

DB33

浙 江 省 地 方 标 准

DB33/T 2191—2019

公路水泥路面共振碎石化及沥青路面加铺 设计和施工技术规范

Technical specifications for design and construction of resonant rubblization and
asphalt overlay on old highway cement pavement

2019-03-04 发布

2019-04-04 实施

浙江省市场监督管理局 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.....	1
4 基本要求.....	2
5 调查与评价.....	2
5.1 一般规定.....	2
5.2 资料搜集.....	2
5.3 旧路调查.....	2
5.4 沿线设施和环境调查.....	2
5.5 适宜性评价.....	3
6 结构组合设计.....	3
6.1 一般规定.....	3
6.2 设计方法.....	3
6.3 预估设计.....	4
6.4 优化设计.....	6
7 施工.....	6
7.1 一般规定.....	6
7.2 施工准备.....	6
7.3 共振破碎.....	7
7.4 碎石层清理.....	8
7.5 碎石层碾压.....	8
7.6 透层、黏层、下封层和沥青面层施工.....	9
7.7 安全文明施工和交通组织.....	9
8 质量检验.....	10
8.1 一般规定.....	10
8.2 碎石层质量检验.....	10
8.3 加铺层质量检验.....	10
附录 A（规范性附录） 结构组合设计流程.....	12
附录 B（规范性附录） 水泥混凝土板碎石层取芯与评定.....	13
附录 C（规范性附录） 碎石层顶面当量回弹模量的确定.....	14
附录 D（资料性附录） 共振碎石化沥青路面加铺设计示例.....	16

前 言

本标准依据GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：浙江省公路管理局、同济大学、临海市公路管理局。

本标准主要起草人：朱定勤、周海生、邱文静、陈文、马建青、孙大权、张能刚、余泉、庞伟、陈宏坡。

公路水泥路面共振碎石化及沥青路面加铺设计和施工技术规范

1 范围

本标准规定了公路水泥路面共振碎石化及沥青路面加铺（以下简称共振碎石化加铺）调查与评价、结构组合设计、施工及质量检验等技术要求。

本标准适用于共振碎石化加铺设计、施工和检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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。

DB33/T 937	公路同步碎石封层设计与施工技术规范
JTG/T D33	公路排水设计规范
JTG D50—2017	公路沥青路面设计规范
JTG E60—2008	公路路基路面现场测试规程
JTG/T F31—2014	公路水泥混凝土路面再生利用技术细则
JTG F40—2004	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
JTG H30	公路养护安全作业规程
JTJ 073.1—2001	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

破碎板 broken plate

板块被严重裂缝交叉分割为4块以上碎块，或被中等裂缝交叉分割为5块以上碎块的情形称为破碎板。

3.2

共振碎石化 resonant rubblization

使用专用共振碎石化设备，在水泥混凝土板块共振频率或接近其共振频率的条件下，运用足够的破碎动能将混凝土板破碎并达到共振破碎状态。

3.3

板块共振破碎状态 broken condition

水泥混凝土板经专用共振碎石化设备破碎后，板块的上半部分呈现为小于 10cm 的粒状碎块，相对松散到密实的状态；板块下半部分为 10cm~24cm 的粒状碎块，呈现嵌锁咬合的状态。

3.4

预裂技术 pre-cracking technology

对共振碎石化设备难以直接破碎和设备难以达到的，采取其他破碎工艺对水泥混凝土板进行预先破裂的技术。

4 基本要求

4.1 共振碎石化加铺前，应对旧水泥路面（以下简称“旧路”）技术状况、交通状况和环境条件进行全面调查分析。根据分析结果，采取相应的设计。

4.2 共振碎石化加铺设计和施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 调查与评价

5.1 一般规定

5.1.1 旧路调查包括基础资料、技术状况、交通状况、气候、水文地质、沿线设施，以及环境条件等。

5.1.2 根据调查结果，对采用共振碎石化加铺作出适宜性评价。

5.2 资料搜集

5.2.1 原设计文件、竣工图相关资料。

5.2.2 通车运营期间的养护资料和路面检测资料。

5.2.3 历史交通量、车辆构成、轴载分布和交通增长率。

5.2.4 所在地区的气候、水文地质和环境条件等资料。

5.3 旧路调查

5.3.1 通过现场勘察和室内试验等方法对旧路技术状况进行评定。

5.3.2 应对水泥混凝土板破损状况（PCI）、板底脱空状况、断板数量、破碎板数量、板块厚度、混凝土弯拉强度，换板及修补情况进行调查。

5.3.3 应对旧路结构的基层材料、厚度、材料强度等技术状态进行调查。

5.3.4 应对旧路结构的路基回弹模量、含水率，以及 CBR 值进行调查。

5.3.5 应对旧路的排水设施及其使用状况进行调查。

5.4 沿线设施和环境调查

5.4.1 沿线构筑物、建筑物调查

通过相关技术资料调研和现场踏勘，应查明红线内的桥梁、涵洞、挡土墙，以及沿线构筑物等的桩

号、分布范围和埋深；应查明红线外 20m 内道路两侧的建筑物、构筑物的桩号、分布范围，以及结构状况。

5.4.2 沿线管线调查

通过原有技术资料调研、现场踏勘，以及物探、坑探等手段，查明红线范围内的地上、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。

5.4.3 环境调查

5.4.3.1 了解旧路区域内的降水情况，地下水的分布、埋深，以及水位涨落等情况。

5.4.3.2 应调查临崖路段、边坡路段环境地质状况。

5.4.3.3 对于受振动影响敏感路段，应了解共振碎石化施工对其影响。

5.5 适宜性评价

5.5.1 路面技术状况评价

根据 5.3.2 的调查结果，计算断板率、破碎板率。按照表 1 给出的断板率或破碎板率评价标准对旧路进行共振碎石化的适宜性做出评价。

表 1 适用共振碎石化加铺的路面技术状况标准

评价指标	断板率 ^a DBL %	破碎板率 ^b %
适宜标准	<80	<30
^a 断板率：断板率的计算参照 JTJ 073.1-2001 中公式 5.2.2 执行； ^b 破碎板率：破碎板占板块总数的百分比称为破碎板率。		

5.5.2 沿线设施及周边环境

5.5.2.1 对于建筑物、构筑物和管线的水平净距或垂直净距不满足表 6 要求的情况，不宜直接采用共振碎石化加铺方案。

5.5.2.2 对于净空标高受限的路段，不应采用共振碎石化加铺方案。

6 结构组合设计

6.1 一般规定

6.1.1 共振碎石化后的碎石层主要用于改建路面结构的柔性基层。

6.1.2 结构组合设计时，应根据共振碎石化后的结构强度、交通荷载等级、气候环境条件、当地材料供应情况等因素，结合技术经济比较综合确定。

6.1.3 路面结构验算时，交通、材料和环境参数的要求参照 JTG D50—2017 6.3 节标准执行。

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 设计方法

6.2.1 加铺层结构设计应采用动态设计理念，设计分预估设计和优化设计两个阶段。

6.2.2 依据 JTG D50 结构组合设计方法进行加铺层设计。设计流程按照附录 A 执行。

6.3 预估设计

6.3.1 材料设计参数预估值

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 D50-2017 中 5.5.11 和 5.6.1 节要求确定；
- b) 碎石层材料设计参数预估值可按照表 2 确定。

表 2 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 ^a MPa	泊松比
碎石层材料	基层	400~800	0.35

^a 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可根据 JTG D50-2017 中 5.1.4 的要求按照相应水平确定。当按照水平三典型数值确定材料模量时，应考虑材料的变异水平按照式 (1) 计算确定。

$$E_0' = \frac{E_0}{R_r} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E_0' ——材料模量预估值；

E_0 ——按照水平三典型数值确定的材料模量值；

R_r ——可靠度系数，根据表 3 确定结构层设计目标可靠度，结合材料变异水平按照表 4 确定材料的可靠度系数。

表 3 结构层设计目标可靠度

公路技术等级	高速	一级	二级	三级
设计使用年限（年）	15	15	12	10
目标可靠度（%）	≥95	≥90	≥85	≥80

表 4 可靠度系数^a

可靠度系数 变异水平 ^b	目标可靠度 %			
	≥95	≥90	≥85	≥80
低	1.20~1.33	1.09~1.16	1.04~1.08	—
中	1.33~1.50	1.16~1.23	1.08~1.13	1.04~1.07
高	—	1.23~1.33	1.13~1.18	1.07~1.11

表 5 可靠度系数（续）^a

可靠度系数 变异水平 ^b	目标可靠度 %				
		≥95	≥90	≥85	≥80
^a 旧路结构层材料的实际状况好，可靠度系数取低值，反之取高值。四级及等外级公路目标可靠度系数可参照三级标准取值； ^b 根据旧路使用年限确定旧路材料的变异水平，使用年限越长，材料变异水平越高。					

6.3.2 沥青加铺层

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，拟定如下加铺层方案：

- 水泥路面共振破碎后沥青加铺层最小厚度：轻中交通荷载等级公路最小加铺厚度不应小于 12cm；重交通荷载等级公路最小加铺厚度不应小于 15cm；特重交通等级公路最小加铺厚度不应小于 18cm。重交通等级、特重交通等级公路加铺层数不应少于三层，其余交通等级公路加铺层数不应少于两层。
- 沥青加铺层材料应按照 JTG D50-2017 中 5.5 条规定执行；
- 按照 JTG D50 路面结构改建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。

6.3.3 板块修复方案

板块修复方案如下：

- 旧路存在的破碎板，共振破碎施工前应凿除，并采用不低于原板块强度等级的水泥混凝土重新铺筑；
- 对于旧路路基和基层存在的病害，应先行修复，再铺筑水泥混凝土板。路基可采用级配碎石、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 C20 素混凝土修复，当基层损坏深度小于 10cm 时，可将基层与面层一体铺筑水泥混凝土板。

6.3.4 透层、黏层和下封层

6.3.4.1 碎石层宜设置透层。透层油应采用渗透性好的乳化沥青。用量可参照 JTG F40-2004 表 9.1.4 无结合料粒料基层的规格和要求，根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 8mm。

6.3.4.2 沥青层间，沥青混凝土与路缘石、雨水口、检查井等构筑物接触面之间，应喷洒黏层油。黏层油应采用快裂或中裂乳化沥青，用量可参照 JTG F40 的相关要求执行。

6.3.4.3 下封层可设置碎石封层，碎石封层厚度不宜超过两层。材料的技术要求应满足 DB33/T 937 的相应标准。

6.3.5 排水设计

根据 5.3.5 的调查，旧路已有排水设施满足要求的，应以疏通、维护为主；不满足排水要求的、现状无排水设施的，应按照 JTG/T D33、JTG/T F31 中的有关规定重新进行排水设计。

6.3.6 防裂设计

共振碎石化路段与其他路段衔接处应进行防裂设计。防裂材料的要求和防裂措施的设置应按照相应规范执行。

6.4 优化设计

6.4.1 碎石层复测复勘

6.4.1.1 共振破碎完后，应对破碎后的路面进行复勘复测。勘测内容包括水泥路面的破碎效果，碎石层顶面的当量回弹模量、路面标高、平整度，以及路拱横坡等指标。

6.4.1.2 根据附录 C 计算碎石层顶面路段当量回弹模量代表值和当量回弹模量修正值。

6.4.2 加铺层结构验算

6.4.2.1 依据碎石层顶面当量回弹模量修正值，按照 JTG D50 路面改建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。

6.4.2.2 按 JTG D50—2017 附录 B.7 计算加铺层结构验收弯沉值。

6.4.3 结构补强

6.4.3.1 下列情况应进行补强设计：

- a) 碎石层顶面当量回弹模量的实测值小于路段当量回弹模量代表值的情形；
- b) 碎石层受水浸泡的情形，以及路段出现弹簧、翻浆的情形。

6.4.3.2 补强设计要求如下：

- a) 顶面回弹模量实测不符合要求时，可采用注浆加固、翻挖重铺结构层的方法补强；
- b) 对于碎石层受水浸泡的情况，以及弹簧、翻浆的情形，按照 JTG/T F31-2014 中 4.3.1 条目的规定，采用翻挖换填处理。

6.4.4 调平与衬垫

6.4.4.1 当破碎后的地面标高、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，可选择级配碎石、碎石封层或沥青稳定类材料进行调平与衬垫。所用材料满足相应标准要求。

6.4.4.2 采用级配碎石调平或碎石封层调平与衬垫时，不宜超过两层；采用沥青稳定类材料调平与衬垫时，沥青层摊铺厚度应满足 JTG F40 的相应要求。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 共振碎石化施工前应制定详细、可行的施工组织设计和交通组织方案。

7.1.2 雨、雪等恶劣天气不应进行共振碎石化施工，已破碎路段应及时覆盖防雨防水土工布，并采取有效排水措施，碎石层不应受水浸泡。

7.1.3 共振破碎后宜连续开展后续施工，碎石层的裸露时间不宜超过 3d，碎石层不得开放交通。

7.2 施工准备

7.2.1 共振破碎设备

共振破碎机主要性能参数应满足表 5 的要求。

表 6 共振破碎机主要性能参数要求

项目	振动频率 Hz	振幅 mm	锤头宽度 mm	发动机功率 hp	行进速度 km/h
性能参数	40~60	10~20	150~300	不低于 500	2.0~4.0

7.2.2 破碎界限

施工前应明确下列要求并标出不适宜破碎区域：

- 工程范围内构筑物、建筑物、管线等有专门规定安全距离标准的，应从其规定；
- 共振碎石化施工作业面距建筑物、构筑物和管线的最小净距不宜小于表 6 给出的标准。无法避免时，应采取隔振措施或其他破碎方法。

表 7 共振碎石化施工作业最小净距

方向	水平方向						垂直方向	
	桥梁及搭板	涵洞	挡土墙	检查井	两侧建筑物	地下、地上管线或地下构筑物	无压管线	压力管线
最小净距 m	4.5m 或一块板	1.5	1.0	1.0	6.0	1.0	0.5	1.0

- 路堤路段水泥路面，共振破碎作业面应与路肩边缘保持一定的安全距离：土路肩不低于 150cm，硬路肩不低于 100cm。

7.2.3 隔振措施

对于施工区域周边受振动影响敏感的建筑物、构筑物和管线，为减小或消除共振破碎施工产生的不良影响，可采取以下隔振措施：

- 共振破碎前，对道路边缘 0~80cm 内的水泥板预先打裂；
- 距离路肩外侧不宜小于 1m，开挖深度 50cm~80cm，宽度 30cm~50cm 的隔振沟。

7.2.4 破碎板重铺

破碎板应凿除重铺。重铺的水泥混凝土板强度达到设计强度的 75% 以上时，再进行共振破碎。

7.3 共振破碎

7.3.1 碎石层质量要求

共振破碎后，碎石层的质量应满足表 7 的要求。

表 8 碎石层破碎质量要求

项次	检查指标		规定值或允许误差	检查方法和频率
1	粒径	上部 (0~1/2H ²)	0~100mm	采用游标卡尺测量检测。试验段 50m 一处，正常施工时按照 1km 一处/每车道，且一个施工段不少于一处。

表 9 碎石层破碎质量要求（续）

项次	检查指标		规定值或允许误差	检查方法和频率
2	粒 径	下部（1/2H~ H）	100mm~240mm	采用游标卡尺测量检测。试验段 50m 一处，正常施工时按照 1km 一处/每车道，且一个施工段不少于一处。
3	破裂深度		h^b	按附录 B 取芯或检查坑观察，试验段 50m 一处，正常施工时按照 1km 一处/每车，且一个施工段不少于一处。
4	碎石层下部嵌锁状态		裂缝状况 ^c	
5			碎块结合状态 ^d	
^a H 为旧路板厚（cm）； ^b h 为裂缝贯穿深度，应达到整个板厚； ^c 碎板下部产生裂缝应为斜向裂缝，并应避免垂直贯通型的裂缝； ^d 碎块结合状态呈现碎块咬合、裂而不散的状态为合格。				

7.3.2 试验段

7.3.2.1 正式共振碎石化施工前，应进行试验段验证。试验段应选择代表性路段，长度不低于 200m。

7.3.2.2 试验段的施工应实现以下目的：

- a) 验证并优化设计；
- b) 明确施工工艺参数。碎石层破碎应满足表 7 要求。不满足要求时应通过调整工艺参数至达到规定要求；
- c) 完善施工组织设计。

7.3.2.3 试验段完工后应提交试验段报告。

7.3.3 共振破碎

试验段报告经批准后，方可开展正式施工，并符合以下要求：

- a) 施工前应对共振路径进行放样，相邻破碎路径之间应紧密相连；
- b) 共振破碎应按照平行于道路走向的路径进行往复破碎，不应倾斜破碎。不应漏振、重复破碎、叠合破碎；
- c) 根据试验段确定的工艺参数，结合施工路段路面状况的差异，合理微调施工工艺参数，保证破碎效果应满足表 7 中各指标的要求；
- d) 当水泥路面边缘有稳定支撑，且无附属设施和施工障碍时，共振碎石化设备可破碎到边。否则边缘宜预留出 0~80cm 采用预裂技术进行破碎。

7.3.4 厚硬水泥路面的破碎

对直接采用共振破碎设备难以破碎的强度高、厚度大的水泥混凝土板，可考虑采用预裂措施辅助破碎，再进行共振破碎的组合形式。破碎效果应满足表 7 中各指标的要求。

7.4 碎石层清理

7.4.1 对于碎石层表层局部存在的大于 10cm 的碎块，应清除并采用级配碎石回填。

7.4.2 碎石层外露的钢筋，应剪除至碎石层顶面以下。

7.5 碎石层碾压

7.5.1 碎石层宜洒水碾压，洒水量宜不多于 $3\text{kg}/\text{m}^2$ 。

7.5.2 碎石层的碾压应按初压、复压、终压三个阶段进行，碾压设备采用钢轮压路机、钢轮振动压路机或轮胎压路机。碎石层的碾压方式及碾压参数应满足表 8 要求。

表 10 碎石层碾压参数

碾压顺序	碾压方式	压路机吨位 t	碾压遍数 次 ^a	碾压速度 m/min
初压	静压	不小于 15	1~2	30~50
复压	振动碾压或轮胎碾压	振动碾压不小于 25 或轮胎碾压不小于 20	3~4	50~70
终压	静压	不小于 15	1~2	50~80
^a 碾压一个来回为一次				

7.5.3 碾压由“路边向中间”、“由低到高”顺序执行，碾压时相邻碾压带应重叠不少于 1/3 的碾压轮宽度。

7.6 透层、黏层、下封层和沥青面层施工

7.6.1 透层、黏层材料的规格、用量，应符合 6.3.4 要求。透层油宜在铺筑沥青加铺层前 1d~2d 喷洒。施工应按照 JTG F40 中规定执行。

7.6.2 碎石封层应符合 6.3.4 和 JTG F40 的要求。碎石封层施工宜优先选择同步施工工艺。

7.6.3 沥青面层的材料、配合比设计、生产和施工应按照 JTG F40 中规定执行。

7.7 安全文明施工和交通组织

7.7.1 安全施工

7.7.1.1 应建立健全有效的安全生产保证体系，并对全体施工人员进行培训考核，合格后方可上岗。

7.7.1.2 共振碎石化加铺施工应有完善的安全保障措施，确保施工区域、周边的设施、设备，以及人员的安全。做好施工前的安全技术交底。

7.7.1.3 现场施工人员应佩戴齐全安全防护用具。

7.7.1.4 共振碎石化机作业时应有专人跟随指挥。

7.7.1.5 高路堤施工段，应在路堤边缘 1.5m 处设置警示灯或反光警示标志。

7.7.1.6 施工现场宜封闭施工，使施工与社会交通隔离。

7.7.1.7 施工现场应配备安全管理员，进行专职现场安全管理。

7.7.2 文明施工

7.7.2.1 共振碎石化施工现场应采取如下措施控制扬尘：

- a) 施工前 30min 内对准备破碎的路面进行预先洒水；
- b) 共振碎石化破碎时，破碎机宜设置抑制扬尘的喷淋装置。

7.7.2.2 应采取如下措施减小振动和噪声对周边环境的影响：

- a) 共振碎石化施工应避免夜间和噪声敏感时段施工；
- b) 为减小施工振动的传播，可按 7.2.3 节要求采取隔振措施。

7.7.2.3 施工现场产生的固体废弃物、液体废弃物应按照指定的位置，由专门的机构回收处理，不得随意丢弃。

7.7.3 交通组织

施工宜采取分时、分段，半幅施工的原则，并应满足如下要求：

- a) 在施工路段高峰小时交通量调查的基础上，制定可行的施工期交通组织方案，组织方案参照 JTG H30 执行。包括施工区域的通行方案，以及毗邻路段的疏导方案；
- b) 施工区域与非施工区域应设置硬隔离或临时隔离，施工区域出入口及与非施工区域的隔离处应设置醒目的安全标记及交通导向标志。阻隔社会交通进入施工区域；
- c) 在交通繁重路段，或交通高峰小时期间，应派专职交通疏导员指挥交通。

8 质量检验

8.1 一般规定

8.1.1 施工质量检验包括碎石层质量检验和加铺层质量检验两方面。

8.1.2 碎石层材料应满足表 7 的要求。

8.1.3 透层、黏层、沥青加铺层材料满足 JTG F40 以及设计文件的要求。

8.2 碎石层质量检验

8.2.1 外观检查

外观检查满足下列要求：

- a) 碎石层表面粒径破碎均匀，不应有粗细不均的情况，表面不应存在粒径超过 100mm 的碎块；
- b) 碎石层表面不得存有未破碎的白板；
- c) 碎石层表面应平整连续，不应存在局部沉陷和隆起的情况。

8.2.2 实测项目

碎石层质量检查验收应满足表 9 中各项检测指标要求。

表 11 碎石层质量检验项目

项次	检查指标	规定值	允许误差	检查方法和频率
1	经调平后的平整度	—	<20mm	3m 直尺，200m 一处/每车道
2	经调平后的纵断面高程	满足设计要求	±20mm	水准仪，200m 一处/每车道
3	经调平后的路拱横坡	满足设计要求	±0.5%	水准仪，200m 一处/每车道
4	碎石层顶面当量回弹模量	不小于路段当量回弹模量代表值 ^a	—	试验段 50m 一处，正常施工时按照 1km 一处/每车道

^a 路段当量回弹模量代表值参照附录 C.2 确定。

8.3 加铺层质量检验

8.3.1 沥青加铺层质量检验参照 JTG F80/1 的相关规定以及设计文件的要求执行。

附录 A
(规范性附录)
结构组合设计流程

A.1 水泥路面共振碎石化沥青路面加铺结构组合设计流程图

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。

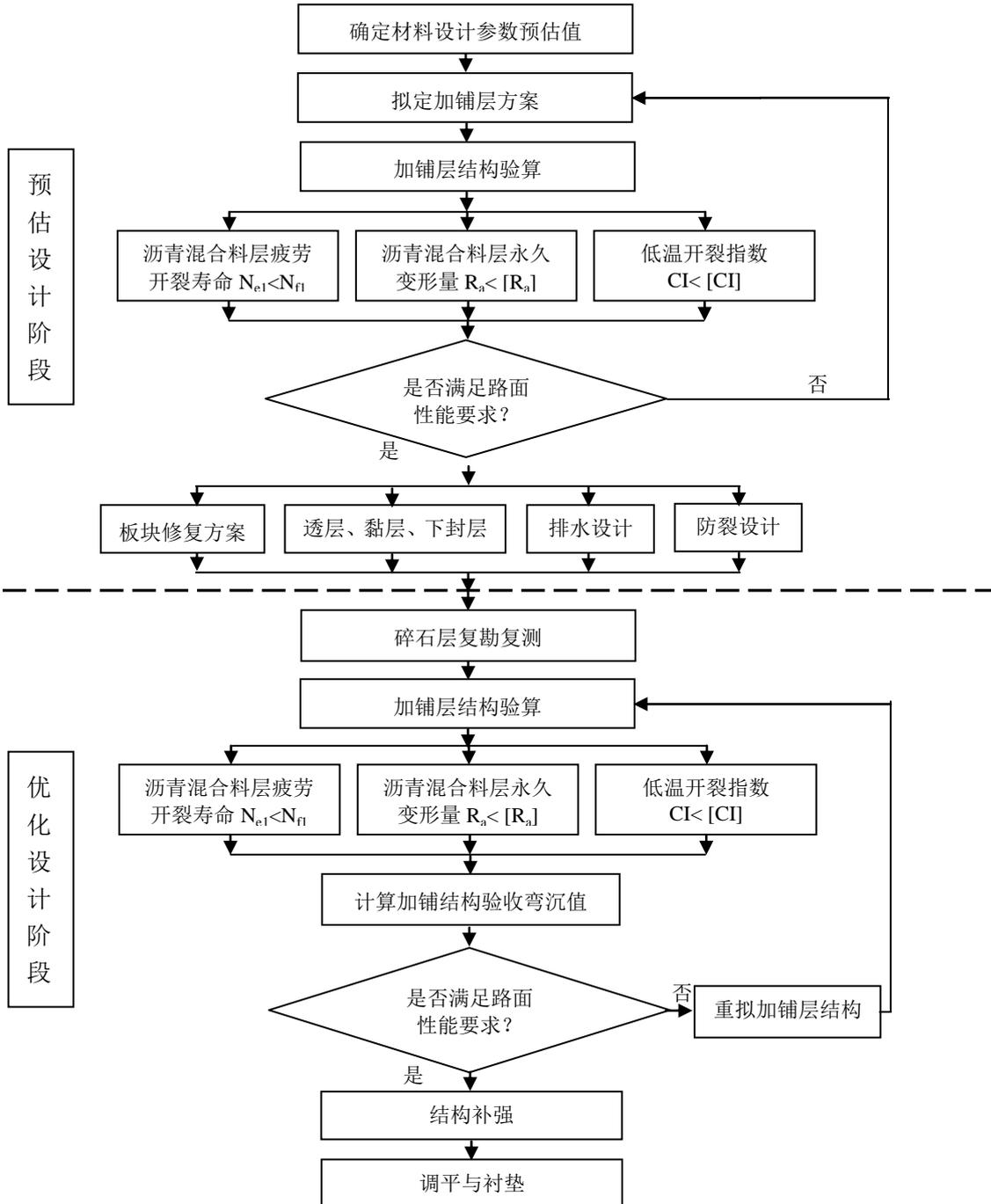


图 A.1 共振碎石化沥青路面加铺结构组合设计流程图

附 录 B
(规范性附录)
水泥混凝土板碎石层取芯与评定

B.1 适用范围

本方法为旧水泥混凝土板共振碎石化后,对相对松散碎石下部进行取芯。该方法适用于观测碎石层的破碎深度,观测裂缝开裂角度,以及碎块结合的状态。

B.2 仪器与材料要求

本方法根据需要选用下列仪器和材料:

- a) 挖坑用铲子、锤子、毛刷;
- b) 路面取芯样钻机及钻头、冷却水。钻头直径为 $\phi 150\text{mm}$,钻孔深度应达到层厚;
- c) 量尺:钢板尺、钢卷尺。

B.3 方法与步骤

方法与步骤如下:

- a) 选取原状较好的水泥混凝土板,取芯位置设置在板块中央位置处,避开板边和板角存在钢筋的地方;
- b) 用铲子清除掉相对松散层碎石,并用毛刷清扫干净;
- c) 按 JTG E60-2008 中 T0901 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;
- d) 提起钻头,取出钻孔内破碎板碎块。

B.4 分析判断

针对以下项目进行分析判断:

- a) 观测裂缝贯穿的深度,有无贯穿板厚;
- b) 观测裂缝走向,是垂直型裂缝,还是斜向裂缝;
- c) 判断碎块结合的状态,是嵌锁咬合的状态,还是松散状态。

将观测结果与本规范表 7 中的要求进行对比,判断碎石层质量是否满足要求。

附 录 C
(规范性附录)
碎石层顶面当量回弹模量的确定

C.1 测点当量回弹模量

碎石层顶面当量回弹模量的测定应在碾压完毕后测定。采用 T0953 落锤式弯沉仪测定弯沉的试验方法测定碎石层顶面的回弹弯沉，按式 C.1 计算碎石层顶面当量回弹模量。

$$E_{dki} = \frac{176pr}{l_{0i}} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

E_{dki} ——路段测点当量回弹模量 (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} ——落锤式弯沉仪承载板中心点弯沉值 (0.01mm)。

C.2 路段当量回弹模量

在路段各测点当量回弹模量数据的基础上，按照公式 C.2、C.3、C.4 计算确定碎石层顶面路段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。

$$E_{dk} = \bar{E}_{dk} - Z_{\alpha}S \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\bar{E}_{dk} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{dki}}{n} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{dki} - \bar{E}_{dk})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

E_{dk} ——路段当量回弹模量代表值 (MPa)；

\bar{E}_{dk} ——路段内测点回弹模量平均值 (MPa)；

Z_{α} ——保证率系数，高速、一级公路取 1.645，二级及以下公路取 1.5；

S ——标准差 (MPa)；

E_{dk_i} ——路段测点当量回弹模量 (MPa);

n ——路段内测点数。

C.3 路段当量回弹模量修正值

路段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,按照式 C.5 计算确定。

$$E_d = aE_{dk} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

E_d ——碎石层顶面修正后的当量回弹模量代表值 (MPa);

a ——考虑到加铺沥青层,以及通车等因素碎石层密实度、模量变化的模量修正系数,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;

E_{dk} ——路段当量回弹模量代表值 (MPa)。

附录 D
(资料性附录)
共振碎石化沥青路面加铺设计示例

D.1 项目概况与交通荷载参数**D.1.1 项目概况**

浙江省某一级公路，为水泥路面结构，横断面为双向四车道布置，交通等级为重交通。该路已经使用了 15 年。为配合城镇化建设进行水泥路面“白改黑”。工程范围：K0+000~K2+000。旧路结构层如表 D.1 所列：

表D.1 旧水泥路面结构

结构层编号	层位	材料类型	厚度 mm
1	面层	水泥混凝土板	220.0
2	基层	二灰稳定碎石	300.0
3	垫层	粒料材料	150.0
4	—	土基	—

D.1.2 共振碎石化加铺方案适宜性评价

表D.2 水泥混凝土板技术状况

评价 指标	板块厚度 mm	混凝土弯拉强度 MPa	板底脱空状况 %	断板率实测值 DBL%	破碎板数量 块	破碎板率 %
数值	220	5.86	36.1	27.2	62	5.8

a) 该路断板率为 27.2%，小于 80% 的标准；破碎板率为 8.7%，小于 30% 的标准。根据断板率不得超过对旧路共振碎石化的适宜性做出评价，认为适于共振碎石化改造。

b) 地勘资料显示，地下常水位在地面以下 1.8m，丰水期地下水位在地面以下 1.4m，路基处于干燥和中湿状态，路基以下不存在淤泥、淤泥质土等软弱下卧层。认为适于共振碎石化改造。

D.1.3 交通荷载参数

改建后路面设计使用年限为 10.0 年。根据交通量 OD 调查分析，断面大型客车和货车交通量为 12845 辆/日，方向系数取 50.0%，车道系数取 50.0%。根据交通历史数据，交通量年增长率按 2.8% 估算。

按 JTG D50-2017 中表 A.2.6-1 确定该路设计为 TTC3 类，根据 JTG D50-2017 中表 A.2.6-2 得到车辆类型分布系数如表 D.3 所示。

表D.3 车辆类型分布系数

车辆类型	2类	3类	4类	5类	6类	7类	8类	9类	10类	11类
车型分布系数(%)	17.8	33.1	3.4	0.0	12.5	4.4	9.1	10.6	8.5	0.7

根据路网相邻公路的车辆满载情况及历史数据的调查分析,得到各类车型非满载与满载比例,如表D.4所示。

表D.4 非满载车与满载车所占比例(%)

车辆类型	2类	3类	4类	5类	6类	7类	8类	9类	10类	11类
非满载车比例	85.0	90.0	65.0	75.0	55.0	70.0	45.0	60.0	55.0	65.0
满载车比例	15.0	10.0	35.0	25.0	45.0	30.0	55.0	40.0	45.0	35.0

D.1.4 设计要求

对于改建路面结构,主要针对加铺层的路面性能进行验算,因此路面设计指标主要为沥青层永久变形和疲劳开裂。

根据 JTG D50-2017 中表 A.3.1-3,设计指标为沥青层永久变形、疲劳开裂时,各车型对应的非满载车和满载车当量设计轴载换算系数,如表 D.5 所示。

表D.5 非满载车与满载车当量设计轴载换算系数

设计指标	沥青层永久变形、疲劳开裂	
	非满载车	满载车
2类	0.8	2.8
3类	0.4	4.1
4类	0.7	4.2
5类	0.6	6.3
6类	1.3	7.9
7类	1.4	6.0
8类	1.4	6.7
9类	1.5	5.1
10类	2.4	7.0
11类	1.5	12.1

根据 JTG D50-2017 中式 (A.4.2) 计算得到对应于沥青混合料层永久变形和疲劳开裂的当量设计轴载累计作用次数为 30527360。本公路设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量为 13313777,交通等级属于重交通。

表D.6 加铺层设计要求

设计指标	沥青加铺层容许永久变形量 mm	设计年限内车道的当量设计轴 载累计作用次数	沥青面层低温开裂指数
要求	不大于 10mm	不小于 30527360	不大于 3.0

D.2 预估设计

D.2.1 确定材料设计参数预估值

根据碎石层材料典型回弹模量分布在 400MPa~800MPa，这里取范围值的中值。

旧路基层及以下各层材料参数取值，没有实测数据和可参考的经验值，按照水平三要求取值。首先确定各层材料的模量预估初值：

- a) 旧路基层为二灰稳定粒料基层，依据 JTG D50-2017 中表 5.4.5，材料模量预估初值取 14000MPa；
- b) 旧路结构中垫层为级配砾石垫层，依据 JTG D50-2017 中表 5.3.8，材料模量预估初值取 250MPa；
- c) 旧路结构中路基，依据 JTG D50-2017 中表 5.2.2，材料模量预估初值取 50MPa。

根据表 3 的要求，一级公路设计目标可靠度不小于 90%。鉴于该路使用年限达 15 年，材料和结构变异水平取高级，可靠度系数 R_r 查表 4 取 1.33。代入式 D.1 计算，求得旧路基层及以下结构层材料模量的预估值，整理于表 D.7。

$$E'_0 = \frac{E_0}{R_r} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

E'_0 ——材料模量预估值；

E_0 ——按照 JTG D50-2017 中水平三确定材料典型模量数值；

R_r ——可靠度系数，取 1.33。

表D.7 旧路基层及以下各层材料参数取值

层位	材料类型	厚度 mm	E_0 MPa	E'_0 MPa	泊松比
中基层	二灰稳定碎石	300.0	14000	10500	0.25
下基层	粒料材料	150.0	250	190	0.35
路基	路基土	/	50	38	0.35

D.2.2 初拟路面结构方案

根据公路等级和交通等级，初拟加铺层如表 D.8 所示。

表D.8 初拟加铺结构

结构层编号	层位	材料类型	厚度 mm
1	表面层	AC-13C (SBS 改性)	40.0
2	中面层	AC-20C	60.0
3	下面层	AC-25	100.0

该路为一级公路，表、中、下面层材料模量的代表值，根据 JTG D50-2017 水平二，参照表 5.5.11 确定。将加铺层材料、碎石层材料、旧路基层及以下各层材料参数取值整理于表 D.9。

表D.9 初拟加铺结构及参数

分层编号	层位	材料类型	厚度 mm	模量 MPa	泊松比
1	表面层	AC-13C (SBS 改性)	40.0	11000	0.25
2	中面层	AC-20C	60.0	12500	0.25
3	下面层	AC-25	100.0	13000	0.25
4	上基层	碎石层	220.0	600	0.35
5	中基层	二灰稳定碎石	300.0	10500	0.25
6	下基层	粒料材料	150.0	190	0.35
7	/	土基	/	38	0.35

D.2.3 路面结构验算

D.2.3.1 沥青加铺层永久变形验算

根据 JTG D50-2017 中表 G.1.2，基准等效温度 T_{ξ} 为 22.8℃，由式 (G.2.1) 计算得到沥青混合料层永久变形等效温度为 26.0℃。可靠度系数为 1.28。

根据 JTG D50-2017 中 B.3.1 条规定的分层方法，将沥青混合料层分为 7 个分层。利用弹性层状体系理论，分别计算设计荷载作用下各分层顶部的竖向压应力 (P_i)。根据 JTG D50-2017 中式 (B.3.2-3) 和式 (B.3.2-4)，计算得到 $d_1=3.54$ ， $d_2=0.64$ 。把 d_1 和 d_2 的计算结果带入 JTG D50-2017 中式 (B.3.2-2)，得到各分层的永久变形修正系数 (kR_i)，利用 JTG D50-2017 中式 (B.3.2-1) 计算各分层永久变形量 (R_{a_i}) 和总永久变形量 (R_a)，各计算结果汇总于表 D.10。

表D.10 沥青层永久变形计算结果

分层编号	分层厚度 h_i (mm)	竖向压力 P_i MPa	修正系数 kR_i	永久变形 mm
1	10.0	0.70	3.98	0.8
2	15.0	0.70	4.70	1.4
3	15.0	0.69	7.05	2.0
4	20.0	0.66	7.22	1.9
5	20.0	0.59	6.07	1.3
6	20.0	0.50	4.61	0.7
7	100.0	0.40	1.54	1.4
沥青加铺层总永久变形量 R_a	9.5			

沥青加铺层总永久变形量 $R_a=9.5$ (mm)，对照表 D.6 加铺层设计要求，沥青层累积变形不应超过 10.0 (mm)，拟定加铺结构满足要求。

D.2.3.2 沥青加铺层疲劳开裂验算

根据弹性层状体系理论，计算得到沥青层层底水平拉应变为 38.7 $\mu\epsilon$ 。根据气象资料，工程所在地区冻结指数 F 为 200.0℃·日，按照 JTG D50-2017 中表 B.1.1，季节性冻土地区调整系数 k_a 取 0.96。根据

工程所在地区，查 JTG D50-2017 中表 G.1.2 得到基准路面结构温度调整系数为 1.42，根据初拟路面结构和路面结构层材料参数，按 JTG D50-2017 中式 (G.1.3) 计算得到温度调整系数 kT_1 为 1.13。沥青层饱和度为 75.0%。

根据以上参数，按 JTG D50-2017 中式 (B.1.1) 计算得到沥青层疲劳开裂寿命为 202,353,718。对照表 D.6 加铺层设计要求，设计使用年限内沥青层疲劳开裂对应的累计当量轴次不应小于 30,527,360，拟定的路面结构满足疲劳开裂要求。

D. 2. 3. 3 沥青加铺层低温开裂指数验算

根据气候条件，所在地区低温设计温度 T 为 -5.5°C 。路基类型参数 $b=3$ ，表面层沥青在 -10°C 条件下弯曲梁流变试验的劲度模量 S_t 为 300MPa，由 JTG D50-2017 中式 (B.5.1)，计算得到低温开裂指数 $CI=-1.2$ ，对照表 D.6 加铺层设计要求，低温开裂指数不超过 3.0，所选路面结构及材料满足低温抗裂的要求。

D. 2. 3. 4 验算结论

各项验算结果汇总如下表所示：

表D.11 分析结果汇总

验算内容	单位	计算值	对比值	是否满足
沥青加铺层永久变形	mm	9.5	10.0	是
沥青加铺层疲劳开裂对应的累积当量轴次	次	202353718	30527360	是
沥青加铺层低温开裂指数	-	-1.2	3.0	是

初拟加铺结构和材料满足所有验算内容要求，方案可行。

D.2.4 其他设计

D. 2. 4. 1 板块修复方案

针对路段内出现的 62 块破碎板，凿除重铺，旧路路基和基层存在的病害一并修复：

- 采用 C40 抗折水泥混凝土等厚铺筑水泥混凝土板。常温保湿养生不低于 2 周，且混凝土强度不低于设计强度的 75% 后，方可进行共振破碎施工。
- 存在病害的旧路基层采用 C20 素混凝土修复，铺筑厚度不小于 15cm，养生周期不低于 2 周。
- 存在病害的路基，采用 20cm 级配碎石填筑夯实，并满足 JTG/F20 的技术要求。

D. 2. 4. 2 透层

碎石层碾压完毕后喷洒乳化沥青透层油。透层油为 PA-2 型，用量为 $2.0\text{kg}/\text{m}^2$ 。透层油渗透深度不小于 8mm，且技术指标满足 JTG F40 的相应要求。

D. 2. 4. 3 排水设计

为增大结构层的排水能力，在路面板边缘设计纵向盲沟；盲沟底设置在旧水泥板底以下 15cm 处，盲沟截面尺寸为 20cm 宽×30cm 高，盲沟纵坡为 0.3%。每隔 20m 在路肩上设置一处横向盲沟，以排出纵向盲沟汇集的水分。

盲沟设置如图 D.1 所示，盲沟中央采用管径为 10cm 的多孔 PVC 花管排水，采用无纺土工布包裹花管用于反滤，花管周围采用粒径 19mm~26.5mm 的单级配碎石填筑。盲沟顶面满铺一层无纺

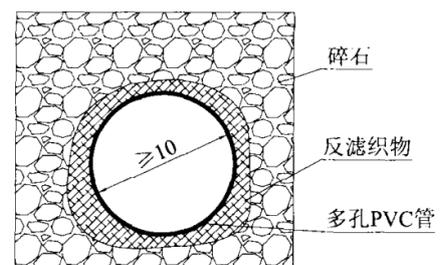


图 D. 1 盲沟断面图

土工布作为反滤层。

盲沟，以及所用的碎石、无纺土工布、多孔 PVC 花管应满足 JTG F40、JTG/T D33、JTG/T F31，以及 JTG/T D32 中的相关要求。

D.2.4.4 防裂设计

共振碎石化路段与其他路段衔接处，采取骑缝铺设 1m 宽聚脂玻纤无纺土工布进行防裂处理。聚脂玻纤无纺土工布技术要求满足 JTG/T D32 中相应要求。

D.3 优化设计

以试验段碎石层顶面实测弯沉值为依据，按照改建路面结构设计重新验算加铺层路面性能要求。

D.3.1 当量回弹模量的复勘复测

弯沉检测采用落锤式弯沉仪（FWD）。根据落锤弯沉仪实测的弯沉数据，按照下式计算碎石层顶面各测点当量回弹模量。

$$E_{dki} = \frac{176pr}{l_{0i}} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

E_{dki} ——各测点当量回弹模量（MPa）；

P ——落锤式弯沉仪承载板施加荷载（MPa），取 0.7MPa；

r ——落锤式弯沉仪承载板半径（mm），取 150mm；

l_{0i} ——落锤式弯沉仪承载板中心点实测弯沉值（0.01mm）。

然后根据式 D.2~式 D.6 计算路段碎石层顶面当量回弹模量代表值。结果整理与表 D.12。

$$E_d = aE_{dk} \dots\dots\dots (D.3)$$

$$E_{dk} = \bar{E}_{dk} - Z_\alpha S \dots\dots\dots (D.4)$$

$$\bar{E}_{dk} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{dki}}{n} \dots\dots\dots (D.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{dki} - \bar{E}_{dk})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (D.6)$$

式中：

E_d ——经修正后的路段当量回弹模量代表值（MPa）；

a ——模量修正系数，这里取 1.1；

E_{dk} ——碎石层顶面当量回弹模量代表值（MPa）；

\bar{E}_{dk} ——路段当量回弹模量平均值 (MPa);

Z_{α} ——保证率系数, 该路等级为公路一级, 1.645;

S ——标准差 (MPa);

E_{dki} ——各测点当量回弹模量 (MPa);

n ——路段内测点数, 取 10。

表D.12 碎石层顶面当量回弹模量

测点 n	l_{0i} 0.01mm	E_{dki} MPa
1	47	393.2
2	56	330.0
3	45	410.7
4	43	429.8
5	55	336.0
6	52	355.4
7	60	308.0
8	50	369.6
9	42	440.0
10	39	473.8
\bar{E}_{dk}		384.6
S		51.1
E_{dk}		300.6
E_d		330.6

碎石层顶面路段当量模量修正值为 330.6MPa。加铺层材料参数取值不变, 重新整理加铺结构参数于表 D.13。

表D.13 加铺结构参数取值

分层编号	层位	材料类型	厚度 mm	模量 MPa	泊松比
1	表面层	AC-13C (SBS 改性)	40.0	11000	0.25
2	中面层	AC-20C	60.0	12500	0.25
3	下面层	AC-25	100.0	13000	0.25
4	/	碎石化后的路面结构	/	330.6 ^a	0.35

^a 为碎石层顶面路面结构的当量回弹模量。

D.3.2 路面结构验算

D.3.2.1 沥青加铺层永久变形验算

根据 JTG D50-2017 中表 G.1.2, 基准等效温度 T_{ξ} 为 22.8℃, 由式 (G.2.1) 计算得到沥青混合料层永久变形等效温度为 26.0℃。可靠度系数为 1.28。

根据 JTG D50-2017 中 B.3.1 条规定的分层方法, 将沥青混合料层分为 7 个分层。利用弹性层状体系理论, 分别计算设计荷载作用下各分层顶部的竖向压应力 (P_i)。根据 JTG D50-2017 中式 (B.3.2-3) 和式 (B.3.2-4), 计算得到 $d_1=-3.54$, $d_2=0.64$ 。把 d_1 和 d_2 的计算结果带入式 (B.3.2-2), 可得到各分层的永久变形修正系数 (kR_i), 利用式 (B.3.2-1) 计算各分层永久变形量 (R_{ai}) 和总永久变形量 (R_a)。各计算结果汇总于表 D.14 中。

表D.14 沥青层永久变形计算结果

分层编号	分层厚度 h_i (mm)	竖向压力 P_i MPa	修正系数 kR_i	永久变形 mm
1	10.0	0.70	3.98	0.8
2	15.0	0.70	4.70	1.4
3	15.0	0.68	7.05	2.0
4	20.0	0.65	7.22	1.9
5	20.0	0.58	6.07	1.3
6	20.0	0.49	4.61	0.7
7	100.0	0.39	1.54	1.3
沥青加铺层总永久变形量 R_a	9.3			

沥青加铺层总永久变形量 $R_a=9.3$ (mm), 对照表 D.6 加铺层设计要求, 沥青层累积变形不应超过 10.0 (mm), 拟定的路面结构满足要求。

D.3.2.2 沥青加铺层疲劳开裂验算

根据弹性层状体系理论, 计算得到沥青层层底水平拉应变为 $54.0\mu\epsilon$ 。根据气象资料, 工程所在地区冻结指数 F 为 $200.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$, 按照 JTG D50-2017 中表 B.1.1, 季节性冻土地区调整系数 k_a 取 0.96。根据工程所在地区, 查表 G.1.2 得到基准路面结构温度调整系数为 1.42, 根据初拟路面结构和路面结构层材料参数, 按 JTG D50-2017 中式 (G.1.3) 计算得到温度调整系数 k_{T1} 为 1.82。沥青层饱和度为 75.0%。

根据以上参数, 按 JTG D50-2017 中式 (B.1.1) 计算得到沥青层疲劳开裂寿命为 33,278,281。对照表 D.6 加铺层设计要求, 设计使用年限内对应沥青层疲劳的当量设计轴载累计作用次数不应小于 30,527,360, 拟定的路面结构满足疲劳开裂要求。

D.3.2.3 沥青加铺层低温开裂指数验算

根据气候条件, 所在地区低温设计温度 T 为 -5.5°C 。路基类型参数 $b=3$, 表面层沥青在 -10°C 条件下弯曲梁流变试验的劲度模量 S_i 为 300MPa, 由 JTG D50-2017 中式 (B.5.1), 计算得到低温开裂指数 $CI=-1.2$, 对照表 D.6 加铺层设计要求, 低温开裂指数不超过 3.0, 所选路面结构及材料满足低温抗裂的要求。

D.3.2.4 验算结论

各项验算结果汇总如下表所示:

表D.15 分析结果汇总

验算内容	单位	计算值	对比值	是否满足
沥青加铺层永久变形	mm	9.3	10.0	是
沥青加铺层疲劳开裂对应的累积当量轴次	次	202353,718	30527360	是
沥青加铺层低温开裂指数	-	-1.2	3.0	是

由上表可知，加铺结构和材料能满足各项验算内容的要求。加铺方案合格。

D.3.3 验收弯沉

采用 JTG D50-2017 中附录 B.7 节规定荷载，按照弹性层状体系理论计算得到加铺后路面结构路表验收弯沉值为 13.7 (0.01mm)。

D.3.4 结构补强

路段当量回弹模量代表值为 300.6MPa，现场测试各点的当量回弹模量均不小于该值，没有需要补强的点。并且破碎后的路面当量回弹模量，满足加铺层设计要求。但不排除局部强度不足和软弱结构层的情形，针对这种情形需要进行结构补强：

a) 对于碎石层顶面当量回弹模量的实测值小于路段当量回弹模量代表值的情形，针对旧路路基和基层采用地聚物注浆加固方案。注浆养生 7d 后，碎石层顶面当量回弹模量不小于路段当量回弹模量代表值。否则应进行二次注浆补强。

b) 碎石层受水浸泡的情形，以及路段出现弹簧、翻浆的情形。按照 JTG/T F31-2014 中 4.3.1 条目的规定，采用翻挖换填处理。

D.3.5 调平与衬垫

针对现场复测复勘的数据，对于地面标高、平整度、路拱横坡不满足规范要求和设计要求时，应进行调平和衬垫。当高差小于 3cm 时，铺筑一层碎石，根据高差的不同按照 JTG F40 中 S6~S14 规格选择，并压实平整。当高差超过 3cm 时，采用 ATB-25 进行调平与衬垫，当高差超过最大一次摊铺厚度时，分层摊铺，并压实平整。原材料技术要求应满足 JTG F40 的相应标准。