

广东省标准



DBJ 15-XX-2020
备案号 J XXXXX-2020

混凝土氯离子质量控制标准

Standard for quality control of concrete chloride ion

(征求意见稿)

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

广东省住房和城乡建设厅 发布

本标准不涉及专利

广东省标准

混凝土氯离子质量控制标准

Standard for quality control of concrete chloride ion

DBJ ××-××-××

住房和城乡建设部备案号：

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

施行日期：2020年××月××日

××××出版社

2020

前 言

根据广东省建设厅《关于发布做好 2018 年广东省工程建设标准制修订工作的通知》（粤建科函[2018]2954 号的要求）和《关于同意广东省标准〈预拌混凝土用海砂应用技术规程〉名称和编制单位的函》的要求起草，由广州市建筑科学研究院有限公司和广东省建筑科学研究院股份有限公司会同有关单位共同起草。标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上制订了本标准。

本标准共分 7 章和 3 个附录，主要内容为：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 技术要求；5. 质量控制；6. 检测方法；7. 检验与验收；附录 A、附录 B 和附录 C。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由广州市建筑科学研究院有限公司和广东省建筑科学研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。

本标准在实施的过程中，请各单位结合工程实践总结经验，并将意见和建议反馈给广州市建筑科学研究院有限公司（地址：广州市白云大道北 833 号，邮政编码：510440，Email:wenzi311@163.com），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：广州市建筑科学研究院有限公司

广东省建筑科学研究院集团股份有限公司

本标准参编单位：广州建设工程质量安全检测中心有限公司

中交四航工程研究院有限公司

深圳市建筑科学研究院股份有限公司

广州市建设工程质量安全检测中心

广东省建筑材料研究院

广州大学

广州市建设工程质量监督站

东莞市建设工程质量监督站

广州兴业混凝土搅拌有限公司

本标准主要起草人：徐海军 李建新 祝 雯 熊建波 钟开红 陈 伟 程从密

任 俊 王新祥 张志军 马庆辉 黄晓丽 马 旭 汤小平

庄梓豪 赵汝英 许艳平 宋 婧 张 胜

本标准主要审查人员：

目次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	2
3 基本规定.....	4
4 技术要求.....	5
4.1 原材料.....	5
4.2 混凝土拌合物.....	5
4.3 硬化混凝土.....	6
5 质量控制.....	7
5.1 原材料.....	7
5.2 混凝土的生产、运输和施工.....	7
5.3 硬化混凝土.....	8
6 检测方法.....	9
6.1 原材料中氯离子含量.....	9
6.2 混凝土拌合物中氯离子含量.....	9
6.3 硬化混凝土中氯离子含量.....	10
6.4 既有结构或预制构件中氯离子含量.....	10
7 检验与验收.....	12
7.1 原材料.....	12
7.2 混凝土拌合物氯离子含量检验.....	12
7.3 硬化混凝土氯离子含量检验.....	13
7.4 既有结构或预制构件中的氯离子含量检验.....	13
附录 A 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量快速测试方法.....	15
附录 B 硬化混凝土中水溶性氯离子含量测试方法.....	17
附录 C 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量测试方法.....	20
本规范用词说明.....	23
引用标准名录.....	24

Contents

1 General Provisions.....	1
2 Terms and Symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	2
3 Basic Requirements.....	4
4 Technical Requirements.....	5
4.1 Raw Materials.....	5
4.2 Fresh Concrete.....	5
4.3 Hardened Concrete.....	6
5 Quality Control.....	7
5.1 Raw Materials.....	7
5.2 Concrete Production, transportation and construction.....	7
5.3 Hardened Concrete.....	8
6 Test Method.....	9
6.1 Chloride Ion Content in Raw Materials.....	9
6.2 Chloride Ion Content in Fresh Concrete.....	9
6.3 Chloride Ion Content in Hardened Concrete.....	10
6.4 Chloride Ion content in Existing Structures or Prefabricated Elements.....	10
7 Inspection and Acceptance.....	12
7.1 Inspection of Raw Materials.....	12
7.2 Inspection of Fresh Concrete.....	12
7.3 Inspection of Hardened Concrete.....	13
7.4 Inspection of Existing Structures or Prefabricated Elements.....	13
Appendix A Quick Test Method for the Water-soluble Chloride Ion Content in Fresh Concrete.....	15
Appendix B Automatic Potentiometric Titration Method for Water-soluble Chloride Ion Content in Hardened Concrete.....	17
Appendix C Test Method for the Acid-soluble Chloride Ion in hardened concrete.....	20
Explanation of Wording in This Specification.....	23
List of Quoted Standards.....	24

1 总则

1.0.1 为规范混凝土氯离子质量控制，保证广东省混凝土结构工程的耐久性，做到技术先进、合理、安全适用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工业与民用建筑，道桥及市政设施工程用混凝土氯离子质量控制、检验与验收。

1.0.3 混凝土中氯离子质量控制除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和广东省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 水溶性氯离子 water-soluble chloride ion

混凝土中可溶于水的氯离子。

2.1.2 酸溶性氯离子 acid-soluble chloride ion

混凝土中用规定浓度的酸溶液溶出的氯离子。

2.1.3 氯离子总含量计算值 calculated value of total chloride ion

根据混凝土中各原材料氯离子含量计算出的混凝土氯离子总含量理论值,按胶凝材料用量百分比计。

2.1.4 淡化处理 washing treatment

采用专用设备对海砂进行淡水淘洗并使其水溶性氯离子符合本标准要求的生产过程。

2.1.5 胶凝材料用量 binder content

每立方米混凝土中水泥用量和活性矿物掺合料用量之和。

2.1.6 回收水 recycled water

混凝土搅拌及运输设备以及厂区内的冲洗水等收集用循环水。

2.2 符号

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液的浓度;

C_{NaCl} ——氯化钠标准溶液的浓度;

C_{Cl^-} ——相应拌合水中氯离子浓度;

β ——混凝土水灰比;

m ——砂浆样品质量;

m_B ——混凝土配合比中每立方米混凝土的胶凝材料用量;

m_C ——混凝土配合比中每立方米混凝土的水泥用量;

m_S ——混凝土配合比中每立方米混凝土的砂用量;

m_W ——混凝土配合比中每立方米混凝土的用水量;

m_{Cl^-} ——每立方米混凝土拌合物中水溶性氯离子质量;

P_C ——混凝土拌合物中氯离子含量；

$W_{Cl^-}^w$ ——硬化混凝土中水溶性氯离子占胶凝材料的质量百分数；

$W_{Cl^-}^s$ ——硬化混凝土中酸溶性氯离子占胶凝材料的质量百分数；

3 基本规定

3.0.1 混凝土氯离子质量控制应从原材料、混凝土生产、运输和施工等方面进行。

3.0.2 混凝土氯离子最大含量应根据结构所处的环境类别、混凝土类型、结构设计使用年限确定。

3.0.3 混凝土配合比设计应根据混凝土氯离子最大含量允许值进行原材料的选用。

3.0.4 对混凝土的氯离子含量进行检验与验收时，不得采用氯离子总含量计算值替代。

3.0.5 本标准中混凝土拌合物氯离子含量按水泥质量百分比计，硬化混凝土氯离子含量按胶凝材料质量百分比计。

3.0.6 对混凝土氯离子质量控制有特殊要求时，应制定混凝土氯离子质量控制专项方案。

4 技术要求

4.1 原材料

4.1.1 水泥中的氯离子含量不应大于 0.10%。

4.1.2 钢筋混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.03%，预应力混凝土用砂的氯离子含量不应大于 0.02%。

4.1.3 粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅粉等掺合料中的氯离子含量不应大于 0.06%。

4.1.4 外加剂中的氯离子含量不应大于 0.6%。

4.1.5 对于钢筋混凝土结构，拌合用水中氯离子含量不得超过 1000mg/L；对于预应力混凝土结构，拌合水中氯离子含量不得超过 500mg/L。对于设计使用年限为 100 年的结构混凝土，拌合水中氯离子含量不得超过 500mg/L。

4.2 混凝土拌合物

4.2.1 设计使用年限为 50 年的混凝土结构，混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合表 4.2.1 的要求。

表 4.2.1 混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量

(按水泥用量的质量百分比，%)

环境条件	水溶性氯离子最大含量		
	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	0.06	1.00
潮湿但不含氯离子的环境	0.20		
潮湿且含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.10		
海风等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06		

注：海风等侵蚀性物质的腐蚀环境包括：距平均水位以上 15m 高度范围内的海上大气区，以及距离涨潮海岸线 100m 以内，低于海平面以上 15m 的陆上室外环境。

4.2.2 设计使用年限为 100 年的钢筋混凝土结构，混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量不得超过 0.06%。

4.2.3 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应作为混凝土生产出厂和进场交货检验控制指标，工程验收应以硬化混凝土中氯离子含量检测结果为最终依据。

4.3 硬化混凝土

4.3.1 设计使用年限为 50 年的混凝土结构，硬化混凝土中氯离子最大含量应符合表 4.3.1 的要求。

表 4.3.1 硬化混凝土氯离子最大含量

(按胶凝材料用量的质量百分比计，%)

分类		氯离子最大含量	
		水溶性	酸溶性
钢筋混凝土	干燥环境	0.25	0.30
	潮湿且含有氯离子或盐渍土环境	0.08	0.10
	潮湿但不含氯离子环境	0.15	0.20
	海风等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06	0.06
预应力混凝土		0.06	0.06
素混凝土		1.00	1.00

4.3.2 设计使用年限为 100 年的混凝土结构，硬化混凝土中氯离子最大含量不得超过 0.06%。

5 质量控制

5.1 原材料

5.1.1 混凝土原材料进场时应严格控制氯离子含量。

1 每批砂进场时，必须进行氯离子含量检验。

2 每批水泥、粉煤灰、矿渣粉等胶凝材料及外加剂进场时，应查验其出厂检验报告或合格证中氯离子含量。对出厂检验或合格证中无氯离子含量参数时，应加强氯离子检验控制，对每批进行氯离子含量检测，必要时委托第三方检测机构进行检验。

3 用于生产的回收水，应定期监测其氯离子含量。

5.1.2 建设用砂不宜采用海砂，严禁使用未经淡化处理的海砂。

5.1.3 对于海水环境浪溅区、水位变动区、海风环境外漏的钢筋混凝土，宜在混凝土中掺入缓蚀剂或阻锈剂，并经实验验证。

5.1.4 海砂不得用于预应力混凝土。

5.1.5 对存在氯盐侵蚀风险且非封闭存储的混凝土用石子，应参照砂中氯离子含量的技术要求及试验方法进行控制。

5.1.6 混凝土生产用回收水在经过试验验证对混凝土及钢筋性能无影响时方可作为混凝土拌合用水，且应有具体使用技术方案。

5.1.7 原材料应按品种、规格分别储存，不得混入影响混凝土质量的有害杂质；对于海边堆放的原材料，应做好遮盖或封存，避免二次氯盐污染。

5.2 混凝土的生产、运输和施工

5.2.1 在进行混凝土配合比设计时，应结合各原材料中的氯离子含量，对混凝土中氯离子含量进行理论计算，理论计算值应符合表 4.2.1 的规定。

5.2.2 在混凝土生产、运输和施工过程中，不得引入氯离子等有害介质。

5.2.3 混凝土配合比送第三方检测机构验证过程中应检验拌合物氯离子含量。

5.2.3 在混凝土出厂检验时，应对拌合物氯离子含量进行检验。

5.2.4 拌合物氯离子含量不合格时，该批混凝土不得出厂，应对拌合物氯离子不合格的配合比重新设计，核查调整。

5.2.5 混凝土施工过程中，应由第三方检测机构进行混凝土拌合物中氯离子含量检验。

5.3 混凝土的养护

5.3.1 钢筋混凝土、预应力混凝土或预制构件不得使用海水进行养护。

5.3.2 采用喷洒养护剂方式进行混凝土养护时，养护剂的类型和使用方法应符合相关规范要求。

5.3.3 回收水经过处理，使其满足《混凝土用水标准》JGJ63 时，可用作混凝土养护用水。

6 检测方法

6.1 原材料中氯离子含量

6.1.1 水泥中氯离子含量应按标准《水泥化学分析方法》GB/T 176 进行检测。

6.1.2 混凝土用砂中氯离子含量应按标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 进行检测，并修约至 0.001%。

6.1.3 混凝土用石中氯离子含量参照标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 进行检测，先对石子进行破碎，过 5mm 筛孔，并按照砂中氯离子含量测试方法进行，结果修约至 0.001%。

6.1.4 粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等掺合料中的氯离子含量应按标准《水泥化学分析方法》GB/T176 进行检测。

6.1.5 混凝土外加剂中氯离子含量应按标准《混凝土外加剂匀质性检验方法》GB/T 8077 进行检测。

6.1.6 混凝土拌合用水中氯离子含量应按标准《水质 氯化物的测定》GB/T 11896 进行检测。

6.2 混凝土拌合物中氯离子含量

6.2.1 工程现场混凝土拌合物的取样应随机从同一搅拌车中取样，取样时应使混凝土充分搅拌均匀，并在卸料量约为 1/4~3/4 之间取样，混凝土取样量不应少于 20L。

6.2.2 混凝土拌合物氯离子取样检测应自加水搅拌起 2h 内完成。

6.2.3 混凝土拌合物取样时应记录下列信息：

- 1 取样时间、取样地点和取样人；
- 2 混凝土的加水搅拌时间；
- 3 混凝土配合比。

6.2.4 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量的快速测定应按照本标准附录 A 进行，当存在争议时，按照现行行业标准《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中附录 B 的方法进行。

6.2.5 按照本标准附录 A 进行混凝土拌合物中氯离子含量检测时，每次检测前均应重新建立电位-氯离子浓度 E-IgC 工作关系曲线。

6.2.6 混凝土拌合物水溶性氯离子含量应取两次试验的平均值作为检测结果。

6.3 硬化混凝土中氯离子含量

6.3.1 当检测硬化混凝土中氯离子含量时，可采用标准养护试件或同条件养护试件。存在争议时，应采用标准养护试件。

6.3.2 当检测硬化混凝土中氯离子含量时，标准养护试件测试龄期宜为 28d，不应早于 14d，同条件养护试件的等效养护龄期宜为 $600^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。

6.3.3 用于检测硬化混凝土氯离子含量试件的制作和养护应符合《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T50081 的有关规定；也可采用混凝土抗压强度测试后的破碎试件进行检测。

6.3.4 用于检测氯离子含量的硬化混凝土试件应以 3 个为一组，并应从同一组混凝土试件中取样。

6.3.5 硬化混凝土氯离子含量试件制作时应记录下列信息：

- 1 试件制作时间、制作人；
- 2 养护条件；
- 3 混凝土配合比；
- 4 试件对应的工程及其代表的结构部位。

6.3.6 从每个试件内部各取应不少于 200g 的混凝土试样，去除混凝土试样中的石子，将 3 个试样的砂浆破碎后混合均匀，并应研磨至全部通过筛孔公称直径为 0.16mm 的筛；研磨后的砂浆粉末应置于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒重，取出后应放入干燥器冷却至室温备用。取样过程应带上干净的聚乙烯手套，避免裸手直接接触硬化混凝土，防止氯离子污染。

6.3.7 硬化混凝土中水溶性氯离子含量的检测应按本标准附录 B 进行。

6.3.8 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量的检测应按照本标准附录 C 进行。

6.3.9 当存在争议时，采用酸溶法作为仲裁法。

6.4 既有结构或预制构件中氯离子含量

6.4.1 在对既有结构或预制构件混凝土进行氯离子含量检测时，检测样品可采用同条件养护混凝土试件；当缺少同条件养护试件时，可从既有结构或预制构件中钻取混凝土芯样检测混凝土中氯离子含量。

6.4.2 当检测既有结构或预制构件混凝土氯离子含量时，同条件养护试件的等效养护龄期宜

为 $600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ；钻取芯样试件测试龄期宜为 28d，且不应早于 14d。

6.4.3 钻取混凝土芯样检测氯离子含量时，取样深度不应小于钢筋保护层厚度。同一批混凝土钻取一组芯样，每组芯样的取样数量不应少于 3 个。

6.4.4 当结构部位已经出现钢筋锈蚀、顺筋裂缝等明显劣化现象时，应在相应部位取样，每组芯样的取样数量应增加一倍，同一结构部位的芯样应为同一组。

6.4.5 取得的样品应密封保存和运输，不得被其他物质污染。

6.4.6 取样时应进行编号并记录下列信息：

- 1 取样时间、取样地点和取样人；
- 2 工程名称、结构部位；
- 3 取样方案简图和样品数量；
- 4 混凝土配合比。

6.4.7 既有结构或预制构件混凝土中氯离子含量的检测应从同一组混凝土芯样中取样。应从每个芯样内部各取不少于 200g 混凝土试样，去除混凝土试样中的石子后，应将 3 个试样的砂浆破碎后混合均匀，并应研磨至全部通过筛孔公称直径为 0.16mm 的筛；研磨后的砂浆粉末应置于 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒重，取出后应放入干燥器冷却至室温备用。

6.4.8 既有结构或预制构件混凝土中水溶性氯离子含量的检测应按照本标准附录 B 进行。

6.4.9 既有结构或构件混凝土中酸溶性氯离子含量的检测应按照本标准附录 C 进行。

6.4.10 当存在争议时，采用酸溶法作为仲裁法。

7 检验规则与验收

7.1 原材料中氯离子含量

7.1.1 原材料进场时，原材料供应商应提供该批次材料的合格证、出厂检验报告、型式检验等质量证明文件，特殊材料还应具有使用说明书。

7.1.2 原材料出场合格证或出厂检验报告应注明氯离子含量，进场检验的氯离子含量控制应符合以下规定：

1 建设用砂应每批进行氯离子含量检验。

2 受氯盐侵蚀影响的石子应按砂氯离子含量的技术要求，每批进行氯离子含量检验。

3 胶凝材料首次应用时，应进行氯离子含量检验。同厂家、同品牌、同品种的水泥、粉煤灰和矿渣粉等胶凝材料每年应进行不少于 1 次氯离子含量检验。

4 外加剂首次应用时，应进行进行氯离子含量检验。同厂家、同类型的外加剂，每季度应进行不少于 1 次氯离子含量检验。

5 拌合用水氯离子含量检验应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定，自来水不作检验要求。

7.1.4 当混凝土拌合物氯离子检验不合格或有其他怀疑时，应对各原材料进行氯离子含量检验。

7.1.5 原材料的检验结果应符合本标准第 4 章的规定，检验批次原则上按照《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。

7.2 混凝土拌合物氯离子含量

7.2.1 混凝土拌合物氯离子检验分为出厂检验和交货检验。出厂检验的取样和试验工作由混凝土供方实施，交货检验的取样和试验工作由混凝土需方实施。

7.2.2 同一砂源的混凝土出厂前，由供方进行不少于 1 次拌合物水溶性氯离子检验。

7.2.3 同一工程、同一配合比的混凝土拌合物中水溶性氯离子含量交货检验不应少于 1 次，由第三方检测机构负责检验；当混凝土原材料发生变化时，应重新对混凝土拌合物中水溶性氯离子含量进行检验。

7.2.4 混凝土生产企业，每年应委托第三方检测机构对同一配合比混凝土进行不少于 1 次拌合物氯离子检验。

7.2.5 在施工过程中，根据工程质量控制需要，可随机在浇注地点取样进行混凝土拌合物氯离子检验。

7.2.6 混凝土拌合物氯离子出厂检验不合格时不得出厂，交货检验不合格时混凝土应进行退

货处理。

7.3 硬化混凝土氯离子含量检验

7.3.1 混凝土应进行硬化混凝土氯离子含量检验，对于重点工程或设计有特殊要求时宜采用酸溶法，均应满足本标准要求。

7.3.2 同一工程、同一强度等级混凝土，硬化混凝土氯离子含量检测数量应不少于 1 组。

7.3.3 硬化混凝土氯离子检测应由具有资质的第三方检测机构进行。

7.3.4 硬化混凝土氯离子含量检测结果符合表 4.3.1 的规定时，判为合格。当出现不合格时，应对同一批次实体混凝土双倍取样按酸溶法进行复检，若复检结果全部合格，判为合格，若复检结果仍有不合格，判为不合格。

7.3.5 当混凝土氯离子按配合比计算的混凝土氯离子含量理论计算值或拌合物氯离子含量检测不合格，且已应用于工程混凝土时，应对该批次及相邻两批次硬化混凝土进行氯离子检测。最终以硬化混凝土氯离子检测结果为准。

7.3.6 硬化混凝土氯离子含量存在争议时，应以酸溶性氯离子含量作为最终结果进行评定。

7.3.7 当硬化混凝土中氯离子含量不合格时，应由施工单位和混凝土生产单位提出总结分析报告及质量事故预案，并通过专家论证评估后，制定后续专项处理技术方案，经设计复核后执行。

7.4 既有结构或预制构件中的氯离子含量检验

7.4.1 当出现以下情况时，应进行既有结构氯离子检验：

- 1 当砂氯离子含量不合格，且已用于工程混凝土时；
- 2 当各原材料氯离子含量按配合比计算的混凝土氯离子含量理论计算值或拌合物氯离子检验结果超过表 4.2.1 的规定，且该批混凝土已用于工程结构实体时；
- 3 工程结构实体验收时；
- 4 对混凝土氯离子含量有怀疑时；
- 5 工程质量鉴定等其他需要时。

7.4.2 预制构件中的氯离子检验分为出厂检验和交货检验：

- 1 同一工程、同一砂源、同一配合比的预制构件出厂时，氯离子含量检测应不少于 1 组；
- 2 同一工程、同一砂源、同一配合比的预制构件交货检验不应少于 1 次，由第三方检测机构负责检验。

7.4.3 既有结构或预制构件中的氯离子检验结果符合表 4.3.1 的规定时，判为合格。当出现不合格时，应对同一批次实体混凝土双倍取样按酸溶法进行复检，若复检结果全部合格，判为

合格，若复检结果仍有不合格，判为不合格。

附录 A 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量快速测试方法

A.0.1 本方法适用于现场或试验室的混凝土拌合物中水溶性氯离子含量的快速测定。

A.0.2 试验用仪器设备应符合下列规定：

1 氯离子选择电极：测量范围应为 $(5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-1})$ mol/L；响应时间不大于 2min；温度范围为 $(5 \sim 45)$ °C；

2 参比电极：应为双盐桥饱和甘汞电极；

3 电位测量仪器：分辨值应为 1mV 的酸度计、恒电位仪、伏特计或电位差计，输入阻抗不得小于 $7M\Omega$ ；

4 系统测试的最大允许误差应为 $\pm 10\%$ 。

A.0.3 试验用试剂应符合下列规定：

1 活化液：应使用浓度为 5.0×10^{-4} mol/L 的 NaCl 溶液；

2 标准液：浓度分别为 5.0×10^{-1} mol/L、 5.0×10^{-2} mol/L、 5.0×10^{-3} mol/L、 5.0×10^{-4} mol/L 的 NaCl 标准溶液。

A.0.4 试验前应按下列步骤建立电位-氯离子浓度关系曲线：

1 氯离子选择电极应放入活化液中活化 1h；

2 将氯离子选择电极和参比电极分别插入浓度为 5.0×10^{-1} mol/L、 5.0×10^{-2} mol/L、 5.0×10^{-3} mol/L、 5.0×10^{-4} mol/L 的 NaCl 标准液中，经 2min 后，采用电位测量仪分别测得两电极之间的电位值（图 A.0.4）。将分别测得的 4 种浓度 NaCl 标准液的电位值标在 E-IgC 坐标上，建立 E-IgC 工作关系曲线；

3 在测试每个 NaCl 标准液电位值前，均采用蒸馏水对氯离子选择电极和参比电极进行充分清洗，并用滤纸擦干；

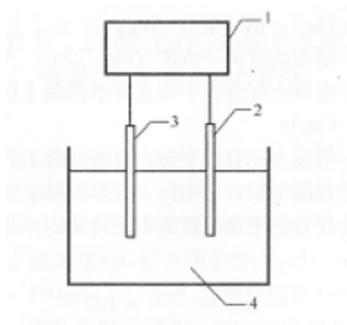


图 A.0.4 电位值测量示意图

1-电位测量仪；2-氯离子选择电极；3-参比电极；4-标准液或滤液

A.0.5 试验应按下列步骤进行:

1 试验前应先将氯离子选择电极浸入活化液中活化 1h;

2 采用筛孔直径为 5.00mm 的筛子对混凝土拌合物进行筛分, 获得不少于 600g 的砂浆, 放入烧杯中, 插入氯离子选择电极和甘汞电极, 经 2min 后测定其电位, 平行测定两次; 每次测量前应采用蒸馏水对氯离子选择电极和参比电极进行充分清洗, 用滤纸擦干;

3 根据测定的电位值, 分别从 E-IgC 工作关系曲线上推算两份砂浆中的氯离子浓度, 并将两次氯离子浓度的平均值作为砂浆的氯离子浓度的测定结果。

A.0.6 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量应按下式计算:

$$P_C = C_{Cl^-} \times \frac{\beta}{1000} \times 35.5 \times 100\%$$

式中: P_C ——混凝土拌合物中氯离子含量, 以水泥重量计 (%);

C_{Cl^-} ——相应拌合水中氯离子浓度(mol/L);

β ——混凝土水灰比。

A.0.7 在同等条件下, 可选用合适的氯离子快速测定仪取代氯离子选择电极、参比电极、电位测定仪, 选用的氯离子选择复合电极对氯离子的测量范围应为 $5 \times 10^{-5} \text{mol/L} \sim 5 \times 10^{-1} \text{mol/L}$; 响应时间 $\leq 2 \text{min}$; 温度应为 $5^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 。其它步骤与 A.0.3~A.0.6 同。

附录 B 硬化混凝土中水溶性氯离子含量测试方法

B.0.1 本方法适用于采用自动电位滴定仪法测定硬化混凝土中的水溶性氯离子含量。

B.0.2 试样制备应符合下列要求：

- 1 将混凝土试样（芯样）破碎，剔除石子；
- 2 将试样缩分至 30g，研磨至全部通过 0.16mm 的筛；
- 3 用磁铁吸出试样中的金属铁屑；
- 4 试样置烘箱中于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重，取出后放入干燥器中冷却至室温；

B.0.3 混凝土中氯离子含量测定所需仪器如下：

1 自动电位滴定仪：配备氯离子选择复合电极或银离子选择复合电极；配有搅拌装置；动态滴定模式功能；由微机控制，能实时自动绘制和记录滴定时的 E-滴定体积实时变化曲线及相应的一阶微分曲线；滴定精度应达 0.01ml/滴，电位分辨精度达到 0.1mV；配备 20 ml 的滴定液加液管；滴定管的出口处配备防扩散头。

- 2 分析天平：精度 0.1mg；
- 3 磨粉机；
- 4 电震荡器；
- 5 移液管（10mL、50ml）；
- 6 量杯（10mL）；
- 7 容量瓶（1000mL）；
- 8 可调式微量移液器（1mL）。

B.0.4 混凝土中氯离子含量测定所需试剂如下：

- 1 硝酸溶液（1+3）；
- 2 酚酞指示剂（10g/L）；
- 3 硝酸银标准溶液；
- 4 淀粉溶液；
- 5 NaCl 标准溶液。

B.0.5 硝酸溶液（1+3）：100ml 浓硝酸加入到 300ml 的蒸馏水中配制而成。

B.0.6 硝酸银溶液的配制：称取 1.7g 硝酸银（称准至 0.0001g），用不含 Cl⁻的水溶解后稀释至 1L，混匀，贮于棕色瓶中。

B.0.7 硝酸银标准溶液按下述方法标定：

1 称取于 500~600℃烧至恒重的氯化钠基准试剂 0.6g（称准至 0.0001g），置于烧杯中，用不含 Cl⁻的水溶解，移入 1000mL 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀；

2 用移液管吸取 10mL 氯化钠溶液于烧杯中，加水稀释至 50mL，加 10mL 淀粉溶液（10g/L），用配制好的硝酸银溶液滴定，以自动电位滴定仪捕捉电势突跃点。

3 同时进行空白试验；

4 硝酸银溶液的浓度按下式计算：

$$C_{\text{AgNO}_3} = \frac{m_{\text{NaCl}} \times 10/1000.00}{0.05844(V_1 - V_2)}$$

式中： C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液物质的量浓度（mol/L）；

m_{NaCl} ——氯化钠的质量（g）；

V_1 ——硝酸银标准溶液的用量（mL）；

V_2 ——空白试验硝酸银标准溶液的用量（mL）；

0.05844——氯化钠的毫摩尔质量（g/mmol）。

B.0.8 混凝土中氯离子含量测定按下述方法测定：

1 称取 5g 试样（称准至 0.0001g），置于具塞磨口锥形瓶中，加入 250.0mL 水，密塞后剧烈振摇 3~4min，置于电震荡器上震荡浸泡 6h，以快速定量滤纸过滤；

2 用移液管吸取 50mL 滤液于烧杯中，滴加酚酞指示剂 2 滴，以硝酸溶液（1+3）滴至红色刚好褪去，再加 10mL 淀粉溶液（10g/L），同时加入 1mL 氯化钠标准溶液作为内标，以标准硝酸银溶液作为滴定标准溶液，用自动电位滴定仪捕捉电势突跃点，以确定消耗硝酸银溶液的体积；

3 同时按以上步骤进行空白试验；

4 混凝土中氯离子含量按下式计算：

$$W_{\text{Cl}^-}^w = \frac{C_{\text{AgNO}_3}(V_1 - V_2) \times 0.03545}{m \times 50.00/250.0} \times \frac{m_m}{m_B}$$

式中： $W_{\text{Cl}^-}^w$ ——硬化混凝土中水溶性氯离子占胶凝材料的质量百分数（%），精确至 0.001%；

C_{AgNO_3} ——硝酸银标准溶液物质的量浓度（mol/L）；

V_1 ——硝酸银标准溶液的用量（mL）；

V_2 ——空白试验硝酸银标准溶液的用量 (mL)；

0.03545——氯离子的毫摩尔质量 (g/mmol)；

m ——混凝土砂浆试样的质量 (g)；

m_m ——混凝土配合比中除去粗骨料外的砂浆材料用量 (kg/m^3)；

m_B ——混凝土配合比中每立方米混凝土的胶凝材料用量 (kg/m^3)。

附录 C 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量测试方法

C.0.1 本方法适用于采用自动电位滴定仪法测定硬化混凝土中的酸溶性氯离子含量。

C.0.2 试样制备应符合下列要求：

- 1 将混凝土试样（芯样）破碎，剔除石子；
- 2 将试样缩分至 600g，研磨至全部通过 0.16mm 的筛；
- 3 用磁铁吸出试样中的金属铁屑；
- 4 试样置烘箱中于 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重，取出后放入干燥器中冷却至室温。

C.0.3 混凝土中氯离子含量测定所需仪器如下：

1 自动电位滴定仪：配备氯离子选择复合电极或银离子选择复合电极；配有搅拌装置；动态滴定模式功能；由微机控制，能实时自动绘制和记录滴定时的 E-滴定体积实时变化曲线及相应的一阶微分曲线；滴定精度应达 0.01ml/滴，电位分辨精度达到 0.1mV；配备 20 ml 的滴定液加液管；滴定管的出口处配备防扩散头。

- 2 分析天平：精度 0.1mg；
- 3 磨粉机；
- 4 移液管（10ml、20mL）；
- 5 烧杯（300 mL）；
- 6 量杯（20mL）；
- 7 容量瓶（1000mL）；
- 8 可调式微量移液器（1mL）。

C.0.4 混凝土中氯离子含量测定所需试剂如下：

- 1 硝酸溶液（1+7）；
- 2 硝酸银标准溶液；
- 3 淀粉溶液（10g/L）；
- 4 NaCl 标准溶液。

C.0.5 硝酸溶液（1+7）：100ml 浓硝酸加入到 700ml 的蒸馏水中配制而成。

C.0.6 硝酸银溶液的配制：称取 1.7g 硝酸银（称准至 0.0001g），用不含 Cl⁻的水溶解后稀释至 1L，混匀，贮于棕色瓶中。

C.0.7 硝酸银标准溶液按下述方法标定：

1 称取于 500~600℃烧至恒重的氯化钠基准试剂 0.6g (称准至 0.0001g)，置于烧杯中，用不含 Cl⁻的水溶解，移入 1000mL 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀；

2 用移液管吸取 10mL 氯化钠标准溶液于烧杯中，加水稀释至 50mL，加 10mL 淀粉溶液 (10g/L)，用自动电位滴定仪滴定确定硝酸银溶液所用的体积；

3 同时进行空白试验；

4 硝酸银溶液的浓度按下式计算：

$$C_{\text{AgNO}_3} = \frac{m_{\text{NaCl}} \times 10/1000}{(V_1 - V_2)0.05844}$$

式中：C_{AgNO₃}——硝酸银标准溶液物质的量浓度 (mol/L)；

m_{NaCl}——氯化钠的质量 (g)；

V₁——硝酸银标准溶液的用量 (mL)；

V₂——空白试验硝酸银标准溶液的用量 (mL)；

0.05844——氯化钠的毫摩尔质量 (g/mmol)。

C.0.8 混凝土中氯离子含量测定按下述方法测定：

1 称取 20g 试样 (称准至 0.0001g)，置于 250 mL 的磨口锥形瓶中，加入 100mL 的硝酸溶液 (1+7)，密塞后剧烈振摇 3~4min，静置浸泡 24 小时，以快速定量滤纸过滤；

2 用移液管吸取 20mL 滤液于 300mL 烧杯中，加 100mL 蒸馏水，再加 20mL 淀粉溶液 (10g/L)，同时加入 1mL 氯化钠标准溶液作为内标，放在自动电位滴定仪上，以标准硝酸银溶液作为滴定标准溶液，用自动电位滴定仪捕捉电势突跃点，以确定消耗硝酸银溶液的体积；

3 同时按以上步骤进行空白试验；

4 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量按下式计算：

$$W_{\text{Cl}^-}^{\text{S}} = \frac{C_{\text{AgNO}_3}(V_1 - V_2) \times 0.03545}{m \times 20/100} \times \frac{m_m}{m_B}$$

式中：W_{Cl⁻}^S——硬化混凝土中酸溶性氯离子占胶凝材料的质量百分数 (%)，精确至 0.001%；

C_{AgNO₃}——硝酸银标准溶液物质的量浓度 (mol/L)；

V₁——扣除内标消耗量后的硝酸银标准溶液的用量 (mL)；

V₂——扣除内标消耗量后的空白试验硝酸银标准溶液的用量 (mL)；

0.03545——氯离子的毫摩尔质量 (g/mmol)；

m——混凝土砂浆试样的质量 (g)；

m_m ——混凝土配合比中除去粗骨料外的砂浆材料用量 (kg/m^3) ;

m_B ——混凝土配合比中每立方米混凝土的胶凝材料用量 (kg/m^3) 。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不宜”。

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准和规定执行的写法为：“应符合……规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 2 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 3 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 4 《混凝土质量控制标准》 GB 50164
- 5 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 6 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 7 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 8 《混凝土外加剂匀质性检验方法》 GB/T 8077
- 9 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 10 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 11 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 12 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 13 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344
- 14 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T50080
- 15 《混凝土中氯离子含量检测技术规程》 JGJ/T 322
- 16 《水运工程混凝土试验检测技术规范》 JTS/T 236
- 17 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 18 《混凝土用水标准》 JGJ 63

广东省标准

混凝土氯离子质量控制标准

DBJ 15-XX-2020

(条文说明)

制定说明

《混凝土氯离子质量控制标准》DBJ 15-XX-2020 经广东省住房和城乡建设厅 XX 年 XX 月 XX 日以粤建公告 XX 批准、发布。

《混凝土氯离子质量控制标准》制定过程中，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，同时参考了国内外相关标准。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《混凝土氯离子质量控制标准》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，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。

目次

1 总则.....	28
3 基本规定.....	29
4 技术要求.....	31
4.1 原材料.....	31
4.2 混凝土拌合物.....	32
4.3 硬化混凝土.....	33
5 质量控制.....	34
5.1 原材料.....	34
5.2 混凝土的生产、运输和施工.....	34
6 检测方法.....	36
6.1 原材料中氯离子含量.....	36
6.2 混凝土拌合物中氯离子含量.....	36
6.3 硬化混凝土中氯离子含量.....	37
6.4 既有结构或预制构件中氯离子含量.....	40
7 检验规则与验收.....	41
7.1 原材料中氯离子含量.....	41
7.2 混凝土拌合物氯离子含量.....	41
附录 A 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量快速测试方法.....	42
附录 B 硬化混凝土中水溶性氯离子含量测试方法.....	43
附录 C 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量测试方法.....	44

1 总则

1.0.1 本标准适用于工业与民用建筑，道桥及市政设施工程用混凝土氯离子质量控制、检验与验收不适用于海工混凝土工程。

3 基本规定

3.0.1 混凝土质量控制应从原材料、拌合物、硬化混凝土三个阶段进行。

3.0.3 鉴于氯离子进入混凝土中将会产生的危害性，对于混凝土中氯离子的控制，关键在于从源头上对混凝土各原材料的氯离子含量进行控制，在配合比设计和验证环节，应对原材料中氯离子含量进行检测，且原材料中氯离子含量的总计算值不得超过混凝土中氯离子含量限值。

3.0.4 生产过程中不同批次原材料质量存在一定波动，故规定在进行混凝土氯离子含量检测和评定时，不得采用根据原材料中氯离子测试值计算出来的混凝土氯离子总含量计算值替代。混凝土氯离子总含量计算值可作为配合比设计原材料选用时对氯离子的预控措施。

3.0.5 通过对国内和国际相关标准的梳理，发现现有标准对混凝土拌合物氯离子含量和硬化混凝土氯离子含量的计算方法并未统一，具体情况如下：

1、国内相关标准中，《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011、《预拌混凝土》GB/T 14902-2012、《海砂混凝土应用技术规范》JGJ 206-2010 规定了混凝土拌合物中氯离子含量按水泥质量百分比计；《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 中规定了硬化混凝土中氯离子含量按胶凝材料总量百分比计。可见国内相关标准中

2、通过对国外相关标准的调研，发现美国土木学会标准《混凝土耐久性技术指南》ACI 201.2R-16、《混凝土中钢筋的防腐保护指南》ACI 222R-01 和《美国混凝土结构设计规范》ACI 318-14 中的氯离子含量（指硬化混凝土氯离子含量）均按水泥质量百分比计，而 ACI 222R-01 和 ACI 318-14 的最新版《混凝土中钢筋的防腐保护指南》ACI 222R-19 和《美国混凝土结构设计规范》ACI 318-19 均将硬化混凝土氯离子含量按水泥质量计变更成了按胶凝材料总量的百分比计，同时欧洲标准《混凝土-规范，性能，生产和合格性》EN 206-2016 中硬化混凝土氯离子含量也是按胶凝材料总量的百分比计。

3、《混凝土中钢筋的防腐保护指南》ACI 222R-19 指出，混凝土中的氯离子一般以两种形态存在，一种是孔溶液中的游离态氯离子，另一种为以固化态被结合或吸附的氯离子，其中一部分氯离子将被水泥中钙铝组分的水化产物所结合（化学结合固化态氯离子），形成氯铝酸盐（俗称 Friedel 盐），从而有效减少孔溶液中游离氯离子的含量；另一部分将被水泥的水化产物 C-S-H 凝胶所吸附（物理吸附固化态氯离子）。不是所有的混凝土氯离子都将导

致钢筋的锈蚀，仅孔溶液中的游离态氯离子将引起混凝土中钢筋的锈蚀。而辅助胶凝材料（SCMs）如粉煤灰、矿渣等的添加（50%取代范围内）对混凝土氯离子具有一定的固化作用，会提高混凝土抵抗氯离子腐蚀的能力，所以在考虑硬化混凝土氯离子含量限值的时候需将辅助性胶凝材料如粉煤灰、矿渣等的作用考虑进去。

同时，最新版的《美国混凝土结构设计规范》ACI 318-19 指出，允许的硬化混凝土中氯离子含量限值是基于总的胶凝材料质量而不仅仅是水泥的质量，这个改变是在 ACI 318-19 中作出的（上一个版本是 ACI 318-14），用以反映如下发现：辅助胶凝材料（SCMs）在减少渗透性及结合氯离子方面具有有益影响，因此可以帮助抑制钢筋锈蚀（Kosmatka 和 Wilson 2016）。鉴于随着辅助胶凝材料（SCMs）含量增加，其影响效果递减，规范中限制，可以被用于计算混凝土中允许氯离子含量的辅助胶凝材料（SCMs）的质量，其最多可到总胶凝材料质量的 50%（Tepke et al. 2016）。考虑到拌合物中的氯离子尚处于游离状态，粉煤灰、矿渣等辅助性胶凝材料尚未对其产生化学固化和物理吸附作用，同时混凝土拌合物是处于混凝土氯离子的过程控制阶段，因此，拌合物中的氯离子含量以水泥用量计。

综上所述，基于对国内和国际标准的调研梳理，结合拌合物和硬化混凝土中胶凝材料对氯离子的固化作用机理，提出本标准中硬化混凝土中的氯离子以胶凝材料质量百分比计，混凝土拌合物中的氯离子含量以水泥质量百分比计。

4 技术要求

4.1 原材料

4.1.1 根据现有国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 和《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》GB/T 200 等的相关规定。其中水泥氯离子的检测方法依据标准《水泥化学分析方法》GB/T176-2017 的进行，样品处理方式为酸溶。

4.1.2 此条规定的砂氯离子限量严于现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 的规定，主要出于以下几个方面的考虑：（1）砂中氯离子对混凝土结构耐久性的影响很大；（2）随着天然河砂的限采，广东沿海地区水洗砂的应用越来越普遍，砂中氯离子出现超标的概率越来越高；（3）现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 规定，取缩分后的样品在温度 (105 ± 5) ℃的烘箱中烘干至恒重，经冷却至室温备用，简称干砂制样，其做法与实际工程不相符，即实际工程使用时不存在烘干的过程。现行行业标准《海砂混凝土应用技术规程》JGJ206 规定：先测定砂的含水率 w ，然后根据试验所用干砂质量 500g，计算湿砂实际质量 $500/(1-w)$ g，简称湿砂制样。采用 A、B 两个砂样，采用不同的制样方法测试氯离子含量，试验发现干砂制样方法测定的试验结果会低于湿砂制样氯离子含量 20~30%，在不改变现有试验方法的前提下，可以通过降低氯离子含量的限值来弥补制样方法对砂样氯离子含量的低估。因此，此处提高了指标要求。

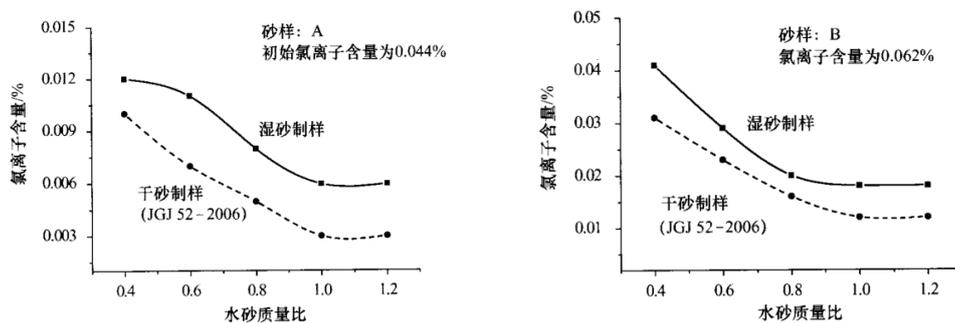


图 1 不同制样方法对测定氯离子含量的影响

4.1.3 根据现有国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T18736 的相关规定，同时，现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB10424 对粉煤灰氯离子含量的限值作了相关规定。因此，尽管现行粉煤灰标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 并未对其氯离子含量作出规定，在此仍将其与矿渣粉和硅粉等掺合料中的氯离子含量限值作统一

规定。

4.1.4 因生产外加剂所用的拌合水和复配的功能材料中有可能引入氯离子，在此对外加剂的氯离子限值提出具体要求。外加剂按形态一般分为液体和固体两大类，其中液体外加剂按折固含量计。

4.1.5 参照现行标准《混凝土用水标准》JGJ63，按照从严控制的原则，提出混凝土拌合用水氯离子控制指标。

4.2 混凝土拌合物

4.2.1 参照现有标准《混凝土质量控制标准》GB50164 和广东省的实际情况将环境条件分为四类。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 中，针对设计年限 50 年和 100 年的混凝土结构中硬化混凝土氯离子的技术要求分别作了不同要求，对设计年限 100 年的工程要求更加严格，为与该标准中硬化混凝土氯离子的技术要求相衔接，4.2.1 和 4.2.2 分别对设计年限 50 年和 100 年的混凝土结构中混凝土拌合物氯离子最大含量作了不同要求。

海风等侵蚀性物质的腐蚀环境的定义参考了现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中表 6.2.1 海洋氯化物环境的作用等级中大气区（重度盐雾）的定义。

4.2.2 考虑到地铁工程、大型桥梁等设计年限 100 年的混凝土耐久性要求更高，需从源头上从严控制混凝土拌合物氯离子的含量，也与现有国家标准混凝土《混凝土结构设计规范》GB50010 相衔接，特别提出设计年限 100 年混凝土结构混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量要求。随着基建行业的发展，类似港珠澳大桥等设计服役寿命为 120 年甚至更高的混凝土结构会越来越普遍，此条设计使用年限 100 年的钢筋混凝土结构包含了 100 年以上的结构。

4.2.3 编制组对不同强度等级（C30、C45、C60）混凝土中水溶性氯离子随龄期的变化进行了对比研究，其中龄期 0d 表示混凝土拌合物中水溶性氯离子含量，结果表明：同一配比混凝土拌合物中水溶性氯离子含量与硬化混凝土中水溶性氯离子含量并非正比关系，但混凝土中水溶性氯离子含量大致随龄期延长而呈现逐渐减少并趋于稳定的趋势。

现有标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 中 7.3.3 条提出，混凝土中氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定和设计要求，因此，工程验收一般以硬化混凝土氯离子含量的检测结果为准，混凝土拌合物氯离子含量测试因为简便、快速，在混凝土出厂和进工地现场交货的过程中作为控制指标，有利于混凝土氯离子的有效预控。

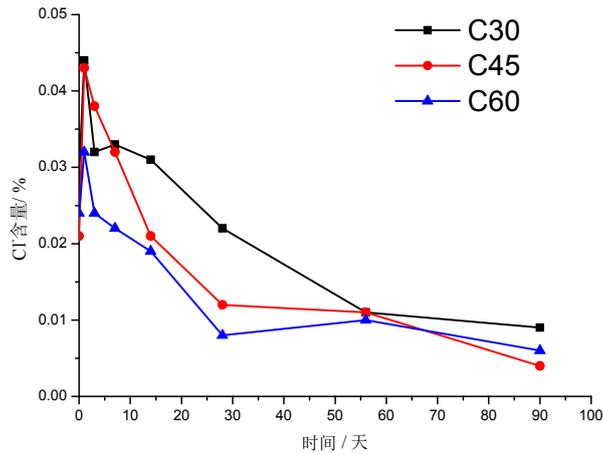


图 2 不同强度等级混凝土水溶性氯离子含量随龄期的变化规律

4.3 硬化混凝土

4.3.1 目前对硬化混凝土氯离子提出指标要求的标准为现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476，以上两个标准依据不同的环境类别将设计年限 50 年的混凝土氯离子含量最大限值定为 0.06-0.3%(占胶凝材料用量的百分比)，但是没有明确检测方法是水溶性还是酸溶性。ACI 222-2019《混凝土中钢筋的防腐保护指南》指出，混凝土中的氯离子一般以两种形态存在，一种是孔溶液中的游离态氯离子，另一种为以固化态被结合或吸附的氯离子，而固化态的氯离子在酸溶的条件下才会释放，因而对水溶性氯离子含量和酸溶性氯离子含量分别提出了要求。按广东省的环境条件，并与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 相衔接，同时也与国际标准 ACI 222-2019《混凝土中钢筋的防腐保护指南》接轨，分别提出水溶性和酸溶性氯离子含量的限值。

4.3.2 针对地铁工程、大型桥梁等设计年限 100 年的混凝土结构，提出更严格的硬化混凝土氯离子最大含量要求，同时与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的要求相协调。可以根据工程需要选择水溶性氯离子含量还是酸溶性氯离子含量，但均不得大于 0.06%。

5 质量控制

5.1 原材料

5.1.1 混凝土氯离子含量均由其原材料引入，因此混凝土所有原材料在进场是均应严格控制氯离子含量。在目前关于混凝土外加剂的各标准中，对外加剂中的氯离子含量均采用满足生产厂控制值，即厂控指标，但部分减水剂尤其是萘系减水剂中氯离子含量却相对较高。如此模糊的指标已无法满足对目前品种繁多的外加剂质量进行有效控制，因此本标准在 4.1.4 条提出了外加剂中氯离子含量的控制指标。

5.1.2 混凝土配合比中当使用海砂时，其将成为混凝土氯离子的主要来源，因此一般情况下，不宜采用海砂作为建设用砂。当使用海砂时，应经过淡化处理，符合建设用砂的标准。

5.1.3 对于海水或海风环境的钢筋混凝土，因环境条件引入的氯离子含量较高，为保证钢筋不被腐蚀，建议采用双控模式，即对海砂氯离子严格控制的同时掺加缓蚀剂或阻锈剂等。

5.1.4 国内外有关标准规范中，对预应力混凝土结构的氯离子总量限制最为严格。《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476-2019 的有关条文说明提出：重要结构的混凝土不得使用海砂配制。而预应力混凝土一般属于重要结构。国内工程中，预应力混凝土也很少采用海砂。因此，本着确保结构安全的原则，本规范规定预应力混凝土结构不得使用海砂混凝土。

5.1.5 对石子先行破碎，过 5mm 筛孔，然后按照砂中氯离子含量测试方法进行检测。非封闭存储为存在氯盐侵蚀风险的一种情形。

5.1.6 混凝土生产绿色化已成为趋势，厂区内水须零排放，收集水在循环使用时应有合理的使用方案与技术依据。

5.2 混凝土的生产、运输和施工

5.2.1 通过配合比计算混凝土氯离子含量理论值，是除了原材料以外的第二种质量控制手段，也是混凝土氯离子含量事前控制的关键环节。当理论计算值不符合表 4.2.1 的规定时，应分析原因，并重新调整原材料或配合比后，再进行生产。

5.2.2 为了减少外界有害物质对混凝土质量的影响，在混凝土生产及运输过程中，应预防以下情况有害物质的引入：

- (1) 搅拌机、运输车等设备清洗锈迹时可能引入的稀盐酸；
- (2) 粤北地区冬季施工可能引入的氯盐类早强剂；
- (3) 为了改善混凝土拌合物工作性等目的，而增加的各种未经验证的新材料；
- (4) 回收水用于生产等。

5.2.3 在混凝土配合比验证环节对拌合物氯离子进行检验，并根据混凝土应用所处的环境和

设计要求对其进行评定，有助于从源头上对混凝土中的氯离子进行预控。

5.2.3 为了加强混凝土氯离子对质量影响的控制，考虑到实际操作可行性，建议将混凝土拌合物氯离子含量快速检测引入混凝土生产企业作为质量控制的主要手段之一。

5.2.4 混凝土配合比调整对质量有较大影响，调整过程应有技术方案，但此处调整仅限于对混凝土工作性有影响的改善性调整，不得对混凝土后期质量有不利影响。

5.2.5 为了对混凝土中氯离子进行从严控制，须在配合比设计和施工过程等关键环节对拌合物氯离子含量进行控制，本条规定了在施工过程应由第三方检测机构对混凝土拌合物中氯离子含量进行检验。

6 检测方法

6.1 原材料中氯离子含量

6.1.1 现行国标《水泥化学分析方法》GB/T 176 中增加了水泥氯离子测定的自动电位滴定法，简便易操作，在检测过程中可优先考虑采用此方法，当存在争议时采用标准法进行仲裁。

6.1.2 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 或《建设用砂》GB/T14684 中砂氯离子含量检测的取样数量和结果修约稍有不同，在此引用《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52。

6.1.3 对存在氯盐侵蚀风险且非封闭存储的混凝土用石须进行氯离子含量检测，需先对石子进行破碎，过 5mm 筛孔，检测方法参照砂中氯离子含量测试方法。

6.2 混凝土拌合物中氯离子含量

6.2.1 混凝土拌合物的取样检测应充分保证所取样品的均匀性和代表性，应尽量在同一车混凝土的卸料量达到一半的时候进行取样。本条考虑到不同强度等级、不同粘度混凝土过筛过程的可操作性，为保证取样的代表性，规定了混凝土取样数量不少于 20L。

6.2.2 当运送时间超过 2h 时，混凝土拌合物性能与出机时差异较大，会影响试验的可操作性和结果的准确性，结合工程实际运送距离，提出取样时间要求。

6.2.3 混凝土拌合物取样时应记录的关键信息，其中取样时间应注明加水搅拌的时间，为了进行氯离子检测结果的换算，一定要在现场获得混凝土配合比。按照氯离子检测标准测出来的氯离子含量为每方混凝土拌合物中的氯离子质量，为了按照评定标准对结果进行评定，需将其换算成占水泥质量的百分比，因此在现场一定要取得混凝土配合比。

6.2.4 现有标准中关于混凝土拌合物水溶性氯离子含量的快速测定方法主要有《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中附录 A、附录 B 和《水运工程混凝土试验检测技术规范》JTS/T 236，均采用氯离子选择电极法，不同之处在于样品处理过程的差异。编制组分别按照《水运工程混凝土试验检测技术规范》JTS/T 236 和《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中附录 A 及附录 B 进行混凝土拌合物氯离子测试，采用内掺氯化钠的方式对混凝土引入氯离子，混凝土中氯离子理论含量分别控制为 0.06%、0.1%、0.2%和 0.3%，结果表明：在混凝土拌合物氯离子含量不大于 0.1%的范围内，按照 JGJ/T322 附录 B 的实测

值与理论值偏差最小，宜作为仲裁法。同时，编制组经过对 JGJ/T 322 中附录 A 和 JTS/T 236 两种拌合物快速测试方法的比较，综合考虑到准确性和可操作性，结合目前市场上普遍采用氯离子快速测定仪进行拌合物氯离子检测的现状，提出了本标准附录 A 混凝土拌合物水溶性氯离子含量的快速测定。

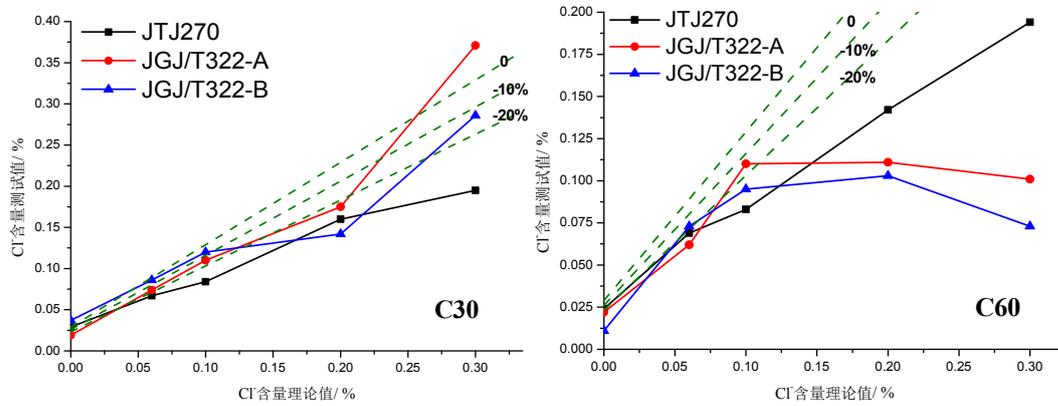


图 3 不同方法测试混凝土拌合物氯离子含量的对比研究

6.2.5 为了提高检测的精度和稳定性，本条规定采用本标准附录 A 或《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中附录 B 的方法时，每个试样检测前均应重新标定电位-氯离子浓度关系曲线。

6.2.6 本条规定了应以两次平行试验的平均值作为检测结果。我国现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB50164 和《预拌混凝土》GB/T14902 中均以混凝土拌合物中水溶性氯离子含量占水泥的质量分数作为限值进行了规定，考虑到与评定标准的协调性和换算的简便性，规定混凝土拌合物水溶性氯离子含量可表示为占水泥质量的百分比，也可表示为单方混凝土中水溶性氯离子的质量，在混凝土配合比已知的条件下，两者是可以相互换算的。

6.3 硬化混凝土中氯离子含量

6.3.1 本条对硬化混凝土氯离子含量检测试件的要求进行了规定。

6.3.2 为了研究测试龄期对混凝土氯离子含量测试的影响，编制组按照不同标准对不同强度等级、不同龄期硬化混凝土进行氯离子含量进行检测，结果表明：当分别采用现行《建筑结构检测技术标准》GB/T50344 和《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 中附录 C 对 C30、C45 和 C60 强度等级混凝土中硬化氯离子含量进行测试时（见下图），在 14d 龄期前氯离子含量波动较大，28d 后氯离子含量逐渐降低并趋于稳定。这是由于水化早期混凝土中的氯离子存在扩散、迁移、吸附和固化等现象，混凝土孔隙溶液中的自由氯离子尚未稳定，随着龄期的延长，混凝土微观结构逐渐形成，孔溶液中的自由氯离子逐渐趋于稳定，为保证

测试结果的稳定性, 结合工程实际需要, 规定进行硬化混凝土氯离子含量检测的混凝土试样龄期宜为 28d, 不应早于 14d。

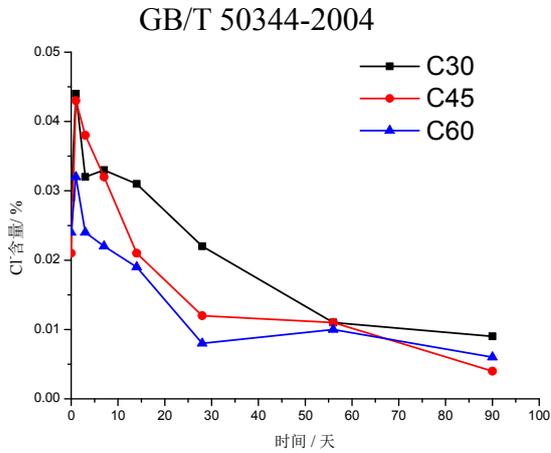


图 4(a) 方法 GB/T 50344-2004

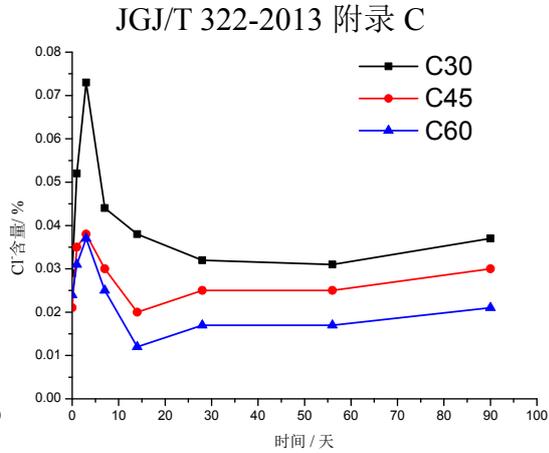


图 4(b) 方法 JGJ/T 322-2013 附录 C

图 4 不同强度等级混凝土氯离子含量随龄期的变化规律

6.3.3 本条规定了硬化混凝土氯离子含量检测时间的制作要求, 可专门制作试样用于检测硬化混凝土氯离子含量, 也可采用抗压强度测试后的混凝土试件进行取样检测。

6.3.4 本条规定了硬化混凝土氯离子含量检测取样时应记录的关键信息, 包括试件制作的时间、养护条件、工程部位等, 为进行氯离子检测结果的换算, 还需要在工程现场获得混凝土配合比。

6.3.6 编制组针对同一硬化混凝土试样, 对比研究了砂浆粉末不过筛、过 0.08mm 筛和过 0.16mm 筛混凝土水溶性氯离子含量的差异, 结果表明过筛方式对硬化混凝土中氯离子含量测试结果的影响较小, 考虑到试验的可操作性, 建议将研磨过筛用筛孔大小定为 0.16 mm, 方便粉体制备。

该条提出取样时要带上改进的聚乙烯手套, 主要考虑手上汗液可能带入的氯离子会影响测试结果, 试件破型时检验人员重复使用手套如果直接取化学分析样品也会存在污染样品。

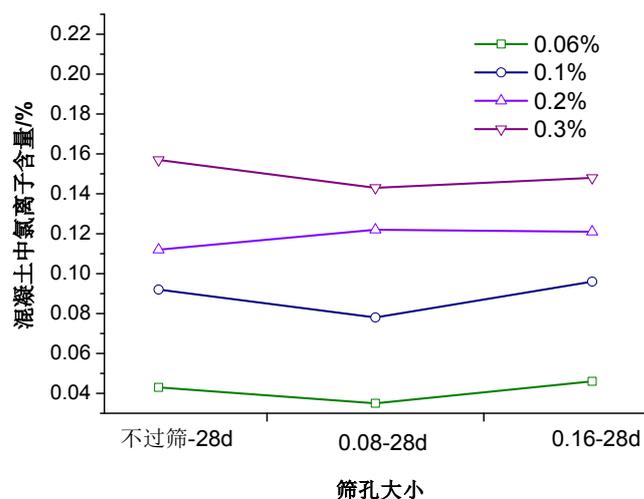


图 5 不同筛孔大小对硬化混凝土中氯离子含量的影响

6.3.7 现有标准中关于硬化混凝土水溶性氯离子含量的检测方法有现行《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 附录 C 的电位滴定法和《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 附录 C 硝酸银滴定法。

编制组按照现行《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 附录 C 的电位滴定法和《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322 附录 C 硝酸银滴定法对含不同理论氯离子含量的硬化混凝土中氯离子含量进行对比测试,两种方法所检测的硬化混凝土氯离子含量均随龄期的延长逐渐降低,且利用两种标准规定的检测方法测定相同龄期的硬化混凝土中氯离子含量检测结果差异较小,两种方法原理不同,样品处理过程也不同,从实用性来看,现行《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 电位滴定法的可操作性和稳定性更好。为了规范自动电位滴定法中自动电位滴定仪的要求以及该方法的操作流程,在对现行《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 电位滴定法试验条件优化的基础上,本标准附录 B 提出了硬化混凝土水溶性氯离子含量自动电位滴定法。

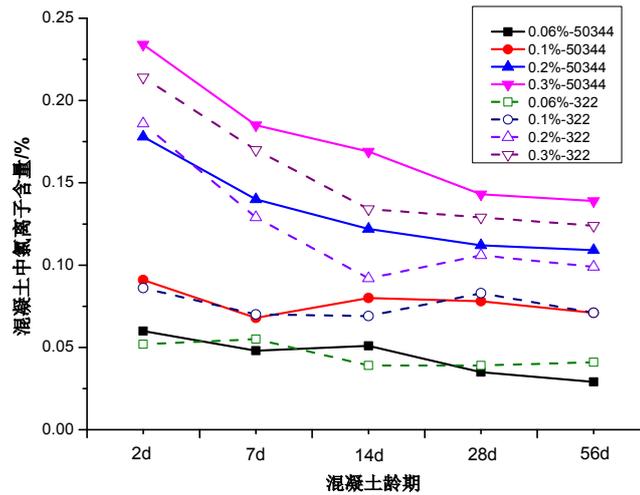


图6 采用不同检测方法时硬化混凝土中氯离子含量随龄期的变化

6.3.9 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量为混凝土中氯离子总含量，当存在争议时，应以酸溶性氯离子含量作为最终结果进行评定。

6.4 既有结构或预制构件中氯离子含量

6.4.1 为避免因抽芯对结构造成的损伤，既有结构或预制构件中的氯离子含量检测应尽量采用同条件养护试件。当缺少同条件养护试件时，既有结构或构件混凝土的氯离子含量检测试件可利用测试抗压强度后的破损芯样，在降低对结构损伤的同时，减少工作量，提高可操作性。本条规定的预制构件包括装配式混凝土构件、地铁管片等。

6.4.2 考虑到测试龄期对混凝土氯离子含量的影响，在对既有结构和预制构件氯离子含量进行检测时，分别提出同条件养护试件和芯样试件的测试龄期。

6.4.4 当结构部位出现钢筋锈蚀、顺筋裂缝等劣化现象时，说明混凝土中氯离子含量超标的风险较大，应对该部位进行加倍取样检测。

6.4.6 本条规定了既有结构或预制构件混凝土氯离子含量检测取样时应记录的关键信息，包括取样时间、工程部位和样品数量等，为进行氯离子检测结果的换算，还需要在工程现场获得混凝土配合比。

6.4.7 本条规定了既有结构或预制构件混凝土中氯离子含量检测时的取样和制样方法。

6.4.8 既有结构或预制构件混凝土中水溶性氯离子含量的检测方法与6.3条硬化混凝土中水溶性氯离子含量检测方法相同。

6.4.10 既有结构或预制构件混凝土中酸溶性氯离子含量的检测方法与6.3条硬化混凝土中酸溶性氯离子含量检测方法相同。

7 检验规则与验收

7.1 原材料中氯离子含量

7.1.1 混凝土原材料是氯离子的主要来源，因此对于各种原材料质量证明文件（如出厂检验报告、型式检验报告）中均应包括氯离子含量的技术指标。

7.1.2

1 目前混凝土用砂多数从原材料中间商处采购，很难根据其外观分清砂的产地与来源，因此本规范直接采用控制砂氯离子含量来达到质量控制的目的，而不需事先清楚砂的产地与来源。考虑到南方地区的机制砂主要采用湿法工艺生产，在生产过程中存在因洗砂而引入氯离子的风险，因此机制砂及混合砂同样需进行氯离子含量检测。

2 此处提及的受氯盐侵蚀影响是指受海水、海风或岩石本身受氯盐的侵蚀等影响。

3 每批水泥、粉煤灰、矿渣粉等胶凝材料进场时，应首先查验其出厂检验报告或型式检验报告中氯离子含量。对有检测条件的企业，可对每批进行氯离子含量测试，对无检测条件的企业，应对同厂家、同品牌、同品种材料每年委托第三方检测机构进行不少于1次氯离子含量检验。

4 混凝土外加剂随着季节气候变化，其缓凝组分和用量有明显的不同，因此对于外加剂的氯离子含量控制应按季度进行有效控制。但目前混凝土外加剂的相关标准中，对外加剂中的氯离子含量均采用满足厂控指标的要求，如此模糊的指标已无法满足对目前品种繁多的外加剂质量进行有效控制，尤其是萘系减水剂中氯离子含量相对较高。因此本标准建议该指标可按设计要求进行质量控制。如无设计要求时，可按供需双方合同约定。

5 混凝土拌合用水氯离子含量应根据不同水源进行控制。此处可参照现行标准《混凝土用水》JGJ63的规定：（1）地表水应每6个月检验1次；（2）地下水应每年检验1次；（3）回收水应每3个月检验1次，质量稳定1年后，可每年检验1次；（4）当发现水受到污染和对混凝土质量有影响时，应立即检验。

当企业无拌合用水氯离子检验条件时，应委托第三方检测机构进行检验。

7.2 混凝土拌合物氯离子含量

7.2.2 混凝土拌合物氯离子应按配合比及不同砂源进行出厂质量控制，此处无需按同一工程来进行控制，主要是因为混凝土生产企业每天生产的混凝土对应的工程较多，不具备可操作性，且拌合物氯离子与配合比及材料来源关系最大。当生产用砂的来源发生变化时，应加强拌合物氯离子检验，但在实际生产过程中，很难界定砂的来源何时变化，因此按同一天进行控制。

附录 A 混凝土拌合物中水溶性氯离子含量快速测试方法

1、《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322-2013 和《水运工程混凝土试验规程》JTS/T 236-2019 中建立电位-氯离子浓度关系曲线是用 $5.5 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $5.5 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 两种浓度的 NaCl 标准溶液，按照 0.4 的水灰比，该两个浓度换算成混凝土拌合物中水溶性氯离子含量分别为 0.0078% 和 0.0008%，远比不同环境条件下的混凝土氯离子限定值 0.06%、0.1%、0.2%、0.3% 低；而且，用两个点的浓度建立标准曲线，无法合理科学的反映 E-lgC 的相关性因此，为了避免因个别点浓度的偏离导致结果的不准确，将建立关系曲线的 2 个点的浓度标准氯化钠溶液调整为 $5.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ 、 $5.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ 、 $5.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $5.0 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 4 个点的浓度标准氯化钠溶液，既能覆盖不同环境条件下的混凝土氯离子限定值，又覆盖了日常检测所涉及到的范围，而且，可以减少由于标准溶液浓度的偏离带来的偏差。

2、因在现场检测时，被测混凝土拌合物从搅拌车倒到盛装容器，再过 5mm 的筛，经过这一过程后，被测砂浆试样的温度和当前环境温度大致相同，同时，前期标定仪器的标准溶液的温度也和当前环境相同，这样用同样温度的标准溶液标定的仪器来测试同样温度的样品，不会有温度上的差异，因此就无需考虑温度的校正。

附录 B 硬化混凝土中水溶性氯离子含量测试方法

根据目前大量的工程样品检测，发现大部分试样氯离子含量较低，在滴定过程中，仪器滴加的单位体积普遍偏大，容易错过等当点，导致测试的结果不能准确反映样品氯离子的实际含量。因此，人为的加入一定量的内标，目的是放大电位的变化趋势，有利于选择电极捕捉反应的等当点，提高检测结果的准确度。

附录 C 硬化混凝土中酸溶性氯离子含量测试方法

《混凝土中氯离子含量检测技术规程》JGJ/T 322-2013 中附录 D 规定了硬化混凝土中酸溶性氯离子含量的测试方法，但在实际操作中，用普通滴定管和普通电位计滴定，很难找到突跃点（原因可能是多方面的，1、普通滴定管的液滴体积过大；2、普通电位计的分辨精度不够；3、指示电极和甘汞电极在酸性环境下辨识钝化；4、人工读数滞后等）。因此仪器设备推荐使用自动电位滴定仪。