

热拌混凝土

李桂春 何肇弘

中国建筑工业出版社

5762

10715
1

热 拌 混 凝 土

李桂春 何肇弘

中国建筑工业出版社

本书系统介绍了热拌混凝土的国内外发展概况、机理、主要生产设备、生产工艺、性能、工艺参数的控制、调节和制品的质量检验以及所存在的问题。

本书可供大专院校师生、工程技术人员以及混凝土试验研究人员参考。

热 拌 混 凝 土

李桂春 何肇弘

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市密云县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 5³/₈。字数: 120 千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数: 1—8,700 册 定价: 0.60元

统一书号: 15040·4254

前 言

从1974年召开“热拌混凝土交流会”以来，天津、北京、武汉、山西、甘肃、无锡等地，先后对热拌混凝土新工艺进行了探索性试验和小批量生产。试验证明：混凝土原材料在强烈搅拌的同时用蒸汽加热，使混凝土拌合物在热状态下浇注成型，再进行快速养生，这不仅可以取消混凝土热养生时的静停时间，还可加快升温速度和缩短恒温时间。如果再采用其它的综合技术措施，则可使目前国内混凝土热养生周期从十几个小时缩短至5~8小时。这是当前一项加速混凝土硬化的新工艺，也是国外预制厂加速模板周转，缩短构件的生产周期，提高劳动生产率所采用的先进技术措施之一。

为了系统地介绍国外热拌混凝土的研究和生产情况，使我们能够因地制宜地学习外国的先进技术。同时，也为了总结国内试验的情况，特编写此书，以供有关科研、生产和教学等单位参考。

几年来，冶金工业部建筑研究总院情报资料室、北京市建工局建筑工程研究所情报室和中国建筑科学研究院情报所等单位翻译了许多有关国外热拌混凝土工艺和热搅拌机的技术文献，为本书提供了宝贵的资料。同时，我们又参考了有关出国考察报告及其它有关文献。国内情况主要以冶金工业部建筑研究总院（冶建院）在现场所做的板材试验为据，并参考了国内其他各地的试验情况。

由于热拌混凝土在国内还是一项新工艺，同时在生产中

使用的时间较短，实践经验不多，收集资料不广，加上我们的知识面窄，写作水平低，因此书中难免有各种谬误和不妥之处，恳请读者批评指正。

在编写此书的过程中，得到了天津大学刘巽伯老师，冶金工业部建筑研究总院柳春圃工程师以及开滦煤矿工程处王保安工程师的帮助和指教，在此表示深切的谢意。

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 国外发展概况	2
第二节 热拌混凝土的优越性和应用范围	9
第二章 热拌混凝土的机理	12
第三章 主要机械设备	16
第一节 各种形式的混凝土热搅拌机	16
第二节 热模板	40
第四章 生产工艺	45
第一节 国外生产工艺	45
第二节 国内试验情况	54
第三节 冬季施工	69
第四节 工程实例	71
第五节 热拌混凝土工艺参数的分析和计算	82
第五章 热拌混凝土的各种性能	103
第一节 混凝土拌合物的性质	103
第二节 物理力学性能	107
第三节 强度发展规律	116
第六章 采用综合技术措施缩短养护周期	128
第七章 热拌轻骨料混凝土的性能	134
第一节 轻骨料混凝土热拌合物的性能	134
第二节 强度特性	137

第八章 工艺参数的控制和质量检验.....	142
第一节 工艺参数的控制和调节	142
第二节 制品的质量检验	149
第九章 热拌混凝土存在的问题	152
附录一、西德混凝土热拌工艺的使用规程	154
附录二、“日本神户市建筑工程一般标准”摘录	159
附录三、日本《混凝土手册》摘录	160
主要参考资料	163

第一章 概 述

第二次世界大战以后，许多国家的城乡建设速度不断地增长，预制装配化程度也在逐年提高，因此，对各种类型的混凝土和钢筋混凝土预制构件的需求量日益增多，有供不应求之势。特别是最近十几年来，随着各国建筑工业化的发展，各种固定式和移动式、自动化和半自动化的混凝土和钢筋混凝土预制构件厂迅速建立起来。目前，预制构件的使用范围很广，几乎所有的承重、非承重构件和特种构件都能以预制方式生产。尤其是我国，在实现四个现代化的社会主义建设中，国家在发展生产的基础上必将逐步提高人民的生活水平。为了加快房屋建设速度，装配式混凝土和钢筋混凝土预制构件在工业与民用建筑中一定会得到越来越广泛的使用。

由于世界上混凝土和钢筋混凝土预制构件的大量生产，预制技术和工艺水平发展很快。为了不断地提高预制构件厂的生产效率，国内外有关技术人员都已经意识到：在保证构件质量的前提下，加速混凝土的硬化，缩短构件的热养生周期，提高台座、模板的周转率已经成为挖掘现有企业的生产潜力，提高产量的一个极其重要的环节。为此国内外许多科研单位和生产现场，围绕着如何加速混凝土硬化的问题制定了一系列物理、化学和机械等方法，以期提高早期脱模强度，大幅度地缩短养生周期，实现增加产量和提高企业设备利用率的目的。

自从六十年代初，国际上召开了混凝土预制构件加速硬化方面的讨论会以来，加速混凝土硬化的方法很多，其中热拌混凝土（国外亦称热混凝土或预热混凝土）就是一项工艺简单、行之有效的新技术。

第一节 国外发展概况

热拌混凝土是以向搅拌机喷射蒸汽的加热方式，促使混凝土早期硬化的新工艺。即混凝土原材料在密闭的强制式搅拌机中进行激烈搅拌的同时，喷入一定压力的饱和蒸气，使混凝土拌合物在搅拌过程中同时受热，温度升高。混凝土拌合物出料以后的温度（也称搅拌温度）一般可达 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，甚至更高些（冬季施工时现浇混凝土拌合物的温度可以低些）。热的混凝土拌合物经过快浇快振后，可以取消静停时间，直接进行保温或快速升温。恒温降温时间也可以适当地缩短。从而大大缩短了混凝土和钢筋混凝土构件的热养生时间。

这项新工艺于1964~1965年由丹麦“托玛斯·斯密特”（Thomas·Schmidt）公司首先在板材生产中研究和使用的，因此也称T·S公司方法。日本和苏联于1970年前后开始正式使用这项技术。同时，波兰、西德、英国、法国、奥地利和加拿大等国也开始采用。除丹麦以外，日本、苏联和西欧一些国家在生产中使用较多。

丹麦的装配式板材建筑比较发达，也是世界上建筑技术的主要输出国之一。近年来，新材料、新工艺和新的结构体系等不断地涌现。如：丹麦豪格与休兹（Højgaard·Schultz）工厂（即H·S工厂）于1950年投产，是目前该国三大预制厂

商之一。

1979年秋季，该厂工程技术负责人曾来我国访问，在北京、天津召开的技术座谈会上，介绍了有关丹麦H·S建筑体系的情况。其中，它的预制构件厂除挤压成型的预应力空心楼板外，均采用了热拌混凝土。该厂采用快硬水泥，混凝土拌合物的出料温度为 50°C ，喷气压力为1公斤/厘米²，每盘料喷气时间约40秒钟，混凝土强度400~500公斤/厘米²，经过大约4小时的热台座保温养生，强度达到100~150公斤/厘米²。约为设计标号的1/3。能做到每套模板在两班生产中浇灌3次，生产周期为5个小时。

在斯堪的纳维亚半岛最大的城市——哥本哈根郊区的Modulbeton工厂和L-N工厂（Larsen·Nielsen）都是丹麦推行工业化施工的主要厂商。该厂使用的混凝土由集中搅拌站供应、在搅拌机上装备有自动控制的蒸汽喷射系统以拌制热混凝土。

1968年，日本也开始向国内介绍这种方法。后来，关西第二预制厂向丹麦引进了热混凝土技术设备进行试用。日本住宅公团（国家投资经营的垄断机构）是日本混凝土预制系统的权威。到73年为止，它认为许可的63家有代表性的预制厂商中已有47家安装了热拌混凝土专用设备——热搅拌机，占总数的74%。最近几年，日本新建的混凝土预制构件厂中几乎都安装了热搅拌机。此外，在现有的工厂中，改装搅拌机的厂家也在增多。目前，在日本，制造和出售热搅拌机的企业至少有4个，其中两家出售本国产品，另外两家出售西德产品。各企业经营的产品，蒸气喷射的构造和控制方式各不相同，但其工作原理大体一致。

日本五大建筑公司之一的“大林组”，于1973年在京都

地区新建一个钢筋混凝土预制构件厂，即大林组京都PC工厂（固定式），采用全自动控制的搅拌楼。搅拌楼装备有1500升密闭的强制式热搅拌机一台。搅拌每盘混凝土的蒸汽用量为20公斤，混凝土拌合物温度为 55°C ，蒸汽压力为 0.8 公斤/厘米²。此外，如日本60年代发展起来的藤田工业株式会社PC工厂（固定式），是比较典型的中小型预制构件厂，采用塑性混凝土，工厂自设混凝土搅拌楼一座，结构和京都PC工厂类似，其平模生产线的特点之一就是使用蒸气进行热搅拌和预热养护、混凝土出罐温度为 50°C ，震动成型后送到预热室进行40分钟的预热养护（温度 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）和精修，然后再进行3小时的蒸汽养护，热养护总周期为3小时40分，7天后就可以出厂使用。

“大成建设”为现场性混凝土预制厂，厂内不设搅拌楼，全部混凝土由商品混凝土搅拌站集中供应，没有使用热拌混凝土。看来，日本国内对热拌混凝土技术使用较多，但大多数局限于固定式的预制构件厂，商品混凝土热拌只限于冬季施工。

波兰的情况与日本类似，几乎所有的固定式预制厂都采用了蒸汽喷射的热拌混凝土新技术。它间接反映了东欧各国的概貌。例如：波兰著名的卡托维兹房屋工厂和克拉科夫房屋工厂，是1974~1975年的新建厂，一部分生产线是由丹麦托玛斯·斯密特公司引进的全套设备。房屋工厂中的搅拌站安装有专门的热搅拌机，自动化程度很高，搅拌机是一般中间进气式的强制式混凝土热搅拌机（只有华沙混凝土研究中心才有一台进口的自动控制稠度的强制式搅拌机），搅拌后的热混凝土，由快速天车分送到各条生产线的浇灌车内进行成型和养护，大大缩短了构件的养护周期。在波兰，西德进

口的开斯汀房屋工厂技术上是比较先进的。所有的骨料都在料仓中预热，然后送入热搅拌机中热拌。由于该厂选用了丹麦式热拌混凝土工艺和适当地增加了水泥用量（如 $\text{C}200$ 混凝土，早强水泥和 $\text{C}350$ 普通硅酸盐水泥的水泥用量为420公斤），起吊强度约50%。整个生产周期为6小时15分，混凝土自浇灌到起吊仅5个多小时，其中在隧道窑内养生只有4个小时，起吊时混凝土的强度已有100公斤/厘米²左右。因此，西德进口的开斯汀房屋工厂，其平模生产线上的构件，生产周期很短，每天生产三个循环，技术上是完全有保证的。

总之，在波兰热拌混凝土已普遍地使用，效果很好。由于在提高水泥用量的前提下又使用了热搅拌工艺，所以，其热养生时间从原来的16小时普遍缩短到6小时左右，个别的开斯汀体系甚至只有4小时，模板一昼夜至少可以周转二次，生产效率提高一倍。

西德也有专门生产的热搅拌机和周边送气加热拌合物的生产方式。其中有些工厂也采用了将砂、石等原材料加热的方式进行搅拌，这种方法在我国冬季施工中早已使用，实际上它只适用于混凝土低温加热（混凝土拌合物的温度在30°C以下），效率低，又不经济，而且技术上很难作到既控制好骨料的温度又能达到贮藏的目的。尤其是蒸汽加热骨料的办法，大量的冷凝水外溢给生产管理带来很多麻烦。另一个缺点是材料的某些部分一旦过热时间太长时，炽热的蒸汽（温度约为106°C左右）渗入含碳酸钙材料的内部，使其体积膨胀，造成结构破坏，所以，热拌混凝土简单而有效的办法，是将蒸汽直接喷入拌合物内进行热拌的方法。

苏联大约在1970年以后开始采用热搅拌技术。在莫斯科

民用建筑管理总局第三房屋建筑公司的沃斯特利亚科夫钢筋混凝土制品厂，用H·Я卡兹洛夫振动压轧机生产制品，已使用了热搅拌技术。即原材料在搅拌机内预热到 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，成型后，经过约30分钟，送入蒸汽养护室，进行快速热养护，2~2.5小时后出窑。1970~71年，苏联中央居住建筑设计科学研究所现场施工与工厂生产工艺室同玛哈奇卡林房屋建筑联合加工厂在车间内进行工艺改革时，曾经对苏联C-773型强制式搅拌机（300/500升）进行了改装，采用热拌混凝土生产预制构件。以后对C-951型和CB-93型（1000/1500升）等搅拌机也陆续进行了改装。1976年苏联生产了新式的CB-112型热混凝土强制式搅拌机（1000/1500升）在全国推广使用。同时，苏联国家建委混凝土和钢筋混凝土科学研究院于1978年正式出版并向国内外发行了“热拌混凝土指南”，以指导现场施工。由此可以看出：苏联对热拌混凝土这项新技术是很重视的。

英国曼彻斯特城“Brierete”公司混凝土预制厂，采用普通水泥、用量为 $245\text{公斤}/\text{米}^3$ ，混凝土塌落度为零，热拌混凝土温度为 $65\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，热养生时的温度为 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，经过2~2.5小时的养生后，混凝土强度可以达到 $95\sim 105\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 。

法国某混凝土预制中心站，以前是采用蒸汽预热的方法加热骨料，热效率低，能量损失大，冷凝水外溢，骨料含水率不好控制。如今采用直接在搅拌机内喷吹蒸汽加热原材料。送气压力为 $1.8\sim 2.5\text{公斤}/\text{厘米}^2$ 。使用效果很好。

除了日本、苏联和欧洲等国以外，热拌混凝土在北美洲也得到了一定范围的推广使用，如加拿大杰斯波森预制公司，从1970年以后在多伦多州厂内使用了两台Eirich搅拌机

(约 2.3米^3)，在纽约州厂内使用了三台，锅炉房采用高压送气($4.2\sim 4.9\text{公斤/厘米}^2$)，蒸汽温度为 $149\sim 171^\circ\text{C}$ ，采用快硬水泥，热搅拌后混凝土拌合物的温度为 65°C 。上述搅拌机内部都安装了固定蒸汽喷嘴，使用效果良好。

国外在采用热搅拌的同时，一般也使用早强快硬水泥(如早强水泥、超早强水泥和普通硅酸盐水泥等)。因此，热混凝土拌合物从搅拌到成型，一般要求在 $15\sim 20$ 分钟以内进行(缓凝类的水泥时间可以适当延长)。为了改善热拌混凝土凝结快的特性，美国曾研究使用缓凝剂，以推迟混凝土的水化反应，使混凝土拌合物的流动性至少维持20分钟左右，以便于运输、浇注、振捣和成型。但是，缓凝剂的最佳用量必须根据试拌来确定。

近几年来，我国有些地区如天津、无锡，上海、甘肃、山西、武汉、北京等一些工厂或工地对此新工艺进行了一系列的试验和小批量的试生产，强度效果一般很好。但由于热拌混凝土是一项新技术，在生产中一些工艺问题还未解决，所以至今在国内没有进行大量生产。如当前国内预制厂的混凝土拌合物由搅拌站送到成型模板内，一般要经过 $1\sim 2$ 次倒运，这对热拌混凝土来说是很不利的。国外一般不采用上述生产方式，而是使用快速运输斗(速度 $120\text{米/分}\sim 60\text{米/分}$)，将混凝土拌合物直接送至模板内进行一次浇注和成型。所以热拌混凝土若用于工厂化生产时，还需要我们在现有生产工艺的基础上稍加改革，以适应热搅拌工艺的需要。

总之，自1964年丹麦托玛斯·斯密特公司研究和设计出热搅拌机以来，1968年国际建筑材料与结构试验协会曾在莫斯科召开了热拌混凝土讨论会，认为这是以加热方式促进混凝土硬化的新工艺。截至70年代初世界上已有16个国家约60

个代表性的厂商采用了这项新技术，其中丹麦、日本、苏联和波兰等国使用较多。

提高混凝土的搅拌温度，可以缩短凝结时间，使生产不致受到气候条件的影响，做到均衡地组织生产。这也是国外预制厂开始重视热拌混凝土的主要原因。

由于各国原材料和生产条件的不同，各国热拌混凝土技术发展趋向也不一致，只有结合实际情况，因地制宜地学习外国的先进经验，才能使这项新工艺更好地为我国四个现代化的建设服务。例如日本和欧洲等国，一般采用低温加热($40\sim 60^{\circ}\text{C}$)，苏联则有时采用高温加热($80\sim 90^{\circ}\text{C}$)，而加拿大混凝土拌合物的最高温度也只有 79°C 左右。

采用热拌混凝土工艺的主要目的是使预制构件能早期脱膜和搬运，以提高预制厂的模板周转效率和劳动生产率，而不是为了提高28天的强度。实际上，在多数情况下，28天的后期强度都是能够提前达到的。

建国以来，随着我国社会主义建设事业的发展，各地都有一大批混凝土和钢筋混凝土预制构件厂建立起来，特别是中、小型预制构件厂发展很快。据建委1978年的初步统计，仅建工系统大、中型省市直属预制构件厂就有300余个，构件年产量约达230万米³。冶金系统也有20几个中、小型工厂，年产总量一般可达十几万米³。当前，国内预制构件厂的技术水平若与美、日和西欧等技术发达的国家相比较差距很大。主要表现为管理水平低，工艺落后，产品纲领多变，设备陈旧且不配套也不定型，因而能量消耗多，生产效率低，其中预制构件的养生时间在整个生产中所占的比重最大，消耗能量最多，是影响产量的薄弱环节，也是影响模板周转的最大阻力。现以量大面广的板材养生时间为例：日本

大板养生时间3.5~6小时，西德4~6小时，波兰4~6小时，而国内生产的板材养生时间较短的10~12小时，一般12~14小时，有的甚至高达16至20几小时。因此，在改造原有设备的基础上，必须着重突破养生这一关，它是影响劳动生产率的关键。因此，缩短构件的养生时间，提高模板的周转率早已成为国内外科研和生产单位最为关心的问题。而热拌混凝土的生产方式就是加速混凝土硬化的技术措施之一，也是国内建筑部门今后值得注意的一项新工艺。

第二节 热拌混凝土的优越性和应用范围

一、热拌混凝土的优越性

(一) 缩短构件的养生时间，提高早期脱模强度，加速模板周转

一般常温成型、蒸汽养护的混凝土预制构件，在通蒸汽前须静置几小时，升温速度一般规定不超过每小时 20°C ，混凝土浇灌完毕至脱模需要十几小时，甚至20几小时。采用热拌混凝土，可以取消静停时间，大大缩短升温时间，恒温时间也可以适当地缩短。因而提高了混凝土的早期脱模强度。西欧、日本等国一般使用早期强度较高的水泥，所以加热养生4~6小时以后，非预应力和预应力混凝土即可达到所需要的脱模强度。

国外采用热拌混凝土，以及其它综合措施（如早强材料、外加剂等）以后，不同构件的脱膜时间分别为：

1. 成组立模生产大板 4小时；
2. 轻质墙板 3~4小时；
3. 工业建筑构件 4~6小时；

4. 预应力混凝土构件 6 小时（模板适当加热）。

因此，一天 8 小时可以周转 2 次至 3 次模板，使预制厂达到高效率的生产水平。

（二）提高张拉台座的利用率

生产中采用热拌混凝土技术，可以使预应力构件很快地达到所要求的放张强度，其次由于热混凝土的硬化速度较快，钢筋和混凝土之间的粘结力很快形成，避免了由于混凝土和钢筋的热膨胀引起的预应力损失。

（三）适用于现场冬季施工

冬季施工采用热拌混凝土，可以加快模板周转，缩短工期。与冬季施工采用的预热骨料和水的方法相比较，热拌混凝土的质量均匀，和易性好，温度稳定。也可以用于多层建筑中隧道模法的快速施工，以及大模板（内浇外砌或内浇外挂）内墙板的冬季施工。

（四）经济效果显著

1. 采用热拌混凝土，可以使构件早期脱模，提高了设备利用率，从而收到较好的经济效果。如新建厂仅减少模板一项即可节约投资 30%。

2. 在密闭的搅拌机中利用蒸汽的潜热加热拌合物，热损耗小，能量集中，成本费用较低。按年平均计算，为了达到同样的脱模强度，采用不同生产方式时，混凝土构件养生的蒸汽用量大致为

热拌普通混凝土——50 公斤/米³；

热拌轻混凝土——35 公斤/米³。

在防水漆布下加热的普通混凝土：500~1000 公斤/米³；
模内加热的普通混凝土 350~400 公斤/米³。

但采用热拌混凝土，相应地要增加一些必要的设备和技