

湖北省团体标准

T/HBSZXXX-XXXX

自密实磷石膏道路基层应用技术规程

Technical specification for application of self-compacting
phosphogypsum in road base

征求意见稿

XXXXX-XX-XX发布

XXXXX-XX-XX实施

湖北省市政工程协会

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 2

4 原材料 2

5 性能指标 4

6 配合比设计 5

7 结构与构造要求 6

8 生产与运输 7

9 施工 8

10 质量检验与验收 10

11 环境影响监测 12

附录 A（规范性） 自密实磷石膏道路基层抗压强度试验方法 13

附录 B（规范性） 自密实磷石膏道路基层软化系数及吸水率试验方法 14

附录 C（规范性） 磷石膏道路基层混合料中磷石膏掺量测定方法 16

条文说明 19

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。

请注意本文件某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由湖北益通建设股份有限公司提出。

本文件由湖北省市政工程协会归口。

本文件主要起草单位：湖北益通建设股份有限公司、汉江城建集团有限公司、湖北先创市政工程有限公司、武汉生态环境设计研究院有限公司、三峡大学、湖北楚天卓越工程技术有限公司、宜昌城发建工集团有限公司、宜昌市交通规划勘察设计院有限公司、中城乡环保科技有限公司、湖北中业宏工程咨询有限公司、宜昌市城市规划设计研究院有限公司、湖北山长建设有限公司、荆州市城发建设工程集团有限公司、湖北新益厚匠建筑科技有限公司、湖北隼秀生态环境科技有限公司、宜昌益通鹏程新型墙体材料有限公司。

本文件主要起草人：陶其阳、钟颂、靖普、王涛、汪剑、宋文峰、舒龙、彭冲、黄绪泉、黄锋、张军、胡江巍、俞颖皓、谢阳、李峰、江磊、丁学兵、屈鑫、陈洁、周波、周宜、孙思语、王金亭、万涛、王豪杰、王征、王小礼、熊海荣、陈仕刚、李鹏辉、李俊杰、陈实、覃昌源、李会琴、陶新意、关毅、朱磊、胡兴、靳明照。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省市政工程协会；对本文件的有关修改意见建议请反馈至湖北益通建设股份有限公司，联系电话：0717-6903100，邮箱：1241708149@qq.com。

自密实磷石膏道路基层应用技术规程

1 范围

本文件规定了自密实磷石膏道路基层应用技术的术语和定义、原材料、性能要求、配合比设计、生产与运输、施工与养护、质量管理与验收。

本文件适用于湖北省各等级新建和改扩建城镇道路、园路及广场等自密实磷石膏道路基层工程。

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 175 通用硅酸盐水泥
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB/T 5484 石膏化学分析方法
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB/T 14902 预拌混凝土
- GB 15618 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 23456 磷石膏
- GB/T 26408 混凝土搅拌运输车
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- 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
- CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范
- CJJ 169 城镇道路路面设计规范
- HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
- HJ 702 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解原子荧光法
- HJ 781 固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
- HJ 164 地下水环境监测技术规范
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ/T 221 纤维混凝土应用技术规程
- JTG 3441 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

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固体废渣，主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

3.2

自密实磷石膏道路基层 self-compacting phosphogypsum road base

以磷石膏为主要原料，采用流态固化方式（区别于传统碾压成型）成型的道路基层。其混合料具有良好的自密实性能，一般情况下无需振捣；局部工况条件下，混合料坍落扩展度小于 500 mm 时，允许适度振捣以辅助流动。

3.3

胶凝材料掺入比 binder incorporation ratio

混合料中掺入的胶凝材料质量与不含附着水磷石膏的质量之比，以百分数表示。

3.4

磷石膏掺量 phosphogypsum content

混合料中不含附着水的磷石膏质量，占全部混合料（均不含附着水）总质量的百分比。

4 原材料

4.1 一般规定

4.1.1 原材料进场时，供方应按批次向需方提供质量证明文件。水泥、矿粉应按规定取样送检，检验合格后方可使用。

4.1.2 所用集料的选择应进行料源调查，料源宜就地取材。

4.1.3 原材料储存应符合下列规定：

- a) 各种原材料应分仓贮存，并应有明显的标识；
- b) 水泥应按品种、强度等级及生产厂家分别储存，并应防止受潮和污染；
- c) 掺合料应按品种、质量等级及生产厂家分别储存，并应防止受潮和污染；
- d) 骨料宜采用仓储或带棚堆场储存，不同品种、规格及生产厂家的骨料应分别储存，堆料仓应设有分隔区域；
- e) 外加剂应按品种和生产厂家分别储存，并应采取遮阳、防水等措施。粉状外加剂应防止受潮结块，不得有结块现象；液态外加剂应储存在不会发生化学反应的密闭容器内，并应防晒和防冻，使用前应搅拌均匀。

4.2 磷石膏

4.2.1 磷石膏使用前应经过预处理，预处理后的磷石膏应符合表 1 的技术要求。

表 1 磷石膏技术要求

项目	单位	指标	试验方法
二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）或混合磷石膏含量，不小于	%	85	GB/T 23456
细度（2.36 mm 方孔筛筛余），不大于	%	10	GB/T 23456

表 1 磷石膏技术要求（续）

项目	单位	指标	试验方法
附着水（H ₂ O）含量，不大于	%	15	GB/T 5484
水溶性氟离子（F ⁻ ）含量，不大于	%	0.1	GB/T 5484
水溶性五氧化二磷（P ₂ O ₅ ）含量，不大于	%	0.2	GB/T 5484
水溶性氧化镁（MgO）含量，不大于	%	0.1	GB/T 5484
水溶性氧化钠（Na ₂ O）含量，不大于	%	0.1	GB/T 5484
pH 值，不小于	/	3	GB/T 5484

4.2.2 磷石膏使用前应检测其重金属含量，检测结果应符合表 2 的限量要求。

表 2 磷石膏重金属限量要求

试验项目	单位	指标	试验方法
总汞（Hg）含量，不大于	Mg/Kg	5.0	HJ 702
总砷（As）含量，不大于	Mg/Kg	50.0	HJ 702
总镉（Cd）含量，不大于	Mg/Kg	10.0	HJ 781
总铅（Pb）含量，不大于	Mg/Kg	200.0	HJ 781
总铬（Cr）含量，不大于	Mg/Kg	500.0	HJ 781
总铊（Tl）含量，不大于	Mg/Kg	2.5	HJ 781

4.2.3 磷石膏的放射性核素限量应符合 GB/T 23456 中指标要求。

4.3 骨料

4.3.1 骨料应符合 JGJ 52 的有关规定。

4.3.2 粗骨料还应符合下列规定：

- 粗骨料宜采用 5~16 连续级配，最大公称粒径不宜大于 16 mm；
- 粗骨料的针片状颗粒含量不应大于 8%；

4.3.3 细骨料还应符合下列规定：

- 细骨料宜采用级配 II 区的中粗砂，细度模数宜为 2.5~3.5，洁净、干燥、无风化、无杂质；
- 对于配有钢筋的自密实磷石膏道路基层，其用砂的氯离子含量不应大于 0.03%，配有预应力筋的自密实磷石膏道路基层，其用砂的氯离子含量不应大于 0.01%。

4.4 水泥

4.4.1 自密实道路基层材料宜选用普通硅酸盐水泥，其质量应符合 GB 175 的有关规定。

4.4.2 水泥强度等级不应低于 42.5。

4.4.3 水泥中的氯离子含量不应大于 0.06%。

4.5 矿渣粉

4.5.1 自密实道路基层材料应选用 S95 级、S105 级矿渣粉，不得采用 S75 级矿渣粉。

4.5.2 矿渣粉的技术指标应符合表 3 要求。

表 3 矿渣粉技术要求

项目	单位	级别		试验方法
		S95	S105	
7 d 活性指数，不小于	%	75	95	GB/T 18046
28 d 活性指数，不小于	%	95	105	

4.5.3 矿渣粉除满足上述规定外，还应符合 GB/T 18046 的有关规定。

4.6 外加剂

4.6.1 自密实磷石膏道路基层混合料用减水剂应选用标准型高性能减水剂，其质量应符合 GB 8076 和 GB 50119 的有关规定。

4.6.2 自密实磷石膏道路基层混合料不宜采用膨胀剂，不得采用缓凝剂。

4.7 其它

4.7.1 自密实磷石膏道路基层混合料拌合用水和养护用水应符合 JGJ 63 的有关规定。当砂的氯离子含量大于 0.003%时，拌合用水的氯离子含量不应大于 250 mg/L。

4.7.2 自密实磷石膏道路基层混合料可根据工程需要掺入钢纤维、合成纤维或矿物增强剂。钢纤维、合成纤维性能应符合 JGJ/T 221 中的有关规定；矿物增强剂应符合 GB/T 18736 中的有关规定。

5 性能指标

5.1 拌合物性能

5.1.1 自密实磷石膏道路基层拌合物除应满足普通混凝土拌合物对凝结时间、黏聚性和保水性等的要求外，还应满足自密实性能的要求。

5.1.2 自密实磷石膏道路基层拌合物性能指标应符合表 4 的要求。

表 4 自密实磷石膏道路基层拌合物性能指标

性能指标	单位	性能等级	技术要求	检测标准
坍落扩展度	mm	SF1	500~655	GB/T 50080
扩展时间 T500	s	VS1	≥2	
注：当道路横坡或纵坡大于或等于 4%时，经试验确定，坍落扩展度下限可放宽至 400 mm。				

5.2 硬化后道路基层性能

5.2.1 硬化后自密实磷石膏道路基层的性能指标应符合表 5 的要求。

表 5 硬化后自密实磷石膏道路基层性能指标

指标	结构层	技术要求			检测标准
		特重交通	重、中交通	轻交通	
14 d 抗压强度（MPa）， 不小于	基层	6.0	5.0	4.0	本规程附录 A
	底基层	5.0	4.0	3.0	
软化系数，不小于		85%			本规程附录 B
吸水率，不大于		10%			
磷石膏掺量，不小于		设计规定			本规程附录 C
弯沉值，不大于		设计规定			JTG 3450-T 0952
注 1：自密实磷石膏道路基层硬化后的强度指标应按 14 d 抗压强度标准进行控制。					
注 2：强度试件成型见本规程 6.3 节。					

5.2.2 硬化后自密实磷石膏道路基层的长期性能和耐久性能应满足设计和国家现行相关标准的规定。

6 配合比设计

6.1 一般规定

6.1.1 自密实磷石膏道路基层的设计应综合考虑道路结构设计、施工工艺和环境条件。

6.1.2 自密实磷石膏道路基层混合料的设计应包括原材料检验、目标配合比设计、生产配合比设计和施工参数的选定等四部分。

6.1.3 配合比设计应满足自密实磷石膏道路基层配制强度、混合料性能、力学性能和耐久性能的设计要求。

6.1.4 配合比设计应采用工程实际使用的原材料, 并应满足本规程原材料要求。配合比设计应以干燥状态骨料为基准, 粗骨料含水率应小于 0.2%, 细骨料含水率应小于 0.5%, 磷石膏需烘干附着水。

6.2 配合比设计要求

6.2.1 配合比设计设定的自密实磷石膏道路基层抗压强度目标值不应小于设计强度值的 1.2 倍。

6.2.2 自密实磷石膏道路基层混合料 (以下称混合料) 目标配合比设计应按下列步骤进行:

- 测定磷石膏及粗细骨料含水率;
- 确定磷石膏掺量;
- 根据胶凝材料掺入比, 确定胶凝材料用量;
- 计算粗细骨料用量;
- 选取水胶比, 计算用水量; 确定外加剂用量;
- 调整和确定混合料配合比

6.2.3 按道路基层设计性能指标, 确定磷石膏掺量, 宜取 40%~50%。

6.2.4 胶凝材料应采用矿渣粉与水泥, 胶凝材料掺入比宜取 12%~20%, 每立方米混合料中的总用量应不大于 200 kg, 且水泥用量不宜超过胶凝材料总用量的 30%。

- 6.2.5 粗、细骨料总用量占不含附着水混合料的质量比宜取 40%~50%。砂率宜为 15%~25%。
- 6.2.6 用水量需根据混合料配制强度、扩展度、外加剂添加情况以及道路横、纵坡度等要求试配确定，水胶比宜取 1.7~2.2；
- 6.2.7 每立方米混合料中外加剂用量，依据胶凝材料用量、外加剂掺入比例试配确定。
- 6.2.8 不含附着水混合料中各种材料质量比可采用表 6 中的推荐范围进行目标配合比设计。

表 6 自密实磷石膏道路基层混合料推荐质量配合比

结构层	单位	磷石膏	粗骨料	细骨料	胶凝材料	外加剂
基层	%	40~45	37~42	8~12	6~9	1~2
底基层	%	45~50	35~40	7~10	5~9	1~2

6.3 试件制作与养护

6.3.1 配合比设计阶段及施工过程检验所用抗压强度试件，应采用无机结合料稳定材料无侧限抗压强度试验用圆柱体钢模成型，试模尺寸应为 $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。

6.3.2 试件制作应符合下列规定：

- 试模组装后内壁应均匀涂覆脱模剂；
- 将自密实磷石膏道路基层混合料一次性装入试模，装料高度略高于模顶，利用混合料自密实性能自然充填成型，不振捣、不插捣、不击实；
- 装料后静置 2 min，待混合料自密实稳定后刮除多余部分，使顶面与模口齐平，抹面后立即用塑料薄膜覆盖表面；
- 带模试件应立即置于温度为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、相对湿度不低于 50% 的室内养护；
- 养护至规定龄期前 1 d 脱模，拆模后继续置于同条件环境下养护至试验龄期。

6.3.3 试件组数应符合下列规定：

- 配合比设计阶段，每组配合比应制作不少于 9 个试件，分 3 组进行平行试验；
- 施工过程性能检验，每检验批应制作 1 组试件，每组 3 个。

7 结构与构造要求

7.1 结构设计

- 7.1.1 基层应具有足够的承载能力、抗疲劳开裂性能、足够的耐久性和水稳定性。
- 7.1.2 基层材料适用于各个交通等级的道路工程，基层厚度应不小于 150 mm。基层厚度大于 250 mm 时，宜分层设计，单层厚度宜为 150 mm~250 mm。
- 7.1.3 特重、重交通等级道路的自密实磷石膏道路基层宜分为 2~3 层；中、轻交通等级道路宜分为 1~2 层。分层铺筑时，上层铺筑应在下层龄期不低于 14 天、且强度满足设计要求后才能施工。
- 7.1.4 水文地质条件不良的路段，底基层下部应设置垫层，垫层的设计应符合 CJJ 169 相关要求。
- 7.1.5 不同交通等级道路基层材料的强度要求应符合表 5 的规定。

7.2 构造要求

7.2.1 自密实磷石膏道路基层的路面应设置双向或单向横坡，坡度宜为 1.0%~2.0%，道路边侧应设置完善的边沟、盲沟（管）等排水构造设施。

7.2.2 自密实磷石膏道路基层纵向宜分段施工，分段长度宜为 50 m~100 m，双向横坡道路基层宜左右分幅施工。

7.2.3 接缝设置应符合下列规定：

- a) 分幅施工的纵向施工缝应与道路中线平行，宜采用平缝形式；缝上部应锯切假缝，切缝深度宜为 50 mm~80 mm，宽度宜为 3 mm~8 mm；
- b) 横向缩缝应采用切缝机锯切，间距宜为 6 m~10 m，缝宽宜为 3 mm~8 mm，缝深宜为基层厚度的 1/3~1/2，且不应小于 70 mm；切缝时间宜在基层达到设计强度 25%~30% 时进行，一般为铺筑后 3 d~7 d；
- c) 纵向分段施工缝应预留胀缝板，胀缝板宜采用厚 20 mm、水稳定性好、具有一定柔性的板材制作，且应经防腐处理；胀缝上部应预留填缝槽，槽深宜为 30 mm~50 mm；
- d) 缝内应清洁干燥后灌入填缝料，填缝材料宜采用树脂类、橡胶类、聚氯乙烯胶泥类或改性沥青类材料；填缝后缝顶宜粘贴抗裂贴，抗裂贴宽度不应小于缝两侧各 100 mm。

7.2.4 自密实磷石膏道路基层分层施工时，每层的顶面需进行拉毛、压槽处理并清扫干净。

7.2.5 当沥青面层直接铺筑于自密实磷石膏基层顶面时，应在基层顶面设置粘层，并宜同步设置沥青碎石封层，其构造与技术要求应符合下列规定：

- a) 粘层应采用改性乳化沥青或热沥青，洒布量宜为 0.3 L/m²~0.6 L/m²，洒布前应确保基层表面清洁、干燥；
- b) 同步沥青碎石封层宜采用 SBR 改性乳化沥青或橡胶沥青，碎石宜选用粒径 4.75 mm~9.5 mm 的洁净玄武岩或石灰岩，洒布量及碎石覆盖率应符合 JTG F40 的有关规定；
- c) 粘层与同步碎石封层施工间隔时间不宜超过 24 h，施工环境温度不宜低于 10 ℃；

8 生产与运输

8.1 生产

8.1.1 自密实磷石膏道路基层材料生产应采用绿色环保、节能降耗、易维护、易保养的设施设备。

8.1.2 生产计量设备应符合 GB/T 10171 的有关规定，原材料的计量应按质量计，且原材料计量允许偏差应符合表 7 的规定。

表 7 原材料计量允许偏差

原材料品种	胶凝材料	磷石膏	骨料	水	外加剂
每盘计量允许偏差（%）	±2	±3	±3	±1	±1
累计计量允许偏差（%）	±1	±2	±2	±1	±1
注 1：现场搅拌时原材料计量允许偏差应满足每盘计量允许偏差要求。 注 2：累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混合料的每种材料计量和的偏差，该项指标仅适用于采用计算机控制计量的搅拌站。					

8.1.3 各种原材料的贮存和搅拌除应符合 GB/T 14902 的有关规定外，尚应符合下列规定：

- a) 磷石膏堆场宜为室内库房，地面应做水泥硬化处理，保持通风干燥，防止受潮结块；磷石膏应与其他材料分仓贮存，避免混杂污染。
 - b) 自密实磷石膏道路基层材料生产应采用间歇式拌合工艺，拌合时先将磷石膏、骨料、胶凝材料、粉状外加剂干拌，干拌时间宜为 45 s~60 s，再加水和液状外加剂搅拌不宜少于 30 s，总搅拌时间不应少于 90 s。
 - c) 搅拌时应保证磷石膏进料顺畅、不堵塞，必要时应增设辅助装置改进磷石膏入仓进料系统。
- 8.1.4 生产过程中，每台班应至少检测一次磷石膏和骨料含水率。当含水率有显著变化时，应增加测定次数，并应依据检测结果及时调整骨料、磷石膏以及水的用量。
- 8.1.5 配合比使用过程中，应根据原材料的变化或质量动态信息及时进行调整，满足配合比设计和现场使用要求，配合比变更应经技术负责人批准。
- 8.1.6 在高温施工时，生产自密实磷石膏道路基层材料原材料最高入机温度应符合表 8 的规定，必要时应对原材料采取温度控制措施。

表 8 原材料最高入机温度

原材料	最高入机温度(°C)
胶凝材料	60
骨料	35
磷石膏	35
水	35
其它掺合料	40

8.2 运输

- 8.2.1 自密实磷石膏道路基层材料的运输应事先根据浇筑量、生产能力、途中时间和浇筑能力制定合理的运输计划。
- 8.2.2 混合料运输设备应符合下列要求：
- a) 运输车应符合 GB/T 26408、GB 50164 的有关规定及政府相关管理规定，宜采用新能源运输车，并采取防晒、防雨等措施；
 - b) 在运输过程中，应能保持拌合物的均匀性，不应产生离析、分层和前后不均匀现象。
- 8.2.3 运输车在接料前应先将车内积水排尽，浇筑完毕后应将搅拌车罐内残留的混合料清洗干净。
- 8.2.4 自密实磷石膏道路基层材料运输过程中，搅拌运输车的滚筒应保持匀速转动，速度应控制在 3 r/min~5 r/min，严禁向罐内加水。
- 8.2.5 运输车从开始接料至卸料的时间不宜大于 150 min，若需要延长卸料时间时，应对拌合物性能进行试验验证；卸料前，搅拌运输车罐体应高速旋转 20 s 以上。

9 施工

9.1 一般规定

9.1.1 自密实磷石膏基层材料铺筑宜顺道路方向分段分仓铺筑，铺筑前下承层需拉毛处理，模板内侧洒水湿润，采用罐车自卸铺筑。

9.1.2 自密实磷石膏道路基层材料施工前应根据工程特点、结构类型、工程量、施工工艺与条件、进度计划和交通情况等制定专项质量保证施工方案，并应对施工作业人员进行技术交底。

9.1.3 自密实磷石膏道路基层材料施工时应安排专人对施工过程中混合料性能、模板变形等情况进行监控，并应根据监控结果调整施工措施。

9.1.4 当道路基层纵、横坡 $\geq 4\%$ 时，自密实磷石膏道路基层材料需经试验调整坍落扩展度，保证铺筑后的坡率。

9.2 支模

9.2.1 模板应根据分仓情况、铺筑厚度选用定型钢模及配套支撑系统，并应满足承载力、刚度和整体稳固性要求。

9.2.2 模板安装时应拼装紧密，不得漏浆，且应保证尺寸、形状符合设计要求。

9.2.3 分段施工缝位置应按设计要求预留胀缝板，胀缝板应符合本规程第 7.2.3 条的规定。

9.3 铺筑

9.3.1 道路宜左右分幅、纵向分段分仓铺筑，并宜从低处向高处分段施工。纵向分段长度应结合混合料供应、地理位置、天气状况确定，宜为 50 m~100 m。路幅宽度小于 7 m 且为单向横坡的道路，可整幅分段铺筑。

9.3.2 道路基层铺筑宜上、下（底）基层分层进行，上层铺筑应在下承层满足设计强度后进行。

9.3.3 拌合物浇筑最大水平流动距离应根据施工部位具体要求确定，且不宜超过 7 m。布料点间距应根据拌合物性能和工程特点选择，且不宜大于 7 m；相邻布料点应均匀卸料。

9.3.4 铺筑时应根据现场纵、横坡度调整拌合物坍落扩展度。当坡度大于或等于 4% 时，应通过试验确定扩展度，必要时可采取限流措施。

9.3.5 铺筑宜避开高温时段。当水分蒸发速率过快时，应在施工作业面采取挡风、遮阳等措施。铺筑前，应对模板和下承层表面洒水湿润。

9.3.6 半幅施工时，应对前半幅纵向施工缝界面进行凿毛处理，清理浮浆和尘土，保持界面粗糙洁净。

9.3.7 铺筑后应在终凝前对面层进行拉毛或凿毛处理。

9.3.8 拌合物性能不符合现场施工要求时，不得加水调整。

9.4 养护

9.4.1 养护方案应根据自密实磷石膏道路基层材料拌合物性能、现场条件、环境温湿度、结构特点及技术要求等综合确定。

9.4.2 铺筑完成后应及时覆盖养护，防止失水过快产生干缩裂缝。养护可采用塑料薄膜、土工布覆盖保湿或喷涂养护剂等方式，养护时间不应少于 14 d。

9.4.3 养护期间，人、畜、车辆不得通行；达到设计强度 50% 后，可允许行人通行；达到设计强度 100% 后方可开放交通。

9.5 季节性施工

9.5.1 自密实磷石膏道路基层施工应根据工程所在地的气候环境，确定冬季、夏季和雨季的起止时间。

9.5.2 雨季施工应符合下列规定：

- a) 应加强与气象部门的联系，及时掌握气象条件变化，做好防范准备；
- b) 应充分利用地形与现有排水设施，做好防雨及排水工作；

c) 不应在雨天铺筑施工；雨后施工前应对路基状况进行检查，符合要求后方可进行。

9.5.3 当室外日平均气温低于 5℃时，自密实磷石膏道路基层不应施工。室外日平均气温低于 10℃时，基层施工完成后需及时采取覆盖保温措施。

9.5.4 夏季施工应符合下列规定：

- a) 混合料入模温度不宜超过 35℃；
- b) 铺筑前应对模板和下承层表面洒水湿润；
- c) 施工过程中应缩短运输和铺筑工序时间，铺筑完成后应及时覆盖养护；
- d) 遇阵雨时应暂停施工，并应采用薄膜对已铺筑部位进行覆盖。

10 质量检验与验收

10.1 一般规定

10.1.1 自密实磷石膏道路基层施工质量控制，应包括原材料、配合比设计、拌合物生产和运输、施工以及完工后检查评定的整个过程。

10.1.2 自密实磷石膏道路基层施工质量验收，主控项目包括原材料检验、性能检验，其余为一般项目。

10.1.3 道路路基工程质量检验和验收可参照 CJJ 1 相关条文执行。

10.1.4 当建设单位或设计文件对磷石膏掺量有检验要求时，应按本规程附录 C 规定的测定方法进行检验，测定结果应满足设计要求。

10.2 原材料检验

10.2.1 各种原材料进场应以“批”为单位进行检验，每批抽检一次。不符合本规程第 4 章技术要求材料不得进场。

10.2.2 原材料进场检验批次要求：

- a) 磷石膏：同一产地、同一规格且连续进场的磷石膏，不超过 1000 吨为一批，不足 1000 吨按 1 批计；
- b) 矿渣粉：同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的矿渣粉，袋装矿渣粉不超过 200 吨为一批，散装矿渣粉不超过 500 吨为一批，每批抽检一次。
- c) 其余原材料进场检验批次要求可参照 CJJ 1 相关条文执行。

10.3 性能检验

10.3.1 自密实磷石膏道路基层拌合物性能检测应符合表 9 的规定。

表 9 道路基层材料拌合物性能检验

检验类别	检验参数	技术要求	检验频次
出厂检验	坍落扩展度、扩展时间 T500	5.1	开盘前三车每车取样检测，连续生产后每 100 m ³ 相同配合比的拌合物至少应检验 1 次； 当一个台班相同配合比的拌合物不足 100 m ³ 时， 检验不得少于 1 次
验收检验	坍落扩展度、扩展时间 T500	5.1	每车不少于 1 次

10.3.2 自密实磷石膏道路基层硬化后性能检测应符合表 10 的规定。

表 10 硬化后道路基层性能检验

检验类别	检验参数	技术要求	检验频次
验收检验	14 d 抗压强度	5.2	连续生产后每 100 m ³ 相同配合比的混合料至少应检验 1 组；当一个台班相同配合比的混合料不足 100 m ³ 时，检验不得少于 1 组。每组 3 个圆柱体试件
	软化系数、吸水率	5.2	连续生产时，每 500 m ³ 相同配合比的混合料，至少应检验 1 组；当一个台班相同配合比的混合料不足 500 m ³ 时，检验不得少于 1 组；同一工程、同一配合比、检验组数不少于 2 组。每组 3 个圆柱体试件
	磷石膏掺量	5.2	每 10000 m ² 相同配合比的磷石膏道路基层，检验不得少于 1 组。同一工程、同一配合比、检验组数不少于 1 组。每组 3 个圆柱体芯样
	弯沉值	5.2	每车道、每 20 米，测 1 点
注：试件制作和养护应按本规程第 6.3 节执行。			

10.4 基层外观及允许偏差

10.4.1 自密实磷石膏道路基层应平整，边角整齐、无裂缝，不应有石子外露、脱皮、踏痕、积水等现象。外观检查按如下要求：

- 检查数量：全数检查；
- 检验方法：观察。

10.4.2 自密实磷石膏道路基层允许偏差应符合表 11 的规定。

表 11 自密实磷石膏道路基层允许偏差

项目		允许偏差	检验频率			检验方法	
			范围	点数			
中线偏位(mm)		≤20	100 m	1		用经纬仪测量	
纵断高程 (mm)	基层	±15	20 m	1		用水准仪测量	
	底基层	±20					
平整度 (mm)	基层	≤10	20 m	路宽 (m)	<9	1	用 3 m 直尺和塞尺连续量两尺，取较大值
	底基层	≤15			9~15	2	
					>15	3	
宽度(mm)		不小于设计规定+B	40 m	1		用钢尺量	
横坡		±0.3%且不反坡	20 m	路宽 (m)	<9	2	用水准仪测量
					9~15	4	
					>15	6	
厚度(mm)		±10	1000 m ²	1		用钢尺量	
注：B 表示施工必要加宽值。							

11 环境影响监测

11.1 环境影响检测范围包含地表水、地下水、土壤等。

11.2 地表水环境质量调查与监测方法参照 HJ 91.2，监测指标以 GB 3838 中的基本项目为主；地下水环境质量调查与监测方法参照 HJ 164，监测指标以 GB/T 14848、GB 3838、GB 15618 中的常规指标（除微生物和放射性指标外）为主；土壤质量调查与监测方法参照 HJ/T 166，监测指标以 GB 15618 中的农用地土壤污染风险筛选值（基本项目）为主。

11.3 环境影响监测过程应分为前期监测和后期监测。前期监测是指在道路施工前由第三方检测机构提取道路范围内地表水、地下水、土壤的背景值，后期监测在工程验收后同步进行。

附 录 A

(规范性)

自密实磷石膏道路基层抗压强度试验方法

A.1 范围

本附录规定了自密实磷石膏道路基层圆柱体试件抗压强度的试验方法。

A.2 仪器设备

试验用压力试验机、试模、游标卡尺等设备应符合现行行业标准 JTG 3441 中无侧限抗压强度试验的有关规定。压力试验机精度应不低于 1 级，量程应使试件破坏荷载位于全量程的 20%~80%之间。

A.3 试件制备

试件制备应按本规程第 6.3 节的规定执行。成型后试件高度与直径之比应为 1:1。

A.4 试验步骤

A.4.1 试件达到规定龄期后，应测定其高度和直径，分别在试件中部相互垂直的两个方向测量直径，取其算术平均值，精确至 1 mm。

A.4.2 检查试件外观，有明显缺棱、掉角或端面不平整的试件不得用于试验。

A.4.3 将试件置于压力试验机承压板中心，以 1.0 mm/min 的恒定加载速率连续均匀加载，直至试件破坏。

A.4.4 记录最大破坏荷载，精确至 100 N。

A.5 结果计算与评定

A.5.1 单个试件抗压强度应按式 (A.1) 计算：

$$R_i = \frac{4P_i}{\pi d^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

R_i —— 单个试件抗压强度 (MPa)；

P_i —— 最大破坏荷载 (N)；

d —— 试件直径 (mm)。

A.5.2 试验结果处理应符合下列规定：

- a) 以 3 个试件抗压强度的算术平均值作为该组试件抗压强度代表值，精确至 0.1 MPa；
- b) 当 3 个试件测值中的最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时，取中间值作为该组试件抗压强度代表值；
- c) 当最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试件试验结果无效。

附录 B

(规范性)

自密实磷石膏道路基层软化系数及吸水率试验方法

B.1 范围

本附录规定了自密实磷石膏道路基层圆柱体试件软化系数及吸水率的试验方法。

B.2 规范性引用文件

本附录引用下列文件中的内容：

- 本规程第 6.3 节 试件制作与养护；
- 本规程附录 A 抗压强度试验方法。

B.3 仪器设备

- B.3.1 电热鼓风干燥箱：温度控制范围室温 $\sim$ 100℃，精度 ± 1 ℃，可在 (45 ± 3) ℃恒温；
- B.3.2 恒温水槽：水温控制范围 (20 ± 5) ℃；
- B.3.3 压力试验机：应符合本规程附录 A 第 A.2 节的规定；
- B.3.4 游标卡尺：分度值 0.02 mm；
- B.3.5 电子天平：量程不小于 5 kg，感量不大于 0.1 g。

B.4 试件制备

- B.4.1 试件应按本规程第 6.3 节的规定成型，采用 $\phi 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 圆柱体钢模，不振捣、不击实。
- B.4.2 试件标准养护至 28 d 龄期。
- B.4.3 每组试件数量应为 6 个，其中 3 个用于测定绝干状态抗压强度，3 个用于饱水状态试验。

B.5 试验步骤

B.5.1 绝干状态试件处理及试验

- a) 将 3 个试件置于 (45 ± 3) ℃电热鼓风干燥箱内烘干，每隔 4 h 称量一次，直至相邻两次称量差值不大于试件质量的 0.1%，视为恒重；
- b) 记录恒重质量，精确至 0.1 g；
- c) 按本规程附录 A 的规定进行抗压强度试验，测定绝干状态抗压强度 f_0 。

B.5.2 饱水状态试件处理及试验

- a) 取另外 3 个试件，先按 B.5.1 烘干至恒重，记录恒重质量 m_0 ；
- b) 将试件浸入温度为 (20 ± 5) ℃的水中，水面应高出试件顶面 20 mm 以上；
- c) 浸水 48 h 后将试件取出，用湿毛巾擦去表面附着水，立即称量饱水质量 m_1 ；
- d) 按本规程附录 A 的规定进行抗压强度试验，测定饱水状态抗压强度 f_1 。

注：饱水试件从水中取出至完成抗压强度试验的时间间隔不应超过 15 min；试验过程中试件表面应覆盖湿布，防止水分蒸发。

B.6 结果计算与评定

B. 6. 1 吸水率

B. 6. 1. 1 单个试件吸水率应按式 (B.1) 计算:

$$W_i = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

W_i —— 单个试件吸水率;

m_0 —— 试件烘干至恒重的质量 (g);

m_1 —— 试件浸水 48 h 后饱水面干的质量 (g)。

B. 6. 1. 2 以 3 个试件吸水率的算术平均值作为该组试件吸水率代表值, 精确至 0.1%。当任一测值与中值的差值超过中值的 15% 时, 应剔除该值后取余下试件的平均值; 当有两个测值与中值的差值均超过中值的 15% 时, 该组试验结果无效。

B. 6. 2 软化系数

B. 6. 2. 1 单个试件软化系数应按式 (B.2) 计算:

$$\psi_i = \frac{f_1}{f_0} \times 100\% \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

ψ_i —— 单个试件软化系数;

f_1 —— 饱水状态抗压强度 (MPa);

f_0 —— 绝干状态抗压强度 (MPa)。

B. 6. 2. 2 以 3 个试件软化系数的算术平均值作为该组试件软化系数代表值, 精确至 0.01。当任一测值与中值的差值超过中值的 15% 时, 应剔除该值后取余下试件的平均值; 当有两个测值与中值的差值均超过中值的 15% 时, 该组试验结果无效。

附 录 C

(规范性)

磷石膏道路基层混合料中磷石膏掺量测定方法

C.1 范围

本附录规定了在材料配合比未知的情况下,测定磷石膏道路基层混合料中磷石膏掺量的方法。

本方法适用于磷石膏道路基层混合料及现场钻芯取样样品中磷石膏掺量的测定,可用于基层配合比复核、施工质量检验与质量溯源。

C.2 方法提要

磷石膏道路基层混合料由磷石膏、胶凝材料、骨料、外加剂和水等组成。混合料中的三氧化硫主要来源于磷石膏原材料,占混合料总三氧化硫含量的95%以上;胶凝材料引入的三氧化硫不足4%;其余组分引入量低于1%,可忽略不计。

本方法通过测定基层混合料中三氧化硫总含量,除以磷石膏原材料固有的三氧化硫含量,得到磷石膏表观掺量;再按基层芯样抗压强度选取修正系数,扣除胶凝材料引入三氧化硫的影响,计算得到基层混合料中磷石膏的实际掺量(质量分数)。

C.3 仪器设备

C.3.1 天平:量程不小于1000 g,分度值不大于1 g;量程不小于100 g,分度值不大于0.0001 g。

C.3.2 试验筛:孔径为75 μm 的方孔筛。

C.3.3 烘箱:温度控制在 $(105\pm5)^{\circ}\text{C}$ 。

C.3.4 高温炉:温度控制在 $(800\pm50)^{\circ}\text{C}$ 。

C.3.5 烧杯:400 mL。

C.3.6 量筒:20 mL 及 100 mL,分度值不大于1 mL。

C.3.7 粉磨钵或破碎机。

C.3.8 钻芯机:宜配备直径100 mm~150 mm 的钻头。

C.3.9 压力试验机:示值相对误差不大于 $\pm 1\%$,量程应满足芯样抗压强度测定要求。

C.3.10 干燥器、瓷坩埚、浅盘、玻璃漏斗、电炉、刷子等。

C.4 试剂及材料

C.4.1 氯化钡溶液:将5 g 氯化钡溶于50 mL 蒸馏水中。

C.4.2 盐酸(1+1):将浓盐酸与同体积的蒸馏水混合。

C.4.3 硝酸银溶液:将1 g 硝酸银溶于100 mL 蒸馏水中,再加入5 mL~10 mL 硝酸,存于棕色瓶中。

C.4.4 滤纸:中速定量滤纸、慢速定量滤纸。

C.5 取样与试样制备

C.5.1 硬化后基层检测,应在基层代表性部位钻取芯样,芯样直径宜为150 mm,且不应小于100 mm;同一检测部位钻取的芯样数量不应少于3个。

C.5.2 钻取的芯样应先按本附录C.6.3测定抗压强度,强度试验后的破碎试样应收集备用;当破碎试样总质量不足时,应在同一部位补充凿取样品,样品总量不应少于500 g。

C.5.3 将样品风干后破碎、粉磨，全部通过 75 μm 方孔筛，混合均匀后作为三氧化硫测定试样。试样制备过程中应避免含硫物质的污染。

C.5.4 磷石膏原材料样品宜取自该工程实际使用的同产地、同批次磷石膏；无法取得原批次样品时，可取同产地现用磷石膏，并应在试验报告中注明。

C.6 试验步骤

C.6.1 磷石膏原材料三氧化硫含量测定

按 GB/T 5484 规定的方法测定磷石膏原材料的三氧化硫含量，作为掺量计算的基准值。平行测定两次，取算术平均值，结果精确至 0.1%。

C.6.2 基层混合料总三氧化硫含量测定

C.6.2.1 称取按本附录 C.5.3 制备的粉状试样约 1 g，精确至 0.0001 g。将试样倒入 400 mL 烧杯中，加入 20 mL~30 mL 蒸馏水及 10 mL 盐酸（1+1），放在电炉上加热至沸腾，保持微沸 5 min，使试样充分分散后取下，用中速定量滤纸过滤，用温水洗涤 10 次~12 次。

C.6.2.2 加入蒸馏水调整滤液体积至约 200 mL，煮沸后，在搅拌下滴加 10 mL 氯化钡溶液，继续煮沸 5 min，取下静置至少 4 h，此时溶液体积应保持在约 200 mL。用慢速定量滤纸过滤，用温水洗涤，直至用硝酸银溶液检验无氯离子反应为止。

C.6.2.3 将沉淀物及滤纸一并移入已恒量的瓷坩埚内，灰化后在（800 $\pm$ 50） $^{\circ}\text{C}$ 高温炉内灼烧 30 min。取出瓷坩埚，在干燥器中冷却至室温后称量，精确至 0.0001 g。反复灼烧、冷却、称量，直至前后两次称量之差小于 0.0005 g，以最后一次称量结果为准。

C.6.2.4 同一试样应平行测定两次。

C.6.3 基层芯样抗压强度测定

应将钻取的芯样加工为高径比 1:1 的圆柱体试件，按本标准第 6.3 节规定的无侧限抗压强度试验方法测定抗压强度。以 3 个试件测定值的算术平均值作为该部位的基层芯样抗压强度，结果精确至 0.1 MPa。

C.7 结果计算

C.7.1 基层混合料总三氧化硫含量应按式（C.1）计算，结果精确至 0.1%：

$$w_{\text{SO}_3} = \frac{(m_1 - m_0) \times 0.343}{m} \times 100 \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中：

w_{SO_3} —— 基层混合料总三氧化硫含量的实测平均值（质量分数，%）；

m_1 —— 灼烧后瓷坩埚及沉淀物的质量（g）；

m_0 —— 瓷坩埚的质量（g）；

m —— 试样的质量（g）；

0.343 —— 硫酸钡换算为三氧化硫的系数。

C.7.2 基层混合料中磷石膏掺量应按式（C.2）计算，结果精确至 0.1%：

$$X = \frac{w_{\text{SO}_3}}{w_{\text{SO}_3, \text{PG}}} \times 100 - \alpha \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

式中：

- X —— 基层混合料中磷石膏掺量（质量分数，%）；
 w_{SO_3} —— 基层混合料总三氧化硫含量的实测平均值（质量分数，%）；
 $w_{SO_3,PG}$ —— 磷石膏原材料的三氧化硫含量（质量分数，%）；
 α —— 修正系数（质量分数，%），按本附录表 C.1 选取。

C.7.3 修正系数 α 应按基层芯样抗压强度按表 C.1 选取。

表 C.1 修正系数 α 取值

基层芯样抗压强度 f (MPa)	修正系数 α (%)
$f < 10$	0.5
$10 \leq f < 20$	1.0
$20 \leq f < 30$	1.5
$30 \leq f < 40$	2.0
$40 \leq f \leq 50$	2.5
注 1：芯样抗压强度大于 50 MPa 时，修正系数 α 按 3.0%取值。	
注 2：采用新拌混合料取样测定、无法获得基层芯样强度时，修正系数 α 可暂按 1.0%取值，并应在试验报告中注明。	

C.8 精密度

C.8.1 同一试样两次平行测定的三氧化硫含量绝对差值不应大于 0.2%；超出时应重新取样测定。

C.8.2 磷石膏掺量以两次平行测定结果的算术平均值表示。

C.9 方法说明

C.9.1 本方法适用于无法获得材料配合比资料时既有基层中磷石膏掺量的测定，测定结果可用于配合比复核、质量验收与质量溯源。

C.9.2 磷石膏原材料产地或批次发生变更时，应重新测定其三氧化硫含量。

C.9.3 本方法是基于大量试验建立的工程实用方法，修正系数综合反映了胶凝材料引入三氧化硫的影响，测定结果可满足工程中磷石膏掺量判定的需要。

C.10 试验报告

试验报告宜包括下列内容：

- 工程名称、取样部位及取样日期；
- 磷石膏原材料来源及其三氧化硫含量测定值；
- 基层混合料总三氧化硫含量测定值；
- 基层芯样抗压强度及修正系数取值；
- 磷石膏掺量计算结果；
- 试验单位、试验人员及试验日期。

条文说明

1 范围

本标准适用于湖北省各等级新建和改扩建城镇道路、园路及广场等自密实磷石膏道路基层工程，各等级公路工程的基层也可参考使用。

2 规范性引用文件

本章节列出了标准中引用的相关国家和行业标准。这些引用文件对于本标准的正确实施具有重要指导作用。引用文件均为现行有效版本，使用者应关注其最新版本的变化。

3 术语和定义

本章节定义了三个专业术语：

- a) “磷石膏”的定义明确了其来源和主要成分，区别于天然石膏和其他工业副产石膏；
- b) “自密实磷石膏道路基层”的定义强调了其采用流态固化方式的成型特点，以及良好的自密实性能，定义中同时明确了在特殊条件下（如下承层横坡或纵坡大于 4%或扩展度小于 500 mm 时）允许适度振捣以辅助流动，这是基于工程实践经验的技术规定；
- c) “胶凝材料掺入比”的定义明确了计算方法，为配合比设计提供了统一的技术参数。
- d) “磷石膏掺量”的定义明确以“不含附着水的磷石膏”质量为准，以确保配比计算的准确性和一致性。磷石膏掺量反映了基层材料对磷石膏的消纳能力，是评价磷石膏资源化利用程度的重要指标。

4 原材料

4.1 一般规定

4.1.1 原材料的质量控制是保证自密实磷石膏道路基层工程质量的基础。本条规定了原材料进场时应提供质量证明文件，并按规定取样送检，确保原材料质量符合要求。

4.1.2 料源调查和就地取材的规定旨在降低工程成本，提高经济效益。

4.2 磷石膏

4.2.1 磷石膏是湿法磷酸生产过程中的主要固体废弃物，其成分和性质受磷矿石来源和生产工艺影响较大。本条规定了预处理后的磷石膏应满足的技术指标，包括二水硫酸钙含量、细度、附着水含量、水溶性有害物质含量等。规定了二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）（干基）或混合磷石膏含量的要求；水溶性氟离子、五氧化二磷、氧化镁、氧化钠等有害物质含量的限值规定，参照了 GB/T 23456 的相关规定。磷石膏细度以及附着水指标要求，主要基于磷石膏在拌和过程中进仓下料与均质性要求。

4.3 骨料

4.3.1 骨料的技术要求参照了 JGJ 52 的有关规定。

4.3.2 粗骨料采用 5 mm~16 mm 连续级配、最大公称粒径不大于 16 mm 的规定，是为了保证混合料的流动性和自密实性能。

4.3.3 细骨料采用级配Ⅱ区的中粗砂、细度模数 2.5~3.5 的规定，是基于试验研究确定的，可有效改善混合料的流动性和保水性。对于配有钢筋或预应力筋的基层，氯离子含量的严格限值是为了防止钢筋锈蚀。

4.4 水泥

4.4.1 选用普通硅酸盐水泥、强度等级不低于 42.5 的规定，是为了保证胶凝材料具有足够的活性和碱激发性能。

4.5 矿渣粉

4.5.1 选用 S95 级、S105 级矿渣粉的规定，是基于大量配合比试验和力学性能试验确定的。高活性矿渣粉可有效提高磷石膏道路基层的强度和耐久性。不宜采用 S75 级矿渣粉的规定，是因为低活性矿渣粉难以满足道路基层的强度要求。

4.5.2 考虑到性价比及市场供应情况，一般推荐采用 S95 级矿渣粉，在标准执行中，对 S95 级矿渣粉 7 天活性指数的要求调高为 75%。

4.6 外加剂

4.6.1 选用标准型高性能减水剂的规定，是为了保证混合料具有良好的流动性和自密实性能。

4.6.2 不宜采用膨胀剂的规定，是因为膨胀剂可能影响磷石膏基层的体积稳定性。不得采用缓凝剂的规定，是因为磷石膏本身具有缓凝性质，使用缓凝剂可能延长凝结时间，影响施工进度和早期强度发展。

5 性能指标

5.1 拌合物性能

5.1.1 自密实磷石膏道路基层拌合物性能指标的确定，是基于大量试验研究和工程实践。坍落扩展度 500 mm~655 mm 的规定，可保证混合料具有良好的流动性和自密实性能。扩展时间 T500 不小于 2 s 的规定，是为了防止混合料离析和泌水。当道路横坡或纵坡大于或等于 4% 时，坍落扩展度下限可放宽至 400 mm 的规定，是基于试验，在斜坡施工条件下混合料流动性过高，不易找坡。

5.2 硬化后道路基层性能

5.2.1 磷石膏道路基层材料具有一定的缓凝性，早期强度偏低，统一采用 14 天龄期的抗压强度进行强度评定，比较科学，指标按不同交通等级和结构层位分别规定。传统水泥稳定碎石基层有压实度控制指标，考虑到自密实磷石膏道路基层本身的致密结构，其密实性能通过材料吸水率指标进行控制更加科学，吸水率不大于 10% 的规定，是为了控制基层的孔隙率，提高耐久性。软化系数不小于 85% 的规定，是为了保证磷石膏道路基层在饱水状态下仍具有足够的强度，满足水稳定性要求。弯沉值按设计规定控制，检测方法采用 JTG 3450 中的相关规定。

6 配合比设计

6.1 一般规定

配合比设计是道路基层工程质量控制的关键环节。本条规定了配合比设计应包括四个部分：原材料检验、目标配合比设计、生产配合比设计和施工参数的选定。以干燥状态骨料为基准的规定，是为了保证配合比的准确性和可重复性。

6.2 配合比设计要求

6.2.1 抗压强度目标值不应小于设计强度值的 1.2 倍的规定，是基于大量统计分析和可靠性研究确定的，可保证道路基层的强度满足设计要求，具有足够的安全储备。

6.2.3 磷石膏掺量 40%~50%、胶凝材料掺入比 12%~20%、水胶比 1.7~2.2 等参数范围，是基于大量正交试验和性能优化试验确定的，可在满足强度和工作性能要求的前提下，最大限度地利用磷石膏。

6.2.4 胶凝材料宜采用水泥和矿渣粉，胶凝材料不宜过量，尤其是水泥用量需严格控制，水泥在复合胶凝体系中，主要起碱激发作用，通过多次试验对比，水泥占总胶凝材料质量比不宜超过 30%。

6.2.6 自密实磷石膏道路基层混合料，推荐的水胶比 1.7~2.2，相较于常规自密实混凝土，显得异常的高，这主要是磷石膏和矿渣粉，都是粉料体系，混合料较为特殊，需要较多水达到流态效果，所以在试配过程中，通过添加高性能减水剂、增强剂等外加剂改善性能。

6.2.7 外加剂的选用，需要经过严格的适配试验，如减水剂不得采用缓凝性减水剂；增强剂需选用高效提高包裹性及防水性能的增强剂等。

6.2.8 在没有前期施工经验参数的情况下，可以参照表中推荐配合比进行配合比试验设计。

6.3 试件制作与养护

6.3.1 关于试件成型，自密实磷石膏道路基层混合料的抗压强度设计值为 5 MPa~10 MPa，介于低强度混凝土与无机结合料稳定材料之间，试件成型及检测方法的选择需兼顾材料特性和现有标准体系的适用性。若采用 GB/T 50081 规定的 150 mm 立方体试模成型，因该材料强度低于混凝土强度等级体系中的最低标号，试件无法纳入混凝土强度评定程序，检测系统难以直接适用。若采用 JTG 3441 规定的击实成型方法，则因本混合料依靠自密实性能充填成型、无需击实，不存在最佳含水率和击实功的确定问题，故击实成型方法亦不适用。鉴于前述原因，本条规定采用无机结合料稳定材料无侧限抗压强度试验用圆柱体钢模（ $\phi 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ ），利用混合料的自密实性能一次性装模成型，不振捣、不击实，并置于标准养护条件下养护至规定龄期。该方法既解决了低强度材料无法进入混凝土标号评定体系的问题，又规避了无机结合料击实成型与本材料自密实特性之间的矛盾，使强度检测具有可操作性和评定一致性。

6.3.2 试件制作采用不振捣、不插捣、不击实的方式，是为了真实模拟自密实材料在施工现场的成型状态，试件表面薄膜覆盖，防止表面失水过快、产生干缩裂纹，养护条件为温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不低于 50%。鉴于磷石膏基层并非绝对的水硬性材料，对湿度的要求可适当降低。

7 结构与构造要求

7.1 结构设计

7.1.1 基层厚度不小于 150 mm 的规定，是为了保证基层具有足够的承载能力和耐久性。分层设计时单层厚度 150 mm~250 mm 的规定，是基于施工工艺和材料性能的综合考虑。

7.1.2 特重、重交通等级道路结构层宜分为 2~3 层、中轻交通道路结构层宜分为 1~2 层的规定，是基于交通荷载分析和结构层受力特性的研究确定的。分层铺筑时上下层间隔不低于 14 天的规定，是为了保证下层具有足够的强度，避免施工荷载对其造成损害。

7.2 构造要求

7.2.1 横坡 1.0%~2.0%和完善的排水设施的规定,是为了保证路面排水顺畅,防止积水对磷石膏基层造成不利影响。

7.2.2 纵向分段长度 50 m~100 m 的规定,是基于施工组织、材料线膨胀系数、材料供应和胀缝板留置等因素综合确定的。

7.2.3 接缝设置的规定参考了 CJJ 169 和 JTG F40 的相关要求。

7.2.4 为了保证更好的层间结合,自密实磷石膏道路基层分层施工时,每层的顶面需进行拉毛、压槽处理并清扫干净。

7.2.5 粘层和沥青碎石封层的设置要求,是为了保证沥青面层与磷石膏基层之间的良好黏结和防水性能,参照了 JTG F40 的相关规定。

8 生产与运输

8.1 生产

8.1.2 原材料计量允许偏差的规定,参照了 GB/T 14902 和 GB 50164 的相关要求,是保证配合比准确性的重要措施。

8.1.3 搅拌工艺规定干拌宜为 45 s~60 s、再加水搅拌宜不少于 30 s、总搅拌时间不应少于 90 s,是基于搅拌均匀性试验确定的,可确保各种原材料均匀分散。

8.1.6 高温施工时原材料最高入机温度的规定,是为了控制混合料的出机温度和入模温度,防止因温度过高导致混合料性能劣化。另外考虑到作为道路基层,不存在大体积水化热问题,所以骨料、磷石膏、水的入机温度提高 5℃。

8.2 运输

8.2.5 运输时间不宜大于 150 min 的规定,是基于混合料性能保持时间的试验研究确定的。搅拌运输车滚筒转速 3 r/min~5 r/min 和严禁加水的规定,是为了防止混合料离析和性能劣化。

9 施工

9.1 一般规定

9.1.1 分段分仓铺筑和下层拉毛处理的规定,旨在保证施工质量和层间黏结性能。

9.1.2 专项施工方案和技术交底的规定,是工程质量管理的基本要求。

9.1.4 横坡或纵坡 $\geq 4\%$ 时需调整坍落扩展度的规定,是基于斜坡施工条件下混合料流动特性变化的试验研究确定的。

9.2 支模

9.2.1 模板选用定型钢模及配套支撑系统的规定,是为了保证模板具有足够的承载力、刚度和整体稳固性,防止胀模和漏浆。

9.3 铺筑

9.3.1 纵向分段长度 50 m~100 m、从低处向高处分段施工的规定,是基于施工组织、材料供应和混合料性能保持时间等因素综合确定的。

9.3.3 布料点间距不大于 7 m、最大水平流动距离不超过 7 m 的规定,是基于混合料流动性试验和施工现场条件确定的,可保证混合料均匀铺筑、不产生离析。

9.3.8 不得加水调整的规定，是因为加水会改变水胶比，严重影响混合料的强度和耐久性。当混合料性能不符合要求时，应返回搅拌站进行调整。

9.4 养护

9.4.2 养护时间不少于 14 d 的规定，是基于磷石膏道路基层强度发展规律的试验研究确定的。及时覆盖养护、防止失水过快的规定，是为了防止干缩裂缝的产生。

9.4.3 通行控制的规定（设计强度 50%后允许行人通行、100%后开放交通），是为了保护基层在施工期间不受损伤，保证工程质量。

9.5 季节性施工

9.5.2 雨季施工的规定，是为了保证在不利气候条件下仍能保证施工质量。

9.5.3 室外日平均气温低于 5℃时不应施工的规定，参照了 GB 50164 和 JGJ/T 104 的相关规定，是为了防止低温对混合料凝结硬化和强度发展的不利影响。

9.5.4 夏季施工的规定，是为了保证在不利气候条件下仍能保证施工质量。

10 质量检验与验收

10.1 一般规定

10.1.1 施工质量控制涵盖原材料、配合比设计、生产运输、施工和完工检查全过程的规定，是全面质量管理的基本要求。

10.1.2 主控项目和一般项目的划分，参照了 CJJ 1 的相关规定。

10.1.4 磷石膏掺量在配合比设计阶段已经确定，考虑到该测定方法检测流程相对复杂、周期较长，且现阶段工程验证经验尚在积累过程之中，故本规程将磷石膏掺量检验列为选择性检验项目，不作为质量验收的必检项目，供建设单位或设计单位根据工程重要性和质量验证需要确定是否采用，测定结果的判定标准以设计文件规定为准。

10.2 原材料检验

10.2.2 检验批次的规定（磷石膏不超过 1000 吨为一批、矿渣粉袋装不超过 200 吨/散装不超过 500 吨为一批），是基于材料质量稳定性和检验成本综合确定的，参照了相关国家标准的规定。

10.3 性能检验

10.3.1 拌合物性能检验频次的规定，是基于质量控制需要。每 100 m³ 检验不少于 1 次的规定，可有效控制批量生产的质量稳定性。

10.3.2 硬化后道路基层性能检验，强度是重要指标，规定了连续生产后每 100 m³ 相同配合比的混合料至少应检验 1 组。根据试验研究，当抗压强度满足设计要求时，软化系数和吸水率通常可满足技术要求，故适当降低检测频次（500 m³ 相同配合比的混合料至少应检验 1 组的要求）。

10.4 基层外观及允许偏差

10.4.2 允许偏差的规定参照了 CJJ 1 的相关要求，并结合自密实磷石膏道路基层的施工特点进行了适当调整。

11 环境影响监测

11.1 环境影响监测是磷石膏资源化利用的重要保障措施。监测范围涵盖地表水、地下水和土壤，监测指标以相关国家标准的常规指标为主。

11.3 前期监测和后期监测的两阶段监测制度，是为了科学评估磷石膏道路基层工程对环境的影响程度，确保环境安全。前期监测获取背景值、后期监测在验收后进行的规定，可客观反映工程建设对环境的影响。

12 附录 A 自密实磷石膏道路基层抗压强度试验方法

本附录所规定的抗压强度试验方法，是基于自密实磷石膏道路基层材料的特殊性而制定的。该材料强度设计值为 5 MPa~10 MPa，介于低强度混凝土与无机结合料稳定材料之间，直接套用现有标准均存在障碍：

- 若采用 GB/T 50081 规定的 150 mm 立方体试模成型，因强度低于混凝土强度等级体系的最低标号，试件无法纳入混凝土强度评定程序；
- 若采用 JTG 3441 规定的击实成型方法，则因本混合料依靠自密实性能充填成型、无需击实，不存在最佳含水率和击实功的确定问题。

因此，本附录规定采用无机结合料稳定材料无侧限抗压强度试验用圆柱体钢模（ $\phi 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ ），利用混合料自密实性能一次性装模成型，不振捣、不击实，按无侧限抗压强度试验方法测定。该方法既解决了低强度材料无法进入混凝土标号评定体系的问题，又规避了击实成型与本材料自密实特性之间的矛盾，使强度检测具有可操作性和评定一致性。加载速率取 1.0 mm/min，与无机结合料无侧限抗压强度试验方法保持一致。

13 附录 B 自密实磷石膏道路基层软化系数及吸水率试验方法

本附录所规定的软化系数及吸水率试验方法，是为评价自密实磷石膏道路基层水稳定性而制定的配套试验方法。

鉴于该材料以磷石膏为主要组分，而磷石膏中的二水硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）在温度超过 100 °C 时易发生脱水转变为半水石膏或硬石膏，导致结构损伤和性能劣化，故烘干温度严格限定为（45±3）°C，该温度参照了 GB/T 5484 中磷石膏附着水测定温度，既能有效去除试件中的自由水，又可避免二水石膏脱水。

饱水试验条件（20±5）°C 浸水 48 h 参照了轻骨料混凝土相关试验方法，并综合考虑了磷石膏材料的吸水特性和工程实际。

软化系数和吸水率采用 28 d 龄期试件测定，与 14 d 抗压强度验收龄期相区分，主要用于配合比设计阶段的耐久性评价和长期性能评估。

饱水试件从水中取出至完成抗压强度试验的时间间隔限定为不超过 15 min，是为了防止试件在试验过程中失水而影响强度测定结果的准确性。

14 附录 C 磷石膏道路基层混合料中磷石膏掺量测定方法

本附录规定了在材料配合比未知条件下，测定自密实磷石膏道路基层混合料中磷石膏掺量的方法。

大量试验表明，自密实磷石膏道路基层混合料中的三氧化硫主要来源于磷石膏原材料，占混合料总三氧化硫含量的 95% 以上；其次为胶凝材料，不足 4%；骨料、外加剂等其他材料引入的三氧化硫属于微量，可不考虑。因此，将基层混合料总三氧化硫含量除以磷石膏原材料固有的三氧化硫含量，即可得到磷石膏的表现掺量。

除磷石膏外，胶凝材料对混合料总三氧化硫含量仅有较小影响，故采用修正系数予以扣除。根据试验，对强度在 2.0 MPa~40 MPa 及以下的基层材料，分级测定胶凝材料占比及其引入的三氧化硫比例，测得修正系数为 0.5%~2.5%不等。基层芯样强度与胶凝材料用量具有良好相关性：芯样强度越高，胶凝材料掺入比越大，其引入的三氧化硫越多，修正系数取值越大。以基层芯样抗压强度作为修正系数的选取依据，操作简便，工程适用性强。

本方法解决了无配合比资料条件下磷石膏掺量难以量化测定的问题，测定结果可为自密实磷石膏道路基层工程的配合比复核、质量验收与质量溯源提供技术依据。
