



混凝土钢筋腐蚀以及阴极保护

冯洪臣

黄骅市科普防腐材料有限公司

摘要：

在人们的观念中，包裹在混凝土中的钢筋是不会发生腐蚀的，质量良好，处在非腐蚀性环境中的混凝土钢筋腐蚀确实也非常缓慢。然而，对于处于海洋性气候中的混凝土结构，钢筋确实存在腐蚀问题，当结构施工质量不好时，钢筋的腐蚀问题会非常突出。实践证明，钢筋发生腐蚀后，用新的沙浆进行修复很难缓解钢筋的腐蚀问题，往往几年之后还要修补，直至整个结构破坏。采用阴极保护，不仅可以防止腐蚀，其效果也可以达到一劳永逸。该技术是到目前为止，唯一有效的混凝土钢筋防腐措施。

关键词：钢筋 钛网阳极，阴极保护

混凝土钢筋的腐蚀：

混凝土钢筋的腐蚀类似于电池，是电化学腐蚀。腐蚀将导致钢筋上阴极区和阳极区之间的电子流动。发生腐蚀应具备如下条件：

- ◆ 阳极：电子流出的区域，发生腐蚀。
- ◆ 阴极区：电子流入区域，不发生腐蚀。
- ◆ 电解液：一种介质，可以导通离子电流。
- ◆ 金属通道：连接阴阳极区，使电流构成回路。

由于混凝土内钢筋最初的腐蚀将在钢筋表面形成钝化膜，所以，一般情况下，混凝土内钢筋不会发生腐蚀。新浇注的混凝土在水合作用时呈碱性，有氧存在时，将致密钢筋表面的氧化膜，在碱性条件下，对钢筋提供连续的保护。由于氢氧化钙，氢氧化钾，氢氧化钠的存在，混凝土的 PH 值一般大于 12。PH 值是用来衡量介质酸碱度的，从高碱的 14 到高酸的 0。中性时为 7。尽管对钝化膜的特性还没有完全掌握，但只要钝化膜是完整的，它就隔离钢筋与腐蚀环境，减缓腐蚀过程。然而，在两种情况下，腐蚀将会发生：

1. 碳酸盐化
2. 氯污染

碳酸盐化是空气中的二氧化碳通过混凝土空隙扩散并中和混凝土碱性的过程。碳酸盐化将使 PH 值下降到 8 或 9，使氧化膜不稳定。当有适当的氧或潮气供应时，开始发生腐蚀。混凝土结构的碳酸盐化是一个缓慢的过程，其速率取决于二氧化碳穿透混凝土的渗透速率，而该渗透速率很大程度上取决于混凝土的空隙率和渗透性。对于质量好的混凝土，且钢筋具有一定埋深时，很少发生腐蚀问题。

有关氯离子诱发混凝土钢筋腐蚀的文献已经很多。进入到混凝土的氯离子来自溶雪时

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



路面所撒的盐或海洋性气候的海水。其他的来源可能是混凝土固化添加剂，污染的碎石，水，空气中的盐，地下水中的盐，混凝土表面所用化学剂产生的盐。当有足够的氯离子存在时，钝化膜被破坏，钢筋发生腐蚀。

引发钢筋腐蚀的氯含量相当低，对于氯离子允许含量，有很多法规及规范。美国混凝土协会出版物 ACI222R-96“混凝土内金属的腐蚀”建议新结构氯离子含量上限为：(重量百分比)

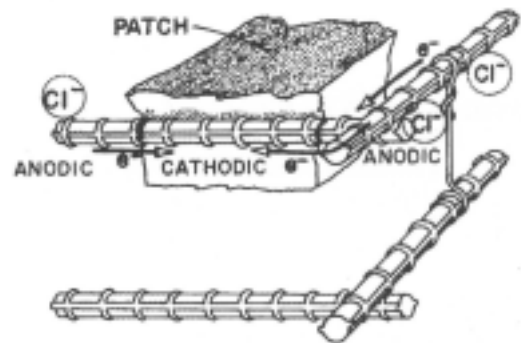
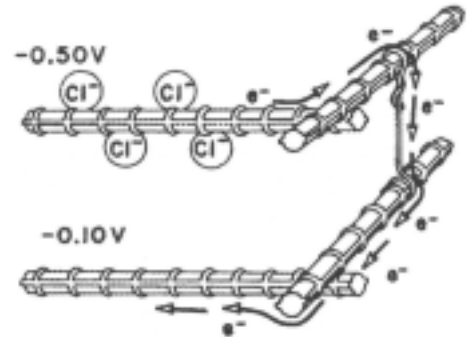
- ◆ 予应力混凝土 0.08%
- ◆ 潮湿条件下钢筋混凝土 0.10%
- ◆ 干燥条件下钢筋混凝土 0.20%

现场的经验以及研究表明，对于受氯离子污染的已建结构，0.026%的氯离子浓度足以破坏钝化膜，引起钢筋的腐蚀。这相当于氯离子浓度为 $1.0\text{lb}/\text{yd}^3$ 混凝土。

钝化膜的破坏导致钢筋的电化学腐蚀，混凝土中的氯离子分布一般是不均匀的。腐蚀始于氯离子含量高的区域钢筋，最终导致钝化膜的破裂。在其他区域，钢筋仍处于钝化状态。典型的例子是用盐来溶雪时，处于表层的钢筋比处于下部的钢筋受到更多的氯离子侵蚀。氯离子的不均匀分布导致宏观电池腐蚀，大的阳极区处于上部，阴极区处于下部。混凝土相当于电解液，绑扎钢筋提供电气连接。图一是由于氯含量浓度差引起的宏观电池。

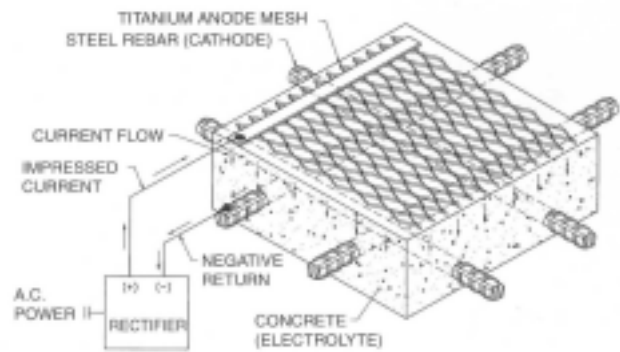
用常规的混凝土对剥离或剥落处的钢筋进行修补是腐蚀的另外一个例子。在旧的高氯离子含量混凝土以及新的低氯离子含量混凝土衔接面上将形成很强的电化学宏观电池。由于距离近，氯浓差大，产生很强的电位梯度，加速了腐蚀。如图 2 所示，大多数情况下，一到两年后，还要重新修补。

金属的晶间结构以及应力的不同也会导致腐蚀。当氯浓度均匀时，局部的微观腐蚀将是主要问题。在这种情况下，同一钢筋上阴极区和阳极区距离很近，微观电池将导致局部腐蚀，称为点蚀。随着腐蚀的发展，腐蚀坑内酸性增强，坑的底部金属逐渐损耗，钢筋截面积逐渐减小，最终不能承受所负荷载。





上诉所有腐蚀都需要氧的存在，在没有氧存在时，即使氯含量超过临界值，腐蚀速率也非常低（除非在酸性溶液中）。然而，现场隔离氧和钢筋即便不是不可能，也是非常困难的。腐蚀发生时，腐蚀产物所占体积要比钢筋大几倍，使混凝土承受张力，由于混凝土本身抗拉能力差，因此，将产生裂纹，如图 3a，使钢筋暴露于更多的氯，氧以及潮气中，腐蚀加剧。随着腐蚀的继续，混凝土将发生裂纹或剥离，图 3b。剥离通常位于或靠近于钢筋水平面，最终混凝土剥落，图 3c。需要修补。



阴极保护原理:

减缓腐蚀有很多方法，而实践证明，对于已建结构，不论氯含量大小，阴极保护是唯一有效的防腐技术。

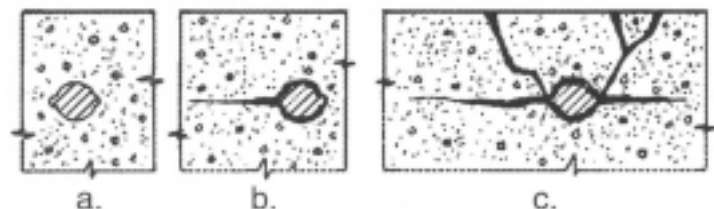
什么是阴极保护？答案很简单。阴极保护是被广泛应用并证明有效的防腐技术。从理论上讲，它的定义是“通过外加电流或使之与牺牲阳极连接，使金属变成阴极而减少或停止腐蚀的技术”电化学电池中的阴极区不发生腐蚀。根据定义，如果将阳极区都变成接收电流的阴极区，腐蚀将不再发生。

数十年来，阴极保护成功的用于保护埋地管道，船板，海上平台，地下储罐及其他很多暴露于腐蚀环境下的结构。阴极保护首次于 1973 年用来保护桥面，该系统目前仍在使用，没有发现混凝土剥离。混凝土钢筋阴极保护实际上是以毒攻毒的方式。阴极保护提供一个与腐蚀电流相反的电流，从而消除腐蚀。

如上所述，阴极保护有两种方式，外加电流以及牺牲阳极。外加电流阴极保护由以下几方面构成：

- ◆ 电源
- ◆ 阳极，如混合金属氧化物带状或网状阳极
- ◆ 电缆及导管
- ◆ 仪器，如予埋氯化银参比电极。

图 4 为利用混合金属氧化物网状阳极外加电流阴极保护的示意图



整流器用来将交流电转换成直流电，为阳极提供电流。输出有恒电压或恒电流两种。

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



阳极是阴极保护系统中的关键部分，用来将保护电流分布到钢筋上，阳极反应将在阳极而不是钢筋上发生。使用相对惰性的材料，如涂层钛，阳极损耗很小。涂层钛的一个好处是，其寿命可以通过老化试验来确定。NACETM0294-94。根据试验结果发现，对现存结构，阳极寿命可以轻易的超过 40 年，对于新建结构，寿命可以达到 100 年。

牺牲阳极是用锌或铝合金等较活性的金属来为钢筋提供电流。它决定于金属在电动序中的不同位置。连接后，保护电流产生于阳极和钢筋之间的电位差。在腐蚀过程中，阳极发生腐蚀被消耗。电流从阳极通过混凝土流向钢筋。如图 5 所示。

在土壤中，可以采用铸造阳极或将阳极喷涂到混凝土墙面上。

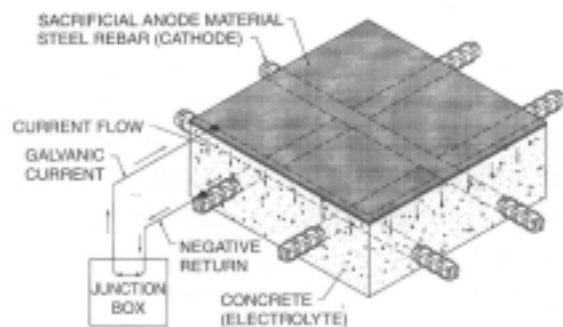
牺牲阳极阴极保护不需要电源，也不会使予应力钢筋产生氢脆。但与外加电流相比，寿命较短。另外，所产生的电流受环境制约，如湿度，温度等。系统调节及控制困难。

参比电极是用来评价阴极保护水平的。可以用便携式或予埋在混凝土中。经常采用的予埋式参比电极是氯化银参比电极。参比电极需要一个独立的接地连接。阴极保护系统同时需要一个与钢筋的连接。

施加阴极保护后，氯离子将离开钢筋向阳极迁移，另外，在钢筋表面所产生的氢氧根离子可以使混凝土返回碱性状态。综合这些因素，施加阴极保护电流后，腐蚀迅速停止，钢筋表面恢复氧化膜。需要指出的是，施加阴极保护后，钢筋无法恢复到原先的强度，但其腐蚀可以被有效的阻止。

并不是所有的钢筋混凝土结构都适用于采用阴极保护。施加阴极保护前，应对几个参数进行评估：

- ◆ 剩余的使用时间应大于 10 年，
- ◆ 剥离或剥落应小于结构面积的 50%，
- ◆ 氯含量应大于 0.026%，(混凝土重量)
- ◆ 参比电位应大于 -200mV，(说明钝化膜已经破坏)，
- ◆ 结构完整，具有所需要的强度
- ◆ 大多数钢筋应该是电气连通的，
- ◆ 有交流电源(对于外加电流阴极保护)



混凝土钢筋阴极保护所需要的电流非常小。一般来讲，对于新结构的阴极防护，阴极保护电流密度在 0.2 -- 2.0mA/m² 之间。已建并受到盐份污染的结构，阴极保护电流密度在 2 -- 20mA/m² 之间。对于新建结构，功率消耗为每 1000m² 1 -- 3 瓦，对于旧结构，每 1000m² 3 - 15 瓦。

阴极保护安装运行后，有必要进行日常管理以及维护。对于外加电流阴极保护系统，工作将包括系统的目视检测，电源设备的检修。至少要对每个阳极区进行电压、电流测量。保证电源提供设计的电流以及测量运行参数是重要的环节。可以采用遥测系统以方便监控。

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax) : 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



科普防腐
*Corr*Stop

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax) : 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com