

混凝土质量的早期 判定与控制

耿维恕 韩素芳 杜益彦 编著



中国建筑工业出版社

本书较全面系统地阐述早期推定混凝土强度的试验方法和应用回归分析方法建立混凝土快速测定强度与标准养护28天强度关系式的方法；介绍了早期推定混凝土强度试验方法在生产中进行混凝土质量控制和设计、调整配合比的应用技术。书中还介绍了国内外行之有效的几种混凝土质量早期判定方法及其在土建工程中实际应用的情况。

本书可供土建施工、混凝土制品厂及科研、教学部门有关科技、测试人员及师生阅读参考。

责任编辑：袁孝敏

混凝土质量的早期判定与控制

耿维恕 韩素芳 杜益彦 编著

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/32 印张：6 1/2 字数：149千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数：1—21,200册 定价：1.10元

统一书号：15040·4914

前 言

随着建筑工业与结构设计理论的发展，要求能及时地评定与控制混凝土的质量。通常测定标准养护28天强度的试验方法，由于试验周期长，显然已不能适应这种新的情况。因此，研究、制定早期判定混凝土质量的试验方法及应用快速测定的混凝土强度或其他质量特征参数评定、控制混凝土质量的方法，日益为人们所重视。

七十年代，我国开始了《建筑设计统一标准》、《钢筋混凝土结构设计规范》、《钢筋混凝土工程施工及验收规范》等设计、施工规范的编制、修订工作。前几年，在原国家基本建设委员会、原国家建筑工程总局的组织领导下，由中国建筑科学研究院、北京市建筑工程总公司、中国建筑第四工程局、西安冶金建筑学院等单位组成了“混凝土强度质量控制与验收”专题组，开展了早期判定混凝土质量的试验方法及混凝土质量控制与评定方法的研究工作。所制订的《早期推定混凝土强度试验方法》，城乡建设环境保护部已于1983年批准为部标准。同年，建设部建筑管理局委托建研院、专题组举办了有全国27省、市、自治区及五个部委系统的117个施工、科研单位参加的部标准学习班。专题组同志撰写编译了学习资料。以后，中国建筑总公司及一些省、市、自治区应用该学习资料举办了有关学习班。本书是为适应土建专业有关人员的需要，在该学习资料基础上进一

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 混凝土质量早期判定方法的研究应用概况	3
第二节 关于加速养护试验方法的几个问题	9
一、加速养护设备	10
二、加速养护温度	12
三、加速养护时间	16
四、前置养护时间	19
五、加速养护的升温梯度	23
六、后置养护时间	24
第二章 早期判定混凝土质量的试验方法	27
第一节 加速养护推定混凝土强度试验方法	28
一、沸水法	29
二、热水法	39
三、温水法	45
四、自热法	54
第二节 依据混凝土拌合物砂浆强度推定混凝土强度试验方法	56
一、压蒸促凝砂浆强度试验方法	57
二、快速硬化砂浆强度试验方法	58
第三节 依据混凝土拌合物的某些特征值判定混凝土质量的试验方法	61
一、混凝土拌合物组成的分析试验方法	61

二、混凝土拌合物水泥含量及水灰比分析方法·····	67
第四节 依据混凝土成熟度推定混凝土强度试验方法·····	80
第三章 混凝土快速测定强度（或参数）与标准养护	
28天强度的关系式·····	90
第一节 混凝土强度关系式实用模型的选择·····	91
第二节 建立混凝土强度关系式的理论基础·····	95
一、回归直线的求法·····	95
二、回归直线方程效果的检验·····	102
三、利用回归方程进行预报和控制及回归方程的 稳定性·····	110
四、关系式的修正及逆运算条件·····	116
第三节 混凝土强度关系式的几个指标介绍·····	124
一、建立强度关系式所需观测次数的确定原则·····	124
二、混凝土强度关系式的相关系数·····	126
三、混凝土强度关系式的误差·····	132
第四章 混凝土快速测定强度的应用·····	138
第一节 设计和调整混凝土配合比·····	139
一、混凝土配合比的设计程序·····	140
二、设计和调整混凝土配合比的方法和步骤·····	144
三、例题·····	154
第二节 合理利用水泥活性·····	159
一、混凝土强度与水泥强度的关系·····	160
二、混凝土快速测定强度与水泥活性的关系·····	163
三、按不同水泥活性调整混凝土配合比的方法·····	165
四、例题·····	166
第三节 混凝土强度的质量控制·····	169
一、影响混凝土强度的因素·····	169
二、混凝土强度质量控制的主要内容·····	171
三、混凝土强度质量控制图及其参数的计算方法·····	178

第四节 混凝土强度的质量评定187

一、几种常用的混凝土强度抽样检验方案188

二、应用混凝土快速测定强度进行合格评定的
几种方法199

三、例题204

第一章 概 论

水泥混凝土是当代主要建筑材料之一，也是目前世界上生产量最大的人造材料。根据美国学者在七十年代初所作估计，全世界混凝土年产量超过40亿t，按当时全世界人口计，约合每人1t。由于混凝土具有原料易得、便于生产、成本较低、耐久防火、节约能耗等特点，预计在今后相当长的时期内，混凝土将仍是一种最主要的建筑材料。

当前，结构设计正逐步由经验设计方法过渡为概率设计方法。所谓概率设计法，是将影响结构可靠性的各种参数作为随机变量，用概率论数理统计学的数学方法来分析全部参数或主要参数，分析确定结构的可靠度。结构的可靠度用可靠指标来度量。结构构件的可靠指标根据结构上的各种作用和材料性能、几何参数等基本变量的平均值、标准差及其概率分布类型进行计算。为了保证建筑结构具有规定的可靠度，除应进行必要的设计计算外，还应对材料性能、施工质量、使用与维护等进行相应的控制。故就结构材料而言，应根据各类材料的结构设计规范所规定的结构可靠指标确定材料的合格质量水平。根据材料性能特征的统计资料按不同质量水平划分材料的等级。对不同等级的材料规定设计时应采用的材料性能特征标准值。

在钢筋混凝土结构设计中大都以混凝土的抗压强度作为设计计算的依据。混凝土的一些技术性质，一般说来也多与其抗压强度有一定的关系。因之，在混凝土工程中多依据混

凝土的抗压强度评定其质量。

关于混凝土的强度，差不多所有国家的规范通常都是以按标准试验方法所得的经过标准养护、龄期为28天的混凝土立方体试块或圆柱体试块的抗压强度来表示。虽然这种抗压试验方法在建筑工业中，已成功地应用了几十年，但随着建筑工业与结构设计理论的发展，现代化施工速度的加快，这种需时28天始能获得结果的试验方法，显然已不能满足及时地判定、控制混凝土质量的要求。由于这种方法试验周期长，既不能满足全面质量管理所要求的及时反映混凝土生产过程中的强度质量信息，以便据此采取相应措施，以防止或减少质量事故；也不能于早期设计确定混凝土配合比或调整施工配合比，以致既不适应施工进度加快的要求，也不利于充分利用水泥活性，降低水泥用量，提高经济效益。因此，研究应用早期预测混凝土强度的试验方法于早期推定混凝土可能达到的潜在强度以判定混凝土的质量，就显得十分必要。

混凝土质量早期判定方法的试验研究工作始于二十年代。美国首先试验研究了蒸压釜及沸水箱加速养护试验方法。由于推定精度不够满意，未能延续应用下来。之后，各国研究发展了多种早期加速养护及快速测定新拌混凝土的水灰比、快速分析新拌混凝土组成等试验方法，以早期推定28天（或其他龄期）强度，判定混凝土的质量。大量的试验研究工作是在五十年代后期展开的。到六十年代之后，始有少数国家制订标准试验方法，列入国家标准规范。

随着建筑工业的发展，混凝土质量早期判定试验方法的应用日趋普遍。目前多是由于预测强度，评估质量。个别国家基于较长时期的实践，已允许以早期加速养护试验作为质量合格评定验收的基础。

第一节 混凝土质量早期判定方法 的研究应用概况

混凝土质量早期判定方法的研究与应用,首先是美国于1925~1935年间进行的。美国格兰德(M.S.Gerend)于1927年发表了《蒸汽养护试件在48h内推定混凝土的28d强度》一文。提出将 $\phi 6 \times 12$ 英寸($\phi 152 \times 305\text{mm}$)圆柱体试件置于 $80 \sim 100$ 磅/英寸²($559 \sim 699\text{kPa}$)压力的饱和蒸汽浴中以获得快速增长的混凝土强度,以之推定28d强度。1930年建造哈佛坝时,美国垦务局研究使用了沸水加速养护试验方法。这可能是在实际工程中利用加速养护早期强度推定28d强度以判定混凝土质量的最早应用实例。试验用 $\phi 6 \times 12$ 英寸($\phi 152 \times 305\text{mm}$)圆柱体试件,浇注于特制模套内,试件成型后沸煮至多7h,冷却、顶端抹面及试验共1h,试验作业周期总共8h。经过几年工地实践,由于预报精度不足,而被认为不够满意。

1930到1950年间,世界各国在混凝土强度快速试验方法的发展与应用方面没有什么显著的进展。这段时间,在英国有关于快速分析试验方法的发明研究报告发表。英国金(J.W.H.King)和阿克诺依德(T.N.W.Akroyd)于五十年代中期分别提出了电炉和沸水加速养护的试验方法。英国土木工程师协会于1959年组成快速试验委员会,研究比较各种早期判定混凝土质量的试验方法。英国阿克诺依德1961年发表了沸水加速养护试验方法——当日法和次日法。英国汤普逊(M.S.Thompson)1962年发表了 35°C 温水加速养护试验方法。英国金于1964年发表了 55°C 温水加

速养护试验方法。英国土木工程师协会快速试验委员会于1968年提出报告推荐了55°C温水法。之后经过修订，列为英国国家标准BS1881—1970。英国还研究了水洗筛析试验方法以分析测定新拌混凝土的组成，也列入了英国标准BS1881—1970。还研制了混凝土拌合物快速分析测定仪，5min即可完成水洗筛析，求得水泥含量。

国际材料与结构研究试验所联合会（RILEM）于1963年在法国巴黎举办了关于混凝土加速硬化与快速控制试验课题国际讨论会。

加拿大标准协会（CSA）和美国材料与试验学会（ASTM）于1963年联合组成专门小组进行混凝土强度快速试验方法的研究。加拿大马尔赫特拉（V·M·Malhotra）等对最初由英国阿克诺依德提出的沸水加速养护试验方法加以改进，于1964年发表了改进的沸水加速养护试验方法。同年为加拿大标准协会所认可。之后，列为该协会标准（CSA A23·2-10C）。

美国材料与试验学会于1971年将沸水法，35°C温水法及自热法列为该会试行标准（ASTM C684—71T）。1974年订为正式标准（ASTM C684—74）。

日本于六十年代末建立了“混凝土质量早期判定研究委员会”，研究比较各种早期判定、控制混凝土质量的试验方法。1960年，日本十代田知三、后藤幸正提出了沸水当日法、沸水次日法。1976年，日本建设省土木研究所提出了70°C热水养护法。日本除研究加速养护试验方法外，较多地研究制订快速分析新拌混凝土组成的试验方法。筛洗分析新拌混凝土组成的试验方法也已列为日本工业标准JIS A1112—1975，并已研制了混凝土组成快速分析仪。八十年代

初日本混凝土质量早期判定研究委员会公布了《混凝土质量早期判定方法规范(草案)》其中有70℃热水、55℃温水加速养护试验方法及筛洗机试验法、筛洗与离心脱水组合试验法、盐酸溶解热法、水泥空隙比法、逆滴定法、简易逆滴定法、比重计法等多种快速分析新拌混凝土组成的试验方法。此外,还研究制订有测定新拌混凝土水泥含量的多种比重计法、火焰光度计法等。

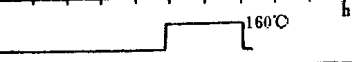
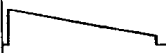
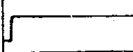
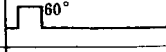
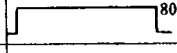
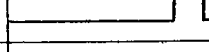
日本十代田知三根据加拿大马尔赫特拉所编简表,将过去各国研究过的加速养护试验方法,按照年代顺序将研究者姓名、国别及养护条件、养护温度、养护时间等增补列成表格(表1-1)。笔者又根据有关资料增列了备注栏及序号19~28。该表虽未必将所有研究的方法列出,但从表列各项可以概括了解近三、五十年来国外有关加速养护试验方法的研究概况。

除上述加速养护试验方法及快速分析混凝土的组成试验方法外,一些研究人员鉴于混凝土的强度除随龄期的增长而增长外,养护温度对混凝土强度的增长速率也有显著影响,研究得知混凝土强度与其养护时间和养护温度的乘积成比例关系。此养护温度度数与养护时间小时数之乘积——度时积各之为成熟度。即混凝土的抗压强度与其成熟度呈一定关系。利用根据试验建立的混凝土抗压强度与成熟度的关系式,根据混凝土的养护龄期、养护温度即可推定混凝土强度。应用这种成熟度概念,使不需进行混凝土试件的物理试验即可确定混凝土的强度成为可能。

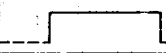
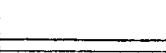
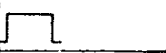
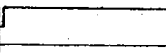
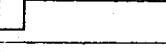
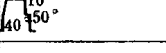
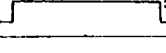
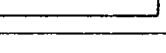
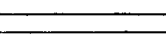
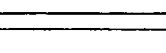
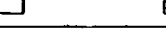
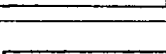
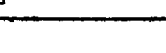
我国于五、六十年代间曾进行过早期推定混凝土强度的试验研究工作。七十年代后期,中国建筑科学研究院、北京市建筑工程总公司、中国建筑第四工程局、西安冶金建筑学

混凝土加速养护试验方法一览表

表 1-1

序号	研究者或发表机构 国别 年代	养护条件 (温度, 时间)		备注
		0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50	h	
1	格兰德 (M·S·Gernd) 美国 1927			饱和蒸汽, 0.6~0.7MPa
2	帕溪 (O·G·Patch) 美国 1933			沸水
3	布考斯基 (B·Bukauskis) 波兰 1936			沸水, 蒸汽
4	金 (J·W·H·King) 英国 1955			电炉
5	阿克诺依德 (T·N·W·Akroued) 英国 1956			沸水
6	康威尔 (J·S·Cronwell) 奥地利 1956			试体浸入沸水后切断 电源降温速率视容器 保温情况而异
7	尼可尔 (T·B·Nicol) 奥地利 1957			温水
8	奥德曼 (N·N·B·Ordman) 英国 1958			电炉
9	华尔克公司 (A·F·Falk·Co) 意大利 1958			蒸汽
10	坂村昆等 日本 1959			红外线
11	沃奥林伦 (J·Vuorinen) 芬兰 1961			电炉或温水
12	阿克诺依德 英国 1961			沸水
13	阿克诺依德 英国 1961			沸水
14	汤普森 (M·S·Thompson) 英国 1962			温水

续表

序号	研究者或发表机构 国别 年代	养护条件 (温度, 时间)											备注
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
15	史密斯 (P. Smith) 等 加拿大 1964												混凝土凝结达某一阶段后30 min 再浸入沸水养护
16	马尔赫特拉 (V. M. Mahotra) 加拿大 1964												沸水
17	邦迪 (C. A. P. Boundy) 奥地利 1964												蒸汽养护后依据试验值的测定值推定混凝土强度
18	金 (J. W. N. King) 英国 1964												温水
19	加拿大标准协会 CSA A23.2-26												沸水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.3 \sim 0.5$
20	英国土木工程师协会 快速试验委员会 1968												温水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.4 \sim 0.7$
21	后藤幸正 日本 1968												沸水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.5 \sim 0.6$
22	十代田知三 日本 1968												沸水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.2 \sim 0.3$
23	英国标准协会 BS 1881												温水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.4 \sim 0.7$ 依据前置、后置时间, 修正为标准周期强度
24	美国材料与试验学会 ASTM C 684-74												沸水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.3 \sim 0.5$
25	ASTM C 684-74												温水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.2 \sim 0.5$
26	日本建设省土木研究所 混凝土研究室 1976												温水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.5 \sim 0.8$
27	日本建筑学会简易 试验方法委员会												温水, $\frac{R_a}{R_{28}} \sim 0.5 \sim 0.8$
28	卡莱纳森达拉姆 印度 1978												温水
29	卡莱纳森达拉姆 印度 1978												静置24h脱膜, 置试件于85°C水中
30	纳姆比尔 (Nambier O. N.) 印度 1977												温水

院等单位在原国家建工总局的组织领导下，组成专题组开展了混凝土质量早期判定方法的试验研究工作。1981年，提出了试验研究综合报告，通过了科研成果鉴定。1982年，编制了“早期推定混凝土强度试验方法”，1983年，城乡建设环境保护部批准该试验方法为部标准。这期间交通部公路科学研究所等单位通过试验研究还提出了“用促凝压蒸技术即时推定混凝土强度试验方法”，1982年通过鉴定。1983年列入交通部部标准《公路工程水泥混凝土试验规程》附件。中国建筑科学研究院等单位还研究编制了“混凝土拌合物的水灰比分析试验方法”。有关单位还研究了其他加速养护、快速分析试验方法。

随着建筑工业与结构设计理论的发展，早期判定混凝土质量试验方法的研究工作日益为人们所重视，早期判定试验方法的应用也日趋普遍。目前在建筑工业中一般是用于混凝土质量的生产控制和混凝土配合比的设计与调整。有的国家已允许应用早期推定混凝土强度试验方法所得的早期强度作为合格验收的依据。

在混凝土质量的生产控制中，主要是利用试验所得的早期强度或快速分析新拌混凝土所得的某些表征质量指标的参数信息，运用数理统计方法进行整理和分析，反馈于生产，据以提出排除故障、保证质量的对策和措施，以使混凝土生产的全过程都处于科学管理和严密控制状态，以较高的工作质量保证较高的产品质量，并获得较高的经济效益。

在混凝土配合比设计中，主要是利用试验所得早期强度或某些参数与标准养护28d强度具有一定相关关系的特性，应用数理统计学中的回归理论，建立早期强度或某些参数与标准养护28d强度的关系式，根据要求的标准养护28d强度

求得应有的早期强度或某些参数值，据以设计确定混凝土配合比或调整配合比。这样可于当日或次日确定或调整配合比，既可适应加快施工进度的要求，于早期提供混凝土配合比，又可充分利用水泥活性，提高经济效益。

在合格评定验收工作中，有的国家基于较长时期的实践，鉴于加速养护早期强度与标准养护 28d 强度有足够的关联性，因而规范中规定允许用早期加速养护试验代替标准养护试验，以早期加速养护试验作为验收的基础。

第二节 关于加速养护试验方法的 几个问题

加速养护试验方法主要是于早期强化养护条件，促进水泥水化，促进混凝土强度增长，以期得到较高的早期强度，据以推定标准标准 28d 或其他龄期的强度，评定混凝土的质量。由于试验工作多是在施工生产现场进行，因之，从评定混凝土质量要求的可靠程度及从使用这种方法的一般施工生产单位来考虑，对加速养护试验方法的基本要求应是：

1. 试验结果应具有较高的可靠性，又能于较短的时间内取得试验结果。

2. 加速养护的早期强度应能有效的表明混凝土的潜在强度。其与标准养护 28d 强度的关系应能适用于较宽的强度范围。预测的 28d 强度应尽可能在允许的准确度范围内，最好不受组成材料和配合比的影响。

3. 试验结果应具有复现性，并能与其他用同样方法得出的结果作对比。

4. 试验设备应易于购置或制备，操作简便费用低。

5. 试验作业时间应与一般上班周期相适应，避免加班工作，特别是避免深夜、凌晨或通宵作业。

从前节加速养护试验方法一览表中可以看出，五十年来试验方法的发展主要是为了研究改进试验结果的可靠性，提高推定结果的精度，并在此前提下力求用较短时间取得试验结果。当试验时间虽较短，但如试验结果精度不高时，则宁肯采用试验时间较长的试验方法，以保证试验结果所需的精度。沸水养护当日法是早在二十年代就开始研究的试验方法，不同的研究者，持续到六十年代还在研究改进这一方法，但依据试验结果推定28d强度的精度不够满意。虽然沸水养护次日法得到试验结果的时间较长，但试验结果精度能较好的满足要求，因而为广大工程界所认可，为有关机构采纳列为规范标准。同样基于上述原则，55℃温水法及35℃温水法也列为规范标准。

加速养护试验的作业周期较短，养护条件又有了强化，因之试验中所用加速养护设备、加速养护的温度、加速养护的时间、升温及降温经历的时间、从拌和混凝土到开始加速养护所经历的前置养护时间、从加速养护终了到进行抗压强度试验所经历的后置养护时间，以及加速养护前后静置期间的环境温度和湿度等对试验结果的影响都比对普通标准试验的影响反应为强。以下仅就对试验方法及试验结果影响较大的几个因素予以论述。

一、加速养护设备

常用的加热设备有温水箱、沸水箱、蒸汽箱、恒温电烘箱、蒸压釜、红外线加热器等。选择加热设备主要考虑的是对试验结果影响较大的温度控制的精度，以及设备的实用性

和经济效果。采用的加速养护设备应是易于准确控制温度，温度分布均匀，且又易于购置制备，使用方便，费用经济，以便一般混凝土制品厂或建筑工地采用。

蒸压釜是早在二十年代就曾使用的加速养护设备。由于其养护条件与标准养护条件及一般生产构件的实际养护条件均大不相同，设备费用又较高，因之未能得到广泛使用。恒温电烘箱早在五十年代初即为英国首先采用。设备较普遍，温度也易控制，但箱内各处的温度分布均匀性较差，升降温时常有滞后现象，从而影响试验条件的同一性。且为防止混凝土试件脱水，所用试模须能防止透漏砂浆水分。但是，即使采用密封试模，试件仍难免漏汽失水，影响试验结果。所以后来也未得到广泛使用。红外线加热器的设备费用也较高，且也有使混凝土易于失水的缺点。蒸汽养护箱虽较易制备，养护条件与预制构件的一般生产工艺条件相似，升温也较快，但升降温时也有滞后现象，温度分布的均匀性也不太好。温水箱内水温分布较均匀，水温恒温控制设备较易制备，设备费用较少。沸水箱较之温水箱更易控制温度，设备费用也较少。普通煤炉即可用来加热沸煮，花费既少，各类工地又都易做到。温水箱法有的也需采用密封试模，但混凝土试件则无失水之虞。

我们曾进行过养护温度等条件相同的电烘箱干热养护与温水箱养护的对比试验，结果是电烘箱干热养护的早期强度与标准养护28d强度的比率较温水箱温水养护的为高，说明即使采用密封相当严密的试模，当置入电烘箱内养护时仍难完全避免失水现象。英国J·W·H·金早在五十年代初曾用电烘箱进行85℃加速养护。英国奥德曼(N·N·B·Ordman)、芬兰沃奥林伦(J·Vuorinen)及日本坂村昆等也曾采用电