑作用，又能阻碍或延缓模板接触面上很薄一层混凝土凝固。拆模时混凝土和脱模剂之间的黏结力往往大于表面混凝土内聚力，从而达到脱模效果。

三、脱模剂的分类与性能

脱模剂按外观可分为固体粉末、溶液、乳液和膏体四种；按制备工艺可分为皂化类、乳化类、溶剂类及复合类；按作用效果可分为一抹一用型（涂刷一次可脱模一次）及长效型（涂刷一次可脱模数次）；按主要原材料可分为油类（包括纯油类及其皂化—乳化后产品）、蜡和乳化蜡类、石油基类（通常混含有石蜡、有机硅树脂、合成树脂及非水溶性皂等成分）、化学活性类、树脂类等。现将我国常用的几类脱模剂及其性能阐述如下。

1. 纯油类脱模剂

纯油类脱模剂指矿物油、动物油（虫及植物油等），常用的有机油、柴油、煤油、牛油、猪油及棉籽油、茶油、菜油和蓖麻油。其特点如下：

（1）脱模性能好，使用方便，不受气温影响，不怕雨淋。

（2）对钢模无锈蚀作用，适用于各种材料制成的模板。

（3）纯油类脱模剂会使混凝土表面出现更多疵孔、色差和油迹，影响混凝土表面的装饰效果。

（4）过量后会渗入混凝土内污染钢筋，影响握裹力，同时会与游离碱起皂化反应而使混凝土表面粉化，降低混凝土耐久性。

（5）对操作者污染大。

2. 水质类脱模剂

水质类脱模剂系指用皂角、石灰水、滑石粉、脂肪酸钠皂、海藻酸钠等原料制成的脱模剂。其特点如下：

（1）配制简单，使用方便，货源充足，成本低。普遍用于预制构件的底模、胎模等，有较好的脱模性能。构件表面平整光洁无油污，不影响装饰效果。

（2）掺有滑石粉的脱模剂，粉尘大，劳动条件差。

（3）呈碱性的脱模剂（如海藻酸钠），长期使用会使钢模板锈蚀。

（4）水质类脱模剂涂刷后要避免雨水冲刷，雨季露天施工时慎用。

（5）负温下易冻结，不宜使用。

3. 乳化油类脱模剂

乳化油类脱模剂大都采用石油隔离润滑材料、乳化剂、成膜材料、稳定剂、防腐防锈剂及消泡剂等助剂乳化而成。可分为油包水型和水包油型。美国广泛使用前者，而我国则大量采用后者。其特点如下：

（1）制备简单，价格低廉，易施工（可涂刷或喷涂），易清模。

（2）脱模效果好，构件外观光洁，不影响装饰效果。

（3）模板不锈蚀，钢筋、混凝土表面及操作者不受污染。

（4）有一定耐雨淋能力，但不如纯油类和油包水型乳化油类脱模剂。

(5) 负温下慎用。

4. 溶剂型脱模剂

溶剂型脱模剂由金属皂（如脂肪酸铅皂和癸酸铅等）或石蜡用溶剂（如汽油、煤油、苯、松节油和柴油等）溶制而成。其特点如下：

- (1) 适用于钢模、木模，冬夏使用皆宜。
- (2) 脱模效果好，有耐水冲刷能力。
- (3) 能源材料成本高。
- (4) 对混凝土表面有一定污染。

5. 纸浆废液类脱模剂

纸浆废液类脱模剂是用造纸产生的废液，少量水和机油调制而成，属亲水性表面活性剂，pH 值在 14 左右，黏性大，与水泥中氢氧化钙等碱性物质不发生反应。其特点如下：

- (1) 脱模效果好，容易清模，不影响装饰效果。
- (2) 利废，减少碱法造纸厂的污染。
- (3) 粗制纸浆废液（粗妥尔油）不溶物多，并有强烈刺激性臭味，精制妥尔油价格昂贵，不易推广。

6. 树脂类脱模剂

树脂类脱模剂是由甲基硅树脂、不饱和聚酯树脂、环氧树脂加上固化剂制成的脱模剂，具有如下特点：

- (1) 脱模效果好。
- (2) 涂一次可连续脱模 3~5 次，有的可达 10 次，如不饱和聚酯树脂和硅油脱模剂。
- (3) 价格昂贵。
- (4) 清模较为困难。
- (5) 有的产品有微毒。

第三节 模板的施工

一、作用于模板体系上的荷载

对作用于模板支架上荷载的研究是模板支架设计的基础，模板支架是否稳定在很大程度上取决于所承受的荷载，国内对模板支架设计荷载的依据是《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666—2011)，它规定了模板支架设计时应考虑的荷载类型、荷载分项系数、大小以及荷载组合原则，在设计模板及其支架时应考虑下列各项荷载：

- (1) 模板及其支架自重；
- (2) 新浇混凝土自重；
- (3) 钢筋自重；
- (4) 新浇混凝土对模板侧面产生的压力；
- (5) 施工人员及设备自重；
- (6) 混凝土下料产生的水平荷载；
- (7) 泵送混凝土或不均匀堆载等因素产生的附加水平荷载；
- (8) 风荷载。

模板及支架承载力计算的各项荷载可按表 1-2 确定，并应采用最不利的荷载基本组合进行设计。

表 1-2 参与模板及支架承载力计算的各项荷载

计算内容		参与荷载项
模板	底面模板的承载力	(1)~(3)、(5)
	侧面模板的承载力	(4)、(6)
支架	支架水平杆及节点的承载力	(1)~(3)、(5)
	立杆的承载力	(1)~(3)、(5)、(8)
	支架结构的整体稳定	(1)~(3)、(5)、(7)

二、混凝土对模板的侧压力

1. 侧压力

新浇混凝土对模板侧面的压力（简称混凝土侧压力），是入模后具有一定流动性的新浇混凝土在浇筑、振捣和自重的共同作用下，对限制其流动的侧模板所产生的压力。

我国在 20 世纪 60 年代，由水利部门首次在大坝混凝土施工中对混凝土侧压力进行了大量的试验研究，提出了大体积混凝土侧压力的计算公式；在 70 年代~80 年代初期，相继进行了滑模、大模板、泵送混凝土等情况下的混凝土侧压力的测试，获得了大量试验数据，也分别提出了相应的计算公式，并相应确定和调整了纳入《混凝土结构工程施工及验收规范》的计算公式。

2. 混凝土侧压力与影响因素的关系

混凝土由拌和物到硬化体是混凝土内部两种作用的结果。第一种作用是水泥凝结硬化的结果，在良好条件下水泥可以在混凝土拌制后 30min 内开始凝结，这一作用可以延续数小时，第二种作用是混凝土骨料之间内摩擦力的发展，这种内摩擦力限制骨料彼此自由移动。干混凝土的内摩擦力较湿混凝土大，内摩擦力随着混凝土中的水分减少而增加。混凝土从塑性状态变为固体状态的速度，将明显地影响混凝土对模板的侧压力。

混凝土对模板的侧压力，主要由以下几个因素确定：

(1) 侧压力随着混凝土浇筑速度的提高而增大。大多数研究者认为混凝土的最大侧压力 F 与浇筑速度 v 之间呈幂函数关系，即 $F = kv^n$ ，但对 n 的取值则有 1 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 和 $\frac{1}{4}$ 等多种，如图 1-3 所示。

(2) 侧压力随混凝土温度的降低而增大。在一定的浇筑速度下，混凝土的侧压力与其温度成反比关系，如图 1-4 所示。这是因为混凝土的凝结时间随温度的降低而延长，从混凝土浇筑层面至最大压力处的高度（ h ）加大， h 称为有效压头，并且 $h = F/\gamma$ ， F 为最大侧压力， γ 为混凝土的重力密度（ kN/m^3 ）。

(3) 机械振捣比手工捣实的侧压力大。试验表明，机械振捣的混凝土侧压力比手工捣实约增大 56%。

(4) 侧压力随坍落度的增大而增大。当坍落度从 70mm 增大到 120mm 时，其最大侧压力约增加 13%。

(5) 侧压力受外加剂的影响明显。混凝土外加剂多对混凝土的凝结速度和稠度有调整作

用,从而影响到混凝土的侧压力。

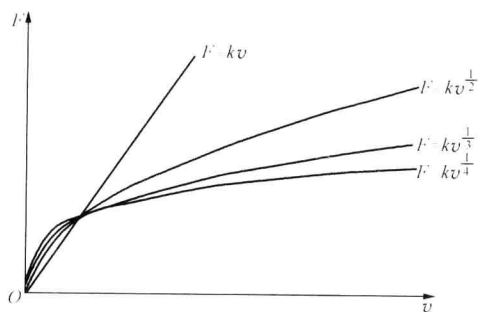


图 1-3 最大侧压力与浇筑速度的关系

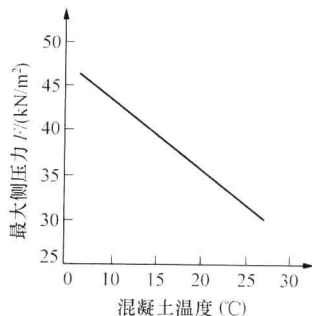


图 1-4 温度与混凝土侧压力关系

(6) 侧压力随混凝土自重的增加而增加。除以上几个方面的影响以外,模板表面的粗糙程度、结构件尺寸,即是否产生内部拱效应也会影响其侧压力。但因工程中多采用表面较为光滑的钢模板、覆(复)面胶合板模板以及在机械振捣作用下,其拱效应难以形成或者作用甚小,因而可以忽略。

虽然不同水泥的初凝时间相差显著(1~4h),但在温度、配合比基本相同时,其配制的混凝土的初凝时间差别不大,故水泥品种对混凝土侧压力的影响也可忽略。

3. 混凝土侧压力的计算公式

侧压力是模板设计荷载中必须充分计算而又难以在施工中准确控制的参数,因此,需要了解有关试验的情况和不同计算公式之间的差异,以便可以根据工程的具体情况,在遵守我国现行相关标准规定的基础上,根据需要适当提高其侧压力的设计值,以确保施工的质量和安要求。

(1) 混凝土侧压力的分布。混凝土侧压力的测试一般采用压力盒,按每隔 150~300mm 的间距设于侧模板上,并与模板表面齐平。虽结构类型、一次浇筑的高度和浇筑速度有所不同、甚至差别较大,但侧压力分布曲线的走势基本相同,即从浇筑面向下至最大侧压力处,基本遵循流体静压力的分布规律,达到最大值后,侧压力就随即逐渐减小或维持一段稳压高度后逐渐减小,压力图形对浇筑高度呈如图 1-5 所示的山形或梯台形分布。当将其图形简化为侧三角形或侧梯台形后,将从浇筑层面至最大压力处的高度 h 称为有效压头,并且 $h = F/\gamma$ 。

(2) 我国标准对混凝土侧压力的计算公式。《钢筋混凝土工程施工及验收规范(2010 版)》(GB 50204—2002)中对混凝土侧压力的计算是以流体静压力原理为基础,并综合考虑泵送和初凝时间等有关因素而建立的,计算公式为

$$F = 0.22\gamma t_0 K_S K_W v^{\frac{1}{2}} \quad (1-1)$$

式中 γ ——新浇混凝土的表观密度, kN/m^3 ;

t_0 ——根据有关资料用回归方程得到的混凝土的初凝时间, $t_0 = \frac{200}{T+15}$ (T 为混凝土温度)。