

ICS

中国建筑业协会团体标准 **团体标准**

P

T/CCIAT xxxx—20xx

大体积重晶石泵送混凝土结构技术规程

Technical Specification For Mass Barite Pumping Concrete Structure

(征求意见稿)

20xx—xx—xx 发布

20xx—xx—xx 实施

中国建筑业协会 发布

中国建筑业协会团体标准

大体积重晶石泵送混凝土结构技术规程

Technical Specification For Mass Barite Pumping Concrete Structure

T/CCIAT xxxx—20xx

批准部门：中国建筑业协会

施行日期：20xx年xx月xx日

中国建筑工业出版社

20xx 北京

前言

根据中国建筑业协会《关于开展第五批团体标准编制工作的通知》（建协函[2021]1号）的要求，标准（规范、规程）编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定（修订）本标准（规范、规程）。

本标准（规范、规程）的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 设计；5. 混凝土；6. 施工；7. 质量检验与工程验收。

本标准（规范、规程）修订的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 设计；5. 混凝土；6. 施工；7. 质量检验与工程验收。

本标准（规范、规程）由中国建筑业协会负责管理，由北京建工新型建材有限公司负责具体技术内容的解释。请各单位在执行过程中，总结实践经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给北京建工新型建材有限责任公司（地址：北京市朝阳区京顺东街6号院2号楼4单元；邮政编码：100015）

本标准主编单位：北京建工集团有限责任公司、北京建工新型建材有限公司、北京建工国际建设集团有限公司

本标准参编单位：×××、×××

本标准主要起草人员：×××、×××

本标准主要审查人员：×××、×××

目 次

1 总则	5
2 术语	6
3 基本规定	8
4 设计	9
4.1 功能设计	9
4.2 构造设计	10
5 混凝土	12
5.1 一般规定	12
5.2 原材料	12
5.3 混凝土配合比	13
5.4 混凝土性能	15
6 施工	16
6.1 一般规定	16
6.2 混凝土制备	16
6.3 混凝土运输	17
6.4 模板及钢筋工程	17
6.5 混凝土浇筑及振捣	18
6.6 混凝土养护与测温	20
7 质量检验与工程验收	22
7.1 质量检验	22
7.2 工程验收	22
附录 A 大体积重晶石泵送混凝土干表观密度检验方法	24
附录 B 大体积重晶石泵送混凝土拌和物相对沉降系数检验方法	26
本标准（规范、规程）用词说明	28
引用标准名录	29
附：条文说明	31

Contents

1 general.....	5
2 terms.....	6
3 Basic provisions.....	8
4 design	9
4.1 functional design.....	9
4.2 structural design.....	10
5 concrete	12
5.1 general provisions	12
5.2 raw materials	12
5.3 concrete mix proportion	13
5.4 concrete properties	15
6 construction.....	16
6.1 general provisions	16
6.2 concrete preparation	16
6.3 concrete transportation	17
6.4 formwork and reinforcement works	17
6.5 concrete pouring and vibrating.....	18
6.6 concrete curing and temperature measurement.....	20
7 quality inspection and engineering acceptance.....	22
7.1 quality inspection	22
7.2 engineering acceptance.....	22
Appendix A Test method for dry apparent density of large volume barite pumped concrete.....	24
Appendix B Test method for relative settlement coefficient of large volume barite pumped concrete mixture.....	26
Description of words used in this standard (specifications, procedures).....	28
List of cited standards.....	29
Attachment: description of articles.....	31

1 总则

- 1.0.1 为确保大体积重晶石泵送混凝土的质量，做到安全适用、质量可靠、经济合理、技术先进，编制本规程。
- 1.0.2 本规程适用于大体积重晶石泵送混凝土工程。
- 1.0.3 未经设计许可或技术鉴定，不得改变大体积重晶石泵送混凝土结构用途和使用环境。
- 1.0.4 大体积重晶石泵送混凝土工程的设计、混凝土制备、施工和质量验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

- 2.0.1 重晶石 barite 以硫酸钡为主要矿物成分的矿石。本规程所指重晶石为硫酸钡含量（按质量计）不少于 85% 的矿石。
- 2.0.2 重晶石粉 barite powder 重晶石骨料中硫酸钡含量（按质量计）不少于 80%，粒径小于 75 μm 的颗粒。
- 2.0.3 重晶石混凝土 barite concrete 重晶石骨料占骨料总质量不少于 70%，干表观密度不小于 2800 kg/m^2 的混凝土，用于防护和屏蔽辐射的混凝土。
- 2.0.4 大体积重晶石泵送混凝土 mass barite pumping concrete 重晶石混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 0.6m 的大体量重晶石混凝土，或预计会因重晶石混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而可能导致有害裂缝产生，并通过泵压作用沿输送管道强制流动到目的地进行浇筑的重晶石混凝土。
- 2.0.5 粗骨料空隙率 void content of coarse aggregate 粗骨料颗粒间的空隙体积占堆积体积的百分率。
- 2.0.6 化合水 combined water 参与物质分子组成，以 H⁺基、OH⁻基和 H₂O 分子形式存在于物质中的水，包括结构水和结晶水。

2.0.7 大体积重晶石泵送混凝土结构 mass barite pumping concrete structure 以大体积重晶石泵送混凝土为主要材料建造并满足辐射防护要求的工程结构。

3 基本规定

- 3.0.1 大体积重晶石泵送混凝土工程施工前应编制施工组织设计或专项施工技术方案，并应包含环境保护和安全施工的技术措施。
- 3.0.2 大体积重晶石泵送混凝土工程应符合下列规定：
- 1 大体积重晶石泵送混凝土的设计强度等级宜为 C25～C40，并可采用重晶石混凝土 60d 或 90d 的强度作为混凝土配合比设计、强度评定及工程验收的依据。
 - 2 大体积重晶石泵送混凝土设计、施工应符合《大体积混凝土施工标准》GB 50496 规范要求。
 - 3 大体积重晶石泵送混凝土温度监测应符合《大体积混凝土温度测控技术规程》GB/T 51028。
- 3.0.3 大体积重晶石泵送混凝土施工前，应做好施工准备，并应与当地气象台、站联系，掌握近期气象情况。在冬期施工时，应符合有关混凝土冬期施工规定。在高温施工时，应符合有关混凝土高温施工规定。
- 3.0.4 大体积重晶石泵送混凝土施工应采取节能、节材、节水、节地和环境保护措施，并应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905 的有关规定。

4 设计

4.1 功能设计

4.1.1 大体积重晶石泵送混凝土防辐射设计应符合下列要求：

- 1 辐射屏蔽设计应符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 的有关规定。
- 2 大体积重晶石泵送混凝土结构应进行辐射屏蔽专项设计。辐射屏蔽设计应结合工程项目所使用的辐射源项的类型、射线能量、活度、工作负荷、建筑物的空间尺寸等情况，依据国家现行有关辐射防护标准对剂量限值、剂量的约束值、关键居留点的剂量率控制值的规定，确定工程项目混凝土的干表观密度、化合水含量和混凝土厚度。
- 3 大体积重晶石泵送混凝土结构构件设计应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求进行设计，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《重晶石防辐射混凝土应用技术规程》GB/T50557 的规定。
- 4 大体积重晶石泵送混凝土结构构件的最大裂缝宽度限值不应大于 0.2mm，且不得出现贯通构件厚度方向的裂缝。

5 大体积重晶石泵送混凝土的材料耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476 的规定，防辐射耐久性应符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 的规定。

6 当有特殊要求时，可根据实验结果进行相关设计。

4.1.2 大体积重晶石泵送混凝土配重设计应符合下列要求：

1 配重设计应根据工程配重要求、建筑物的空间尺寸等情况，结合工程具体要求进行设计，确定混凝土的干表观密度和体积。

2 大体积重晶石泵送混凝土设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4.2 构造设计

4.2.1 大体积重晶石泵送混凝土防辐射构造设计应符合下列要求：

1 大体积重晶石泵送混凝土结构的薄弱部位或应力集中部位，应采取增加附加钢筋、暗柱、暗梁等构造加强措施。

2 墙体水平施工缝不得留设平缝，应留设成凹凸水平施工缝。重晶石防辐射混凝土结构不宜留设垂直施工缝，当需要留设时，应在垂直施工缝中间位置加设钢

板带。梁、板需要留设水平施工缝时，其接合部位宜预设附加插筋。

4.2.2 大体积重晶石泵送混凝土配重构造设计应符合下列要求：

大体积重晶石泵送混凝土配重构造设计应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定。

5 混凝土

5.1 一般规定

5.1.1 同一工程的大体积重晶石泵送混凝土所用重晶石粗细骨料宜选用同一矿床或同一产地的重晶石。

5.1.2 大体积重晶石泵送混凝土宜采用绝热温升较低的微膨胀混凝土。

5.1.3 大体积重晶石泵送混凝土干表观密度 (ρ_b) 可按表的规定分为五个等级, 执行《重晶石防辐射混凝土应用技术规范》GB/T 50557 的相关要求。

5.1.4 大体积重晶石泵送混凝土密度等级划分

密度等级	干表观密度范围 (kg/m ³)	密度等级	干表观密度范围 (kg/m ³)
1	$\rho_b \geq 3600$	4	$3000 \leq \rho_b < 3200$
2	$3400 \leq \rho_b < 3600$	5	$2800 \leq \rho_b < 3000$
3	$3200 \leq \rho_b < 3400$		

5.1.4 大体积重晶石泵送混凝土原材料、配合比及混凝土性能除应符合本规程的规定外尚应符合国家现行有关标准的规定。

5.2 原材料

5.2.1 重晶石细骨料宜选用 II 区中砂, 重晶石宜选用 5~25mm 连续级配。均为低碱活性, 重晶石含泥量 $\leq 2\%$ 。重晶石含泥量 $\leq 1\%$ 。

- 5.2.2 重晶石石粉含量不大于 13%。
- 5.2.3 粗骨料空隙率不大于 42%。
- 5.2.4 重晶石粗细骨料除满足普通混凝土要求外还需检验硫酸钡含量、表观密度、放射性、重晶石粉含量、硫化物。
- 5.2.5 水泥宜选用中低热水泥。3d 水化热不宜大于 250kJ/kg，7d 水化热不宜大于 280kJ/kg，水泥使用温度不应大于 60℃。
- 5.2.6 粉煤灰宜选用 F 类 I 级粉煤灰。
- 5.2.7 粒化高炉矿渣粉宜选用 S95 级。
- 5.2.8 外加剂宜选用聚羧酸高性能减水剂。

5.3 混凝土配合比

- 5.3.1 大体积重晶石泵送混凝土的配合比应根据其干表观密度、强度、施工要求等选择原材料进行计算，且经实验室试配、调整后确定。根据混凝土干表观密度确定拌合物表观密度，应按式（1）、（2）计算，根据实验结果确定混凝土的配制容重。

$$\rho_{c,0} \geq 1.02 \rho_{c,k} \quad \text{式（1）}$$

$$\rho_{c,t} \geq 1.02 \rho_{c,0} \quad \text{式（2）}$$

式中：

$\rho_{c,0}$ ——大体积重晶石泵送混凝土配制干表观密度，单位为千克每立方米（kg/m³）。

$\rho_{c,k}$ ——大体积重晶石泵送混凝土设计干表观密度，单位为千克每立方米 (kg/m^3)。

$\rho_{c,t}$ ——大体积重晶石泵送混凝土拌合物表观密度实测值，单位为千克每立方米 (kg/m^3)。

5.3.2 混凝土强度配制应符合《重晶石防辐射混凝土应用技术规范》GB/T 50557、《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的相关规定。

5.3.3 每立方米大体积重晶石泵送混凝土的用水量不宜大于 170kg，水胶比不宜大于 0.45。胶凝材料总量不宜小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5.3.4 砂率宜为 38%~45%，可根据实验结果进行调整。

5.3.5 粉煤灰掺量不宜大于胶凝材料的 50%，粒化高炉矿渣掺量不宜大于胶凝材料的 40%，粉煤灰和粒化高炉矿渣掺量总和不宜大于胶凝材料的 50%。

5.3.6 大体积重晶石泵送混凝土配合比的试配与调整方法，可按照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的相关规定执行。

5.3.7 重大工程项目可对配合比进行实体实验段验证。

5.4 混凝土性能

- 5.4.1 拌合物的入模坍落度宜控制在 120mm~160mm，不应大于 180mm，在满足施工和泵送要求的前提下宜采用较小的坍落度。
- 5.4.2 拌合物的相对沉降系数不宜大于 1.06，匀质性应满足现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的有关规定。
- 5.4.3 拌合物坍落度经时损失不宜大于 30mm/h，并应满足施工要求。
- 5.4.4 结合水含量应满足设计要求。测试方法应符合国家标准《防辐射混凝土》GB/T 34008 的规定。
- 5.4.5 力学性能应符合《重晶石防辐射混凝土应用技术规范》GB/T 50557 要求。
- 5.4.6 耐久性和其他性能应满足《防辐射混凝土》GB/T 34008 的规定。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 大体积重晶石泵送混凝土制备宜采用预拌混凝土搅拌站集中生产，并应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。
- 6.1.2 大体积重晶石泵送混凝土施工时，应针对其拌和物表观密度较大、容易产生离析和重晶石骨料性脆易碎等特点，采取相应技术措施。
- 6.1.3 对大体积重晶石泵送混凝土，应按照现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的相关规定执行。

6.2 混凝土制备

- 6.2.1 重晶石粗细骨料的储存应单独存放，并保证均匀性，同时应将不同品种、规格的骨料分别储存，骨料储存场所的地面应为能排水的硬质地面，并应避免雨淋。
- 6.2.2 搅拌机在使用前应清洗干净，在使用过程中不得搅拌其他品种的混凝土。
- 6.2.3 大体积重晶石泵送混凝土原材料的计量均应按质量计。原材料计量的允许偏差应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的规定。

6.2.4 原材料投料时，宜先投入粗细骨料、水泥和掺和料，再加入水和外加剂，预拌混凝土搅拌站搅拌时间不应少于30s，且不宜大于60s。

6.2.5 大体积重晶石泵送混凝土制备时，应根据其表观密度与普通混凝土表观密度的比值，相应减少单盘搅拌容量。

6.3 混凝土运输

6.3.1 混凝土在运输过程中，罐体必须保持均匀的转速，保证混凝土在运输过程中保持均匀性，运到浇筑地点时不分层、不离析、不漏浆。

6.3.2 混凝土从加水搅拌到施工现场入模的间隔时间不宜超过90min。当超过90min时，应采取相应的技术措施确保混凝土拌和物的性能。

6.3.3 搅拌站应根据运输时间和浇筑速度，合理安排生产，保证混凝土连续供应。

6.3.4 现场混凝土拌合物坍落度不合适时，应采取相应的技术措施确保混凝土拌和物的性能。

6.4 模板及钢筋工程

6.4.1 大体积重晶石泵送混凝土结构模板的设计、制作和安装应按现行行业标准《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162的规定执行。模板系统荷载计算时，大体积重晶石

泵送混凝土自重应按其设计表观密度取值，模板及支架自重应根据实际情况进行计算。

- 6.4.2 大体积重晶石泵送混凝土水平构件宜按混凝土一次浇筑成型的原则进行模板支架系统设计，也可根据实际情况经过设计审核批准后，按照叠合结构分层施工原理设计模板支架系统，并编写专项施工方案。
- 6.4.3 钢筋工程的原材料、加工、安装和验收，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。

6.5 混凝土浇筑及振捣

- 6.5.1 混凝土浇筑前，应密切关注近期天气预报情况，避免雨天施工。浇筑过程中突遇大雨应及时在结构剪力较小部位或设计施工缝处采用梳子板分隔留置施工缝，必要时采取增加插筋、事后剔凿的措施。对已浇筑未硬化的混凝土应立即进行覆盖，避免被雨水冲刷。
- 6.5.2 夏季混凝土入模温度控制在 30℃ 以下，冬季混凝土浇筑入模温度不宜低于 5℃。
- 6.5.3 最大水平泵送距离应根据大体积重晶石泵送混凝土的表观密度输送泵功率、配管情况、输送量、高度经计算确定，且计算方法应按照《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T10 的规定执行。

- 6.5.4 浇筑前泵管应使用同配合比重晶石砂浆润滑，并在浇筑过程中，对泵管进行安全检查，保证管壁安全厚度。
- 6.5.5 选择采用斜面分层的连续浇筑法，阶梯式推进。每层混凝土在初凝前完成上层浇筑，避免出现施工冷缝，分层厚度不大于 500mm。
- 6.5.6 墙体浇筑前底部应先浇筑 30mm-50mm 厚同配合比砂浆，并均匀分布。
- 6.5.7 大体积重晶石泵送混凝土拌和物的自由倾落高度不应大于 0.5m。
- 6.5.8 重晶石混凝土宜选用高频振捣棒。
- 6.5.9 根据钢筋间距选择振捣棒，振捣棒插点要均匀排列，采用“行列式”或“交错式”的次序移动，不应混用。振捣棒移动间距宜为 400mm。
- 6.5.10 混凝土振捣应分层振捣，避免漏振和过振，防止重晶石骨料显著下沉。振捣时间宜控制在 15s~25s，且宜以表面出现浮浆为准。若骨料显著下沉，则应采取相应技术措施补救。
- 6.5.11 大体积重晶石泵送混凝土下料至设计标高振实后，振毕随即刮平，个别低洼处以大体积重晶石泵送混凝土找平拍实并整体用滚筒滚压，滚压遍数不少于两遍，然后再用木抹子拍实搓平，收平次数不少于三次；应掌握好时间，以终凝前为准。

- 6.5.12 采用滚筒滚压与二次收平结合，提高表面密实度，减少塑性收缩变形，控制混凝土表面裂缝，也可减少表面水分蒸发，闭合收水裂缝，消除或减少因大体积重晶石泵送混凝土下沉而出现的沿钢筋方向的表面裂纹。
- 6.5.13 施工缝处继续浇筑大体积重晶石泵送混凝土时，已浇筑大体积重晶石泵送混凝土的抗压强度不应小于 1.2N/mm^2 。施工前应对结合层重度凿毛、清洗，并应提前24h用水湿润。水平施工缝宜先铺设 $10\text{mm}-15\text{mm}$ 同大体积重晶石泵送混凝土配合比的重晶石砂浆，再浇捣后续大体积重晶石泵送混凝土。
- 6.5.14 高温施工时，混凝土浇筑宜在早间或晚间进行，且宜连续浇筑。混凝土浇筑前，应对模板、钢筋和施工机具采用洒水等降温措施，但浇筑时模板内不得有积水。当水分蒸发速率大于 $1\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，应在施工作业面采取挡风、遮阳、喷雾等措施。
- 6.5.15 冬季施工应符合《混凝土冬期施工规范》JGJ/T 104，大气温度低于零下 15°C 时，不宜施工。

6.6 混凝土养护与测温

- 6.6.1 大体积重晶石泵送混凝土结构构件浇筑完毕后应在12h内开始养护，养护持续时间不得少于14d。竖向构件宜采用带模养护的方法，带模养护时间不宜少于3d。拆

模后在竖向结构两侧宜覆挂无纺布覆盖物，喷水保湿养护不少于 14d。水平构件可采用蓄水法养护。

- 6.6.2 重晶石混凝土结构采用电子测温导线和电子测温计进行测温，测温前检查导线质量和测温仪情况，保证仪器使用正常。
- 6.6.3 大体积重晶石泵送混凝土结构测点布置符合现行规范《大体积混凝土温度测控技术规范》GB/T 51028。
- 6.6.4 大体积重晶石泵送混凝土施工应记录入模温度，每台班不少于 2 次记录。
- 6.6.5 环境温度、混凝土测点里表温差、降温速率在混凝土浇筑后每昼夜监测不应小于 4 次，混凝土的降温速率和里表温差应符合现行规范《大体积混凝土温度测控技术规范》GB/T 51028。
- 6.6.6 混凝土最高温度与环境最低温度之差连续 3d 小于 25℃ 时，可停止温度监测。
- 6.6.7 混凝土初凝前即进行喷雾养护，为减少混凝土水分的散失，避免造成混凝土的干缩裂缝，待顶面二次抹压完成后及时覆盖双层塑料薄膜进行保湿养护，然后再覆盖 30mm 厚阻燃草帘进行养护。

7 质量检验与工程验收

7.1 质量检验

7.1.1 当所用重晶石粗细骨料由同一矿床的重晶石破碎加工形成时，粗细骨料均应按 300t 为一批检验，不足 300t 时应作为一批。当所用重晶石粗细骨料不由同一矿床的重晶石破碎加工形成时，应分批进行检验。

7.1.2 大体积重晶石泵送混凝土的干表观密度应按本规程附录 A 的规定进行检验，混凝土拌合物的表观密度应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的规定。

7.1.3 大体积重晶石泵送混凝土的强度检验评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

7.1.4 到场混凝土拌合物坍落度和表观密度应符合工程要求，按每车为一批检验。

7.2 工程验收

7.2.1 大体积重晶石泵送混凝土的质量验收除应符合本规程的规定外，尚应按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。

- 7.2.2 大体积重晶石泵送混凝土的原材料及配合比设计检验批和施工检验批应按现行国家标准《重晶石防辐射混凝土应用技术规范》GB/T 50557 的规定执行。
- 7.2.3 具有防辐射要求的大体积重晶石泵送混凝土工程施工完毕后，应委托具备相应资质的检测机构对结构的防辐射效果进行检测和验收，经检测和验收合格的工程方可投入使用。

附录 A 大体积重晶石泵送混凝土干表观密度检验方法

A.1 范围

A.1.1 本附录规定了大体积重晶石泵送混凝土干表观密度的测试方法。

A.2 试件的制作与养护

A.2.1 大体积重晶石泵送混凝土取样应符合 GB/T 50080 的规定，并按照 GB/T 50081 的规定，制作一组 3 个边长 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试件，标准养护 28d。

A.3 仪器设备

A.3.1 电热干燥箱及电热鼓风干燥箱：可控温度不低于 110°C ，最小分度值不大于 2°C 。

A.3.2 天平：最大量程不小于 10kg ，感量不大于 1g 。

A.3.3 游标卡尺：最大量程不小于 200mm ，精度不低于 0.02mm 。

A.4 试验步骤

A.4.1 将 3 个试件放在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干 4h，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 1g ；当连续两次称量结果相差小于 5g 时，视为恒重，记为 m_0 。

A.4.2 用游标卡尺分别测量试件三个方向的边长，精确至 0.02mm，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 0.1mm^3 。

A.5 试验结果

大体积重晶石泵送混凝土试件的干表观密度按式 (A.1) 计算，精确至 1kg/m^3 。

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

式中：

ρ_0 ——大体积重晶石泵送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 ——大体积重晶石泵送混凝土试件质量，单位为克 (g)；

V_0 ——大体积重晶石泵送混凝土试件体积，单位为立方毫米 (mm^3)。

- (1) 取 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的干表观密度，精确至 10kg/m^3 。
- (2) 最小值小于干表观密度设计值的 95% 时，该组试件的试验结果无效。

附录 B 大体积重晶石泵送混凝土拌和物相对沉降系数检验方法

B.1 范围

B.1.1 本附录规定了大体积重晶石泵送混凝土拌和物相对沉降系数的测试方法。

B.2 仪器设备

B.2.1 击实筒：上、中、下体积相等的直径为 150mm，高为 300mm 的击实筒，如图 B-1 所示。

B.2.2 电子天平：最大量程应为 50kg，感量不应大于 10g。

B.2.3 捣棒：应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T 248 的规定。

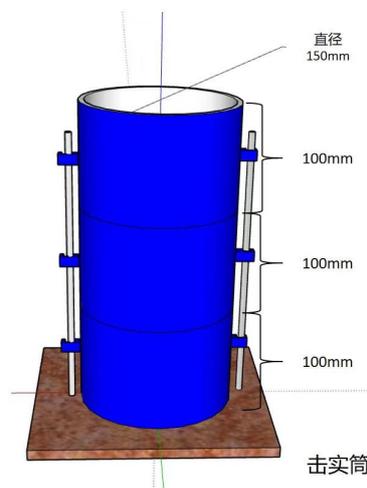


图 B-1 击实筒

B.3 试验步骤

B.3.1 称量击实筒总质量，以及每层击实筒的质量。

- B. 3. 2 将新拌重晶石混凝土分 3 次从击实筒中心装入，每层高度为击实筒的三分之一，每装入一层重晶石混凝土拌合物后，用捣棒插捣 25 次。
- B. 3. 3 击实筒装满后，将击实筒表面抹平，擦去击实筒外围的浆体，称量击实筒的总质量。
- B. 3. 4 提起最上层击实筒，切去上部的重晶石混凝土，将下部击实筒表面抹平，进行称量。
- B. 3. 5 提起中部击实筒，切去中部的重晶石混凝土，将最下层击实筒表面抹平，进行称量。
- B. 3. 5 提起中部击实筒，切去中部的重晶石混凝土，将最下层击实筒表面抹平，进行称量。

B. 4 试验结果

计算每层重晶石混凝土的质量，上层混凝土质量 m_1 ，中层混凝土质量 m_2 ，下层混凝土质量 m_3 ，计算中层相对沉降系数 ζ_2 和下层相对沉降系数 ζ_3 ，相对沉降系数 ζ 取两者最大值。

$$\zeta_2 = \frac{m_2}{m_1} \quad (\text{B. 1})$$

$$\zeta_3 = \frac{m_3}{m_1} \quad (\text{B. 2})$$

式中：

ζ_2 ——大体积重晶石泵送混凝土拌合物中层相对沉降系数；

ζ_3 ——大体积重晶石泵送混凝土拌合物下层相对沉降系数。

本标准（规范、规程）用词说明

1 为便于在执行本标准（规范、规程）条文时区别对待，对于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：

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：

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：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明必须按其他标准、规范执行的写法为“按……执行”或“应符合……的规定”

引用标准名录

- 《防辐射混凝土》 GB/T34008
- 《重晶石防辐射混凝土应用技术规范》 GB/T50557
- 《混凝土强度检验评定标准》 GBJ107
- 《建筑材料放射性核素限量》 GB6566
- 《混凝土外加剂》 GB8076
- 《建筑用砂》 GB/T14684
- 《建筑用卵石、碎石》 GB/T14685
- 《预拌混凝土》 GB/T14902
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 GB18871
- 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 《建筑抗震设计规范》 GB50011
- 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB50068
- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T50080
- 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB50119
- 《混凝土质量控制标准》 GB50164
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB50204
- 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T50476
- 《大体积混凝土施工规范》 GB50496
- 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T10
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ52
- 《普通混凝土配合比设计规程》 JGJ55
- 《建筑施工模板安全技术规范》 JGJ162
- 《非金属矿物和岩石化学分析方法》 JC/T1021.7

《混凝土搅拌运输车》 JG/T5094

《混凝土膨胀剂》 JC476

中国建筑业协会团体标准

大体积重晶石泵送混凝土结构技术规程

Technical Specification For Mass Barite Pumping Concrete Structure

条文说明

制定说明

《大体积重晶石泵送混凝土结构技术规程》（T/CCIAT xxxx— 2022），经中国建筑业协会 2022 年××月××日以第××号公告批准发布。

本标准规程制订过程中，编制组对国内外大体积重晶石混凝土设计施工技术等进行广泛的调查研究，总结了我国工程建设重晶石混凝土的实践经验，同时参考了国内外有关技术标准，通过试验取得了大体积重晶石泵送混凝土基础的重要技术参数。

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，《大体积重晶石泵送混凝土结构技术规程》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。

1 总则

- 1.0.1 由于物理学的不断发展，对大型科学装置的需求日益增加。基于大型科学装置的特点，重晶石混凝土在满足屏蔽 x 、 γ 或中子射线的基础上，还应达到大体积重晶石混凝土和泵送重晶石混凝土在设计、施工以及质量验收等方面的要求。目前，国内缺乏大体积重晶石泵送混凝土技术的执行标准。本规程的制定填补了国内这一领域的空白，为现浇大体积重晶石泵送混凝土提供执行和评价的依据，对促进本领域的技术进步具有现实意义。
- 1.0.3 大体积重晶石泵送混凝土的配合比、设计、施工和验收等与结构的用途和使用环境密切相关。大体积重晶石泵送混凝土在高温等恶劣环境下的防辐射效果尚没有充分的理论和试验依据。若任意改变其用途和使用环境，可能影响其防辐射效果，危及结构的安全性和耐久性。因此，改变前需经过设计许可或技术鉴定，否则有可能造成严重的后果。
- 1.0.4 我国对于普通混凝土已建立较完整的标准体系，大体积重晶石泵送混凝土与普通混凝土相比主要是在原材料和用途上有较强的特殊性，在其他许多方面具有相同或相似之处。因此，大体积重晶石泵送混凝土除应符合本规范的相关规定外，尚应满足普通混凝土、大体积混凝土、泵送混凝土的相关规范和标准的规定。

2 术语

- 2.0.1 通过对全国主要重晶石产地和大体积重晶石泵送混凝土工程的调研，硫酸钡含量为 85%及以上的矿产较为普遍，且采用硫酸钡含量为 85%及以上的重晶石，对于混凝土的表观密度指标控制较为有利，同时具有较好的防辐射效果。因此，将本规程的重晶石硫酸钡含量下限值定为 85%。
- 2.0.2 重晶石粉有利于增强大体积重晶石泵送混凝土拌合物的粘聚性，提高其稳定性。由于重晶石性脆易碎，在重晶石骨料的加工与运输过程中很容易产生一部分粉状颗粒，硫酸钡含量越高的重晶石矿石越易成粉，其粉料中的硫酸钡含量也很高。同时在重晶石矿石的加工过程中，矿石外缘先被破碎，部分成粉，但其硫酸钡含量相对较低。基于调研结果，本规程将重晶石粉的硫酸钡含量下限定为 80%。
- 2.0.3 重晶石混凝土的表观密度是影响防辐射效果的主要因素。目前工程上在检测混凝土表观密度时，通常是在混凝土硬化后，采取钻芯取样的方式。故本规程采用干表观密度对重晶石混凝土进行界定。
- 2.0.4 目前国内外对于大体积混凝土的界定存在三种方式。本条对于大体积混凝土最小几何尺寸的界定严于现有标准，为不小于 0.6m。

2.0.6 化合水含量影响结构的防中子辐射效果。

3 基本规定

- 3.0.1 大体积重晶石泵送混凝土施工时，除应满足普通混凝土施工所要求的混凝土力学性能及可施工性能外，还应控制有害裂缝的产生、保证混凝土拌合物的稳定性及可泵性。为此，施工单位应预先制定满足上述要求的施工组织设计或施工技术方案，并应进行技术交底，切实贯彻执行。为贯彻国家技术经济政策，保证工程质量，施工组织设计或施工技术方案中应包含环境保护和安全施工的技术措施。
- 3.0.2 大体积混凝土的设计强度等级宜为 C25~C50，重晶石混凝土的强度等级一般为 C20~C40，故本规程的大体积重晶石泵送混凝土的设计强度等级在 C25~C40 的范围比较适宜。大体积混凝土一般采用 60d 或 90d 混凝土强度作为评定工程交工验收与设计的依据，这是一种有科学依据、工程实践证明，并可节能、降耗、有效减少有害裂缝产生的技术措施，故对于大体积重晶石泵送混凝土，可采用 60d 或 90d 的强度作为配合比设计、强度评定及工程验收的依据。
- 3.0.3 本条提出了大体积重晶石泵送混凝土施工前需了解掌握气候变化情况，并尽量避开特殊气候的影响，如大雨、大雪、高温等天气，若无良好的防雨雪及遮阳降温措施，将影响混凝土的施工质量。

4 设计

4.1.1 重晶石防辐射混凝土可以通过增加混凝土表观密度和提高混凝土密实性的方法来增强其对 X、 γ 射线的屏蔽能力，通过提高混凝土中结晶水含量来有效地削弱中子射线从而达到防辐射的效果。故根据工程用途和国家现行规范，确定重晶石混凝土干表观密度、厚度和结晶水含量。

现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 规定了裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值。本规程对最大裂缝宽度限值的要求，既要满足钢筋混凝土结构因钢筋锈蚀影响的裂缝宽度限值要求，还要考虑裂缝对防辐射的不利影响。受力产生的正常结构裂缝，会造成一定的辐射屏蔽性能的削弱，而目前已使用的工程和国内外的相关资料均未对防辐射混凝土结构的抗裂要求作相应规定。综合上述因素，本条对最大裂缝宽度限值比普通混凝土结构更为严格。由于贯通结构构件厚度方向的裂缝对辐射防护非常不利，增加了不得出现贯通结构构件厚度方向裂缝的严格限制条文。贯通裂缝指结构构件平行于射线方向出现连贯穿透的裂缝。

5 混凝土

- 5.1.1 重晶石是以硫酸钡为主要成分的矿物，因成矿年代与环境的不同，不同地区之间的重晶石矿的物理力学性能可能有较大差别，即使是同一地区不同矿床出产的重晶石矿石性能有时也有较明显的差别。为做好材料选择、检测、验收、质量评定工作，保证工程质量，同一工程的重晶石粗细骨料应优先选用同一矿床的重晶石。当同一矿床的重晶石数量不能满足要求时应选用同一产地的重晶石，并做好加工均化工作，力求同批次重晶石粗细骨料的基本性质相同。如受条件所限，同种重晶石矿资源较少，需不同矿床或不同产地的重晶石矿才能满足工程需要时，应分别对不同矿床的重晶石材料进行相关试验，经相关单位确认符合工程设计要求后，方可允许用于同一个工程。
- 5.1.2 大体积重晶石泵送混凝土工程需重视混凝土裂缝问题，提高其抗裂性能，以及减少施工缝，故宜采用绝热温升较低的微膨胀混凝土，降低混凝土水化热，同时使其产生膨胀变形，在降低混凝土开裂风险的同时，填充施工缝。
- 5.1.3 目前大部分规范均采用干表观密度对混凝土容重进行评定，故本规程将大体积重晶石泵送混凝土按干表观密度

划分为五个等级。对于重晶石混凝土，根据实验结果，一个密度等级范围为 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 较为合理。

5.2.1 大体积重晶石泵送混凝土比普通混凝土容易分层离析，骨料级配对混凝土的工作性、强度、匀质性等有重要影响。良好的细骨料级配可制得流动性好、不易离析、泌水少和均匀密实的混凝土，这对防辐射混凝土非常重要。因此，对用于大体积重晶石泵送混凝土的细骨料级配要求较严，本规程规定重晶石细骨料的级配宜为 II 区中砂。粗骨料的间断级配较连续级配容易导致混凝土分层离析。因此，重晶石粗骨料宜采用连续级配。过大的重晶石粗骨料对混凝土拌和物的工作性和匀质性不利，同时其最大粒径的选择应考虑钢筋间距，故宜选用 $5\sim 25\text{mm}$ 连续级配的粗骨料。

5.2.2 重晶石矿物性脆易碎，在重晶石矿的开采、破碎加工及运输过程中均会产生一定的粉料，且硫酸钡含量越高的重晶石产生的粉料越多，这种粉料往往硫酸钡含量高。重晶石粉黏度高，可以防止混凝土分层离析，同时提高混凝土拌和物的工作性能。但过高的粉料含量也对混凝土性能产生不利影响。根据实验结果，本规程规定重晶石粉含量不大于 13%。

5.2.3 对于大体积重晶石泵送混凝土，胶凝材料的表观密度远小于骨料的表观密度，骨料空隙率越大，其干表观密度

越小。基于大量实验研究结果，本规程规定粗骨料空隙率不大于 42%。

5.2.5 水泥水化反应产生大量水化热，大体积混凝土施工过程中应降低混凝土的温升，故大体积重晶石泵送混凝土宜选用中低热水泥。

5.3.1 目前，混凝土配制时普遍要求测试混凝土拌合物的表观密度，并且其测试方法简单、时间短。但对于工程，普遍要求测试重晶石混凝土结构物的干表观密度，故在配合比设计时，应考虑大体积重晶石泵送混凝土设计干表观密度、配制干表观密度与拌合物表观密度的联系。基于现行规范与大量实验结果，建立配制干表观密度与设计干表观密度，以及拌合物表观密度与配制干表观密度的关系。最终，在试配过程中，可以及时对混凝土配合比进行调整。

5.3.2 在大体积重晶石泵送混凝土配制时，用水量至关重要，对混凝土强度、干表观密度、以及匀质性影响较大。较大的用水量，会使重晶石混凝土的匀质性显著降低，根据重晶石混凝土的相对沉降系数实验结果，每立方米大体积重晶石泵送混凝土的用水量不宜大于 170kg。基于大体积混凝土的规范要求，水胶比不宜大于 0.45，胶凝材料总量不宜小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

- 5.4.1 入模坍落度过大，重晶石混凝土匀质性降低。根据 50 组重晶石粗骨料沉降实验结果，当重晶石混凝土坍落度小于 170mm 时，重晶石混凝土匀质性较好，故本规程规定入模坍落度宜控制在 120mm~160mm，不应大于 180mm。
- 5.4.2 基于重晶石混凝土拌合物的相对沉降系数实验结果与工程实体钻芯取样的检测结果，拌合物的相对沉降系数不宜大于 1.06。相对沉降系数过大，混凝土结构上层有干表观密度达不到设计要求的风险。

6 施工

- 6.1.1 针对大体积重晶石泵送混凝土对于表观密度和匀质性要求非常严格的特点，采用预拌混凝土搅拌站集中生产供应，有利于保证配合比计算准确，搅拌均匀。
- 6.2.1 为了消除由于骨料含水率变化导致混凝土质量波动，也考虑到细骨料含有的粉料遇水容易结块，故骨料储存场所的地面应为能排水的硬质地面，并应避免雨淋。
- 6.2.2 大体积重晶石泵送混凝土应配备专门机组进行生产，防止由于搅拌其他品种混凝土使混凝土干表观密度降低。
- 6.2.3 骨料的计量偏差直接影响到大体积重晶石泵送混凝土的干表观密度，故应作为关键控制指标。
- 6.2.4 考虑重晶石表观密度大且易碎的特点，搅拌时间过长会破坏骨料和增加混凝土中粉料的含量，搅拌时间过短则搅拌不均匀。根据调研和工程实际应用资料显示，预拌混凝土搅拌站生产大体积重晶石泵送混凝土的搅拌时间一般都控制在 30s~50s，实际应用时，最佳搅拌时间应通过工艺试验确定，使混凝土搅拌均匀，以水泥能裹住所有骨料为准。
- 6.2.5 本条文是考虑大体积重晶石泵送混凝土比普通混凝土在相同体积时重量要更大，生产时应充分考虑搅拌机的承受能力，避免设备超负荷运转。
- 6.3.3 大体积重晶石泵送混凝土应连续供应，防止冷缝产生。

- 6.5.3 本条文提出了泵送时最大水平泵送距离的确定依据，与普通混凝土泵送相比，应充分考虑重晶石混凝土的表观密度和重晶石混凝土易离析的特点。
- 6.5.4 本条提出了润滑用重晶石砂浆应按照现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T10 的要求分散布料，不得在同一处集中浇筑，且在施工方案中应对重晶石砂浆的使用作出明确规定，在实际施工中应严格遵照执行。
- 6.5.7 考虑重晶石混凝土表观密度大、易离析的特点，本条规定了混凝土拌和物的自由倾落高度，落距大于 0.5m 时可采用串筒、溜槽等方式下料。
- 6.5.8 重晶石混凝土表观密度大，其频率低。为防止发生共振使重晶石混凝土离析，故选取高频振捣棒。
- 6.5.10 重晶石骨料表观密度大，极易下沉。若发生骨料下沉现象，可根据下沉情况，相应撒布粗骨料。一般情况下，为了提高重晶石混凝土均匀性，浇筑竖向结构三分之二高度时，进行技术间歇 15 分钟，撒布 20~25mm 粒径重晶石粗骨料，撒布量 2-3kg/m²，同时振捣 10s，振捣棒插入深度 200mm。在竖向结构顶部浇筑完后，再进行一次重晶石粗骨料撒布。