

# 钢筋锈蚀对保护层开裂的影响

于静波  
肇庆市水利水电工程质量检测站 广东肇庆 526040

**摘要：**钢筋混凝土结构具有巨大的优势，便于取材、耐磨能力强、结构整体的稳定性、刚度较强等等，因此被广泛的应用于各种工程项目中，发挥着非常重要的作用。但是混凝土结构在实际应用的过程中会受到环境条件、材料本身质量等各个方面的影响，使其很容易出现耐久性问题，目前该问题已经成为了工程项目中最为主要的问题。钢筋在应用的过程中很有可能会出现锈蚀问题，在这种条件下使得钢筋的体积明显增加，最终导致混凝土的保护层出现开裂问题，钢筋锈蚀锈胀更加的严重，裂缝问题、结构失效问题都是当前水利工程中最常见的问题，对整个工程的质量造成严重的影响。本文主要对均匀以及非均匀钢筋锈蚀条件下，所用的骨料性质、混凝土保护层的厚度等各个方面对于混凝土保护层表面出现开裂情况时锈蚀率造成的影响程度进行研究与分析，在该过程中采用了CDP模型，对混凝土保护层表面出现裂缝情况时，钢筋的锈蚀率进行及时、全面的提取。根据研究情况来看，所选用的骨料级配越高、骨料的粒径越大、骨料的含量越低，则钢筋混凝土结构的稳定性与耐久性也就更强；混凝土保护层的厚度增大、界面层强度较强能够有效的减少裂缝的数量以及裂缝的长度，同时还能够有效的延缓混凝土保护层表面裂缝向内部结构扩展，该研究工作中所得结论能够为钢筋混凝土结构的设计等各项工作提供一定的帮助。

**关键词：**钢筋混凝土；锈胀开裂；锈蚀；骨料

## Influence of steel bar corrosion on the cracking of protective layer

Jingbo Yu  
Zhaoqing Water conservancy and Hydropower Project Quality Testing station, Zhaoqing, Guangdong 526040

**Abstract:** The reinforced concrete structure has great advantages, easy-to-draw materials, strong wear resistance, the overall stability of the structure, stiffness, and so on. Therefore, it is widely used in various engineering projects and plays a very important role. But the concrete structure in the process of practical application will be affected by environmental conditions, material quality, and other aspects so that it is easy to appear durability problems. At present, this problem has become the most important problem in engineering projects. Corrosion of steel bars is likely to occur in the process of application. Under this condition, the volume of the steel bar increases obviously, which eventually leads to the cracking of the protective layer of concrete. Steel corrosion rust expansion is more serious, and crack problems and structural failure problems are the most common problems in the current hydraulic engineering, causing a serious impact on the quality of the whole project. This paper mainly studies and analyzes the influence of various aspects such as the properties of aggregate used and the thickness of the concrete protective layer on the surface cracking of concrete protective layer under the condition of uniform and non-uniform steel corrosion. In this process, the CDP model is used to extract the corrosion rate of the steel bar timely and comprehensively when cracks appear on the surface of the concrete protective layer. According to the research situation, the higher the aggregate gradation, the larger the particle size, and the lower the content of the aggregate, the stronger the stability and durability of the reinforced concrete structure; The thickness of the concrete protective layer and the strength of the interfacial layer can effectively reduce the number and length of cracks. At the same time, it can effectively delay the surface crack spreading to the internal structure of the concrete protective layer. The conclusion of this study can provide some help for the design of the reinforced concrete structure and other work.

**Key words:** reinforced concrete; rust expansion and cracking; corrosion; aggregate

### 一、混凝土的微观模型

根据实际情况来看，在工程中所用的骨料大多形

状都是圆形、多边形形状的。在骨料生成之后，根据不同的骨料级配进行有效的结合，并建立相应的骨料库，其中骨料的级配情况主要为表1所示。

表1 水利工程常用骨料级配

粒径/mm	5~20	20~40	40~80	80~150
-------	------	-------	-------	--------

类别	小石	中石	大石	特大石
级配	一级配	二级配	三级配	全级配
小：中： 大：特大	1：0：0：0	5.5：4.5：0：0	3：3：4：0	2：2：3：3

对于圆形骨料来说，主要是将其圆心作为基准点进而能够确定骨料的位置，而对于椭圆形的骨料来说，将其对称中心作为是基准点进而确定骨料所在的位置。一般情况下，骨料在各个混凝土试件中的分布都是随机的，在对骨料进行投放的过程中需要按照以下步骤进行：首先结合实际情况在特定的区间内生成两个随机数，随机的对不同类型的骨料的粒径进行设置，从而能够对骨料的形状有一定的了解，最终根据各个基准点之间点的距离与骨料粒径之间的存在的的关系来对骨料是否出现了重合的情况进行准确的判断。为了能够保证投放工作顺利完成，需要按照粒径从大到小的顺序进行投放工作。利用网格映射得方法建立混凝土细观模型，主要是通过对网格的划分，能够对各个不同的单元与骨料之间的关系进行判断，其中主要包括了水泥砂浆单元、骨料单元以及界面层单元，混凝土细观模型主要为图1所示。

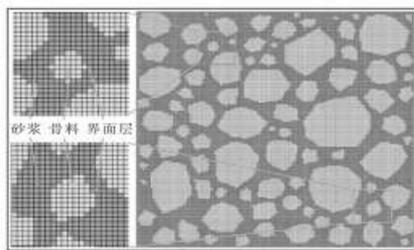


图2 混凝土细观模型  
图1 混凝土细观模型

## 二、计算

### 2.1 钢筋锈胀情况的模拟

将钢筋的锈胀当作为过盈量，对钢筋与混凝土之间的作用关系进行充分的考虑，模拟出过盈量的变化情况。钢筋的锈蚀情况的后截面主要为图2所示，在该图中  $\delta$  表示钢筋锈蚀的深度，受到锈蚀情况的影响使得钢筋的体积一定程度的增大，主要为图中深色区域所表示，过盈量在实际中可以表示钢筋锈蚀层的厚度，用  $\Delta$  表示。

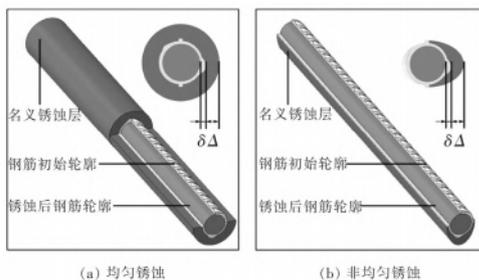


图2 钢筋锈蚀后截面

### 2.2 计算模型

采用CDP建立水泥砂浆以及界面层相关的模型，应力以及应变的曲线为图3所示。所用钢筋的直径是20毫米，混凝土保护层的厚度为30毫米左右。

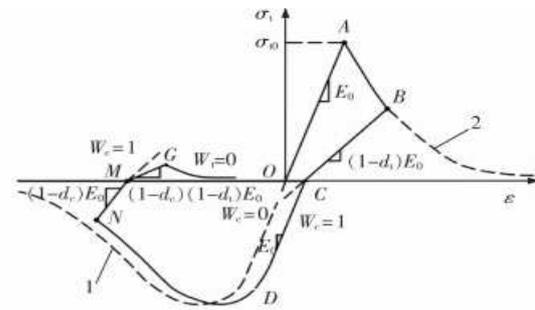


图4 CDP模型应力-应变曲线  
图3 应力-应变曲线

一般情况下骨料是不会产生裂缝问题的，因此在实际工作开展的过程中使用了弹性模型，混凝土主要按照表2所示的参数进行选择，其中  $\psi$  代表了膨胀角度，而  $\sigma_{b0}/\sigma_{c0}$  则表示双轴与单轴抗压强度的比值，各个参数的具体数值为表3所示。

表2 混凝土各组分力学参数

材料	弹性模量 /GPa	泊松比	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa
骨料	50	0.16	-	-
砂浆	30	0.20	25	2.5
界面	22	0.22	18	1.8

表3 CDP模型塑性屈服准则参数

$\lambda$ ( $^\circ$ )	偏心率	$\sigma_{b0}/\sigma_{c0}$	K	
30	0.1	1.16	0.667	0.00005

通过能量等价法的应用对水泥砂浆以及界面层的损坏因子进行准确的计算。

## 三、影响混凝土锈胀开裂的主要因素

### 3.1 裂缝形态造成的影响

#### 3.1.1 均匀锈蚀的研究

在模型中所选用的骨料的含量是65%，级配为一级配，钢筋的锈蚀率为25%，随机的生成22个。

一般情况下以及将通电锈蚀当作为均匀锈蚀，将均匀锈蚀试验工作中所得的裂缝形态的结果与本篇文章的计算结果进行对比与分析，通过对比与分析可以发现，通过随机骨料模型的应用能够有效的将混凝土在均匀锈蚀条件下的裂缝的形态模拟出来，发挥着非常重要的作

用。

### 3.1. 2 非均匀锈蚀的研究

在模型中所选用的骨料的含量是 65%，级配为一级配，钢筋的锈蚀率为 25%，随机的生成 22 个。

将非均匀锈蚀试验工作中所得出的裂缝形态与本篇文章的计算结果进行对比与分析，主要为图 4 所示，可以发现，通过随机骨料模型的应用能够有效的将混凝土在非均匀锈蚀条件下的裂缝的形态模拟出来，具有很好的应用效果。

对于均匀锈蚀来说，其裂缝所在的位置以及裂缝的形态是具有不确定性的，主要的形态有 4 种，如图 4 所示：在锈蚀率逐渐增加的情况下，会使得钢筋出现一定的裂缝，当锈蚀率达到一定条件时，混凝土的保护层就会出现开裂的情况，从而使得裂缝进一步的向内部结构中扩展。

对于非均匀锈蚀来说，绝大多数的试件中裂缝都是为倒 T 形的，在锈蚀率逐渐增加的情况下，使得钢筋两边都出现两条水平方向上的裂缝，当锈蚀率达到一定条件时，混凝土保护层的表面就会出现开裂的情况，在此条件下裂缝就会向混凝土内部结构中扩展。

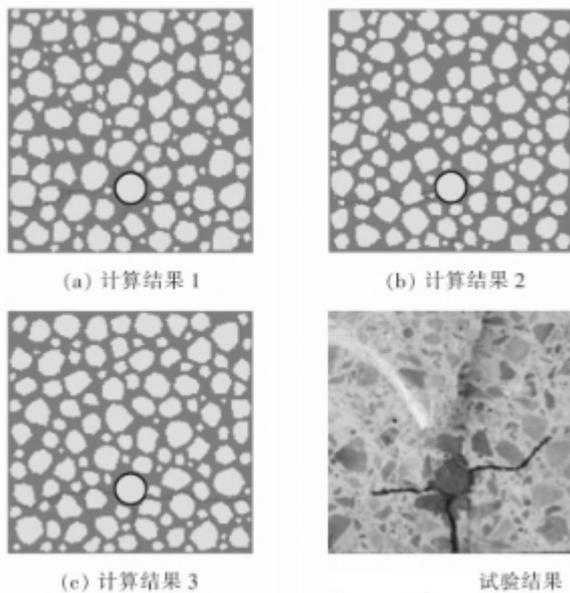


图 4 非均匀锈蚀情况下的对裂缝形态的计算

### 3.2 骨料对混凝土锈胀开裂造成的影响

空气中所含有的二氧化硫等气体会随着混凝土表面出现开裂的情况而进入到混凝土的内部结构中，使得钢筋的锈蚀更加严重。本篇文章将以多个不同的混凝土试件的保护层在出现开裂情况时钢筋的平均锈蚀率作为标准，研究各种不同的因素条件对混凝土锈胀开裂问题造成的影响程度。

#### 3.2.1 骨料级配影响

探究含量为 60% 的不同级配条件的骨料对混凝土锈胀开裂问题造成的影响，针对每一个级配都随机的生成

20 个混凝土试件，研究的结果为图 5 所示。对于多边形的骨料来说，随着骨料的级配逐渐增高，均匀以及非均匀锈蚀的情况下，混凝土保护层出现开裂情况时，钢筋的锈蚀率明显的增加，以此可以直接的表明，增高骨料的级配能够在钢筋出现锈蚀的情况下，有效的调高钢筋混凝土的性能、提高整体结构的耐久性。与砂浆的力学性能条件相比较，界面层相对来说比较弱，在骨料级配增加的情况下，体积较大的骨料数量也会变多，界面层的面积则会一定程度的减小，能够有效的缓解裂缝扩展的问题，总体来说，通过采用级配较高的骨料能够有效的提高钢筋混凝土结构的稳定性与耐久性。

在骨料级配相同的情况下，如果钢筋的锈蚀情况为非均匀性的，那么混凝土出现开裂情况时钢筋平均的锈蚀率就会比较低，由此可以直接表明，非均匀锈蚀会对钢筋混凝土结构的耐久性造成严重的影响，导致该问题的主要原因是，与均匀锈蚀相比较，非均匀锈蚀的锈胀位移会比较大，从而总结出锈胀位移与锈蚀率相比，对于裂缝的影响程度更大。

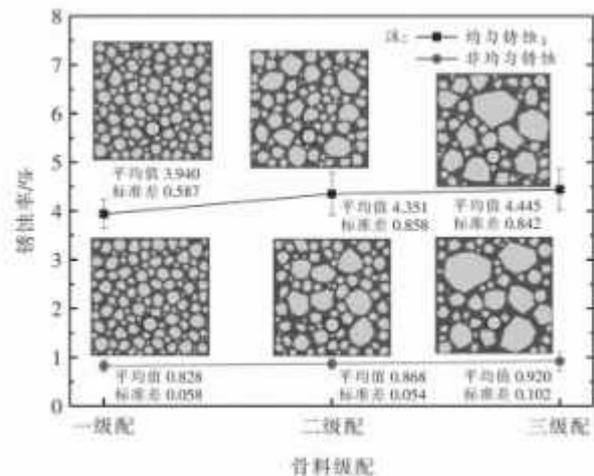


图 5 骨料级配对锈胀裂缝的平均锈蚀率

### 3. 2. 2 分析

对同级配条件下不同含量的骨料对混凝土锈胀开裂造成的影响进行研究，研究结果为图 6 所示。对于不规则的多边形骨料来说，骨料的含量越高，钢筋锈蚀使得混凝土保护层出现裂缝情况下，钢筋的锈蚀率会随之明显的降低。骨料的含量逐渐增加，使得界面层的面积随之增加，很容易出现拉裂缝。

在骨料含量相同的条件下，非均匀锈蚀钢筋条件下，保护层出现开裂时锈蚀率比较低，且与均匀锈蚀钢筋相比，对锈蚀率造成的影响程度比较小，说明非均匀锈蚀条件下的钢筋混凝土结构具备的耐久性受到骨料含量的影响程度较小。

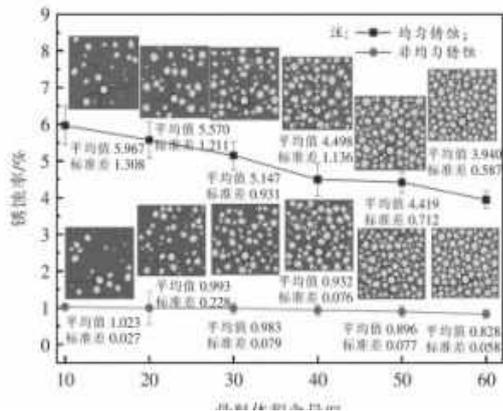


图 6 骨料含量对锈胀开裂的平均锈蚀率影响

### 3. 2. 3 骨料形状的影响

对级配相同、含量相同条件下，不同形状的骨料对于锈蚀率的影响程度进行研究与分析，研究结果为图 7 所示。

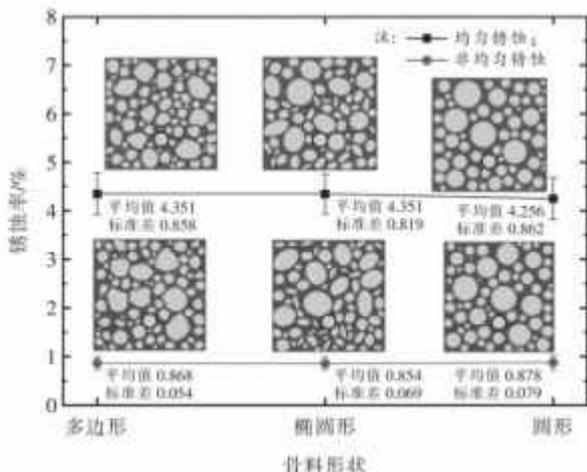


图 7 不同骨料形状下保护层表面裂缝的平均锈蚀率

在骨料级配相同、含量相同的条件下，不同形状的骨料对于均匀或者是非均匀锈蚀情况下的锈蚀率影响程度基本一致，主要原因是骨料的形状并不会导致骨料以及界面层的体积有所改变。对于圆形的骨料来说，骨料的粒径越大，则锈蚀率也就随之逐渐的增加。同时，在相同的骨料粒径条件下，非均匀锈蚀情况下锈蚀率更低，与均匀锈蚀相比，非均匀锈蚀对于锈蚀率的影响程度也比较小，总结出将骨料的粒径增大，能够有效的提高均匀锈蚀条件下钢筋混凝土整体结构的耐久性。

### 3. 3 界面层强度的影响

界面层的强度对锈胀开裂造成的影响程度进行研究。骨料的含量、形态相同，根据实际情况设置多种不同强度的界面层。通过对其进行研究可以发现，在界面层强度不同的情况下，与裂缝的走向基本一致，在强度不断降低的情况下，裂缝的数量以及裂缝的长度也随之增加。

## 四、结论

本篇文章对骨料各种参数、混凝土保护层的厚度对均匀以及非均匀钢筋锈蚀条件下，混凝土保护层在出现裂缝时的钢筋锈蚀率产生的影响进行研究与分析，根据各个因素的研究结果，探究出能够有效的提高钢筋锈蚀条件下钢筋混凝土结构稳定性与耐久性的方法，对钢筋混凝土的设计以及实际应用有非常大的帮助。

### 参考文献：

[1] 方秦, 张锦华, 还毅, 等. 全级配混凝土三维细观模型的建模方法研究 [J]. 工程力学, 2013(1):14-21.  
 [2] 张强, 卢朝辉, 赵然, 等. 基于初始缺陷的混凝土锈裂模型时变可靠度 [J]. 上海交通大学学报, 2020(4):413 - 420.  
 [3] 汪奔, 王弘, 张志强, 等. 细观尺度下的保护层非均匀锈胀开裂分析 [J]. 混凝土, 2018(2): 157 - 160.