

提高海洋工程混凝土结构耐久性的思考（二）岩土工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/544/2021_2022__E6_8F_90_E9_AB_98_E6_B5_B7_E6_c63_544464.htm

六、提高混凝土结构耐久性的技术措施 混凝土结构的设计寿命要求一般为40~50年，有的要求上百年。而现实中，处于腐蚀环境中的混凝土远远达不到设计寿命要求，有的在15~20年就出现了钢筋锈蚀破坏，甚至不足五年就开始修复。此方面的花费是惊人的，已经是一个重大经济问题。因此，提高混凝土结构耐久性的意义是不言而喻的。提高混凝土结构耐久性措施主要包括两大类：基本措施和补充措施。基本措施的基本内容是：通过仔细设计与施工，最大限度地提高混凝土本身的耐久性，在使用中保持低渗透性，以限制环境侵蚀介质渗透混凝土，从而预防钢筋锈蚀。最大限度地改善混凝土本身性能，是提高混凝土结构耐久性的许多措施中最经济合理的。（1）结构采用耐久性设计。（2）提高混凝土保护层厚度和质量。

（3）采用高性能混凝土。补充措施是指：环境侵蚀作用特别严重时，或设计、施工不当，单靠上述基本措施还不能保护混凝土结构必要的耐久性时，需要另外增加的其他防护措施。有以下几方面：（1）采用耐腐蚀钢筋。（2）对混凝土进行表面处理。（3）混凝土中掺加阻锈剂。（4）电化学保护 结构设计 1、结构选型和细部设计 频繁地干湿交替会加剧钢筋锈蚀，所以在结构选型和细部设计时，应限制混凝土表面、接缝和密封处积水，加强排水，尽量减少受潮和溅湿的表面积。由于环境侵蚀介质在构件棱角或突出部分可以同时从多方面侵入混凝土，而凹入部分易积存侵蚀介质、应

力异常，因此从提高混凝土结构耐久性角度出发，混凝土构件选型应力戒单薄、复杂和多棱角。预计腐蚀破坏严重的构件应便于检测、维护和更换。

2、控制裂缝 不可控制的裂缝包括混凝土塑性收缩、沉降或超载造成的裂缝，常为较宽的裂缝，应针对成因采取措施预防开裂，即使难以预料也应加以引导，使其发生于次要部位或便于处理的位置。可控制裂缝是靠传统的结构设计知识，按结构几何尺寸与荷载可以合理预防和控制的裂缝。

七、提高海工混凝土耐久性的技术措施 国内外相关科研成果和长期工程实践调研显示，当前较为成熟的提高海洋钢筋混凝土工程耐久性的主要技术措施有：

(1) 高性能海工混凝土 其技术途径是采用优质混凝土矿物掺和料和新型高效减水剂复合，配以与之相适应的水泥和级配良好的粗细骨料，形成低水胶比，低缺陷，高密实、高耐久的混凝土材料。高性能海工混凝土较高的抗氯离子渗透性为特征，其优异的耐久性和性能价格比已受到国际上研究和工程界的认同。

(2) 提高混凝土保护层厚度 这是提高海洋工程钢筋混凝土使用寿命的最为直接、简单而且经济有效的方法。但是保护层厚度并不能不受限制的任意增加。当保护层厚度过厚时，由于混凝土材料本身的脆性和收缩会导致混凝土保护层出现裂缝反而削弱其对钢筋的保护作用。

(3) 混凝土保护涂层 完好的混凝土保护涂层具有阻绝腐蚀性介质与混凝土接触的特点，从而延长混凝土和钢筋混凝土的使用寿命。然而大部分涂层本身会在环境的作用下老化，逐渐丧失其功效，一般寿命在5~10年，只能作辅助措施。

(4) 涂层钢筋、耐腐蚀钢筋 采用耐腐蚀钢筋对混入型和渗入型氯离子的防护都是很有有效的。因为环氧涂层钢筋是在严格控制的钢

厂流水线上涂覆的，一般可以保证涂层高质量，涂层可以将钢筋与周围的混凝土隔开，即使氯离子和氧气等已经大量侵入混凝土，它还是可以长期保护钢筋，使钢筋免遭腐蚀。钢筋表面采用致密材料涂覆，如环氧涂层环氧涂层钢筋在欧美也有一定的应用，其应用效果评价不一。主要不利方面是，环氧涂层钢筋与混凝土的握裹力降低35%，使钢筋混凝土结构的整体力学性能有所降低；施工过程中对环氧涂层钢筋的保护要求极其严格，加大了施工难度；另外成本的明显增加也是其推广应用受到制约。

(5) 钢筋阻锈剂 钢筋阻锈剂通过影响钢筋和电介质之间的电化学反应，通过提高氯离子促使钢筋腐蚀的临界浓度来稳定钢筋表面的氧化物保护膜，可以有效地阻止钢筋腐蚀发生，从而延长钢筋混凝土的使用寿命，因为阻锈剂的作用可以自发地在钢筋表面上形成，只要有致钝环境，即使钝化膜破坏也可以自行再生，自动维持，这不仅优于任何人为涂层，而且经济、简便。但由于其有效用量较大，作为辅助措施较为适宜。最好的办法是是将电解质的pH值提高到12左右，使钢筋表面有一层稳定的钝化膜使阳极反应难以进行，从而阻止钢筋的腐蚀。阻锈剂能优先参与并阻止钢筋这两种或任何一种界面反应，并能长期保证其稳定状态，从而有效地阻止了钢筋的锈蚀。

(6) 阴极保护 阴极保护的电学原理就是：即使钢筋周围的混凝土有的已经碳化或含有大量氯离子，或者混凝土保护层薄而透水透气，或钢筋表面具有锈层，不让钢筋表面任何地方放出自由电子，使其电位等于或低于平衡电位，就可以使钢筋不再进行阳极反应，即钢筋锈蚀。该方法是通过引入一个外加牺牲阳极或直流电源来抑制钢筋电学腐蚀反应过程从而延长海工

混凝土的使用寿命。但是，由于阴极保护系统的制造、安装和维护费用过于昂贵且稳定性不高，目前在海工钢筋混凝土结构中很少应用。

(7) 海水耐蚀剂 海水耐蚀剂是用矿渣、硬石膏、天然火山灰、活性激发组分等无机材料磨粉而成。

物理作用：海水耐蚀剂的比表面积，其微粉填充效应提高了水泥浆体与骨料之间的黏结强度，从而提高了混凝土的密实度。

化学作用：海水耐蚀剂中的高活性微粉、活性二氧化硅不断与水化出来的 CaOH_2 发生化学反应，生成更多的C-S-H凝胶，加快水泥水化速度，提高混凝土的强度。

火山灰的抗硫酸盐、抗海水侵蚀效果决定于火山灰中的二氧化硅的含量，二氧化硅含量高可以提高混凝土的耐久性，更重要的是在易被侵蚀的铝酸盐化合物上覆盖了一层C-S-H凝胶的保护膜。

(8) 混凝土表层处理 为了防止水、氯化物、二氧化碳等侵蚀介质渗入混凝土中，以延缓钢筋锈蚀，对于修补过的或新并行筑的混凝土结构，涂覆混凝土干作为第一道防线，往往是一种比较简便、经济和有效的辅助性能保护措施。镶面板是另一种混凝土表层处理方式。

(9) 定期检测 对混凝土结构也应做定期检查，尽早发现问题，制定合理维修方案，对延长工程寿命也有显著效果。

八、改善海洋工程结构混凝土耐久性策略

改善混凝土和钢筋混凝土结构耐久性需采取根本措施和补充措施。根本措施是从材质本身的性能出发，提高混凝土材料本身的耐久性能，即采用高性能混凝土；再找出破坏作用的主次先后，对主因和导因对症施治，并根据具体情况采取除高性能混凝土以外的补充措施。而二者的有机结合就是综合防腐措施。大量研究实践表明，采用高性能混凝土是在恶劣的海洋环境下提高结构耐久性的基本措

施，然后根据不同构件和部位，经可能提高钢筋保护层厚度（一般不小于50mm），某些部位还可复合采用保护涂层或阻锈剂等辅助措施，形成以高性能海工混凝土为基础的综合防护策略，有效提高大桥混凝土结构的使用寿命。因此，对海洋工程跨海大桥混凝土结构的耐久性方案的设计遵循的基本方案是：首先，混凝土结构耐久性基本措施是采用高性能混凝土。同时，依据混凝土构件所处结构部位及使用环境条件，采用必要的补充防腐措施，如内掺钢筋阻锈剂、混凝土外保护涂层等。在保证施工质量和原材料品质的前提下，混凝土结构的耐久性将可以达到设计要求。对于具体工程而言，耐久性方案的设计必须考虑当地实际情况如原材料的可行性、工艺设备的可行性等，以及经济上的合理性。也就是说应该采取有针对性的，因地制宜的综合防腐方案。

九、试验方案和主要试验方法

从高性能海工混凝土的基本要求出发，在原材料的优选试验中，以坍落度评价混凝土的工作性，以抗压强度等评价混凝土的物理力学性能，以混凝土的电通量和氯离子扩散系数(自然扩散法)试验结果评价混凝土的抗氯离子渗透性能，并以耐久性能为首要要求。试验中所采用的主要试验方法有：

- (1)坍落度 混凝土的坍落度按《新拌混凝土性能试验方法》GBJ80-85测定。
- (2)抗压强度 混凝土的抗压强度按《普通混凝土力学性能试验方法》GBJ81-85测定。
- (3)混凝土的碳化、渗透和抗冻性能试验参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》（GBJ82-85）进行。
- (4)混凝土的电通量和氯离子扩散系数快速试验 ASTM C 1202混凝土直流电量法渗透性能评价：参照国际上通用的ASTM C 1202直流电量法进行混凝土渗透性能评价。试验仪器采用清华大学改进

的ASTM C 1202电量法测试仪。通过量测混凝土试件在60V直流电压下通电6h通过的电量，以评价混凝土的渗透性。用浓度曲线法测试混凝土表观氯离子扩散系数的试验方法，参照NT Build 443方法，将标准养护28天的混凝土试件浸泡于质量浓度为3.0%的NaCl溶液中至指定龄期（90d）后，用剖面切削机从混凝土表面以不大于2mm的厚度取样，并用化学方法测试样本氯离子浓度，做混凝土氯离子浓度-深度曲线并用Fick第二定律进行非线性回归求得混凝土表观氯离子扩散系数。

十、高性能混凝土的质量保证措施

高性能海工混凝土工程耐久性是一项系统工程。为保证整个设计的系统性、完整性、规范性、科学性和可行性，必然需要一个完善的整体思路和框架。因此，在建设过程中我们遵循了一个以预先质量控制与评估，耐久性方案设计和质量控制与评估的思想。为确保混凝土结构耐久性的目标，须从三大环节进行控制，即：

- （1）预先质量控制与评估：是在了解工程背景、使用环境以及混凝土材料在海洋环境中的性能特点的基础上，通过对材料性能的试验研究，建立混凝土结构耐久性设计的数据和依据，并预测混凝土结构的实际使用性能
- （2）耐久性方案设计：充分考虑各种可变因素对钢筋混凝土结构使用寿命的影响，如环境温度、混凝土内应力、裂缝等，以建立使用寿命预测系统，为耐久性方案的设计提供指导和依据。再以使用寿命预测系统为基础，制定有针对性的耐久性解决方案。
- （3）质量控制与评估：是指在方案的实施过程中如何控制各方面的质量以及如何对已完成部分的质量进行评估的过程。在质量控制与评估环节中，主要需要确立各种质量控制措施和实施标准，建立各种性能试验的评价体系，保证混凝土性

能符合方案设计要求。对于实际施工过程中，质量控制与评估将是重中之重。相对普通混凝土的质量控制而言，高性能混凝土施工质量控制主要涉及原材料质量、配合比、拌和、施工、保护层厚度、养护等方面，其重点和难点在于保护层厚度和养护等方面。（1）高性能混凝土保护层厚度质量控制和保证措施 高性能混凝土保护层垫块采用变形多面体形式，高性能细石混凝土预制，垫块材料的强度及抗渗透性均不低于本体高性能混凝土的技术标准。（2）高性能混凝土的养护 顶面混凝土由于阳光直射温度较高产生温差过大的现象，同时由于风速较大也容易造成混凝土表面失水过快，混凝土表面收缩较大而导致混凝土开裂。因此，在实际施工过程中，箱梁混凝土浇注完毕后即在顶面加盖塑料薄膜顶棚以保温保湿。对于预制箱梁等大型预制构件，由于预制场地的限制和施工进度要求，采用低温蒸养的方式。对于现浇混凝土，混凝土成型抹面结硬后立即覆盖土工布，砼初凝后立即进行浇水养护，养护用水为外运淡水，拆模前12小时拧松加固螺栓，让水从侧面自然流下养护，侧面拆模不小于48小时。

十一、结语 根据分析，影响我国现阶段跨海大桥结构混凝土耐久性的首要因素是混凝土的Cl⁻渗透速度。针对这一具体情况，并考虑各地的实际情况如原材料的可及性、工艺设备的可行性等，以及经济上的合理性，跨海大桥工程采取以高性能混凝土技术为核心的综合耐久性策略和方案。通过符合现阶段工程实际情况和技术水平的施工措施和质量保证措施，确保了高性能混凝土的质量符合耐久性设计的要求。

百考试题推荐：百考试题岩土工程师最新考试辅导课程免费听 >>> 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访

