

水工混凝土结构损伤的特点和原因浅析*

李清富 李瑞锋 李平先

(清华大学) (郑州水利学校) (郑州工学院)

摘 要: 本文较详细地分析了我国水工结构损伤的特点和原因, 所得出的结论和建议可为我国水工结构的使用、维修、防护以及耐久性设计提供一定的参考。

关键词: 损伤, 腐蚀, 耐久性。

中图分类号: TV331

大量的事实表明: 结构的累积损伤是影响结构使用寿命、使用可靠性及导致结构破坏的主要原因之一。所谓结构的累积损伤是指随着使用时间的延长, 结构的初始缺陷不断发展并增大自己参数的过程。我国现有大量的水利工程结构, 经调查发现, 由于结构本身的质量、使用环境、承受作用以及使用年限的不同, 有的已损伤严重, 不得不花费大量资金对其进行维修、加固甚至重建。有的虽基本完好, 但大多数结构都是在带不同程度损伤的条件下工作, 如果不及时地对这类结构进行处理, 后果将会非常严重。因此合理地制订工程决策, 了解现有水工结构损伤的特点及引起结构损伤的原因就显得十分必要。

1 水工结构损伤的特点

调查结果表明: 我国水工结构损伤的特点主要可归纳为:

- 1.1 结构的耐久寿命表现出很大的离散性, 如有的结构使用不到十年就严重破坏, 有的使用四、五十年依然完好, 但总的看来, 结构的损伤程度与结构的使用年限呈正相关趋势。
- 1.2 结构的损伤分布呈现出区域性, 就严重程度而言: 水位变动区 > 大气区 > 水下区; 受荷区 > 无荷区; 动荷区 > 静荷区。
- 1.3 结构的损伤程度与结构的种类、结构的形式以及结构的表面状况有关, 从总体上看, 板梁结构、框架结构的损伤程度要比墩、桩结构严重; 表面不平整结构的损伤程度要比平整、光滑表面的结构严重。
- 1.4 结构损伤对结构功能的影响大都表现在正常使用方面 (适用性和耐久性)。

* 收稿日期: 1993-06-03

- 1.5 钢筋锈蚀是沿海地区钢筋混凝土结构最普遍的病害。
- 1.6 冻融损伤是北方寒冷地区混凝土结构特有的现象。

2 水工结构损伤的原因分析

引起水工结构损伤的原因很多，本文将这些原因作如下概括，详见图 1。

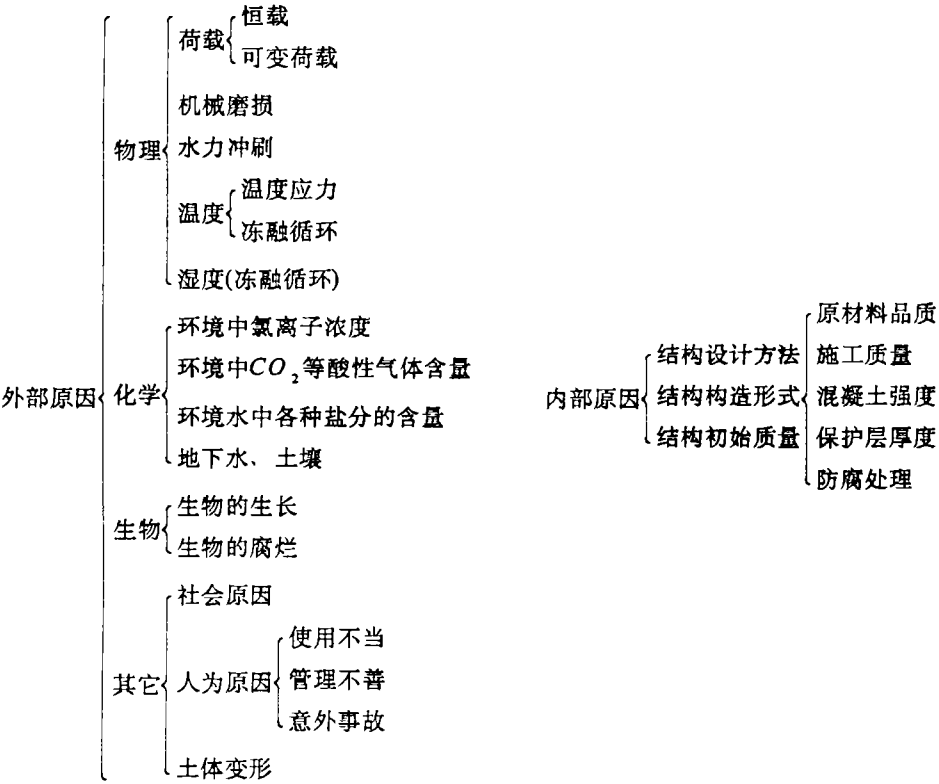


图 1 水工结构损伤的原因

针对水工结构损伤的特点，下面我们将对几种原因进行简要分析。

2.1 结构的设计方法与构造型式

在工程结构设计方法发展过程中，我国曾采用过容许应力法、破损阶段法、极限状态法和概率极限状态设计法，无论哪一种方法，都是把满足结构的承载能力作为结构设计的控制条件，而对混凝土结构的耐久性问题缺乏足够的考虑，因此导致了在结构设计与构造上只重强度不重耐久性的不良倾向。长期以来，设计人员在进行结构设计时往往只注重与力学强度和稳定有关的问题，施工人员也主要为达到设计强度指标而努力。这样做的后果，使得设计出的结构在满足适用性和耐久性方面存在诸多缺陷：

① 对原材料质量无严格的限制，导致某些组成成份之间的化学反应特别是碱骨料反应，从而造成了结构的疏松、剥落等损伤，大大缩短了结构的使用年限。

② 缺少对混凝土配合比的限制，许多构件水灰比较大，从而降低了混凝土的抗渗性，尽管强度可能满足要求，但对结构的耐久性十分不利。

③ 缺少对位于严重腐蚀区钢筋混凝土构件的特殊规定,如适当增加保护层厚度或采取保护措施等,结果使这些部位的构件首先发生锈蚀损伤,影响了结构的整体性和整体使用功能。

④ 结构的构造未能充分考虑到结构的耐久性问题,从而使得结构的某些部位损伤严重,其原因一是由于施工局限,在这些部位最易形成质量上的薄弱环节,二是在这些部位腐蚀介质最易积聚,三是在这些地方腐蚀介质可以从不同的方向侵入结构内部,如构件与构件搭接处、各种预留缝及管沟处、结构表面复杂多变及变化比较急剧处等。

2.2 结构的质量

结构的质量低劣是引起结构损伤的最普遍原因,众所周知,混凝土结构的耐久性主要取决于素混凝土的抗渗性和钢筋的保护层厚度,良好的质量是保证混凝土结构耐久性的前提条件。一般地,对于正常材料制造的混凝土结构,只要仔细设计,精心施工,则在普通的环境条件和使用条件下结构是具有足够的耐久性的。因此从某种意义上讲,结构的高质量可以在一定程度上弥补规范设计方法的不足。但是由于水工结构工程量大,施工期长,施工环境复杂且难度大,再加上日前施工管理水平的局限,因此在施工过程中不可避免地存在某些缺陷,从而也为结构的正常使用埋下了隐患。主要表现为:

2.2.1 混凝土保护层质量低劣。混凝土保护层是保证结构正常使用的重要因素,一方面它能保证钢筋与混凝土之间的粘结,另一方面它把钢筋与环境分开,对钢筋起到了保护作用,外界有害介质也只有通过保护层后才能腐蚀钢筋。由此可见,保护层的质量应主要取决于混凝土的密实性与保护层厚度。水利工程中主要出现的保护层质量问题有:①保护层厚度没有达到设计要求,有些地方的钢筋甚至直接裸露;②施工过程中振捣不均,有些地方漏振,结果导致混凝土保护层疏松;③结构养护成型后,对其表面缺少必要的处理,结构(或构件)表面存在蜂窝、麻面等。这些缺陷的存在一方面缩短了侵蚀介质抵达钢筋的距离(如①),另一方面加强了结构对侵蚀介质的吸附作用,延长了介质在结构上的滞留时间(如②,③),从而导致了更严重的结构锈蚀损伤。

2.2.2 混凝土强度不足。混凝土强度是表征混凝土质量的重要技术参数,强度较低,一是容易导致结构的承载能力不足而破坏,二是对结构的耐久性也会产生影响,(如混凝土低强度风化),并且在一般情况下结构的耐久性与混凝土强度正相关。

2.3 荷载

荷载作用是导致结果损伤发展乃至破坏的最直接原因。这是因为过大的荷载作用效应容易使结构产生失稳或承载能力不足或者引起结构过大的变形或过宽的受力裂缝,从而影响结构的正常使用;同时荷载作用又能加剧结构中钢筋腐蚀,特别是对位于混凝土受拉区的钢筋,这是由于荷载作用使结构产生的拉应力加速了混凝土微裂缝的开展与延伸,以及各微裂缝间的连接贯通,增大了混凝土的空隙率,降低了混凝土的抗渗性,从而削弱了混凝土对侵蚀介质的抵抗能力。资料表明^[2]:在素混凝土试件中(水灰比=0.47),当拉应力 $=0.7f_t$ 时, CO_2 气体的有效扩散系数比无应力时增大1~2个数量级,当压应力增加到一定值时,也会发生类似的现象,由此可见,混凝土对介质的抗蚀性在很大程度上取决于内应力和外加应力的种类和级别。

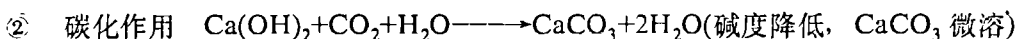
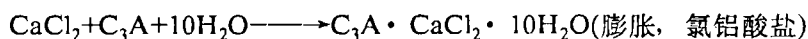
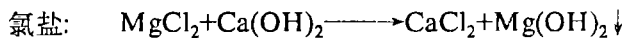
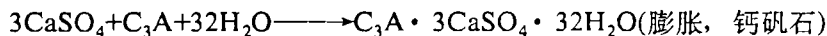
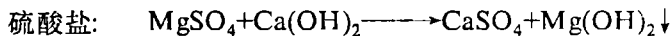
2.4 环境恶劣的环境是水工结构损伤的又一重要因素。其主要原因为:

2.4.1 环境的物理作用造成了混凝土的裂缝和剥落,如①对于水位变动区的混凝土结

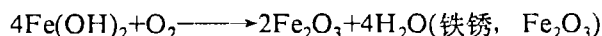
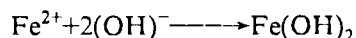
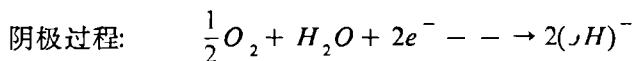
构, 在寒冷气候条件下, 吸入混凝土毛细孔中的水结冰膨胀, 膨胀应力挤压周围混凝土, 使裂缝扩展连通, 如此反复作用就会导致结构表层混凝土的疏松、剥落; ② 盐碱地区土中盐份侵蚀混凝土, 然后干燥, 结果导致盐类在混凝土孔隙内结晶, 结晶后体积膨胀, 使混凝土发生开裂损伤等。

2.4.2 环境的化学作用使混凝土分解和钢筋锈蚀, 如 ① 盐类直接侵蚀混凝土, 与材料中的某些成份发生化学反应, 生成结晶膨胀物或易溶于水的物质, 导致结构开裂或溶蚀; ② 某些可溶性阴离子, 特别是氯离子通过保护层渗透到钢筋周围, 当其含量达到一定程度时, 会使钢筋发生电化学腐蚀; ③ 酸性气体或液体侵蚀混凝土结构, 破坏了混凝土的高碱性环境, 当 PH 值降到 9 以下时^[3], 钝化膜就遭到破坏, 一旦外界条件具备, 钢筋就很容易发生锈蚀。上述各化学过程可由下面的式子表示:

① 盐类侵蚀



③ 电化学腐蚀



2.4.3 环境还能改变结构的破坏形式, 如本是延性破坏的构件, 结果可能发生脆性破坏。

2.5 其它原因

① 由于社会进步, 技术发展, 原来的结构已经不能适应现在的需要, 应该除或移作它用, 这种非技术原因引起的结构不满足初始设计功能的现象, 称为结构的无形损伤。

② 由于火灾、地震、异物撞击等引起的结构损伤。

③ 由于土体变形和基础的不均匀沉降引起的结构损伤等。

在实际工程中, 结构的损伤往往并不是单一因素造成的, 而是几种因素共同作用的结果, 因此, 对于实际的水工结构, 其损伤状况的评估必须全面地考虑引起结构损伤的各种可能因素, 经综合分析, 才能得出合理的结果, 从而科学地制订工程决策。

3 结束语

3.1 对于水工结构的设计与构造除了满足强度要求外, 还应该考虑到结构的耐久性要求, 为此确立一种实用的耐久性设计方法来弥补现行设计规范的不足是十分必要的。鉴于引起水工结构损伤原因的复杂性和不确定性, 概率设计法和专家系统设计将是今后水工结构耐久性设计的主要发展方向。

3.2 保证结构正常使用的最有效途径是确保结构本身的质量, 因此在修建新的结构时,

对选材、设计、施工、保护以及验收等各个环节, 均应建立完整的质量控制与管理体系, 以确保工程质量, 尽量避免因结构质量原因引起的结构损伤。

3.3 水工结构的设计可以采取分区对待, 对腐蚀严重区域的结构或构件, 应通过适当方法, 如增加混凝土保护层厚度, 降低水灰比, 采用防护措施等, 来确保结构的耐久性。

3.4 应建立和完善对水工结构的原型检测体系, 对结构的损伤要做到及时发现, 及时处理, 因为损伤一旦出现, 它向周围扩展的速度会很快, 如不及时处理, 会增加以后维修的难度和费用, 甚至造成严重的社会后果。

3.5 应加强结构耐久性资料的收集和基础理论研究工作, 掌握结构损伤机理和发展变化规律, 这样可以提高我们决策的科学性。

3.6 结构中钢筋的防护也是耐久性研究的重要内容, 防护方法的选择应考虑施工方便、经济和效果等因素经优化分析确定。

参 考 文 献

- 1 童保全, 王硕威. 浙东沿海水工钢筋混凝土构筑物锈蚀破坏调查. 水运工程. 1985(11). 19—25.
- 2 倪继森, 何进源等译. 混凝土和钢筋混凝土的腐蚀及其防护方法. 北京: 化学工业出版社 1988. 04. 1—435.
- 3 CEB 资料通报(第 182 号. 第二版 1989). CEB 耐久混凝土结构设计指南. 北京: 中国建筑科学研究院结构研究所. 1991. 03.
- 4 李清富, 赵国藩. 混凝土结构损伤的原因及可靠性分析模型. 水运工程. 1992(5). 53—59.

Elementary Analysis on Characteristic and Reason of Hydraulic Structural Damage

Li Qingfu (Qinghua University)

LiRuifeng (Zhenzhou Water Conservancy School of Henan Province)

Li Pingxian (Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: The paper analyzes detailed the characteristic and reason on hydraulic structural damage in Chain. The conclusion and suggestion are of great value to hydraulic structure in use, maintenance, protection and durability design.

Keywords: damage, corrosion, durability.