

文章编号 :1007 - 649X(2000)04 - 0027 - 03

多介质腐蚀环境的模糊合成

郭院成¹, 张兴昌², 岳香彦³

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 平原大学建筑工程系, 河南 新乡 463003;
3. 河南省省直机关房屋开发公司, 河南 郑州 450003)

摘 要: 单介质腐蚀性环境分为强、中、弱、无四级, 对多种腐蚀介质环境腐蚀性级别的划分, 目前尚无定量概念. 根据单介质腐蚀性环境的模糊分级及其对工程结构服役可靠度的影响特点, 定义了多介质环境腐蚀性级别的一种模糊合成方法, 提出了腐蚀性环境下建筑结构的“设计防腐”概念及工程实施方法, 建议针对不同腐蚀性级别, 应采取相应的防腐措施, 以期取得定量意义上的防腐设计.

关键词: 腐蚀性等级; 构造防腐; 设计防腐; 腐蚀环境因子

中图分类号: X 825.3 文献标识码: A

工业建筑物或构筑物在使用过程中由于受到环境腐蚀性介质的影响, 往往达不到其设计使用年限. 应用定量与定性相结合的方法提高结构的耐久性能. 《工业建筑防腐蚀设计规范》定义了单一介质腐蚀性的确定性分级, 分别按腐蚀介质的存在形式(气态、液态和固态)及各种介质类别、含量和环境相对湿度等因素将其对钢筋混凝土、砌体、木、钢和铝 5 种常见材料的腐蚀速率大小划分为“强、中、弱、无”四级. 由此可有针对性地对各种单一腐蚀介质环境中的建筑结构进行“定量”的防腐蚀设计, 而实际工程中环境介质常常是多种并存的, 其间相互作用效应必然导致结构腐蚀过程既不同于腐蚀性最强的单一介质产生的作用, 又不同于多种介质分别产生腐蚀的简单叠加. 因此多介质腐蚀性的模糊合成同时具有防腐设计的科学意义和经济意义.

1 单介质腐蚀性的模糊分级

规范根据腐蚀性介质对结构材料及承载能力的影响特点, 将介质腐蚀性分成强腐蚀、中等腐蚀、弱腐蚀和无腐蚀 4 个等级. 常温下根据介质类别和环境湿度具体给出了(部分)气态介质对建筑材料腐蚀性的分级标准. 气态介质对建筑材料的腐蚀性分级按照介质类型、介质含量及环境温湿度条件, 采用确定性方法划分, 存在明显不合理成

份, 使在相同环境温湿度条件下介质界限含量两侧的不同环境对建筑材料的腐蚀性分属不同腐蚀等级. 同样, 在介质含量相同条件下, 环境温湿度在界限湿度附近变化时, 其对建筑材料的腐蚀性也分属不同腐蚀等级, 最终导致结构防腐蚀设计采用截然不同的两种方案. 而实际上, 化工建筑结构服役过程中的环境温湿度及介质含量等影响因素都是根据实测、统计平均而得的, 显然环境温湿度和介质含量在结构使用过程中是随时间而变化的, 在介质界限含量及界限环境湿度附近浮动的不同环境对建筑材料的腐蚀性也应该是连续变化的, 也即介质腐蚀性分级应该是模糊的.

特定生产系统环境腐蚀性介质类别可预先确定, 因此介质腐蚀性等级主要决定于介质含量及环境湿度两因素. 而对不同的介质, 介质含量因素的划分区间相差很大, 即在不同含量区间范围内介质腐蚀性的差别是很大的. 因此对单因素进行模糊化处理时, 其隶属函数形式应该是不同的. 以气态介质“氯”为例, Q_1 的介质含量区间为 $1 \sim 5$, 而 Q_2 的介质含量区间为 $0.1 \sim 1$, 环境湿度区间划分为: > 75 , $60 \sim 75$, < 60 ^[1]. 针对各区间特点, 分别采用戒上型、戒下型或正态型隶属函数, 且由于这里介质含量与环境湿度两因素的耦联关系, 模糊化处理后的影响因素也必须同时存在才具有实际意义, 因此将这两耦联因素的联合隶属函数用

收稿日期: 2000 - 04 - 30; 修订日期: 2000 - 06 - 15

基金项目: 河南省科技攻关项目(991090337)

作者简介: 郭院成(1965 -)男, 河南省辉县人, 郑州工业大学副教授, 博士, 主要从事工业建筑结构可靠性评估及维护决策方面的研究.

显式表达更为困难.为与规范对介质腐蚀性分级方法相适应,文献[2]中给出了考虑耦联因素影响的单介质腐蚀性级别的模糊处理方法,具体提出了单介质(氯)腐蚀环境对腐蚀级别“强、中、弱、无”的隶属函数^[2] $\mu_I(\rho, s)$, $\mu_{II}(\rho, s)$, $\mu_{III}(\rho, s)$ 和 $\mu_{IV}(\rho, s)$.

2 单介质腐蚀环境下的可靠性设计

由于周围环境腐蚀性介质的影响,钢筋和混凝土材料有效截面面积及材料力学性能指标随使用时间而逐渐降低,导致结构控制截面的承载能力也处于单调衰减过程之中,故受腐蚀结构的动态可靠度水平是随着结构的使用时间而逐渐变化的.

对受腐蚀钢筋混凝土结构,在服役时间为零时,结构承载能力的计算模式等同于普通钢筋混凝土结构.在服役时间超过某一界限时间时,其承载能力开始衰减.因此受腐蚀结构的动态承载能力是从普通结构承载力水平开始,随结构使用时间的延长而逐渐降低的.从工程实用性出发,在役结构的动态承载能力计算模式可建立在对普通环境下承载能力计算模式的环境因素修正上,一方面随着结构使用时间的延长,钢筋和混凝土有效截面减小,材料力学性能指标降低,导致结构承载能力有所衰减;另一方面随着钢筋表面锈蚀物的积累,使钢筋与混凝土两种材料间的粘结力也有所下降,使受腐蚀结构的承载力进一步降低.

在腐蚀性介质环境影响下,结构(构件)的抗力表现为一个模糊随机过程.假定抗力在任一时间截口仍服从正态分布,则一次二阶矩阵方法计算结构(构件)的模糊动态可靠性指标公式可表示为

$$\beta(t_1, T_1) = \frac{\mu_R(t_1) - \mu_s(t_1, T_1)}{\sqrt{\sigma_{R^2}(t_1, T_1) + \sigma_s^2(t_1, T_1)}}. \quad (1)$$

工程实际中,为简化起见,可近似认为任一时间截口荷载变量的统计参数不随服役时间而改变,仅考虑结构抗力变量统计参数随服役时间的变化影响,则化工结构动态可靠度水平实际上就是结构抗力变量统计参数的函数,故化工结构的动态可靠度即是结构服役时间的函数为

$$\beta(t_1) = \frac{\mu_R(t_1) - \mu_s}{\sqrt{\sigma_{R^2}(t_1) + \sigma_s^2}}. \quad (2)$$

腐蚀环境下建筑结构由于受到外界腐蚀介质的影响,其抗力水平随使用时间而逐渐降低,导致其在设计基准期内结构可靠度水平单调降低,难以完成设计使用功能.实际工程中,规范规定建筑结构根据环境介质腐蚀性等级的强弱,采取不同的构造防腐处理即可.根据介质腐蚀性等级的定义,在强腐蚀条件下,材料腐蚀速度较快,构配件必须采取表面隔离性防护,防止介质与构配件直接接触;在中等腐蚀条件下,材料有一定的腐蚀,可采用提高构件自身质量或简单的表面防护方法;在弱腐蚀条件下,材料腐蚀较慢,一般采用提高自身质量即可.

从工程实际出发,在“弱、无”腐蚀条件下,结构防腐仅通过被动的“构造防腐”处理即可满足规范的设计要求,而对“强、中”腐蚀条件,结构防腐应根据结构本身(钢筋混凝土、素混凝土或砖砌体等)特点及其重要性程度,采取“构造防腐”与“设计防腐”相结合的方法来满足设计要求.

对普通建筑结构,荷载分项系数 γ_G, γ_Q 是依据工程中常见的各种不同建筑材料在各种不同荷载效应比值下,二级延性结构具有 $\beta_k = 3.2$ 的平均设计可靠指标水平而确定的.对一级延性结构,其设计可靠指标 $\beta_k = 3.7$,通过引入荷载分项系数及结构重要性系数 $\gamma_0 = 1.1$ 来实现;而对三级延性结构,其设计可靠指标 $\beta_k = 2.7$,通过荷载分项系数及结构重要度系数来实现.腐蚀环境下建筑结构的破坏过程较短,控制截面出现裂缝后在受力钢筋与腐蚀介质之间建立了直达桥梁,从而使结构承载力水平急剧下降,直至破坏,类似于普通环境下结构的脆性破坏进程特点,因此可以认为腐蚀介质不仅使钢筋与混凝土材料性质变脆,且使整个结构构件的破坏呈现脆性破坏特点.规范要求脆性结构设计可靠度水平要适当提高,二级脆性结构 $\beta_k = 3.7$,一级脆性结构 $\beta_k = 4.2$,三级脆性结构 $\beta_k = 3.2$,相当于受腐蚀结构的重要性程度更高.因此可定义:在强腐蚀环境下结构设计可靠度水平的调整系数为1.1,在中腐蚀环境下调整系数定为1.05,在弱或无腐蚀环境下调整系数仍取1.0,则环境腐蚀性等级的权重向量为^[2~4]

$A = [a_1, a_2, a_3, a_4] = [1.1, 1.05, 1, 1]. \quad (3)$

显然,此腐蚀性等级的权重向量从一定程度上表示了腐蚀环境对结构目标设计可靠指标的影响水平.由此可计算得单介质腐蚀环境下工作的建筑结构,其设计目标可靠度指标应修正为

$$\beta_k^* = \{a_1 \mu_I(p, s) + a_2 \mu_{II}(p, s) + a_3 \mu_{III}(p, s) + a_4 \mu_{IV}(p, s)\} \beta_k. \quad (4)$$

等价地,荷载分项系数分别修正为

等价地,荷载分项系数分别修正为

$\gamma_G = 1.2 + 0.24 \cdot \Delta\beta_k ; \gamma_Q = 1.4 + 0.28 \cdot \Delta\beta_k$,
式中 $\Delta\beta_k = \beta_k^* - \beta_k$ 表示环境因素导致结构设计
可靠度指标的增量 .

3 粪介质腐蚀环境的模糊合成

实际工程中 ,建筑结构的腐蚀不仅仅是单介
质腐蚀 ,有些情况下常常是两种或多种腐蚀性介
质共同存在 ,同时对建筑结构材料产生腐蚀作用 .
如化工行业氯碱生产过程中 ,氯气干燥、压缩工
段 ,环境中同时含有氯、硫酸酸雾两种介质 ,氯化
氢合成工段环境中同时含有氯、氯化氢两种介质 ;
机械行业镁合金铸造厂房的熔化工段 ,环境中同
时含有氯、氯化氢、氟化氢和二氧化硫 4 种介质
等 ,规范中简单地规定“ 多种介质同时存在时 ,腐
蚀性等级应取最高者 ” ,显然忽略了多介质的交叉
影响效应 ,是偏于不安全的 .多介质综合腐蚀性等
级应是各单介质腐蚀性等级的模糊合成 ,应能体
现多种介质同时作用时的不利影响 .

设有 m 种腐蚀介质 ,根据前述方法均可写出
其耦联因素对各腐蚀性等级的联合隶属函数(数
值) ,运用现场实测统计平均或已有环境因素统计
资料给出环境中各种因素的定量指标 ,由联合隶
属函数表格求出各种腐蚀介质所对应的腐蚀性模
糊等级向量 ,可计算得多介质腐蚀环境中介质 L
对应的环境因子

$$\zeta_L = a_1\mu_I^I(p, s) + a_2\mu_{II}^I(p, s) + a_3\mu_{III}^I(p, s) + a_4\mu_{IV}^I(p, s) \tag{5}$$

多介质环境的腐蚀性是由各单介质独立腐蚀
性交叉影响而形成的 .多介质综合腐蚀对建筑结
构腐蚀速率的影响既不同于其中最强腐蚀介质单
独产生腐蚀速率 ,又不同于各单介质单独产生腐
蚀速率的代数和 .考虑到多介质环境中各单介质
对结构腐蚀影响的耦联关系 ,多介质环境腐蚀因
子可按下式合成 :

$$\zeta = \sqrt{\sum_{L=1}^m \zeta_L^2} . \tag{6}$$

4 结束语

多介质腐蚀环境的模糊合成综合考虑了各种
腐蚀性介质对建筑材料的交叉影响 ,为科学预测
建筑结构的腐蚀速率及动态可靠度衰减规律 ,实
现受腐蚀结构的“ 设计防腐 ”提供了理论基础 .

参考文献 :

[1] GB 50046 - 95 ,工业建筑防腐蚀设计规范 [S] .
[2] 郭院成 ,李广慧 ,赵 卓 .气态介质腐蚀性的模糊分
级 [J] .河南科学 ,2000 ,18 (1) :65 - 68 .
[3] 郭院成 ,周 磊 ,李法宝 .化工结构工作环境的模糊
聚类分析 [J] .河南科学 ,1998 ,16 (3) :344 - 347 .
[4] 郭院成 ,霍 达 ,赵 卓 .化工钢筋砼结构设计抗力
水平的优化决策 [J] .固体力学学报 ,1999 ,20 (力学
专集) :232 - 235 .

The Fuzzy Composition of Multi - agent Corrosive Environment

GUO Yuan - cheng¹ , ZHANG Xing - chang² , YUE Xiang - yan³

(1. College of Civil & Building Engineering , Zhengzhou University of Technology , Zhengzhou 450002 , China ; 2. Department of Building
Engineering of Pingyuan University , Xinxiang 463003 , China ; 3. Real Estate Development Company , Henan Provincial Government Orga-
nizations , Zhengzhou 450003 , China)

Abstract : The single - agent corrosive environment can be classified into four kinds of level , and they are major ,
moderate , minor and nothingness . But , up to now , there has no quantitative concept to partitioning the gradation of
the corrosivity of multi - agent corrosive environment . According to the fuzzy classification of the single - agent cor-
rosive environment and its character of influence on the service reliability of engineering structures , the paper , de-
termines a fuzzy composition method of the gradation of the corrosiveness of multi - agent corrosive environment .

Key words : corrosive grade ; construction anticorrosion ; designing anticorrosion ; corrosive environment factor