

寒区旧水泥混凝土路面共振碎石化
技术规范

2025 - 12 - 30 发布

2026 - 01 - 30 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 共振碎石化适宜性评价	2
5.1 一般规定	2
5.2 旧路状况调查与分析	2
5.3 沿线构造物及施工环境调查	3
5.4 适宜性分析	3
6 共振碎石化方案设计	4
6.1 一般规定	4
6.2 预估设计	4
6.3 优化设计	6
6.4 透层、黏层、下封层	6
7 共振碎石化施工	6
7.1 一般规定	6
7.2 施工设备	6
7.3 施工准备	7
7.4 试验段施工	7
7.5 共振碎石化施工	8
8 施工质量检查及验收	9
8.1 共振碎石化施工质量检验	9
8.2 施工后质量检验验收	10
附录 A (资料性) 沥青加铺层结构设计	12
A.1 一般规定	12
A.2 预估设计	12
A.3 优化设计	13
附录 B (资料性) 碎石层顶面当量回弹模量的计算方法	14
B.1 适用范围	14
B.2 测点顶面当量回弹模量值	14
B.3 路段实测当量回弹模量代表值	14
B.4 路段实测当量回弹模量修正值	14
附录 C (资料性) 水泥混凝土路面碎石层取芯与状态判别	16
C.1 适用范围	16

C.2 仪器与材料要求	16
C.3 试验步骤	16
C.4 芯样评定	16
参考文献	17

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。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：黑龙江省交通运输厅、中咨数据有限公司、黑龙江省公路事业发展中心、黑龙江省交投工程勘察设计咨询有限公司、黑龙江省公路建设中心、黑龙江工程学院、黑龙江省路畅工程设计有限公司、黑龙江省交通规划设计研究院集团有限公司、华设设计集团股份有限公司、黑龙江省林业设计研究院、中国公路工程咨询集团有限公司、黑龙江省交通基础设施建设投资有限公司。

本文件主要起草人：张嘉恒、董元帅、王佳昌，钱振宇、宫旭黎、张婷婷、王浩、仝鑫隆、邢宏涛、贺咏楠、吕宝伟、陶洁璇、刘昊、张嵩、林杨、赵德鹏、郑玉鑫、宋志国、姜斌、柴源、谢百慧、张盛斌、张腾骞、方圆、矫震、赵国强、郝金东、侯艳玲、魏清洁、孟祥燕、朱明珠、赵春菲、李星晨、李健、宗云翠、贾亮、王刚、高翌、范明亮、李艳琴。

寒区旧水泥混凝土路面共振碎石化 技术规范

1 范围

本文件规定了寒区旧水泥混凝土路面共振碎石化技术的基本规定、共振碎石化适宜性评价、共振碎石化方案设计、共振碎石化施工、施工质量检查及验收等内容。

本文件适用于寒区采用旧水泥混凝土路面共振碎石化技术的各等级公路养护及改扩建工程，等外公路可参照执行。

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。

- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG 5110 公路养护技术标准
- JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准
- JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范
- JTG/T D33 公路排水设计规范
- 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
- JTG/T F31 公路水泥混凝土路面再生利用技术细则
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JTJ 073.1 公路水泥混凝土路面养护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

共振碎石化

通过共振原理，采用共振破碎机与旧水泥混凝土路面形成共振，将水泥混凝土板块破碎成上部松散、下部嵌锁的粒料层，作为基层或底基层使用的技术，可较好地消除反射裂缝。

3.2

共振破碎机

一种能够产生高频低幅的振动，通过与旧水泥混凝土路面形成共振，将水泥路面就地碎石化的专用破碎设备。

3.3

试振区

共振碎石化正式施工前，为确定基本施工参数而选定的代表性施工区域。

3.4

检查坑

为检验共振碎石化效果，在试振区和共振碎石化正式施工段内随机开挖的试坑。

3.5

碎石层

通过高频震动和激振力，将水泥混凝土板快速破碎为上部碎化，下部嵌挤，表现为碎而不裂、嵌锁咬合状态的结构层。

4 基本规定

4.1 旧水泥混凝土路面共振碎石化应包括前期的调查与分析、方案设计、共振碎石化施工以及施工后的质量检查和验收。

4.2 应对将进行共振碎石化施工的旧水泥混凝土路面进行调查与分析，确定碎石化技术的适宜性，为共振碎石化施工技术的设计与施工提供依据。

4.3 共振碎石化方案设计时，应充分考虑冻融循环频繁、昼夜温差大、基层及土基含水量高等不利条件，合理选择路面结构、材料性能参数，并完善排水设施。

4.4 共振破碎前，应调查及评估沿线设施及敏感建筑物，落实隔振等安全防护措施；应充分调查道路软弱地基、冻胀及冻融破坏等问题，并采取加固或补强处理。

4.5 应通过现场试振试验确定共振碎石化的施工参数，确保碎石化后形成粒径级配合理、嵌挤密实、具备良好承载能力的碎石层。

4.6 共振碎石化施工结束后，应开展碎石层质量检测与验收工作。

4.7 共振碎石化应对破除的混凝土板块、铣刨的沥青面层等各类废旧路面材料进行全过程评估与规划使用，遵循旧料就地利用的原则。

5 共振碎石化适宜性评价

5.1 一般规定

5.1.1 共振碎石化适宜性评价应包括旧路状况调查与分析、沿线构造物、施工环境调查及适宜性评价。

5.1.2 调查时应重点关注路段的水文地质条件，当路段处于低洼地段、地下水位较高区域，应评估其技术适用性。

5.1.3 应对旧水泥混凝土路面板底脱空、冻胀隆起及翻浆等状况进行调查，路基不满足要求应进行处理。

5.2 旧路状况调查与分析

5.2.1 旧路调查应包括基础资料收集、现有技术状况调查及排水设施状况调查。

5.2.2 基础资料包括旧路设计文件、竣工图纸、路段历史交通量、交通组成及轴载谱等相关资料，了解路面结构组成、排水设施设计、交通量及组成等情况，为加铺层的结构设计提供依据。

5.2.3 现有技术状况调查应包括水泥混凝土路面病害、路面结构强度检测、水泥混凝土路面的厚度、面板钻芯劈裂强度、基层钻芯抗压强度及路基 CBR 值等。

- 5.2.4 应调查水泥混凝土路面病害，水泥混凝土路面损坏类型应符合 JTJ 073.1 等规范的要求，并计算路面损坏状况指数 PCI、断板率 DBL、碎板率等。
- 5.2.5 应对旧水泥混凝土路面结构强度进行检测。检测方法应采用 JTG 3450 中 T 0953 落锤式弯沉仪测试弯沉方法或 T0951 贝克曼梁测试路基路面回弹弯沉方法。
- 5.2.6 应对面层和基层取芯实测水泥混凝土路面的厚度、面板钻芯劈裂强度及基层钻芯抗压强度。每公里取样个数不少于 3 个。
- 5.2.7 基层稳定性、路基 CBR 值和路基含水率应通过开挖试坑的方式进行调查，每公里应不少于 1 个试坑。试坑开挖到基层时，应清理基层表面，并记录基层的松散、沉陷、裂缝、破碎粒径大小等情况。基层开挖完成后清理表面，在每个试坑的露出路基区域内，应随机选择至少 6 个点测试 CBR 值，测试方法可采用 JTG 3430 中的 T0134。在测试点附近，清除浮土采集土样，采用 JTG 3430 中环刀法或酒精法实测路基含水率。
- 5.2.8 针对水泥混凝土路面加铺沥青面层的路段，应收集该路段工程的竣工资料、设计文件及历史养护记录，并根据目前的路面裂缝、弯沉等指标，对下层水泥混凝土路面的断板率、碎板率等进行预估。旧混凝土路面厚度、结构强度等参考 5.2.6 和 5.2.7 执行。
- 5.2.9 应对旧路的排水设施及使用状况等进行调查，为排水设计提供依据。
- 5.2.10 旧水泥混凝土路面应按照结构类型、路面病害、路面技术状况、路面结构强度相近情况分段。

5.3 沿线构造物及施工环境调查

- 5.3.1 应通过相关技术资料调研和现场踏勘，查明路线范围内桥梁、涵洞、隧道、挡土墙、沿线构造物等的桩号、分布范围和埋深；参照 JTG/T F31-2014 的 4.2.4 的规定调查道路两侧 8m 宽度范围内的建筑物、分布情况、以及到路面边缘的距离。
- 5.3.2 通过原有技术资料调研、现场踏勘，以及物探、坑探等手段，查明路线范围内的地上、地下管线其桩号、分布范围、埋深等信息，了解管线的性质、技术状态，以及使用年限等信息。
- 5.3.3 应收集和分析气象、水文地质情况、沿线构造物及施工环境等资料。
- 5.3.4 对于受振动影响敏感路段，应评估共振碎石化施工对其影响。

5.4 适宜性分析

- 5.4.1 根据调查结果，开展共振碎石化适宜性分析，应从路面状况、承载能力及周边环境设施等方面综合考虑。
- 5.4.2 适宜使用共振碎石化施工技术的路面技术状况应符合表 1 的规定：

表 1 适用共振碎石化加铺的旧路技术状况要求

评价指标	技术要求
断板率 DBL (%)	5~80
破碎板率 (%)	<30
平均弯沉值 (0.01mm)	≤30

- 5.4.3 旧路路基顶面 CBR 值应符合表 2 的规定。

表 2 路基顶面 CBR 值要求

评价指标	公路等级	
	高速、一级公路	二级及以下等级公路
CBR 值 (%)	≥8	≥6

5.4.4 以下路段不宜采用共振碎石化：

- a) 旧水泥混凝土路面无半刚性结构层、出现基层松散或其他严重结构性损坏；
- b) 因板块破碎导致路面松动、路面内部或路基顶部存在严重脱空、基础软弱出现弹簧土现象，或发生大面积沉陷、翻浆等病害等局部路段；
- c) 对于埋设有非压力类普通公用管线，或存在涵洞、通道、地下综合管廊等构造物，且其覆土深度不足 0.8 m 的路段。

5.4.5 路面下方埋设军用管线，以及民用燃气管道、供水管等压力管线时，不应采用共振碎石化。

5.4.6 周边设施及环境应符合下列规定：

- a) 对于建筑物、构筑物 and 管线等构造物的最小净距应满足表 3 的规定，不满足要求时，应按设计要求采取隔振措施或其他破碎方法；
- b) 受净空限制，不容许加铺新路面的路段不宜进行共振碎石化施工。

表 3 共振碎石化施工作业最小净距

沿线构造物				
类型	桥梁和涵洞	挡土墙		地下管线和地下构造物
		有隔振沟	无隔振沟	
最小净距 (m)	1.5	-	0.5	1.0

6 共振碎石化方案设计

6.1 一般规定

6.1.1 共振碎石化方案设计应根据碎石化后的结构承载能力、交通荷载等级、气候环境条件、沿线筑路材料等因素，结合技术经济比较综合确定。

6.1.2 沥青路面加铺结构验算时，交通、材料和环境参数的要求按照 JTG D50 相关规定执行。

6.1.3 共振碎石化后的碎石化层宜作为改造路面结构的柔性基层。

6.1.4 其他事项按照 JTG D50 和 JTG/T F31 有关结构组合设计要求执行。

6.2 预估设计

6.2.1 预估设计时，旧路面共振碎石化后当量回弹模量应参考本地区类似工程实测数据取值，当本地区无类似工程数据时，宜参考表 4 取值。

表 4 旧路面共振碎石化后板顶当量回弹模量预估取值

基层结构类型	旧路面水泥混凝土抗压强度		共振碎石化板顶当量回弹模量*	
	MPa		MPa	
石灰/水泥稳定碎石	≤30		170~250	
	>30		210~300	
单层水泥稳定粒料	≤30		200~290	
	>30		240~330	
双层水泥稳定粒料	≤30		280~360	
	>30		320~410	

注：*表中取值为动态模量，基层厚度越厚、强度越高、完整性越好、脱空率小取高值，反之取低值。若测得值为静态模量，需乘系数1.1~1.3。

6.2.2 材料设计参数预估值应符合以下规定，共振碎石化加铺路面结构材料设计参数预估值如下：

- a) 沥青加铺层材料设计参数预估值根据 JTG D50 要求确定。
- b) 碎石层材料设计参数预估值可按照表 5 确定。

表 5 碎石层材料设计参数预估取值

材料类型	应用层位	模量取值 MPa	泊松比
碎石层材料	基层	400~800	0.35
注：原板块混凝土强度高，路面结构层刚度大，取高值，反之取低值。			

- c) 旧路基层及以下结构层材料设计参数可根据 JTG D50 中的要求按照相应水平确定。

6.2.3 沥青加铺层

沥青加铺层方案应满足以下要求：

- a) 在旧路调查的基础上，根据公路等级、交通荷载等级、气候环境条件，以及碎石层和旧路基层及以下结构层材料参数预估值，结合工程经验，综合确定加铺层方案；
- b) 沥青加铺层可分为双层或三层，结构设计除依据交通荷载等级外，还应充分考虑季节性、间歇性重载等特殊路段（如农忙季运粮通道），应评估其峰值荷载影响，并针对性使用改性沥青混合料或增加结构层厚度，保障路面在全寿命周期内各种预期荷载下的服务水平；
- c) 沥青加铺层厚度设计和材料组成应按照 JTG D50 的规定执行，其原材料、级配、配合比设计及路用性能应满足 JTG F40 的要求；
- d) 针对寒区气候条件，沥青加铺层材料应优先采用抗低温开裂性能优良的沥青混合料；
- e) 按照 JTG D50 路面结构设计要求对沥青加铺层疲劳开裂寿命、沥青加铺层永久变形量和低温开裂指数进行验算，根据验算结果完善加铺层设计，加铺方案见表 6，沥青加铺层结构设计方法见附录 A。

表 6 水泥混凝土路面共振碎石化加铺层参考结构

公路等级	交通荷载等级	加铺层典型结构（自下而上）
高速、一级公路	中等、轻	8 cm~10 cm 沥青稳定碎石 ATB-25/10 cm~12 cm 厂拌冷再生 RAC-25+5 cm~6 cm AC-20 沥青混凝土+4 cm~5 cm AC-16 改性沥青混凝土
		8 cm~10 cm 沥青稳定碎石 ATB-25/10 cm~12 cm 厂拌冷再生 RAC-25+5 cm~6 cm AC-16 改性沥青混凝土
二级公路及以下	重	8 cm~10 cm 沥青稳定碎石 ATB-25/10 cm~12 cm 厂拌冷再生 RAC-25+5 cm~6 cm AC-20 沥青混凝土+4 cm~5 cm AC-16 改性沥青混凝土
		8 cm~10 cm 沥青稳定碎石 ATB-25/10 cm~12 cm 厂拌冷再生 RAC-25+6 cm~8 cm AC-16 改性沥青混凝土
	中等、轻	8 cm~10 cm 沥青稳定碎石/8 cm~12 cm 厂拌冷再生+4 cm~5 cm AC-16 沥青混凝土
		5 cm~6 cm AC-20 沥青混凝土+4 cm~5 cm AC-16 沥青混凝土

6.2.4 对冻胀、翻浆区域，应在碎石化前进行局部换填或固化处理。

6.2.5 应根据旧水泥混凝土路面调查与分析结果进行排水设计，旧路排水设施满足要求时，应以疏通、维护为主。旧路排水设施不满足要求时，应按照 JTG/T D33、JTG/T F31 的有关规定进行排水设计。

6.2.6 共振碎石化路段与其他路段衔接处应设置过渡段。过渡段的设计应按照 JTG D40 的有关规定进行，并做好防裂设计，防裂材料的要求和防裂措施的设置应按照 JTG/T D32 执行。

6.3 优化设计

6.3.1 共振碎石化完成后，应对碎石化后的路面进行复测复勘。勘测内容包括旧水泥混凝土路面的破碎效果、顶面回弹模量、标高、平整度以及路拱横坡等指标。根据附录 B 计算碎石化层顶面路段回弹模量代表值和当量回弹模量修正值。

6.3.2 共振碎石化后板顶当量回弹模量实测值负偏离预估值 10% 时，采用当量回弹模量修正值对拟定的加铺层重新进行结构验算。当验算不通过时，重新进行加铺层结构设计。

6.3.3 按 JTG D50-2017 附录 B.7 计算路表验收弯沉值。

6.4 透层、黏层、下封层

6.4.1 碎石化层顶面应设置透层，所采用的乳化沥青技术指标及用量可参照 JTG F40 执行。

6.4.2 透层顶面宜设置下封层，下封层可采用道路石油沥青同步碎石封层、SBS 改性沥青同步碎石封层、橡胶沥青同步碎石封层。

6.4.3 下封层采用道路石油沥青同步碎石封层以及橡胶沥青同步碎石封层时，沥青的用量宜为 $1.4\text{ kg/m}^2 \sim 1.8\text{ kg/m}^2$ ，采用 SBS 改性沥青同步碎石封层时，SBS 改性沥青的用量宜为 $1.8\text{ kg/m}^2 \sim 2.2\text{ kg/m}^2$ ，集料粒径宜均为 $4.75\text{ mm} \sim 9.5\text{ mm}$ ，集料撒布量为满铺面积的 70%，撒布均匀，不重叠不漏撒。

6.4.4 沥青面层层间、沥青混凝土与路缘石、雨水口、检查井等构造物接触面之间，应喷洒黏层油。

7 共振碎石化施工

7.1 一般规定

7.1.1 共振碎石化施工前，应根据工程设计文件，进行现场调查，核实工程数量，划分施工段落，合理确定施工设备，按工期要求、施工难易程度、气候条件制定可行的施工组织设计，符合要求后方可施工。

7.1.2 共振碎石化应做好雨水的防治工作。遇雨、雪等恶劣天气，不宜进行共振碎石化施工，已破碎而未施工封层的路段宜采取防排水措施，不应受水浸泡。

7.1.3 共振碎石化施工时，应充分考虑后续工序的衔接，当沥青加铺层不具备施工条件时，不应旧混凝土路面进行碎石化。

7.1.4 未施工封层的已破碎路段，禁止与施工无关的车辆通行。施工车辆不应随意在碎石化层上刹车和调头。

7.2 施工设备

7.2.1 共振破碎机宜采用高频低幅类，其技术参数应满足表 7 技术要求。

表 7 共振破碎机主要技术参数

设备参数	振动频率 (Hz)	振幅 (mm)	锤头宽度 (mm)	发动机功率 (kw)	工作效率 (m^2/d)	共振速度 (km/h)
要求	44~70	10~20	150~300	≥ 400	2 500~4 000	3.5~5

7.2.2 其它设备宜包括单钢轮振动压路机（自重不宜小于 12 t）、小型振动压路机（自重 1 t~2 t）、轮胎压路机、洒水车 and 乳化沥青碎石封层洒布车等。

7.2.3 施工前应做好设备保养和调试，保证施工所需的共振破碎机、碾压设备、洒水车、碎石封层洒布车以及检测仪器等设备的正常运行。

7.3 施工准备

7.3.1 碎石化施工前，应对旧水泥混凝土路面原有排水系统进行检查与评估，排水系统检查要求应符合以下规定：

- a) 施工前应对原有排水系统进行仔细检查评估，若原有排水系统较为完善，可对原排水系统进行疏通或修整，否则应在施工前 2 周~4 周根据设计文件重新设置排水系统。
- b) 在路基平均含水率与最佳含水量之差大于 10%、凹形竖曲线底部、平曲线超高路段的低边等排水不畅的路段应增设横向排水盲沟。

7.3.2 施工前应先清除旧混凝土板块上存在的修补料或者其他材料。

7.3.3 构造物标识和保护应符合以下要求：

- a) 核实沿线上跨构筑物、房屋、桥梁、管涵、地下管线和地下构造物、挡土墙、边沟等应保护的构造物的位置，并区分标注，注明相关信息及注意事项；
- b) 对道路沿线上的可利用的旧交通标识、标志进行保护，降低共振碎石化施工对交通标识、标志的影响；
- c) 对于施工区域周边受振动影响敏感的构造物，为减小或消除破碎施工的不良影响，在破碎前对道路边缘 0 cm~80 cm 内的水泥板进行预先打裂；沿路肩外侧边缘/道路路基外侧开挖深度与宽度分别不小于 80 cm 和 50 cm 的隔振沟。

7.3.4 应在碎石化路段的施工影响区域外设置高程水准控制点，以便在施工中复测高程的变化，指导加铺层施工。

7.3.5 破碎前 30 分钟内，宜用洒水车对准备破碎的路面进行预先洒水，控制共振碎石化施工现场的扬尘。

7.4 试验段施工

7.4.1 大面积施工前，应分别选择具有代表性的旧水泥混凝土路段作为试验段，试验段长度不宜小于 200m，宽为单幅路面宽度。

7.4.2 施工技术参数初定时，共振破碎机的振动频率可参照公式（1）及公式（2）计算。

$$f = \frac{\pi}{2} \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \dots\dots\dots (1)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- f ——四边简支时，水泥面板的自由振动频率；
 m, n ——振动频率的阶数；
 a, b, h, ρ ——水泥面板的长度、宽度、厚度和密度；
 D ——水泥面板抗弯刚度；
 E ——水泥面板的回弹模量；
 μ ——水泥面板的泊松比。

缺乏调查数据时可参考表 7 的技术参数范围，通过逐级调整机械破碎参数，横向锤间距 200mm~300mm。分区域对试验路段进行共振碎石化施工，并记录每个区域采用的施工参数。

7.4.3 试振破碎完成后按本文件 8.1.1、8.1.2 和表 8 的要求进行施工过程自检，将满足技术要求的施工参数作为正式的共振碎石化施工技术参数。应通过试验段确定下列施工技术参数：

- a) 共振破碎机的振动频率、振幅、横向锤间距、锤头宽度、工作速度；
- b) 压路机组合、碾压遍数、碾压速度；
- c) 封层材料用量。

表 8 水泥混凝土路面共振碎石化施工自检项目

项次	检查内容		标准	合格率	检查方法和频率
1	破碎程度	顶层 (0~h/3)	粒径≤7.5 cm	≥75%	检查坑检测、直尺, 试验段每 50 m 一处。
		底层 (h/3~h)	粒径≤31.5 cm	≥75%	
	其余部分	破碎深度	裂缝贯穿板厚	100 %	按附录C取芯或检查坑检测, 试验段每 50 m 一处。
		裂缝条数	每枚芯样在底部 2/3 厚度内应观测到不 小于3条斜向裂缝		
		裂缝走向	35° ~60° 斜向裂缝		
碎块结合状态	嵌锁咬合、裂而不散				
3	顶面回弹模量		符合设计要求	100%	承载板, 试验段 50m 一处。

7.4.4 试验段结束后, 应及时整理施工资料, 明确标准施工工艺流程, 编制试验路段总结报告, 完善施工组织设计。

7.5 共振碎石化施工

7.5.1 共振碎石化施工的破损顺序应满足以下要求:

- a) 破碎施工应从路面低处向高处进行, 先破碎路面两侧车道, 再破碎中间行车道; 不应漏破、斜向破碎、重复破碎。
- b) 破碎单车道路面时, 锤头应破碎至路面最外侧边缘; 破碎多车道路面时, 相邻车道破碎搭接宽度不应小于 15 cm。

7.5.2 基层强度高或水泥板过厚路段, 应适当调整设备工作参数, 施工前采用打裂或其他手段对混凝土路面进行预裂处理。预裂后的区域应重新进行试验段施工, 确定共振碎石化的各项施工参数。

7.5.3 共振碎石化施工期间, 应派人对沿线周围的构造物进行实时观察, 发现构造物有开裂趋势时应立即停止施工, 调查分析其原因并采取措施后方可继续施工。

7.5.4 共振碎石化后, 应根据表 9 中的弯沉和顶面回弹模量指标要求以及检测结果, 按以下规定采取处置措施:

- a) 弯沉偏大或结构承载力不足时, 应暂停共振作业, 采用静压或振动压路机进行复压稳固; 若弯沉仍超限, 应采用注浆、局部换填、加铺稳定层或挖除重铺等方法加固。
- b) 对于发生唧泥翻浆、路基沉陷、严重碎板等需局部补强段落应采用换填方式进行处治, 处治后不再进行共振碎石化作业。
- c) 换填时应按旧路路面结构逐层开挖至满足该层设计承载力要求的深度。路基可采用结构层碎块、级配碎石、填隙碎石, 或其它符合要求的透水性材料换填处理, 基层可采用贫混凝土或水稳碎石(具备施工作业面时使用)回填至距水泥板顶面标高 18 cm~20 cm, 再采用级配碎石回填至水泥板顶面标高并压实, 级配碎石应满足 JTG F31 中的技术要求。
- d) 共振碎石化不足时, 应重新调整激振频率、激振力及行进速度等参数, 对该路段进行二次碎石化处理。

7.5.5 碎石层的清理应满足以下要求：

- a) 人工清除破碎层上的填缝料、胀缝料及其它杂物。
- b) 如果破碎层表面有钢筋外露，若钢筋埋深较浅且条件允许，应移除整片钢筋，否则应将外露部分剪除至与破碎层顶面齐平，破碎层中的钢筋可保留在原处。
- c) 对于一次破碎后个别面积大于 1 m^2 的板块，宜在碾压前用人工或小型气动冲击设备补充破碎。
- d) 对于碎石层表面局部存在粒径大于 10 cm 的碎块，应清除并采用级配碎石回填。

7.5.6 碎石层碾压应满足以下要求：

- a) 直线和不设超高的平曲线段，由路肩向路中心碾压；设超高的平曲线段，由内侧向外侧进行碾压；超高路段由低处向高处碾压；
- b) 为加强碾压效果，应洒水碾压，洒水量宜不多于 3 kg/m^2 。并在施工允许条件下，尽可能提高碾压遍数；
- c) 初压采用单钢轮静压 1 遍~2 遍，单钢轮高频低幅振动碾压 2 遍后使泥浆浮出表面，通过补撒石屑，必要时补撒水泥进行碎石层的调平，后采用胶轮碾压 1 遍进行收面；
- d) 采用振动压路机碾压时相邻碾压带应重叠 10 cm ~ 20 cm 的碾压宽度，折回时应先停止振动；轮胎压路机碾压时相邻碾压带应重叠不少于 $1/3$ 的碾压轮宽度；
- e) 对路面边缘、加宽及港湾式停车带等大型压路机难以碾压的部位，宜采用小型振动压路机作补充碾压。

7.5.7 碾压完毕后，应对碎石层进行调平和衬垫，调平和衬垫应满足以下要求：

- a) 当碎石化后的路面标高、平整度、路拱横坡不满足设计要求时，在铺筑加铺结构层之前，可选择沥青/水泥稳定碎石、级配碎石进行调平和衬垫，所用材料满足 JTG/T F20、JTG F40 要求；
- b) 采用级配碎石调平或碎石封层调平与衬垫时，采用级配碎石时不宜超过两层；采用沥青稳定类材料时，沥青层摊铺厚度应满足 JTG F40 的相应要求。

7.5.8 共振碎石化碾压调平后应在表面水分充分晾晒干燥后及时进行透层、封层施工，防止扬尘和雨水渗入。碎石封层施工宜优先选择同步施工工艺，及时保护碎石层。

7.5.9 透层、黏层和封层的材料、用量及施工技术要求应符合 6.4 和 JTG F40 的要求。透层油用量宜据现场喷洒渗透效果综合确定，要求透层油渗透深度不小于 10 mm 。黏层油应采用快裂或中裂乳化沥青。

7.5.10 交通组织与封闭管理应符合下列规定：

- a) 共振碎石化施工应实行全封闭或半封闭交通组织，施工区段两端与两侧应设置导改与防护设施，严禁社会车辆进入未封层的已破碎路段；
- b) 采用半幅封闭施工时，作业幅与通行幅之间应设置刚性隔离与限速、限高、限宽控制，通行侧行车速度应符合 JTG 5110-2023 中 6.5.5 的要求；
- c) 施工封闭范围应覆盖破碎、碾压、封层与下封层施工全过程；
- d) 其他封闭交通措施应参照 JTG 5110 中的相应要求。

8 施工质量检查及验收

8.1 共振碎石化施工质量检验

8.1.1 应在距路肩 2.0 m ~ 2.5 m 处随机开挖检查坑，检查坑尺寸为： 1 m （长） \times 1 m （宽） \times h （旧水泥混凝土板厚度）。试坑检查完后，应采用级配碎石回填。

8.1.2 若检查坑深度达不到旧混凝土板厚 h ，采用取芯方式检测破碎情况，取芯规格为 $\Phi 150\text{ mm}\times h_1$ （ h_1 为剩余板厚）。

8.1.3 水泥混凝土路面共振碎石化施工检验项目应符合表 9 中的要求；不满足要求时，应及时查明原因，调整施工参数。

表 9 水泥混凝土路面共振碎石化施工检验项目

项次	检查内容		标准	合格率	检查方法和频率
1	破碎程度	顶层 ($0 \sim h/3$)	粒径 ≤ 7.5 cm	$\geq 75\%$	每车道每公里不少于 2 处
		底层 ($h/3 \sim h$)	粒径 ≤ 31.5 cm	$\geq 75\%$	
	其余部分	破碎深度	裂缝贯穿板厚	100%	每车道每公里不少于 2 处
		裂缝条数	每枚芯样在底部 2/3 厚度内应观测到不小于 3 条斜向裂缝		
		裂缝走向	$35^\circ \sim 60^\circ$ 斜向裂缝		
碎块结合状态	嵌锁咬合、裂而不散				
	回弹弯沉值 ^a		≤ 90 (0.01mm)	$\geq 95\%$	落锤式弯沉仪全线连续、每车道每 20m 测一点/贝克曼梁每车道每公里不少于 20 个测点
3	顶面回弹模量		符合设计要求	$\geq 95\%$	每车道每公里不少于 3 处
4	平整度		≤ 2.0 cm	$\geq 75\%$	3m 直尺，每 100m 测 1 处 $\times 5$ 尺
5	纵断面高程		± 2.0 cm	$\geq 75\%$	水准仪，1 处/200m，4 个断面/处
6	横坡		$\pm 0.5\%$	$\geq 75\%$	水准仪，1 处/200m，4 个断面/处
7	排水设施		顺畅	100%	目测，观察出水口情况，200m 一处。

8.1.4 乳化沥青封层破乳稳定后，立即检测顶面回弹弯沉值，弯沉值应满足表 9 要求。若不满足要求，应通过承载板实测顶面回弹模量进行复核，当回弹模量低于设计要求时，应查明原因并进行相应处治。

8.2 施工后质量检验验收

8.2.1 水泥混凝土路面共振碎石化结构层外观质量应符合下列规定：

- 碎石化层表面应平整、坚实，不得有松散、不稳定的现象；
- 共振碎石化后的路面破碎程度应满足设计要求。

8.2.2 水泥混凝土路面共振碎石化结构层实测项目应符合表 10 中的规定：

表 10 水泥混凝土路面共振碎石化实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率
1	顶面当量回弹模量	不小于路段当量回弹模量代表值 ^b		T0934：每 3 000m ² 测一处
2	破碎程度	顶层 ($0 \sim h/3$)	粒径 ≤ 7.5 cm	钢直尺、检查坑/取芯：每 1 500m ² 测一处
		底层 ($h/3 \sim h$)	粒径 ≤ 31.5 cm	

表10 水泥混凝土路面共振碎石化实测项目（续）

项次	检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率	
2	破碎程度	其余部分	破碎深度	裂缝贯穿板厚	钢直尺、检查坑/取芯：每 1 500 m ² 测一处
			裂缝条数 ^b	每枚芯样在底部 2/3 厚度内应观测到不小于 3 条斜向裂缝	
			裂缝走向	35° ~60° 斜向裂缝	
			碎块结合状态	嵌锁咬合、裂而不散	
^a 路段当量回弹模量代表值参照附录 A.3 确定； ^b 满足裂缝条数及裂缝走向要求的芯样比例应不低于 95%；不足时应复打或采取补强措施后复检。					

8.2.3 沥青加铺层检查验收应按照 JTG F40、JTG 5220、JTG F80/1 等执行。

附录 A
(资料性)
沥青加铺层结构设计

A.1 一般规定

A.1.1 加铺层结构设计宜采用动态设计理念，分为预估设计与优化设计两个阶段。实测计算回弹模量值相对预估回弹模量值负偏离超过 10%时，宜重新进行加铺层结构设计。

A.1.2 水泥路面共振碎石化沥青路面加铺结构组合设计流程见图A.1。

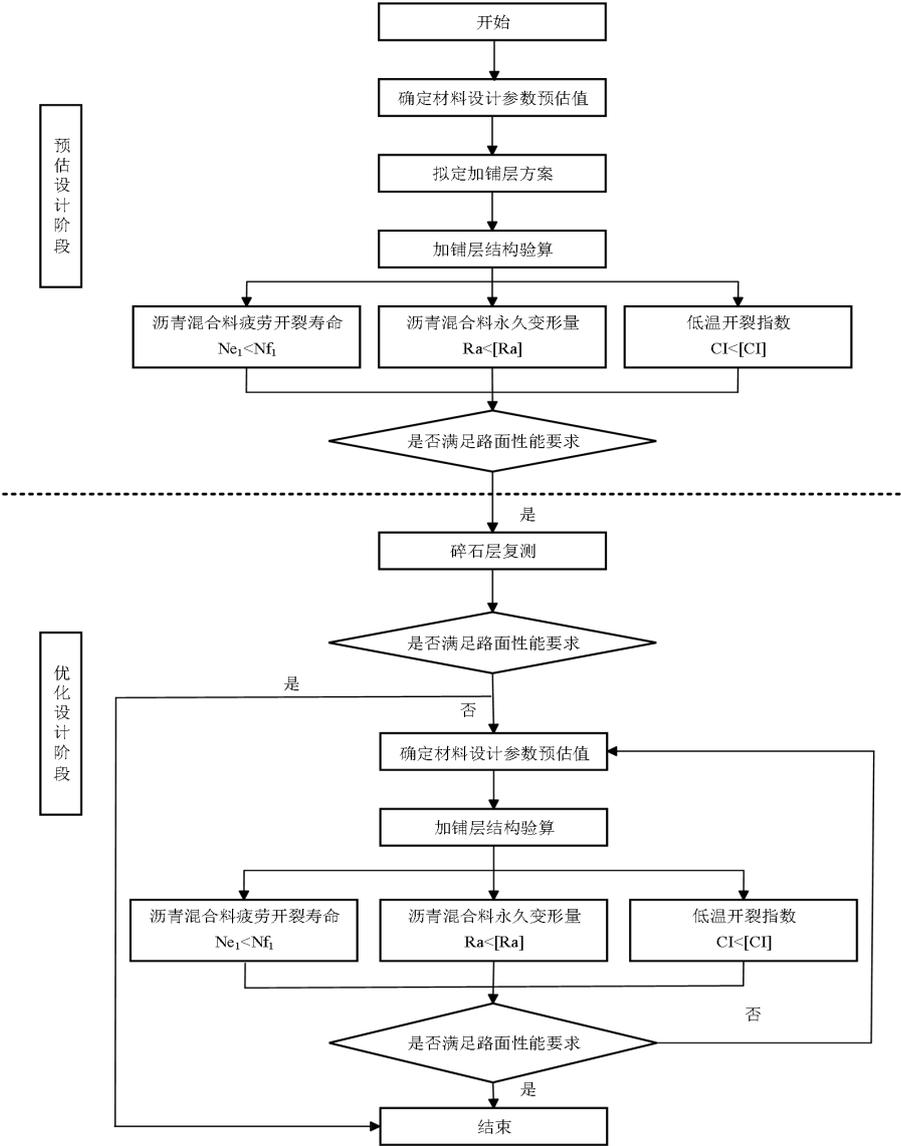


图 A.1 沥青加铺层结构设计流程图

A.2 预估设计

A.2.1 材料设计参数预估值应符合以下要求：

- a) 旧路面共振破碎后顶面回弹模量预估代表值的计算确定参照 JTG/T F31-2014 中 4.4.7 条的相关规定执行；
- b) 沥青加铺层材料设计参数预估值参照 JTG D50-2017 中 5.5.11 和 5.6.1 节要求确定。

A.2.2 加铺层结构设计时，对于中轻交通，缺少经验时，可参考表 6 进行结构试算；对于重交通路段应按照路面结构设计要求对沥青加铺层疲劳开裂寿命、沥青加铺层永久变形量和低温开裂指数进行验算后综合确定。

A.3 优化设计

A.3.1 碎石层复测应符合以下要求：

- a) 应优先采用 JTG 3450 中承载板法 T 0943 现场实测碎石层顶面回弹模量值。碎石层顶面回弹模量修正值确定参照 JTG/T F31-2014 中 4.4.9 条的相关规定执行。
- b) 若现场实测的是碎石层顶面的回弹弯沉值，应参照附录 B 计算碎石层顶面当量回弹模量代表值和当量回弹模量修正值。

A.3.2 加铺层结构验算依据碎石化层石顶面当量回弹模量修正值，按照 JTG D50 路面设计要求对拟定的加铺层结构进行验算并优化，使之满足路面性能设计要求，并且经济合理。

附录 B

(资料性)

碎石层顶面当量回弹模量的计算方法

B.1 适用范围

本方法适用于旧水泥混凝土板共振碎石化后,通过实测碎石层顶面的回弹弯沉值,确定碎石层顶面计算回弹模量值。

B.2 测点顶面当量回弹模量值

乳化沥青封层破乳稳定后,采用JTG 3450中T0953落锤式弯沉仪测定弯沉的方法测定碎石层顶面的回弹弯沉,按公式(B.1)计算碎石层顶面当量回弹模量。

$$E_{tci} = \frac{176PR}{l_{0i}} \quad (\text{B.1})$$

式中:

E_{tci} ——各测点碎石层顶面当量回弹模量值(MPa);

P ——落锤式弯沉仪承载板施加荷载(MPa);

R ——落锤式弯沉仪承载板半径(mm);

l_{0i} ——各测点落锤式弯沉仪承载板中心点弯沉值(0.01mm)。

B.3 路段实测当量回弹模量代表值

在路段各测点当量回弹模量数据的基础上,按照公式(B.2)~公式(B.4)计算确定路段碎石层顶面当量回弹模量代表值。路段当量回弹模量代表值用以评定共振破碎后路段结构承载力,各测点当量回弹模量不应小于路段当量回弹模量代表值。

$$\bar{E}_{tc} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{tci}}{n} \quad (\text{B.2})$$

$$E_{tc} = \bar{E}_{tc} - Z_a S \quad (\text{B.3})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{tci} - \bar{E}_{tc})^2}{n-1}} \quad (\text{B.4})$$

式中:

\bar{E}_{tc} ——所用测点的当量回弹模量平均值(MPa);

n ——测点数;

E_{tc} ——碎石层顶面实测回弹模量代表值(MPa);

Z_a ——保证率系数,高速、一级公路取1.645,二级及以下公路取1.282;

S ——标准差。

B.4 路段实测当量回弹模量修正值

碎石层顶面当量回弹模量代表值经修正后用以优化设计阶段加铺层结构验算分析,按照公式(B.5)计算确定。

$$E_{sj} = aE_{tc} \quad (\text{B.5})$$

式中：

E_{sj} ——碎石层顶面回弹模量修正值（MPa）；

a ——考虑到碎石层通车稳定后密实度变化确定的模量修正系数，可取 1.05~1.15。交通等级高、加铺层厚度大取高值，反之取低值。

附录 C

(资料性)

水泥混凝土路面碎石层取芯与状态判别

C.1 适用范围

本方法为旧水泥混凝土板共振碎石化后,对下部嵌挤层进行取芯。该方法适用于检查坑深度达不到旧混凝土板厚 h ,采用取芯方式观测碎石层的破碎深度、裂缝开裂角度,以及碎块结合的状态。

C.2 仪器与材料要求

- C.2.1 盛样器(袋)或铁盘等;
- C.2.2 试样标签;
- C.2.3 挖坑用的铲子、铁锹、毛刷等;
- C.2.4 取芯机,应配备淋水冷却装置,钻头直径为 $\Phi 150\text{ mm}$ 。
- C.2.5 量尺:钢板尺、钢卷尺等。

C.3 试验步骤

- C.3.1 宜参照JTG 3450中T0902规定的方法确定取芯位置,应避开板边、板角和接缝处。
- C.3.2 用铲子清除掉上部松散层碎石,并用毛刷清扫干净;
- C.3.3 按JTG 3450中T0903的方法进行钻芯取样。在钻进的过程中,开裂的碎块易形成卡钻。当遇到这一情况时,应将钻头提起,并再次钻进,反复多次直至钻至板底;

C.4 芯样评定

针对下列项目进行芯样分析评定:

- a) 观测裂缝贯穿的深度,确定裂缝有无贯穿板厚;
- b) 观测裂缝走向,是垂直裂缝,还是斜向裂缝;
- c) 判断碎块结合的状态,是嵌锁咬合、裂而不散的状态,还是松散状态。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 土工试验方法标准: GB/T 50123-2019[S]. 中国计划出版社, 2019.
 - [2] 中华人民共和国交通运输部. 公路技术状况评定标准: JTG 5210-2018[S], 人民交通出版社, 2018.
 - [3] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准: JTG B01-2014[S], 人民交通出版社, 2014
 - [4] 中华人民共和国交通运输部. 季节性冻土地地区公路设计与施工技术规范: JTG/T D31-06-2017[S], 人民交通出版社, 2017.
 - [5] 中华人民共和国交通运输部. 公路养护安全作业规程: JTG H30-2015[S], 人民交通出版社, 2015.
-