ICS 91.100.30
Q 13

中华人民共和国国家标准

GB/T 34008—2017

防辐射混凝土

Radiation shielding concrete

2017-07-12 发布　　2018-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅰ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 2
4　分类、性能等级及标记 …… 2
5　原材料和配合比 …… 3
6　质量要求 …… 6
7　制备与运输 …… 7
8　试验方法 …… 9
9　检验规则 …… 9
10　订货与交货 …… 10
附录 A（规范性附录）　防辐射添加剂的含水量检验方法 …… 11
附录 B（规范性附录）　铁矿石防辐射混凝土配合比计算方法 …… 12
附录 C（规范性附录）　防辐射混凝土干表观密度检验方法 …… 16
附录 D（资料性附录）　防辐射混凝土结合水含量检验方法 …… 17

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国住房和城乡建设部提出。

本标准由全国混凝土标准化技术委员会(SAC/TC 458)归口。

本标准负责起草单位:中国核工业第二二建设有限公司。

本标准参加起草单位:中国建筑科学研究院、中国核电工程有限公司、中国路桥工程有限责任公司、上海建工材料工程有限公司、重庆建工新型建材有限公司、深圳市安托山混凝土有限公司、深圳市为海建材有限公司、中建商品混凝土有限公司、浙江天工建设集团有限公司、上海市建筑科学研究院(集团)有限公司、上海核工程研究设计院、南华大学、中国核工业华兴建设有限公司、北京空港通和混凝土有限公司、北京东方建宇混凝土科学技术研究院有限公司、中核建材有限公司、贵州中建建筑科研设计院有限公司、北京建工新型建材有限责任公司、北京可耐可特新材料有限公司、福建华建工程建设有限公司。

本标准主要起草人:樊烛、王晶、周永祥、季钊徐、杨振勋、冷发光、谢利平、李植淮、梁锡武、施钟毅、杨根宏、彭友元、李新刚、石从黎、余恒杰、黄小林、王永海、陈振富、孙冰、陈建大、杨尚、刘霞、段遵莉、杜增强、张卫国、李路明、王晓中、董汇标、卓龙昊。

防辐射混凝土

1 范围

本标准规定了防辐射混凝土的术语和定义，分类、性能等级及标记，原材料和配合比，质量要求，制备与运输，试验方法，检验规则，订货与交货。

本标准适用于辐射防护工程的防辐射混凝土。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 175 通用硅酸盐水泥

GB/T 176 水泥化学分析方法

GB/T 200 中热硅酸盐水泥 低热硅酸盐水泥 低热矿渣硅酸盐水泥

GB/T 208 水泥密度测定方法

GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB/T 6005 试验筛 金属丝编织网、穿孔板和电成型薄板 筛孔的基本尺寸

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 14902 预拌混凝土

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)

GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 21120 水泥混凝土和砂浆用合成纤维

GB/T 26408 混凝土搅拌运输车

GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰

GB/T 28293 钢铁渣粉

GB/T 31545 核电工程用硅酸盐水泥

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法

GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法

GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准

GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准

GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范

GB 50164 混凝土质量控制标准

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB/T 50557 重晶石防辐射混凝土应用技术规范

JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准

JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程

JGJ 63 混凝土用水标准

JGJ/T 70　建筑砂浆基本性能试验方法标准
JGJ/T 221　纤维混凝土应用技术规程
JGJ/T 322　混凝土中氯离子含量检测技术规程

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

干表观密度不小于 2 800 kg/m³、用于防护和屏蔽核辐射的混凝土。

3.2

重晶石防辐射混凝土　radiation shielding barite concrete

以重晶石作为粗、细骨料配制的防辐射混凝土。

3.3

铁矿石防辐射混凝土　radiation shielding iron ore concrete

以铁矿石作为粗、细骨料配制的防辐射混凝土。

3.4

复合骨料防辐射混凝土　radiation shielding compound-aggregates concrete

使用重晶石、铁矿石、石灰石、铁质骨料、铅质骨料等两种或两种以上类别作为骨料配制的防辐射混凝土。

4　分类、性能等级及标记

4.1　分类

根据所用骨料的种类将防辐射混凝土分为重晶石防辐射混凝土、铁矿石防辐射混凝土和复合骨料防辐射混凝土。防辐射混凝土种类及其代号见表 1。

表 1　防辐射混凝土种类及其代号

防辐射混凝土种类	重晶石防辐射混凝土	铁矿石防辐射混凝土	复合骨料防辐射混凝土
防辐射混凝土种类代号	W_Z	W_T	W_F

4.2　性能等级

4.2.1　防辐射混凝土强度等级可划分为：C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。

4.2.2　防辐射混凝土密度等级可按表 2 的规定将其干表观密度分为六个等级。

表 2　防辐射混凝土的密度等级划分

密度等级	干表观密度范围/(kg/m³)	密度等级	干表观密度范围/(kg/m³)
RS1	≥2 800 且<3 200	RS4	≥4 000 且<4 400
RS2	≥3 200 且<3 600	RS5	≥4 400 且<4 800
RS3	≥3 600 且<4 000	RS6	≥4 800

4.2.3 防辐射混凝土拌合物坍落度的等级划分应符合表 3 的规定。

表 3 防辐射混凝土拌合物的坍落度等级划分

单位为毫米

等级	坍落度
S1	10～40
S2	50～90
S3	100～150
S4	≥160

4.2.4 防辐射凝土抗冻性能等级可划分为:F50、F100、F150、F200、F250、F300、F350、F400、>F400;抗水渗透性能等级可划分为:P4、P6、P8、P10、P12、>P12;抗碳化性能的等级划分应符合表 4 的规定。

表 4 防辐射混凝土抗碳化性能的等级划分

等级	T－Ⅰ	T－Ⅱ	T－Ⅲ	T－Ⅳ	T－Ⅴ
碳化深度 d/mm	≥30	≥20 且<30	≥10 且<20	≥0.1 且<10	<0.1

4.3 标记

4.3.1 防辐射混凝土标记应按下列顺序:

a) 防辐射混凝土种类的代号;

b) 强度等级;

c) 干表观密度设计值,后附密度等级代号在括号中;

d) 坍落度控制目标值,后附坍落度等级代号在括号中;

e) 本标准编号。

4.3.2 标记示例:

强度等级为 C40,干表观密度为 3 300 kg/m³,坍落度为 100 mm,抗渗等级为 P12 的铁矿石防辐射混凝土,其标记为:

W_T-C40-3 300(RS2)-100 (S3)-GB/T 34008

5 原材料和配合比

5.1 胶凝材料

5.1.1 水泥应符合 GB 175、GB/T 200 和 GB/T 31545 的规定。

5.1.2 粉煤灰应符合 GB/T 1596 的规定,粒化高炉矿渣粉应符合 GB/T 18046 的规定,硅灰应符合 GB/T 27690 的规定,钢铁渣粉应符合 GB/T 28293 的规定。宜采用Ⅱ级及以上等级粉煤灰、S95 及以上等级的粒化高炉矿渣粉和 G85 及以上等级的钢铁渣粉。当采用其他矿物掺合料时,应通过试验进行验证,确定防辐射混凝土性能满足工程应用要求后方可使用。

5.1.3 胶凝材料进场应提供出厂检验报告等质量证明文件,并应进行检验。检验项目及检验批量应符合 GB 50164 的规定。

5.2 骨料

5.2.1 铁矿石细骨料的细度模数和颗粒级配宜符合 JGJ 52 中级配Ⅱ区中砂的规定,石粉含量和有机物

含量应符合 JGJ 52 的规定，并应符合表 5 的规定。

表 5　铁矿石细骨料技术要求

项　目	指标
表观密度/(kg/m³)	≥3 700
泥块含量/%	≤0.5
坚固性/%	≤8
氯离子含量/%	≤0.02
硫化物和硫酸盐含量(按 SO_3)计/%	≤0.5
放射性	符合 GB 6566 的规定

5.2.2　铁矿石粗骨料宜采用二级或多级级配骨料混配而成，其性能应满足表 6 的规定，粗骨料的颗粒级配应符合 JGJ 52 的规定。

表 6　铁矿石粗骨料技术要求

项　目	指标
表观密度/(kg/m³)	≥3 700
针片状颗粒含量/%	≤15
压碎值指标/%	≤12
含泥量/%	≤1.0
泥块含量/%	≤0.5
坚固性/%	≤8
氯离子含量/%	≤0.02
硫化物和硫酸盐含量(按 SO_3 计)/%	≤0.5
放射性	符合 GB 6566 的规定

5.2.3　重晶石骨料应符合 GB/T 50557 的规定；其他骨料的表观密度应满足防辐射混凝土的配制干表观密度要求，针片状颗粒含量不应大于 20%，氯离子含量不应大于 0.02%，硫化物和硫酸盐含量(按 SO_3 计)不应大于 0.5%，其他性能指标应符合 JGJ 52 的规定。骨料的放射性检验应符合 GB 6566 的规定。

5.2.4　铁质、铅质等金属骨料不宜采用单粒级；铁质、铅质等金属骨料应符合表 7 的技术要求。

表 7　金属骨料的技术要求

项　目	指标
表观密度/(kg/m³)	≥7 000
硫化物和硫酸盐含量(按 SO_3 计)/%	≤0.5
放射性	符合 GB 6566 的规定

5.2.5　骨料进场应进行检验。骨料检验项目及检验批量应符合本标准和 GB 50164 的规定。

5.3 防辐射添加剂

5.3.1 含硼、锂、铬等元素的防辐射添加剂的技术要求应符合表 8 的规定。

表 8 防辐射添加剂的技术要求

项 目	指标
含水量/%	≤1.0
游离氧化钙含量/%	≤3.0
氯离子含量/%	≤0.02
三氧化硫含量/%	≤4.0
安定性(沸煮法)	合格
放射性	符合 GB 6566 的规定

5.3.2 含硼、锂、铬等元素的防辐射添加剂的含水量检验应符合附录 A 的规定。安定性检验应将含硼、锂、铬等元素的防辐射添加剂与符合 GSB14-1510 强度检验用水泥标准样品或合同约定水泥按施工配合比的掺量比例混合均匀,安定性试验应符合 GB/T 1346 的规定。游离氧化钙含量、三氧化硫含量和氯离子含量的检验应符合 GB/T 176 的规定,放射性检验应符合 GB 6566 的规定。

5.3.3 含硼、锂、铬等元素的防辐射添加剂应具有质量证明文件,其掺量应通过试验确定;掺加防辐射添加剂的防辐射混凝土的性能应符合国家现行相关标准的规定,且应通过试验确认防辐射混凝土性能满足工程应用要求。

5.4 外加剂、纤维和拌合用水

5.4.1 外加剂应符合 GB 8076 和 GB 50119 的规定;外加剂进场应提供出厂检验报告等质量文件,并应进行检验。检验项目及检验批量应符合 GB 50164 的规定;减水剂宜使用高性能减水剂。

5.4.2 用于防辐射混凝土中的钢纤维和合成纤维应符合 JGJ/T 221 和 GB/T 21120 的规定。并应通过试验确认防辐射混凝土性能满足工程应用要求;纤维进场应提供出厂检验报告等质量证明文件,并应进行检验。检验项目及检验批量应符合 JGJ/T 221 的规定。

5.4.3 拌合用水应符合 JGJ 63 的规定;拌合用水检验项目应符合 JGJ 63 的规定,检验频率应符合 GB 50204的规定。

5.5 配合比

5.5.1 防辐射混凝土的配合比应根据干表观密度和强度等级设计要求选择原材料进行计算;配制强度应按式(1)计算,强度标准差应按照表 9 取值;配制干表观密度应按式(2)计算。

$$f_{cu,0} \geqslant f_{cu,k} + 1.645\sigma \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中:

$f_{cu,0}$——防辐射混凝土配制强度,单位为兆帕(MPa);

$f_{cu,k}$——防辐射混凝土立方体抗压强度标准值,这里取设计混凝土强度等级值,单位为兆帕(MPa);

σ ——防辐射混凝土强度标准差,单位为兆帕(MPa)。

表 9 标准差 σ 值

单位为兆帕

混凝土强度标准值	C20	C25～C45	C50～ C60
σ	4.0	5.0	6.0

$$\rho_{c,0} \geqslant 1.02\rho_{c,k} \quad \cdots\cdots(2)$$

式中：

$\rho_{c,0}$——防辐射混凝土配制干表观密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；

$\rho_{c,k}$——防辐射混凝土设计干表观密度，单位为千克每立方米(kg/m³)。

5.5.2 防辐射混凝土的配合比计算应符合下列规定：

a) 铁矿石防辐射混凝土的配合比计算应符合附录 B 的规定；

b) 采用重晶石配制防辐射混凝土时，应在附录 B 中式(B.1)计算的水胶比基础上适当降低，并应通过试验验证确定，强度等级不宜大于 C40；

c) 采用金属骨料配制防辐射混凝土时，金属骨料应等体积取代附录 B 计算配合比计算中的骨料，并应经试验调整确定。

5.5.3 防辐射混凝土的试配与调整应符合下列规定；并应根据 JGJ 55 的规定和工程要求对设计配合比进行施工适应性调整后确定施工配合比。

a) 配合比调整后的混凝土拌合物的表观密度应按式(3)计算；

b) 配合比校正系数应按式(4)计算；

c) 配合比中每项材料用量均应乘以校正系数 δ；拌合物表观密度实测值应满足式(5)的要求。

$$\rho_{c,c} = m_c + m_f + m_g + m_s + m_w + m_p \quad \cdots\cdots(3)$$

式中：

$\rho_{c,c}$——按配合比组成计算的混凝土拌合物的表观密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_c——每立方米混凝土的水泥用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_f——每立方米混凝土的矿物掺合料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_g——每立方米混凝土的粗骨料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_s——每立方米混凝土的细骨料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_w——每立方米混凝土的用水量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_p——每立方米混凝土中减水剂、防辐射添加剂或纤维等其他材料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)。

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad \cdots\cdots(4)$$

式中：

δ——混凝土配合比校正系数。

$$\rho_{c,t} \geqslant 1.02\rho_{c,0} \quad \cdots\cdots(5)$$

式中：

$\rho_{c,t}$——混凝土拌合物的表观密度实测值，单位为千克每立方米(kg/m³)。

6 质量要求

6.1 强度

防辐射混凝土强度应满足设计要求，检验评定应符合 GB/T 50107 的规定。

6.2 干表观密度

防辐射混凝土干表观密度应满足设计要求，检验评定应符合下列规定：

a) 干表观密度试验结果的算术平均值应满足干表观密度设计值要求；

b) 干表观密度试验结果的最小值不应低于干表观密度设计值的95%。

6.3 坍落度经时损失

防辐射混凝土拌合物的坍落度经时损失不宜大于30 mm/h，并应满足施工要求。

6.4 坍落度允许偏差

防辐射混凝土坍落度实测值与控制目标值的允许偏差应符合表10的规定。

表10 防辐射混凝土拌合物坍落度允许偏差

单位为毫米

项目	控制目标值	允许偏差
坍落度	≤40	±10
	50～90	±20
	≥100	±30

6.5 匀质性

防辐射混凝土的匀质性应符合GB 50164的规定。

6.6 水溶性氯离子含量

防辐射混凝土拌合物中水溶性氯离子含量限值应符合GB/T 14902的规定。

6.7 结合水含量

防辐射混凝土结合水含量应满足设计要求。

6.8 耐久性

防辐射混凝土耐久性应满足设计要求。

6.9 其他性能

当需方对防辐射混凝土其他性能有要求时，应按国家现行有关标准规定进行试验，无相应标准时应按合同规定进行试验，其结果应符合标准及合同要求。

7 制备与运输

7.1 原材料贮存

7.1.1 各种材料应分仓贮存，并应有明显的标识。

7.1.2 水泥应按品种、强度等级和生产厂家分别标识和贮存。贮存的水泥用于生产时的温度不宜高于60 ℃。不得使用受潮、结块及污染的水泥。不应使用贮存期超过3个月的水泥。

7.1.3 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别标识和贮存，不应与水泥等其他粉状料混杂，并应防

潮、防雨。

7.1.4 不同品种、规格的骨料应分别贮存，避免混杂或污染；骨料的贮存应保证骨料的均匀性，不使大小颗粒分离。骨料的贮存地面应为能排水的硬质地面，并应有防尘和遮雨设施，金属骨料还应防潮、防锈。

7.1.5 对于防辐射添加剂，应按使用说明书规定单独贮存。

7.1.6 外加剂应按品种和生产厂家分别标识和贮存；粉状外加剂应防止受潮结块，当有结块时，应进行检验，合格者应经粉碎至全部通过 300 μm 方孔筛后方可使用；液态外加剂应贮存在密闭容器内，并应防晒和防冻。当有沉淀等异常现象时，应经检验合格后方可使用。

7.1.7 纤维应按品种、规格和生产厂家分别标识和贮存，并应防潮、防锈。

7.2 计量

7.2.1 原材料计量应采用电子计量设备。计量设备应具有法定计量部门签发的有效检定证书，并应定期校验。混凝土生产单位每月应至少自检一次。每工作班开始前，应对计量设备进行零点校准。

7.2.2 原材料的计量允许偏差不应大于表 11 规定的范围，并应每工作班检查 1 次。

表 11 混凝土原材料计量允许偏差 %

原材料品种	胶凝材料	骨料	水	外加剂	防辐射添加剂	纤维
每盘计量允许偏差	±2	±3	±1	±1	±2	±1
累计计量允许偏差[a]	±1	±2	±1	±1	±1	±1
[a] 累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差。						

7.3 搅拌

7.3.1 防辐射混凝土搅拌应使用强制式搅拌机。

7.3.2 搅拌时的投料顺序宜为骨料、水泥、矿物掺合料等干料先预搅拌 10 s～15 s，加水和外加剂后再搅拌 60 s 以上；对于使用重晶石骨料的防辐射混凝土，在保证搅拌均匀的情况下，可适当缩短搅拌时间。

7.3.3 防辐射混凝土的搅拌容量应根据其设计表观密度与普通混凝土表观密度的比值进行相应比例减小。

7.4 运输

7.4.1 防辐射混凝土搅拌运输车应符合 GB/T 26408 的规定；翻斗车不宜用于运送坍落度大于 60 mm 的混凝土拌合物。

7.4.2 运输时应保证防辐射混凝土拌合物均匀并不产生分层、离析；运输量宜根据防辐射混凝土的表观密度与普通混凝土表观密度的比值相应比例减小。

7.4.3 对于寒冷、严寒或炎热的气候情况，混凝土搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施。

7.4.4 混凝土搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，装料后严禁向搅拌罐内的防辐射混凝土加水。

7.4.5 防辐射混凝土从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料时的运输时间不宜大于 90 min；当采用翻斗车时，运输时间不宜长于 45 min。防辐射混凝土拌合物的运输应保证混凝土浇筑的连续性。

7.4.6 当卸料困难时，应按照经试验确定的预案采取措施。

8 试验方法

8.1 坍落度、表观密度和匀质性

防辐射混凝土拌合物的坍落度、表观密度和匀质性的试验方法应符合 GB/T 50080 的规定。

8.2 水溶性氯离子含量

防辐射混凝土拌合物中水溶性氯离子含量的试验方法应符合 JGJ/T 322 的规定。

8.3 强度

防辐射混凝土强度的试验方法应符合 GB/T 50081 的规定。

8.4 干表观密度

防辐射混凝土干表观密度的检验与评定方法应符合附录 C 的规定。

8.5 耐久性能

防辐射混凝土耐久性能的试验方法应符合 GB/T 50082 的规定。

8.6 结合水含量

防辐射混凝土的结合水含量的检验方法参照附录 D 的规定。

8.7 特殊要求项目

对合同中特殊要求的其他检验项目，其试验方法应符合国家现行有关标准的规定；无标准的，则应按合同约定进行。

9 检验规则

9.1 一般规定

9.1.1 防辐射混凝土质量的检验分为出厂检验和交货检验。出厂检验的取样试验工作应由供方承担；交货检验的取样和试验工作应由需方承担，当需方不具备试验和人员的技术资质时，供需双方可协商确定并委托有检验资质的单位承担，并应在合同中予以明确。

9.1.2 交货检验的试验结果应在试验结束后 5 个工作日内或协议约定的时间内书面通知供方。

9.1.3 防辐射混凝土质量验收应以交货检验结果作为依据。

9.2 检验

9.2.1 防辐射混凝土的性能应分批进行检验评定。一个检验批的混凝土应由力学性能等级相同、密度等级相同、试验龄期相同、生产工艺条件和配合比基本相同的混凝土组成。

9.2.2 防辐射混凝土的抗压强度与干表观密度每 100 m^3 应检验一次。批量不到 100 m^3，按 100 m^3 计算。每工作班次应至少检验一次，每次检验应至少留置各一组试件。试件应在浇筑地点随机取样制作。

9.2.3 防辐射混凝土的取样应符合 GB/T 14902 的规定。

9.3 评定

防辐射混凝土性能指标评定合格应符合下列规定：

a) 强度符合 6.1 的规定；
b) 干表观密度符合 6.2 的规定；
c) 耐久性符合 6.8 的规定；
d) 其他性能符合 6.9 的规定。

10 订货与交货

防辐射混凝土的订货与交货应符合 GB/T 14902 的规定。

附　录　A
（规范性附录）
防辐射添加剂的含水量检验方法

A.1　范围

本附录规定了防辐射添加剂的含水量测试方法。

A.2　仪器设备

A.2.1　电热干燥箱及电热鼓风干燥箱：可控温度不低于 110 ℃，最小分度值不大于 2 ℃。

A.2.2　天平：量程不小于 100 g，准确至 0.01 g。

A.3　试验步骤

A.3.1　称取防辐射添加剂的试样约 50 g，准确至 0.01 g，倒入烘干至恒重的蒸发皿中。

A.3.2　将烘干箱温度调整并控制在 105 ℃～110 ℃。

A.3.3　将防辐射添加剂试样放入烘干箱内烘干至恒重，取出后放在干燥器中冷却至室温后称量，准确至 0.01 g。

A.4　试验结果处理

A.4.1　防辐射添加剂的含水量应按式(A.1)计算，精确至 0.1%。

$$p_w = \frac{m_{w0} - m_{w1}}{m_{w0}} \times 100\% \qquad \cdots\cdots (A.1)$$

式中：

p_w ——含水量；

m_{w0}——烘干前试样的质量，单位为克(g)；

m_{w1}——烘干后试样的质量，单位为克(g)。

A.4.2　每个样品应称取两个试样进行试验，取两个试样含水量的算术平均值为试验结果。当两个试样含水量的绝对差值大于 0.2%时，应重新试验。

附　录　B
（规范性附录）
铁矿石防辐射混凝土配合比计算方法

B.1　范围

本附录规定了不掺防辐射添加剂的铁矿石防辐射混凝土配合比计算方法。

B.2　计算步骤

B.2.1　铁矿石防辐射混凝土的水胶比宜按式(B.1)计算：

$$W/B=\frac{\alpha_a f_b}{f_{cu,0}+\alpha_a\alpha_b f_b} \qquad \cdots\cdots(B.1)$$

式中：

α_a、α_b ——回归系数，α_a 取 0.53，α_b 取 0.20；

W/B ——防辐射混凝土水胶比；

$f_{cu,0}$ ——防辐射混凝土配制强度，单位为兆帕(MPa)；

f_b ——胶凝材料 28 d 胶砂抗压强度，单位为兆帕(MPa)，可实测，且试验方法可按 GB/T 17671 的规定执行；也可按 B.2.3 确定。

B.2.2　当胶凝材料 28 d 胶砂抗压强度值(f_b)无实测值时，可按式(B.2)计算：

$$f_b=\gamma_f\cdot\gamma_s\cdot f_{ce} \qquad \cdots\cdots(B.2)$$

式中：

γ_f、γ_s ——粉煤灰影响系数和粒化高炉矿渣粉影响系数，可按表 B.1 选用；

f_{ce} ——水泥 28 d 胶砂抗压强度，单位为兆帕(MPa)，可实测，也可按 B.2.3 确定。

表 B.1　粉煤灰影响系数(γ_f)和粒化高炉矿渣粉影响系数(γ_s)

掺量/%	种类	
	粉煤灰影响系数 γ_f	粒化高炉矿渣粉影响系数 γ_s
0	1.00	1.00
10	0.85～0.95	1.00
20	0.75～0.85	0.95～1.00
30	0.65～0.75	0.90～1.00

注 1：采用Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰可取上限值。

注 2：采用 S95 级粒化高炉矿渣粉可取上限值，采用 S105 级粒化高炉矿渣粉可取上限值加 0.05。

注 3：当超出表中的掺量时，粉煤灰和粒化高炉矿渣粉影响系数可经试验确定。

B.2.3　当水泥 28 d 胶砂抗压强度(f_{ce})无实测值时，可按式(B.3)计算：

$$f_{ce}=\gamma_c\cdot f_{ce,g} \qquad \cdots\cdots(B.3)$$

式中：

γ_c ——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定；当缺乏实际统计资料时，也可按表

B.2 选用；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值，单位为兆帕(MPa)。

表 B.2 水泥强度等级值的富余系数(γ_c)

水泥强度等级值	32.5	42.5	52.5
富余系数	1.12	1.16	1.10

B.2.4 水胶比在 0.40～0.60 范围时，每立方米防辐射混凝土的用水量可按表 B.3 的规定进行取值；水胶比小于 0.40 时，每立方米防辐射混凝土的用水量可通过试验确定。

表 B.3 防辐射混凝土的用水量 单位为千克每立方米

坍落度	粗骨料最大公称粒径			
	16.0 mm	20.0 mm	31.5 mm	40.0 mm
10 mm～30 mm	200	185	175	165
35 mm～50 mm	210	195	185	175
55 mm～70 mm	220	205	195	185
75 mm～90 mm	230	215	205	195
注 1：本表用水量系采用中砂时的取值。采用细砂时，每立方米混凝土用水量可增加 5 kg～10 kg；采用粗砂时，可减少 5 kg～10 kg。 注 2：掺用矿物掺合料和外加剂时，用水量可相应调整。				

B.2.5 掺外加剂时，每立方米混凝土的用水量(m_{w0})可按式(B.4)计算：

$$m_{w0}=m'_{w0}(1-\beta) \qquad \cdots\cdots(B.4)$$

式中：

m_{w0} ——计算配合比每立方米混凝土的用水量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m'_{w0} ——未掺外加剂时推定的满足实际坍落度要求的每立方米混凝土用水量，单位为千克每立方米(kg/m³)，以表 B.3 中 90 mm 坍落度的用水量为基础，按每增大 20 mm 坍落度相应增加 5 kg/m³ 用水量来计算，当坍落度增大到 160 mm 以上时，随坍落度相应增加的用水量可减少；

β ——外加剂的减水率，应经混凝土试验确定。

B.2.6 每立方米混凝土中外加剂用量(m_{a0})应按式(B.5)计算：

$$m_{a0}=m_{b0}\beta_a \qquad \cdots\cdots(B.5)$$

式中：

m_{a0}——计算配合比混凝土中外加剂用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_{b0}——计算配合比混凝土中胶凝材料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)，计算应符合 B.2.7 的规定；

β_a ——外加剂掺量，应经混凝土试验确定。

B.2.7 每立方米混凝土的胶凝材料用量(m_{b0})应按式(B.6)计算，并应进行试拌调整，在拌合物性能满足的情况下，取经济合理的胶凝材料用量：

$$m_{b0}=\frac{m_{w0}}{W/B} \qquad \cdots\cdots(B.6)$$

B.2.8 每立方米混凝土的矿物掺合料用量(m_{f0})应按式(B.7)计算：

$$m_{f0} = m_{b0}\beta_f \quad \cdots\cdots (B.7)$$

式中：

m_{f0}——计算配合比每立方米混凝土中矿物掺合料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

β_f ——矿物掺合料掺量，可结合相关标准和 B.2.1 的规定确定。

B.2.9 每立方米混凝土的水泥用量(m_{c0})应按式(B.8)计算：

$$m_{c0} = m_{b0} - m_{f0} \quad \cdots\cdots (B.8)$$

式中：

m_{c0}——计算配合比每立方米混凝土中水泥用量，单位为千克每立方米(kg/m³)。

B.2.10 绝对体积砂率(β_s)应根据骨料的技术指标、防辐射混凝土拌合物性能和施工要求，参考既有历史资料确定；当缺少绝对体积砂率的历史资料时，防辐射混凝土砂率的确定宜符合下列规定：

a) 坍落度小于 10 mm 的混凝土，其绝对体积砂率应经试验确定。

b) 坍落度为 10 mm～60 mm 的混凝土，其绝对体积砂率可根据粗骨料最大公称粒径及水胶比按表 B.4 选取。

c) 坍落度大于 60 mm 的混凝土，其绝对体积砂率可经试验确定，也可在表 B.4 的基础上，按坍落度每增大 20 mm、体积砂率增大 1%的幅度予以调整。

表 B.4 混凝土的绝对体积砂率 %

水胶比	粗骨料最大公称粒径		
	16.0 mm	20.0 mm	40.0 mm
0.40	35～40	34～39	32～37
0.50	38～43	37～42	35～40
0.60	41～46	40～45	38～43

注 1：本表数值系中砂的选用体积砂率，对细砂或粗砂，可相应地减少或增大体积砂率。

注 2：只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时，体积砂率可适当增大。

B.2.11 防辐射混凝土宜采用体积法计算混凝土配合比，绝对体积砂率和粗、细骨料绝对体积应分别按式(B.9)和式(B.10)计算；当粗、细骨料为同一种矿石时，可认为砂率与绝对体积砂率相等，砂率应按式(B.11)计算；粗、细骨料的用量应按式(B.12)计算；防辐射混凝土密度还应满足式(B.13)的要求。

$$\beta_{vs} = \frac{\beta_{s0}}{V_{g0} + V_{s0}} \times 100\% \quad \cdots\cdots (B.9)$$

式中：

V_{g0}——计算配合比每立方米混凝土的粗骨料绝对体积，单位为立方米(m³)；

V_{s0}——计算配合比每立方米混凝土的细骨料绝对体积，单位为立方米(m³)；

β_{vs} ——绝对体积砂率。

$$V_{g0} + V_{s0} = 1 - \left(\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{f0}}{\rho_f} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 0.01\alpha\right) \quad \cdots\cdots (B.10)$$

式中：

ρ_c ——水泥密度，单位为千克每立方米(kg/m³)，可按 GB/T 208 测定，也可取 2 900 kg/m³～3 100 kg/m³；

ρ_f ——矿物掺合料密度，单位为千克每立方米(kg/m³)，应按 GB/T 208 测定；

ρ_w——水的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)，可取 1 000 kg/m³；

α ——混凝土的含气量百分数，在不使用引气剂或引气型外加剂时，α 可取 1。

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{g0} + m_{s0}} \times 100\% \quad \cdots\cdots (B.11)$$

式中：

m_{g0}——计算配合比每立方米混凝土的粗骨料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

m_{s0}——计算配合比每立方米混凝土的细骨料用量，单位为千克每立方米(kg/m³)；

β_s ——砂率。

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{f0}}{\rho_f} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \quad \cdots\cdots (B.12)$$

式中：

ρ_g ——粗骨料的表观密度，单位为千克每立方米(kg/m³)，应按 JGJ 52 测定；

ρ_s ——细骨料的表观密度，单位为千克每立方米(kg/m³)，应按 JGJ 52 测定。

$$m_{c0} + m_{f0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} + m_{p0} \geqslant 1.02\rho_{c,0} \quad \cdots\cdots (B.13)$$

附　录　C
（规范性附录）
防辐射混凝土干表观密度检验方法

C.1　范围

本附录规定了防辐射混凝土干表观密度的测试方法。

C.2　试件的制作与养护

防辐射混凝土取样应符合 GB/T 50080 的规定，并按照 GB/T 50081 的规定，制作一组 3 个边长 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试件，标准养护 28 d。

C.3　仪器设备

C.3.1　电热干燥箱及电热鼓风干燥箱：可控温度不低于 110 ℃，最小分度值不大于 2 ℃。
C.3.2　天平：最大量程不小于 10 kg，感量不大于 1 g。
C.3.3　游标卡尺：最大量程不小于 200 mm，精度不低于 0.02 mm。

C.4　试验步骤

C.4.1　将 3 个试件放在 105 ℃～110 ℃烘箱中烘干 4 h，取出后放在干燥器中冷却至室温后称量每个试件质量，精确至 1 g；当连续两次称量结果相差小于 5 g 时，视为恒重，记为 m_0。
C.4.2　用游标卡尺分别测量试件三个方向的边长，精确至 0.02 mm，根据所测棱长值，按照每个试件长×宽×高计算试件体积 V_0，精确至 0.1 mm^3。

C.5　试验结果

防辐射混凝土试件的干表观密度按式(C.1)计算，精确至 1 kg/m^3。

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \times 10^6 \qquad \text{(C.1)}$$

式中：
ρ_0 ——防辐射混凝土试件的干表观密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)；
m_0 ——防辐射混凝土试件质量，单位为克(g)；
V_0 ——防辐射混凝土试件体积，单位为立方毫米(mm^3)。

附　录　D
（资料性附录）
防辐射混凝土结合水含量检验方法

D.1　范围

本附录规定了防辐射混凝土中结合水含量的测定方法。

D.2　试件制备与养护

D.2.1　对于不含金属骨料的防辐射混凝土，可直接按照其配合比制备试件；对于含有金属骨料的防辐射混凝土，应按照不含金属骨料的配合比制备试件，最后按照原材料比例计算含金属骨料防辐射混凝土的结合水含量。

D.2.2　准备与配制防辐射混凝土粗骨料同种类矿石的足量细骨料，应使其全部通过 5 mm 方孔筛以备用。

D.2.3　按照工程实际采用的防辐射混凝土配合比，采用上述细骨料等体积取代配合比中粗细骨料，并保证用水量、胶凝材料用量比例不变；按照 JGJ/T 70 成型一块 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm 砂浆试件、标准养护至 28 d。

D.3　仪器设备

D.3.1　酒精喷灯 1 个。

D.3.2　电热干燥箱及电热鼓风干燥箱：可控温度不低于 110 ℃，最小分度值不大于 2 ℃。

D.3.3　天平：最大量程不小于 500 g，感量应为 0.000 1 g。

D.3.4　干燥的耐高温试管 1 个：可承受 1 000 ℃以上高温，长度不宜超过 20 cm。

D.3.5　干燥的玻璃 U 形管或 U 形干燥管一支。

D.3.6　试验筛：筛孔公称直径为 315 μm 的金属方孔筛，应符合 GB/T 6005 的规定。

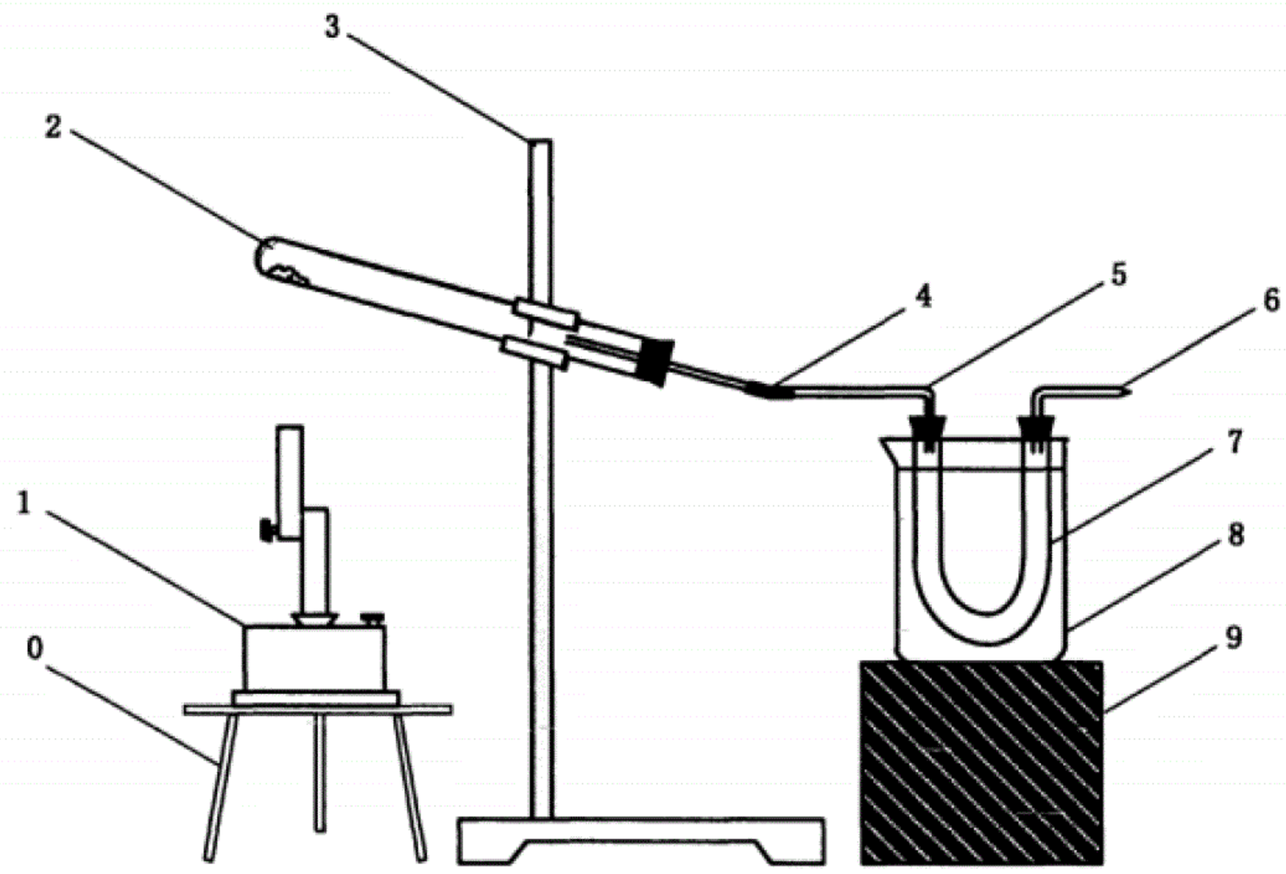
D.3.7　可容纳 U 形管烧杯或水槽一个。

D.4　试验步骤

D.4.1　将砂浆试件放在 105 ℃～110 ℃烘箱中烘干 24 h。

D.4.2　将烘干的砂浆试件冷却至室温，取试件内部不少于 20 g 的试样进行研磨至全部通过筛孔公称直径为 315 μm 的方孔筛，将粉末试样在 105 ℃～110 ℃烘箱中烘至恒重。

D.4.3　取 m_0 烘至恒重的试样于耐高温试管中，试样不应超过 3.000 0 g，精确至 0.000 1 g；将试管与干燥的 U 形管、导管连接，并将 U 形管装入烧杯中，向烧杯中加入不高于 20 ℃的去离子水，保证 U 形管在水下的浸泡高度不少于 2/3（见图 D.1）。



说明：

0——支架及石棉网；

1——酒精喷灯；

2——耐高温试管；

3——铁架台；

4——橡胶导管；

5——玻璃导管；

6——玻璃导管；

7——U 形管或 U 形干燥管；

8——大烧杯；

9——垫块。

图 D.1　防辐射混凝土结合水含量实验装置

D.4.4　用酒精喷灯外焰灼烧耐高温试管端部，直至试管端部与内部粉末被加热至通红并保持 60 s。

D.4.5　关闭酒精喷灯，将 U 形管取下，用滤纸擦干 U 形管外部水分，称量装有粉末试管、U 形管、导管质量 m_{U1}，精确至 0.000 1 g；将装有粉末试管、导管、U 形管 105 ℃～110 ℃烘箱中烘至恒重，称量其质量 m_{U2}，精确至 0.000 1 g。

D.5　试验结果处理

防辐射混凝土的结合水含量应按式(D.1)计算，精确至 0.1%。

$$\omega_W = \frac{m_{U1} - m_{U2}}{m_0} \times 100\% \qquad \cdots\cdots (D.1)$$

式中：

ω_W ——防辐射混凝土结合水的含量；

m_{U1} ——U 形管、导管有冷凝水后质量，单位为克(g)；

m_{U2} ——U 形管、导管烘干至后质量，单位为克(g)；

m_0 ——防辐射混凝土试样质量，单位为克(g)。