

中华人民共和国行业标准

混凝土耐久性检验评定标准

JGJ/T 193 - 2009

条文说明

## 制 订 说 明

《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009, 经住房和城乡建设部 2009 年 11 月 9 日以第 430 号公告批准、发布。

本标准制订过程中, 编制组进行了广泛而深入的调查研究, 总结了我国工程建设中混凝土耐久性检验评定的实践经验, 同时参考了国外先进技术法规、技术标准, 通过试验取得了混凝土耐久性检验评定的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 《混凝土耐久性检验评定标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。在使用中如果发现本条文说明有不妥之处, 请将意见函寄中国建筑科学研究院建筑材料研究所《混凝土耐久性检验评定标准》标准编制组。

## 目 次

1	总则	14
2	基本规定	15
3	性能等级划分与试验方法	16
4	检验	23
4.1	检验批及试验组数	23
4.2	取样	23
4.3	试件制作与养护	23
4.4	检验结果	23
5	评定	25

# 1 总 则

**1.0.1** 国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 提出了若干混凝土耐久性的标准试验方法，但不包括对试验结果等级的评定，更不包括对工程混凝土耐久性检验结果的评定，而本标准则对混凝土耐久性检验评定作出规定。

**1.0.2** 本条规定了本标准的适用范围。本标准中的“混凝土”指“普通混凝土”，即干表观密度为  $2000\text{kg/m}^3 \sim 2800\text{kg/m}^3$  的水泥混凝土，定义见《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55。

**1.0.4** 本标准的有关内容还应与相应的国家现行有关标准相协调，并避免与相关标准有不必要的重复。

## 2 基本规定

**2.0.1** 用于不同工程的混凝土所需要的耐久性能不同,根据实际情况或设计要求来确定哪些混凝土耐久性项目需要进行检验评定。同时,即使同一检验批的混凝土,不同检验项目的等级或限值可能处于不同的级别,例如某混凝土样品,其抗氯离子渗透性处于Ⅲ级,而其早期抗裂性可能处于Ⅳ级。

本标准规定进行检验评定的混凝土耐久性项目,是当今工程中最主要的混凝土耐久性项目,可以满足工程对混凝土耐久性控制的基本要求。对于一些与耐久性相关的特殊项目,可按照设计要求进行。

**2.0.2** 原材料的质量控制是保证混凝土耐久性的重要环节,与原材料有关的现行标准有:《通用硅酸盐水泥》GB 175、《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52、《混凝土用水标准》JGJ 63、《混凝土外加剂》GB 8076 以及《聚羧酸系高性能减水剂》JG/T 223 等。

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 - 2002 第 7.2 节对原材料的“主控项目”和“一般项目”进行了规定。

**2.0.3** 混凝土的耐久性检验评定应与强度检验评定结合,强度符合要求是耐久性检验评定的前提条件。

**2.0.4** 混凝土配合比设计是保证混凝土耐久性的重要环节,《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 中保证混凝土耐久性的相关技术规定有:最大水胶比、最小胶凝材料用量等。

**2.0.5** 混凝土生产与施工是保证结构中混凝土耐久性的重要环节。为了最大限度保证按本标准进行的耐久性检验评定与实际结构中混凝土的耐久性相当,除了对原材料、配合比设计等提出要求外,还必须加强混凝土生产和施工阶段的质量控制。

### 3 性能等级划分与试验方法

**3.0.1 混凝土的抗冻等级（快冻法）、抗冻标号（慢冻法）、抗渗等级、抗硫酸盐等级的试验方法**已包含等级划分，同时，这些耐久性指标多数在国内已有较长的应用历史并已体现在相关的标准中，因此，本标准将它们单独列出，以便符合目前的工程设计习惯，且能与相关标准相协调。

#### 1) 抗冻等级的划分

美国《混凝土快速冻融试验方法标准》（Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing）ASTM C 666 确定的快速冻融法以耐久性指数 DF 来表征混凝土的抗冻融性能。DF 的计算以预设的总循环次数（最大为 300 次）为基础，实质上体现了混凝土试件耐受冻融循环的次数。我国《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 以抗冻等级综合反映混凝土的抗冻性能。

《水工建筑物抗冰冻设计规范》DL/T 5082 - 1998 将按快冻法测试的抗冻等级分为 F400、F300、F200、F150、F100、F50 六级。《水运工程混凝土质量控制标准》JTJ 269 - 96 对水位变动区有抗冻要求的混凝土进行了规定，针对海水环境、淡水环境分别采用的混凝土抗冻等级有 F100、F150、F200、F250、F300、F350 六个等级。抗冻等级的适用范围可参考该标准的相关规定进行选用。

《水运工程混凝土质量控制标准》JTJ 269 - 96 对水位变动区有抗冻要求的混凝土进行了规定，见表 1。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 - 2004 对水位变动区混凝土抗冻等级的要求与表 1 一致。

表 1 水位变动区混凝土抗冻等级选定标准

建筑所在地区	海水环境		淡水环境	
	钢筋混凝土及 预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土及 预应力混凝土	素混凝土
严重受冻地区（最冷月平均 气温低于 $-8^{\circ}\text{C}$ ）	F350	F300	F250	F200
受冻地区（最冷月平均 气温在 $-8^{\circ}\text{C}\sim-4^{\circ}\text{C}$ 之间）	F300	F250	F200	F150
微冻地区（最冷月平均 气温在 $-4^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间）	F250	F200	F150	F100

注：1 试验过程中试件所接触的介质应与建筑物实际接触的介质相近；

2 开敞式码头和防波堤等建筑物混凝土应选用比同一地区高一级的抗冻等级。

《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》对冻融环境进行了分类，并根据不同的设计使用年限和环境作用等级，规定设计使用年限分别为 100 年、60 年和 30 年的混凝土抗冻等级（56d 龄期）分别为 $\geq F300$ 、 $\geq F250$  和 $\geq F200$ 。

对于有抗冻要求的结构，应根据气候分区、环境条件、结构构件的重要性以及用途等情况提出相应的抗冻等级要求，具体要求可参见相关标准。

### 2) 抗冻标号的等级划分

根据目前结构混凝土慢冻法的研究结果，D25 的混凝土抗冻性能很差，一般不能满足有抗冻要求的工程需要，因此本标准将 D50 作为抗冻标号的最低等级。考虑到慢冻法试验周期较长的实际情况，且 D200 也足以反映混凝土在慢冻条件下良好的耐久性能，D200 以上不再进行更详细的划分。

### 3) 抗渗等级的划分

采用逐级加压法测得的抗水渗透等级在我国有着广泛的应用。《混凝土质量控制标准》GB 50164 - 92 将混凝土抗渗等级划分为 S4、S6、S8、S10、S12 五个等级 [各个标准中抗（水）渗

等级的表示符号不同,应注意区分,有关标准中的 S、W 与本标准中的 P 含义相同]。《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 - 2000 将抗渗混凝土 (impermeable concrete) 定义为抗渗等级等于或大于 P6 级的混凝土。《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069 - 2002 根据最大作用水头与混凝土壁、板厚度之比值  $i_w$  来设计抗渗等级:  $i_w$  小于 10 时,抗渗等级为 S4;  $i_w$  大于 30 时,抗渗等级为 S8; 介于二者之间的抗渗等级为 S6。

《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057 - 1996 将混凝土抗渗等级分为 W2、W4、W6、W8、W10、W12 六级。《水运工程混凝土施工规范》JTJ 268 - 1996 以及《水运工程混凝土质量控制标准》JTJ 269 - 96 按照最大作用水头与混凝土壁厚之比,对抗(水)渗等级作出了相应的规定(见表 2)。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 - 2004 对结构混凝土抗渗等级的要求与表 2 一致。

表 2 混凝土抗渗等级

最大作用水头与混凝土壁厚之比	<5	5~10	11~15	16~20	>20
抗渗等级	W4	W6	W8	W10	W12

对于有抗渗要求的结构,应根据所承受的水头、水力梯度、水质条件和渗透水的危害程度等因素进行确定,具体要求可参见相关标准。

#### 4) 抗硫酸盐等级划分

抗硫酸盐侵蚀试验的评定指标为抗硫酸盐等级。《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 规定:当抗压强度耐蚀系数低于 75%,或者达到规定的干湿循环次数即可停止试验,此时记录的干湿循环次数即为抗硫酸盐等级。

抗硫酸盐侵蚀试验一般只有当工程环境中有较强的硫酸盐侵蚀时才进行该试验,因此,为保证此类工程具有足够的抗硫酸盐侵蚀性能,将下限值设为 KS30。系统的试验结果表明,能够经历 150 次以上抗硫酸盐干湿循环的混凝土,具有优异的抗硫酸盐



侵蚀性能，故将 KS150 定为分级的上限值。

**3.0.2** 按照氯离子迁移系数将混凝土抗氯离子渗透性能划分为五个等级，分别用 RCM-I、RCM-II、RCM-III、RCM-IV 和 RCM-V 来表示。从 I 级到 V 级，表示混凝土抗氯离子渗透性能越来越高。与 I~V 级对应的混凝土耐久性水平推荐意见见表 3，该表定性地描述了等级代号所代表的混凝土耐久性性能的高低。

同样，用 Q-I~Q-V 来代表按电通量划分的混凝土抗氯离子渗透性能等级，用 T-I~T-V 代表混凝土的抗碳化性能等级，用 L-I~L-V 代表混凝土的早期抗裂性能等级。从 I 级到 V 级的代号含义，均可参照表 3 理解。需要说明的是，这种定性评价仅对混凝土材料本身而言，至于是否符合工程实际的要求，则需要结合设计和施工要求进行确定。

表 3 等级代号与混凝土耐久性水平推荐意见

等级代号	I	II	III	IV	V
混凝土耐久性水平 推荐意见	差	较差	较好	好	很好

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 规定抗氯离子渗透性试验（RCM 法）的试验龄期可以为 28d、56d 或 84d，这是为了照顾到所有的混凝土种类，并尽可能缩短试验周期。但是，测试混凝土氯离子迁移系数往往是针对海洋等氯离子侵蚀环境，而此类工程的混凝土中一般都需要掺入较多的矿物掺合料，若以 28d 龄期作为测试时间，则不够合理，而在 84d 龄期测试相对比较合理。因此，84d 龄期的测试指标多为跨海桥梁等工程设计所采用，例如我国杭州湾大桥，以 84d 龄期的混凝土氯离子迁移系数作为控制要求，不同结构部位的控制阈值分别为： $1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $3.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  和  $3.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。马来西亚槟城第二跨海大桥也以 84d 龄期抗氯离子迁移系数作为设计指标。

试验研究表明，如果 84d 龄期的混凝土氯离子迁移系数小于

$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , 则表明混凝土具有较好的抗氯离子渗透性能。因此, 本标准以 84d 龄期的试验值进行评定。

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 规定抗氯离子渗透性试验(电通量法)的试验龄期可以为 28d 或 56d。为缩短试验周期, 对于以硅酸盐水泥为主要胶凝材料的混凝土, 一般试验龄期为 28d。但是对于大掺量矿物掺合料的混凝土, 28d 的试验结果可能不能准确反映混凝土真实的抗氯离子渗透性能, 故允许采用 56d 的测试值进行评定。本标准明确了大掺量矿物掺合料的混凝土指: 混凝土中水泥混合材与矿物掺合料之和超过胶凝材料用量的 50%, 其中, 胶凝材料用量包括水泥用量与矿物掺合料用量之和。

《铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定》对氯盐环境进行了分类, 并根据不同的设计使用年限和环境作用等级, 规定了混凝土的电通量(56d)等级(见表 4)。另外, 该标准还规定氯盐环境和化学侵蚀环境下混凝土的电通量一般不超过 1500C, 有的则需要小于 800C 或 1000C。

表 4 混凝土的电通量

设计使用年限级别		一 (100 年)	二 (60 年)、三 (30 年)
电通量 (C) (56d)	<C30	<2000	<2500
	C30~C45	<1500	<2000
	≥C50	<1000	<1500

《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTJ 275 - 2000 对高性能混凝土的电通量要求不超过 1000C。需要注意的是, 该标准对电通量的测试龄期要求是: 标准条件下养护 28d, 试验应在 35d 内完成; 对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉的混凝土, 可按 90d 龄期的试验结果评定。

本标准电通量的等级划分部分参照了美国《用电通量法测试混凝土的抗氯离子侵入性能试验方法标准》(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chlo-

ride Ion Penetration) ASTM C 1202 的规定 (表 5)。我国其他有关标准也是参考该标准制订。

表 5 基于电通量的氯离子渗透性

电通量 (C)	>4000	2000~4000	1000~2000	100~1000	<100
氯离子渗透性评价	高	中等	低	很低	可忽略

**3.0.3** 系统的试验研究表明,在快速碳化试验中,碳化深度小于 20mm 的混凝土,其抗碳化性能较好,一般认为可满足大气环境下 50 年的耐久性要求。在工程实际中,碳化的发展规律也基本与此相近。在其他腐蚀介质的共同侵蚀下,混凝土的碳化会发展得更快。一般公认的是,碳化深度小于 10mm 的混凝土,其抗碳化性能良好。许多强度等级高、密实性好的混凝土,在碳化试验中会出现测不出碳化的情况。目前,《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51-2002 根据不同的使用条件对砂轻混凝土的碳化深度进行了规定 (表 6)。在抗碳化性能方面,有些种类的轻骨料混凝土与普通混凝土相近,有些种类则比普通混凝土略差一些。

表 6 砂轻混凝土的碳化深度值

等 级	使用条件	碳化深度 (mm)
1	正常湿度,室内	$\leq 40$
2	正常湿度,室外	$\leq 35$
3	潮湿,室外	$\leq 30$
4	干湿交替	$\leq 25$

注: 1 正常湿度系指相对湿度为 55%~65%;

2 潮湿系指相对湿度为 65%~80%;

3 碳化深度值相当于在正常大气条件下,即  $\text{CO}_2$  的体积浓度为 0.03%、温度为  $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  环境条件下,自然碳化 50 年时混凝土的碳化深度。

**3.0.4** 中国建筑科学研究院采用刀口法试验对混凝土早期的抗裂性能进行了系统的研究,结果发现,抗裂性能好的混凝土,单位面积上的总开裂面积很小,通常在  $100\text{mm}^2/\text{m}^2$  以内;当单位

面积上的总开裂面积超过  $1000\text{mm}^2/\text{m}^2$  时，混凝土的抗裂性能较差；而单位面积上的总开裂面积在  $700\text{mm}^2/\text{m}^2$  左右时，混凝土抗裂性能也出现一个较为明显的变化。据此，将混凝土的早期抗裂性能进行了等级划分。

**3.0.5** 本标准规定的测试方法均出自《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082。

## 4 检 验

### 4.1 检验批及试验组数

4.1.1 本条为检验批的划分提供了明确的依据。

4.1.2 本条规定与《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 协调。

4.1.3 混凝土耐久性检验项目的确定见本标准第 3.0.1 条的规定。例如,某一检验批按照设计要求需要对抗碳化性能和抗硫酸盐侵蚀性能进行检验评定时,需要各做不少于一组的抗碳化试验和抗硫酸盐侵蚀试验。

### 4.2 取 样

4.2.2 从同一盘或同一车混凝土中取样以保证试件制作的匀质性。由于搅拌设备、运输设备首次启用可能造成混凝土的组分不具有代表性,因此不宜在首盘或首车混凝土中取样。

4.2.4 取样记录包含了影响混凝土耐久性试验结果的因素,有时对解释检验结果有用。因此,取样记录包含了多种信息。

### 4.3 试件制作与养护

4.3.1 本条规定了取样与试件制作的时间要求。

4.3.2 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 规定了一般混凝土试件的制作与养护,《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 在此基础上针对具体的试验方法进行了更为详细的规定。

### 4.4 检 验 结 果

4.4.1 按《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》

GB/T 50082 进行试验得到的结果为试验结果。如果检验批只进行了一组试验，试验结果即为检验结果。对于一组以上的试验结果，取偏于安全者作为检验结果，如：快冻法试验进行了 2 组，其试验结果分别为 F125 和 F150，取最小值 F125，但 F125 介于本标准表 3.0.1 所规定的 F100 和 F150 之间，此时取 F100 作为检验结果。

**4.4.2** 本条规定取偏于安全的试验结果作为检验结果。

## 5 评 定

**5.0.1** 本条规定了对混凝土耐久性先进行分项评定。

**5.0.2** 在分项评定的基础上，对检验批的耐久性进行总体评定。

**5.0.3** 对于存在不合格检验项目的检验批，由专家进行评审并提出处理意见为妥。



1 5 1 1 2 1 7 7 7 8

统一书号: 15112 · 17778  
定 价: 10.00 元