

- 中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED) 统计源期刊
- 中国期刊全文数据库(CJFD) 全文收录期刊
- 中国核心期刊(遴选) 数据库收录期刊
- 中文科技期刊数据库收录期刊

ISSN 1672-6375  
CN 62-1173/N

# 甘肃科技纵横

*Scientific & Technical Information of Gansu*

第五十卷 第九期 (总第315期)

GANSU KEJI ZONGHENG

主管单位: 甘肃省科学技术厅  
主办单位: 甘肃省科技情报学会

2021. 9

# 目次 CONTENTS

甘肃科技纵横  
GAN SU KE JI ZONG HENG

第50卷 2021年9月 第9期

## 卷首语

我国科学家发现环形RNA具有抑制胃癌转移的新功能 ..... 中华人民共和国科学技术部

## 信息技术

基于生成对抗学习的不同年龄人脸图像合成 ..... 董虎胜 1

基于机械手搬运工件的自动化系统设计\* ..... 刘凯 4

## 环境生态

兰州市颗粒物浓度的变化特征及其与气象要素的关系\* ..... 孔祥如,潘峰,张鑫 7

总有机碳分析仪测定工业废水中的TOC含量 ..... 黑艳 11

## 工业科技

辽宁某水泥厂通风除尘设计 ..... 毕跃,邢精 14

复合行星齿轮的非线性动态特性分析 ..... 张国平 19

经济型数控车床自动换刀原理与维修\* ..... 赵宏霞 22

建筑电气设计中的消防配电设计研究 ..... 耿海东 25

## 建筑设计

石灰高炉矿渣稳定黄土的无侧限抗压强度研究\* ..... 唐斌科 28

氯离子侵蚀下在役RC桥墩时效易损性研究\* ..... 苟强,李鑫,张悦,齐海鹏,孙拴虎 32

海拉湾特大桥64 m箱梁节段预制拼装关键施工技术分析及分析 ..... 王君楼 38

调节池板式混凝土裂缝治理措施探析\* ..... 孙拴虎,符惠萍,阎玉蕊,齐海鹏,苟强 43

# 目次

## CONTENTS

甘 肃 科 技 纵 横  
GAN SU KE JI ZONG HENG

路桥梁施工中预应力技术关键点研究·····	蔡凤挺	46
复合土工膜在水库防渗加固工程中的施工技术分析·····	万侃强	49
公路桥梁过渡段软路基施工技术分析·····	薛 薇	52

### 理论研究

降雨入渗条件下高填方黄土边坡稳定性分析·····	马 宁	55
连续梁桥施工监控中存在问题的分析·····	崔建龙	58
钢管桩地基加固与排水系统改造在富水黄土隧道中的应用技术研究·····	孙照玉,左 晋	61
房屋建筑中砖砌体施工技术研究·····	马 龙	64
分析大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术管理问题·····	王 明	67
慢性阻塞性肺疾病危险因素研究进展·····	张 森,刘 华	69

### 临床研究

穴位埋线对奥氮平所致代谢综合症的防治*·····	刘鹏飞	72
辛芷滴鼻液、烧烫宁膏微生物限度检查方法的研究*·····	王 艳,刘光斌,全文丽,何苗苗,谢 静	76
蒙医尼如哈疗法治疗溃疡性结肠炎临床研究·····	福 山	79
不同二甲双胍片剂治疗社区糖尿病临床研究·····	陈 娟	82
血清C肽与糖化血红蛋白联合检验在诊断糖尿病中的应用·····	敏煜真	85
热激活镍钛弓丝对正畸治疗患者临床应用研究·····	张晓静,陶若菡,张生堂	88
某医院亚胺培南-西司他丁钠使用现状及用药合理性的分析与评估·····	马彩红,周明慧	90
中药注射剂临床合理用药分析·····	张 丽,王瑞杰,谢晓峰,胡增军,白俊兰,何广杰	94

## 氯离子侵蚀下在役RC桥墩时效易损性研究\*

苟强,李鑫,张悦,齐海鹏,孙拴虎

(陕西机电职业技术学院 铁道工程学院,陕西 宝鸡 721001)

**摘要:**为研究氯离子侵蚀下在役RC桥墩的地震易损性,本论述以除冰盐环境下的在役桥梁为研究对象,结合现场调研、桥梁检测以及理论分析对典型在役桥墩的材料性能劣化规律和桥墩在全寿命周期内的时效易损性展开研究,提出了除冰盐环境下氯离子扩散修正模型,建立了考虑材料性能劣化的在役桥墩地震易损性分析模型。结果表明:RC桥墩箍筋的初始锈蚀时间早于纵筋,箍筋屈服强度较纵筋屈服强度劣化快;同一座桥梁,在不同服役时间对其施加相同的地震力,桥墩在某种特定损伤状态下随服役时间的增加遭受破坏的概率显著增大。整个全寿命周期内桥墩在严重破坏时表现出较好的延性能力。

**关键词:**在役桥墩;氯离子;劣化模型;全寿命;地震易损性

**中图分类号:**TL422

**文献标志码:**A

### 0 引言

随着我国经济高速发展,各项基础设施建设得到长足的进步,尤其是公路桥梁专业的建设如雨后春笋般涌现出来。桥梁是交通的咽喉,各类桥梁建设尤为重要,加之桥梁所处环境比较恶劣,因此由于环境影响的桥梁病害越来越多。随着服役时间的推移,混凝土、钢筋等材料性能会发生退化,尤其在氯离子环境的侵蚀下,钢筋混凝土材料性能劣化会更加严重。桥墩是支撑桥梁上部结构的重要构件,其抗震性能将直接影响整座桥梁的安全性。

近年来,国外对在役桥梁的抗震性能研究较少,而相比之下国内对在役桥梁的抗震性能研究较多。2015年,赵亚群对氯离子侵蚀的连续刚构桥,应用Fick第二定律得到了钢筋混凝土材料随服役年限的力学性能劣化规律,分析了不同氯盐环境下桥梁的抗震性能<sup>[1]</sup>;2012年,李立峰等对多个桥梁的支墩、桥墩和桥台等构件的地震易损性进行了分析,同时针对中小跨径桥梁的易损性进行了研究<sup>[2]</sup>。现有的桥梁结构易损性评估主要是静态的,而对考虑材料性能劣化的桥梁结构时

效易损性研究不多,因此亟需进行此方面的研究。

鉴于此,本论述在归纳总结国内外研究现状以及发展动态的基础上,对在役钢筋混凝土桥墩的抗震性能进行研究,建立除冰盐环境下氯离子扩散修正模型,探究钢筋混凝土材料的劣化规律,分析典型在役桥梁结构的地震响应,提出考虑材料性能劣化的地震易损性分析模型,绘出在役桥墩的时效地震易损性曲线。

### 1 除冰盐环境下氯离子扩散修正模型

#### 1.1 Duracrete氯离子扩散模型

$$C(x,t) = C_0 \left[ 1 - \frac{e^{-k \sqrt{D_e(t)}}}{2 \sqrt{k_1 k_2 k_3 D_e(t)}} \right] \quad (1)$$

式(1)中: $k_1$ 为环境影响修正系数; $C(x,t)$ 为 $t$ 时刻距混凝土表面 $x$ 深度处的氯离子浓度; $k_2$ 为不同实验方法修正系数; $C_0$ 为氯离子表面浓度; $k_3$ 为不同养护条件的修正系数。

#### 1.2 除冰盐环境下氯离子扩散修正模型

本论述以Duracrete模型为基础,引入除冰盐环境影响修正系数 $k$ ,结合除冰盐环境的特点和大量文献

收稿日期:2021-05-18

基金项目:陕西机电职业技术学院2020年度校内教育教学科研课题(项目编号:YJ202007)。

作者简介:苟强(1994-),男,硕士,助教,主要研究方向:桥梁抗震。

调研对模型中的参数进行合理定义,通过山西省祁临高速公路在役新梁的氧离子含量现场检测数据求解 $k_e$ 的具体数值,以实体工程的现场检测数据为依据,使该模型对于除冰盐环境下混凝土结构氧离子扩散行为的研究具备一定的实用价值。

通过Dunacrete模型反算出除冰盐环境影响修正系数 $k_e$ ,如公式(2)所示,公式中各参数的取值见表1所列。

$$k_e = \frac{x^2}{k_e k_e D_0(t_0)^2} \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{C - C_c}{C_c} \right) \right]^2 \quad (2)$$

式(2)中: $x$ 为取样深度(cm); $C_c$ 为 $x$ 深度处的氧离子浓度(%); $t_0$ 为基准时间(年),取28天,约0.0767年; $t$ 为服役年限(年);其他指标意义同公式(1)。

表1 氧离子扩散修正模型各参数取值

参数	分布类型	均值	标准差
$D_0/\text{mm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$	正态分布	220.9	25.4
$C_c/\%$	正态分布	0.3	0.01
$k_e$	正态分布	0.832	0.024
$k_e$	Beta	0.8	0.1
$\alpha$	正态分布	0.362	0.245

课题组依托项目,结合真实的检测数据,对山西省祁临高速公路沿线的兰村大桥等4座典型新梁严格按照试验步骤钻孔取混凝土粉样,并在实验室对试样进行氧离子含量测定,得到不同深度处的氧离子含量,将所检测到的数据以及上文所确定的相关模型参数代入公式(2)并取平均值,得到针对除冰盐环境下的环境影响修正系数 $k_e = 0.845$ ,标准差为0.06。

在同时考虑了混凝土表面氧离子浓度、氧离子扩散系数、环境影响修正系数等因素后,最终得到除冰盐环境下的氧离子扩散模型如式(3)所示,该模型以服役时间和氧离子侵蚀深度为输入值,具有较高的实用性,下文的计算将以该模型为依据进行。

$$C(x,t) = C_c \left[ 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{k_e k_e D_0(t_0)^2 t}} \right] \quad (3)$$

$$\text{其中, } \operatorname{erf}(a) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^a e^{-b^2} db$$

### 1.3 确定钢筋初始锈蚀时间

混凝土结构的钢筋初始锈蚀时间被定义为氧离子扩散至钢筋表面,达到临界浓度使钢筋开始锈蚀的时间。根据式(3),当扩散至钢筋表面的氧离子浓度 $C_c$ 等于钢筋的氧离子临界浓度 $C_{cr}$ 时,扩散深度 $x$ 和保护层

厚度 $d_c$ 相等时,可推导出除冰盐环境下混凝土结构的钢筋初始锈蚀时间如式(4)所示。

$$t_{in} = \left\{ \frac{d_c^2}{4k_e k_e D_0(t_0)^2} \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{C_c - C_{cr}}{C_{cr}} \right) \right]^2 \right\}^{-1} \quad (4)$$

式(4)中: $t_{in}$ 为钢筋初始锈蚀时间(年); $d_c$ 为混凝土保护层厚度; $C_{cr}$ 为氧离子临界浓度(%);其他符号意义同前文。

## 2 钢筋混凝土材料劣化模型

### 2.1 钢筋直径及力学性能劣化模型

钢筋均匀锈蚀如图1所示,从图中可以看出,假定 $t_{in}$ 时刻钢筋开始锈蚀,则 $t$ 时刻钢筋直径 $d(t)$ 和钢筋的锈蚀率可用式(5)和式(6)表示。

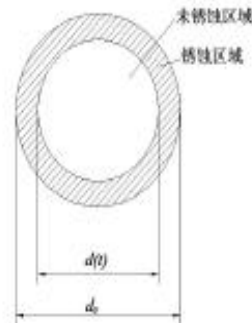


图1 钢筋均匀锈蚀示意图

$$d(t) = \begin{cases} d_0 & t \leq t_{in} \\ d_0 - 2\lambda(t - t_{in}) & t_{in} < t \leq t_{in} + d_0/(2\lambda) \\ 0 & t > t_{in} + d_0/(2\lambda) \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho_r = \frac{d_0^2 - d^2(t)}{d_0^2} \times 100\% \quad (6)$$

式(5)中: $\lambda$ 为年锈蚀速率; $d_0$ 为钢筋初始直径; $d(t)$ 为 $t$ 时刻钢筋直径; $t_{in}$ 为钢筋初始锈蚀时间; $\rho_r$ 为钢筋锈蚀率。

根据张平生等<sup>[7]</sup>人的试验得出的结果, $t$ 时刻锈蚀钢筋屈服强度 $f_{ty}$ ,如式(7)所示。

$$f_{ty} = \begin{cases} f_{ty0} & t \leq t_{in} \\ (0.986 - 1.1991\rho_r) f_{ty0} & t > t_{in} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中: $f_{ty0}$ 为完好钢筋的屈服强度; $f_{ty}$ 为锈蚀钢筋的屈服强度; $\rho_r$ 为钢筋锈蚀率,通过式(6)求得。

### 2.2 混凝土劣化模型

#### 2.2.1 保护层混凝土劣化

Coronelli, D.等<sup>[8]</sup>经过研究发现受腐蚀后保护层混

混凝土的强度可通过公式(8)~(10)计算得到。

$$f_c = \frac{f_{c0}}{1 + K \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}}} \quad (8)$$

$$\epsilon_{c0} = \frac{n_{c0} \cdot 2\pi(\nu_c - 1)\epsilon_c}{b_c} \quad (9)$$

$$\epsilon_{c0}(t) = \frac{M(t)}{\rho_c \cdot \pi \cdot D} = \frac{\int_0^L i_{c0}(t) dx \cdot A}{Z_c \cdot F \cdot \rho_c} \quad (10)$$

### 2.2.2 约束混凝土的劣化

本论述通过Mander模型未考虑氯离子对约束混凝土的影响,图2给出了Mander模型的本构关系,约束混凝土各参数计算公式(11)~(15)。

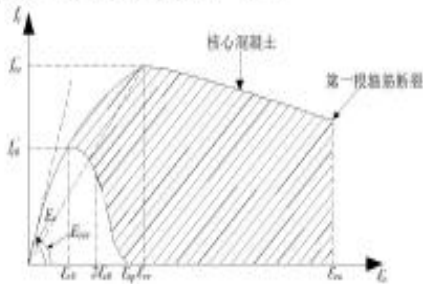


图2 Mander模型的约束混凝土本构关系

$$f_{c0} = K f_{c0} \quad (11)$$

$$K = -1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94f_c}{f_{c0}}} - 2 \frac{f_c}{f_{c0}} \quad (12)$$

$$f_c = K_c \frac{2f_c A_{cs}}{D_c s} \quad (13)$$

$$\epsilon_{c0} = 0.002 \left[ 1 + 5 \left( \frac{f_c}{f_{c0}} - 1 \right) \right] \quad (14)$$

$$\epsilon_{c0} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_c f_c \epsilon_{c0}}{f_{c0}} \quad (15)$$

## 3 考虑材料性能劣化的时效易损性分析模型

### 3.1 易损性的定义

易损性是指将桥梁的损伤状态分为4个状态,给定一个地震作用,结构在某种损伤状态下发生破坏的概率。现阶段易损性分析模型均不考虑材料性能的劣化问题,根据已有的研究成果可知,若想求解结构的地震易损性需知道以下3个参数:结构的地震响应 $S_d$ ;结构将会发生某种损伤的极限值 $S_d$ ,又称为结构在各种极限状态下的抗震能力;表示地震动强度的指标 $IM$ ,可采用地震动加速度峰值PGA或谱加速度 $SA^*$ 。易损性函数如式(16)所示。

$$P_f = P(S_d \geq S_d | IM) = \Phi \left( \frac{\ln(S_d/S_d)}{\sqrt{\beta_{d,IM}^2 + \beta^2}} \right) \quad (16)$$

式(16)中: $P_f$ 为失效概率; $S_d$ 为结构的抗震能力; $S_d$ 为结构地震需求平均值; $IM$ 为地震动参数(SA或PGA)。

### 3.2 考虑材料性能劣化的时效地震易损性分析模型

桥梁结构在服役多年后,由于受到氯离子侵蚀,其地震易损性已无法和成新时期相比。因此考虑材料性能劣化的结构地震易损性模型除了考虑地震动参数以外,还需考虑钢筋混凝土材料力学性能的劣化。因此本小结依旧以时不变地震易损性模型为基本模型,除了考虑地震动参数以外,引入在役桥梁结构服役 $t$ 年后锈蚀钢筋的直径 $d(t)$ 、锈蚀钢筋的屈服强度 $f_y(t)$ 、保护层混凝土的抗压强度 $f_c(t)$ 以及约束混凝土的峰值应变 $\epsilon_{c0}(t)$ 和极限应变 $\epsilon_{c0}(t)$ 得到考虑材料性能劣化的结构时效地震易损性分析模型。因此条件概率公式可改写为式(17)。

$$\left( S_d \geq S_d | IM = a, d = d(t), f_y = f_y(t), f_c = f_c(t), \epsilon_{c0} = \epsilon_{c0}(t), \epsilon_{c0} = \epsilon_{c0}(t) \right) \quad (17)$$

式(17)中: $S_d = d(t)$ 为锈蚀钢筋在 $t$ 时刻的直径; $f_y = f_y(t)$ 为锈蚀钢筋在 $t$ 时刻的屈服强度; $f_c = f_c(t)$ 为保护层混凝土在 $t$ 时刻的抗压强度; $\epsilon_{c0} = \epsilon_{c0}(t)$ 为约束混凝土在 $t$ 时刻的峰值应变; $\epsilon_{c0} = \epsilon_{c0}(t)$ 为约束混凝土在 $t$ 时刻的极限应变;其余符号意义同前文。

## 4 在役RC桥墩时效易损性分析

### 4.1 工程概况

洪善公铁立交桥为大运高速公路祁县—临汾上一座跨越南同蒲电气化铁路的立交桥。该工程于2003年9月运营通车,至今已成功运营15a,该桥的结构形式为部分预应力混凝土连续箱型梁桥,桥梁与铁路线斜角角度为 $40^\circ$ ,桥梁中心里程为K9+558.29,全桥1联3跨,每跨25m,双幅路,路幅宽度28m,中央设分隔带宽3.0m,桥梁宽度 $2 \times$ 净-12m,其正立面图如图3、图4所示。

该桥的截面(Alt + A)如图5所示,其中预制箱梁,现浇接头、连接梁均采用50号混凝土;墩台盖梁及墩柱、耳墙、背墙、牛腿、搭板采用30号混凝土,支座均采用板式橡胶支座;每个桥墩由2个直径为1.5m的圆形



图3 洪善公铁立交桥正面图 图4 洪善公铁立交桥立面图

墩柱组成,纵筋为24根直径为25 mm的HRB335级钢筋构成,箍筋采用16 mm的HRB335级钢筋,箍筋间距为0.1 m。桥墩的纵筋保护层厚度为50 mm。桥梁立面简图如图5所示,桥梁下部结构构造图如图6所示,桥墩配筋图如图7所示。

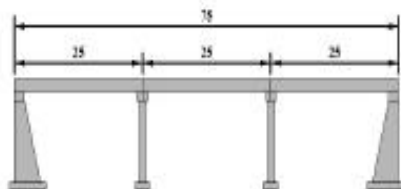


图5 连续梁桥立面简图(单位:m)

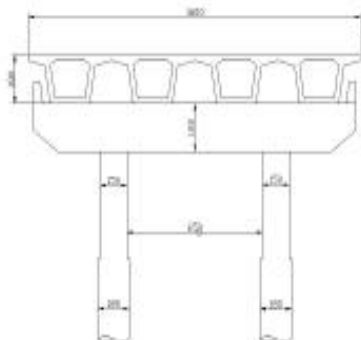


图6 桥梁下部构造图

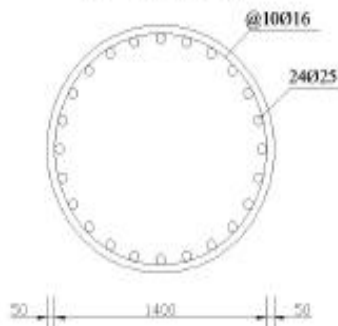


图7 桥墩配筋图

#### 4.2 模型的建立

采用OpenSees软件建立所选取的算例桥梁洪善公

铁立交桥的有限元动力模型,本论述采用弹性梁单元(Elastic Beam Column)模拟主梁结构,墩梁采用弹性梁单元模拟。桥墩截面主要由非约束混凝土纤维,约束混凝土纤维和钢筋纤维构成,具体在OpenSees中采用基于柔度法的非线性梁柱(nonlinear Beam Column)单元来完成建模。算例桥梁采用的墩柱为圆形桥墩,纤维划分如图8所示。

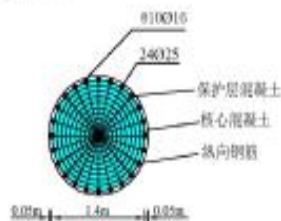


图8 墩柱截面纤维划分示意图

#### 4.3 锈蚀钢筋时变规律

我国高速公路上的桥梁设计年限一般为100 a,本文选取时间间隔为20 a,分别考虑桥梁服役期为0 a、20 a、40 a、60 a、80 a、100 a时锈蚀钢筋直径和力学性能的时变化规律。由图纸可得洪善公铁立交桥桥墩纵筋屈服强度和直径分别为 $f_y=335$  MPa, $d=25$  mm;箍筋屈服强度和直径分别为 $f_y=335$  MPa, $d=16$  mm。以20 a为时间间隔,通过5个时间点可得各时间点对应的材料参数如图9、10所示。

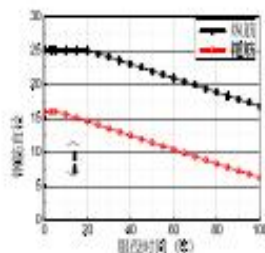


图9 钢筋直径劣化规律

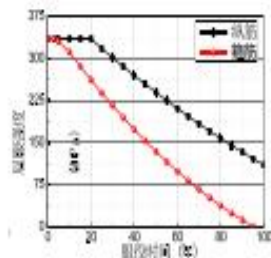


图10 钢筋屈服强度劣化规律

由图9和图10可知,相比纵筋而言,箍筋发生锈蚀

的时间要早,假设纵筋和箍筋锈蚀的速率是相同的,因此图9纵筋和箍筋直径劣化曲线的斜率相同。当纵筋和箍筋都开始锈蚀后,由于锈蚀速率相同,故两者在相同的时间内锈蚀物的增加量是相同的,但是纵筋直径大于箍筋直径,因此从锈蚀速率来讲,箍筋大于纵筋。从箍筋和纵筋的屈服强度可以看出,箍筋的屈服强度劣化的快一些。

4.4 损伤混凝土时变规律

4.4.1 保护层混凝土劣化规律

对于保护层混凝土而言,当钢筋表面的氧离子浓度超过氧离子临界浓度使钢筋开始锈蚀时,不断聚集的锈蚀产物会使体积膨胀,随着服役时间的增加,膨胀力会使保护层混凝土开裂,保护层混凝土的抗压强度会随着钢筋的锈蚀逐渐降低,由式(8)-(10)可得保护层混凝土强度随服役时间增加而发生变化的规律见表2所列。

表2 保护层混凝土强度劣化规律

t/a	0	20	40	60	80	100
f/MPa	20.1	18.9	17.8	16.9	16	15.2

4.4.2 约束混凝土劣化规律

约束混凝土是指在钢筋壳内部,被钢筋包裹的那部分混凝土,理论上讲,混凝土是一种耐久性较好的材

料,氧离子的侵蚀并不会对约束混凝土的抗压强度造成明显影响,但是如果考虑钢筋的锈蚀,当钢筋发生锈蚀后,其对约束混凝土的约束力会产生影响,根据Mander理论,钢筋发生锈蚀后,约束混凝土极限应变和峰值应变下降。根据前文所述的Mander模型计算,本节由式(11)-(15)计算出算例桥梁桥墩第0a、20a、40a、60a、80a、100a时,约束混凝土的各项参数随服役时间增加发生变化的规律见表3所列。

表3 约束混凝土的时变参数

t/a	0	20	40	60	80	100
约束系数K	1.413	1.279	1.140	1.057	1.016	1.003
峰值应变 $\epsilon_c$	0.0062	0.0045	0.0036	0.0027	0.0022	0.0020
极限应变 $\epsilon_{cu}$	0.017	0.012	0.006	0.008	0.007	0.006

4.5 桥墩的时易损性曲线

本论述选取15条地震波进行IDA分析,以桥墩发生破坏的概率纵坐标,绘制第0a、20a、40a、60a、80a、100a的桥墩地震易损性曲线。考虑除冰盐环境下钢筋混凝土材料性能的劣化,以20a为时间间隔绘制桥墩发生轻微破坏、中等破坏、严重破坏的概率。

算例桥梁洪善公桥立交桥设防烈度为8度,设计基本地震加速度峰值为0.2g,提取地震动峰值为0.2g时达到或超过以下4种损伤状态的失效概率见表4所列。

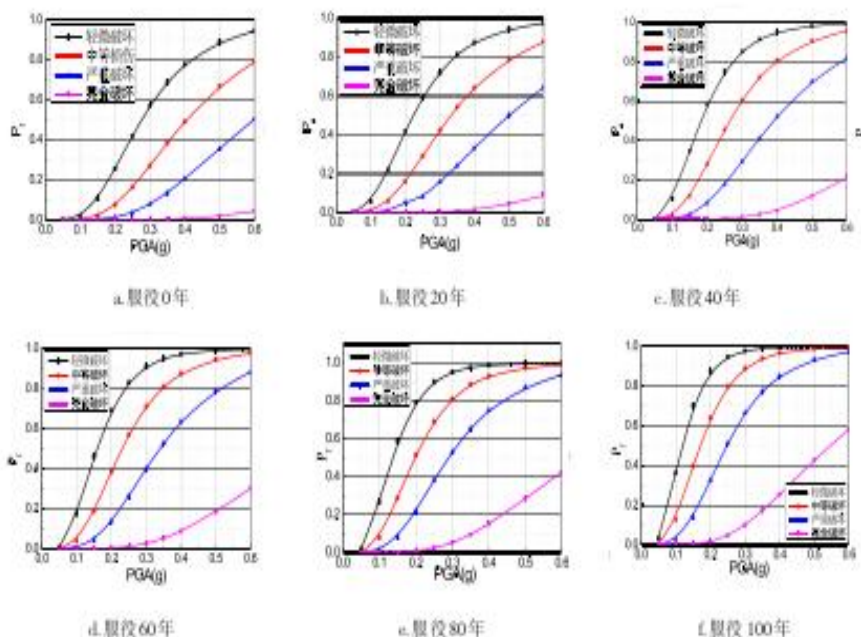


图11 桥墩地震易损性曲线



表4 8度区在役桥墩近年地震失效概率 %

破坏状态	0a	20a	40a	60a	80a	100a
轻微破坏	28	42	58	69	79	87
中等破坏	7	16	28	39	52	64
严重破坏	1	5	8	14	22	33
完全破坏	0	0	0	0.25	0.66	1.54

由图11和表4可知,当地震动峰值为0.2g时,桥梁在成桥阶段发生轻微破坏的概率为26%,新墩服役40a后发生轻微破坏的概率达到58%,当达到设计年限100a时,桥梁发生轻微破坏概率超过85%,由此说明,桥梁的服役时间越长,在相同地震力作用下,桥梁在某种损伤状态下发生破坏的概率越大。

在整个全寿命周期内,相同地震作用下,在同一服役年限内,各损伤状态的易损性曲线之间存在着一定间隔,从发生轻微破坏到严重破坏的概率值依次降低,说明新墩在整个服役年限内均表现出较好的延性能力。另外新墩在发生严重破坏和完全破坏之间的易损性曲线间隔较其他易损性曲线之间的间隔较大,说明当发生地震时,新墩从严重破坏向完全破坏过渡时表现出更好的延性能力,即新墩不会很快发生破坏,体现了建筑抗震中大震不倒的设防水准。

## 5 结论

(1)以山西省祁临高速公路在役新墩墩柱的氧离子含量检测数据为依据,并考虑除冰盐环境下各参数的取值,得到了除冰盐环境下的环境影响修正系数 $k_e=0.845$ ,提出了除冰盐环境下的氧离子扩散修正模型。

(2)结合氧离子侵蚀下钢筋混凝土材料性能退化模型,引入锈蚀钢筋直径、锈蚀钢筋屈服强度、保护层混凝土的抗压强度、约束混凝土峰值应变和极限应变等劣化因素,建立了考虑材料性能劣化的新墩地震易损性分析模型:

$$P_i = PP_i = P \left( \begin{matrix} S_i \geq S_i \\ M = a, d = d(t), f_c = f_c(t), f_y = f_y(t) \\ e_{c1} = e_{c1}(t), e_{c2} = e_{c2}(t), e_{c3} = e_{c3}(t) \end{matrix} \right) \quad (18)$$

(3)桥梁的服役时间越长,在相同地震力作用下,新墩在某种损伤状态下发生破坏的概率越大。全寿命

周期内发生地震时,新墩从严重破坏向完全破坏过渡时表现出更好的延性能力,即新墩不会很快发生破坏。

## 参考文献:

- [1] 李洪一.全寿命周期内材料性能劣化的RC桥墩抗震性能分析和地震易损性评估[D].青岛:青岛理工大学,2016.
- [2] 赵琪,牛获涛.在役钢筋混凝土连续刚构桥梁抗震性能评估[J].中国公路学报,2014(9):74-81.
- [3] 李立峰,吴文朋,黄佳梅,等.地震作用下中等跨径RC连续梁桥系统易损性研究[J].土木工程学报,2012,45(10):152-160.
- [4] 张菊萍,管仲国.规则连续梁桥地震易损性研究[J].振动与冲击,2014(20):140-145.
- [5] 余红发,孙伟,马海燕,等.盐湖地区钢筋混凝土结构使用寿命的预测模型及其应用[J].东南大学学报(自然科学版),2002(4):638-642.
- [6] J.Thoen. Statistical quantification of the variables in the limit state functions[J]. Summary, Brussels, Brite-Euram, 1999: 106-107.
- [7] 张平生,卢梅,李晓燕.锈蚀钢筋的力学性能[J].工业建筑,1995(9):41-44.
- [8] D.Caronelli, P.Gambarova. Structural assessment of corroded reinforced concrete beams; modeling guidelines [J].ASCE Journal of Structural Engineering, 2004,130(8), 1214-1224.
- [9] 赵琪.在役混凝土桥梁的地震易损性分析与抗震性能评估[D].西安:西安建筑科技大学,2015.
- [10] 梁岩,李杰,罗小勇,等.锈蚀钢筋混凝土构件抗震动力性能研究[J].振动工程学报,2016(1):140-147.
- [11] 柳春光,任文静,夏春旭.考虑钢筋锈蚀的近海隔震桥梁地震易损性分析[J].自然灾害学报,2016(6):120-129.
- [12] 范立础,卓卫东.桥梁延性抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001:197-198.
- [13] Hwang H., Liu J.B., Chin Y.H. Seismic fragility analysis of highway bridges[J].Abstract and Figures, 2001:47-54.
- [14] 城市桥梁抗震设计规范,CJJ166-2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [15] 国家地震局.中国地震烈度区划图[M].北京:中国地震出版社,1991.