

T/CECS ×××**—**202×

中国工程建设标准化协会标准

**工业副产石膏半刚性路面基层**

**应用技术规程**

**Application Technical Specification for Industrial By-product Gypsum in Semi-rigid Road Base**

[草稿]

中国**×××**出版社

中国工程建设标准化协会标准

工业副产石膏半刚性路面基层应用技术规程

Application Technical Specification for Industrial By-product Gypsum in Semi-rigid Road Base

T/CECS ×××- 202×

主编单位：山东交通学院

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：202×年×月×日

中国×××出版社

202×年 北 京

**前 言**

本标准按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求编写。为规范工业副产石膏路面半刚性基层材料的应用，促进工业副产石膏的无害化处置和资源化利用，经过深入调查研究和广泛征求意见，认真总结工业副产石膏路面基层实践经验的基础上，制定本标准。

本规程的主要技术内容分为：1总则；2术语和符号；3基本规定；4原材料；5配合比设计；6路面结构及防水排水设计；7施工；8环境影响检测；9质量检验与验收。

本标准由中国工程建设标准化协会提出并归口。

各位单位在实施过程中如有意见和建议，请寄送山东交通学院（地址：山东省济南市长清区大学科技园海棠路5001号，邮编252357，电话：0531-80687910，邮箱：772002882@qq.com）。

主编单位：山东交通学院

参编单位：铁正检测科技有限公司、重庆大学、山东省阳光民生事业发展中心、山东路安畅交通设施工程有限公司、中交一公局集团有限公司、新疆交通建设集团股份有限公司、山东省路桥集团有限公司、泰安市晓然园林市政工程有限公司

主要起草人员：赵连地、李晋、马高峰、崔新壮、尚明玉、赵建强、李荐、马莲霞、张光桥、褚凤明

目 录

[1 总 则 1](#_Toc12660)

[2 术语、定义和符号 2](#_Toc4436)

[2.1 术语和定义 2](#_Toc6059)

[2.2 符号 3](#_Toc17970)

[3 基本规定 4](#_Toc7078)

[4 原材料 5](#_Toc18212)

[4.1 一般规定 5](#_Toc5192)

[4.2 钛石膏 5](#_Toc1135)

[4.3 磷石膏 5](#_Toc6640)

[4.4 脱硫石膏 6](#_Toc8574)

[4.5 水泥 6](#_Toc1239)

[4.6 粉煤灰 7](#_Toc13872)

[4.7 粒化高炉矿渣粉 7](#_Toc29606)

[4.8 添加剂 7](#_Toc23476)

[4.9 集料 8](#_Toc17261)

[4.10 水 8](#_Toc26886)

[5 配合比设计 9](#_Toc27810)

[5.1 一般规定 9](#_Toc9352)

[5.2 配合比设计 9](#_Toc5334)

[6 路面结构及防水排水设计 12](#_Toc7001)

[6.1 一般规定 12](#_Toc25401)

[6.2 路面结构 12](#_Toc5196)

[7 施 工 13](#_Toc22060)

[7.1 一般规定 13](#_Toc943)

[7.2 施工设备要求 13](#_Toc2670)

[7.3 原材料加工和存放 13](#_Toc20040)

[7.4 拌和 14](#_Toc10408)

[7.5 运输 14](#_Toc23851)

[7.6 摊铺 15](#_Toc5222)

[7.7 碾压 15](#_Toc20828)

[7.8 养生 16](#_Toc4025)

[8 环境影响监测 17](#_Toc23892)

[8.1 芯样环境检测 17](#_Toc24860)

[8.2 环境质量监测 17](#_Toc15335)

[9 质量检验与验收 18](#_Toc13651)

[9.1 原材料质量检查 18](#_Toc14105)

[9.2 施工过程质量检测 18](#_Toc1366)

[9.3 验收 19](#_Toc1767)

[附录A（规范性附录） 21](#_Toc18570)

[附录B（规范性附录） 22](#_Toc20241)

[附录D（规范性附录） 26](#_Toc15832)

[附录E（规范性附录） 27](#_Toc31841)

[附录F（规范性附录） 29](#_Toc31841)

[本标准用词说明 31](#_Toc10847)

[引用标准名录 32](#_Toc1287)

[条文说明 33](#_Toc31841)

# **1 总 则**

**1.0.1** 本规程规定了工业副产石膏半刚性路面基层材料的原材料、混合料配合比设计、施工、质量控制及验收、环境影响监测等。

**1.0.2** 本规程适用于各级公路及城镇道路的基层与底基层的设计、施工及验收。

**1.0.3** 工业副产石膏半刚性路面基层除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家和行业内颁布的其他有关标准、规范的规定。

# **2 术语、定义和符号**

**2.1** 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

**2.1.1 钛石膏 titanium gypsum**

采用硫酸法工艺生产钛白粉时，以石灰石、石灰、电石渣等钙基碱性物质中和废酸及酸性废水，经过滤压滤处理产生的以二水硫酸钙（CaSO4🞄2H20）主要成分的滤渣。

**2.1.2 磷石膏 phosphogypsum**

以磷矿石为原料，采用湿法工艺制取磷酸产生的副产品，主要成分为二水硫酸钙（CaSO4🞄2H2O）。

**2.1.3 脱硫石膏 desulfurized gypsum**

脱硫石膏又称排烟脱硫石膏，是对含硫燃料（主要是煤）燃烧后产生的烟气进行脱硫净化处理而得到的工业副产石膏。

**2.1.4 工业副产石膏半刚性基层材料 Industrial Byproduct Gypsum Semi-Rigid Roadbed Material**

由水泥与矿物掺和料组成的胶凝材料和占路面基层材料质量百分比40%以上的粉状工业副产石膏、0-50%的天然集料或再生集料、固化剂、水等拌合而成的混合料。

**2.1.5 容许延迟时间 permitted delay time**

在满足强度标准的前提下，工业副产石膏半刚性基层材料从生产拌和到碾压成型之前所容许的最大时间间隔。

**2.1.6 水泥剂量 cement dosage**

以水泥质量占全部干燥工业石膏、掺合料、集料质量总和的百分比表示。

**2.1.7 固化剂 curing agent**

通过与工业副石膏、水泥和水的物理和化学反应，能有效改善工业副石膏半刚性基层混合料路用性能且无环境影响的外加剂。

**2.1.8 水稳定性系数 water stability coefficient**

采用标准养生7d/14d最后一天浸水的水泥稳定工业副石膏混合料试件的无侧限抗压强度与不经过水浸泡的同龄期试件的无侧限抗压强度的比值。

**2.1.9 冻融循环强度比 freeze-thaw cycle strength ratio**

按规定方法成型、养生28d龄期的工业副石膏复合半刚性基层混合料试件，在经受5次冻融循环后试件抗压强度与未经历冻融循环试件抗压强度的比。

**2.1.10 干湿循环强度比 dry-wet cycle strength ratio**

按规定方法成型、养生28d龄期的工业副石膏复合半刚性基层混合料试件，在经受7次干湿循环后试件抗压强度与未经历干湿循环试件抗压强度的比。

**2.2 符号**

***Rd***——7d无侧限抗压强度设计值；

IRa ——内照射指数；

Ir——外照射指数；

G——二水硫酸钙（CaSO4·2H2O）含量；

H——二水硫酸钙（CaSO4•2H2O）结晶水含量；

WSC——水稳定性系数；

Rd0——未浸水试件无侧限抗压强度；

Rd1——浸水24h试件无侧限抗压强度；

——经7次干湿循环后试件的抗压强度系数；

——经7次干湿循环后试件的抗压强度；

——对比试件的抗压强度；

——含水率；

——湿样工业副产石膏半刚性基层材料质量；

——干样工业副产石膏半刚性基层材料质量。

# **3 基本规定**

**3.0.1** 工业副产石膏半刚性基层材料在道路基层或底基层中的设计、施工及质量验收，应符合国家有关安全和环保的规定。

**3.0.2** 本规程所涉及的工业副产石膏种类主要包括磷石膏、钛石膏以及脱硫石膏，其他石膏用于工业副产石膏半刚性基层材料时须经过试验检测确定后实施。

**3.0.3** 本规程积极响应国家倡导的大宗工业固废无害化、规模化和资源化利用，工业副产石膏半刚性基层材料中原状工业副产石膏占比不低于70%。

**3.0.5** 应根据公路等级、交通荷载等级、结构形式、材料类型等因素确定工业副产石膏半刚性基层材料的技术要求。

**3.0.6** 工业副石膏半刚性基层材料宜在进入冬期前30d～45d停止施工，不应在冬期施工。当上述材料养护期进入冬期时，应在基层施工时向基层材料中掺入防冻剂。

# **4 原材料**

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 在原材料性能试验检测时，应按照相关要求选取具有足够数量的样本进行材料试验。

**4.1.2** 工业副产石膏、粒化高炉矿渣粉、水泥、胶凝材料、粗集料等原材料用于道路基层材料时，其技术指标应满足本规程的相关要求。所有原材料应检验评定合格后方可使用。

**4.1.3** 使用前应进行结块副石膏的破碎处理，破碎后0.6mm筛孔通过率应大于80%，2.36mm筛孔通过率应大于90%。

## 4.2 钛石膏

**4.2.1** 用于基层和底基层的钛石膏应符合表4.2.1的技术要求。

**表4.2.1 钛石膏技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 技术要求 | 试验方法 |
| 三氧化二铁（Fe2O3）含量 | % | ≤15 | GB/T 5484 |
| 水溶性氧化镁（MgO）含量（干基） | % | ≤2 | GB/T 5484 |
| 水溶性氧化钾（K2O）含量（干基） | % | ≤0.3 | GB/T 5484 |
| pH值 | - | 6-9 | GB/T 5484 |
| 内照射指数 IRa | - | ≤1 | GB 6566 |
| 外照射指数Ir | - | ≤1 |
| 附着水（H2O）含量（湿基） | % | ≤40 | GB/T 5484 |
| 二水硫酸钙（CaSO4🞄2H2O）含量（干基） | % | ≥75 | 附录 A |

**4.2.2** 其他杂质含量控制由供需双方协商确定。

## 4.3 磷石膏

**4.3.1** 用于基层和底基层的磷石膏应符合表4.3.1的技术要求。

**表4.3.1 磷石膏技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 技术要求 | 试验方法 |
| 二水硫酸钙（CaSO🞄2H2O）（干基） | % | ≥90 | GB/T 23456 |
| 附着水（H2O）（湿基） | % | ≤15 | GB/T 5484 |
| 水溶性五氧化二磷（P2O5）（干基） | % | ≤0.20 | JC/T 2073 |
| 水溶性氟离子（F-）（干基） | % | ≤0.10 |
| 水溶性氧化镁（MgO）（干基） | % | ≤0.10 | GB/T 5484 |
| 氯离子（Cl-）（干基） | % | ≤0.02 |
| 水溶性氧化钠（NaO）（干基） | % | ≤0.06 |
| 内照射指数 IRa | - | ≤1 | GB 6566 |
| 外照射指数Ir | - | ≤1 |

**4.3.2** 其他杂质含量控制由供需双方协商确定。

## 4.4 脱硫石膏

**4.4.1** 用于基层和底基层的脱硫石膏应符合表4.4.1的技术要求。

**表 4.4.1 脱硫石膏技术要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 技术要求 | 试验方法 |
| 附着水含量 | % | 15.00 | GB/T 5484 |
| 二水硫酸钙 | % | ≥85.00 | GB/T 5484 |
| 氯离子 | mg/kg | ≤600 | GB/T 5484 |
| 半水硫酸钙 | % | ≤0.50 | GB/T 5484 |
| 水溶性氧化镁 | % | ≤0.10 | GB/T 5484 |
| 水溶性氧化钠 | % | ≤0.06 | GB/T 5484 |
| pH值 | - | 5.0-9.0 | GB/T 5484 |

## **4.4.2** 其他杂质含量控制由供需双方协商确定。

## 4.5 水泥

**4.5.1** 水泥应选用初凝时间大于3h、终凝时间大于6h且小于10h、强度等级为32.5或42.5的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥等，其性能指标尚应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175相关规定。

**4.5.2** 水泥应有出厂合格证与生产日期，复检合格方可使用。

**4.5.3** 水泥贮存期超过3个月或受潮，应进行复检，合格后方可使用。

## 4.6 粉煤灰

**4.6.1** 粉煤灰中的SiO2、Al2O3和Fe2O3总量宜大于70%，在温度为700℃时的烧失量不大于10%。

**4.6.2** 当烧失量大于10%时，应经试验确认混合料强度符合要求时，方可使用。

**4.6.3** 细度应满足通过0.3mm筛孔的筛余量不大于10%，通过0.075 mm筛孔的筛余量不大于30%，比表面积宜大于2500cm2/g。

**4.6.4** 干粉煤灰和湿粉煤灰都可使用，湿粉煤灰的含水率不宜超过35%。场地集中堆放的粉煤灰应予以覆盖，运到现场的粉煤灰应含有一定的水分，防止扬尘，使用时应将凝结成块的粉煤灰块打碎或过筛，粉煤灰中不得含有树根、杂草等杂质。

## 4.7 粒化高炉矿渣粉

**4.7.1** 粒化高炉矿渣粉应符合现行《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）的规定。

**4.7.2** 粒化高炉矿渣粉用于路面基层前，宜通过不同龄期条件下的强度和模量试验以及温度收缩和干湿收缩试验等评价混合料性能。

## 4.8 添加剂

**4.8.1** 在工业副石膏半刚性基层混合料中，宜掺加适量的早强剂、增强剂或固化剂等添加剂，并应对混合料进行试验验证；添加剂的技术要求应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30的相关规定。

**4.8.2** 添加剂应颜色均匀，无沉淀或絮状状态。

## 4.9 集料

**4.9.1** 工业副石膏半刚性基层混合料掺加的集料可由各种硬质岩石或砾石、建筑垃圾、钢渣等加工而成，集料规格应大于2.36mm。集料规格宜采用2.36mm-4.75mm、4.75mm-9.5mm、9.5mm-19mm、19mm-26.5mm等其中的一种或两种规格的组合。

**4.9.2** 集料的物理力学性能应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20）的规定。

## 4.10 水

**4.10.1** 符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63或现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749规定的饮用水，可直接作为基层、底基层材料拌和与养生用水。

**4.10.2** 拌和使用的非饮用水应进行水质检验，技术要求应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63的规定。

**4.10.3** 养生用水可不检验不溶物，技术要求应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63的规定。

# **5 配合比设计**

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 混合料组成设计时，应按设计要求，综合考虑材料的力学性能、施工特性、经济性以及工程所在地气候环境、交通荷载影响下的耐久性，选择技术经济合理的混合料类型和配合比。

**5.1.2**混合料设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比设计、混合料的生产配合比设计和施工参数确定四部分。

**5.1.3** 混合料的最大干密度和最佳含水量应采用“无机结合料稳定材料击实试验方法（T0804-1994）”中的重型击实方法或者“无机结合料稳定材料振动压实试验方法（T0842-2009）"中振动压实试验方法。

**5.1.4** 混合料设计依据以其在相关规范规定压实度下的7d龄期无侧限抗压强度作为施工质量控制的主要指标。

**5.1.5** 当半刚性基层材料强度满足要求时，尚宜检验其抗冲刷、水稳定性、抗冻性能、干缩温缩性能等。

**5.1.6** 半刚性基层材料可采用掺加碎石和不掺加碎石两种类型，当强度要求较高时，应采用掺加碎石的副石膏半刚性基层材料。

**5.1.7** 混合料组成设计所用原材料的质量和规格应与工程实际使用相同。当原材料的质量和规格发生变化时，应重新进行混合料组成设计。

## 5.2 配合比设计

**5.2.1** 副产石膏半刚性基层材料中水泥剂量以水泥质量占全部干燥工业石膏、掺合料、集料质量总和的百分比表示。

**5.2.2** 不掺加集料的副石膏半刚性基层材料水泥剂量应为3%-5%，掺加集料的副石膏半刚性基层材料水泥剂量应为2%-3%，固化剂掺量宜为0.5%-1%，具体配比经试验论证确定。

**5.2.3** 副石膏半刚性基层材料的7d无侧限抗压强度代表值应符合表5.2.3的规定。

**表 5.2.3 副石膏半刚性基层材料的7d无侧限抗压强度代表值Rd**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构层 | 公路等级 | 极重、特重交通 | 重交通 | 中、轻交通 |
| 基层 | 高速公路和一级公路 | 5.0~7.0 | 4.0~6.0 | 3.0~5.0 |
| 二级及二级以下公路 | 4.0~6.0 | 3.0~5.0 | 2.0~4.0 |
| 底基层 | 高速公路和一级公路 | 3.0~5.0 | 2.5~4.5 | 2.0~4.0 |
| 二级及二级以下公路 | 2.5~4.5 | 2.0~4.0 | 1.0~3.0 |

**5.2.4** 根据试验确定的最佳含水率、最大干密度及压实度要求成型标准试件，验证不同胶凝材料、添加剂剂量条件下混合料的技术性能，确定满足设计要求的最佳材料配比。

**5.2.5** 副石膏半刚性基层材料的间接抗拉强度、抗压回弹模量、干缩性能应满足设计要求，无设计要求时，宜符合表5.2.5的规定，测试方法应分别符合现行 JTG E51 中 T0806、T0808 和 T0854 有关规定。

**表 5.2.5 副石膏半刚性基层材料的间接抗拉强度、抗压回弹模量、干缩性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 90d 间接抗拉强度（MPa） | 90d 抗压回弹模量（MPa） | 总干缩系数（×10-6） |
| 0.50～1.0  | 1200～3200  | ≤200  |

**5.2.6** 在配合比设计中，应选取不少于5个水泥剂量，分别确定各水泥剂量下混合料的最佳含水率和最大干密度。

**5.2.7** 根据试验确定的最佳含水率、最大干密度及压实度要求成型标准试件，验证不同水泥和外加剂剂量条件下混合料的无侧限抗压强度，确定最佳配合比。

**5.2.8** 混合料性能的验证指标主要包括水稳定系数；当副石膏半刚性基层材料用于多雨区时宜进行干湿循环强度试验，有条件时开展冻融循环强度试验，相应技术要求宜符合表5.2.8的规定。冻融循环强度试验方法应符合JTG E51的规定，干湿循环强度试验方法应按照附录B的要求执行。

**表5.2.8 副石膏半刚性基层材料冻融循环强度比、干湿循环强度比技术要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 使用层位 | 冻融循环强度比（%） | 干湿循环强度比（%） |
| 基层 | ≥80 | ≥90 |
| 底基层 | ≥75 |

**5.2.9** 副石膏半刚性基层材料宜进行不同成型时间条件下混合料无侧限抗压强度试验，绘制相应延迟时间曲线，以无侧限抗压强度符合表5.2.3的规定确定混合料容许延迟压实时间。

**5.2.10** 环保要求

副石膏半刚性基层混合料试件浸出液特征污染物浓度限值应符合表5.2.10的规定。

**表5.2.10 副石膏半刚性基层试件浸出液特征污染物浓度限值**

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 技术要求（mg/L） |
| 总磷（以P计） | 水溶性氟化物 | 铅 | 铬（六价） | 硫酸盐 | 镉 | 砷 | 汞 |
| 28d 副石膏半刚性基层试件 | ≤0.2 | ≤1 | ≤0.01 | ≤0.05 | ≤250 | ≤0.005 | ≤0.01 | ≤0.001 |

注：具体检测方法详见附件E、F。

# **6 路面结构及防排水设计**

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 公路路面基层及以下结构的设计，宜使用工业副产石膏。

**6.1.2** 公路路面基层的组合设计应符合现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20的相关要求。

## 6.2 路面结构

**6.2.1** 副石膏半刚性基层的厚度可根据结构验算、道路实际情况需要等确定，单层压实厚度宜为16cm~25cm。

**6.2.2** 沥青路面结构验算应符合现行行业标准《公路沥青路面设计规范》JTG D50的有关规定，水泥混凝土路面结构验算应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 的有关规定。

**6.2.3** 路面结构验算时，副石膏半刚性基层材料弯拉强度和弹性模量宜采用实测值。

## 6.3 防排水设计

**6.3.1** 应按照疏堵结合的原则，充分考虑路面结构防水与排水设计。副石膏半刚性基层应设置防水封层，宜采用热沥青同步碎石封层，热沥青的洒布量不宜小于1.1kg/m2。

**6.3.2** 地下水位高、排水不良的填方路段、岩石挖方路段，应重点加强路面结构排水设计。

**6.3.3** 应在副石膏半刚性底基层与路床间设置粒料排水层，排水层应与路基边缘或边沟相连接，厚度不宜小于15cm。

**6.3.4** 路肩结构组合和材料选用应与行车道路面相协调，不应影响路面结构中水的排出。

**6.3.5** 养护工程中副石膏半刚性基层路段应设置排水管沟疏排路面结构内部水。

# **7**  **施 工**

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 工业副石膏半刚性基层施工应在验收合格的下承层上实施，并应清除作业表面浮土、积水等。

**7.1.2** 宜在气温较高、少雨的季节组织施工，日最低气温应大于等于5℃。

**7.1.3** 大规模施工前，应通过试验段验证相关配合比、设备配置、施工工艺等，试验段长度不宜小于300m。

**7.1.4** 原材料严禁混杂，应分档隔仓堆放，并设置明确的标志。

**7.1.5** 根据不同结构层位和施工工序的要求，应进行层间处理，确保层间结合良好。

**7.1.6** 应结合运距、天气状况合理确定碾压工艺，混合料碾压完成时间不应超过其容许延迟压实时间。

## 7.2 施工设备

**7.2.1** 拌和系统采用自动控制、电子计量，能在线监控各配料系统运行参数，且拌和系统各计量传感器应按规定进行标定，加水量的计量应采用流量计的方式。

**7.2.2** 添加剂的储备要使用专门的装置，对于可能沉淀的添加剂，应安装搅拌设备，宜在搅拌机内设置一套固化剂喷淋系统，以确保添加剂搅拌均匀。

**7.2.3** 自卸运输汽车宜加装振动器协助卸料。

**7.2.4** 工业副石膏仓宜同时配备机械破拱和振动破拱装置，防止起拱；其他粉料罐体底部也应配备破拱装置。粉料供给宜采用减量秤计量。

**7.2.5** 摊铺宜选用带式液压全自动摊铺机，同时配备自动找平系统，摊铺机螺旋布料器中部应安装反向叶片，减少纵向离析。螺旋布料器应设置橡胶前挡板，减少竖向离析。

**7.2.6** 压路机的钢轮上宜加装钢丝绳，及时刮除粘接的细料。

## 7.3 原材料加工和存放

**7.3.1** 工业副石膏运输过程中应采取防止石膏抛撒、扬尘污染、防水等措施。

**7.3.2** 工业副石膏应按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599）的相关要求进行贮存和管理。石膏、碎石的堆放场地采用混凝土硬化，并应设置防雨棚，场地周边应设置排水沟。

**7.3.3** 拌和设备下应设置污水排放管沟、积水坑和清洗拌和设备的废水处理回收设施。

## 7.4 拌和

**7.4.1** 工业副石膏半刚性基层材料应采用厂拌法生产，宜采用强制式搅拌机或稳定土拌和机。

**7.4.2** 所有进料设备应装有自动计量装置，称量精度达到±0.5%，并在生产时能够调整进料的速度以保证混合料的配合比不变。

**7.4.3** 在试拌和前，应先调试所用的设备，使工业副石膏半刚性基层材料的级配组成和含水率都达到配合比设计的规定要求。

**7.4.4** 混合料的拌和能力与摊铺能力应相匹配。每天开盘前应检测场内各档集料及工业副石膏的含水率，确定当天的加水量。拌和生产过程中，应根据天气变化情况和前场铺筑情况适时调整加水量。天气炎热或运距较远时，拌和时宜适当增加含水率。

**7.4.5**工业副石膏半刚性基层材料拌和过程中，应实时监测各料仓（包括粉料仓、水、固化剂）的生产情况，如存在起拱、堵仓等异常情况应及时处理。

## 7.5 运输

**7.5.1**运料车车厢应光滑洁净，车厢底部不得有水积聚；运料车应用篷布覆盖，直至卸料时方可取下篷布。

**7.5.2**工业副石膏半刚性基层材料应随拌和、随运输、随摊铺、随压实。

**7.5.3**在装料过程中应采取措施减少混合料离析。

## 7.6 摊铺

**7.6.1**工业副石膏半刚性基层材料宜采用摊铺机进行摊铺。摊铺过程中应开启摊铺机振捣功能，提高摊铺初始密实度和平整度

**7.6.2**工业副石膏半刚性基层材料边缘应设置侧模，碾压前，应沿侧模处将水泥浆灌入工业副石膏半刚性基层材料中，以保证工业副石膏半刚性基层材料边缘强度，必要时采取超宽15cm左右摊铺碾压后切边的措施。

**7.6.3**工业副石膏半刚性基层分层施工时，宜洒布水泥净浆增加层间粘结，水泥净浆喷洒量按水泥质量计，宜为1.0kg/m2-1.5kg/m2。

## 7.7 碾压

**7.7.1** 工业副石膏半刚性基层材料宜按照稳压—强振—弱振—稳压的工序进行压实，直至表面基本无轮迹。初压采用双钢轮或者单钢轮压路机，复压采用单钢轮压路机，终压采用双钢轮或者胶轮压路机，且应加强边部压实，具体碾压组合应由试验段验证后采用。

**7.7.2** 初压、复压和终压作业应密切衔接，中间不得停顿、等候和拖延，也不得相互干扰，以保证在最短时间内完成全部碾压作业。

**7.7.3** 压路机倒车、换挡都要轻且平稳，严禁压路机及平地机在已完成或正在碾压的路段上调头和急刹车，以免混合料表层受到破坏。

**7.7.4** 碾压过程中，工业副石膏半刚性基层材料表面应始终保持湿润，如水分蒸发过快，现场含水率不足时，可少量喷洒（宜呈雾状）补水，严禁大量洒水。

**7.7.5** 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时翻开重新拌和（加适量的水泥）或用其他方法处理，使其达到质量要求。

**7.7.6** 检查井、线杆等构筑物周围采用小型机械夯实，达到要求的压实度，表面应平整并满足高程要求。

## 7.8 养生

**7.8.1**养生时间不宜少于14d，且不应少于7d，养生期宜延长至上层结构开始施工前2d。

**7.8.2**工业副石膏半刚性基层材料宜采用节水保湿膜覆盖养生，整个养生期间应始终保持工业副石膏半刚性基层表面湿润。

**7.8.3**用洒水车洒水养生时，洒水车的喷头宜用喷雾式，不得采用高压式喷管，以免破坏工业副石膏半刚性基层结构，每天洒水次数应视气候而定。

**7.8.4** 工业副石膏半刚性基层过冬时应采取必要的保护措施。

**7.8.5** 应避免工业副石膏半刚性基层材料养生初期被雨淋；应做好道路排水工作，确保不被雨水浸泡。

**7.8.6** 养护期内，应封闭交通，禁止洒水车外其他车辆通行。

# **8 环境影响监测**

**8.0.1** 结合具体项目要求，对可能受到影响的土壤、地表水和地下水可开展监测经过水源地、自然保护区路段，宜开展风险评估。

**8.0.2** 监测过程中应注重环境本底值或者背景值的量样、监测与分析，并与工业副产石膏半刚性基层路段土壤、地表水和地下水监测数据进行对比。

**8.0.3** 地表水环境质量调查与监测方法参照HJ91.2，监测指标以GB3838中的基本项目为主；地下水环境质量调查与监测方法参照HJ164，监测指标以GB/T14848、GB3838、GB15618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/T166，监测指标以GB15618中的农用地土壤污染风险筛选值（基本项目）为主。

**8.0.4** 宜结合具体项目要求，采用基层芯样浸出液特征污染物浓度限值评价材料环保性能。其特征污染物浓度限值应满足本规程表5.2.10的规定。

**8.0.5** 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。

# 9 **质量检验与验收**

## 9.1 原材料质量检查

**9.1.1** 在工程开工前，应对各种原材料进行检验，对材料数量、供应计划、料场堆放及储存情况进行检查。施工过程中材料来源及规格发生变化时，应重新进行检验。原材料质量检验应符合4.2～4.10的规定。检查数量：按不同材料进场批次，每批次抽查1次。检查方法：查检验报告、复验。

**9.1.2**原材料应按表9.1.2所列的试验项目和要求检测评定。

**表9.1.2 原材料检验项目和频度**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料 | 试验项目 | 频度 |
| 集料 | 颗粒分析 | 每2000m3测2个样品 |
| 水泥 | 强度、初终凝时间 | 做混合料配合比设计时测1个样品，来源或强度等级变化时重测 |
| 副石膏 | 质量及污染物指标 | 单个项目副石膏使用量小于5000吨时，测1个样品副石膏，使用量大于 5000吨时，每 5000 吨测1个样品 |
| 含水率 | 原材料发生变化时 |
| 添加剂 | 质量指标 | 每批100吨1次，少于100吨按100吨检测1次 |

## 9.2施工过程质量检测

**9.2.1** 基层，底基层的压实度应符合下列要求：

检查数量：每压实层，每1000㎡抽检1点。检验方法：灌砂法。

副石膏半刚性基层碾压完成后应立即采用灌砂法进行压实度检测，技术要求应符合表9.2.1的规定。

**表9.2.1 工业副产石膏半刚性基层压实标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 使用层位 | 公路等级 | 副石膏半刚性基层混合料（不掺加碎石）（%） | 副石膏半刚性基层混合料（掺加碎石）（%） |
| 基层 | 二级及以上公路 | ≥95 | ≥97 |
| 底基层 | 二级以下公路 | ≥93 | ≥95 |

**9.2.2** 副石膏半刚性基层材料养生14d后方可进行弯沉检测，弯沉值应小于设计值。

**9.2.3** 副石膏半刚性基层的取芯龄期通常为7d（掺加碎石）或14d（不掺加碎石），不利养生条件下（日均气温低于10℃的低温天气、雨季等）宜适当延长取芯龄期。

**9.2.4** 平整度、横坡度、厚度、纵断高程、宽度、原材料抽检、混合料抽检、摊铺质量、碾压质量等检验项目和要求应符合JTG/TF20的有关规定。

**9.2.5** 基层、底基层的 7d 无侧限抗压强度应符合设计要求。

检查数量：每2000 ㎡抽检1组，每次施工路段不足2000㎡时亦抽检1组。检查方法：现场取样试验。

**9.2.6** 弯沉值，不应大于设计规定。

检查数量：设计规定时每车道、每20m，测1点。检验方法：弯沉仪检测。

## 9.3 验收

**9.3.1** 表面应平整、密实、接缝平顺，无明显粗、细集料离析现象，无明显轮迹、推移、裂缝、贴皮、松散、浮料。

**9.3.2** 基层及底基层的允许偏差应符合表 9.3.2的规定。

**9.3.3** 应用于公路工程的基层时，质量验收应按行业标准（JTG F80/1-2017 ）执行。

**表9.3.2 工业副石膏半刚性基层材料基层及底基层允许偏差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 9〜15 | 2 |
| 底基层 | ≤15 | >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 ㎡ | 1 | 用钢尺量 |
| 注：B为施工时必要的附加宽度。 |

##

# **附录A****（规范性附录）**

**二水硫酸钙含量的测定**

**A.1 附着水含量的测定**

按GB/T 5484“9 附着水的测定”中的规定进行。

**A.2** **结晶水含量的测定**

附着水（H2O）测定后的试样，按GB/T 5484“10 结晶水的测定”中的规定进行，以%表示。

**A.3 二水硫酸钙含量计算**

二水硫酸钙（CaSO4·2H2O）含量按式（A.1）计算，计算结果精确至0.01%。

 （A.1）

式中：

G ——二水硫酸钙（CaSO4·2H2O）含量，以%表示；

4.7785 ——以结晶水含量换算为二水硫酸钙（CaSO4·2H2O）含量的系数；

H ——二水硫酸钙（CaSO4•2H2O）结晶水含量，以%表示。

# **附录B（规范性附录）**

**水稳定性系数试验方法**

**B.1 试验方法**

本方法主要用于副石膏半刚性基层材料的水稳定性评价。副石膏半刚性基层材料的水稳定性系数以标准养生7d（掺加碎石）或14d（不掺加碎石）最后一天浸水的副石膏半刚性基层材料混合料试件的无侧限抗压强度与不经过水浸泡的同龄期试件的无侧限抗压强度的比值来评价。

**B.2 仪器设备**

试验仪器应符合JTG E51的规定。

**B.3 试件的制备与养护**

试件制备和养护要求如下：

a）试件应采用中100mm×100mm或中150mm×150mm的圆柱形试件。

b）按照JTG E51中T0804确定副石膏半刚性基层材料的最佳含水量和最大干密度。

c）按照JTG E51中T0843方法制备不少于18个中100mm×100mm或26个中150mm×150mm的标准试件，其中一半试件用于浸水24h，一半试件用于不浸水。

d）按照JTG E51中T0845的标准养生条件进行养生，养生龄期14d。

e）养生期的最后1d，将其中一组9个（或13个）试件浸泡在（20±2）℃水中，水面高于试件顶面约2.5cm，第二组试件采用标准养生至同龄期（未浸水）。

**B.4 试验步骤**

操作流程如下：

a）浸水完毕后，取出试件，用湿布擦除表面的水分，称质量；用游标卡尺测量试件的高度，精确至0.1mm；取出另一组试件（未浸水），称质量，用游标卡尺测量试件的高度，精确至0.1mm。

b）按照JTG E51中T0805方法对上述两组试件分别进行无侧限抗压强度试验。

**B.5 计算**

钛石膏复合半刚性基层材料水稳定系数按式（A.1）计算。

$WSC$=Rd1/Rd0\*100%………………………………（A.1）

式中：

WSC——水稳定性系数（%）

Rd0——未浸水试件无侧限抗压强度（MPa）

Rd1——浸水24h试件无侧限抗压强度（MPa）

**附录C（规范性附录）**

**干湿循环强度试验方法**

**C.1 适用范围**

本方法主要用于评价副石膏半刚性基层混合料的耐干湿循环能力，以28d龄期的试件在经过7次干湿循环后的饱水无侧限抗压强度与未经历干湿循环试验的无侧限抗压强度的比值来评价。

**C.2 仪器设备**

试验仪器应符合JTG E51的规定。

**C.3 试件制备和养生试件制备和养生要求如下：**

采用室内制备1：1的中100mm×100m的圆柱形试件。

a）按照JTG E51中T0804确定副石膏混合料的最佳含水量和最大干密度，注意烘烤温度应为45℃。

b）按照JTG E51中T0843方法制备不少于26个中100m×100m的标准试件，其中不少于 13个为干湿循环试件，不少于13个为对比试件。

c）按照JTG E51中T0845的标准养生条件进行养生，养生龄期28d。养生期的最后1d，将试件浸泡在水中，水面高于试件顶面约20mm。在浸泡于水中之前，应称取试件的质量并记录。

**C.4 操作流程**

操作步骤按以下要求：

a）浸水完毕后，取出试件，用湿布擦除表面的水分，称质量;用游标卡尺测量试件的高度，精确至0.lmm；

b）取其中一组试件按JTG E51中T0805方法测定非干湿循环条件下的抗压强度R；

c）取其中干湿循环的一组试件，按编号放人恒温烘箱中烘干。烘箱的温度设定为50℃，烘干时间为12h，保证试件周围至少留有20mm的空隙，以利于空气流通。烘干试验结束后，取出试件，量高、称质量;然后立即放入20℃的水槽中饱水，饱水时间为12h。槽中水面应至少高出试件表面20mm，浸水完毕后，取出试件擦干后量高、称质量，该次循环即结束。然后往复进行剩余循环；

d）如试件的平均质量损失率超过5%，应重新进行试验或重新进行配合比设计；

e）试件达到规定的干湿循环次数后，用软布吸去试件表面的水分，按照JTG E51中T0805方法进行干湿循环后的抗压强度（Rc）试验。抗压试验前应称试件质量并进行外观检查，详细记录试件表面破损、裂缝及边角缺损情况。

**C.5 计算**

副石膏混合料的干湿循环强度系数按式（C.1）计算。

  （C.1）

式中：

——经7次干湿循环后试件的抗压强度系数（%）；

——经7次干湿循环后试件的抗压强度（MPa）；

——对比试件的抗压强度（MPa）。

# **附录 D（规范性附录）**

**含水率试验方法**

**D.1 适用范围**

本试验适用于检测工业副产石膏半刚性基层材料的含水率。

**D.2 仪器设备**

试验仪器应符合JTG 3430的规定。

**D.3 试验步骤**

试验步骤按以下要求：

a）每次至少2个样本平行检测；无集料时，每个样本取 50g混合料（m），有集料时，每个样本取 500g混合料（m），均匀平铺放入称量盒内，立即盖好盒盖，称取质量（m），精确至0.01g；

b）揭开盒盖，将试样和盒放入烘箱内，在温度 45℃恒温下烘干，烘干时间宜不少于24h；

c）将烘干后的试样和盒取出，冷却至室温后盖好盒盖，称取质量（m），准确至0.01g。

**D.4 结果整理**

D.4.1含水率按式（D.1）计算：

 （D.1）

式中：

——含水率（%），计算至 0.01%；

——湿样工业副产石膏半刚性基层材料质量（g）；

——干样工业副产石膏半刚性基层材料质量（g）。

D.4.2 精度和允许差

本试验应进行两次平行测定，取其算术平均值，准确至0.01%，允许平行差值应≤1%，否则应重做试验。

# **附录E（规范性附录）**

**基层完整试件浸出试验方法**

**E.1 适用范围**

本方法适用于评估副石膏复合稳定基层材料在受到水体浸沥时，基层试件中无机污染物的浸出风险。

**E.2 仪器设备**

仪器设备要求如下：

a）提取器：15L带密封盖的容器，由不能浸出或吸附样品所含成分的性材料（如：玻璃或聚乙烯等）制成；

b）天平：精度不低于±0.01g；

c）过滤器要求：

1）过滤装置：加压过滤装置或真空过滤装置，对难过滤的样品也可采用离心分离装置；

2）滤膜：0.45 um微孔滤膜。

**E.3 试件制备和养护**

**E.3.1 室内试件制备**

a）试件采用1：1的Φ150 mm×150mm 的圆柱形试件；

b）按照 JTG E51 T0804确定无机结合料稳定基层材料的最佳含水率和最大干密度；

c）按照JTG E51中T0843方法制备1个Φ150mm×150 m的标准试件；

d） 按照 JTG E51中T0845的标准养生条件进行养生，养生龄期28d。

**E**.**3.2 现场试件制备**

现场基层应养生28d后通过现场钻芯取得，并切割至Φ150mm×150mm标准尺寸。

**E.4 浸出步骤**

浸出步骤包括：

a）将试件放置于20℃恒温箱中24h至表面风干，称重，精确至0.01g；

b）将风干试样置于15L带密封盖的容器中，按液固比为2：1(L/kg)计算出浸提剂的体积，加入浸提剂，盖密封盖后在室温下静置7d；

c）在压力过滤器上装好滤膜，过滤并收集浸出液；

d）将浸出液稀释5倍后用于污染物浓度检测；

e）除非消解会造成待测金属的损失，用于金属分析的浸出液应按分析方法的要求进行消解。

**E.5 质量保证和质量控制**

质量保证和质量控制包括：

a）每做20个样或每批样品（样品量少于20个时）至少做一个浸出空白。

b）每批样品至少做一个加标回收样品或一个有证标准物质。

c）每批样品至少做一个平行双样。

**附录F（规范性附录）**

**副石膏半刚性基层破碎试件浸出试验方法**

**F.1适用范围**

本方法适用于模拟评估副石膏半刚性基层材料在服役末期出现疲劳损坏（颗粒化）后，受到水体浸沥时，基层试件中无机污染物的浸出风险。

**F.2 仪器设备**

仪器设备要求如下：

a）提取器：15L带密封盖的容器，由不能浸出或吸附样品所含成分的性材料（如：玻璃或聚乙烯等）制成：

b）天平：精度不低于±0.01 g；

c）压力机：最大量程2000 kN；

d）方孔筛的过滤器要求：

1）过滤装置：加压过滤装置或真空过滤装置，对难过滤的样品也可采用离心分离装置；

2）滤膜：0.45 um微孔滤膜。

**F.3 试件制备和养护**

F.3.1 室内试件制备

室内试件制备要求如下：

a）试件采用1：1的Φ150mm×150mm 的圆柱形试件；

b）按照 JTG E51 T0804确定无机结合料稳定材料的最佳含水量和最大干密度；

c）按照 JTG B51 T0843万法制备1个Φ150mm×150mm的标准试件；

d）按照 JTG E51 T0845 的标准养生条件进行养生，养生龄期 28 d.；

F.3.2 现场试件制备

现场基层应养生28d后通过现场钻芯取得，并切割至Φ150m×150mm 标准尺寸。

**F.4 浸出步骤**

浸出步骤如下：

a）将养生完毕的试件放置于 20 ℃恒温箱中 24h至表面风干：

b）将试件放在压力机上进行抗压试验。试验过程中，应保持加袭速率为1m/in。试件破坏时加载停止；

c）将破坏试件取出，放置于平板上，用木槌轻轻将大块试件敲碎，使全部混合通过37.5m筛孔；采用四分法取破碎混合料约2kg，称重，精确至 0.01g：

d）将风干试样置于15L带密封盖的容器中，按液周比为2：1（L/kg）计算出所需浸提剂的体积，加入浸提剂，盖密封盖后在室温下静置7d；

e）在压力过滤器上装好滤膜，过滤并收集浸出液；

f）将浸出液稀释5倍后用于污染物浓度检测；

g）除非消解会造成待测金属的损失，用于金属分析的浸出液应按分析方法的要求进行消解。

**F.5 质量保证和质量控制**

质量保证和质量控制如下；

a）每做 20个样或每批样品（样品量少于20个时）至少做一个浸出空白；

b）每批样品至少做一个加标回收样品或一个有证标准物质；

c）每批样品车少做一个平行双样。

# 本标准用词说明

**1．**为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

**1）**表示很严格，非这样作不可的：

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”或“可”，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，采用就“可”

**2．**条文中指明应按其他有关标准执行的写法为： “应符合……要求（或规定）”或“应按……的执行”。

# 引用标准名录

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。

GB175 通用硅酸盐水泥

GB/T 176 水泥化学分析方法

GB/T 1345水泥细度检测方法筛析法

GB/T 1346水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法

GB 3838地表水环境质量标准

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别

GB/T 5484 石膏化学分析方法

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB/T 14684-2011 建设用砂

GB/T 14685-2011 建筑用卵石、碎石

GB/T14848 地下水质量标准

GB15618 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法

GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 23349 肥料中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定

GB/T 23456 磷石膏

GB/T 37785 烟气脱硫石膏

JGJ 63 混凝土用水标准

JTG 3430 公路土工试验规程

JTG 3432 公路工程集料试验规程

JTG 3441 公路工程无机结合料稳定材料试验规程

JTG F80/ 1 公路工程质量检验评定标准

CJJ 1 城镇道路工程施工与质量验收规范

JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则

JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JC/T 313 膨胀水泥膨胀率试验方法

JC/T 2391 制品用过硫磷石膏矿渣水泥混凝土

JC/T 2625 钛石膏

HJ91.2地表水环境质量监测技术规范

HJ164地下水环境监测技术规范

HJ/T166土壤环境监测技术规范

HJ 557固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法

DB42/T 1991—2023 公路磷石膏复合稳定基层材料应用技术规程

中国工程建设标准化协会标准

**工业副石膏半刚性路面基层**

**应用技术规程**

条文说明

# **1 总 则**

**1.0.1** 因工业副产石膏种类繁多，尤其磷石膏、钛石膏含有部分污染物，如磷酸、氟化物、重金属等，对周边环境具有潜在的污染风险，因此，本规程除规定了工业副产石膏半刚性路面基层材料的原材料、混合料配合比设计、施工、质量控制及验收外，还对相应产品的环境影响监测等进行了规定。

# **2 术语、定义和符号**

**2.1.1~2.1.3** 因工业副产石膏包括磷石膏、钛石膏、氟石膏、盐石膏等近30多种，其中脱硫石膏、磷石膏、钛石膏和中和石膏的产生量约占全部工业副产石膏总量的90%，所以本次以三大副产石膏作为本规程的主要种类制备半刚性基层材料。

**2.1.7** 因部分工业副石膏含有铬、铅等部分重金属，因此，添加的固化剂除能够提升工业副石膏半刚性基层混合料具有优良的路用性能外，还需要对周边环境无污染等不利影响。因此，需要选择适宜的固化剂，以满足环境影响评价相应要求。

# **3 基本规定**

**3.0.3** 实践证明，工业副产石膏半刚性基层材料中原状工业副产石膏占比不低于70%时均能满足相应二级及以下等级公路、城镇道路主干路及以下基层技术要求，因此，本规程在保证工程质量的前提下，提升资源化利用水平，将工业副产石膏半刚性基层材料中原状工业副产石膏占比确定为不低于70%。

# **4 原材料**

**4.1.3** 堆存已久的副产石膏通常存在结块现象，在混合料拌和时难以分散，并难以充分与胶凝材料结合，存在质量隐患，因此需要破碎处理。工程实践表明，石膏结块及拌和不均匀是石膏复合稳定基层产生病害的主要原因之一。因此，使用前应进行结块副石膏的破碎处理，且破碎后0.6mm筛孔通过率应大于80%，2.36mm筛孔通过率应大于90%。

**4.3.1** 磷石膏中所含可溶性氟化物、磷、重金属等杂质，影响着基层早期强度与路用性能，为保证磷石膏复合稳定基层材料用于公路建设时的环境安全性与路用性能，提出磷石膏浸出液特征污染物浓度要求。

**4.9.1** 在保证质量的前提下，尽可能利用工业副石膏以及固废基骨料，本规程提出可利用各种硬质岩石或砾石、建筑垃圾、钢渣等；另外，本规程涉及的工业副石膏半刚性基层混合料为悬浮密实型结构，因此，可采用2.36mm-4.75mm、4.75mm-9.5mm、9.5mm-19mm、19mm-26.5mm等其中的一种或两种规格的组合。

# **5 配合比设计**

# **5.1.3** 振动压实成型方法由于保证了再生骨料的均匀性和再生骨料级配不发生变化，同时还增加了再生骨料基层的密实度、无侧限抗压强度，相当于增强了再生骨料基层的长期性能，鉴于此，本规程提出混合料的最大干密度和最佳含水量应采用“无机结合料稳定材料击实试验方法（T0804-1994）”中的重型击实方法或者“无机结合料稳定材料振动压实试验方法（T0842-2009）"中振动压实试验方法。

# **5.1.6** 基于工业副产石膏累计堆存量巨大，因此，根据道路等级、结构层位等实际情况，工业副产石膏半刚性基层材料除部分胶凝材料外可全部采用副石膏，当强度要求较高时，应采用掺加碎石的副石膏半刚性基层材料。

# **5.2.5** 路面基层弹性模量、弯拉强度等设计参数应根据设计阶段的要求确定，本条提供的材料设计参数参考值可供验算。结合料用量高、材料性能好或压实度大时取高值，反之取低值。

**5.2.9** 混合料在选定材料组成条件下拌和好以后，分别按立刻压实、闷料1h再压实、闷料2h再压实、闷料3h再压实等条件，成型标准试件，且每组的样本数量不少于规定的要求。经过标准养生后，测定混合料的7d无侧限抗压强度，从而得到不同延迟时间条件下混合料强度代表值的变化曲线，根据这条曲线得到混合料满足设计强度要求的容许延迟时间。

**5.2.10** 为保证工业副产石膏半刚性基层的环境安全性，根据相关研究，参照GB/T 14848地下三类水要求，提出完整试件浸出液特征污染物浓度限值（除总磷外）。同时，考虑公路基层服役末期疲劳损伤出现龟网裂、破碎松散后，在雨水侵蚀作用下可能出现的污染物释放，参照GB/T 14848地下四类水要求（除总磷外），提出破碎试样的浸出液特征污染物浓度要求。总磷浓度要求分别参照 GB 3838 地表三类水和四类水。

# **6 路面结构及防排水设计**

**6.2.1** 各类基层和底基层的厚度范围，应根据结构层成型、施工或排水要求等因素选择，一般适宜厚度可参照现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40和《公路沥青路面设计规范》JTG D50选择相应厚度，根据已有的抗压回弹模量等数据表明，副石膏半刚性基层的单层压实厚度宜为16cm~25cm。

**6.3.1** 相比稀浆封层及乳化沥青碎石封层，热沥青碎石封层能有效减少路面水渗入基层结构，减少副产石膏基层的水损坏。

# **7**  **施 工**

**7.2.4** 工业副产石膏含水量较大时，极易造成料仓起拱堵仓，因此，宜同时配备机械破拱、振动破拱装置。

**7.4.1** 基于常年堆存的副产石膏通常存在结块现象，在混合料拌和时难以分散，并难以充分与胶凝材料、部分掺合料、添加剂等结合，存在质量隐患，为保证拌和的均匀性、充分性，根据课题组的试验结果，宜采用强制式搅拌机，当条件不具备时，也可采用连续式稳定土拌和设备，拌和时间以试验数据确定。

# **8 环境影响监测**

**8.0.1** 环境质量调査与监测有助于掌握不同服役时间、道路状况条件下副产石膏基层中污染物的浸出特性和变化规律，对于推动工业副产石膏半刚性基层技术的应用与发展具有积极的意义。

# 9 **质量检验与验收**

**9.2.5** 现场取样试验无侧限抗压强度，须将钻芯试件切割成标准试件，进而测试其强度是一种后验性的无机结合料稳定材料质量检评方法，是对以往仅仅通过生产成型标准试件进行强度评定的一种有效补充。