

混凝土现代技术丛书

混凝土养护节能技术

许如源 陈梅赞 编著

中国铁道出版社

1988年·北京

混凝土现代技术丛书

混凝土养护节能技术

许如源 陈梅赞 编著

中国铁道出版社

1988年·北京

目 录

第一章 概 述	1
第一节 混凝土养护工艺的分类.....	1
第二节 混凝土的加速养护工艺.....	3
第三节 我国混凝土养护工艺及能耗现状.....	7
一、养护能源的构成.....	7
二、养护方式.....	8
三、养护设备.....	8
四、养护制度.....	9
五、蒸汽养护能耗占生产总能耗的比重.....	10
六、混凝土的单方养护能耗.....	12
第二章 现浇混凝土的自然养护工艺	14
第一节 自然养护的温湿条件.....	14
一、硬化温湿条件对混凝土基本性能的影响.....	14
二、新拌混凝土的水分损失.....	19
三、混凝土与周围介质的热交换.....	21
第二节 新拌混凝土的早期养护.....	22
一、常用的早期养护方法.....	23
二、用保水剂养护混凝土.....	24
第三节 混凝土的基本养护.....	28
一、湿养护工艺.....	28
二、保湿养护工艺.....	31
第四节 喷膜养护工艺.....	33
一、对液态成膜养护剂的要求.....	34

二、液态成膜养护剂·····	35
三、液态成膜养护剂性能的测定方法·····	45
四、液态成膜养护剂的喷涂工艺·····	47
五、喷膜养护工艺的经济分析·····	50
第三章 太阳能养护·····	52
第一节 利用太阳能养护混凝土的可能性·····	52
第二节 太阳能辐射强度的计算·····	56
第三节 集热器及其构成材料·····	57
一、透光材料·····	59
二、吸热材料·····	61
三、保温与蓄热材料·····	62
第四节 太阳能养护原理·····	63
一、光—热转换和热交换·····	63
二、太阳能养护的热工特性和混凝土的强度·····	65
第五节 太阳能养护设施·····	68
一、太阳能养护箱和罩·····	69
二、太阳能养护池·····	74
三、太阳能养护窑·····	75
四、带蓄热器的太阳能养护罩·····	76
五、装配式太阳能养护室·····	77
第四章 混凝土热养护工艺·····	79
第一节 概 述·····	79
一、热养护时水泥的化学变化·····	79
二、硬化时混凝土结构的物理变化·····	81
第二节 热养护方法·····	85
一、热 台 座·····	85
二、热拌混凝土·····	93
三、红外线热养护·····	98

第三节 混凝土热养护中蒸养设备的热工计算	100
一、热传递的形式	100
二、混凝土制品蒸汽养护设备的热工计算	108
三、蒸汽管道的热损失	115
第五章 坑(窑)式蒸养设备的节能改造	117
第一节 坑(窑)式蒸养设备围护结构的改造	119
一、围护结构材料的选择	120
二、围护结构的构造	129
三、围护结构的几个改造方案	143
第二节 在养护坑内实现热介质的定向循环	169
一、在蒸汽空气介质中养护混凝土制品的 热质传递	169
二、热介质定向循环结构的设计原理及 构造特点	173
三、喷嘴设计	179
四、热介质定向循环结构的几种形式	190
第三节 蒸养过程的温度自动调节	200
一、自动调节的一般原理	200
二、混凝土制品蒸养温度自动调节装置	201
参考文献	210

第一章 概 述

第一节 混凝土养护工艺的分类

混凝土密实成型后的养护是整个生产工艺的关键环节之一，它对混凝土的质量影响极大。所谓养护是指混凝土在密实成型后，为保证其早期水化反应的进行，以获得预定的物理力学性能和耐久性所采取的工艺措施。养护过程中主要的控制参数是建立早期水化反应所需的温度、湿度和养护时间。根据所建立的温度和湿度条件的不同，养护工艺可分为标准养护、自然养护和加速养护。

标准养护是在温度 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为90%以上的条件下进行的养护。标准养护主要是在试验室中用于养护试块。

自然养护是在自然气候条件下，采取保湿保温等措施进行的养护。自然养护可分为湿养护、保湿养护和太阳能养护三种方法。湿养护是指用人工的方法造成必要的潮湿环境，保证水泥水化过程正常进行的养护。保湿养护是指通过某种措施防止混凝土中的水分蒸发，使混凝土保持或接近饱水状态，保证水泥水化湿度条件的养护。太阳能养护是利用太阳辐射能进行的加热加速养护。

自然养护是目前我国使用最广的一种养护工艺。据有关部门的不完全统计，建筑部门约有三分之二的混凝土采用自然养护。因此提高自然养护质量，改进养护方法和减轻劳动强度等问题引起了建筑工作者的重视。

自然条件下养护的混凝土，其强度的增长取决于水泥的

品种、矿物组成和标号，混凝土配合比和周围介质的温湿度。混凝土标号越高，其硬化初期的强度增长越快。在相同的硬化温度下，水泥的活性和水灰比是决定硬化速度的重要因素。周围介质的湿度与混凝土的质量也有密切关系。混凝土水分蒸发越厉害，其强度也就越低，耐久性也越差。

随着建筑施工工艺的发展，出现了诸如滑模、升板、大模板，以及公路路面、机场跑道等机械化施工和真空脱水等新工艺和外加剂在混凝土中的应用新技术。传统的自然养护工艺已不能适应新工艺的要求。近年来采用的喷膜养护新工艺，为解决高层建筑立面、公路路面、机场跑道和水工建筑的混凝土养护提供了条件。我国的葛洲坝工程、首都国际机场、北京西直门立交桥等重要工程中均使用了喷膜养护工艺，取得了良好的效果。

太阳能养护实质上是加速的自然养护。混凝土在透光罩内直接吸收太阳的辐射能量，进行加热养护。太阳能养护的特点是升温快，养护温度高，养护周期短，台座周转率高。因此对于我国南方地区的中小型预制厂是一种较适宜的养护方法。

在自然条件下进行的养护虽然简便易行，节约能源，但混凝土的硬化速度缓慢，影响施工进度和预制厂的生产周期，因此在施工或生产中经常需要加速混凝土的硬化过程。凡能加速混凝土强度发展过程的工艺措施，均称为加速养护工艺。混凝土加速养护工艺，在施工和制品生产中占有重要地位，其措施的合理与否，直接影响到生产周期和混凝土的质量，因此它是密实成型工艺之后保证混凝土质量的关键性工艺过程。

第二节 混凝土的加速养护工艺

现代施工工艺正向机械化和快速化发展，现场浇灌的混凝土约占整个工程的五分之一至四分之一。合理安排这一工种，能大大缩短整个建筑工程的施工期。为此，长期以来人们始终不渝地致力于研究混凝土的快速养护。

对于混凝土预制构件厂和制品厂而言，加速养护更具有特殊意义。在整个混凝土制品生产中，养护工序所占的时间最长，约占80~90%。缩短生产周期能提高劳动生产率和减少建厂投资。另外，钢模耗钢量约占全部设备用钢量的60~70%以上，钢模投资在总投资及产品成本中占较大的比重。因此，采用加速养护工艺对缩短养护时间，加速钢模周转，具有很大的经济意义。

加速混凝土硬化的工艺措施很多，其共同之处是加速水泥的水化反应，达到快硬早强的目的。方法有：加速水泥本身的反应；利用外加剂促进水泥水化反应；通过加热加速水化反应；采用特殊的成型方法等等。

采用快硬或特快硬水泥 采用快硬或特快硬水泥加速混凝土强度发展过程是一种既节能又简便易行的方法。目前我国生产的快硬水泥有325、375和425号快硬水泥，即3d的抗压强度可分别达到32.5、37.5和42.5MPa。生产的特快硬水泥有200、300和400号特快硬水泥，即12h的抗压强度可分别达到20、30和40MPa。矾土水泥虽然也能获得早期高强的效果，但其后期强度降低的问题尚在探讨中。此外，普通水泥通过再次湿磨，破坏水泥颗粒周围生成的水化物薄膜，使水化面积增大，也能获得早强的效果。

掺加化学外加剂 掺加早强剂加速混凝土硬化的方法也

称为化学促硬法。早强剂又称促硬剂，它是提高混凝土早期强度的外加剂。早强剂一般是能与水泥水化产物生成复盐，加速水泥水化的无机及有机化合物。使用最普遍的早强剂是氯化钙。由于它对钢筋有锈蚀作用，故一般规定在钢筋混凝土中其掺加量不得超过水泥重量的2%，在无筋混凝土中其掺加量不得超过3%。近年来广泛使用了复合早强剂，特别是早强型减水剂，如：亚硝酸钠、二水石膏和三乙醇胺复合早强剂；氯化钠、亚硝酸钠和三乙醇胺复合早强剂，以及各类早强型减水剂。掺加各类早强剂后，养护时间约可缩短二分之一到四分之一。此外，还可掺加晶胚加速硬化，用晶体结构相同的晶胚作为晶核，可促进结晶的成长。化学促硬法是很有前途的一种方法。

热养护法 利用外界热源加热混凝土，以加速水泥水化反应的方法是迄今为止国内外使用最广泛的养护方法。热养护可以在几小时之内使混凝土强度达到设计强度的70%，因此它是一种较有效的加速养护方法，在今后一个相当长的时期内仍将继续沿用这一方法。热养护所采用的工艺措施很多，其分类见表1—1。

由表可见，热养护按介质的湿度可分为湿热养护法和干热养护法两类。湿热养护中以蒸汽养护用得最为普遍。蒸汽养护时，用凝结放热系数很高的蒸汽作为介质加热混凝土。蒸汽养护又可分为常压、无压、微压和高压蒸汽养护。目前我国主要采用常压蒸汽养护。常压蒸汽养护的最高温度，欧美一些国家认为以70℃为佳，不超过80℃；苏联则主张采用80~100℃的温度，相对湿度大于90%。

干热养护时，混凝土制品不与热介质直接接触，或者用低湿介质（如热空气）加热。在升温过程中，混凝土以水分蒸发过程为主。干热养护可分为干湿养护和全干热养护两

种。全干热养护的优点是湿热膨胀对混凝土结构破坏作用小，养护周期短，制品表面质量较好。但混凝土失水过多，水泥水化条件不合理，后期强度损失较大。干湿热养护避免了全干热养护的缺点，养护后的混凝土无严重失水现象，结构较为致密，后期强度仍可继续增长。

热养护除蒸汽养护外，还有热油养护、红外线养护、微

混凝土热养护分类表

表 1—1

分类	热介质种类及其参数、 供能方式和作业方式	热处理方法	热养护设备种类
按 热 介 质 种 类 分	饱和蒸汽	蒸汽养护	养护坑、隧道窑、热模、成组立模、折线窑、立窑、养护室
	热空气、低湿度空气 蒸汽混合物 100℃以下 100℃以上	干热养护 高温干热养护	隧道窑、养护坑、养护室
	燃烧天然气	气体燃烧产物 介质养护	隧道窑、养护室
	高温液体（各种油类和水）	热油养护 热水养护	热模、成组立模、热池
	电能	电热养护 感应加热养护	
	太阳能	太阳能养护	太阳能养护罩、太阳能养护隧道窑
按和 蒸汽力分 介质 温度	饱和蒸汽，100℃以下 常压或0.06MPa 剩余压力	常压蒸汽养护 低剩余压力蒸汽养护	养护坑、隧道窑
	蒸汽，100℃以上， 剩余压力大于0.6MPa	压蒸养护	压蒸釜
	废气或空气，100℃ 以上，常压	高温干热养护 （废气或空气）	隧道窑
按传热 方式分	对流	混凝土制品表面与热 介质直接接触	在养护设备中脱模养护

续上表

分 类	热介质种类及其参数、 供能方式和作业方式	热处理方法	热养护设备种类
按 传 热 方 式 分	传导	混凝土制品通过模壁 与热介质接触	在养护设备中带模养 护, 热模、成组立模、 热台座
	对流和传导	混凝土制品部分敞露 表面, 部分带模与热 介质接触	在养护设备中侧带模 养护
	电化学(电加热)	电流通过混凝土产生 热量	电热养护装置
按 设 备 作 业 制 度 分	连续作业	制品在运动过程中经 过升温、恒温和降温 三个阶段	隧道窑、折线窑、立 窑
	间歇作业	制品在养护设备中按 制度经历升温、恒温 和降温三个阶段	养护坑、养护室、热 模、成组立模、热台 座

波养护、电热养护和压蒸养护等方法。近年来, 国外开始采用高温有机热媒加热成组立模和热模中的混凝土。这些有机热媒一般都具有价格较便宜、无毒、不腐蚀钢模和燃烧温度较高等特点, 较常用的热媒是矿物油。用高温矿物油代替蒸汽能更有效地利用热能。红外线养护可以不通过中间媒介, 直接通过辐射加热混凝土, 因而热损失小, 养护周期短。微波养护又称为超高频电磁场热养护, 是一种新的热养护方法。将混凝土放于 2200~2700 MHz 的电磁场中, 这样一方面可以从混凝土内部进行加热, 同时还能起到一种细微拌和作用, 促进混凝土加速硬化。电热养护可分为直接电热法和间接电热法两种。电热养护具有投资小, 收效快, 能量消耗少和生产效率高等优点, 在国外已被广泛采用。

热养护加速了混凝土的硬化, 但也使其内部结构遭到了损伤。试验结果表明, 蒸养的普通水泥混凝土 28d 抗压强度

比标准养护混凝土低10~40%，弹性模量低5~10%，耐久性也有所降低。

特殊成型方法 特殊成型方法有离心成型、振动加压成型和真空脱水等几种。这类方法的设备较复杂，能耗也较大。不同成型方法对混凝土工程和制品的外形均有一定的要求。在混凝土浇注成型时施加外力作用，也能取得早强的效果。

在制品生产中，为最大程度地缩短生产周期，常常同时采用几种工艺措施。实践表明，综合措施的应用能获得最佳的技术经济效果。较常用的综合措施有：

1. 同时采用外加剂和蒸汽养护；
2. 采用快硬水泥或普通水泥加早强剂进行自然养护；
3. 采用离心、振动加压或真空脱水工艺和蒸汽养护；
4. 同时采用热拌混凝土和蒸汽养护。

综合应用混凝土的加速硬化措施时，几种工艺措施的组合，效果并不一定是迭加的，甚至可能是相反有害的。因而，事先必须进行试验，以达到预期的效果。

第三节 我国混凝土养护工艺及能耗现状

一、养护能源的构成

我国混凝土构件厂和水泥制品厂加速混凝土养护的手段主要是采用蒸汽养护。据不完全统计，目前我国生产的离心电杆、水泥管材、轨枕和石棉水泥制品全部采用蒸汽养护，预制构件约有35%采用蒸汽养护。

生产蒸汽所用的燃料绝大部分是煤，约占97%。各厂用煤的低位发热值相差较大，低于20.9MJ/kg者不在少数。采用热电站废汽者约占2%左右。采用油作燃料的占0.6%，

其它有一小部分工厂因地制宜采用天然气和木炭作为燃料。从燃料构成上看,采用煤是符合当前我国能源发展政策的。

太阳能是混凝土养护的一种新能源。我国大部分地区年日照时数都在1900~2800h之间,一年内获得的太阳能约在 3.6×10^{22} J左右,拥有异常丰富的太阳能资源。目前云南、江苏、山东、辽宁、陕西、黑龙江和福建等省的部分预制厂已开始采用太阳能养护工艺。据不完全统计,每年养护构件达数万立方米,为国家节约了大量燃料。

二、养 护 方 式

目前我国所采用的养护方式有湿热、干热、干湿和热油养护等几种。总的来看,基本上沿用传统的85~95℃湿热蒸汽养护。近年来建成的连续式养护设施中,有部分采用干热或干湿养护。据不完全统计,国内25条具有代表性的连续式养护窑中,采用干热养护的占16%,采用湿热养护的占40%,采用干湿结合养护的占44%。在养护坑上也开始探索采用干湿结合的养护方式。实践表明,与湿热和干热养护相比,干湿结合的热养护机理最符合水泥水化的规律,它能节约能源,保证质量,构件在成型后可直接加热养护,不需要静停或可减少静停时间。因此,养护方式有向干湿热养护发展的趋势。

三、养 护 设 备

目前我国的蒸养设备,总的来说,仍以坑池为主。虽然没有全国性的统计数字,但几个地区的统计资料表明,养护坑约占总养护设备的70%左右。养护坑池有许多优点,它对制品规格变化的适应性强,投资小,尤其适合中小型工厂使用。但养护坑能源消耗大,深坑上下层的温差大,影响养护

质量。

本世纪七十年代以后，出现了立窑、隧道窑、折线窑等连续式养护设备。使用这些新型养护设备能缩短养护周期，降低能源消耗，改善劳动条件。表1—2为各种养护设备的技术经济指标。

各种养护设备的技术经济指标 表1—2

养护设备	窑体投资， 万元	窑体单方制品投资， 元/m ³	单方制品耗汽量，kg/m ³
立 窑	50.55	44.18	115~154
地下隧道窑	43.26	41.43	200~280
地上隧道窑			280
折 线 窑	39.76	30.81	150~200
室内坑池	9.81	5.69	500~700
室外坑池			800~1000

四、养 护 制 度

如前所述，我国水泥制品的养护工艺现阶段是以蒸养为主。由于混凝土管材和电杆等离心制品均为带模养护，因此一般都采用刚性养护制度，基本上没有预养期，升温速度较快，降温采用自然降温。离心电杆养护周期一般为6~7h，最长者不超过8h，预应力压力管为7~8h，下水管为8~10h，而其中采用悬辊法成型的养护周期较离心成型的普遍要短。

蒸汽养护的恒温温度一般在85~95℃之间。恒温温度与水泥品种有较大关系，有些资料认为，普通硅酸盐水泥的最高恒温温度不宜超过85℃，矿渣水泥可达100℃。养护时间过长，恒温温度过高都会影响混凝土的质量。

近年来发展了一种保温养护制度，它在养度坑中供汽一段时间后，关闭蒸汽阀门，停止供汽，利用养护坑的保温性能，对制品进行较长时间的保温养护。这种保温养护制度对于二班制或一班制生产的工厂来说，能获得良好的节能效果，单方制品能耗可降低一半左右。

五、蒸汽养护能耗占生产总能耗的比重

表1—3是我国各种混凝土制品蒸养能耗占生产总能耗的比例。表中数据是根据全国混凝土和水泥制品养护工艺调查资料统计整理而得。表1—4和表1—5是某厂离心电杆和水泥船各生产工序的能耗分布情况。

各种制品蒸养能耗占生产总能耗的比例

表 1—3

制 品 类 别	养护能耗占总能耗的比例，%
离心钢筋混凝土电杆	坑养92.7~94.2，直接通汽80.6~89.3
下水管	93.6~94.2
压力管	86.4~88.0
自应力管	85.1~89.6
轨 枕	92.3
农房桁条	92.6
建筑构件	88.5~95.7
水泥船	97.7

表中数据，煤发热量按 23.0 MJ/kg 计算，电厂效率按 35% 计算，每度电用煤按 455g 计算。

由表可见，我国的养护能耗是相当可观的，要占到生产总能耗的 80.6%~97.7%。国外养护能耗一般占总能耗的

离心电杆各生产工序的能耗分布 表 1—4

工 序 名 称	占总能耗的比例, %
钢筋切断、调直、墩头	1.34
砂石清洗	1.44
钢筋张拉	0.22
混凝土搅拌	1.00
离心成型	6.67
行 车	2.44
锅 炉	0.88
照 明	0.66
蒸汽养护	85.9

水泥船各生产工序的能耗分布 表 1—5

工 序 名 称	占总能耗的比例, %
砂子冲洗、输送、提升	0.66
砂浆拌和	0.12
车间内吊装运输	0.87
下 水	0.10
振动成型	0.17
锅 炉	0.23
照 明	0.19
蒸汽养护	97.7

70%左右。美国混凝土管养护能耗占生产总能耗的67.3%，苏联用于养护构件及制品的能耗约占总能耗的74%。与国外相比，我国的养护能耗有些偏高，虽然国外的生产工艺机械化，自动化程度要高些，这方面能耗相应也要大些，使养护

能耗在总能耗中所占的比重有所减少，但从制品生产的几道主要工序来看，我国目前所采用的工艺与国外大致相同，上述因素的影响不会太大。因此，养护能耗在总能耗中所占的比重比较大这一点，从一个侧面反映出我国制品养护技术较为落后。另一方面也说明，养护能耗的大小对总能耗来说是举足轻重的。因此，混凝土制品工业的节能关键是养护。

六、混凝土的单方养护能耗

每立方米混凝土制品的养护能耗（简称为单方养护能耗），可以反映出养护工艺和经营管理的水平。一般以每立方米混凝土制品所耗的蒸汽量或标准煤来表示这一指标。表1—6是我国几种混凝土制品的单方养护煤耗。表中数据是根据全国457家混凝土构件厂和水泥制品厂的调查统计资料整理而成。出现次数最多的单方养护煤耗基本上可以代表目前该种制品的养护工艺和经营管理水平。

各种混凝土制品的单方养护煤耗 表 1—6

类 别	最 高 值 kg/m ³	最 低 值 kg/m ³	出现次数最多的值 kg/m ³
钢筋混凝土离心电杆 (坑养)	1000	90	140~180
钢筋混凝土离心电杆 (直接通汽养护)	700	70	100~200
混凝土下水管	380	96	160~180
混凝土压力管	800	173	260~300
自应力管	498	105	242 (平均)
钢丝网水泥船			110kg/t (平均)
钢筋混凝土构件	600	27	90~110
短线张拉的桁条	254	250	252
轨 枕	270	227	250