

钢筋混凝土

井壁腐蚀损伤机理研究及应用

GANGJIN HUNNINGTU
JINGBI FUSHI SUNSHANG JILI YANJIU JI YINGYONG

王 军 著



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

山东省自然科学基金 (ZR2011EL010) 资助项目
山东理工大学青年教师发展支持计划经费资助出版

钢筋混凝土 井壁腐蚀损伤机理研究及应用

王 军 著



YZLI0890169189

北 京
冶金工业出版社
2013

内 容 简 介

本书介绍了钢筋混凝土井壁腐蚀损伤研究的现状,冻结法井壁施工混凝土承受冻结压力对其性能影响的试验研究,盐害环境盐离子腐蚀混凝土及钢筋的机理类型及危害,复合盐害混凝土腐蚀损伤规律的试验研究,混凝土井壁裂缝的发生机理及带裂缝混凝土的力学性能变化规律,损伤混凝土的损伤量评价,基于混凝土材料损伤的服役混凝土井壁的时变可靠度研究与寿命预测。

本书可供从事混凝土材料研究、混凝土井壁设计与施工、矿山安全管理、无损检测技术研究等方面的工作人员、科研人员参考,也可作为结构工程、安全工程及相关学科的研究生的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢筋混凝土井壁腐蚀损伤机理研究及应用/王军著.

—北京:冶金工业出版社,2013.2

ISBN 978-7-5024-6150-8

I. ①钢… II. ①王… III. ①钢筋混凝土支架—
混凝土井壁—腐蚀机理—研究 IV. ①TD352

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 019432 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6150-8

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2013 年 2 月第 1 版, 2013 年 2 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 5.5 印张; 148 千字; 168 页

20.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100010) 电话: (010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

矿山钢筋混凝土立井是矿山最重要的咽喉工程和基础工程,承担着地表生产系统与井下生产系统之间连通的重任,对矿山安全生产和整体经济效益影响巨大。目前,在我国钢筋混凝土井壁的研究中,主要的注意力和研究方向集中在设计计算理论和施工技术方面,对于服役混凝土井壁在服役期内由于外部环境的侵蚀导致的材料性能的劣化以及在荷载的作用下造成的结构和系统的损伤积累、抗力衰减研究较少。因此,开展外部环境和内部因素共同作用下服役混凝土井壁耐久性变化规律研究,分析井壁特殊的施工环境对其力学性能的影响;探索外部环境对混凝土及钢筋的损伤机理,科学定量评价受腐蚀混凝土结构的损伤量,提高对井壁破裂灾害的预见性,提出可行的提高耐久性的方法与技术必将成为矿山混凝土井壁研究的一个重要领域,也为矿山破裂井壁的治理提供新的思路和途径。

本书共分5章,第1章为绪论,介绍了目前钢筋混凝土耐久性研究的进展情况;第2章通过设计的试验研究不同荷载等级作用下早龄期混凝土的力学性能和影响因素;第3章通过试验和理论分析研究了硫酸盐、氯盐、碳酸盐等对混凝土及钢筋的侵蚀机理、侵蚀类型及危害,分析了复合盐害作用下混凝土的损伤演化规律;第4章分析了压荷载作用下混凝土的损伤规律及带裂缝混凝土

的抗压强度变化规律；第5章通过理论推导得到井壁的时变可靠度模型，并依据已有的研究成果分析了井壁的可靠度变化规律。本书运用了大量的试验资料，并附有大量的图表来说明试验结果和提出的观点，以便于读者了解和掌握。

本书参考了相关的国内外有关混凝土耐久性研究的理论，在此谨向参考文献的作者表示感谢。同时感谢作者的博士生导师北京科技大学纪洪广教授的指导和帮助。

本书中阐述了许多有关钢筋混凝土井壁耐久性的新观点和新方法，其中尚有许多问题有待进一步研究和分析。鉴于作者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

于山东理工大学

2012年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 混凝土耐久性研究概况	2
1.1.1 耐久性研究的重要性	2
1.1.2 混凝土耐久性降低原因	4
1.1.3 盐害腐蚀混凝土类型	5
1.1.4 硫酸盐侵蚀混凝土研究进展	8
1.1.5 氯盐腐蚀钢筋混凝土	11
1.2 损伤混凝土性能	14
1.2.1 损伤理论	14
1.2.2 损伤力学理论基础	15
1.3 混凝土无损检测技术	18
1.3.1 混凝土无损检测	18
1.3.2 声发射技术研究进展	19
1.4 混凝土井壁耐久性	22
1.5 今后研究方向	23
2 荷载作用对低龄期混凝土性能影响的试验研究	25
2.1 引言	25
2.2 冻结压力分析	26
2.3 试验设计	28
2.3.1 试验设备及材料	28
2.3.2 试验过程	31
2.4 测试数据与分析	33
2.4.1 检测指标	33
2.4.2 数据分析	34

2.4.3 混凝土强度变化的影响因素	44
2.5 本章小结	49
3 盐害环境井壁混凝土腐蚀机理与损伤规律	50
3.1 引言	50
3.2 盐害侵蚀混凝土机理分析	52
3.2.1 混凝土的化学成分	52
3.2.2 硫酸盐侵蚀机理	53
3.2.3 硫酸盐在混凝土中渗透扩散分析	57
3.2.4 镁盐侵蚀机理	58
3.2.5 盐害结晶侵蚀机理	59
3.2.6 碳酸盐侵蚀机理	61
3.3 氯盐侵蚀钢筋混凝土机理	62
3.3.1 氯离子在混凝土中渗透扩散分析	62
3.3.2 锈蚀钢筋的力学性能	65
3.4 复合盐害环境下混凝土侵蚀性能试验	66
3.4.1 试验设计	67
3.4.2 测试数据及分析	68
3.5 盐害环境混凝土损伤演化规律	72
3.5.1 试验设计	73
3.5.2 试验材料	74
3.5.3 盐害溶液浓度选择	75
3.5.4 损伤混凝土评价指标	76
3.5.5 试验过程及分析	77
3.6 混凝土盐害侵蚀损伤规律分析	81
3.6.1 混凝土材料盐害腐蚀强度损伤分析	81
3.6.2 混凝土强度损伤劣化模型	83
3.6.3 实验室加速试验系数	85
3.6.4 盐害环境混凝土强度预测	88
3.7 本章小结	89

4 荷载作用下裂缝混凝土损伤演化及评价	92
4.1 引言	92
4.2 压荷载作用下混凝土腐蚀试验	92
4.2.1 试验设计	92
4.2.2 试验数据分析	94
4.3 混凝土盐害损伤性能试验	97
4.3.1 混凝土井壁裂缝产生原因	98
4.3.2 井壁混凝土裂缝的危害	103
4.3.3 带裂缝混凝土力学性能试验	104
4.4 损伤混凝土抗压强度模型验证	107
4.4.1 BP 神经网络简介	107
4.4.2 神经网络结构及算法	108
4.4.3 神经网络学习过程	109
4.4.4 BP 神经网络验证	110
4.5 损伤混凝土声发射特性与损伤量评估	114
4.5.1 基于损伤力学的混凝土声发射理论	114
4.5.2 混凝土损伤量表征	116
4.5.3 声发射参数与混凝土损伤量关系	117
4.5.4 超声与声发射结合确定混凝土损伤量	119
4.6 损伤混凝土定量评估试验	120
4.6.1 试验仪器	120
4.6.2 混凝土试件制作与测试	121
4.6.3 损伤劣化混凝土声发射特性	121
4.6.4 混凝土损伤量确定	122
4.7 本章小结	123
5 基于腐蚀损伤的服役混凝土井壁时变可靠性	125
5.1 引言	125
5.2 时变可靠度基本理论	125

VI |||| 目 录

5.2.1	结构体系可靠性	125
5.2.2	材料抗力衰减的随机过程	126
5.3	钢筋混凝土井壁的时变可靠度分析	132
5.3.1	服役混凝土井壁功能函数	132
5.3.2	服役井壁荷载	135
5.3.3	深厚冲积层井壁危险位置确定	138
5.3.4	钢筋混凝土井壁危险截面	140
5.3.5	服役井壁时变可靠度计算方法	141
5.4	某矿副井井壁时变可靠度计算	142
5.4.1	井壁危险位置确定	142
5.4.2	井壁时变可靠度指标计算与分析	144
5.5	提高混凝土井壁耐久性措施	147
5.5.1	井壁设计采取的措施	147
5.5.2	服役井壁裂缝的治理技术	149
5.6	本章小结	150
附录		152
附录 A	腐蚀混凝土 X 射线衍射数据	152
附录 B	Matlab 拟合裂缝长度、深度结果	155
附录 C	腐蚀混凝土声发射测试数据	156
参考文献		159

1 绪 论

混凝土是土木工程领域最重要的人工建筑材料，广泛地应用于民用、工业、矿山能源和交通等行业。随着经济发展和科学技术进步，许多大型复杂工程结构得以兴建，如超高层建筑、核电站、深厚冲积层中的矿山立井等。这类大型工程的结构材料多采用混凝土，使用期长达几十年甚至上百年。材料是工程结构的物质基础，混凝土的性能对工程结构的安全性和耐久性具有决定性作用。由于自然灾害的频繁发生、加之人类生活环境的恶化，导致混凝土耐久性不足而造成的工程事故频繁发生，造成的损失也难以估量。钢筋混凝土结构的耐久性问题已经受到国内外土木工程界的高度重视。

自 1987 年以来，在我国华东、中原、东北等地区位于深厚冲积层的煤矿屡屡发生混凝土立井井壁破裂灾害，截止到 2008 年底，已经有 100 余个井筒发生破裂。这些破裂混凝土井壁，最长的使用时间 30 余年，最短的仅 4 个月，都没有达到设计使用寿命就无法继续使用，给矿山生产造成了巨大的经济损失，矿工的人身安全也受到极大的威胁，严重影响煤矿的安全生产，干扰了国家正常的煤炭能源供应，使经济和社会发展受到影响。

煤矿钢筋混凝土立井是矿山最重要的咽喉工程和基础工程，承担着地表生产系统与井下生产系统之间连通的重任，对矿山安全生产和整体经济效益影响巨大。井壁的破裂引起国家相关部门和有关学者的高度关注，经过大量现场调查和研究，取得较为一致的认识即竖向附加力是井壁受力状况改变的重要因素，以前的煤矿立井设计由于未考虑竖直附加力存在先天不足。在认识到竖直附加力的存在后，对破裂井壁进行了维修加固，但仍旧发生维

修加固井壁二次、三次破裂的情况,特别是在黄淮地区,一些治理的井壁出现重复破裂;即使在设计中考虑竖直附加力作用的立井建成后也存在一定程度的井壁混凝土破裂现象,因此必然存在未被考虑的其他导致井壁破裂的重要因素。李定龙、牛学超等人在现场调查过程中发现黄淮及西北地区有相当数量的钢筋混凝土立井处于盐害环境,由盐害引发的混凝土腐蚀、钢筋锈蚀现象严重。服役的混凝土立井井壁长期遭受盐害腐蚀导致耐久性不良强度衰减、井壁开裂,引发井壁淋水、钢筋锈蚀等现象存在,造成井壁混凝土严重损伤却“带病”运行。

近年来我国矿山工程事故频繁发生,造成重大的人员伤亡和财产损失,引起社会对重大工程安全性的关注和担忧。因此,开展外部环境和内部因素共同作用下混凝土井壁随着使用时间发展的耐久性变化规律研究,分析井壁特殊的施工环境对其力学性能的影响;探索外部环境对混凝土及钢筋的损伤机理,科学定量评估受腐蚀混凝土结构的可靠性,提高对井壁破裂灾害的预见性;提出可行的提高耐久性的方法与技术必将成为矿山混凝土井壁研究的一个重要领域。

1.1 混凝土耐久性研究概况

1.1.1 耐久性研究的重要性

混凝土是现代土木工程中用量最大、用途最广泛的工程材料,也是最主要的结构材料,钢筋混凝土结构已经成为世界上应用最为广泛的工程结构形式。由于混凝土结构材料自身成分的复杂性和使用环境的多样性等原因,人类对混凝土性能掌握的依旧不全面。长期以来,人们一直认为混凝土是一种耐久性能良好的建筑材料,忽视了外界环境变化对混凝土结构造成的耐久性问题,导致钢筋混凝土结构耐久性研究的相对滞后,并为此付出了沉重的代价。由于钢筋混凝土结构耐久性不足导致的安全事故时有发生,混凝土结构的耐久性问题已经受到国内外土木工程界学

者的高度重视,展开了广泛的研究。

大量实验和工程实践证明:在设计强度足够的情况下,由于混凝土的使用环境恶劣,随着时间发展导致结构的耐久性降低强度衰减,工程结构遭到严重破坏,产生大量自然资源浪费和巨额维修及重建的资金损失。

西方发达国家工业化开展较早,在数十年前已经进行了大规模的钢筋混凝土工程的基本建设,混凝土结构的耐久性问题发现得早,其造成的损失也是惨重的。欧洲许多国家大约要花费建筑物造价的 50% 用于维护和保养,如英国政府在 1974 ~ 1989 年的 15 年间,桥梁工程修补费用达到 4500 万英镑,是初始造价的 1.6 倍;目前每年用于修复钢筋混凝土结构的费用达 5 亿英镑。美国的统计数字表明:1975 年,由于钢筋混凝土腐蚀引起的损失大约为 280 亿美元,1985 年上升到 680 亿美元,1995 年为 1500 亿美元,而 2004 年的数据则直线上升到 2200 亿美元。巨额的维修费用给这些发达国家的经济带来巨大负担。

我国是世界上最大的发展中国家,混凝土的生产量与使用量世界第一,目前正处于建设的高峰期。在未来的 15 ~ 20 年间,我国的基本建设将继续保持强劲的发展态势。尽管混凝土腐蚀对已经建成的结构造成一定程度的破坏,但数量和规模均较小,未达到引起人们高度关注的程度。《中国腐蚀调查报告》指出,我国建设部门在这方面的损失每年约为 1000 亿元人民币,其间接经济损失及对社会的潜在影响不容忽视。

随着科学技术的发展,人类生产活动涉及的范围越来越广,各种在恶劣环境下使用的混凝土工程,如跨海大桥、海洋工程、核反应堆、地下结构等不断增多,这些工程关系国计民生,必须实现百年大计甚至千年大计,这就更加要求混凝土具有优异的耐久性。为了做到居安思危、未雨绸缪,吸取西方发达国家的经验和教训,避免若干年后混凝土腐蚀对我国国民经济发展可能造成的严重影响,保持经济持续、稳定、科学发展,必须主动和自觉加强对混凝土耐久性的研究。

1.1.2 混凝土耐久性降低原因

混凝土结构的耐久性是指结构在使用过程中抵抗外界环境或内部自身所产生的侵蚀破坏的能力,产生损伤的原因分为内部和外部两方面:内部原因是指混凝土自身的一些缺陷,如混凝土内部存在气泡和毛细孔隙,为二氧化碳、水与氧气向内部扩散提供了通道;混凝土中掺加氯盐或使用含盐的骨料,由于氯离子的作用使钢筋产生锈蚀;混凝土含碱量过高,水泥中的碱与活性集料反应,导致混凝土开裂等。外部原因主要是指自然环境与使用环境的劣化,可以分为一般大气环境、特殊环境、灾害环境。一般环境中的二氧化碳、环境温度、湿度、酸雨等使混凝土中性化,导致混凝土中钢筋的锈蚀;特殊环境中的酸、碱、盐是导致混凝土结构腐蚀和钢筋锈蚀的最主要原因,如沿海地区的盐害、寒冷地区的冻害、腐蚀性土壤、地下水等;灾害环境主要是地震、火灾等对结构造成的偶然损伤,这种损伤与环境损伤等因素共同作用,加剧混凝土结构的劣化。Mehta 教授在第二届混凝土耐久性国际会议上指出:混凝土耐久性破坏原因,按照重要性递降的顺序依次是钢筋锈蚀、寒冷气候下的冻害、侵蚀环境的物理、化学作用。

我国地域辽阔,气候条件、土壤类型、水文条件、地质条件差别很大,近几十年来,由于工业发展和人为因素导致的环境破坏加剧。在钢筋混凝土工程所处的土壤与地下水中含有一些对钢筋及混凝土材料具有腐蚀作用的物质,引起工程界对地下混凝土工程耐久性的关注和研究。从 20 世纪 50 年代开始,为测试土壤对混凝土试件的腐蚀性,积累腐蚀数据,在全国范围内建立土壤腐蚀试验网,全国 29 个站埋设 4 类材料近 5000 个试件。历经 30 余年试验结果表明,混凝土强度普遍下降,损失率 14% ~ 100%,不同类型土壤对混凝土强度的影响见表 1-1。

我国 1/3 土壤中含有对混凝土有腐蚀性物质,西北的盐卤区、沿海的盐渍土及黄淮等地区土壤及地下水含有大量对钢筋

表 1-1 不同类型土壤对混凝土强度的影响

埋设地点	土壤类型	土壤 pH 值	埋设时间 /a	初始强度 /MPa	腐蚀后强度 /MPa	损失率 /%
敦煌	荒漠土	8.8	28	22.9	0	100
贵阳	黄土	6.5	30	22.9	14.1	38
西安	黄土	8.6	30	22.9	18.7	18
济南	黄土	8.2	30	22.9	19.8	14
三峡	黄土	6.9	33	22.9	6.1	73

混凝土具强腐蚀性的离子，对当地的混凝土工程耐久性带来隐患，部分地区腐蚀性离子类型及含量见表 1-2。

表 1-2 我国部分地区地下水腐蚀性离子类型及含量 (mg/L)

取水地点	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
新疆台特马湖	33842	1503	4438	48789	22254	659
青海察尔汗湖	113429	1200	9120	199270	5760	60
宁夏同心河	5603	344	1261	5694	9611	195
宁夏西吉芦河	1629	312.6	258.5	1346	3201	190.3
云南成昆隧洞	708	541	158	138	2815	509
莱芜张家洼矿	1083	165	38	845	1585	100
甘肃窑街	2338	319	336	4250	8148	450
淮北海孜	378.33	—	111.06	128.39	1407.70	0
淮北临涣	243.59	—	213.8	252.40	2083.01	0
徐州张集	362.96	—	80.30	606.74	664.15	—
山东东营	32174.6	—	4025.2	63569.7	6260	419
山东寿光	5532.1	113.6	537.0	6617.2	1759.5	231.3
河北曹妃甸	10727.0	417.5	1193.2	17407.4	2618.9	153.7
天津滨海	3421.7	1400	86.4	2500	880	366

1.1.3 盐害腐蚀混凝土类型

建造在地下的混凝土工程必然与土壤和地下水接触，水分子

能够渗透通过极细小的孔洞，在多孔固体材料中，水被认为是多种物理劣化过程的起因。作为侵蚀性离子迁移的载体，水也可以引起化学劣化过程。作为一种溶剂，水比其他液体可以溶解更多的物质。正因为这个特点，水中存在很多离子和气体，这是水能够引起固体材料发生化学分解的主要原因。地下水是一种复杂的天然溶液。存在于地壳中的 87 种稳定元素，在地下水中就发现 70 多种。这些元素含量的多少及存在形式决定水的酸碱性，也决定了水的腐蚀性。地下水的腐蚀性主要表现为对混凝土及钢筋的侵蚀破坏，腐蚀性可分为 3 类：

（1）溶出性腐蚀。它指能够溶解水泥石组成成分的液体介质在混凝土内发生的全部腐蚀过程。当水的暂时硬度较低，在流动或压力的情况下长期冲刷水泥石，会将混凝土中的氢氧化钙溶解析出带走，水化硅酸盐和水化铝酸盐丧失稳定性开始分解。有资料表明，当氢氧化钙溶解析出 5% 时，强度下降 7%；溶出 24% 时，强度下降 29%；溶出 40% 时，强度下降 50%。

混凝土的溶出性腐蚀，在各类建筑物中都能看到，特别是在水与混凝土接触处的干燥部位。溶解在水中的氢氧化钙碳化后生成碳酸钙沉淀下来，在混凝土表面形成白色沉淀物。根据对我国已运行 30 年以上的电站混凝土大坝的实地考察分析，发现都存在不同程度的溶出性腐蚀，造成表面混凝土老化。地下隧道工程、矿山立井等混凝土的溶出性腐蚀也很显著。

（2）分解性腐蚀。它指水泥成分和溶液间发生化学反应的生成物丧失胶凝性而引起的腐蚀。这些产物或是由于扩散原因易于溶解，或是随渗流水从水泥石结构中析出，或是以非结晶体形式聚集。酸和某些盐的溶液与混凝土作用时所发生的侵蚀过程属于这一类腐蚀。当生成物不具备阻止侵蚀性介质进一步渗透的胶结性和足够密实性，而是被溶解掉或被机械地冲洗掉，那么混凝土的深层就会裸露出来，腐蚀过程会一直继续下去，直到整块混凝土完全破坏为止。当生成物不溶解而是遗留在混凝土表面，就会形成一层反应物薄层，那么混凝土的腐蚀速度取决于反应物薄

层的性质。在工业建筑、地下建筑和水工建筑中,分解腐蚀非常普遍。

(3) 膨胀性腐蚀。它指侵蚀介质在混凝土内部发生化学作用或物理作用导致结晶膨胀,在混凝土内部产生内应力引起的破坏过程。由于盐在混凝土孔隙内逐渐积聚需要一个过程,当这种过程发展很缓慢时,在腐蚀初期结晶物很少,混凝土的孔隙和空洞被这些结晶物填充而变得密实,此时,混凝土的强度甚至比未受侵蚀的混凝土强度有所增加,而在持续的结晶作用下,混凝土的孔隙和毛细孔壁产生很大张力之后,混凝土水泥石结构组分破坏,其强度将迅速下降。这种腐蚀过程对混凝土的破坏作用很大,其中硫酸盐的化学腐蚀作用就属于此类。

经过调查发现部分地区煤矿立井所处的地下水中含有的盐害离子对混凝土的腐蚀作用导致井壁强度降低,部分矿井地下水的化学物质含量见表1-3。

表1-3 部分矿井地下水化学物质含量 (mg/L)

矿井地点	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
淮北海孜	378	680	111	128	1313	706
淮北临涣	227	640	202	238	1958	610
徐州张集	45	—	80	606	664	—
甘肃窑街	2338	319	336	4250	8148	450
大屯孔庄	210	165	102	287	1256	108
山东巨野	775.8	320.6	86.17	433.0	2304.6	337.5
淄博夏庄	622.3	280.29	115.0	431.4	2051.1	203.7
淄博西和	27.0	781.6	182.3	40.8	3410.1	0

由表1-3可知,井壁混凝土所处地下水中对混凝土具有腐蚀作用的离子包括硫酸根离子、碳酸氢根离子、氯离子等,一些矿区腐蚀性离子含量大,超过国家标准几倍甚至数十倍,井壁混凝土长期处于腐蚀环境,必然导致混凝土的劣化及强度降低,是混凝土耐久性的严重隐患。当前在我国的矿山建设中,从设计到

施工等各方面对混凝土的指标只强调强度指标,对混凝土耐久性、稳定性、抗渗性等指标要求较少。深厚表土层中的混凝土结构处于特定环境中,需要优异的耐久性抵抗外界的物理和化学侵蚀。李志国认为盐害环境混凝土的腐蚀机理十分复杂,他将破坏分为4种模式:水泥硬化浆体的腐蚀;混凝土盐结晶破坏;钢筋锈蚀破坏;综合性破坏。

1.1.4 硫酸盐侵蚀混凝土研究进展

硫酸盐侵蚀是混凝土耐久性研究的一项重要内容,也是影响因素最复杂、危害最大的一种环境腐蚀。1892年 Michalis 首先发现硫酸盐对水泥的侵蚀作用并称之为“水泥杆菌”,20世纪初期前苏联就进行硫酸盐侵蚀研究,并把它归为盐类腐蚀。硫酸盐分布广泛,大部分的土壤中都含有硫酸盐;部分地区的地下水中硫酸盐含量很高,如在我国西部地区的青海、甘肃、宁夏都发现了硫酸盐对混凝土的侵蚀破坏,部分混凝土结构损坏严重完全失效。硫酸盐对地下混凝土结构的侵蚀,给工程带来巨大的安全隐患。国内外许多学者从侵蚀机理、评价指标、试验测试及强度变化等领域对硫酸盐侵蚀混凝土进行研究。

1.1.4.1 研究概况

Santhanam 通过试验发现混凝土试件在不同浓度的硫酸盐溶液中膨胀变形包括两个阶段;讨论了硫酸钠和硫酸镁溶液浓度对混凝土试件膨胀变形的影响。杨德斌通过室内设计的试验发现,在浓度低于5%范围内,提高浓度对抗蚀系数影响不显著,而当溶液达到饱和时,抗蚀系数衰减最快。刘亚辉等人通过室内试验,采用强度损伤、试件长度变化、质量损失3种判定指标研究了溶液浓度和温度对硫酸盐侵蚀速度的影响,发现溶液浓度和温度超过一定数值后,侵蚀速度减慢;硫酸钠溶液侵蚀速度高于硫酸镁溶液,试件浸泡在浓度15%的硫酸钠溶液中侵蚀速度最快。Biczok 研究认为,溶液浓度的改变会影响侵蚀反应机理。