



# 混凝土早期 温度裂缝的预防

Prevention of Thermal Cracking in Concrete at  
Early Ages

(中/英文对照)

· 主编 ·

R. Springenschmid

· 主译 ·

赵 筠 谢永江

· 主审 ·

廉慧珍 覃维祖



中国建材工业出版社



# 混凝土早期 温度裂缝的预防

Prevention of Thermal Cracking in Concrete at  
Early Ages

(中/英文对照)

• 主编 •

R. Springenschmid

• 主译 •

x 籍 谢永江

• 主审 •

廉慧珍 覃维祖



中国建材工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

混凝土早期温度裂缝的预防=Prevention of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages / (德) 鲁珀特·施普林根施密特著 ; 赵筠等译. --北京: 中国建材工业出版社, 2019. 1

书名原文: Prevention of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages

ISBN 978-7-5160-2021-0

I. ①避… II. ①鲁… ②赵… III. ①混凝土浇筑-裂缝-防治 IV. ①TU755.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 220541 号

## RILEM 免责声明

15 号报告(混凝土早期温度裂缝的预防)的原版由 R. Springenschmid 教授编辑, 由 E. & FN Spon 以英文形式出版, 版权归 RILEM 所有。这个中文翻译没有由 RILEM 完成, 因此, RILEM 对本报告翻译中的任何错误概不负责。

The original book of the report 15 was edited by R. Springenschmid and published in English version by E. & FN Spon under the copyright RILEM.

This Chinese translation has not been done by RILEM, thus RILEM is not responsible for any errors in the translation of this report.

## 混凝土早期温度裂缝的预防

主编: R. Springenschmid

主译: 赵 筠 谢永江

主审: 廉慧珍 覃维祖

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 31.75

字 数: 750 千字

版 次: 2019 年 1 月第 1 版

印 次: 2019 年 1 月第 1 次

定 价: 168.00 元

著作权合同登记图字: 01-2017-5699 号

本社网址: [www.jcbs.com](http://www.jcbs.com), 微信公众号: [zgjcgybs](https://www.jcbs.com)

请选用正版图书, 采购、销售盗版图书属违法行为

**版权专有, 盗版必究。**本社法律顾问: 北京天驰君泰律师事务所, 张杰律师

举报信箱: [zhangjie@tiantailaw.com](mailto:zhangjie@tiantailaw.com) 举报电话: (010) 68343948

本书如有印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换, 联系电话: (010) 88386906

## 廉慧珍 序

自 2000 年得到这本书后,我和覃维祖十几年来对这本书一直在关注和学习,每读一次都会有进一步的体会和认识。我们很希望把这本书中所述经验和研究成果介绍给国人,因囿于版权问题,只能多次在技术报告和培训授课中引用。感谢李克非教授联系 RILEM,解决了版权问题。由赵筠主持,经过众多同仁的热情支持和无私帮助,中国铁道科学研究院谢永江带领各位年轻学者把这本书翻译成中文,终于可以和国人见面了。这本书的内容是 RILEM TC-119TCE 技术委员会 8 年研究的成果。正像本书前言所述,其目的是“用现代观念和方法预测混凝土早期的应力和相关影响因素,替代以前的纯粹依靠现场经验的方法。”这无疑是混凝土工程科技的进步。尽管从该项研究开始时已过去了约 20 年,而从内容可见当时研究思路清晰,考虑全面周到,工作细致入微,其中的基本观念和技术措施至今仍然先进而可操作。

在美国混凝土学会 (ACI) 编写的《混凝土手册》(Manual of Concrete Practice) 中,207 委员会 (ACI Committee 207) 关于“大体积混凝土”报告说到:一个结构或其部分的混凝土,如果需要采取措施控制热行为来减轻开裂,就可以看作“大体积混凝土”。这是对“预防混凝土早期温度裂缝”的对象最恰当的诠释:“大体积混凝土”只是一种本质的形容,而不是体量。由于水泥的变化、工程条件的影响、对混凝土强度要求的提高等多方面因素,现代混凝土浇注后的温升所引起的早期开裂并非只发生于大坝混凝土,亦非“最小断面尺寸大于 1m (后来又被改为 0.8m)”的混凝土。那些中等尺寸 (例如最小厚度为 20cm) 构件的混凝土往往也需要控制因早期发热引起的开裂;尤其是散热条件差的地下连续墙、顶板、隧道衬砌与支护、基础等构件的混凝土,一般裂缝很难避免。本书所述研究和工程实例表明,水泥的水化热以及混凝土温度变化已经成为引起混凝土与钢筋混凝土早期开裂的主导原因。书中对水泥水化热、混凝土的温度应力和开裂倾向、混凝土硬化过程温度以及力学行为发展等的试验方法、计算分析和预测方法详尽的阐述,都可为我们观念的转变、结合我国国情的继续研究和在工程中采取的对策提供借鉴。例如,第 6 章和第 9 章中对外部约束的分析和计算、第 9 章中关于以控制承载裂缝为目的的配筋计算,以及第 7 章温度应力计算模型和计算方法……,这些内容无论对施工人员,还是对结构设计人员,都有参考价值。除了俄罗斯,西方国家高校没有建筑材料专业,书中各章作者都是“土木工程”出身从事结构工程研究、设计和建设的

学者。而我国，结构工程师大都不懂得混凝土材料，对混凝土结构耐久性的设计没有经验，离开规范就不知所措；只会进行安全性的计算，不会进行耐久性设计；混凝土材料工程师力学、数学功底又欠缺，难以进行量化的预测；建设管理中又将设计、施工、材料分设部门归口，更不利于提高必然涉及材料与施工的混凝土结构耐久性设计水平。因此，本书出版发行的意义不仅在于技术层面，对我国建设各方思维方法和观念转变也都会有重要的启发和促进。

本书中对中等体积混凝土硬化初期温度裂缝预防的概念及其影响因素的分析，对混凝土结构约束的评估、应力的计算分析和开裂倾向的预测，以及对热应力的预测和预防混凝土早期热裂缝的措施与工程实例，应当说都具有重要意义。

特别值得注意的是应力计算涉及的“徐变”问题的分析。“由于缺少早期应力松弛数据，大多数关于温度应力分析的理论研究采用徐变特性建立数学模型。”书中介绍了已建立的多种方法用于建立早期粘弹性响应的模型，推荐了十多篇参考文献的模型实例，并对其中的一些进行了探讨。因受拉的徐变更难以测定，一般假定受拉徐变值和受压徐变值相同，但是影响徐变的因素很复杂，至今对徐变机理仍然并不清楚，早期徐变还涉及水化的影响，很难准确测定。因此，本书作者认为：“基于受约束的热膨胀和温度应力的本质，直接采用从松弛实验获得的松弛函数应该更好。”有人对松弛进行了实验研究，从报道的结果可以看到，与压应力松弛相比，拉应力松弛较小且在较短的时间内结束。这表明，以后针对应力松弛进行更深入的研究非常重要。

有人对我说了一句感言：“读书要读老的”，我亦有同感。“老书”数量很少，能经得起反复读而流传的老书，都是经过深思熟虑编写的，是亲力亲为的经验提升，逻辑缜密，内容扎实，行文严谨。好书常读，反复读，就会不断发现其精华，启发思考。有一些“老书”经过修订后，反而会有所减色，往往不是原作者造成的，而是后人增加了未经考验的某些“新内容”。这也说明原著“老书”的珍贵。但是世界上不存在完美无缺，尤其是年代久远之后，材料和客观条件变化，或者限于时代局限性和地域环境的适用性，任何好书也会有因时代变迁而不再适用的内容，也有和读者的知识、观念、经验相异之处而需要分析判断的问题，因此读书最重要的是思考，深层次地思考。任何实验都是使用标准试件和标准方法，在标准条件下进行的，必要时还会有些科学假设。当条件（包括材料特性）发生变化时，就会有不同的实验结果。因此对任何书中的论断都应分析其来源——理论上的逻辑和实施的条件与方法。此外，因为本书是跨国、跨界不同人分章撰写的，难免缺乏严密的系统性，有些内容有重复、交叉之处。这些问题瑕不掩瑜，并无损于这本书带给我们的启示和重要参考价值。现举数例与读者讨论：

①本书 4.4.5 所述“养护温度较高，一般强度较低”。这个规律是当时用纯硅酸盐

水泥实验的结果，而掺入矿物掺和料以后则恰好相反。工程实体构件中的混凝土尤其在夏季内部温度都会较高，当使用纯硅酸盐水泥时，初期（七天前）强度比同期标养强度高，七天以后，开始相反；初期强度越高，后期比同期标养强度低得越多。掺入粉煤灰或其他活性矿物掺和料的混凝土强度则始终高于同期标养强度，水胶比越低，高得越多。标准养护试件因尺寸较小，内部温度同于养护温度，故与此规律一致。

②书中有几处提到“用完全水化的混凝土试样”进行标定，但是并没有说明制备的方法，标定什么？怎样标定？水泥完全水化只能用高水灰比（例如1:1）的稀浆，不停地搅拌或振荡2~3天。但是因为多余水太多，硬化的试件完全不同于标准成型的试件。如果不这样做，正常成型的混凝土试件是不可能完全水化的。

③本书多处“混凝土水化热”的提法是不确切的。水泥的水化热指的是“单位质量的水泥水化释放的热量”，度量单位是J/g，或kJ/kg。水化热的大小是水泥的本征特性，与水泥用量无关。混凝土的“发热”为所用水泥水化放热导致的温升，度量单位是摄氏度（℃）或华氏度（°F），或本书所用热力学温度开尔文（即绝对温度K），与所用水泥用量有关。因此“混凝土水化热”应当改为“混凝土水化放热”。

④F. S. Rostásy, T. Tanabe 和 M. Laube 撰写的第6.6节通过配筋和预应力控制开裂，以及 S. Bernander 撰写的第9.9节通过配筋防止裂缝，其中所述配筋主要是从结构设计角度考虑的，目的是限制钢筋的混凝土保护层因荷载作用而产生裂缝的宽度。这与非荷载产生的裂缝不同。第9.9.1段中所述“（对于贯通裂缝）附加钢筋可限制结构开裂的倾向，就像限制表面裂缝一样”，这里所述附加钢筋如果指的是构造配筋，例如墙体的水平筋，应当设在主筋外面，而且应当细而密才有效。因为“保护层是保护钢筋免于锈蚀的，保护层厚度应当从最外层钢筋表面算起（GB/T 50476《混凝土结构耐久性设计规范》条文说明），而目前某些管理人员规定保护层厚度从主筋中心算起，有的结构设计为了“减小保护层厚度”，将构造筋设在主筋里面，这是错误的；还有的施工单位（或许有设计单位的支持）为了“防止表面裂缝”而在保护层附设一层钢丝网，在GB/T 50476《混凝土结构耐久性设计规范》中规定不应采取这样的措施。本书第9.9.2段在最后也说“没有表面钢筋的混凝土结构，耐久性明显变好。”希望我国设计和施工人员对此加以注意。

⑤本书原作者发现“近十几年来，基础、桥梁、隧道衬砌以及其他中等尺寸的构件里，结构混凝土开裂的现象增多，同时……干燥收缩通常在这里并不重要了。水化热以及温度变化已经成为引起素混凝土与钢筋混凝土约束应力和开裂的主导原因”，其中后者无疑是正确的。因为早期裂缝的预防之所以重要在于早期裂缝是后期裂缝的开裂源，而早期的温度裂缝占据大比例。但是我们往往注意到早期“不裂”的后期不一定不裂。

这是因为早期“不裂”只是不出现可见裂缝，而那些不可见裂缝仍然是后期干缩裂缝的潜在开裂源。在欧洲温和而潮湿的环境下着重控制早期温度裂缝，是有可能“干燥收缩通常在这里并不重要了”。但是在幅员辽阔的中国，有的地区如新疆、甘肃等西北部，干缩可能成为在约束条件下开裂的主要原因。这就是地域和环境条件的差异。

关于翻译，我们意图尽量做到准确，但功夫不够，未免有所忽视，希望读者同我们一起挖掘问题。现举例说明之。第五章引用 Bazant [20] 提出的“正在水化的混凝土——一种正在凝固的多孔材料徐变并联模型”，用以说明为什么在正在水化中的混凝土加载所得徐变值会比在水化终止后加载的徐变值较低。其中并联的原文是 parallel coupling，原译者译成“并联耦合”。借此解释一下修改的理由：现在不少人在研究多个因素对混凝土物理力学性质影响时，喜欢用“耦合”这个词，诸如“碳化—冻融耦合作用”之类。“耦合”是从英文的“coupling”译过来的。实际上该词就是连接的意思。维基词典 (Wiktionary) 的解释：在机械上是 A system of forces with a resultant moment but no resultant force (只合成力矩而不合成力的一种体系)；指的是连接器，例如轴承、火车车厢之间的挂钩；在电学上是 The transfer of a signal from one medium or circuit block to another (信号从一个介质或电路到另一个介质或电路的传输)，指的是两个或两个以上的电路元件或电网络的输入与输出之间通过相互影响、相互作用从一侧向另一侧传输能量的现象，用于电气、通信、软件等工程中时，我国译成耦合。在混凝土工程中多种因素对耐久性的影响，可能是相互促进，也可能是一定程度上的相互抵消，并且一般不会同时发生。应当是交互（交叉而相互影响）作用，而不是“耦合”。例如冻融循环破坏的条件是饱水，碳化的条件则是相对湿度为 50% 左右，既非“耦合”，亦非 coupling。另一例为在现场监测温度应力的应力计的描述中原文中的“load cell”，原按照词典翻译选择了“应力传感器”。从字面和说明来看，实际上“load cell”是保护应力传感器的一个小盒。反复推敲后，改成“测力盒”，可以避免中国如果有人中译英时会译成 sensor 而回不到原来的意思。

以上只是我历经两个多月时间对本书 50% 的篇幅“咬文嚼字”了一番从发现的问题中略举数例。赵福垚用了约 2 个月时间做了检查，又发现一些问题和错误。有的是原文就有误，例如数学模型中，函数的等号前后量纲不一致等。其中主要的概念错误是翻译的误解，例如第 170 页（第 5 章）把有限元分析中的弥散裂缝 (smeared crack) 翻译成模糊开裂，第 204 页（第 6 章）把张量分析中的 0 阶 (order) 和 1 阶 (order) 弯矩翻译成 0th 和 1st 序列弯矩。

以上所有误译之处均已在出版时改正，在此提出绝无任何嗔怪之意，只是意在说明读书重在独立思考，翻译、校对、审查，都是学习的过程。虽然多次检查，肯定还有挂

一漏万的问题。一己之见，供读者参考，不当之处，万望指正。

早期裂缝的控制是提高混凝土结构耐久性把门的环节，本书为混凝土结构设计、混凝土制备与施工的全体人员提供了重要的启示和参考。我国工程结构耐久性设计与施工任重而道远，但时不我待，混凝土结构耐久性是我们基础设施建设最重要的绿色行动。与大家共勉！

清华大学土木水利学院

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Xiang Hong' (向红), written in a cursive style.

2018年9月9日

## 覃维祖 序

德国慕尼黑工大的 Springenschmid 教授自 20 世纪 60 年代末起,指导多位研究生从事混凝土早期热裂缝问题的研究,并于 1989 年在欧洲混凝土材料与结构的相关组织 RILEM,组建了 RILEM 119-TCE 委员会并任主席;在 1994 年召开了以“混凝土早期热裂缝”为主题的国际研讨会,以交流对热应力和避免混凝土早期热裂缝方法的新认识;并于 1998 年出版《避免混凝土早期温度裂缝》一书,且在 2005 年进行了再版,书名改为《混凝土早期温度裂缝的预防》。

本人 1987 年在法国巴黎的 LCPC (路桥试验中心)进修时,曾用该中心拥有的小型温度应力试验装置进行过几次试验;1993 年从交通部公路科研所调到清华大学任教后,于 1997 年前后到国家图书馆复印了国际研讨会《混凝土早期温度裂缝》论文集(1995 年出版);而后也带领多位研究生从事相关问题的研究。

从多年来的阅读和试验研究工作中,感到有以下几点体会与本书的读者分享:

1. Springenschmid 教授在该领域的工作是从工程需求出发的,有着明显的与工程建设特点相结合的印记,这一点在他和学生发表于《混凝土早期温度裂缝》论文集里的多篇文章(内容涉及道路、水坝和隧道等工程)得到充分的体现。在文中,这一点也非常突出,例如讲到新拌混凝土温度的影响时指出:“构件的混凝土浇筑温度较高,例如  $30^{\circ}\text{C}$  时,因为高温加速水化反应,混凝土温升也较迅速。如果环境最低温度低于混凝土构件的第二零应力温度,在冷却到环境温度期间,浇筑温度高的混凝土比浇筑温度低的混凝土热收缩会大很多”(见 3.5 节),说明作者们时时与工程实践紧密相联系。在这里,笔者想提醒读者注意的是,温升的速率与水化的加速出现了“超叠加效应”,这就导致现今在实验室内按照标准温度进行的试验与现场工程实际相脱离。

2. Springenschmid 教授提出了在实验室测定混凝土热应力和开裂敏感性的试验方法(见第二章),并通过大量试验研究提出了评价、判断混凝土开裂敏感性的参数及指标,开辟了“用现代观念和方法预测混凝土早期应力和相关影响因素”,为替代“以往纯粹依据现场经验的方法”提供了可靠的支撑(见本书英文版作者的“序”)。

3. 依据多年结合工程进行试验研究工作的体会,以及混凝土技术近几十年来发展和变化的现实, Springenschmid 教授提出“中等尺寸”构件的概念,并指出:“近几十年来,基础、桥梁、隧道衬砌以及其他中等尺寸的构件里,结构混凝土开裂的现象增多,

同时发现干燥收缩通常在这里并不重要了。水化热以及温度变化已经成为引起素混凝土与钢筋混凝土约束应力和开裂的主导原因”(见本书英文版的前言),笔者认为:这是对混凝土技术发展有重大意义的创新,有助于人们对当今混凝土结构出现开裂与耐久性问题的原因以及防治措施的认识。

4. 尽管全书主要讲述混凝土的水化温升对结构开裂的影响,但是在9.2.3.1节却意外地提到了最新发现——水化温升有益的“副作用”,指出“水化放热的作用并不‘总是’有害的,在一定条件下,它还会演变为压应力或有助于减小同一表面冷却阶段的拉应力。”笔者从这些年接触到我国发展高铁建设初期引进德国轨道板生产技术,以及例如意大利公司采用专有技术承包某地的建筑工程中,都感受到欧洲人已经把这个“新发现”体现并落实到施工技术的进步中去。

当然,本书也有一定局限性,例如,书里在谈到干缩的影响时说到:在混凝土浇筑的最初几周内,干缩对开裂的影响可以不考虑(6.1节)。显然,这是基于长期以来人们对干缩的检测结果所得出的结论。而实际上,例如在国内西北地区特别干燥、风大的环境里,怎么可能忽略初龄期混凝土干缩对开裂极其显著的影响呢?

总之,该书有诸多精彩的叙述,不仅体现了科技进步在工程中的应用,带来改善、提高工程质量的作用;同时,也体现出不断更新理念与知识对于混凝土工程技术发展极其重要的影响。在此热情地推荐给各位混凝土同行,非常希望通过阅读和消化、吸收其中的营养,落实到我国混凝土工程的建设中去。

覃维祖

2018年8月18日

## 译注者前言

混凝土早期（从浇筑开始持续几天至几周）的凝结硬化过程伴随水化放热，在逐步产生强度和刚度的同时，发生着温度变化、化学减缩和自收缩，以及可能的失水收缩（塑性收缩与干缩），这个阶段的混凝土最容易出现裂缝。其中，最常见的裂缝是早期热裂缝。因为在升温期，混凝土尚未凝固或刚凝固，弹性模量小，温升的体积膨胀只能形成较小的约束压应力，且在早期比较强的松弛作用下，压应力很快降低；而在降温阶段，由于弹性模量已增大，温降的体积收缩受到外部或内部约束，会产生较大的拉应力（热应力或温度应力）——一旦超过混凝土当时的抗拉强度，即产生热裂缝。

欧洲国际材料与结构研究实验联合会（简称 RILEM）1998 年出版了由德国慕尼黑技术大学教授 Rupert Springenschmid 主编的《避免混凝土早期温度裂缝》（“Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages”），2004 年再版（电子版）更名为《混凝土早期温度裂缝的预防》（“Prevention of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages”），第 1 至 9 章内容相同，增加了第 10 章，系统性地介绍了与热裂缝相关的试验测试和量化评估影响因素的方法，以及数字化分析热裂缝敏感性的方法，为混凝土结构设计、施工的热裂缝防控提供了科学的手段。同时，该书也为我们更新了观念，指导如何接近实际地研究与分析混凝土的裂缝问题，是混凝土裂缝控制的重要技术文献。虽然该书从英文版出版至今，已经过去了近 20 年，但作为热裂缝防控的基础知识，其内容没有过时，在可以预见的未来，仍然具有较高的学习和参考价值。

本书原英文版出版伊始，就得到清华大学廉慧珍、覃维祖教授的积极推荐，并希望译成中文，便于更多人学习参考。全书的翻译也是在两位教授的鼓励、组织与直接参与下完成，各章节翻译与审核分工如下：

|            |            |           |
|------------|------------|-----------|
| 第 1 至第 4 章 | 翻译：赵筠      | 校核：廉慧珍    |
| 第 5 章      | 翻译：郑新国、刘竞  | 校核：赵筠、覃维祖 |
| 第 6 章      | 翻译：谢永江、李书明 | 校核：赵筠、覃维祖 |
| 第 7 章      | 翻译：曾志、谢永江  | 校核：赵筠、覃维祖 |
| 第 8 章      | 翻译：李书明、曾志  | 校核：赵筠、覃维祖 |
| 第 9 章      | 翻译：赵筠      | 校核：廉慧珍    |
| 第 10 章     | 翻译：程冠之、董全霄 | 校核：廉慧珍、赵筠 |

全书审核：廉慧珍

武汉大学刘数华教授在 2009 年与 RILEM 联系，获得本书中文翻译的免费版权许可。2017 年本书中/英文对照版列入中国建材工业出版社出版计划，清华大学李克非教授再次与 RILEM 联系确认版权许可，并得到国家版权局审核批准，使本书中/英文对照版得以出版。在此，衷心感谢 RILEM 的支持，以及刘数华、李克非教授的帮助。还要感谢武汉源锦建材科技有限公司对本书出版的大力支持，以及中国建材工业出版社杨娜女士长时间的不懈努力，最终使本书能够与读者见面。

出版中/英文对照版的技术类书籍，是中国建材工业出版社的一次新尝试。这有助于学习和对比本领域中、英技术术语和表达方式等，也方便读者对内容翻译和表述的准确性进行核对与纠正。需要特别说明的是，本书各章节的作者大多不是以英语为母语的技术人员或学者，撰写的有些英文语句在语法或文法上可能有瑕疵，不宜作为英语“范文”学习，但“瑕不掩瑜”，其内容体现了各位作者在本技术领域的研究探索以及取得的成果与经验，值得深入学习与借鉴。

希望读者能就本书中文翻译不准确的地方提出宝贵意见，对相关技术细节进行分析探讨。



2018 年 8 月 22 日

国际材料与结构研究实验联合会 15 号报告  
混凝土早期温度裂缝的预防

首次于 1998 年发行

由 E & FN Spon 出版社发行，Routledge 出版社印制  
出版社地址：11 New Fetter Lane London EC4P 4EE（英国伦敦）

同时由 Routledge 出版社在美国和加拿大发行  
出版社地址：29 West 35th Street, New York, NY 10001（美国纽约）

（1998 国际材料与结构研究实验联合会拥有版权）

在英国由 St Edmundsbury 出版社印刷和装订  
出版社地址：Bury St Edmunds, Suffolk

版权所有，未获得出版者的书面许可，本书的任何部分不得翻印  
或  
复制或以其他方式使用，或借助任何电子的、机械的，或其他现在已知或以后发明  
的手段使用，包括复印、录像、任何信息存储或提取系统。

对于本书包含信息的准确性，出版者没有做任何陈述、表达或暗示；对于可能存在的  
的错误或遗漏，出版者不承担任何法律责任或义务。

出版者的提示  
本书是根据各个贡献者（作者）提供的正稿和 word 处理文稿光盘编辑而成。

英国图书馆收录在出版数据库中  
本书在英国图书馆有目录记录。

ISBN 0 419 22310 X

First published 1998  
by E & FN Spon, an imprint of Routledge  
11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE

Simultaneously published in the USA and Canada  
by Routledge  
29 West 35th Street, New York, NY 10001

©1998 RILEM

Printed and bound in Great Britain by  
St Edmundsbury Press, Bury St Edmunds, Suffolk

All rights reserved. No part of this book may be reprinted  
or  
reproduced or utilized in any form or by any electronic,  
mechanical, or other means, now known or hereafter  
invented, including photocopying and recording, or in any  
information storage or retrieval system, without  
permission in writing from the publishers.

The publisher makes no representation, express or implied,  
with regard to the accuracy of the information contained in this  
book and cannot accept any legal responsibility or  
liability for any errors or omissions that may be made.

*Publisher's Note*

This book has been prepared from camera-ready copy and  
word-processing discs provided by the individual contributors.

*British Library Cataloguing in Publication Data*

A catalogue record for this book is available  
from the British Library

ISBN 0 419 22310 X

## 前 言

本书介绍国际材料与结构研究实验联合会 (RILEM) TC-119TCE 技术委员会在 1989~1997 年间, 开展“避免混凝土早期温度裂缝”的研究工作, 包括 1994 年 9 月 10~12 日在慕尼黑召开“混凝土早期温度裂缝国际研讨会”上报告的重要研究结果。

避免新浇筑混凝土出现裂缝, 是混凝土工艺的主要问题之一。RILEM TC-119 技术委员会的成员、世界范围的许多土木工程师和科研人员开展本工作的目标是用现代观念预测混凝土早期的应力及其影响因素, 替代以前的纯粹依靠现场经验的方法。

本书应作为进一步研究的基础, 而且更为重要的是, 对于那些从事大体积或中等尺寸混凝土结构以及混凝土原材料选择和拌和物配合比设计的工程师们来说, 应将本书作为预防温度裂缝的基础参考文献。

作为 RILEM TC-119 技术委员会的主席, 我要感谢本书各章节的作者和为本工作作出贡献的所有人。他们慷慨地分享他们的经验。J. -L. Bostvironnois 先生协助我做了本书大部分编辑工作。在此, 我要向他表示感谢。

Rupert Springenschmid

慕尼黑, 1998 年 3 月

## Preface

This book describes the work of RILEM Technical Committee-119 TCE on the "Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages" which was performed between 1989 and 1997. It also includes important results presented at the International Symposium on Thermal Cracking in Concrete at Early Ages between October 10th and 12th, 1994 in Munich.

The avoidance of cracking of young concrete is one of the main problems of concrete technology. The aim of the work of the members of the RILEM TC 119 and many civil engineers and scientists all over the world was to replace earlier methods, based purely on field experience, by modern concepts for the prediction of stresses in concrete at early ages and the factors influencing them.

The book should be a basis for further research. Furthermore—and this is even more important—it should serve as a basis for the avoidance of thermal cracking by the engineers who have to design and construct mass or medium sized concrete structures and by those who have to select the concrete materials and design the concrete mix.

As Chairman of RILEM TC 119, I would like to thank the authors of the sections of this book and all others who have contributed to this work. They passed on their experience generously. Mr. J. -L. Bostvironnois assisted me in most of this editorial work. I would like to take this opportunity to thank him.

Rupert Springenschmid  
Munich, March 1998

# 引 言

大体积混凝土结构由于水泥水化放热会引起开裂的现象，在 20 世纪初就已经众所周知。已经开发出来的避免这种开裂的办法，主要是针对混凝土大坝及其他大体积水工结构的。为了减小水化放热产生的影响，开始采用掺火山灰的办法，30 年代又开发出低热水泥。利用加大粗骨料粒径、非常低的水泥用量、预冷拌和物原材料、限制浇注层高和管道冷却等措施，进一步获得了降低水化温峰的效果。

虽然工程师们早已熟悉热量的产生和散热过程，但是混凝土体与基础之间，或者混凝土块体内外的最大允许温差值，仅仅是根据经验做出的规定，而混凝土的一些基本性质，例如抗拉强度、热膨胀系数等并没有考虑在内。

近几十年来，基础、桥梁、隧道衬砌以及其他中等尺寸的构件里，结构混凝土开裂的现象增多，同时发现干燥收缩通常在这里并不重要了。水化热以及温度变化已经成为引起素混凝土与钢筋混凝土约束应力和开裂的主导原因。

自六十年代后期才开始试图评价受约束的热变形引起的应力，并将其与初龄混凝土抗拉强度的增长相比较。出现了两个相当困难的问题：

- 热应力计算的结果在很大程度上取决混凝土从流态转化成固态其坚硬度的增长，然而坚硬度难以测定和预估；

- 约束应力不可能用普通的方法确定，计算结果的验证也没有数据可利用。

1969 年，开发出第一台有关的实验设备，即开裂架，使模型试验可以进行。测定初龄混凝土随温度变化产生的应力，我们深刻地认识到当混凝土构件的膨胀或收缩受阻时，会转化为应力。慕尼黑温度应力试验仪（1984）和其他几个研究院开发的类似的仪器，可以测定出任意约束条件下产生的应力。

近年来，许多研究者致力于早期约束应力的计算，以确定出现裂缝的风险。依据材料的性质、水化热的发展、坚硬度的增大与松弛能力的减小、抗拉强度的增长、热膨胀系数与化学反应对变形的影响建立了许多计算机程序。所有这些参数主要取决龄期、温度、水泥类型和混凝土拌和物的组成。实际上，只是有可能大致估计这些参数的影响。然而，在建立近似材料性质的模型方面，已经有了很大进展。这样的模型需要假设现场的约束和温度条件。