

工程结构 裂缝控制

(第二版)

王铁梦 著

CONTROL OF CRACKING IN
ENGINEERING STRUCTURE

(Second Edition)

WANG TIEMENG

中国建筑工业出版社

编辑 (113) 员录录去洋国

编辑编辑编辑工

00 : 有建出业工真各

113 113 113

工程结构裂缝控制

(第二版)

王铁梦 著

中国建筑工业出版社

(113001) (113001)

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构裂缝控制/王铁梦著. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-112-20690-2

I. ①工… II. ①王… III. ①工程结构—建筑物—裂缝—修缮加固 IV. ①TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 085097 号

本书是在第一版的基础上, 加入了“抗与放”的设计原则、跳仓法以及作者参与的大量实际工程修订而成。本书在大量工程实践基础上, 对结构物由于变形作用引起的裂缝作了系统的论述。其中包括许多新的观点、分析和处理方法, 特别是对多年来的实践经验和研究成果作了详细的分析。作者提出的有关伸缩缝计算公式已成功处理了我国及国外许多重点建设工程的裂缝问题。书中还重点介绍了作者提出的有关“后浇带”的经验及许多城市结构裂缝控制实例, 并发表了作者有关现场结构温度收缩应力的实测研究成果。

根据作者在工程实践中裂缝控制的经验, 应用“抗与放”的设计原则, 探索永久性变形缝法、后浇带法及跳仓法施工的技术特点及其推广应用条件, 重点介绍了近年来解决超长大体积钢筋混凝土结构裂缝控制, 取代永久性变形缝和后浇带的跳仓法的应用技术。

本书可供土木工程广大技术人员、科研工作者和大专院校师生参考。

责任编辑: 仕 帅 王 跃

责任校对: 焦 乐 关 健

工程结构裂缝控制

(第二版)

王铁梦 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 49 字数: 1223 千字

2017 年 12 月第二版 2017 年 12 月第十五次印刷

定价: 128.00 元

ISBN 978-7-112-20690-2

(30351)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



作者简介

王铁梦，男，满族，1931年生于辽宁，教授级高工，博士生导师，国家科技进步特等奖获得者，1955年毕业于哈尔滨工业大学土木工程系工民建专业，留校任助教。于哈工大毕业前夕随苏联教授考察东北156项重点建设时，实践的需求，使他开始了工程结构变形缝与裂缝问题的探索，是我国对苏联规范变形缝允许间距规定最早提出异议的人。曾联系中国建设实际工程，完成了两篇初级论文，经苏联建筑科学院推荐，发表于苏联《工业建筑》杂志1958年第10期和1961年第4期。后在中国建筑科学研究院工作，参加首都十大工程建设，在北京人民大会堂科技委员会建筑物主体结构温度伸缩缝问题研究小组从事科研工作。1958年12月28日在专家会议上提出北京人民大会堂132m的结构可不设伸缩缝的建议被采纳，并参加了十大工程中有关伸缩缝及裂缝控制方面的技术服务。1961年调入冶金工业部建筑研究总院，冶金建筑领域工程量大、地下大体积混凝土工程量大、结构复杂、使用条件严峻，他在该领域中长期从事大体积混凝土结构裂缝控制与地基基础研究工作。1970年开始担任该院副院长和副总工程师，为中国的冶金工业包括上海宝钢、鞍钢、包钢、太钢、武钢、攀钢等大型钢厂建设中超长、大体积混凝土地下工程裂缝控制与防水进行了科学研究及技术服务。1974~1978年为国家重点工程武钢一米七工程现场进行跟踪试验研究，探索了超长结构温度应力与裂缝控制的机理，联系现场实测，总结出结构的温度收缩应力与结构长度呈非线性关系，温度应力有最大值，对工程的作用效应，或者用释放能量的办法，或者

用吸收能量抵抗外来作用的办法解决工程问题,提出“抗与放”的设计原则,辩证地统一了设缝与不设缝的两大流派,处理和解决了现场大量工程问题,首创无缝跳仓法设计施工技术,解决了国内外诸多地基和结构疑难裂缝事故,探索了偶然现象背后的必然规律。1978年至今兼任上海宝山钢铁总厂和宝钢工程建设指挥部副总工程师和顾问,长期进行地基基础与超长大体积混凝土的研究与实践。现任国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心专家顾问,教授博士生导师,中广核电技术顾问,上海浦东新区城市建设局地基基础工程专家组组长。1991年主编我国第一个大体积混凝土施工技术规范 YBJ 224—91。2013年1月被聘为国核电力规划设计研究院特聘专家,俄罗斯波罗的海明珠工程高级技术顾问。

半个世纪以来,王铁梦对中国大型工程建设实践做出了突出贡献,包括新中国成立初期的重点工程,解决了上海宝钢工程建设的重大地基基础位移问题。1979年宝钢发生软土地基桩基位移问题,水平位移值高达375~500mm,实测结果震惊国内外,有人认为宝钢将滑入长江。王铁梦与合作团队一起,通过现场大量科学试验,成功地解决了继续位移问题,建立了桩基位移的基本公式,确保了宝钢地基稳定性,为国内软土地基条件下桩基水平位移问题提供了宝贵的经验。

王铁梦还为我国城市轨道交通,核电建设地下大体积混凝土基础工程的裂缝控制做出了贡献。他从20世纪50年代开始探索无缝设计施工技术并结合武钢一米七工程研究跳仓法施工,于1975年进行无缝跳仓法计算依据,并在一米七热轧中成功的应用。他最早将工业建筑跳仓法移植到民用建筑领域,为我国工民建超长地下大体积混凝土工程等建设进行了技术服务,解决了大量技术难题,节约了大量投资,确保了工程质量,缩短了工期。并多次应邀赴国外处理工程技术难题,如帮助解决美国华盛顿 M-1 工程、俄罗斯圣彼得堡波罗的海明珠工程、中东伊朗地铁工程、巴基斯坦 CHASHMA 核电站及非洲等地大体积混凝土工程中的裂缝问题。他运用控制裂缝的理论,参与了许多重大工程危房危桥的分析与处理工作。2006年8月根据外交部指示前往美国华盛顿解决跳仓大体积混凝土 M1 号工程裂缝问题,现场由于大量裂缝已停工2个月,经作者提供方案,迅速解决了工程问题,立即复工。

王铁梦经过大量实践,在大体积混凝土工程的施工中形成了完整的具有独创性的“抗与放”设计理念等,包括提出集中式及连续式约束条件下温度收缩应力约束系数法,裂缝间距、裂缝宽度等实用解析

计算方法。他对上海市人民广场地下工程推广应用了宝钢跳仓法施工技术，广东及北京机场航站楼建设及地铁桥梁隧道工程领域、国防工程等进行了技术服务。特别是在上海世博会主题馆地下人防工程 350m 超长无缝（无伸缩缝、无沉降缝、无后浇带）采用跳仓法施工取得圆满成功，是上海世博会中唯一采用跳仓法的超长大体积混凝土的工程。在厦门、深圳、广州以及北京等超长工程中均进行了试点建设，超长大体积混凝土达 912m 无伸缩缝、沉降缝及后浇带，并取得成功。在超厚大体积混凝土中不埋设冷却水管，不分层连续浇筑，不掺任何特殊材料，“跳仓法”施工技术突破了多年以来地下工程设置永久性变形缝和后浇带的规范，缩短了工期，降低了成本，提高了地下工程的整体性和防水性。近年来，最长跳仓法无缝浇筑达 1300m。王铁梦控制裂缝的基本理念是：裂缝是不可避免的，其有害程度是可以控制的，工程师的全部艺术是把裂缝控制在无害范围内。根据大量工程经验积累，认为裂缝的要害是混凝土的“均质性”和“韧性”，不采用任何特殊措施，所以他提出了“普通混凝土应好好打”以降低混凝土的变异性和提高抗拉性的技术要求，在工程中被广泛采用。

从 1958 年至今，王铁梦先后在国内发表地基基础、超长超厚大体积混凝土裂缝控制方面的论文 60 余篇，撰写了《建筑物的裂缝控制》《工程结构裂缝控制》《“抗与放”的设计原则及其在跳仓法施工中的应用》及《薄壳基础工程》等专著。多年的实践经验和理论总结被编入标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496—2009 及《跳仓法北京地方规范》DB11/T 1200—2015。

他荣获国家科技进步特等奖（1988 年）、国家科学技术进步二等奖（1999 年）、宝钢建设 30 年“宝钢功勋人物”（2009 年 12 月）、上海市浦东新区开发建设“首届科技功臣”称号等奖项。

他是“抗与放”设计原则与超长大体积混凝土“无缝跳仓法”技术的创始人。

第二版序言

20世纪以来,人类科技进入前所未有的发展阶段,随着中国经济持续不断地发展,建筑工程数量日益增加,新型工业与民用建筑及高层建筑如雨后春笋般拔地而起。中国城镇化的进展日新月异,为调节城市土地利用结构、节约用地、扩充城市空间容量、建立现代化城市综合交通体系、防灾救灾综合空间利用,大规模利用地下空间势在必行,超长超宽超厚超薄大体积混凝土日益增多,结构形式日趋复杂。随着新材料、新技术不断涌现,工程建设速度发展迅速,有关实用的技术资料和技术规程的缺乏成为日益尖锐的问题。

工程结构裂缝问题是十分复杂的,它涉及岩土、结构、材料、施工、环境等多专业、多学科。本书是总结作者40余年来,运用综合分析方法、结合大量工程实践开展现场观测试验研究、参加和指导许多重点工程大体积混凝土结构与施工、从事大量工程裂缝事故处理的一些科研成果和实践经验。作者提出的有条件取消伸缩缝和后浇带理论与裂缝分析方法以及进一步发展“抗与放”的原则,并在国内、外某些重点工程中推广应用的经验,在本书中作了详细总结。

根据大量的工程经验和近代工程材料的细观研究,建筑结构的裂缝是不可避免的,但其有害程度是可以控制的。有害与无害的界限是由工程的生产及使用方式决定的,对于某些工程还需要考虑精神和美观的要求。因此,有害与无害的裂缝限制对于不同领域的工程是不同的。如何因地制宜的把裂缝控制在无害范围之内就是结构工程师的艺术。

建筑材料具有热胀冷缩以及地基基础具有差异沉降的特性统称为“变形效应”。近80年来,根据建设经验和弹性理论的计算,在建筑结构中采用了永久性变形缝的技术措施,控制和减少变形效应引起的内力,从而避免裂缝、渗漏及耐久性问题,并已经成为国际性设计规范。但是经过多年的试验,发现留永久性变形缝,往往引起更多的渗漏,永久性变形缝成为渗漏的源泉并降低了整体性和抗震性,延长了工期,给结构施工带来诸多麻烦,有些特殊工程根本无法设置变形缝。20世纪60年代以后,在国内又改进用后浇带取代变形缝的做法,改善了永久性变形缝的缺点,但又有清理后浇带垃圾困难、后浇带可能二次开裂以及拖延工期的缺点。

现如今,后浇带的应用、各种新型掺合料和高效减水剂的出现对裂缝

控制做出了有益的贡献。在超长大体积混凝土设计方面,自从1975年作者开始探索新的解决变形缝的方法——“跳仓法”,也就是无缝施工方法,弥补了后浇带的缺点,获得了巨大的社会经济效益,并从武钢一米七工程之后首先在地下工程领域得到应用和推广。同时,如何考虑结构环境及受力条件使新型材料适应工程结构裂缝控制的要求,最终使得工程达到“高抗裂及防水性能工程”的目的,也涉及需要研究的诸多设计施工及建筑维护问题。

自然科学正以日新月异的速度向前发展,作为第一生产力的科学技术,是在不断辩证地肯定和否定过程中前进的。一个科技工作者不但要善于遵守和运用规范、规程和规定,而且应该成为向传统的规范、规程和规定挑战的战士,因为当前的一些规范的某些条款已经不能满足当前建筑技术的迅速发展,而且有些规范产生了相互矛盾。

1997年出版的《工程结构裂缝控制》至今已20年,此期间又有很多新的技术进步和发展,本书是在原书的基础上总结国内近年工程裂缝的某些新技术和资料,补充和改进了原作中的一些概念和内容。作者深信,广博丰富的建设实践是认识 and 解决裂缝这个古老又新颖的课题的基础。这需要广大科技工作者与工程技术人员携手努力、长期探索,使裂缝控制理论日臻完善。本书以此抛砖引玉献给亲爱的读者。

王铁梦

二零一七年二月于上海

第一版序言

近年来,工程建设规模迅猛发展,结构形式日趋大型化、复杂化,质量要求日趋严格,工程裂缝问题是具有相当普遍性的技术难题。

根据大量的工程实践和近代工程材料的细观研究,建筑结构的裂缝是不可避免的,但其有害程度是可以控制的。有害与无害的界限是由工程的生产及生活使用要求确定的,对于某些工程还要考虑精神和美观的要求。因此,有害与无害的裂缝限制对于不同领域的工程是不同的。如何因地制宜地把裂缝控制在无害范围之内就是结构工程师的艺术。

工程结构裂缝问题是十分复杂的,它涉及岩土、结构、材料、施工、环境等多专业、多学科。本书是总结作者40余年来,运用综合的分析方法、结合大量工程实践开展现场观测试验研究、参加和指导许多重点工程大体积混凝土结构设计与施工、从事大量工程裂缝事故处理的一些科研成果和实践经验。作者提出的有条件地取消伸缩缝理论与实践依据以及“抗”与“放”的原则,并在国内、外许多重点工程中推广应用的经验,在本书中作了详细总结。

近年来,后浇带的应用、高强混凝土(HSC)及高性能混凝土(HPC)获得迅速发展。如何考虑结构环境及受力条件使新型材料适应工程结构裂缝控制的要求,最终使工程达到“高抗裂及防水性能工程”的目的,涉及需要研究的诸多设计施工及建筑维护问题。

自然科学正以日新月异的速度向前发展,作为第一生产力的科学技术,是在不断辩证地肯定和否定自身的过程中前进的。一个科技工作者不但要善于遵守和运用规范、规程和规定,而且应该成为向传统的规范、规程和规定挑战的战士。

作者深信,广博丰富的建设实践是认识 and 解决裂缝这个古老又新颖的课题的基础,这需要广大科技工作者与工程技术人员携手努力、长期探索,使裂缝控制理论日臻完善。本书以此作为抛砖引玉献给亲爱的读者。

王铁梦

一九九六年十一月于上海

目 录

1 工程结构裂缝的基本概念	1	3 温度应力理论的若干问题	66
1.1 裂缝的基本概念	3	3.1 约束的概念	66
1.2 混凝土的微观裂缝、宏观裂缝及耐久性	4	3.2 温度应力的基本概念	69
1.3 裂缝产生的主要原因、广义荷载及其特点	7	3.3 温度应力与变形的关系	70
1.4 裂缝的形式与质量控制	8	3.4 弹性应力平衡基本方程	72
1.5 混凝土的裂缝与防水	16	3.5 无应力温度场	74
1.6 混凝土裂缝的自愈与渗漏标准	17	3.6 变形应力解答的“等效荷载法”或“杜哈梅 (Duhamel) 相似”	77
1.7 结构物的抗裂和断裂韧性问题及对高性能混凝土 (HPC) 要求	18	3.7 简支梁式结构承受非线性温差 (或收缩) 的温度应力	78
1.8 结构长度和基础刚度对混凝土温度收缩应力的影响 (美国 ACI 和本书方法)	21	3.8 厚壁梁及墙式结构由于表面冷却及收缩引起的自约束应力	80
2 混凝土的某些基本物理力学性质	24	3.9 简支梁的变位与外约束应力	83
2.1 混凝土的收缩	24	3.10 矩形水池池壁内外温差应力计算	86
2.2 混凝土收缩的种类	26	3.11 热弹理论的应力函数法与位移函数法	87
2.3 混凝土的收缩变形与徐变变形的实用算法	27	3.12 烟囱、水池、容器、贮仓的温度应力及边缘效应	89
2.4 标准极限收缩与标准极限徐变度	31	3.13 厚壁圆管的温度应力	92
2.5 任意时间收缩计算公式	31	3.14 厚壁圆环及薄壁圆环的温度应力	95
2.6 外加剂对混凝土收缩的影响	32	3.15 高层建筑及高耸构筑物的热变形	98
2.7 混凝土和钢筋混凝土的极限拉伸	32	3.16 圆形厚板的内约束应力	104
2.8 配筋对混凝土极限拉伸的影响	34	4 对荷载裂缝的若干探索	107
2.9 钢筋混凝土结构中钢筋对混凝土收缩应力的影响	34	4.1 概述	107
2.10 混凝土硬化过程中的早期沉降及收缩裂缝 (塑性裂缝)	36	4.2 钢筋混凝土中心受拉的应力状态	108
2.11 混凝土抗拉力学性能随龄期变化规律的试验研究	38	4.3 中心受拉构件的裂缝间距	110
2.12 极慢速加载条件下混凝土抗拉性能试验研究	56	4.4 中心受拉构件裂缝开展宽度	111
2.13 龄期对混凝土的弹性模量、抗拉强度和极限拉伸的影响汇总与建议	64	4.5 受弯结构的应力状态	111
		4.6 弯矩作用下的裂缝间距	115
		4.7 受弯构件的裂缝开展宽度	116
		4.8 工字形截面钢筋混凝土受弯构件	117
		4.9 相似模型的试验结果及应力与几何尺寸关系	123

5 混凝土的应力松弛与裂缝的若干

特点 125

- 5.1 混凝土的徐变和应力松弛 126
- 5.2 应力异常现象 128
- 5.3 裂缝运动的稳定性 133
- 5.4 吴淞大桥的裂缝与超载通行 136
- 5.5 动荷载作用下裂缝运动的现场
观测 141
- 5.6 变形变化的失稳破坏 143
- 5.7 变形变化中的“声发射” 145
- 5.8 裂缝的“模箍作用” 146

6 大体积混凝土结构裂缝控制 148

- 6.1 概况 148
- 6.2 承受连续式约束的现浇大体积
钢筋混凝土裂缝控制 150
- 6.3 关于地基水平阻力系数 C_x 155
- 6.4 结构中的温度场 157
- 6.5 长墙及地基板的温度收缩应力 162
- 6.6 桩基对结构的附加约束 173
- 6.7 地基上大块式设备基础的自约束
应力 174
- 6.8 不稳定热传导的“滞后现象” 176
- 6.9 弹性地基上超长超厚大体积混凝土
结构物温度收缩应力的光弹性实验
研究 179
- 6.10 连续式约束边的剪应力修正及其
裂缝 184
- 6.11 关于剪力裂缝的工程实例 187
- 6.12 高强混凝土 (HSC) 及高性能大体
积混凝土 (HPC) 的裂缝控制 190

7 大体积混凝土结构裂缝控制实践 194

- 7.1 宝钢转炉基础大体积混凝土的
裂缝控制 194
- 7.2 686m 长无伸缩缝基础的裂缝 217
- 7.3 某大型设备基础裂缝的分析和
处理 230
- 7.4 宝钢中央水处理吸水池混凝土池壁
裂缝 233
- 7.5 某轧钢厂铁皮沉淀池侧墙的裂缝 236
- 7.6 某半地下油泵房的裂缝 237
- 7.7 钢筋混凝土地下隧道裂缝 237
- 7.8 露天钢筋混凝土薄壁结构物的

裂缝 249

- 7.9 “后浇缝”的设计与施工 255
- 7.10 关于有条件地取消后浇带 258
- 7.11 混凝土面层的膨胀受压失稳
破坏 267
- 7.12 裂缝控制措施 269
- 7.13 上海某广场大厦工程裂缝分析与
处理 278
- 7.14 香港某水处理厂水池裂缝的
分析 281
- 7.15 上海某地铁站裂缝控制 288
- 7.16 毛主席纪念堂大体积混凝土基础
工程的温控 290
- 7.17 陕西蒲城电厂 20000m³ 大块式大
体积混凝土设备基础 293
- 7.18 天津无缝钢管总厂环形加热炉基
础大体积混凝土工程温控 294
- 7.19 北京首都国际机场航站区扩建
工程旅客航站楼结构温度应力
计算 296
- 7.20 泰山核电站核岛底板混凝土施
工裂缝控制 300
- 7.21 人民大会堂主体结构 132m 取消
伸缩缝 302
- 7.22 地上露天 9MV 直线加速器探伤室
大体积混凝土裂缝控制 304
- 7.23 上海 8 万人体育场 300m 直径
现浇大体积钢筋混凝土结构
不留伸缩缝、沉降缝和后浇带 304
- 7.24 某车站候车大厅框架大梁裂缝
分析与处理 306
- 7.25 大体积混凝土温度应力现场测
试的研究 307
- 7.26 混凝土强度等级的合理选择与
施工 323
- 7.27 大体积混凝土裂缝事故处理 325

8 大体积混凝土结构裂缝控制的

综合措施 326

- 8.1 大体积混凝土的若干设计构造
要求 326
- 8.2 “抗”与“放”的裂缝控制原则 327
- 8.3 关于裂缝宽度的限制问题 329
- 8.4 混凝土配合比及其材料 339

8.5	混凝土的浇筑与养护	340	爆炸裂缝	465	
8.6	温控施工的现场监测与试验	343	11.8	无缝地面的裂缝控制途径	472
9	钢筋混凝土预制构件的裂缝	345	11.9	由生产热源引起的钢筋混凝土大梁的裂缝	474
9.1	预应力大型屋面板	345	11.10	圆环基础的温度收缩应力与裂缝	478
9.2	预应力钢筋混凝土梁	350	11.11	200m 周长环形圈梁大体积混凝土施工裂缝控制	480
9.3	板式构件	354	11.12	几种特殊结构变形缝作法	489
9.4	梁式预制构件的变位与内力	355	12	民用建筑物的裂缝	492
9.5	高温车间的屋面板	356	12.1	民用建筑物的裂缝概况	492
9.6	屋面板受热后的状态	358	12.2	混合结构温度收缩应力与裂缝分析	493
9.7	预制构件的裂缝处理	364	12.3	地基动态变形引起墙体的开裂	503
9.8	工业化建筑节点的裂缝问题	365	12.4	地基变形引起结构物的裂缝	505
10	排架及框架结构的温度应力与温度伸缩缝	366	12.5	地基差异沉降引起的墙体剪力裂缝	508
10.1	单层工业厂房的温度伸缩缝间距	366	12.6	地基相邻影响差异沉降引起的裂缝	510
10.2	钢筋混凝土排架结构温度收缩应力分析方法	373	12.7	地基处理的“抗”与“放”问题	518
10.3	钢结构单层工业厂房温度应力计算	384	12.8	变形速率和允许变形	521
10.4	结构物的长度问题	397	13	低温条件下混凝土工程的裂缝控制	522
10.5	框架结构温度应力近似算法	399	13.1	一般概念	522
10.6	多层框架	403	13.2	较低温条件下混凝土施工的裂缝控制	523
10.7	排架结构温度应力算法(精确法)	405	13.3	低温(-45~0℃)对混凝土变形的影响	529
10.8	以“抗”为主纵向排架的温度应力(精确法)	407	13.4	现浇钢筋混凝土露天墙式结构冬季施工的防冻与防裂经验	532
10.9	框架结构(包括排架)各跨温差不均匀时的变形算法	410	13.5	地基低温变形引起基础的破裂	538
10.10	多层钢筋混凝土框架的温度收缩应力	412	13.6	八万吨散粮筒仓超长大体积混凝土在-8℃条件下浇灌的裂缝控制	543
10.11	单柱伸缩缝的构造	418	14	荷载裂缝分析	545
10.12	工程裂缝调查统计及分析	422	14.1	上海某影剧院 24m 普通钢筋混凝土桥式屋架下弦裂缝问题	545
11	特殊构筑物的裂缝	435	14.2	工程实例(某工程矩形梁的裂缝)	551
11.1	梁板结构的裂缝	435	14.3	12m 工字形屋面梁的裂缝验算与试验对比	555
11.2	钢筋混凝土采矿立井环状裂缝的形成机理	440	14.4	上海某影剧院工程楼座大梁裂缝	559
11.3	沉井的裂缝问题	451			
11.4	某厂引水泵房矩形沉井的裂缝控制	455			
11.5	钢筋混凝土烟囱的裂缝	458			
11.6	受热设备基础的裂缝与防水	463			
11.7	控制自约束应力裂缝,提高炉龄与				

15 结构物裂缝的修补	564	专家系统	594
15.1 地下构筑物的防渗堵漏	564	16.3 工程实例的验证	599
15.2 某热轧厂箱形基础化学灌浆实例	570	17 “跳仓法”施工的应用	607
15.3 采用甲凝修补大体积混凝土裂缝的经验	575	17.1 “跳仓法”施工工艺	607
15.4 氯化铁防水技术	580	17.2 “跳仓法”施工实践	626
15.5 地上结构物裂缝的一般修补方法	581	17.3 “跳仓法”施工经验	658
15.6 可延性堵漏构造	584	18 混凝土工程裂缝控制探索之路	676
15.7 从材料的角度看控制裂缝的发展方向	586	18.1 实践的需求改变了我的人生轨迹	676
16 工程结构裂缝控制新发展	588	18.2 工程裂缝处理的实践经验	736
16.1 大体积混凝土的瞬态温度场和温度收缩应力的计算机仿真	588	附录 跳仓法工程实例表	758
16.2 大体积现浇混凝土结构裂缝控制	594	参考文献	764
		王铁梦研究成果	769
		编后语	771

1 工程结构裂缝的基本概念

从 20 世纪 50 年代初,中国进行了大规模的经济建设,建筑工程的规模越来越大,结构形式越来越复杂,钢筋混凝土结构工程、钢混组合结构以及砖混结构等组合结构,获得迅速的发展。在许多混凝土结构、砌体结构、砖混结构、钢混结构、超长超厚超薄大体积混凝土结构等建筑物的建设过程和使用过程中出现了不同程度、不同形式的裂缝,这是一个相当普遍的现象,它是长期困扰建筑工程技术人员的技术难题。从第一个五年计划苏联援助中国 156 项大型重点工程项目至今,工程裂缝问题日趋重要。这里强调的是并非 1921 年发展起来的断裂力学问题,而是大规模经济建设中的工程裂缝问题。虽然结构设计是建立在强度的极限承载力基础上的,但大多数工程的使用标准却是由裂缝控制的。

结构的破坏和倒塌也都是从裂缝的扩展开始的,如强烈地震后震区的建筑物上布满了各种各样的裂缝,荷载试验的钢筋混凝土梁上出现大量裂缝等。所以人们对裂缝往往产生一种破坏前兆的恐惧感。的确,从近代固体强度理论的发展中可以看到,裂缝的出现和扩展是结构建筑物破坏的初始阶段。相对于某些裂缝,作者在工程实践中长期处理了大量工程裂缝问题,调查了辽南地震、唐山地震、汶川地震和许多重大工程倒塌事故,重点研究了工程结构承载力问题。但同时,结构物裂缝可以引起正常使用和耐久性强度的降低,甚至影响结构的渗漏及美观问题,如钢筋腐蚀、保护层剥落、混凝土碳化等。所以,习惯的概念,甚至某些验收规范和某些工程现场都是不允许结构物上出现裂缝的,例如,某些桥梁和引进工程的一位外国专家即要求混凝土不得出现裂缝等。

但是,实践中裂缝问题非常普遍。近代科学关于混凝土强度的细观研究以及大量工程实践所提供的经验都说明,结构物的裂缝是不可避免的。许多裂缝是人们可以接受的,如对建筑物抗裂要求过严,必将付出巨大的经济代价。科学的要求应是将其有害程度控制在允许范围内,即控制在无害范围内,这些关于裂缝的预测、预防和处理工作,统称之为“建筑物的裂缝控制”,这方面的科学研究工作具有重要的现实意义和技术经济意义。迄今国际上一些有关的研究论文和技术报告都只是零散地发表在报纸杂志上,专题性问题讨论较多,综合性资料及论著则很少,有大量的裂缝实践和理论研究的前景。

国际上许多国家都有专门的科研机构从事钢筋混凝土在荷载作用下裂缝的研究工作,编制了规范。如:美国混凝土协会 ACI224 委员会;英国水泥与混凝土协会 C&CA 及其规范 BS8110、BS8001;德国钢筋混凝土协会及规范 DIN 1045—1972;法国规范 CCBA;欧洲混凝土协会 CEB;欧洲混凝土协会-国际预应力混凝土协会 (CEB-FIP);苏联混凝土及钢筋混凝土研究院及穆拉雪夫学派等。

我国清华大学、东南大学、大连理工大学、中国建筑科学研究院、冶金部建筑研究总院和全国各地研究院所和大中专院校等都做了大量研究工作,并编制出钢筋混凝土规范有关裂缝方面的设计规定,在工程设计中发挥了作用。为了有效地控制裂缝,全国都必须按着苏联规范实际施工,主要是垂直分缝水平分层的严格技术措施。垂直分缝间距 30~40m,

垂直分缝 2m。施工实践中也是根据苏联规范判定裂缝责任的归属。上述各研究机构及其成果针对外荷载作用引起的裂缝问题是相当丰富的。

工程实践中的许多裂缝现象往往无法用荷载的原因加以解释。大批高层建筑地下室在施工期间出现早期裂缝,其宽度及数量均随时间的推移而增加,并未发现荷载的变化。国内外的设计施工规范都遗漏了施工阶段结构的受力状态,缺乏施工阶段的设计程序,在该阶段中不是荷载效应为主而是变形效应为主,包括温度变形、湿度变形及地基变形等。这样的工程实例大量呈现,数不胜数。此类裂缝约占总裂缝的 85%。

所以,我们重点探索了“变形变化引起的裂缝问题”。这种变形作用包括温度(水化热、气温、生产热、太阳辐射等)、湿度(自生收缩、失水干缩、碳化收缩、早期塑性收缩等)、地基变形(膨胀地基、湿陷地基、地基差异沉降等)、膨胀变形(化学膨胀、低温膨胀、地基膨胀等)。

笔者在处理裂缝的经验中,包括混凝土结构、混合结构、砌体结构、地下管线通廊、水池、容器等特殊构筑物,特别是各种工业设备基础、高低温作用下的基础工程、核电站的一些基础等,在这些工程中变形作用引起的裂缝占绝大部分,所以这方面的研究与工程实践显得十分现实和迫切。本人的研究中发现了与荷载不同的奇异现象,那就是结构的变形效应与结构的自身刚度成正比关系,这是荷载效应作用所不存在的。无论在何时何地分析变形效应时,必须注意到这一点。多年的实践迫使我,在理论方面走经典的解析法道路,而没有走现代有限元的道路,尽管有限元能给出大量的精确数据和彩色斑斓的表达方式,但是经常脱离实际,我崇尚经典解析法。它给出的数据没有有限元那么精确,但是它可以给出事物的变化规律,颇有广泛的实用价值。但是,有限元的计算和表达方式是编写学术论文不可或缺的组成。

按现代国际上发展的极限状态设计理论,工程设计必须满足两个极限状态:①承载能力极限状态;②正常使用极限状态。

使用极限状态主要是从生产、生活包括精神等方面要求,对建筑物在裂缝、变形等方面必须控制的状态。

从国内外有关规范及一些重大工程的实际设计可看出,对待建筑结构变形作用引起的裂缝问题,客观上存在着两类学派:

第一类,设计规范规定得很灵活,没有验算裂缝的明确规定,设计方法留给设计人员自由处理。对伸缩缝和沉降缝的设置,没有严格规定,基本上按经验设置,有些工程无法设计变形缝,不留伸缩缝,不留沉降缝,基本上采取“裂了就堵,堵不住就排(有防排水要求的工程)”的实际处理手法。一些有关的裂缝计算则只作为参考资料而不作为规定(包括荷载引起的裂缝)。

第二类,设计规范有明确规定,对于荷载裂缝有计算公式并有严格的允许宽度限制。对于变形引起的裂缝没有计算规定,只要按规范每隔一定距离留一条伸缩缝,荷载差别大,留沉降缝就认为问题不复存在了,即留缝就不裂的设计原则。

采取第一类设计原则的如日本、英国、美国等国家;采取第二类设计原则的如苏联、德国、东欧一些国家和我国。我国现行规范基本上是 20 世纪 50 年代初期,沿用苏联规范,至今已有半个多世纪了。

大量的工程实践证明,留缝与否,并不是决定结构变形开裂与否的唯一条件,留缝不

一定不裂，不留缝不一定裂，是否开裂与许多因素有关，是一项具有高度综合性的系统工程。

至于把工程建设的安全和防水要求完全寄托在补裂和堵漏的基础上也是靠不住的，因为并不是任何裂缝都能顺利堵住，还引起停工整顿耗费投资，有些开裂经过长时期、多次反复堵漏也不成功，其影响生产和造成的经济损失往往超过土建投资若干倍。例如，某工程施工工期仅一年半，产生严重开裂，堵漏数次却花了三年的时间；有的设备基础长期漏水，影响加热温度，降低了产品质量甚至发生重大质量事故。相对一些轻微裂缝，化学灌浆技术是完全可以解决问题的。

有些裂缝虽然没有达到使建筑物倒塌的危险程度，但由于近代工程质量要求越来越高，精神作用、建筑装修及美观方面的原因，也常常影响到建筑物的正常使用。

控制裂缝应该防患于未然，首先尽量预防有害裂缝，防不住的就堵，堵不住再排（有防排水要求的工程），重点在防。实践证明，只要设计与施工紧密配合，这是完全可以做到的。过去许多工程，凡是采取了控制措施的，一般都取得了良好效果。

本书是笔者根据其工程结构实际裂缝处理和预防方面 60 年来的经验，结合运用一些有关的建筑力学基础理论，并同时参考不同专业的某些资料和论文，提出的有关结构物裂缝控制的若干方法和技术措施的专著。20 世纪 80 年代出版了《建筑物的裂缝控制》，90 年代《工程结构裂缝控制》在中国建筑工业出版社首次出版，于 2007 年出版了“抗与放”的设计原则及其在“跳仓法”施工中的应用一书，书中第一次全面地阐述了无缝设计理念 and 跳仓法的施工与计算方法。最近根据近年一些新的经验进行了补充修订，可供读者在设计、施工、科研及生产实践中参考。

1.1 裂缝的基本概念

裂缝是固体材料中的某种不连续现象，在学术上属于结构材料强度理论范畴。混凝土的强度理论大致可以分为四种：唯象理论、统计理论、构造理论、分子理论。研究手段包括微观力学（物理力学）、细观力学（材料组成为胶凝材料、粗细骨料及孔隙等）、宏观力学（假定混凝土为各向同性均质弹塑性材料）。本书以宏观力学为基础，考虑混凝土细观构造分析方法。

唯象理论是建立在简单的基本试验基础上的，它归纳分析了大量试验数据，以提出基本假定，建立计算模型，并在均质、弹性、连续假定前提下推导出材料强度的各种计算公式，从而形成材料力学中的一些强度理论，如最大主应力理论、最大变形理论、最大剪应力理论、八面体强度理论等。后期又在弹性假定基础上引进了塑性理论。在设计中，它考虑了混凝土和钢筋混凝土的弹塑性，并发展了极限状态的强度理论，包括极限强度、极限变形和极限裂缝开展三种极限状态。这些理论直至今日，国际上仍在继续发展。外荷载作用下建筑材料强度问题，应用唯象理论研究得相当充分，解决了大量工程实际问题。

但是很早就发现过一些与唯象理论相悖的现象，波恩（Born）于 1932 年用微观力学方法计算物质的原子间作用力时，按连续假定求得材料的理论强度比实际强度大 10~100 倍。又如格里菲斯（Griffith）于 1921 年所做的玻璃丝强度试验，直径由 1.02mm 减少到

0.0033mm, 其强度却猛增, 由 175MPa 增至 3460MPa。后来证实, 玻璃丝存在的“初始缺陷”, 即匀质材料中的不连续现象——“微观裂缝”, 在较粗的玻璃丝中比高压成型的细纤维中多, 所以导致巨大差异。这是最早提出的固体材料中存在“微观裂缝”的概念, 并为后来许多试验和工程实践所证实。又如在金属结构方面, 第二次世界大战期间, 美国近 5000 艘货船共发生 1000 多次破坏事故, 其中 238 艘完全报废; 1938~1942 年, 世界上共有 40 多座桥梁先后倒塌; 1954 年英国两架喷气式飞机在地中海上空失事; 很多国家多次发生高压锅炉、石油及化工压力容器和管道的爆炸或损坏事故等。早在 21 世纪之初, 同类性质的事故亦时有发生, 但当时人们并不理解, 因为, 破坏时的荷载远小于设计荷载, 按照常用的固体力学的强度理论和设计方法去推理, 是不应该出现这种破坏现象的。后来的研究把这种屈服极限以内的破坏, 称为“低应力脆性断裂”, 认为是由于材料内部的初始缺陷微裂扩展引起的。因之就产生了断裂力学, 当时主要是针对金属结构的。近年来断裂力学的某些原理正在向混凝土领域渗透和发展。但混凝土结构裂缝并不是“低应力脆性断裂”问题, 特别是钢筋混凝土更不是“低应力脆性断裂”问题。由于混凝土和钢筋混凝土的复杂组成和物理性质的变化, 无规则的应力集中可引起大量微裂, 但是裂缝的扩展又受到各种孔隙、骨料及钢筋的阻抗, 裂缝的断裂分析比均质材料复杂得多, 因此, 断裂力学在钢筋混凝土及砖混结构中远未达到实用阶段, 还有待于深入研究。

唯象理论忽略了混凝土内部的构造组成, 如混凝土内部固相、气相、液相的相互作用, 导热过程、水分转移、蒸发过程以及各种孔隙、缺陷、内部微裂等不连续现象, 计算结果与实际相差较大。后来又发展了统计强度理论, 虽仍把材料当作连续的固体, 但视其内部存在的缺陷及微裂、裂纹等分布服从统计规律, 从而使强度理论计算结果能接近于实际。

构造理论进一步考虑材料的内部构造, 考虑到混凝土是由不同材料组成的非均质体, 内部存在着固态、液态、气体, 当温度和湿度变化, 而且在外荷载作用下, 混凝土内部产生了复杂的物理现象, 引起了内部“初始应力”“初始微裂”、内部扩散及质量转移等随时间变化的现象, 从而具体补充了唯象理论所不能解释的现象, 如相同组分材料的不同施工及养护工艺条件下抗裂强度可差数倍之多, 以及内部微裂对宏观强度之显著影响等。如前所述, 可概括地说, 唯象理论以及近代发展的极限强度理论的最大缺点是忽略了“时间”参数, 只知道最终状态而不了解中间全过程。

最后, 关于材料的分子强度理论, 它是应用物理力学方法研究分子间的作用力, 求出材料的宏观强度, 从而可以按人的意志设计超高强度建筑材料的理论。分子强度理论尚处于探索阶段, 远不到工程应用阶段。

本书仍然以唯象理论为基础, 考虑材料的某些构造、结构形式、施工特点及时间关系, 提出结构物裂缝的分析方法。

1.2 混凝土的微观裂缝、宏观裂缝及耐久性

多年来, 因有关混凝土的现代试验研究设备的出现 (如各种实体显微镜、X 光照相设备、超声仪器、渗透观测仪等), 完全证实了在尚未受荷的混凝土和钢筋混凝土结构中存在肉眼不可见的微观裂缝 (简称“微裂”), 见图 1-1(a)~(i)。据此, 有些学者考虑了混