

ICS 93.08
CCS Q 20



团 体 标 准

T/CSES 195—2025
T/CHTS 10231—2025

磷石膏公路利用技术规范

Technical specification for utilization of phosphogypsum in highway engineering

2025-06-27 发布

2025-26-27 实施

中国环境科学学会
中国公路学会
中国标准出版社

发 布
出 版

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 材料	3
4.1 磷石膏	3
4.2 水泥	4
4.3 固化剂	4
4.4 集料	4
5 路基	4
5.1 一般规定	4
5.2 组成设计	4
5.3 施工	5
5.4 质量检查与环境风险防范	7
6 基层	7
6.1 一般规定	7
6.2 组成设计	8
6.3 施工	10
6.4 质量检查与环境风险防范	11
7 小型预制构件	12
7.1 一般规定	12
7.2 设计要求	12
7.3 制作	13
7.4 质量检查与环境风险防范	13

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。

本文件由生态环境部南京环境科学研究所、江西交投咨询集团有限公司(江西省固废资源道路化综合利用技术工程研究中心)提出。

本文件由中国环境科学学会和中国公路学会归口。

本文件起草单位：生态环境部南京环境科学研究所、江西交投咨询集团有限公司(江西省固废资源道路化综合利用技术工程研究中心)、南方高科工程技术有限公司、内蒙古交通集团有限公司项目管理分公司、江西省宏发路桥建筑工程有限公司。

本文件主要起草人：习明星、赵欣、杨帆、杨华、李想、宝群群、徐东、王力骋、郭子文、张宏智、黎芳。

磷石膏公路利用技术规范

1 范围

本文件规定了磷石膏作为筑路材料应用于路基、基层工程的一般规定、组成设计、施工、质量检查与环境风险防范要求,规定了磷石膏作为集料制备小型水泥混凝土构件的一般规定、设计、制作、质量检查与环境风险防范要求。

本文件适用于各等级公路路基、路面基层及小型预制构件的设计与施工。

本文件不适用于在饮用水水源和其他特殊水体保护区的道路建设工程。

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。

GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB 6920 水质 pH的测定 玻璃电极法

GB/T 7479 水质 铵的测定 纳氏试剂比色法

GB 7484 水质 氟化物的测定 离子选择电极法

GB 8978 污水综合排放标准

GB 11914 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB 50164 水泥混凝土质量控制标准

GB 50666 水泥混凝土结构工程施工规范

GB/T 5484 石膏化学分析方法

GB/T 7466 水质 总铬的测定

GB/T 7467 水质 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法

GB/T 14684 建设用砂

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 23456 磷石膏

GB/T 32124 磷石膏的处理处置规范

CJ/T 486 土壤固化外加剂

JC/T 945 透水砖

HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法

HJ 670 水质 磷酸盐和总磷的测定 连续流程-钼酸铵分光光度法

HJ 694 水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法

HJ 700 水质 65种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法
HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则
JTG D30 公路路基设计规范
JTG 3441 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)
JGJ55 普通混凝土配合比设计规程

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粉末状固体物质,主要成分为二水硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的工业副产品。

3.2

固化剂 curing agent

通过与磷石膏、水泥和水的物理和化学反应,能有效改善水泥稳定磷石膏混合料路用性能的外加剂。

3.3

磷石膏筑路材料 phosphogypsum-based road construction materials

以工业副产品磷石膏为主要原料,替代部分传统筑路材料(如碎石、砂、水泥等),通过物理或化学改性处理后,与其他辅助材料(如水泥、固化剂等)复合形成的用于公路基层、底基层或路基填筑的一种新型道路工程材料。其力学性能、耐久性、环保性能等满足公路工程的要求。

3.4

磷石膏路基材料 phosphogypsum-based roadbed construction materials

直接用工业副产品磷石膏,或以工业副产品磷石膏为主,与一定比例的水泥和固化剂拌和而制成的混合料,其强度、水稳定性、耐久性均需满足公路路基施工的要求。

3.5

磷石膏基层材料 phosphogypsum-based road base construction materials

以工业副产品磷石膏为主,添加一定比例的集料或不添加集料,再与水泥和固化剂拌和而制成的混合料,其强度、水稳定性、耐久性均需满足公路基层施工的要求。

3.6

磷石膏水泥混凝土 phosphogypsum-based cement concrete

将磷石膏、水泥、集料和固化剂以一定比例拌和而制成的混合料,适用于制作公路工程用非承重小型构件,其性能应满足现行GB 50666及GB 50164的要求。

3.7

容许延迟时间 permitted delay time

在满足强度标准的前提下,磷石膏基层混合料从搅拌至施工现场碾压成型所容许的最大间隔时间。

3.8

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

按规定方法成型、养生28 d龄期的水泥稳定磷石膏混合料试件,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值。

3.9

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

按规定方法成型、养生 28 d 龄期的水泥稳定磷石膏混合料试件,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值。

4 材料

4.1 磷石膏

公路工程中使用的磷石膏原料成分应满足表 1 要求。采用 HJ 557 制备磷石膏原料浸出液,浸出液特征污染物浓度应满足表 2 要求。

表 1 磷石膏原料基本要求

序号	项目	指标	执行标准	检测方法
1	附着水(H ₂ O) <i>w</i> (湿基)/%	≤25	GB/T 32124	GB/T 23456
2	二水硫酸钙(CaSO ₄ ·2H ₂ O) <i>w</i> (干基)/%	≥65		
3	可溶性磷(P ₂ O ₅) <i>w</i> (干基)/%	≤0.20		
4	水溶性氟离子(F) <i>w</i> (干基)/%	≤0.10		
5	水溶性氯离子(Cl) <i>w</i> (干基)/%	≤0.02		
6	水溶性氧化镁(MgO) <i>w</i> (干基)/%	≤0.30		
7	水溶性氧化钠(NaO) <i>w</i> (干基)/%	≤0.10		
8	放射性核素限量	内照射指数	GB 6566	GB 6566
		外照射指数		

注: pH 值由供需双方商定。

表 2 磷石膏浸出液特征污染物要求

序号	项目	指标	执行标准	检测方法
1	pH	6~9	GB 8978	GB 6920
2	氨氮	15		GB/T 7479
3	磷酸盐(以 P 计)/(mg/L)	0.5		HJ 670
4	化学需氧量(COD)/(mg/L)	100		GB 11914
5	氟化物/(mg/L)	≤10		GB 7484
6	总汞/(mg/L)	≤0.05		HJ 694
7	总镉/(mg/L)	≤0.1		HJ 700
8	总铬/(mg/L)	≤1.5		GB/T 7466
9	六价铬/(mg/L)	≤0.5		GB/T 7467
10	总砷/(mg/L)	≤0.5		HJ 694
11	总铅/(mg/L)	≤1.0		HJ 700
12	总镍/(mg/L)	≤1.0		HJ 700
13	总铍/(mg/L)	≤0.005		HJ 700
14	总铜/(mg/L)	≤0.5		HJ 700

4.2 水泥

应采用通用硅酸盐水泥,其强度等级不应低于42.5,不宜使用早强水泥,性能应符合GB 175的规定。

4.3 固化剂

固化剂形态以固体粉末与透明液体较为常见,粉体固化剂在80 μm方孔筛筛余应不大于15%,液体固化剂在5℃放置28 d后不产生析晶和分层,添加了固化剂的水泥稳定磷石膏混合料试件性能应满足表3的要求。

表3 添加固化剂的水泥稳定磷石膏混合料试件性能要求

序号	项目	指标	检测方法
1	无侧限抗压强度比/%	≥120	CJ/T 486
2	水稳定系数比/%	≥105	

4.4 集料

集料应符合JTG/T F20的规定。

5 路基

5.1 一般规定

5.1.1 磷石膏路基材料适用于不同等级公路路基非上路床填方的铺筑中,其配合比需通过配合比试验确定。

5.1.2 磷石膏路基材料填筑的路堤边坡坡率不宜小于1:1.5。

5.1.3 磷石膏路基材料用作路基填料时不可在雨天施工,尽量避免在雨季施工,若需在雨季施工则应做好相应的排水措施。

5.2 组成设计

5.2.1 磷石膏路基材料的组成设计应按使用目的和设计要求,选择技术经济合理的混合料类型和配合比,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磷石膏路基材料的技术要求。

5.2.2 磷石膏路基材料的组成设计应包括原材料检验、混合料目标配合比设计和混合料生产配合比设计三部分。

5.2.3 磷石膏路基材料中水泥推荐掺配量为0%~3%,粉末状固化剂推荐掺配量为0%~3%,液体固化剂推荐掺配量为0%~0.1%。

5.2.4 磷石膏路基材料的最大干密度和最佳含水率的确定应采用“无机胶结料稳定材料击实试验方法(T0804)”中的重型击实方法,磷石膏路基材料测量含水率应采用GB/T 5484中石膏附着水的测定方法,烘干温度应为45℃±3℃。

5.2.5 磷石膏路基材料的压实度按相关路基设计规范的要求执行,在进行配合比设计时应按相应标准设计。磷石膏路基材料的压实度应符合表4的规定。

表4 磷石膏路基材料的压实度标准

应用部位	压实度/%	
	高速、一级公路	二级及以下公路
下路床	—	≥95
上路堤	≥94	≥94
下路堤	≥93	≥92

5.2.6 磷石膏筑路材料的设计依据以其在规定压实度下的4 d龄期加州承载比(CBR)作为施工质量控制的主要指标,承载比(CBR)试验采用JTG 3430中CBR试验方法,承载比应符合表5的要求,且有荷载浸水膨胀率不宜超过3%。

表5 磷石膏路基材料的承载比(CBR)标准

应用部位	CBR/%	
	高速、一级公路	二级及以下公路
下路床	—	≥4
上路堤	≥4	≥3
下路堤	≥3	≥2

5.2.7 将磷石膏路基材料用作路堤填料,宜采用封闭式结构。路堤底部采用细粒土夯实、防水土工布等抗渗滤措施,磷石膏填料按照30 cm厚度分层填筑,路堤两侧用细粒土进行包边防护,包边土应与磷石膏填料同步施工,宽度宜不小于2 m,顶面用细粒土将磷石膏路基夯实覆盖,若设计磷石膏用做填料填筑的路堤总高度超过5 m,应按JTG D30的要求进行路基稳定计算分析。

5.3 施工

5.3.1 拌和

5.3.1.1 磷石膏路基材料应采用厂拌法生产。

5.3.1.2 磷石膏路基材料的生产宜使用专用的沸腾式拌和装置及成套设备,拌和装置的搅拌速度应不小于40 r/min。冷料仓应配置振动与破拱装置。设备的生产能力宜大于400 t/h。

5.3.1.3 所有进料设备应装有自动计量装置,称量精度达到±1%。并能够在生产时调整进料的速度,以保证筑路材料的配合比不变。

5.3.1.4 水泥采用筒仓储备,筒仓应密闭、干燥,同时内部应装有破拱装置。

5.3.1.5 生产前,应根据配合比设计确定各档材料比例,对拌和设备进行调试和标定,确定合理的试生产参数。

5.3.1.6 拌和设备的调试和标定应包括料斗称量精度、胶凝材料用量、拌和设备加水量的控制等内容。

5.3.1.7 在初步试验确定各物料配合比基础上进一步试验,以获得准确的物料配合比参数。按不同胶结材料用量和含水试拌混合料,并取样、试验。

5.3.1.8 混合料的含水率应控制在最佳含水率 $w_{opt}+1%$ 。当天气炎热或运输距离较远时,可适当提高混合料的含水率。

5.3.1.9 施工中应采用洒水等措施减少扬尘造成的污染与影响,施工人员应佩戴防尘口罩,粉尘浓度不

大于GBZ 2.1限值。

5.3.1.10 混合料拌和过程中拌和废水应进行采集检测,拌和废水特征污染物浓度不应超过GB 8978最高允许排放浓度(第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行),特征污染物检测指标参照表2执行。若拌和期间废水监测结果不满足综合排放标准,应在工程生产区配置污水集中处理装置,或统一采用槽罐车运至集中污水处理厂进行处置,处置完满足综合排放标准之后再进行排放,不宜将处置后的废水回用。

5.3.1.11 混合料拌和过程中重点关注特征污染物颗粒物、氯化物、氟化物,无组织排放应满足GB 16297要求,施工作业人员应佩戴防尘口罩。

5.3.2 运输

5.3.2.1 根据当日工程量、运距,计划当日运输车辆的数量,避免因运输原因导致施工停顿。

5.3.2.2 混合料运输车装料前应清理干净车厢,不应存有杂物。

5.3.2.3 混合料运输车装好料后,应将厢体覆盖严密。

5.3.2.4 混合料应做到随拌和、随运输、随摊铺、随压实。混合料从拌和均匀到压实,不宜超10h。

5.3.2.5 混合料运输至施工现场暂存时应采取相应防渗漏、防雨淋、防扬尘措施。

5.3.3 整平与压实

5.3.3.1 磷石膏路基材料的整平和碾压应符合JTG/T 3610的规定。

5.3.3.2 磷石膏路基大规模施工前,应进行现场试验段施工,以确定施工材料松铺系数及相关施工技术参数,试验段施工长度不宜小于200m。

5.3.3.3 磷石膏路基材料填筑路基时,应使用机械摊铺。

5.3.3.4 在进料前,需先划分网格,计划运输车辆卸载的位置,按固定网格划分的位置卸载磷石膏路基材料。

5.3.3.5 材料卸载完成后,使用挖掘机或装载机进行摊铺,并使用平地机将混合料平整均匀。

5.3.3.6 摊铺后,先用胶轮压路机静压一遍,若发现有不平整处,应使用人工或者机械调整混合料在原地进行混合回填后平整均匀,再用胶轮压路机静压稳压。碾压时,压路机行走速度为1.5 km/h~2 km/h,密实度增大后,可适当增大碾压速度。往返一次为一遍。一般碾压遍数:静压1遍,振动压3~5遍。达到看不到压路机轮迹后,由试验人员检测密实度,不合格时,继续碾压直到合格,压实度合格后,静压一遍成型。碾压时应按8 t~10 t双钢轮静压整形→22 t单钢轮压路机振动碾压→28 t以上胶轮机稳压收光的顺序进行压实,直至表面无轮迹为止。或按照试验路段确定的工艺流程、工艺参数进行压实质量控制。

5.3.3.7 混合料整平稳压后,使用压路机进行压实。碾压遵循“先轻后重,先边后中,先慢后快”的原则,并在磷石膏筑路材料终凝前完成。

5.3.3.8 在压路机初压后,应检测混合料表面高程及路拱横坡。在混合料的含水率等于或略大于最佳含水率时,应使用压路机在路基全宽内进行复压压实。

5.3.3.9 遵照由低处向高处逐步碾压原则。直线型横坡路段由两侧路肩向道路中心碾压,碾压时,人员配合跟机作业,要求碾压时碾压轮横向错开半轮。

5.3.3.10 全部碾压操作应在稳定料运送到施工现场2 h~3 h内完成。碾压过程中要求满幅碾压,不应漏压,各部位碾压次数相同,路幅两边适当增加碾压遍数。

5.3.3.11 严禁压路机在已成型的或正在碾压的路段上调头、急刹车,防止破坏成品。在各施工段端头4 m~5 m范围内,压路机沿路面横坡由低向高适当横向碾压,防止纵向碾压端头时使混合料向端头方向滑移,出现裂缝或松散现象。

5.3.3.12 碾压过程中,如出现裂纹、松散等现象,应人工及时将有缺陷部位挖除,换填新的混合料,挖除

深度直到下一结构层,使其达到质量要求。施工段结合部位碾压时应压过分界线4 m左右。碾压分段界线处、检查井等处,均应由指挥人员插上红色钢筋标志桩,避免碰撞。

5.3.3.13 铺筑碾压后,施工员应复测标高及平整度,对不符合点及时调整、修正,保证该层完成面高程符合设计要求。

5.4 质量检查与环境风险防范

5.4.1 原材料质量检查

5.4.1.1 在施工开始前,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,并确定料源。施工过程中材料来源或规格发生变化时,应重新进行检验。

5.4.1.2 当磷石膏原料来源于稳定在产磷化工企业,则首次使用前进行一次原料检测。当磷石膏原料来源不明确,则每批次原料应进行一次检测。其他材料的试验项目和要求应符合JTG/T 3610的有关规定。

5.4.2 混合料质量检查

含水率、水泥与固化剂剂量、承载比(CBR)的检查应符合JTG/T 3610以及配合比设计的有关规定。

5.4.3 施工过程质量检测与验收

5.4.3.1 碾压完成后,用环刀法或灌砂法检测混合料压实度,应符合表4的要求,每一压实层均应进行压实度检测,检测频率为每1 000 m²不少于2点。

5.4.3.2 厂拌、整平工艺的后场与前场质量控制项目、内容、检测频率应符合JTG/T 3610的有关规定。

5.4.3.3 路基完成施工后的质量检验验收应按照JTGF80/1执行。

5.4.4 环境风险防范

5.4.4.1 环境性能要求

在磷石膏路基材料养护期满后取芯样进行留样检测,根据实际公路工程长度等间距取样5份,按照HJ 557规定方法浸提获得浸出液,浸出液特征污染物浓度应满足GB 18599中Ⅰ类一般工业固体废物的要求,满足表2要求。

5.4.4.2 环境风险监测

磷石膏路基材料公路工程投入使用后应对公路边沟水样开展特征污染物跟踪监测,防范环境风险。采样规范应满足HJ 91.2要求,每段工程取样不少于3个,采样频次为每月1次;连续3个月监测结果均不超出上述要求,频次可减为每年2次。监测项目及标准限值应包括但不限于表2所示内容。

5.4.5 公路破碎及开挖产生的固体废物处置要求

对于利用磷石膏路基材料建设的公路因其他原因发生破碎、开挖产生的固体废物处置应满足HJ 1091、GB 18599相关污染控制要求。

6 基层

6.1 一般规定

6.1.1 磷石膏基层材料适用于不同等级公路路面基层与底基层的铺筑中,配合比参数通过试验确定。

6.1.2 磷石膏基层材料不可在雨天施工,在雨季施工应做好相应的防水措施,避免在旱季和高温天气进行磷石膏基层材料的施工,若必须在旱季和高温天气进行施工时,应做好养生条件的保证,同时适当延长养生时间。

6.2 组成设计

6.2.1 磷石膏基层材料的组成设计应按使用目的和设计要求,选择技术经济合理的混合料类型和配合比,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磷石膏基层材料的技术要求。

6.2.2 磷石膏基层材料的组成设计应包括原材料检验、混合料目标配合比设计、混合料生产配合比设计和施工参数确定四部分。

6.2.3 磷石膏基层材料的组成设计流程如图1所示。

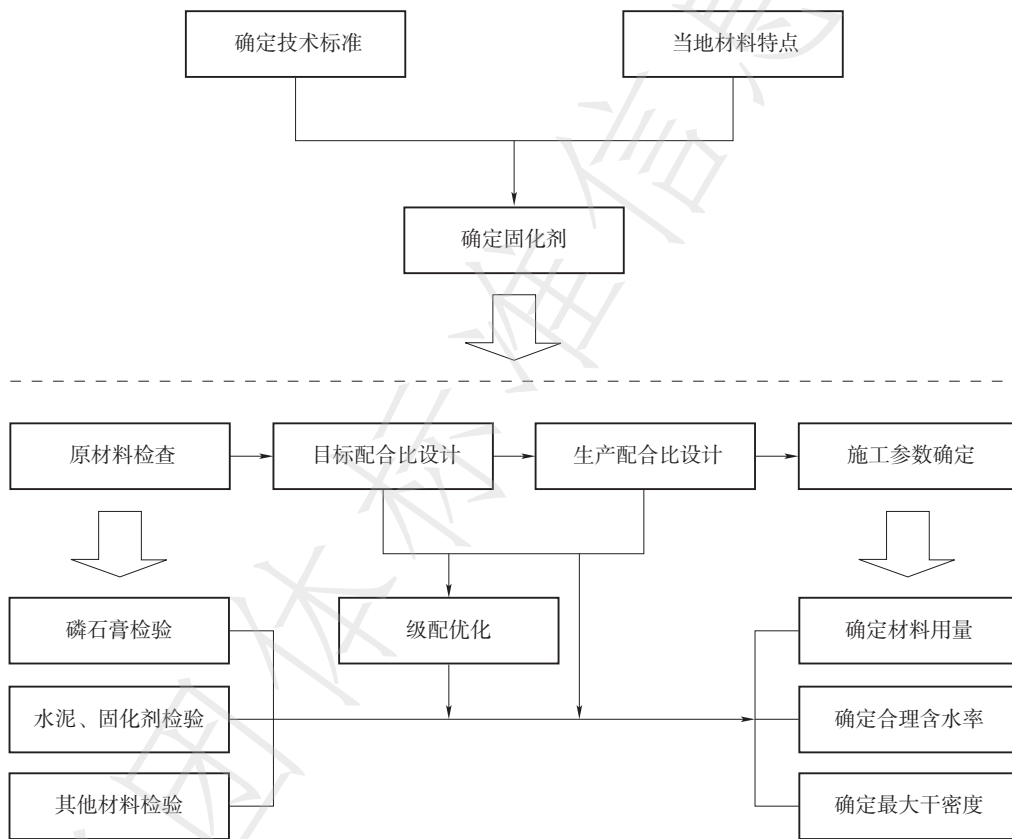


图1 磷石膏基层材料组成设计流程

6.2.4 采用磷石膏基层材料的底基层和基层厚度应根据公路实际情况需要确定,但不宜小于15 cm。如果路基条件不满足要求,应增加基层厚度和铺设土工合成材料来提高基层的承载能力。

6.2.5 磷石膏基层材料的最大干密度和最佳含水率应采用JTG 3441的重型击实方法。

6.2.6 磷石膏基层材料的压实度按相关路面基层设计规范的要求执行,在进行配合比设计时应按相应标准设计。磷石膏基层材料的压实度应符合表6的规定。

表6 磷石膏基层材料的压实度标准

单位为%

类型	层位	特重交通	重、中交通	轻交通
添加集料的磷石膏基层材料	基层	≥98	≥98	≥98
	底基层	≥97	≥97	≥96
未添加集料的磷石膏基层材料	基层	≥98	≥97	≥96
	底基层	≥96	≥96	≥95

6.2.7 磷石膏基层材料作为公路基层材料时,应以满足设计要求的7 d/14 d龄期无侧限抗压强度进行配合比试验,也可参照表7进行配合比设计。

表7 磷石膏基层材料7 d/14 d龄期无侧限抗压强度标准 R_d

单位为MPa

层位	特重交通	重、中交通	轻交通
基层	3.5~4.5	3.0~4.0	2.5~3.5
底基层	≥2.5	≥2.0	≥1.5

注:未添加集料的磷石膏基层材料按14 d龄期的无侧限抗压强度要求进行配合比设计,添加集料的磷石膏基层材料按7 d龄期的无侧限抗压强度要求进行配合比设计。

6.2.8 若对磷石膏基层材料的强度要求高,且对磷石膏的掺配率没有特殊要求时,宜用天然集料替代部分磷石膏,集料的推荐级配范围如表8所示。

表8 掺入天然集料的磷石膏基层材料推荐级配范围

筛孔尺寸/mm	各筛孔的通过率/%	
	I型	II型
31.5	—	—
26.5	100	—
19	82~86	100
16	73~79	88~93
13.2	65~72	76~86
9.5	53~62	59~72
4.75	35~45	35~45
4.75以下	由磷石膏替代	

6.2.9 磷石膏基层材料无侧限抗压强度试验采用“无机胶结料稳定材料无侧限抗压强度试验方法(T0805)”,磷石膏基层材料配合比试验要在击实试验得到的最佳的含水率和最大干密度的基础上,采取静压方式制作试样。

6.2.10 当磷石膏基层材料强度满足要求时,宜进一步验证其水稳定性、抗冻性能等。宜采用冻融循环强度比、干湿循环强度比来评价磷石膏基层材料抗冻性能和水稳定性能,技术要求宜满足表9。

表9 磷石膏基层材料抗冻及水稳定性能技术要求

层位	冻融循环强度比/%	干湿循环强度比/%
基层	≥80	≥90
底基层	≥75	

6.2.11 水泥添加量宜按表10推荐的范围通过试验确定。

表10 水泥添加量推荐范围

材料类型	层位	水泥剂量/%
添加集料的磷石膏基层材料	基层	6~10
	底基层	4~8
未添加集料的磷石膏基层材料	基层	10~18
	底基层	7~12

6.2.12 在配合比设计中,水泥应按1%的间隔选择不少于5种剂量,固化剂应按厂家推荐用量选择不少于3种剂量,并分别确定各剂量条件下混合料的最佳含水率和最大干密度。

6.2.13 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,验证不同剂量条件下14d无侧限抗压强度,确定符合设计要求的最佳配合比。

6.2.14 根据最佳配合比,验证混合料抗冻性能及水稳定性能。

6.3 施工

6.3.1 拌和

6.3.1.1 磷石膏基层材料的生产应采用厂拌法生产。

6.3.1.2 磷石膏基层材料的生产宜使用专用的沸腾式拌和装置及成套设备。冷料仓应配置振动与破拱装置。设备的生产能力宜大于400 t/h。拌和设备的料仓数目应与规定的备料档数相匹配,宜较规定的备料档数增加1个。各个料仓之间的挡板高度应不小于1 m。

6.3.1.3 磷石膏基层材料的拌和工艺参照5.3.1.3~5.3.1.10中磷石膏路基材料的拌和工艺要求。

6.3.2 运输

磷石膏基层材料的运输参照5.3.2中磷石膏路基材料的运输流程与要求。

6.3.3 摊铺与碾压

6.3.3.1 磷石膏基层材料的摊铺和碾压应符合JTG/T F20的规定。

6.3.3.2 摊铺碾压时,基层边缘应设置侧模,碾压前,应沿侧模处将水泥浆灌入基层边缘混合料中,以保证基层边缘强度。

6.3.3.3 基层大规模施工前,应进行试验段施工,通过试验段施工,确定施工材料松铺系数及相关施工技术参数,试验段施工长度宜为200 m~300 m。

6.3.3.4 一台摊铺机的宽度不宜大于8 m,对超宽路段采用两台摊铺机错位摊铺。摊铺机宜连续摊铺,拌和机生产能力应与摊铺机摊铺速度相匹配,避免摊铺机停机待料。摊铺机螺旋布料器应有三分之二埋

入混合料中。出现缺料时,应及时补料。摊铺过程中多台运料车在摊铺机前 200 m~300 m 备料等待,确保摊铺机缓慢、均匀、连续不间断摊铺。

6.3.3.5 应派人员跟踪修补边角,及时发现并处理混合料离析等缺陷。

6.3.3.6 混合料摊铺后,应先用 28 t 以上胶轮压路机静压一遍,若发现有不平整处,应立即使用人工或者机械调整混合料在原地进行混合回填后平整均匀,再用胶轮压路机静压稳压。稳压后,应使用钢轮压路机进行压实。碾压遵循“先轻后重,先边后中,先慢后快”的原则,并在磷石膏筑路材料终凝前完成。碾压时,压路机行走速度为 1.5 km/h~2 km/h,密实度增大后,可适当增大碾压速度。往返一次为一遍。一般碾压遍数:静压一遍,振动压 3~5 遍。达到看不到压路机轮迹后,由试验人员检测密实度,不合格时,继续碾压直到合格,压实度合格后,静压一遍成型。碾压时应按 8 t~10 t 双钢轮静压整形→22 t 单钢轮压路机振动碾压→28 t 以上胶轮机稳压收光的顺序进行压实,直至表面无轮迹为止。或按照试验路段确定的工艺流程、工艺参数进行压实质量控制。

6.3.3.7 遵照由低处向高处逐步碾压原则。直线型横坡路段,由两侧路肩向道路中心碾压,碾压时,人员配合跟机作业,要求碾压时碾压轮横向错半轮。

6.3.3.8 全部碾压操作在稳定料运送到工地 2 h~3 h 内完成。碾压过程中要求满幅碾压,不应漏压,各部位碾压次数相同,路幅两边适当增加碾压遍数。

6.3.3.9 严禁压路机在已成型的或正在碾压的路段上调头、急刹车,防止破坏成品。在各施工段端头 4 m~5 m 范围内,压路机沿路面横坡由低向高适当横向碾压,以防止纵向碾压端头时使混合料向端头方向滑移,出现裂缝或松散现象。

6.3.3.10 碾压过程中,如果出现裂纹、松散等现象,应及时用人工将有缺陷部位挖除换填新的混合料,挖除深度直到下一层,使其达到质量要求。施工段结合部位,碾压时压过分界线 4 m 左右,保证结合部的密实度。碾压分段界线处、检查井等处,应由指挥人员插上红色钢筋标志桩,避免碰撞。

6.3.3.11 铺筑碾压后,施工员应复测标高及平整度,对不符合点及时调整、修正,保证高程符合设计要求。

6.3.4 养生

6.3.4.1 压实成型并经检验符合标准的磷石膏基层材料,原则上应封闭交通或禁止重型汽车通行,在雨天或雨后初晴期间应严禁任何车辆通行。

6.3.4.2 基层养生过程中,应覆盖土工布并采用雾化养生保湿,待养生 14 d 后取出完整芯样结束养生。

6.3.4.3 基层养生结束后应及时铺筑上层。

6.4 质量检查与环境风险防范

6.4.1 原材料质量检查

6.4.1.1 在施工开始前,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,并确定料源。施工过程中材料来源或规格发生变化时,应重新进行检验。

6.4.1.2 当磷石膏原料来源于稳定在产磷化工企业,则首次使用前进行一次原料检测。当磷石膏原料来源不明时,则每批次原料应进行一次检测。其他材料的试验项目和要求应符合 JTG/T 3610 的有关规定。

6.4.2 混合料质量检查

含水率、水泥与固化剂剂量、无侧限抗压强度的检查应符合 JTG/T F20 以及配合比设计的有关规定。

6.4.3 施工过程质量检测与验收

6.4.3.1 碾压完成后,用灌砂法检测混合料的压实度,其要求应符合表6的要求,每一段作业检查6次以上。

6.4.3.2 厂拌、摊铺工艺的后场与前场质量控制项目、内容、检测频率,应符合JTG/T F20的有关规定。

6.4.3.3 磷石膏基层完成施工后的质量检验验收应按照JTG F80/1执行。

6.4.4 环境风险防范

6.4.4.1 环境性能要求

磷石膏基层材料施工过程中的环境性能要求内容具体参照5.4.4.1要求执行。

6.4.4.2 环境风险监测

利用磷石膏基层材料建设的公路工程投入使用后的环境风险监测应按照5.4.4.2要求执行。

6.4.5 公路破碎及开挖产生的固体废物处置要求

对于利用磷石膏路基材料建设的公路因其他原因发生破碎、开挖产生的固体废物处置应满足HJ 1091、GB 18599相关污染控制要求。

7 小型预制构件

7.1 一般规定

7.1.1 利用磷石膏作为集料制备的小型水泥混凝土构件可用于公路排水、防护结构及透水砖等不配筋的非承重附属设施。

7.1.2 磷石膏掺配率应根据水泥混凝土强度等级,通过试验确定。当缺乏试验条件时,磷石膏掺配率可参照表11的规定。

表11 不同强度等级磷石膏水泥混凝土掺配率

强度等级	C20	C25	C30
掺配率/%	≤45	≤40	≤35

注：这里磷石膏的掺配率是指磷石膏在混凝土中集料的掺配率。

7.2 设计要求

7.2.1 磷石膏水泥混凝土性能及检验评定应符合现行国家、行业相关标准。

7.2.2 磷石膏水泥混凝土的胶结料应采用水泥及磷石膏基胶凝材料。

7.2.3 磷石膏水泥混凝土粗集料的规格应满足GB/T 14685的要求,细集料的规格应满足GB/T 14684的要求。

7.2.4 用于公路排水、防护结构、路缘石及透水砖的磷石膏水泥混凝土强度等级应符合表12的规定。

表 12 排水、防护结构、路缘石及透水砖用磷石膏水泥混凝土强度等级

构造物类型	最低强度等级		用途
	非冰冻区及轻冻区	中冻区及重冻区	
排水、防护结构	C20	C25	边沟护坡
路缘石	C30	C30	公路路缘石
透水砖	C30	C30	人行道等铺装

注：轻冻区：冻结指数小于800的地区；中冻区：冻结指数800~2 000的地区；重冻区：冻结指数大于2 000的地区。

7.2.5 磷石膏透水砖各项要求应符合 JC/T 945 的有关规定。

7.2.6 磷石膏水泥混凝土配合比设计步骤应根据 JGJ 55 进行。

7.2.7 磷石膏水泥混凝土应通过试配和调整确定基准配合比。

配合比验证时应验证混凝土与速凝剂、缓凝剂、减水剂等常用于水泥混凝土中外加剂的适应性。

7.2.8 磷石膏水泥混凝土无侧限抗压强度标准差应根据同品种、同强度等级的磷石膏水泥混凝土统计资料计算确定。

7.2.9 磷石膏水泥混凝土坍落度宜为 30 mm~50 mm。

7.2.10 磷石膏水泥混凝土初凝时间应不小于 4 h，终凝时间应不大于 24 h。

7.3 制作

7.3.1 磷石膏水泥混凝土施工应满足 GB 50666 及 GB 50164 的要求。

7.3.2 磷石膏水泥混凝土预制构件应采用厂拌集中预制。

7.3.3 磷石膏水泥混凝土搅拌时间应根据水泥种类和初凝时间确定，搅拌时间应不少于 2 min。

7.3.4 宜采用自动入模工艺，避免混凝土拌和物坠落离析。人工入模时应按次序添加混凝土，避免互相干扰触碰。宜选用振动平台对构件进行振动密实，振动时间以振动至混凝土表面平坦、泛浆且不再冒气泡为止。

7.3.5 磷石膏水泥混凝土构件养护拆模时间应不小于 24 h。拆模时构件无侧限抗压强度应不小于设计强度的 75%。拆模时间宜选择当日气温最高的时段，拆模后应将模具清洗干净并堆放整齐。

7.3.6 磷石膏水泥混凝土构件终凝及脱模后应及时采取养护措施，喷淋养护和蒸汽养护宜采用智能控制系统。养护时间宜不少于 7 d，养护过程应详细记录。在养护期内不得堆码存放，养护完成后应按生产日期分开堆放，标识清楚。

7.3.7 磷石膏水泥混凝土构件的储运应符合下列要求：

- a) 同类构件每块堆放时应用棉毡或塑料泡沫隔离，每层构件宜在同一水平线上，标识清楚。
- b) 构件堆码总高度不宜超过 1.5 m，每垛构件下放置易脱离的垫木或垫块。
- c) 每垛构件装卸前应检查打包是否牢固、稳定，装卸顺序应考虑车体平衡。

7.4 质量检查与环境风险防范

7.4.1 材料进场前应检查各种材料的来源和质量，经质量合格确认后方可进场。当磷石膏原料来源于稳定在产磷化工企业，则首次使用前进行一次原料检测。当磷石膏原料来源不明确，则每批次原料应进行一次原料检测。

7.4.2 磷石膏水泥混凝土拌和物相关检测项目、频率和质量控制指标与标准应符合 GB 50164 规定。

7.4.3 构件成品尺寸允许偏差应符合表 13 的规定。

表 13 构件成品尺寸允许偏差

项目	允许误差/mm
长度	±3
宽度	±3
厚度	+3,0
对角线差	6

7.4.4 磷石膏水泥混凝土构件施工过程中的质量检验项目及频率应符合表 14 的规定。

表 14 磷石膏水泥混凝土构件质量检验项目及频率

名称	项目	允许偏差	检查方法及频率
护坡	无侧限抗压强度	不小于设计强度	每 1 工作台面 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量:每 20 m 量 2 个断面
排水工程	无侧限抗压强度	不小于设计强度	每 1 工作台面 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量:每 20 m 量 2 个断面
路缘石	无侧限抗压强度	不小于设计强度	每 1 工作台面 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量:每 20 m 量 2 个断面
透水砖	无侧限抗压强度	不小于设计强度	每 1 工作台面 2 组试件
	断面尺寸	不小于设计值	尺量:每 20 m 量 2 个断面

7.4.5 磷石膏水泥混凝土构件工程应用后质量检验验收应按照 JTGF80/1 执行。

7.4.6 环境风险防范

采用标准试件浸出特征污染物浓度评价构件环保性能,浸出液中污染物浓度应不超过表 2 限值要求。以连续生产、一套磷石膏小型构件生产装置 24 小时的处理量为一批,按 GB/T 23456 规定的方法进行抽样,监测要求应满足 HJ 1091 的相关要求。

T/CSES 195—2025
T/CHTS 10231—2025

中国环境科学学会
中国公路学会
团 体 标 准
磷石膏公路利用技术规范
T/CSES 195—2025
T/CHTS 10231—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 28 千字
2025年12月第1版 2025年12月第1次印刷

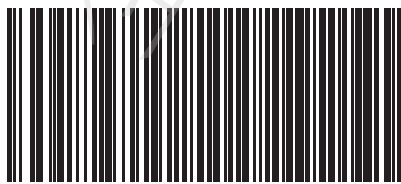
*

书号:155066·5-19130 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107



T/CSES 195—2025
T/CHTS 10231—2025