

干寒地区 混凝土结构裂缝处理

GANHAN DIQU
HUNNINGTU JIEGOU
LIEFENG CHULI

冯英杰 著



四川大学出版社

干寒地区 混凝土结构裂缝处理

GANHAN DIQU
HUNNINGTU JIEGOU
LIEFENG CHULI

冯英杰 著



四川大学出版社

责任编辑:梁 平
责任校对:陈 玲
封面设计:米迦设计工作室
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

干寒地区混凝土结构裂缝处理 / 冯英杰著. —成都:
四川大学出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5614-7589-8

I. ①干… II. ①冯… III. ①寒带—干旱区—混凝土
结构—裂缝—处理 IV. ①TU755.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 060538 号

书名 干寒地区混凝土结构裂缝处理

著 者	冯英杰
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-7589-8
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
成品尺寸	148 mm×210 mm
印 张	5.25
字 数	125 千字
版 次	2014 年 6 月第 1 版
印 次	2014 年 6 月第 1 次印刷
定 价	35.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。

电话:(028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址:<http://www.scup.cn>

前 言

裂缝是混凝土工程中的常见病害，混凝土中裂缝的存在不仅会降低结构物耐久性，而且会影响结构物的安全性和使用功能。及时对裂缝进行处理，不但可以延缓和阻止劣化的进一步发展，延长结构物的使用寿命，而且可以使结构物恢复正常使用。

我国干寒地区海拔高，气候寒冷、干燥，日温差大，干湿交变频繁，紫外线照射强烈，这种恶劣的气候环境极易导致混凝土开裂。而在这种特殊的环境条件下对混凝土裂缝进行有效的预防及对已开裂的混凝土实行可靠的修复处理都是比较困难的，却也是非常必要的。

本书是一部针对干寒地区混凝土裂缝处理的专著，全书分为两部分：第一部分主要介绍混凝土裂缝处理的现状、干寒地区混凝土开裂的原因及相应的防治措施、干寒地区混凝土开裂的机理及处理方法；第二部分以干寒地区某工程实例为背景对裂缝处理方法及材料的试验过程、理论分析及施工方法进行了详细介绍。

本书由西北民族大学冯英杰编著，兰州交通大学王起才教授主审。在撰写过程中，参考了许多专家、学者的科研和

论文成果，在此表示感谢。由于水平有限，编写时间仓促，书中错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

作 者

2014年3月10日

目 录

第一篇

干寒地区混凝土裂缝处理

第 1 章 绪 论	(3)
1.1 混凝土裂缝问题的概述	(3)
1.2 干寒地区气候特点与混凝土裂缝的关系	(4)
1.3 裂缝处理的意义	(5)
1.4 混凝土裂缝处理的发展现状	(6)
1.4.1 表面覆盖法的发展现状	(7)
1.4.2 压力注浆法的发展现状	(8)
1.4.3 纤维粘贴法的发展现状	(9)
1.4.4 砂浆修补混凝土裂缝技术的发展现状	(12)
1.4.5 仿生自愈合法的发展现状	(14)
1.5 干寒地区混凝土裂缝处理的发展现状	(14)
第 2 章 干寒地区混凝土裂缝产生的原因与防治	(16)
2.1 环境条件因素与防治措施	(17)
2.1.1 环境条件影响	(17)
2.1.2 防治措施	(17)



2.2 原材料因素和防治措施	(20)
2.2.1 原材料的影响	(20)
2.2.2 防治措施	(21)
2.3 设计缺陷的影响与预防措施	(23)
2.3.1 国内外对混凝土裂缝控制的要求	(23)
2.3.2 设计因素的影响	(24)
2.3.3 预防措施	(25)
2.4 施工质量的影响与防治	(26)
2.4.1 施工质量的影响	(26)
2.4.2 防治措施	(26)
第3章 混凝土开裂机理与裂缝识别	(28)
3.1 非作用效应引起的裂缝	(30)
3.1.1 塑性收缩裂缝	(30)
3.1.2 温度裂缝	(31)
3.1.3 钢筋锈蚀引起的裂缝	(33)
3.2 作用效应引起的裂缝	(38)
3.2.1 不均匀沉降裂缝	(38)
3.2.2 荷载作用引起的裂缝	(39)
3.3 近景摄影测量技术识别裂缝	(43)
第4章 干寒地区混凝土裂缝处理方法	(46)
4.1 裂缝的特点与判断	(46)
4.1.1 裂缝的特点	(46)
4.1.2 裂缝判断的重要性	(47)
4.2 干寒地区混凝土裂缝处理技术要求	(48)
4.2.1 裂缝处理材料	(48)
4.2.2 裂缝的处理方法要求	(49)
4.3 裂缝处理方法	(50)

4.3.1 表面覆盖法	(50)
4.3.2 凿槽嵌补法	(56)
4.3.3 注浆法	(59)
4.3.4 粘贴纤维法	(63)
4.3.5 仿生自愈合法	(67)

第二篇

干寒地区混凝土裂缝处理实例

第 5 章 干寒地区混凝土裂缝处理试验研究	(75)
5.1 试验研究的主要内容	(75)
5.2 干寒地区混凝土裂缝修补材料及技术分析	(77)
5.2.1 裂缝修补材料分析	(77)
5.2.2 裂缝修补技术分析	(85)
5.3 干寒地区混凝土裂缝修补材料试验研究	(87)
5.3.1 注浆材料试验测试	(87)
5.3.2 涂层材料试验测试	(96)
5.4 混凝土裂缝修补技术试验研究	(107)
5.4.1 “壁可”法	(108)
5.4.2 压力注浆法	(111)
5.4.3 注浆工艺结果分析	(113)
5.4.4 表面覆盖法	(114)
第 6 章 基于黏结理论的混凝土裂缝修补力学分析	(119)
6.1 黏结界面的几种黏结机理	(119)
6.2 混凝土抗剪强度试验	(125)
6.3 混凝土劈裂抗拉强度试验	(128)



6.4	ANSYS 软件分析注浆材料性能	(132)
6.4.1	ANSYS 软件模拟混凝土抗剪强度试验	(132)
6.4.2	注浆材料性能比较分析	(139)
第7章	工程实例	(143)
7.1	压力注浆法修补混凝土梁裂缝	(144)
7.2	表面覆盖法修补混凝土裂缝	(145)
7.2.1	底漆涂装	(146)
7.2.2	面漆涂装	(147)
7.2.3	施工质量验收细则	(148)
7.2.4	混凝土裂缝修补结果及分析	(152)
参考文献		(156)

第一篇
干寒地区混凝土裂缝处理

第1章 绪论

随着世界经济的增长和科学技术的进步,工程建筑业的发展尤为显著,作为工程结构物的基础材料——混凝土,由于其具有生产成本低、耐久性好、防火、适应性强、应用方便等优点,已成为近代应用最广泛的建筑材料,而且,在今后相当长的时间内,混凝土仍将是应用最广、用量最大的建筑材料。

1.1 混凝土裂缝问题的概述

我国是混凝土的生产和应用大国。2011年全国商品混凝土的总产量达14.2亿 m^3 左右,约占全世界总产量的40%,自2011年以后,每年都在以不同的比例增长。但无论是国内还是国外,混凝土结构在使用过程中,在安全性和耐久性方面都出现了很多问题。1980年3月27日,北海Stavanger近海钻井平台Alexander Kjell号的混凝土突然破裂,导致123人死亡。乌克兰境内的切尔诺贝利核电站的泄漏,也因混凝土出现的问题所致,造成了大面积的放射性污染,生态环境遭受了严重的破坏。日本的一些钢筋混凝土桥



梁,投入使用不到 20 年,由于桥梁到处遍布裂缝,完全失去了使用能力,不得不炸掉重建。国内的建设规模虽不如发达国家,工程历史也不长,但也存在较严重的混凝土工程损害情况。据对我国 70 座大坝的调查结果,有裂缝者占 100%,渗漏溶蚀者占 87.5%,冲刷磨损及空蚀者占 68.8%,碳化和钢筋锈蚀局部破损者占 43.8%,水质侵蚀者占 28%,冻融局部破坏者占 15.6%。我国海滨的一些钢筋混凝土公路桥,自 1990 年左右建成投入使用,仅约 10 年,混凝土保护层便大片脱落,钢筋严重锈蚀,只好在旁边另架新桥。我国某地的洗煤水塔,由于出现裂缝,混凝土渗漏,钢筋锈蚀,突然断裂,水塔毁坏,水流像山洪一样冲下,造成了很大的人员伤亡,建筑设施被严重破坏。

各种工程事故使人们意识到在结构设计时,应将混凝土的耐腐蚀性、抗裂性等耐久性问题予以谨慎考虑。

1.2 干寒地区气候特点与混凝土裂缝的关系

我国幅员辽阔,跨纬度较广,距海远近差距较大,加之地势高低不同,地形复杂,山脉走向不一,气候类型多样,根据气温的不同从南到北分为热带、亚热带、温带和寒带。而根据气候的干湿程度,又划分为湿润地区、半湿润地区、半干旱地区和干旱地区。

干寒地区面积广大,主要位于我国西北部,这些地区有浩瀚的戈壁、沙漠,地形以高原、盆地为主,风蚀作用显著;由于受西伯利亚寒流、多年冻土及现代冰川的影响,气候干旱少雨,年平均气温较低,日温差较大,紫外线照射强

烈，冬期长达3~6个月，个别地方长达8个月，气候主要特点为干燥、寒冷。这些因素极大地加剧了混凝土的塑性收缩、自收缩、干燥收缩、冷收缩等。尤其是每日的温度、湿度的交替变化，使得混凝土的应力不断累加，极易导致混凝土的开裂。同时，混凝土内部及外部的各种约束作用，使得内部的应力重新分布，致使混凝土的开裂更为复杂。另外，干寒地区已建成的混凝土结构在使用过程中将面临干湿变化、温度变化、冻融循环、盐碱腐蚀、风蚀等多种自然因素的作用，日积月累，在混凝土结构中也易产生裂缝。

1.3 裂缝处理的意义

混凝土结构裂缝是难以避免的，通常工程中的裂缝不过是其固有内在裂缝在一定条件下延伸、发展到构件表面，形成肉眼可见的裂缝而已。混凝土结构是带裂缝工作的，因此对绝大多数混凝土构件而言，产生裂缝是正常的。但是，宽度超过一定限度的可见裂缝毕竟是混凝土结构的一种缺陷，会造成一些负面影响。具体表现为：影响美观，观感质量不佳；有些贯穿裂缝引起液体、气体渗漏，直接影响了结构的使用功能；较宽的裂缝会引起用户的不安全感，造成心理压力；裂缝引起的钢筋锈蚀和混凝土性能劣化，会缩短结构的使用寿命。严重的受力裂缝预示着结构抗力衰竭，会影响结构安全问题，甚至导致建筑物坍塌，造成较大的经济损失甚至人员伤亡。例如：秦皇岛某大厦，由于地下室墙体裂缝的扩展引起地下室渗水现象，渗水深度达1 m多，严重影响其正常使用；江苏省某工程地下室墙体出现裂缝，且裂缝较



宽，渗水严重。另外，其他地区也有类似现象出现。因此，对于混凝土裂缝的适时修复将直接影响到建筑物和构筑物是否能继续使用及其安全性等方面问题。

随着社会的发展，各种各样的建筑物（如房屋、桥梁、隧道等）越来越多，但由于历年的老朽化、施工质量、地震和其他意外损伤等原因，大量的建筑物都亟待进行加固修复，以延长其使用寿命。这是一个可持续发展的社会问题，也是建筑工程中急需研究的重大课题。

混凝土结构严重受损常常出于各方面的原因，而实际上不可能替代或重建大部分受损的基础设施。在经济方面，如资金的来源问题；在后勤保障方面，如可能会过度破坏邻近设施，在缺少新路和通道的情况下与居民生活和工业生产发生冲突和矛盾，如绕道、耽搁、不便等。

而大量的工程实践表明，如果在混凝土结构物出现裂缝初期及时进行修补和整治，预防性维修（定期检查和修补密封接缝、排水系统等）可以延缓和阻止劣化的进一步发展，增加混凝土的耐久性，延长混凝土结构物的使用寿命和使用安全性。此外，从经济角度讲，及早注意裂缝的处理，可以免除以后处理时费用过大。

1.4 混凝土裂缝处理的发展现状

混凝土的裂缝长期以来一直是学术界和工程界所研究的一个重要课题。国内外发表了大量的有关混凝土裂缝的成因、评估、检测与治理的文献。混凝土裂缝种类繁多，修补方法很多，技术发展相当快。目前广泛使用的裂缝修补方法

主要有表面覆盖法、压力注浆法、纤维粘贴法、砂浆修补法、仿生自愈法、电化学防护法、嵌缝封堵法等。

1.4.1 表面覆盖法的发展现状

在混凝土表面涂覆表面涂层材料是目前使用最为广泛的混凝土防护技术,该技术通过外涂层材料保护混凝土不受外界有害物质的侵蚀,防止混凝土裂缝的产生,增加混凝土结构物的耐久性。表面涂层材料主要用来封闭混凝土表面的细微裂缝,保护混凝土,防止空气、水分及其他有害介质的侵入而导致混凝土进一步劣化及混凝土中的钢筋锈蚀等。

1942年德国化学家詹森(Lsuritz Jensen)在解决水泥船渗漏问题时发明了无机渗透结晶材料。在第二次世界大战后,欧洲和日本经济快速增长,使这一材料的工程应用不断扩大,产品也从早期德国的VANDEX品牌(现已转售瑞士),发展出挪威的CONTROLL、加拿大的XYEPX、KRYTON、德国的FORMDEX、美国的PENETRON等数十个品牌。应用领域也从单纯的防水发展到防盐害、防冻害、防碳化、防侵蚀等,并在混凝土结构防水和防护工程中得到大量应用。

日本20世纪80年代由RCG公司将RC-GUARD(堪能)混凝土防护溶胶引入日本市场,并在日本市场得到推广,日本东京电力的员工大楼于20世纪90年代初进行过整修,10年后未喷涂RC-GUARD的一侧已面目全非,而喷涂过RC-GUARD的一侧则崭新如初。

RC-GUARD在日本得到较快的发展,不断在桥梁、隧道、水池、车库等各类混凝土工程中得到应用,并于2000年得到日本国土交通省的认可,认定番号NM-0211。



随后又在东京高速公路、日本雀巢公司、日本可口可乐公司大楼、日本福岡市博多弯金印岛的跨海高架桥、成田国际机场等许多混凝土工程的防水防护工程中得到应用，都取得了很好的效果，得到三菱建设、西松建设等日本大型建筑公司的认可，并在他们施工的许多混凝土工程中广泛应用。据了解，以明石海峡大桥为代表的日本本四联络桥道路防护栏混凝土出现裂化病害，他们选择的防护修补方案就是使用 RC-GUARD。

最近几年，混凝土防护问题在国内也日渐受到重视，海门大桥、西陵长江大桥、汕头海湾大桥、宁波招宝山大桥主塔、宜昌长江大桥主塔、武汉军山大桥的主塔和引桥等都采用了有机涂料进行防护涂装。目前的防护涂装体系中主要以脂肪族聚氨酯、丙烯酸共聚物、绿化橡胶涂层为面漆，这些面漆具有防水、耐化学药品、防腐蚀等特点，能保护混凝土不受外界有害物质侵蚀，从而增加混凝土的耐久性。以环氧树脂类、聚氨酯类和丙烯酸共聚物为底漆和中间漆，中间漆中有些还加入具有鳞片状结构的云母氧化铁以增加漆膜的屏蔽性，涂膜干燥后的平均厚度一般达 $180\text{ }\mu\text{m}$ 以上，有些工程甚至要求涂膜总厚度不小于 $250\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ 。

但总的来说，混凝土结构的表面防护在国内外都是一个新的研究领域，各个国家由于经济发展水平和技术水平的差异，在制订防护方案时，既有相同之处，又有各自的特点，并且在发展过程中不断相互借鉴。

1.4.2 压力注浆法的发展现状

目前已有的多种处理混凝土裂缝的方法中，采用特定的黏结剂对已经产生的裂缝进行修复，从而限制裂缝开展的方