

水工砼致老因素试验研究^①

朱云兰, 杨华舒, 楮福涛

(电力工程学院, 昆明理工大学, 云南昆明 650051)

摘要 通过对砼进行加速老化试验, 测定其各种物理力学指标, 结果表明: 抗拉强度、抗渗强度、砼干容重等均与抗压强度关系很不明显, 进一步明确了冲磨碳化等外伤与关系到的内伤的概念性区别; 建筑物老化平价应以内部承载力、抗渗能力等试验性指标为依据。

关键词: 水工砼; 致老因素; 试验研究

中图分类号: TV 698. 2 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2001) 03- 016- 05

0 前 言

五六十年代所兴建的大批水利水电工程设施已进入老年期, 病险工程日益增多. 因此, 砼的致老化因素, 结构老化的原因诊断, 老化评价方法等已成为近年来国内外工程界普遍关注的课题.

老化评估方法有多种, 但均是建立在以表象病害观测为主基础上的, 如裂缝多少、碳化深浅、回弹强度等几个指标来评估建筑舞老化程度, 不能较全面反应砼老化, 许多工程实际表明, 这些方法较粗糙, 对大体积砼是不经济的. 通过采用模型病害快速试验法. 按正交试验原理进行了大量砼试验, 并对试验结果进行详尽的相关性分析后, 明确了各种老化表象对水工建筑物的实质性影响, 提出了砼老化评估方法中应考虑的主要性能指标. 为研究老化评估新方法提供了依据.

1 方 法

1. 1 试验方案及数据处理方法

采用模型病害快速试验法. 为使试验具有代表性, 分别采用 325[#] 普通硅酸盐水泥和 425[#] 矿渣水泥, 按正交试验原理在各材料用量的许可范围内设计砼的配比. 各种原料的变化范围见表 1, 砼力学特性按 $L_8(2^7)$ 正交试验配方进行, 砼试验配方组合情况见表 2.

$$Z_{0j} = \frac{Z_{1j} + Z_{2j}}{2}, \quad \Delta_j = \frac{Z_{2j} - Z_{1j}}{2}, \quad x_j = \frac{Z_j + Z_{0j}}{\Delta_j}$$

表 1 砼原材料试验范围及变量编码

变量名称 (代号 Z_j)	下 限 Z_{1j} ($X_j = - 1.0$)	上 限 Z_{2j} ($X_j = + 1.0$)	中 值 Z_{0j} ($X_j = 0.0$)	变化区间 (Δ_j)
灰 / 水 Z_1	1. 25	2. 5	1. 875	0. 625
砂 / 水 Z_2	2. 14	4. 4	3. 270	1. 130
石 / 水 Z_3	5. 40	6. 78	6. 090	0. 690
石料特性 Z_4	B 种	A 种		

考虑砼试验的离散性交大, 特规定各种试验均在不同日期重复进行一次作为校核, 各种试验每次每组配方取五个试件的试验结果, 剔除与平均值差别最大的两个数据, 其余三个试验数据平均值 \bar{C} 作为定性结果. 如能满足下式, 即认为是可靠的^[2].

$$\frac{\sqrt{3}}{C_1 + C_2 + C_3} \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 - C_1 C_2 - C_2 C_3 - C_3 C_1} \leq 0.05$$

① 收稿日期: 2001- 01- 23;

第一作者简介: 朱云兰(1958-), 女, 大学本科, 主要从事水利工程施工、建筑材料教学及水工建筑研究.

$$\sqrt{2} \frac{|\overline{C_1} - \overline{C_2}|}{\overline{C_1} + \overline{C_2}} \leq 0.1$$

式中: C_1, C_2, C_3 一分别示砼一组剩余三个试件的试验数据; $\overline{C_1}$ 一第一次试验所获得的砼一组剩余三个砼试件的试验数据平均值; $\overline{C_2}$ 一对应 C_1 配方的第二次(重复)试验, 所获得的砼一组剩余三个砼试件的试验数据平均值.

表 2 砼试验配方组合情况

配方组合	变量码				变量值				每 50kg 砼中的原料/ kg			
	X_1	X_2	X_3	X_4	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	水	水泥	砂	石子
1	1	1	1	1	2.50	4.40	6.78	A	3.406	8.515	14.986	23.093
2	1	1	-1	-1	2.50	4.40	5.40	B	3.759	9.398	16.541	20.300
3	1	-1	1	1	2.50	2.14	6.78	A	4.026	10.064	8.615	27.295
4	1	-1	-1	-1	2.50	2.14	5.40	B	4.529	11.322	9.692	24.457
5	-1	1	1	-1	1.25	4.40	6.78	B	3.723	4.654	16.381	25.242
6	-1	1	-1	1	1.25	4.40	5.40	A	4.149	5.187	18.257	22.407
7	-1	-1	1	-1	1.25	2.14	6.78	B	4.476	5.595	9.579	30.349
8	-1	-1	-1	1	1.25	2.14	5.40	A	5.107	6.384	10.930	27.579

共进行了 12 类试验, 所用试验均由 8 组正交配方构成, 每组配方都进行了 4 次(两种水泥、不同时间)共 20 个试样的制作及检测(共 1960 个)、重复试验及可信度计算, 因此其结果数据反映的趋势是可靠的, 可据此进行定性分析.

1.2 试验方法

所有砼试件严格按照试验规程^[3]进行配料拌和、制作、拆模及养护. 采用 $15 \times 15 \times 15\text{cm}^3$ 的标准立方体试模. 主要进行了以下几类试验:

① 标准抗压强度和抗拉强度(劈裂法)试验;

② 饱和抗压、抗拉强度试验;

③ 快速流一固磨损试验: 将试件按饱和强度试验要求浸泡至恒重后, 记录其饱和重量, 然后置试件于高速水流试验槽内, 使之大部位于槽底之外, 仅一面陷如槽底内 2cm 供冲刷. 经过夹砂 10% 左右、流速 25m/s 的高速水流连续冲刷 5h 后, 各试件均产生了明显的重量损耗. 此后再进行饱和强度试验.

④ 快速冻融试验: 按规程测试试件的抗渗强度, 再称量其饱和重量. 此后按快速冻融试验要求进行冻融试验, 冻结一加温循环 25 次后, 再次测试试件的抗渗强度、饱和重量, 而后再分别进行饱和强度的测定.

⑤ 快速碳化试验: 按规程测定一组试件的抗渗强度, 此后将试件置于容器中以水浸泡, 使其一面露出水面约 1cm, 另取一组试件置于烘箱内, 以 60° 恒温加风烘烤 24h. 将干湿两组试件(含容器)分别送到两个密封塑料箱内, 在 60° 恒温、 CO_2 浓度为 50% 的条件下碳化 14 天. 之后, 先对湿试件进行抗渗强度测定, 而后再对两组试件均进行饱和强度的测定(每组测 3 个试件的抗压强度, 两个试件的抗拉强度, 同时另取一组未碳化试件(对比试件)测试同等龄期的饱和强度, 最后再采用酚酞酒精检测法, 分别量测试件各面的碳化深度.

2 各种老化表象对水工建筑物的实质性影响

将试验结果绘制成曲线, 可知各数据间的相关性. 将明显相关的数据制成相关分析图, 将老化因数对整体承载力的影响制作为承载力变化趋势图(见图 1~ 图 6). 由此进行定性分析, 得出如下结论.

2.1 抗压强度与抗拉强度并不直接关联

从图 1、图 2 可知, 在合理的配比范围内, 砼的抗拉强度主要与 ①水灰比 ②水泥用量密切相关, 而砼的抗压强度与 ①水灰比 ②粗骨料的用量密切相关; 当配比变化时, 砼的饱和抗压与饱和抗拉强度的升(降)趋势并不相同. 如相对第一组配方而言, 第二组配方砼的抗压强度下降而抗拉强度却是上升.

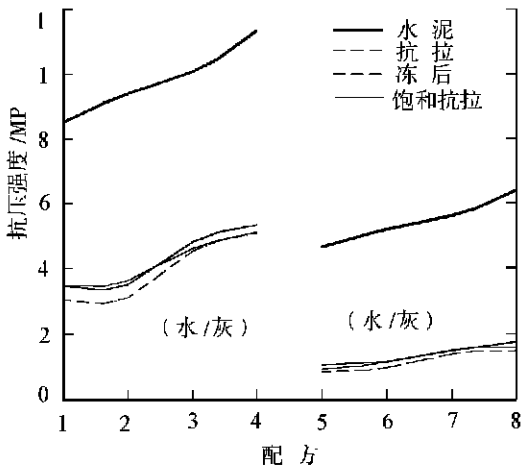


图 1 抗拉及冻融后抗拉强度与水泥用量的相关性图析

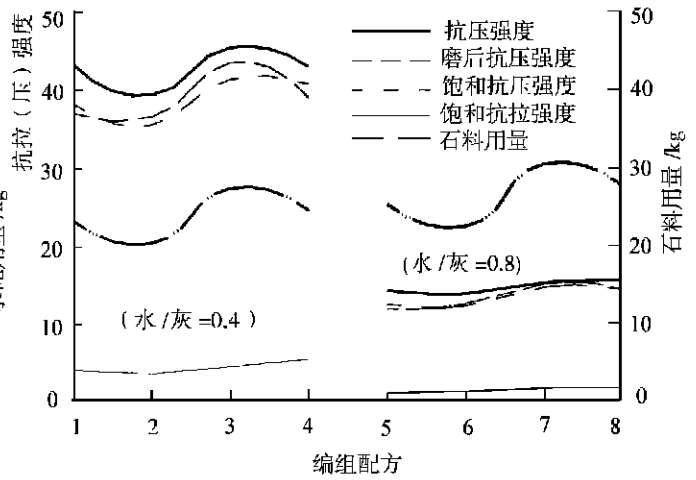


图 2 抗压、抗拉强度与石料用量的相关性图析

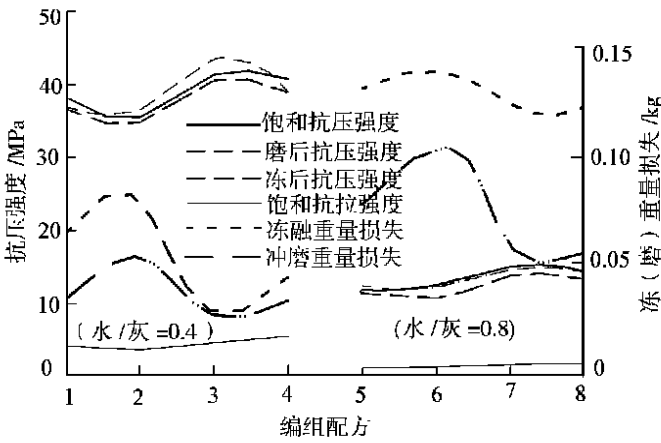


图 3 饱和抗压强度与冻失量、磨失量、冻后抗压强度的相关性及其磨后强度变化图析

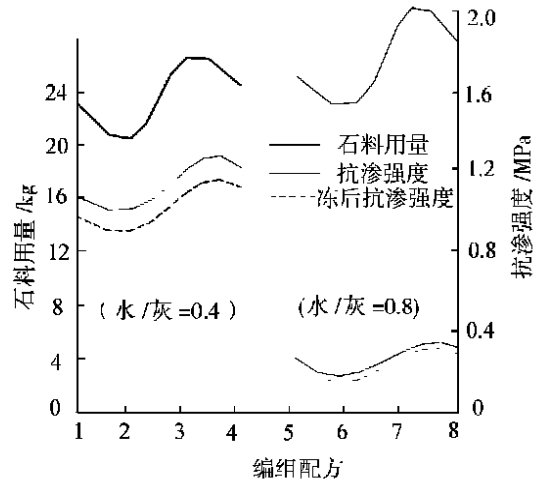


图 4 冻融后抗渗能力与石料用量的相关性图析

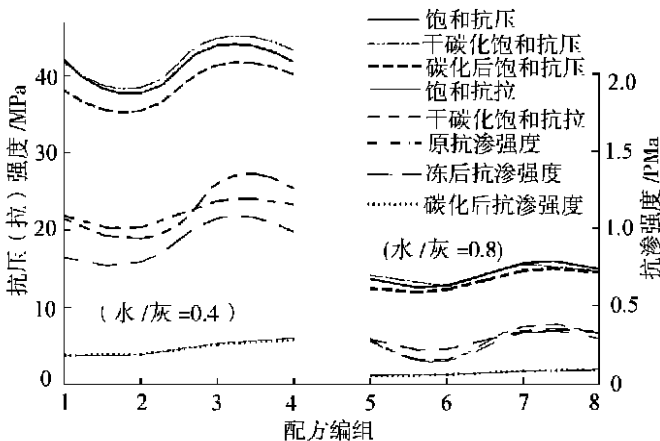


图 5 碳化后的饱和强度与抗渗强度变化图析

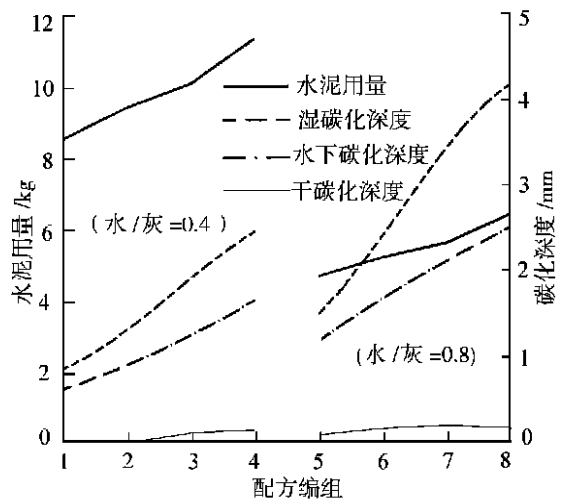


图 6 各种工况的碳化深度与水泥量的相关性图析

传统理论认为砼的抗拉强度正比于抗压强度 ($R_{拉} = 0.5R_{压}^{2/3}$), 这主要是因为水灰比在其中的作用过大, 忽视了水泥、石料的单独影响。实际上, 粗骨料的抗压强度明显高于水泥砂浆块, 在合理范围内曾加石料用量, 对提高砼的抗压强度是十分有益的。而砼的抗拉强度却主要取决于水泥结石的强度, 即水泥粘结力。石料的多少与水泥的粘结力毫无关系, 在水灰比一定的条件下, 增加粘结力的有效途径之一是适当增加水泥用量。为减少水化热盲目减少水泥用量是欠妥的。对抗拉强度、抗渗性或裂缝开展有要求的建筑物, 应当明确提出砼单位水泥用量。抗拉强度是砼的一个相对独立的承载能力, 应作为一个老化指标来进行检测、分析。

2.2 饱和抗压强度明显偏低

由图2知, 砼在水饱和条件下, 其抗压强度明显降低, 水泥用量越少, 被水饱和时其抗压强度下降越多, 即软化系数越小, 耐水性越差。这是由于砼中的水削弱了粗骨料与水泥结石间的粘结力、摩擦力, 使其在承受极限荷载时更易因滑移而破坏。水灰比一定的条件下, 水泥越多, 水泥结石越密实, 砼中的水量相对较少, 骨料间粘结力、摩阻力越大, 砼的饱和抗压强度亦越高。为此, 在砼的抗老化检测时应针对水上水下予以考虑。

砼的抗拉强度在水饱和前后无明显的变化(图1)。可能是由于抗拉强度与材料间的摩阻力关系较小之故。

2.3 冲磨、空蚀对砼内部强度无直接影响

由图3可知, 水灰比越大, 冲磨和空蚀给建筑物造成的重量损失越大, 因水泥水化所需的化学结合水仅占水泥重量的25%左右, 多余水分部分在砼中形成泌水通道, 产生微细裂缝(毛细孔), 另一部分蒸发后在砼中留下较多孔隙, 使砼的密度和强度受到很大的影响。而砼的强度与冲磨损失之间是密切相关的。

同时可看出: 冲磨和空蚀并不降低砼块体的整体强度, 还略有提高, 可能是砼试验离散性误差所致。

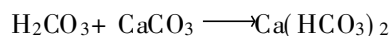
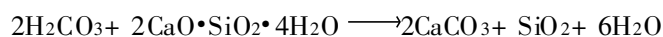
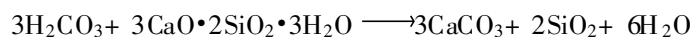
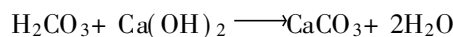
由此可认为: 砼建筑物的内部强度不受高速水流冲刷, 泥砂磨损、浪击以及空蚀等外部能量的直接影响, 这些因素只对其外部有影响, 主要作用有①剥落表面, 减少建筑物的承载截面或厚度; ②使砼表面粗造化, 增加出现或扩大裂缝的可能性, 增大其内部受不利因素侵蚀的可能性; ③增大糙率进一步加剧冲磨和空蚀, 减小过流能力。其与砼整体老化性能直接相关的因素只是砼有效体积减少。其余均为表面病害应侧重及时修复。

2.4 冻融直接影响砼的整体承载力

冻融破坏主要作用是由于砼内部毛细管孔隙内的水结冰所致, 水在结冰时体积增大约(9% - 10%), 当砼受冻时, 空隙内的水首先在砼表层毛细管颈的部位结成冰, 形成冰塞将孔隙水严密地封闭起来, 若温度继续下降, 毛细管内的冻体逐渐增大, 将在管内激起巨大的静水压力, 使管壁受相应的拉应力, 当此拉应力超过砼的极限抗拉强度时, 毛细管壁将发生局部开裂, 冻融循环次数越多, 砼破坏越严重。冻融破坏的结果: 渗透加剧, 砼中水泥结石的有效成分溶蚀, 砼结构内部材料损失, 整体疏松, 强度降低, 从而使建筑物发生实质性的老化。试验证明, 冻融引起的老化程度除了与砼的饱和度、冻融次数和周期、砼水灰比、砼的设计强度密切相关外, 冻融后抗渗能力的变化尚与砼的粗骨料用量有关, 抗拉强度下降幅度与砼的水泥用量有关(图1)。冻融老化主要反应在砼的密度、强度及空隙特征改变等指标上。

2.5 碳化直接影响砼的强度

碳化过程主要是空气中 CO_2 的水化产物碳酸 (H_2CO_3) 与砼中的氢氧化钙或石灰 ($Ca(OH)_2$); 水化硅酸钙生成易溶于水的碳酸氢钙或重碳酸钙 ($Ca(HCO_3)_2$), 其反应式如下:



如果处在有渗透的压力水下生成, 则上述反应将永远达不到平衡, 连续不断的起化学反应, 连续流

失,使砼中水泥石中石灰浓度降低,砼结构疏松发生破坏.

碳化的速度取决于砼内在因素与环境因素.在砼试件较为干燥时,空气中的 CO_2 无法在试件中形成碳酸,缺乏碳化的必要条件,而处于水中的饱和砼,其毛细管被水充满,水气流动性大大降低,碳化反应速度缓慢.碳化速度最快的是水灰比大、水泥用量少(图 6)、长期处于水位升降区、结构表面有裂纹裂缝且受日照较多的砼.

碳化的危害主要体现在三个方面:①碳化的砼出现收缩裂纹孔隙增大,减少了结构有效截面,导致碳化逐渐向结构内部发展.②碳化直接消耗砼的有效粘接成分并随渗透水溶出,使结构疏松,受碳化的砼抗拉、抗压、抗渗能力明显降低.就结构整体而言,抗压和抗渗能力的降低并不明显,抗拉强度的降幅较冻融破坏造成的破坏小得多(图 5).③被碳化砼的 PH 值明显降低,碳化层酸性化.一旦碳化深超过钢筋的砼保护层厚度,就会使钢筋锈蚀、剥落、甚至断裂.因此在钢筋砼中,钢筋的锈蚀程度应当作为一项老化指标加以检测和评价.

3 结 论

水工砼建筑物的老化过程是渗透力、化学溶蚀、冻害、流—固磨损等负荷和环境侵蚀长期共同作用的结果.建筑物表层的疏松、裂缝、碳化及渗水都是老化的表象.表层裂缝、碳化剥蚀等不利因素的增加固然加快了水工砼建筑物的老化过程,然而,对于建筑物整体而言,这些表象的损坏都是可以修复的,只要砼中绝大部分性能良好,就不应当作为失效砼建筑物,更没有必要人为降低其运行效率.砼建筑物能否正常使用,应当取决于各部件的承载力,安全性是否发生了明显的劣化,因此建筑物老化程度应与其各部件的承载力等指标的降低有直接关系.表层病害到承载能力降低是一个从“量变到质变”的过程.

砼建筑物的承载力由各部件的抗压稳定性(大体积砼除外)、抗压能力、砼内钢筋的抗拉力、材料内部及各部件之间的粘结力所决定的.抗渗能力主要取决于材料的密度和孔隙特征以及各部件间的止水设施;降低钢筋抗拉力的主要因素是截面锈蚀;影响砼粘结力的主要因素是砼内部有效成分的变质或溶出,导致抗拉强度和砼容重降低.通过试验研究、分析证明:①抗拉强度、抗渗强度、砼干容重等均与抗压强度关系很不明显,因此老化评价或病害诊断时必须分别检测.②冲磨碳化等外伤与内伤是有区别的;③老化评价应当以内伤因素为依据,对砼建筑物内部应当进行承载力、抗渗能力等试验性指标的检测.

参考文献:

- [1] 杨华舒,王洪等.《基于承载力检测的水工砼建筑物老化程度评估方法》研究成果鉴定材料:云南省自然科学基金资助项目[R],1999年12月.
- [2] the testing of Concrete in Structures[M], J.H. Bungey Surrey University Press, 1982.
- [3] 水工砼试验规程[S]. SDJ105—82,北京:水利水电出版社,1983.

Experimental Research on Aging— factors of Hydraulic Structure Concrete

ZHU Yun— lang, YANG Hua— shu, CHU Fu— tao

(The Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract Based on a series of accelerated aging experiments, this paper presents some new views, First of all, correlation of compressive strength and other performance indexes of concrete is not apparent; secondly, there are conceptual differences between external damages and internal damages of hydraulic structures; lastly, aging evaluation of hydraulic structures should be based on such experimental indexes as internal bearing capacity, impermeable strength and so on.

Key words: hydraulic structure; concrete aging— factors; accelerated— aging experiment