

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXX-2025

混凝土结构中防辐射技术规程

Technical specification for radiation protection in concrete structures

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

5 原材料 2

6 构造规定 3

7 混凝土配合比设计 3

8 拌合与运输 5

9 施工技术 6

10 质量验收 8

11 混凝土结构的维护 9

12 辐射监测与评估 10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国建筑第七工程局有限公司提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：中国建筑第七工程局有限公司、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

混凝土结构中防辐射技术规程

1 范围

本文件规定了混凝土结构中防辐射技术的术语和定义、基本规定、原材料、构造规定、混凝土配合比设计、拌合与运输、施工技术、质量验收、混凝土结构的维护、辐射监测与评估的内容。

本文件适用于需要具备防辐射功能的新建、改建和扩建混凝土结构工程，包括但不限于核电站、核医疗设施、放射性实验室等相关建筑。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 1596-2005 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 18046-2008 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB/T 50080-2016 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB/T 51003-2014 矿物掺合料应用技术规范
- HJ/T 61-2021 辐射环境监测技术规范
- JGJ 63-2006 混凝土用水标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

防辐射混凝土 Radiation-shielding concrete

具有一定密度和特殊成分，能够有效屏蔽射线，减少射线穿透的混凝土。

3.2

辐射场强度 Radiation field intensity

在特定空间内，单位时间、单位面积上所接收到的辐射能量。

3.3

屏蔽厚度 Shielding thickness

为达到规定的辐射屏蔽效果，混凝土结构所需的最小厚度。

3.4

辐射监测 Radiation monitoring

利用专业仪器设备，对混凝土结构周边环境及结构内部的辐射水平进行检测、记录和分析的活动。

3.5

辐射评估 Radiation assessment

依据辐射监测数据，结合相关标准和规范，对混凝土结构的防辐射性能、辐射安全状况进行综合评价的过程。

4 基本规定

4.1 混凝土结构的防辐射设计应根据辐射源类型、辐射场强度、使用功能等因素，综合确定防辐射方案，混凝土结构设计应符合 GB 50010 的要求、混凝土结构的防辐射设计应符合 GB 18871 的要求。

4.2 防辐射混凝土结构应与建筑结构的安全性、耐久性要求相协调，确保结构在满足防辐射功能的同时，具备良好的力学性能和长期使用性能。

4.3 防辐射混凝土工程的设计、施工和验收，应符合 GB 50010、GB 50666、GB 50204 及 GB 18871 的规定，并应采取有效的安全防护措施，保障施工人员和人员的安全。

4.4 辐射监测与评估贯穿混凝土结构防辐射工程的全过程，应制定科学合理的监测与评估方案，确保监测数据准确可靠，评估结果客观公正。

5 原材料

5.1 水泥

应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其强度等级不应低于 42.5。水泥的安定性必须合格，游离氧化钙含量不应超过 1.0%，氧化镁含量不应超过 5.0%。水泥的放射性应符合 GB 6566 的要求。

5.2 骨料

5.2.1 细骨料宜采用天然河砂，其细度模数应在 2.3 - 3.0 之间，含泥量不应超过 3.0%，泥块含量不应超过 1.0%。砂的放射性应符合 GB 6566 的要求。

5.2.2 粗骨料可选用重晶石、铁矿石等重金属骨料，也可采用普通碎石与重金属骨料混合使用。粗骨料的最大粒径不宜超过 40 mm，针片状颗粒含量不应超过 15%，含泥量不应超过 1.0%，泥块含量不应超过 0.5%。

5.2.3 重金属骨料的密度应符合设计要求，重晶石骨料的密度不应小于 4.0g/cm³，铁矿石骨料的密度不应小于 4.5g/cm³。骨料的化学成分应稳定，不得含有影响混凝土性能有害物质。

5.3 外加剂

5.3.1 外加剂的品种和掺量应根据混凝土的性能要求、施工工艺和环境条件等因素通过试验确定。

5.3.2 选用的外加剂应具有良好的化学稳定性，不得含有对人体有害的放射性物质。

5.3.3 外加剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的要求。

5.4 掺合料

5.4.1 可适量掺入粉煤灰、矿渣粉等掺合料，以改善混凝土的工作性能和耐久性。掺合料的质量应符合 GB/T 51003-2014 的要求，粉煤灰应符合 GB/T 1596-2005 的规定，矿渣粉应符合 GB/T 18046-2008 的规定。

5.4.2 掺合料的放射性应符合 GB 6566 的要求，其掺量应根据混凝土的设计要求和试验结果确定，不宜超过胶凝材料总量的 30%。

5.5 水

拌制混凝土宜采用饮用水。当采用其他水源时，水质应符合 JGJ 63-2006 的规定，水中不得含有影响混凝土质量和防辐射性能的有害物质。

6 构造规定

6.1 结构选型

6.1.1 防辐射混凝土结构应优先选用整体性好、抗裂性能强的结构形式，如现浇钢筋混凝土结构。对于大型防辐射建筑，可采用筒体结构、框架 - 剪力墙结构等。

6.1.2 结构布置应尽量规则、对称，避免出现突变和薄弱部位，以减少辐射泄漏的可能性。

6.2 构件尺寸

6.2.1 混凝土墙、板等构件的厚度应根据辐射屏蔽计算确定，且不宜小于设计规定的最小屏蔽厚度。同时，应考虑结构的受力要求和施工可行性。

6.2.2 梁、柱等构件的截面尺寸应满足承载能力和变形要求，同时应保证混凝土的保护层厚度，以防止钢筋锈蚀影响结构的耐久性和防辐射性能。

6.3 钢筋布置

6.3.1 钢筋的直径、间距和配筋率应根据结构的受力分析和设计要求确定。在辐射剂量较高的部位，可适当增加钢筋的配筋率，以提高结构的抗裂性能。

6.3.2 钢筋的接头应采用焊接或机械连接，接头位置应避开辐射敏感区域。钢筋的锚固长度应符合相关标准的规定，以保证钢筋与混凝土之间的可靠粘结。

6.3.3 为减少辐射散射，钢筋应尽量采用细直径、密间距的布置方式，避免出现钢筋的集中布置和交叉。

6.4 施工缝和变形缝

6.4.1 施工缝的设置应尽量减少，且应避开辐射剂量较高的部位。施工缝的处理应符合相关施工规范的要求，确保施工缝处的混凝土质量和防辐射性能。

6.4.2 变形缝的设置应根据结构的长度、温度变化和地基沉降等因素确定。变形缝应采用可靠的密封措施，防止辐射泄漏。可采用橡胶止水带、钢板止水带等材料进行密封，同时应在变形缝两侧设置足够厚度的混凝土保护层。

6.5 孔洞和预埋件

6.5.1 应尽量减少混凝土结构中的孔洞和预埋件数量。对于必须设置的孔洞和预埋件，应采取有效的屏蔽措施，如在孔洞周围设置加厚的混凝土边框，在预埋件表面包裹防辐射材料等。

6.5.2 孔洞和预埋件的尺寸和位置应严格按照设计要求施工，避免对结构的防辐射性能造成影响。孔洞和预埋件周围的混凝土应振捣密实，确保其与主体结构的整体性。

7 混凝土配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 防辐射混凝土配合比设计应在满足辐射屏蔽性能的基础上，同时满足混凝土的强度、工作性、耐久性等要求，且应符合 GB 50010、GB 50666 的规定。

7.1.2 配合比设计前，应充分了解工程使用环境、辐射源特性、结构设计要求等资料，明确混凝土的密度、强度等级、抗辐射性能等设计指标。

7.1.3 配合比设计应通过计算、试配和调整确定，试配时应采用工程实际使用的原材料，并模拟施工条件进行搅拌、成型和养护。

7.2 设计指标

7.2.1 密度指标

防辐射混凝土的密度应根据辐射屏蔽要求确定，具体要求如下：

- a) 用于屏蔽 γ 射线的混凝土密度不应小于 $3\,000\text{ kg/m}^3$ ；
- b) 对于屏蔽中子射线的混凝土，在满足其他性能要求的前提下，可通过掺入适量含氢材料（如石蜡、硼砂等）调整密度，通常密度范围在 $2\,500\text{ kg/m}^3 \sim 3\,500\text{ kg/m}^3$ 。

7.2.2 强度指标

混凝土的强度等级不应低于 C25，对于承受较大荷载或有特殊要求的部位，强度等级应根据结构设计计算确定，且应满足结构的承载能力和变形要求。

7.2.3 抗辐射性能指标

通过模拟辐射试验或参考相关研究数据，确定混凝土对不同类型辐射（如 γ 射线、中子射线等）的屏蔽效率。在设计使用年限内，混凝土结构对辐射的屏蔽效果应使辐射剂量率降低至 GB 18871 中规定限量值。

7.2.4 工作性指标

7.2.4.1 混凝土的坍落度应根据施工工艺和结构形式确定，具体要求如下：

- a) 泵送施工时坍落度宜控制在 $120\text{ mm} \sim 180\text{ mm}$ ；
- b) 非泵送施工时，坍落度宜控制在 $80\text{ mm} \sim 120\text{ mm}$ 。

7.2.4.2 混凝土应具有良好的粘聚性和保水性，避免出现离析、泌水现象。

7.3 配合比设计

7.3.1 初步配合比计算

7.3.1.1 胶凝材料用量

根据混凝土强度等级和水泥强度等级，按照胶凝材料强度公式计算胶凝材料用量。胶凝材料用量不宜小于 350 kg/m^3 ，且不应超过 550 kg/m^3 。当掺入掺合料时，应根据掺合料的种类和掺量进行调整。

7.3.1.2 用水量

根据混凝土的坍落度要求和骨料的特性，参考经验公式计算用水量。在满足工作性的前提下，应尽量降低用水量，以提高混凝土的密实度和耐久性。用水量范围为 $140\text{ kg/m}^3 \sim 200\text{ kg/m}^3$ 。

7.3.1.3 骨料用量

应采用绝对体积法或假定表观密度法计算粗细骨料用量。粗骨料的用量应根据其最大粒径、级配和混凝土的流动性要求确定；细骨料的用量应根据砂率和粗骨料用量计算，砂率宜控制在 35% ～ 45% 。

7.3.1.4 外加剂和掺合料用量

根据外加剂和掺合料的性能和推荐掺量，结合试配情况确定其用量。减水剂的掺量为胶凝材料总量的 0.5% ～ 2.0%；粉煤灰掺量不宜超过胶凝材料总量的 30%，矿渣粉掺量不宜超过胶凝材料总量的 50%。

7.3.2 试配与调整

7.3.2.1 按照初步配合比进行试配，测定混凝土的工作性。若工作性不满足要求，应调整用水量、砂率或外加剂用量，直至工作性符合设计要求。

7.3.2.2 在工作性满足要求的基础上，成型标准试件，进行强度和密度试验。根据试验结果，调整胶凝材料用量、骨料级配等参数，使混凝土的强度和密度达到设计指标。

7.3.2.3 对于有抗辐射性能要求的混凝土，应进行模拟辐射试验或委托专业机构进行检测，验证混凝土的抗辐射性能。若抗辐射性能不满足要求，可调整原材料种类、配合比或采取其他技术措施进行改进。

7.3.3 确定施工配合比

根据试配调整后的配合比，结合施工现场砂、石的实际含水率，将试验室配合比换算为施工配合比。施工过程中，应严格按照施工配合比计量原材料，确保混凝土质量的稳定性。

8 拌合与运输

8.1 混凝土拌合

8.1.1 搅拌设备应根据混凝土的生产规模、性能要求和施工条件合理选择，优先选用强制式搅拌机。搅拌机应具备良好的搅拌性能和计量精度。

8.1.2 搅拌前，应清理搅拌机内的杂物和积水，检查搅拌机的运行状况。

8.1.3 搅拌顺序应先将粗细骨料、水泥、掺合料投入搅拌机干拌一定时间（不少于 30 s），使材料充分混合，然后再加入水和外加剂进行湿拌。湿拌时间应根据搅拌机类型、混凝土性能要求等因素确定，不宜少于 120 s，对于防辐射混凝土，搅拌时间可适当延长，以确保混凝土均匀性和各组分充分反应。

8.2 混凝土拌合计量与控制

8.2.1 原材料计量应采用重量法，计量设备应定期校准。计量允许偏差应符合表 1 的规定。

表 1 计量允许偏差

原料名称	计量允许偏差（%）
水泥、掺合料	± 1
粗、细骨料	± 2
水、外加剂	± 1

8.2.2 应建立原材料计量记录制度，记录每次搅拌的原材料用量、搅拌时间等信息，以便追溯和质量控制。

8.2.3 在搅拌过程中，应随时检查原材料的质量和用量，如发现异常情况应及时处理。同时，应根据原材料的含水率变化及时调整用水量，确保混凝土配合比的准确性。

8.3 工作性检验

8.3.1 每盘混凝土出料后，应在搅拌地点及时进行工作性检验，检验项目包括坍落度、扩展度、粘聚性和保水性等。

8.3.2 坍落度和扩展度的检测方法应符合 GB/T 50080-2016 的规定。泵送混凝土的坍落度损失不宜大于 30 mm/h，且到达浇筑地点时的坍落度应满足本文件 7.2.4.1 的要求。

8.3.3 混凝土的粘聚性和保水性可通过观察混凝土的外观和离析、泌水情况进行判断。如混凝土出现离析、泌水现象，应分析原因并及时调整配合比或搅拌工艺。

8.4 混凝土运输

8.4.1 混凝土运输设备应根据混凝土的供应距离、浇筑速度和施工条件等因素合理选择，可选用混凝土搅拌运输车、混凝土泵车等。运输设备应具备良好的密封性和保温性能，防止混凝土在运输过程中出现离析、泌水和坍落度损失等现象。

8.4.2 混凝土在运输过程中应保持搅拌状态，搅拌速度宜控制在 $2\text{ r/min} \sim 4\text{ r/min}$ 。当采用混凝土搅拌运输车运输时，运输时间不宜超过 1 h；当气温高于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，运输时间不宜超过 0.5 h。如运输时间过长，应采取适当的措施（如添加缓凝剂等）保证混凝土的工作性。

8.4.3 混凝土运输至浇筑地点后，应尽快进行浇筑。在浇筑前，应再次检查混凝土的工作性，如不满足要求，应进行二次搅拌或调整处理，但二次搅拌时间不宜过长，以免影响混凝土的质量。

8.4.4 应建立混凝土运输记录制度，记录运输时间、运输设备、混凝土坍落度等信息，以便对混凝土运输过程进行质量监控和追溯。

9 施工技术

9.1 一般规定

9.1.1 施工前应编制详细的施工方案，明确施工工艺、质量控制措施和安全保障措施，并报相关部门审批。

9.1.2 施工人员应进行专业培训，熟悉防辐射混凝土的特点和施工要求，掌握相关的施工技能和安全操作规程。

9.1.3 施工现场应设置明显的安全警示标志，配备必要的安全防护用品和辐射监测设备，确保施工人员的安全。

9.1.4 施工过程中应严格按照设计文件和相关标准规范进行施工，加强质量控制和检验，确保每道工序的质量符合要求。

9.2 混凝土制备

9.2.1 原材料检验

9.2.1.1 原材料进场时，应按现行国家标准和本文件要求进行检验，检验内容包括强度、密度、重金属含量、放射性等指标。检验合格后方可使用。

9.2.1.2 对于水泥，安定性必须合格，游离氧化钙含量不应超过 1.0%，氧化镁含量不应超过 5.0%。

9.2.1.3 细骨料细度模数应在 2.3 ~ 3.0 之间，含泥量不应超过 3.0%，泥块含量不应超过 1.0%。

9.2.1.4 粗骨料最大粒径不宜超过 40 mm，针片状颗粒含量不应超过 15%，含泥量不应超过 1.0%，泥块含量不应超过 0.5%。

9.2.1.5 重金属骨料密度，重晶石不应小于 4.0 g/cm^3 ，铁矿石不应小于 4.5 g/cm^3 。

9.2.2 配合比控制

9.2.2.1 应根据设计配合比准确计量各种原材料，确保混凝土的组成符合设计要求。

9.2.2.2 计量设备应定期校准，保证计量精度。

9.2.2.3 原材料计量允许偏差应符合表 1 的规定。

9.2.3 搅拌工艺

混凝土搅拌应采用强制式搅拌机，搅拌时间应根据混凝土的特性和搅拌设备类型合理确定，湿拌时间不宜少于 120 s，对于防辐射混凝土可适当延长，以确保混凝土拌和均匀，骨料分散良好。

9.3 混凝土场外运输

9.3.1 运输设备选择

应根据混凝土的供应距离、浇筑速度和施工条件等因素合理选择运输设备，如混凝土搅拌运输车。运输设备应具备良好的密封性和保温性能，防止混凝土在运输过程中出现离析、泌水和坍落度损失等现象。

9.3.2 运输时间控制

混凝土在运输过程中应保持搅拌状态，搅拌速度宜控制在 $2\text{ r/min} \sim 4\text{ r/min}$ 。当采用混凝土搅拌运输车运输时，运输时间不宜超过 1 h；当气温高于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，运输时间不宜超过 0.5 h。如运输时间过长，应采取适当的措施（如添加缓凝剂等）保证混凝土的工作性。

9.3.3 运输过程质量监控

9.3.3.1 应建立混凝土运输记录制度，记录运输时间、运输设备、混凝土坍落度等信息。

9.3.3.2 混凝土运输至浇筑地点后，应再次检查混凝土的工作性，如不满足要求，应进行二次搅拌或调整处理，但二次搅拌时间不宜过长，以免影响混凝土的质量。

9.4 模板及钢筋工程

9.4.1 模板工程

9.4.1.1 模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，能够承受混凝土浇筑时的侧压力和施工荷载。模板表面应平整、光滑，拼接严密，防止漏浆。

9.4.1.2 模板安装应位置准确、牢固，尺寸偏差应符合设计和规范要求。模板的垂直度偏差不应超过 5 mm，表面平整度偏差不应超过 3 mm。

9.4.1.3 模板拆除应根据混凝土的强度增长情况和结构特点合理确定拆除时间。侧模拆除时，混凝土强度应能保证其表面及棱角不受损伤；底模拆除时，混凝土强度应符合设计要求，如设计无要求时，应符合 GB 50204 的相关规定。

9.4.2 钢筋工程

9.4.2.1 钢筋的品种、规格和质量应符合设计和相关标准要求。钢筋进场时，应进行力学性能和重量偏差检验，检验合格后方可使用。

9.4.2.2 钢筋加工应符合设计和规范要求，钢筋的弯钩和弯折角度、弯曲半径等应符合规定。钢筋的焊接或机械连接接头应符合相关标准的要求，接头位置应避开辐射敏感区域，同一截面内钢筋接头的百分率应符合设计和规范要求。

9.4.2.3 钢筋安装应位置准确、牢固，钢筋的间距、排距偏差不应超过 $\pm 10\text{ mm}$ ，钢筋保护层厚度偏差不应超过 $\pm 5\text{ mm}$ 。钢筋绑扎应牢固，防止在混凝土浇筑过程中移位。

9.5 混凝土工程

9.5.1 混凝土浇筑

9.5.1.1 浇筑前，应检查模板、钢筋及预埋件的位置和尺寸，确保符合设计要求。清除模板内的杂物和积水，保持模板表面湿润，但不得有积水。

9.5.1.2 混凝土应分层浇筑，分层厚度应根据混凝土的流动性和振捣设备能力确定，不宜超过 500 mm 。振捣应密实，采用插入式振捣器时，振捣棒应快插慢拔，移动间距不宜大于振捣棒作用半径的 1.5 倍，振捣时间以混凝土表面出现浮浆、不再下沉和无气泡冒出为宜，避免出现蜂窝、麻面等缺陷，防止因混凝土不密实影响防辐射性能。

9.5.1.3 对于大体积混凝土，应采取有效的温控措施，控制混凝土内外温差不超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，防止出现温度裂缝。可采用分层分段浇筑、预埋冷却水管、添加缓凝剂等方法降低混凝土水化热。

9.5.2 混凝土养护

9.5.2.1 混凝土浇筑后，应及时进行养护，养护方法可采用洒水养护、覆盖养护等。养护时间应根据混凝土的强度增长情况和环境条件确定，对于防辐射混凝土，养护时间不应少于 14 d 。

9.5.2.2 养护期间，应保持混凝土表面湿润，避免混凝土因失水过快导致收缩裂缝，影响混凝土的防辐射性能和耐久性。当环境温度低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，不得采用洒水养护，应采取保温养护措施。

10 质量验收

10.1 一般规定

10.1.1 防辐射混凝土结构工程质量验收应在施工单位自检合格的基础上，按照分项工程、分部工程进行。分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目技术负责人等进行验收；分部工程应由总监理工程师组织施工单位项目负责人和技术、质量负责人等进行验收。

10.1.2 质量验收应依据本文件、设计文件以及 GB 50204 的规定进行。验收内容应包括原材料质量、混凝土配合比、施工过程质量以及混凝土结构的各项性能指标等。

10.1.3 对涉及结构安全和防辐射性能的试块、试件及有关材料，应按规定进行见证取样检测；对重要部位的混凝土结构，应进行实体检验。

10.2 原材料质量验收

10.2.1 水泥、骨料、外加剂、掺合料等原材料应具有质量证明文件，并按规定进行复试。复试项目和批量应符合相关标准的要求。

10.2.2 水泥的安定性、强度、放射性等指标应符合本文件第 5 章的规定。骨料的颗粒级配、含泥量、泥块含量、密度等指标应满足设计和规范要求；外加剂和掺合料的质量应符合相应标准的规定。

10.2.3 原材料进场时，应进行外观检查，如发现有质量问题或不符合要求的情况，不得使用。

10.3 混凝土配合比验收

10.3.1 混凝土配合比应符合设计要求和本文件第 7 章的规定。施工单位应提供混凝土配合比设计报告、试配记录和开盘鉴定等资料。

10.3.2 混凝土配合比的计量应准确，原材料计量偏差应符合本文件第 8 章的规定。应检查施工过程中的计量记录，确保配合比的严格执行。

10.4 施工过程质量验收

10.4.1 模板工程验收应检查模板的安装质量，包括模板的位置、尺寸、垂直度、平整度等是否符合设计和规范要求；模板的拆除时间应符合规定，拆除后的模板应清理干净，妥善保管。

10.4.2 钢筋工程验收应检查钢筋的品种、规格、数量、位置、锚固长度、接头质量等是否符合设计和规范要求。钢筋的连接方式和接头位置应符合本文件第 9 章的规定。

10.4.3 混凝土制备和运输过程的验收应检查原材料的质量、配合比的执行情况、搅拌时间、运输时间、坍落度等指标是否符合要求。应查看混凝土生产记录和运输记录，确保混凝土质量的稳定性。

10.4.4 混凝土浇筑和养护的验收应检查混凝土的浇筑顺序、分层厚度、振捣情况、养护方法和养护时间等是否符合施工方案和本文件的规定。混凝土表面应平整、密实，无蜂窝、麻面、露筋等缺陷。

10.5 混凝土结构性能验收

10.5.1 混凝土强度验收应按 GB 50204 的规定进行。应检查混凝土试块的强度试验报告，混凝土强度应符合设计要求。当混凝土强度不符合要求时，应按相关规定进行处理。

10.5.2 混凝土密度验收应每检验批至少抽取 3 组试样进行检测，检测结果的平均值应不低于设计密度，且单个试样的密度偏差不应超过设计密度的 $\pm 5\%$ 。

10.5.3 混凝土中重金属含量验收应采用化学分析或仪器分析等方法进行检测，每检验批应至少抽取 2 组试样。重金属含量应符合设计和相关标准要求。

10.5.4 混凝土的抗辐射性能验收应通过模拟辐射试验或现场辐射检测等方法进行，检测方法和评价标准应符合相关行业规范。辐射剂量率应降低至国家规定的安全限值以下，确保混凝土结构的防辐射性能满足设计要求。

10.6 验收记录与报告

10.6.1 质量验收过程中应做好各项记录，包括原材料检验记录、施工过程检查记录、试验检测报告等。记录应真实、准确、完整，并具有可追溯性。

10.6.2 验收合格后，应编制质量验收报告，报告内容应包括工程概况、验收依据、验收范围、验收方法、验收结果等。验收报告应由参与验收的各方签字确认。

11 混凝土结构的维护

11.1 定期检查

11.1.1 应建立混凝土结构防辐射性能定期检查制度，检查周期应根据结构的使用环境和重要程度确定，每年不少于 1 次。

11.1.2 检查内容包括混凝土结构的外观质量、裂缝情况、密度变化以及辐射屏蔽效果等。发现异常情况应及时进行分析和处理。

11.2 保养

11.2.1 定期对混凝土结构表面进行清洁，清除灰尘、污垢等污染物，避免污染物对混凝土造成侵蚀，影响防辐射性能。

11.2.2 对混凝土结构的伸缩缝、施工缝等部位进行检查和维护，及时修补密封材料的损坏，防止外界介质渗入影响结构性能。

11.3 修补

11.3.1 当混凝土结构出现裂缝、破损等缺陷时，应及时进行修补。修补材料应与原混凝土具有良好的相容性，且满足防辐射性能要求。

11.3.2 对于影响辐射屏蔽性能的严重缺陷，应制定专项修补方案，经专家论证后实施。修补完成后，应进行辐射屏蔽性能检测，确保满足设计要求。

12 辐射监测与评估

12.1 监测原则

12.1.1 全面性原则

对混凝土结构内部、表面以及周边一定范围内的辐射场进行全方位监测，确保无监测盲区。

12.1.2 代表性原则

合理设置监测点位，使监测数据能够真实反映混凝土结构的辐射状况及环境辐射水平。

12.1.3 持续性原则

在混凝土结构的设计、施工、使用及维护全过程中，持续开展辐射监测工作，及时掌握辐射变化趋势。

12.2 监测阶段

12.2.1 设计阶段监测

根据辐射源特性及设计方案，对拟建混凝土结构区域的本底辐射水平进行监测，监测要求应符合 HJ 61-2021 的要求。

12.2.2 施工阶段监测

在混凝土浇筑过程中，对施工现场的辐射水平进行实时监测，确保施工人员安全；施工完成后，对混凝土结构的辐射屏蔽效果进行初步检测。

12.2.3 使用阶段监测

定期对混凝土结构内部及周边环境的辐射水平进行监测，监测频率应根据辐射源的活度和结构的重要性确定，每月至少进行 1 次常规监测；在发生辐射源变更、结构改造等特殊情况下，应及时进行专项监测。

12.2.4 维护阶段监测

在混凝土结构维护过程中，对修复或改造部位的辐射屏蔽性能进行监测，评估维护效果；同时，结合定期检查，对结构整体的辐射性能进行监测。

12.3 监测内容及评估防范

在辐射监测过程中，主要包括监测内容的基准值、数据来源及判断依据，具体见表 2。

表 2 监测内容

监测内容	基准值	数据来源	判定依据
辐射剂量率	职业照射年有效剂量限值不超过 20 mSv; 公众照射年有效剂量限值不超过 1 mSv。	便携式辐射剂量率仪测量混凝土结构表面及周边环境不同高度、不同距离处数值	与 GB 18871 中规定的辐射剂量率限值对比，若测量值超过限值则判定为辐射剂量率超标
辐射能谱		能谱仪对辐射源分析所得数据	通过能谱分析确定辐射种类和能量分布，结合已知辐射危害数据（如不同能量的 γ 射线、中子射线对人体危害程度不同），判断辐射可能造成的危害程度；对比不同时间段能谱变化，评估辐射源稳定性和屏蔽效果变化
混凝土内部辐射	根据设计要求确定	预埋辐射监测探头实时监测数据或钻孔取样后实验室检测数据	将监测数据与设计规定的内部辐射剂量率标准值对比，若高于标准值，表明混凝土屏蔽性能未达设计要求，可能存在辐射泄漏风险

12.4 监测与评估报告

- 12.4.1 每次监测工作完成后，应及时编制监测报告，报告内容包括监测目的、监测方法、监测点位、监测数据、数据分析及结论等。
- 12.4.2 定期对监测数据进行汇总和分析，编制辐射评估报告，报告应全面评估混凝土结构的防辐射性能、辐射安全状况，提出存在的问题和改进建议，并报送相关管理部门备案。