

# T/HBTS

## 团 体 标 准

T/HBTS XX-XXXX

### 盾构法隧道改性磷石膏基同步注浆材料 应用技术规程

Technical Specification for Application of Modified Phosphogypsum-Based Shield  
Synchronous Grouting Materials

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

湖北省公路学会 发布

## 目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 磷石膏	1
3.2 改性磷石膏	2
3.3 磷石膏胶凝材料	2
3.4 改性磷石膏基盾构同步注浆材料	2
3.5 充填系数	2
3.6 水陆强度比	2
3.7 结石率	2
3.8 流动度	2
3.9 截锥流动度	2
3.10 表观凝结时间	2
4 性能	3
4.1 材料	3
4.2 磷石膏基胶凝材料	4
4.3 改性磷石膏基盾构同步注浆材料的性能要求	4
5 配合比设计	4
6 施工	5
6.1 一般规定	5
6.2 原材料进场与储存	5
6.3 计量	5
6.4 制浆	6
6.5 运输	6
6.6 注浆	6
7 质量检验	7
7.1 原材料质量检验	7
7.2 预拌干混注浆材料质量检验	7
7.3 注浆质量检验	8
7.4 环保性能要求	8
附录 A	9
附录 B	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。

本文件由中建三局集团有限公司与中国地质大学（武汉）提出。

本文件由湖北省公路学会标准委员会归口。

本文件起草单位：中建三局集团有限公司，中国地质大学（武汉）。

本文件主要起草人：王开强，杨帆，徐方，姜维，唐袁珍，张鹏，邹俊鹏，翟鹏昊，孔垂中。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省公路学会标准委员会，电话：027-83461637，邮箱：421378854@qq.com，对本文件的有关修改意见建议请反馈至中建三局集团有限公司，电话：15072495230，邮箱：yangfanww111@126.com。

## 引 言

磷石膏为湿法磷酸生产的主要固体副产物，我国年排放量巨大，综合利用率较低经改性处理后用于盾构隧道同步注浆材料，可实现大宗固废资源化利用，降低注浆材料成本，兼具经济、环境与社会效益。

本规程中“改性磷石膏”指采用物理法（水洗、筛分、球磨、闪烧、浮选等）、化学法（中和、化学沉淀、氧化还原等）或生物法（微生物浸出、生物氧化等）等一种或多种组合工艺处理湿法磷酸副产磷石膏后，使环保指标满足要求，并具备良好胶凝活性与工程适用性的磷石膏材料。

本规程在总结近年改性磷石膏基注浆材料科研成果与工程应用经验基础上，参考国内外相关标准，对其术语、性能要求、配合比设计、施工工艺、质量检验及环保要求作出规定。

本规程旨在规范材料推广应用，保障工程质量与环境安全，促进磷石膏在交通及地下工程领域的高值化利用。所涉性能指标、施工参数及检验方法均基于现有工程实践与试验验证。鼓励使用方结合具体工程的地质条件、隧道特点及环境要求进行适应性调整，并按本规程第7章实施质量控制与环境监测。

# 盾构法隧道改性磷石膏基同步注浆材料应用技术规程

## 1 范围

为规范和指导改性磷石膏基盾构同步注浆材料的推广应用，保障改性磷石膏基同步注浆材料质量与安全，促进磷石膏的资源化利用，制定本标准。

适用于盾构法隧道同步注浆材料的技术应用。

## 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/T 23456 磷石膏

GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法

GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB8978 污水综合排放标准

GB 50157 地铁设计规范

GB/T 32124 磷石膏的处理处置规范

GSB 08-3200 磷石膏成分分析标准样品

GB 8076 混凝土外加剂

JC/T 2073 磷石膏中磷、氟的测定方法

T/CECS 563 盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程

T/CASMES 332 盾构法隧道同步注浆施工技术规程

HJBZ 29 环境标志产品技术要求—磷石膏建材产品

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**磷石膏** phosphogypsum

以磷矿石为原料，湿法制取磷酸时得到的副产品，主要成分为二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。

### 3.2

**改性磷石膏 modified phosphogypsum**

通过物理、化学或生物方法对磷石膏进行处理，以去除或降低其有害杂质（如氟化物、磷酸盐、重金属等），改善其物理化学性质，使其能够安全、有效地用于特定工业或工程领域的产物。

## 3.3

**磷石膏胶凝材料 phosphogypsum cementitious material**

以磷石膏为主要原材料，磷石膏的掺量不低于40%，并复配矿渣粉和水泥等原材料制备的水硬性胶凝材料。

## 3.4

**改性磷石膏基盾构同步注浆材料 modified phosphogypsum-based shield synchronous grouting material**

以改性磷石膏为核心胶凝组分，复配骨料、外加剂等制成，可与盾构掘进同步注入盾尾空隙，实现快速充填、固结控沉与隧道支护防水的绿色注浆材料。

## 3.5

**充填系数 filling coefficient**

充填密实衬砌环与地层之间空隙所需的注浆浆液体积与空隙体积之比。

## 3.6

**水陆强度比 underwater/in-air strength ratio**

水中成型注浆材料与空气中成型注浆材料28d龄期的抗压强度之比，用于表征注浆材料浆体抗水分散性能。

## 3.7

**结石率 hardening rate**

注浆材料硬化后的体积与浆液初始体积的比值，用于表征注浆材料硬化后的填充性能。

## 3.8

**流动度 fluidity**

浆液在自重或外力作用下流动的难易程度。

## 3.9

**截锥流动度 fluidity by truncated cone**

采用截锥圆模测得的浆液流动度。

## 3.10

**表观凝结时间 apparent setting time**

自注浆料加水搅拌起，至浆液失去流动性时刻的时间。

## 4 性能

### 4.1 材料

4.1.1 磷石膏在使用前应经过改性处理，改性处理前的磷石膏应符合现行GB/T 23456的相关规定，处理后的磷石膏应符合表1的规定。最大公称粒径为2.36mm。

表1 预处理后磷石膏的基本要求

项目		指标		检验方法
		一级	二级	
附着水(H <sub>2</sub> O)(湿基)%	≤	15	20	《磷石膏》 GB/T 23456
二水硫酸钙(CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)(干基)%	≥	90	80	
水溶性五氧化二磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(干基)%	≤	0.20	0.30	
水溶性氟离子(F <sup>-</sup> )(干基)%	≤	0.10	0.20	
水溶性氧化镁(MgO)(干基)%	≤	0.10	0.30	
水溶性氧化钠(Na <sub>2</sub> O)(干基)%	≤	0.06	0.10	
氯离子(Cl <sup>-</sup> )(干基)%	≤	0.02	0.04	
放射性核素限量	内照射指数	≤	1.0	
	外照射指数	≤	1.0	
pH值		≥	5.0	

条文说明：由于各地各企业湿法磷酸工艺水平以及磷矿矿源的不同，所生产出的磷石膏品质也是参差不齐，所以在使用前需对原状磷石膏进行预处理，预处理的方式有多种，较为常见的有：①水洗净化处理方法；②中和改性法；③筛分处理法；④闪烧法；⑤浮选法；⑥球磨法。

4.1.2 矿渣粉应采用符合现行国家标准GB/T 18046规定的S95级及以上矿渣粉，活性钙、硅、铝等无机物的总含量大于30%。

4.1.3 水泥宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其性能应符合现行国家标准GB 175的相关规定。水泥强度等级应选用42.5及以上。

4.1.4 膨润土宜采用钠基膨润土，膨润土的吸蓝量不宜小于26g/100g，膨胀指数不宜小于15mL/2g。

4.1.5 外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119规定。

4.1.6 外加剂与磷石膏等其他原材料应有良好的适应性，并应经相容性试验验证。

4.1.7 水泥水玻璃双液同步注浆材料采用的水玻璃模数宜为2.4~3.2。

4.1.8 增塑剂应符合现行行业标准《抹灰砂浆增塑剂》JG/T 426和《砌筑砂浆增塑剂》JG/T164的规定；保水剂应符合现行行业标准《预拌砂浆用保水剂》JC/T2389的规定。

4.1.9 水应符合现行行业标准JGJ 63的相关规定。

4.1.10 磷石膏胶凝材料中的细集料可以是河砂与各种盾构尾砂或砾石加工成的机制砂，也可以是分级筛选磷石膏细集料，或者天然细集料与磷石膏细集料组成的混合物。细集料的最大公称粒径宜选用2.36mm。磷石膏细集料的有机质含量应符合表2的规定。

表2 磷石膏细集料的有机质含量要求

项目名称	质量指标	检测方法
有机物含量	不深于标准色	如深于标准色，按 GB/T 17431 规定执行

## 4.2 磷石膏基胶凝材料

4.2.1 磷石膏胶凝材料初凝时间和终凝时间检验方法应按GB/T 1346执行，具体要求见表3。

表3 磷石膏胶凝材料初凝时间和终凝时间要求

序号	指标	技术要求
1	初凝时间	$\geq 3\text{h}$ 且 $\leq 6\text{h}$
2	终凝时间	$\geq 6\text{h}$ 且 $\leq 36\text{h}$

4.2.2 磷石膏胶凝材料的强度性能测试应符合GB/T 17671的相关规定，强度指标见表4。

表4 磷石膏胶凝材料强度指标

抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
7d	28d	7d	28d
$\geq 9.0$	$\geq 30.0$	$\geq 2.0$	$\geq 4.0$

## 4.3 改性磷石膏基盾构同步注浆材料的性能要求

4.3.1 改性磷石膏基盾构同步注浆材料应符合表5的规定。

表5 改性磷石膏基盾构同步注浆材料的性能要求

容重要求	流动度/mm		稠度/mm		初凝时间/h	泌水率/%	pH 值	分层度/mm
	初始	静置 2h	初始	静置 2h				
1500~1800kg/m <sup>3</sup>	$\geq 220$	$\geq 200$	$\geq 13$	$\geq 11$	$< 5$	$\leq 5$	$\geq 7$	$\leq 6$

4.3.2 改性磷石膏基盾构同步注浆材料力学性能要求应符合表6的规定。

表6 改性磷石膏基盾构同步注浆材料的力学性能要求

项目	技术要求	
抗压强度 (MPa)	3d	$\geq 0.5$
	7d	$> 1.0$
	28d	$\geq 2.5$
水陆强度比 (%)	28d	$\geq 75$
结石率 (%)	$\geq 95.0$	

## 5 配合比设计

- 5.1.1 改性磷石膏基盾构同步注浆材料配合比设计可采用质量法或体积法。  
5.1.2 改性磷石膏基盾构同步注浆材料配合比参数可按表7的规定选取。

表7 改性磷石膏基盾构同步注浆材料配合比参数

水胶比	胶砂比	磷石膏掺量 (%)	矿渣粉掺量 (%)	膨润土掺量 (%)	复合外加剂掺量 (%)
0.7~1.1	≥0.2	3~15%	10~20%	1~3%	1~2%

- 5.1.3 配合比试配应采用工程实际使用的原材料,进行同步注浆材料浆液性能、硬化后的性能和耐久性能试验,试验结果应满足设计和施工要求。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 同步注浆材料的施工应根据工程地质条件、地表沉降状态、环境要求及设备性能等选择注浆方式确保管片与地层间隙填充密实,并应采取措施减少注浆施工对周围环境的影响。  
6.1.2 在施工之前,应制定同步注浆施工技术方,并做好施工准备工作。  
6.1.3 冬期施工时,同步注浆施工应采取保温防冻措施。  
6.1.4 同步注浆施工前应按施工要求准备拌浆、储浆、注浆设备,并应进行试运转。  
6.1.5 同步注浆材料浆液的储浆设备应具有机械搅拌功能,并应能够保证浆液的匀质性。

### 6.2 原材料进场与储存

- 6.2.1 水泥、磷石膏、细集料、外加剂等原材料进场应按照本规程7.1节规定进行进场检验。  
6.2.2 原材料进场时,供货方应按批次规定向需方提供型式检验报告、出厂检验报告和出厂合格证等质量文件。  
6.2.3 原材料储存应符合下列规定:  
(a) 水泥应按品种、强度等级和生产厂家分别储存,不应与矿物掺合料等其他粉状料相混,并应防止受潮。  
(b) 细集料应按品种、规格分别堆放,堆场应采用能排水的硬质地面,并应有遮雨防尘措施。  
(c) 矿物掺合料应按品种、质量等级和产地分别储存,不应与水泥等其他粉状料相混,并应防雨和防潮。  
(d) 外加剂应按品种和生产厂家分别储存;粉状外加剂应防止受潮结块;液态外加剂应储存在密闭容器内,并应采取防晒和防冻措施。  
6.2.4 原材料储存处应进行分类标记。

### 6.3 计量

- 6.3.1 原材料计量应采用电子计量设备。计量设备的精度应符合现行行业标准《建筑施工机械与设备 湿拌砂浆搅拌站》JB/T11859的规定。每一工作班施工前,应对计量设备进行零点校准。  
6.3.2 在原材料计量过程中,应根据细骨料的含水率的变化及时调整细骨料和拌和用水的称量。

- 6.3.3 同步注浆材料生产、施工前，应测定生产用细骨料的含水率，每一工作班的测定次数不应少于1次。
- 6.3.4 原材料的计量允许偏差应符合表8的规定，原材料计量偏差应每班施工前检查1次。

表8 原材料的计量允许偏差（%）

原材料品种	胶凝材料	骨料	拌合用水	外加剂	掺合料
每盘计量允许偏差	±2	±3	±1	±1	±2

#### 6.4 制浆

- 6.4.1 预拌注浆材料采用的搅拌机应符合国家现行标准《建筑施工机械与设备湿拌砂浆搅拌站》JB/T 11859或《建筑施工机械与设备混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171的规定。
- 6.4.2 改性磷石膏基同步注浆材料生产时，应保证浆液搅拌均匀；从全部材料投料完成起计，搅拌时间不宜小于60s。
- 6.4.3 水泥-水玻璃双液同步注浆材料生产时，水玻璃宜在使用前加水稀释，并应搅拌均匀。
- 6.4.4 同步注浆材料在生产过程中所有粉料的输送及计量工序均应在密闭状态下进行。
- 6.4.5 同步注浆材料采用干混砂浆时，应按产品说明书的规定加水并搅拌均匀。

#### 6.5 运输

- 6.5.1 同步注浆材料浆液的搅拌运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408的规定。
- 6.5.2 运浆车装料前，罐内应无积水、积浆或杂物；运浆车在运输过程中不应向运浆车内加水。
- 6.5.3 运浆车供浆量应以 $m^3$ 为计量单位；运浆车在装料、运送过程中，浆液应均匀，不产生分层、离析现象。

#### 6.6 注浆

- 6.6.1 盾构法隧道同步注浆过程宜采用同时控制注浆压力和注浆量的双控注浆法。
- 6.6.2 盾构法隧道同步注浆压力应根据场地地质条件、注浆方式、管片强度、浆液性能和土仓压力等综合因素确定。
- 6.6.3 注浆量充填系数应根据地层条件、施工状态和环境要求确定，充填系数宜为1.30~2.50。
- 6.6.4 单个衬砌环的理论注浆量应按下列公式计算：

$$Q=V\lambda \quad (\text{式 } 6.6.4-1)$$

$$V=\frac{\pi(D_1^2-D_2^2)L}{4} \quad (\text{式 } 6.6.4-1)$$

式中：Q——单个衬砌环的理论注浆量（ $m^3$ ）；

V——盾构施工注浆空隙体积（ $m^3$ ）；

$\lambda$ ——注浆量充填系数（m）；

$D_1$ ——盾构切削外径（m）；

$D_2$ ——预制管片外径（m）；

L——预制管片衬砌环单环的幅宽（m）。

- 6.6.5 注浆作业应采用多点方式注浆；注浆速度应根据注浆量和盾构掘进速度确定，并应与盾构掘进同步进行。
- 6.6.6 注浆浆液应易于压注，且在注浆作业过程中不应产生离析和分层。
- 6.6.7 注浆作业应连续进行，并宜在注浆过程中配备自动记录注浆量、注浆压力、注浆时间等参数的仪器设备；注浆压力应根据工程地质条件、注浆目的、注浆深度及浆液性能，结合工程类比法初步拟定，并在现场注浆试验中予以调整确定；当注浆导致管片发生变形或上浮量超过允许设计值时，应停止注浆。
- 6.6.8 首次注浆作业前管道应经润湿后方可压注；同步注浆作业后应清洗注浆设备和管路。
- 6.6.9 注浆作业过程中应实时监控注浆量及注浆压力，管片与地层间应填充密实，衬砌环应稳定。
- 6.6.10 注浆作业停顿时间接近或超过注浆浆液的凝结时间时，应对储浆设备进行清空、清洗。

## 7 质量检验

### 7.1 原材料质量检验

- 7.1.1 同步注浆材料在原材料进场时，应按规定批次验收型式检验报告、出厂检验报告或合格证等质量证明文件，并按检验批随机取样进行原材料进场检验。对于不合格批次，降级使用或退场处理。
- 7.1.2 膨润土的检验项目应符合现行国家标准《膨润土》GB/T 20973的规定，膨润土应以60t为一批，不足60t的按一批计。
- 7.1.3 液态外加剂应储存在密闭容器内，并应防晒和防冻，当有沉淀等异常现象时，应经检验合格后使用；不应采用受潮结块的粉状减水剂。
- 7.1.4 水泥、矿物掺合料、外加剂、骨料、水等原材料的检验项目和检验批量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164的规定，不同批次或非连续供应的不足一个检验批量应作为一个检验批。

当符合下列条件之一时，可将原材料检验批量扩大1倍。

- (a) 对经产品认证机构认证符合要求的产品。
- (b) 来源稳定且连续三次检验合格。
- (c) 同一厂家的同批出厂材料，用于同时施工且属于同一工程项目的多个单位工程。

### 7.2 预拌干混注浆材料质量检验

- 7.2.1 预拌干混注浆料进场时应提交出厂检验报告、产品合格证、型式检验报告等质量证明文件。
- 7.2.2 预拌干混注浆料进场时应在施工现场抽样复验。复验应符合下列要求：
- (a) 复验宜为见证取样送检。
  - (b) 同一生产厂家、同一品种的每2000t预拌盾构注浆料或每500m隧道所用预拌盾构注浆料应作为一批，不足2000t或不足500m的盾构隧道所用预拌盾构注浆料应按一批计。
  - (c) 见证取样应在散装车中随机抽取，必要时可在移动筒仓下放出过程中取样；试样应混合均匀，试样总量应不小于复验检测用量的4倍；将所取试样平均分为二等份，一份按规定进行检验，另一份封存留样40d，以便进行质量追溯。
  - (d) 复验项目外观、初凝时间、结石率、抗压强度。
  - (e) 复验项目符合本规程第3章要求，即判为合格；否则该批产品判为不合格。

### 7.3 注浆质量检验

- 7.3.1 同步注浆质量检验应符合现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446、《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T 50299的有关规定。

### 7.3.2 盾构注浆的工程检验应符合下列规定：

- (a) 注浆浆液每推进 20 环应作为一个检验批，不足 20 环应按一批计。
- (b) 应在台车储浆罐内随机抽取浆液，取样数量不得少于 500ml，试样应混合均匀。
- (c) 检验项目应包括：初凝时间、结石率。
- (d) 检测结果均符合本规程第 3 章的规定时，应判定该批浆液为合格；当有一项指标不符合规定时，应判定该批浆液不合格。
- (e) 壁后注浆应保证管片背后充填密实。检验数量：每 10 环检查一处；检验方法：检查注浆记录。
- (f) 工程检验记录应符合盾构注浆材料工程检测记录表的规定，检测结果应存档。

## 7.4 环保性能要求

7.4.1 盾构同步注浆材料应用时，其浸出液特征污染物应满足环保要求，磷石膏基盾构同步注浆材料养护 28d 后，其浸出液特征污染物控制指标应符合《污水综合排放标准》GB8978-1996 要求。

7.4.2 磷石膏基盾构同步注浆材料应用于盾构工程时，使用单位宜在施工前对盾构沿线土壤、地下水环境本底值进行监测；施工完成后，宜对可能受到影响的区域开展长期环境监测，监测频次每年不少于一次，监测项目包括但不限于磷酸盐、氟化物、pH 值及重金属指标。

## 附录 A

## (规范性)

## 改性磷石膏基同步注浆材料的生产制备

**A.1** 磷石膏细集料经工业振筛工艺生产制备，每条生产线都应设置一个堆场，生产线破碎磷石膏。

**A.2** 筛选仓设置两个筛网，筛孔尺寸分别为 4.75mm 和 2.36mm，其中粒径为 0mm~2.36mm 的部分即为磷石膏细集料，可选用高频振动筛提高筛分效率。粒径低于 2.36mm 的部分用于过硫磷石膏胶凝材料的生产，粒径大于 4.75mm 的部分重复上述过程。收集磷石膏细集料于堆场中备用。

**A.3** 改性磷石膏基同步注浆材料生产制备流程如图 A.3 所示。

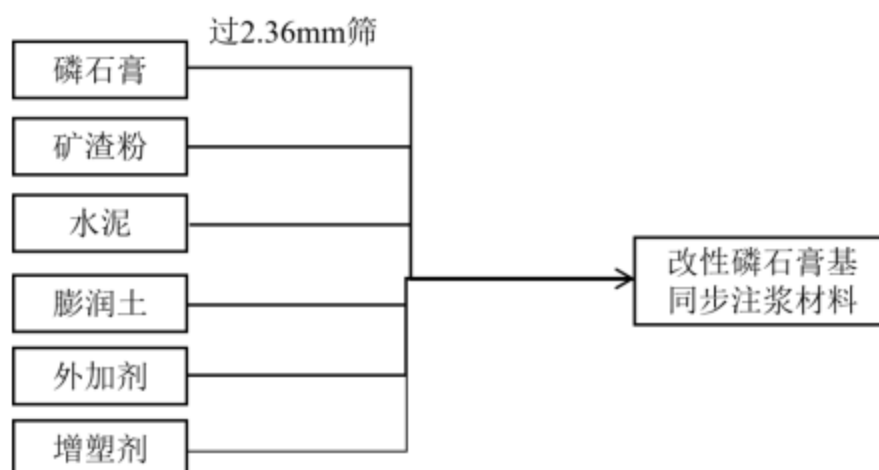


图 A.3

## 附录 B

## (规范性)

## 改性磷石膏基同步注浆材料的配合比设计

**B.1** 为确保改性磷石膏基同步注浆材料质量，避免因改性磷石膏基同步注浆材料中用水量偏高等产生的注浆材料湿密度过低的问题，规定改性磷石膏基同步注浆材料浆液表观密度不宜小于  $1700\text{kg/m}^3$ 。配合比可采用质量法或体积法进行设计计算。

采用质量法进行改性磷石膏基同步注浆材料配合比设计时，应根据浆液的实测湿表观密度，对注浆材料设计表观密度进行校正，当浆液实测湿表观密度与设计表观密度之差的绝对值不超过设计表观密度的 2% 时，可不作调整直接采用设计配合比。当实测湿表观密度与设计表观密度之差的绝对值超过设计值的 2% 时，应将设计配合比中每项原材料用量均乘以校正系数  $\delta$ 。

注浆材料配合比校正系数按下式计算：

$$\delta = \frac{\rho_t}{\rho_c} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\delta$ ——改性磷石膏基同步注浆材料配合比校正系数；

$\rho_t$ ——实测湿表观密度；

$\rho_c$ ——设计表观密度。

**B.2** 配制改性磷石膏基同步注浆材料时，外加剂掺量根据注浆浆液性能要求通过试验确定；采用其他材料替代膨润土时，通过试验确定。改性磷石膏基同步注浆材料应开展试配，根据实测密度值和浆液工作性能等要求进行必要的配合比调整。

**B.3** 改性磷石膏基同步注浆材料设计配合比应在生产和施工前应结合实际生产用原材料性能状况进行适应性调整，应以调整后的配合比作为施工配合比。