

# 钢筋混凝土防腐蚀方法综述<sup>\*</sup>

解灵霞 王长华 黄振国

(郑州工业大学 土建系)

**摘 要** 本文介绍了国内外的钢筋混凝土防腐蚀方法,分析了各种防腐蚀方法的基本原理,适用范围及防腐蚀设计问题。可供同行在选择防腐蚀方法中做参考。

**关键词** 钢筋混凝土 防腐蚀

**中图分类号** TU503

## 0 引言

钢筋混凝土结构在各种有害介质作用下发生破坏和变质,腐蚀造成的经济损失是惊人的,它不仅吞噬着大量的结构材料,而且对人类的生命安全构成威胁。因此,钢筋混凝土的防腐蚀研究已成为目前科学研究的一项重要课题。下面对钢筋混凝土的防腐蚀方法、防腐蚀设计进行介绍。

## 1 钢筋混凝土的防腐蚀方法

防止钢筋混凝土的腐蚀措施如下:

1.1 可提高混凝土自身的密实性及采用适当的保护层厚度,防止混凝土中钢筋的腐蚀。具体方法是降低水灰比,添加密实剂。水灰比小于0.5的混凝土中,腐蚀介质的扩散或渗透能力明显下降。钢筋的锈蚀速度降低。

1.2 处在恶劣环境下的钢筋混凝土结构,当采用上述措施还不能防止钢筋腐蚀的时候,可采用下列措施。

1.2.1 提高混凝土表层的抗渗性

1.2.1.1 浸渍亚麻仁油。在加热干燥的混凝土构件表层浸渍亚麻仁油,对防止氯盐的渗入有70%的效果,可使5年的寿命延长到20~25年。

1.2.1.2 喷涂聚合物乳液性砂浆覆盖层。涂刷掺水泥重量15%的丁苯乳液的水泥砂浆,可提高抗氯盐寿命10~15年。

1.2.1.3 蜡珠混凝土。用石蜡80%和褐煤蜡20%混合制成细粒蜡珠,以占水泥重量3%的量掺入混凝土中拌合。待混凝土硬化达强度后,将其5cm厚的表层加热到85~160℃,使蜡珠熔化填满混凝土孔隙形成密闭的混凝土表层。这样可以防止 $Cl^-$ 、 $CO_2$ 、 $O_2$ 和 $H_2O$ 渗入。此法又称内部密封混凝土。

1.2.2 钢筋表面涂覆防腐层

采用静电喷涂法将粉末环氧树脂喷涂到钢筋表面。做法是,先将钢筋抛光、除锈、然后加热到  $230^{\circ}\text{C}$ ,用静电高压喷枪把粉末环氧树脂喷涂到钢筋表层,形成厚约 180 微米左右的涂层。这可使抗氯盐腐蚀寿命至少延长 50 年。

### 1. 2. 3 混凝土中掺缓蚀剂

常用的有亚硝酸钠,重铬酸钾、磷酸钾等。此外,还可以根据不同情况,采用热浸锌钢筋,耐蚀低合金钢、阴极保护法和电化学除去氯离子等。

### 1. 2. 4 采用聚合物水泥型钢筋防腐剂

将 BJ 聚合物乳液和水泥复合配成 BJ 聚合物水泥涂料(BJ-872 钢筋防腐剂),浸涂于钢筋表面,使其在钢筋表面形成一层致密的薄 BJ 聚合物水泥涂层。由于水泥水化产生碱性物,使钢筋表面形成钝化保护膜保护钢筋。同时由于丙烯酸类聚合物改性后的水泥涂层密实、抗渗、难碳化,可起隔离保护作用,阻止  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Cl}^-$  等侵蚀,起到钢筋防锈作用。采用 BJ 聚合物水泥、砂浆、混凝土做混凝土修补防护材料、具有防腐、抗渗性能,与老混凝土基层粘结很好。

## 1. 3 预防海水腐蚀钢筋混凝土的措施

1. 3. 1 选用抗海水侵蚀性能好的水泥品种。可选用抗硫酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,它们较适用于海浪冲刷和干湿交替的水利工程与海港工程。

1. 3. 2 提高混凝土的密实度、强度,改善孔隙结构。使用减水剂,减小水灰比,提高施工质量的方法来提高混凝土的密实度,密实度高的混凝土孔隙率低,抗海水渗入的能力强。

1. 3. 3 对钢筋进行表面防护。当钢筋除锈绑扎后,用具有很高粘结强度和抗蚀能力的环氧胶结材料。将全部钢筋表面均匀涂刷一层潮湿环境中固化的环氧浆液,在浆液固化前浇筑混凝土,即可防止海水对钢筋的侵蚀,也不因涂刷了环氧材料而降低混凝土对钢筋的握裹力。

1. 3. 4 对混凝土表面进行防护。对其表面设置一层抗渗性能好和抗蚀能力强的防渗层,对海水可起隔离作用。从而避免或减缓海水对混凝土的侵蚀。混凝土表面防护材料的品种较多,但防护能力和价格相差悬殊,具体可根据工程所处环境、防护部位、防护面积和经费等情况分别加以采用。例如,对侵蚀严重部位的重要梁柱,可采用环氧浆液粘贴 2~3 层玻璃丝布进行防护;对于防护面积较大的部位,可用丙烯酸酯共聚乳液水泥砂浆进行涂沫防护等。

## 1. 4 混凝土的防腐措施

1. 4. 1 将熔融的硫磺渗入混凝土中,可使材料的孔隙率减少,密实度增加。大大阻止了腐蚀性介质的侵蚀。在常温下对酸性较弱的有机酸、无机酸及盐类具有良好的耐蚀性能。但对浓度较高的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和草酸的抗蚀能力就略差一些。硫磺浸渍水泥砂浆是提高混凝土耐腐蚀性能的一项重要措施。

1. 4. 2 为防止混凝土碳化,对于露天结构,受侵蚀性介质影响或干湿交替频繁作用的结构,宜优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水灰比小于 0.55,在混凝土中掺适量粉煤灰。

1. 4. 3 掺加 AC 型复合抗蚀掺料能显著提高混凝土的抗硫酸盐腐蚀性能。其原因在于它具有极佳的火山灰活性,能大量与水泥水化时生成  $\text{C}_3(\text{OH})_2$  反应,降低了水泥石中的碱度,从而缓解了腐蚀破坏作用。

1. 4. 4 解决强硫酸盐石膏型侵蚀和强硫酸盐结晶—分解复合型侵蚀的措施是,对于新建工程,应首先解决好防水防渗工作,对排水沟优先采用工程塑料,在用混凝土制作时应采用高密实度高强度的混凝土,并在其表面用环氧树脂涂料或沥青涂料制作防腐防水隔离层。对墙体应采用高密实度高强混凝土施工。对已被明显侵蚀的工程修补治理时,首先应清除疏松的侵蚀产物及疏松砂层,再按前述方法进行修补。配制高密实度高强度混凝土时,宜采用抗硫酸盐水泥或其

它  $C_3A$  含量低的水泥，并采用高效减水剂或复合高效减水剂，混凝土抗渗标号  $B_{25}$  以上，抗压强度等级  $40MPa$  以上。

1. 4. 5 掺加以硅灰为代表的高活性细填料，能有效地改善界面结构，并提高混凝土密实度与强度，显著增加耐腐蚀能力。现在不少耐久性外加剂中掺加有硅灰、优质粉煤灰、沸石岩、阻锈剂、有机硅化合物等。另外设法取消混凝土中生成的有害物。

1. 4. 6 采用聚合物水泥混凝土。因为有机高分子聚合物的长分子链的结构特点以及大分子中链节或链段的不停地自旋转运动，使之具有弹塑性性质。将其引入混凝土中，改变了原来水泥石的结构和性质：在水泥新生物的结晶——凝聚结构的刚性空间骨架中（孔隙、裂缝或表面）聚集了有机聚合物相，使刚性无机物之间被坚固的，有弹性的和有粘附性的有机聚合物质点或网或膜所较结。这即可提高混凝土的密实度，又可降低混凝土的脆性。对某些聚合物而言，尽管掺量很小，其混凝土在腐蚀介质中，强度不但没有下降，而且还能继续发展。

1. 4. 7 采用复合改性混凝土。复合改性混凝土无论在硫酸盐或在氯盐溶液中，抗腐蚀性最好，抗压强度下降最小。

1. 4. 8 用高强度的碱矿混凝土提高混凝土的抗渗性，防止各种侵蚀介质渗入混凝土内部。高强度的碱矿渣混凝土具有抗碳化、抗冻、抗硫酸盐侵蚀和稀酸侵蚀能力，并有良好的护筋性。

1. 4. 9 混凝土  $CH$  外加剂能明显的改进和提高混凝土的干燥收缩、抗冻性、抗渗性、抗碳化、抗氯离子渗入。

1. 4. 10 在混凝土掺入“UEA 膨胀剂”和“减水剂”，补偿了混凝土的收缩和提高了混凝土的密实度，所以混凝土的抗裂、抗渗、抗腐蚀性能明显提高。

1. 4. 11 适量地掺加混合材料（矿渣、粉煤灰、硅灰、火山灰等）可以降低混凝土中  $C_a(OH)_2$  含量，缓解钙矾石膨胀，提高抗渗性，从而提高水泥混凝土的抗海水腐蚀性。高炉矿渣水泥的耐化学侵蚀性随着矿渣含量的增加而相应增强，当水泥矿渣含量高达  $65\% \sim 70\%$  时，耐化学侵蚀性最好。掺加粉煤灰的各种水泥其抗硫酸盐性能均成倍提高。

1. 4. 12 用普通砂浆或混凝土与聚合物胶乳复合成聚合物改性砂浆、混凝土。常用的聚合物胶乳是丁苯和丙烯酸酯胶乳。胶乳砂浆或混凝土对于新老混凝土连接，防止钢筋锈蚀和降低渗透等效果相当显著。

1. 4. 13 合理地选用混凝土的制备材料，通过改善混凝土的渗透性来提高其抗蚀性能。为了改善混凝土的渗透性，必须提高其密实性，在制作混凝土时减小水灰比，合理选择骨料级配来减少孔隙率，采用先进方法捣实混凝土拌合物，加强湿养护以保证在水泥石中形成细小的孔隙结构等；还可以在混凝土中掺加聚合物，以阻塞混凝土中的毛细孔通路，并改善混凝土的抗裂性来提高抗蚀性能。或采用混凝土表面涂层防腐处理。

1. 5 碱骨料反应的预防控制措施

用适当的活性混合材料（粉煤灰，高炉矿渣、硅灰等）控制  $ASR$ （碱——硅反应）。在混凝土配料过程中控制其中的总碱量，单位水泥用量等，另外从施工环境方面控制：

1. 5. 1 提高混凝土的密实度，阻止水及碱离子的移动。在混凝土成型中导入适量空气形成气穴，吸收凝胶体的膨胀压力。

1. 5. 2 施工中避免用水过多造成析水和干燥收缩，大体积混凝土要避免温度应力造成裂缝和施工捣固缺陷。冬季使用  $NaCl$  防冻剂的结构及海水中的结构物以不使用反应性骨料为宜。

1. 5. 3 防止积水。

1. 5. 4 低水灰比对减少含活性氧化硅的砂浆棱柱体的膨胀有控制作用，但在碱——碳酸盐反应中低水灰比有时导致大的膨胀。

1. 5. 5 已受到 AAR 破坏的某些混凝土结构物可采用强制干燥的方法, 在表面涂防水剂, 自然排出内部水分来控制膨胀。另外, 在水泥中加入少量金属及金属盐类、有机酸类、有机试剂等可以减少由 AAR 引起的膨胀。加入 0. 5% 的氯化锂膨胀量可减少约 90%。也可以在水泥窑中加磷酸盐及用无石膏水泥熟料和氯化钡复合的方法控制膨胀。

### 1. 6 混凝土中钢筋的防腐蚀措施

1. 6. 1 泡沫混凝土中的钢筋防锈。其涂料含有环氧树脂和无机填料。例如, 将钢筋预热到约 200℃, 涂以由 60% E 400 [67185-59-5] (环氧树脂) 粉末和 40% 细的  $\text{SiO}_2$  砂粉末构成的混合物, 然后再加热到 200℃ 达 1 分钟, 便得到厚度约 200 微米的涂层。将这种涂覆的钢筋放在模子中, 用允许固化的一种泡沫混凝土覆盖, 然后在 180℃ 和 10 个大气压的水蒸汽中固化。当所形成的混凝土试样断裂之后, 断口处钢筋与混凝土之间的附着力很少破坏, 在重复暴露于盐水中之后不受腐蚀。

1. 6. 2 热压轻质混凝土中钢筋的防腐。可用双层防腐涂料, 这种涂料包括底漆和面漆。底漆含 60~100 份丙烯酸——苯乙烯共聚物乳液和小于或等于 40 份的颜料。面漆含 30~70 份。用这种方法可抵抗盐雾介质对钢筋的锈蚀。

1. 6. 3 有一种亚硝酸钙防腐剂, 在日本、美国以及欧洲广泛采用, 它能够改善混凝土的质量, 在低水灰比以及良好的混凝土保护层的情况下防止钢筋锈蚀。

1. 6. 4 能渗入钢筋混凝土的钢筋防锈剂。该渗透性防锈剂是一种碱性银盐类的水溶性溶剂。使用时可在需防锈的混凝土处每平方米涂 300 克渗透性防锈剂, 再涂上 2 毫米厚的防锈覆盖材料 (掺入防锈剂的聚合水泥), 这样防锈剂会向混凝土渗透, 达到内部钢筋防锈作用。

1. 6. 5 对于腐蚀破坏的钢筋混凝土构件进行加固时, 首先将构件表面打毛, 清洗干净, 将锈蚀的钢筋补强, 除锈, 刷一至二道转化型防锈底漆, 然后抹氯丁胶乳水泥砂浆。氯丁胶乳水泥水化时, 胶乳失水胶凝, 在胶乳水泥砂浆内形成均匀的互为相连的聚合物胶膜。该胶膜可承受变形, 使水泥内应力降低, 减少产生裂缝的可能性, 限制了微裂缝的蔓延, 并起密封作用。与普通水泥混合料相比, 它的不透水性小, 强韧而略有弹性, 耐反复冲击, 不易剥落和崩裂、耐酸、耐碱能力显著提高。

1. 6. 6 用 CNSL 树脂制备了一种封闭底漆和双组分涂料, 除硫酸盐介质外, 对其它腐蚀性介质都有较好的抗腐蚀性。

1. 6. 7 混凝土中钢筋防腐涂层的缺陷部分可用丁基橡胶并粘贴胶带来修补, 以便改善耐腐蚀性, 例如, 钢筋上的环氧树脂涂层 (厚度 200  $\mu$ ) 的缺陷部分用一种由 100 份丁基橡胶, 80 份聚异丁烯, 40 份松香树脂和 60 份加工油组成的腻子涂覆厚度 2mm, 然后粘贴胶带。耐 3% NaOH 水溶液和 1000h 盐腐蚀。

## 2 钢筋混凝土的防腐蚀设计

合理的设计也可以防止或减轻钢筋混凝土的腐蚀破坏。防腐蚀设计对腐蚀失效起了主导作用。首先是材料的选择, 其次是构件形状及联接方式的确定, 然后是防腐蚀方法的选择。现分述如下。

### 2. 1 选材

选材时要了解导致腐蚀的环境因素, 化学因素和物理因素。确定可能发生的腐蚀类型, 然后选材。此外, 还要考虑材料的力学性能及成本, 兼顾其耐用性及经济性。选材者可查阅《腐蚀数据与选材手册》或向防腐蚀及防护专家咨询。利用某些腐蚀数据进行选材。必须认识到没有

万能的耐腐蚀材料。某种耐蚀材料都是相对某种环境而言的。对于任何“材料—环境”体系，都必须有针对性地进行调查研究，以便了解这种材料在指定环境中的耐腐蚀性。切不可盲目滥用。

材料的耐腐蚀性是选材的主要内容，它和环境（如成分、浓度、温度、流速等）变化密切相关。介质成分和浓度不一样，腐蚀的程度也不相同。选材时不仅要注意环境中的主要成份，而且还要注意其中的杂质，在有些情况下却往往由于杂质引起了严重的腐蚀。硫也是一种杂质，它可能由烟囱排出，能引起建筑物的应力腐蚀破裂。温度对腐蚀的影响是复杂的，一般可以对某种材料在一定环境中规定一个温度极限，超过这个极限，腐蚀过大，就不能应用。另外还应注意各部分是否存在温差。温差会产生温差电池，使高温部分意外腐蚀。选材时应注意水、海水、中性溶液等介质的 pH 值，pH 值不同，腐蚀情况也不一样。环境中有没有氧化剂或还原剂对腐蚀也起着决定的因素。气体、固体和非水液体的含水量有时对腐蚀起着重要作用。一般情况下，干燥大气的腐蚀性较小，越潮湿，对金属的腐蚀也越大。流速对腐蚀的影响是复杂的，在多数情况下，流速越高，腐蚀越大。它会冲刷钢筋混凝土的保护膜，产生旋涡、空泡、引起严重的冲击、磨损。腐蚀产物和膜也直接影响材料的耐腐蚀性。选材者应知道缓蚀剂的作用，在某些环境下加入缓蚀剂后就能使材料达到适用的程度。总之，选材是最重要的，也是广泛采用的防腐蚀方法。

2. 2 耐腐蚀设计

防腐蚀必须从一开始设计着手，运用腐蚀观点来考虑设计。注意事项如下：

2. 2. 1 缝隙能引起腐蚀，也是设计中难免的，要调查清楚缝隙腐蚀的原因，采取可能的防护措施。

2. 2. 2 设计地下结构时，应调查附近是否有杂散电流的来源，如果有时，应采取适当措施。如地下结构用塑料或涂料绝缘，或用排流方法，将结构直接或通过整流器与负电馈线连接，使结构成为阴极，称为阴极保护。

2. 2. 3 许多结构都承受着一定应力，在特定环境中会发生应力腐蚀破裂。如果设计时使应力分布均匀，以减小局部应力集中的程度，就可以防止或减轻应力腐蚀的危险。

2. 2. 4 设计时还应考虑疲劳极限强度值的降低。由于腐蚀和交变应力共同作用引起的破裂称为腐蚀疲劳。在疲劳腐蚀环境中，疲劳极限已远远低于正常值，因此设计在周期应力作用下的结构构件，应采用“腐蚀疲劳极限”，如果忽略了这一点，仍然根据“疲劳极限”来设计，曾造成许多意外的结构事故。

2. 2. 5 腐蚀裕度和防腐蚀措施

腐蚀率中等的材料要考虑腐蚀裕度。在腐蚀较重的部位考虑加厚。若不能采用裕度时，可采用一些有效的防护措施，如果防护措施不当，有时还会加速腐蚀。大量的腐蚀损失是由于对腐蚀认识的无知而引起的。因此在设计时，要先查阅材料的腐蚀数据和有关资料。每种材料都有其独特的物理、力学和化学性能。影响腐蚀的因素很复杂，而且因材而异。决定一项防腐蚀措施，事先应周密考虑，有时还须经过试验，施工准备工作，包括表面处理。任何方面的草率大意都会引起浪费。

3 钢筋混凝土防腐蚀的研究趋向

研究水泥类胶结剂，开发耐腐蚀混凝土。用几种聚合物混掺，可起性能互补作用。配制出聚合物混凝土复合材料。聚合物混凝土现有二个品种：即树脂混凝土可用作耐酸储槽、铁路路枕等。聚合物改性水泥，聚合物浸渍混凝土。最近，日本 Ozawa 混凝土公司用聚合物浸渍钢筋混凝土

土构件，目的是为了提高混凝土制品的耐久性。聚合物混凝土材料理论与实践目前也有了新进展。瑞典科学家研究发现，在水泥混凝土中加入少量 (0. 5~0. 8%) 植物油，如亚麻油、玉米油、芥子油，可有效改善水泥砂浆作为修补材料的性能，如耐冻、耐盐蚀等。另外还有防护涂层的研究，由于钢筋混凝土的腐蚀破坏都是从表面开始的，假如在它的表面与介质之间插入稳定的或耐蚀的物质，使其表面不能与介质接触，腐蚀便不能产生。利用防护涂层是钢筋混凝土的防腐蚀措施之一。

参 考 文 献

1 肖纪美，腐蚀总论——材料的腐蚀及其控制方法，化学工业出版社，1994. 5.  
2 左景伊，左禹. 腐蚀数据与选材手册，化学工业出版社，1995. 10

A Survey About The Methods  
of The Corrosion Protection of  
Reinforced Concrete

Xie Lingxia Wang Changhua Huang Zhenguo  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** This paper introduced the methods of the Corrosion protection about reinforced concrete civil and abroad. Author analysed the base theory, range of application about all kinds of methods of corrosion protection, and the question of designing in the corrosion protection. It Can be referenced for you to select the methods of corrosion protection.

**Keywords** reinforced concrete corrosion protection.