

# DB37

## 山东省地方标准

DB37/T1160-2009

---

### 旧水泥混凝土路面碎石化技术规程

2009-01-24 发布

2009-01-24 实施

---

山东省质量技术监督局

# 前 言

水泥混凝土路面是路面的主要形式之一。截至 2007 年底，全国水泥混凝土路面总里程已达 84.88 万余公里，山东省水泥混凝土路面总里程已达 5.2 万公里。目前，国内旧水泥混凝土路面维修改造方案主要是：压浆稳板修补后直接加铺、破裂稳固后加铺、清除后重建等。实践证明这些方案必须与旧路面的实际破损程度相适应，才能达到既经济又耐用的效果。

碎石化技术是目前旧水泥混凝土路面维修改造新技术之一。该技术是通过专用设备将旧路面一次性破碎为承载能力高、反射裂缝控制效果好的咬合嵌挤柔性结构层，可充分利用旧路残余强度、保护环境、节约资源。自 2002 年国内首次引进多锤头碎石化设备以来，山东省交通厅公路局组织开展了《水泥混凝土路面碎石化技术应用研究》，2005 年通过专家鉴定、2008 年获得山东省科技进步一等奖。其成果在山东、安徽、浙江等省的 900 多公里的高速公路、国省干线公路改建工程中广泛应用，路用效果良好，取得了较好的技术经济效益和社会效益。

为规范碎石化技术的应用，山东省交通厅主持编制完成了本规程，共分 6 章，重点对旧水泥混凝土路面状况调查与检测、碎石化应用决策与加铺设计、碎石化施工、检查验收等内容进行了规定。

本规程基于目前研究和应用的最新成果而编制。碎石化技术作为旧水泥混凝土路面改建的一项新技术，必将随着工程实践而发展。在使用过程中，各单位和个人对本规范有何意见或建议，可与规范编制单位联系（地址：济南市舜耕路 19 号 山东省交通厅公路局，邮编 250002）。

## 本规程主编单位、参加单位和主要起草人名单：

主编单位：山东省交通厅公路局

参编单位：东南大学

山东省公路建设（集团）有限公司

· 主要起草人：王松根、黄晓明、张玉宏、李昶、孙同波、张建

# 目 录

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>1 总则 .....</b>                     | <b>1</b>  |
| <b>2 术语、符号 .....</b>                  | <b>2</b>  |
| 2.1 术语 .....                          | 2         |
| 2.2 符号 .....                          | 3         |
| <b>3 旧水泥混凝土路面状况调查与检测 .....</b>        | <b>5</b>  |
| 3.1 调查与检测内容 .....                     | 5         |
| 3.2 调查方法 .....                        | 5         |
| 3.3 施工段落划分 .....                      | 5         |
| 3.4 调查与检测要求 .....                     | 6         |
| 3.5 数据处理 .....                        | 7         |
| <b>4 碎石化应用决策与加铺设计 .....</b>           | <b>9</b>  |
| 4.1 旧水泥混凝土路面加铺改造的判断条件 .....           | 9         |
| 4.2 碎石化技术应用决策内容 .....                 | 9         |
| 4.3 决策方法 .....                        | 10        |
| 4.4 加铺设计原则 .....                      | 10        |
| 4.5 设计参数 .....                        | 10        |
| 4.6 水泥混凝土路面加铺设计 .....                 | 12        |
| 4.7 沥青路面加铺设计 .....                    | 12        |
| <b>5 碎石化的施工 .....</b>                 | <b>17</b> |
| 5.1 一般规定 .....                        | 17        |
| 5.2 设备要求 .....                        | 17        |
| 5.3 一般工序 .....                        | 18        |
| 5.4 施工准备 .....                        | 18        |
| 5.5 试验段工程 .....                       | 20        |
| 5.6 碎石化施工 .....                       | 20        |
| 5.7 碎石化表层处置 .....                     | 21        |
| <b>6 检查验收 .....</b>                   | <b>22</b> |
| 6.1 碎石化层检查验收 .....                    | 22        |
| 6.2 结构加铺后检查验收 .....                   | 22        |
| <b>附录 A CBR 与 DCP 的 PR 指数关系表.....</b> | <b>23</b> |
| 《旧水泥混凝土路面碎石化技术规程》条文说明 .....           | 24        |
| <b>1 总则 .....</b>                     | <b>25</b> |
| <b>2、术语、符号 .....</b>                  | <b>27</b> |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 2.1 术语 .....                | 27        |
| <b>3 实施前路况调查 .....</b>      | <b>29</b> |
| 3.1 调查与检测内容 .....           | 29        |
| 3.2 调查方法 .....              | 29        |
| 3.3 施工段落划分 .....            | 30        |
| 3.4 调查与检测要求 .....           | 30        |
| 3.5 数据处理 .....              | 31        |
| <b>4 碎石化应用决策与加铺设计 .....</b> | <b>32</b> |
| 4.1 旧水泥混凝土路面加铺改造的判断条件 ..... | 32        |
| 4.3 决策方法 .....              | 33        |
| 4.4 加铺设计原则 .....            | 34        |
| 4.5 碎石化后的设计参数 .....         | 35        |
| 4.6 水泥混凝土路面加铺设计 .....       | 36        |
| 4.7 沥青路面加铺设计 .....          | 37        |
| <b>5 碎石化的施工 .....</b>       | <b>39</b> |
| 5.2 设备要求 .....              | 39        |
| 5.3 一般工序 .....              | 39        |
| 5.4 施工准备 .....              | 40        |
| 5.5 试验段工程 .....             | 40        |
| 5.6 碎石化施工 .....             | 41        |
| 5.7 碎石化表层处置 .....           | 41        |
| <b>6 检查验收 .....</b>         | <b>42</b> |
| 6.1 碎石化层检查验收 .....          | 42        |
| 6.2 检查与验收指标与标准 .....        | 42        |
| <b>工程实例 .....</b>           | <b>43</b> |
| 旧水泥混凝土路面状况调查与检测 .....       | 43        |
| 碎石化应用决策 .....               | 43        |
| 加铺沥青路面设计 .....              | 45        |
| 碎石化施工与检测 .....              | 46        |
| 优化设计阶段 .....                | 46        |
| 长期使用性能 .....                | 46        |

# 1 总则

1.0.1 为满足旧水泥混凝土路面加铺改造的技术需求，充分利用旧路资源、保护环境，推动碎石化技术的合理应用，保障碎石化改造施工质量，延长加铺路面使用寿命，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于旧水泥混凝土路面的原位破碎再利用加铺改造工程。

1.0.3 旧水泥混凝土路面改造前，应根据旧路状况、技术条件及经济指标等综合分析，确定碎石化技术的适用性。

1.0.4 碎石化施工中，应严格遵循本规程，先通过试验路段确定设备参数与质量控制指标，再转入正常施工。施工过程中应加强参数检测与质量控制，并应根据质量变异及时进行适度调整。

1.0.5 碎石化施工应有符合国家或交通行业规定的劳动保护条件，确保施工人员的安全。

1.0.6 旧水泥混凝土路面碎石化施工除应按本规程的规定执行外，尚应遵守国家 and 行业其它现行相关标准、规范的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 碎石化 (Rubblization)

旧水泥混凝土路面板被破碎成粒径较小的碎石，称为碎石化。

#### 2.1.2 碎石化技术 (Rubblization Technology)

采用专用设备对旧水泥混凝土路面板块进行原位破碎利用的一种技术。

#### 2.1.3 多锤头破碎机 (Multi-head Breaker, MHB)

一种碎石化专用设备。该设备后部成组排列多个重锤，通过重锤下落的冲击动能，使板块破碎形成 7.5~30cm 尺寸的嵌锁结构。

#### 2.1.4 共振式破碎机 (Resonant Breaker)

一种碎石化专用设备，通过共振梁的高频低幅振动将旧水泥混凝土板块破碎到规定尺寸，破碎后碎石粒径较 MHB 设备小。

#### 2.1.5 打裂压稳 (Crack and Seat)

采用专用设备对旧水泥混凝土路面进行原位破碎和利用的一种技术，粒径范围约 50~80cm。

#### 2.1.6 打碎压稳 (Break and Seat)

采用专用设备对旧水泥混凝土路面进行原位破碎和利用的一种技术，其破碎后粒径尺寸处于碎石化和打裂压稳之间。

#### 2.1.7 冲击压实 (Impact Compaction)

采用冲击压实设备对路基或路面进行厚层压实或冲击破碎的一种技术，用于旧水泥混凝土路面破碎时，效果类似于打裂压稳。

#### 2.1.8 可靠度 (Degree of Reliability)

结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。

#### 2.1.9 可靠度系数 (Reliability Coefficient)

为保证所设计的结构具有规定的可靠度，而在极限状态设计表达式中采用的单一综合系数。

#### 2.1.10 碱集料反应 (Alkali-Silica Reaction, AAR)

混凝土原材料中的碱性物质  $K_2O$  与  $Na_2O$  与集料中的活性硅酸盐发生化学反

应,生成膨胀性反应物,从而引起混凝土内部产生自膨胀应力而开裂、松散、破坏的现象。

#### 2.1.11 年最大温差 (Annual Maximum temperature difference)

气象部门记录的工程所在地一年中极端最高、最低气温间的差值。

#### 2.1.12 当量回弹模量 (Equivalent Modulus of Resilience)

将旧路面下部看作弹性半空间体时,用顶面回弹模量测试方法测得的模量值。

#### 2.1.13 动力圆锥贯入仪 (Dynamic Cone Penetrometer, DCP)

一种现场简易触探设备,适用于细粒、粒料类或水泥处治类的路基、底基层、基层等强度的现场快速测定。其测试结果与 CBR 值具有相关性。

## 2.2 符号

CBR—加州承载比 (California Bearing Ratio)

PR—动力圆锥贯入仪测试的贯入值 (Penetration Rates)

PCI—路面损坏状况指数 (Pavement Condition Index)

DBL—断板率

LSPM—大粒径透水性沥青混合料 (Large Stone Porous Asphalt Mixture)

$n$ —测点数

$E_t$ —按可靠度方法折减后的旧水泥混凝土板块顶面破碎后的当量回弹模量

$\bar{E}_t$ —当量回弹模量平均值,设计阶段时取当量回弹模量推荐值

$\gamma_r$ —根据顶面当量回弹模量变异系数值查表确定的可靠度系数

$Z_a$ —保证率系数

$S$ —标准差

$f_{sp,i}$ —各测点的劈裂强度

$\overline{f_{sp}}$ —劈裂强度平均值

$f_{sp}$ —劈裂强度代表值

$CBR_i$ —各测点的 CBR 值

$\overline{CBR}$ —CBR 平均值

$CBR$ —CBR 代表值

$\bar{\omega}$ —含水量平均值

$\omega_i$ —含水量测试值

$E_{t0,i}$ —回弹模量测试值

$\overline{E_{t0}}$ —实测回弹模量平均值

$E_{tp}$ —实测回弹模量代表值

## 3 旧水泥混凝土路面状况调查与检测

### 3.1 调查与检测内容

碎石化实施前路况调查与检测，包括历史数据、基本状况和技术参数等三个方面，具体为：

(1) 历史调查：原有路面的路基稳固情况；路面原设计中各结构层材料与厚度；路基路面的建造工艺与质量；养护状况及真实运营年限等。

(2) 基本路况调查：交通量及轴载谱状况；基层破损状态与稳固情况；路面破损状况；构造物与排水设施现状；路面与构造物衔接情况等。

(3) 技术参数检测：混凝土面板钻芯劈裂强度与基层钻芯抗压强度的检测与统计分析；基层回弹模量检测与统计分析；路基含水量、强度实测与分析等。

### 3.2 调查方法

3.2.1 在调查和检测过程中，应按照 3.1 规定的顺序进行。同时，应符合现行《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ073.1) 和《公路技术状况评定标准》(JTG H20) 的有关规定。

3.2.2 修建养护历史、构造物与排水设施的调查，应采用人工查找资料、调研、全线踏勘、结构层调查等方法，并及时填写调查记录表格。

3.2.3 混凝土面板与基层现场取芯，测试劈裂强度与抗压强度。

3.2.4 基层松散、破损等情况，通过开挖面层检查确定。

3.2.5 路基含水量宜采用现场取土、室内烘干法检测，也可采用现场酒精燃烧法测试。路基强度宜采用动力圆锥触探设备现场测试，参照《公路路基路面现场测试规程》测试方法，根据测试 PR 值与 CBR 的相关关系，按附录 A 表格确定对应的 CBR 值。

### 3.3 施工段落划分

3.3.1 旧水泥混凝土路面改造的设计和施工，应坚持“分段调查、分段设计、分段实施、合理决策”的原则。

3.3.2 施工段落的初步划分应结合建养历史，满足分段最大长度限制，按照段落内路况相近的原则综合确定，一般分段最大长度不宜大于 10km。

3.3.3 路况调查完成后，计算初步划定施工段落内的每公里断板率（DBL），按表 3.3.3 确定的分段级别，最后合理确定最终施工段落。

**表 3.3.3 按路面破损状况分段的标准**

| 分段级别        | 1    | 2     | 3     | 4     | 5   |
|-------------|------|-------|-------|-------|-----|
| 断板率 DBL (%) | 5~10 | 11~20 | 21~30 | 31~40 | >41 |

3.3.4 施工段落划定后，按照 3.4 节要求进行混凝土面板劈裂强度、基层稳定情况、路基含水量与强度状况的调查与检测工作。

### 3.4 调查与检测要求

#### 3.4.1 位置选择与测试数目要求

(1) 取芯和试坑位置应优先在破损程度分级相同的行车道板内病害严重、破损程度较高的位置，并应分析该路段路面破碎的主要原因。

(2) 面板与基层取芯的频率每公里每车道应不少于 3 个，在最小施工段落中应不少于 6 个点。

(3) 应对基层稳定性、路基强度与含水量进行调查与检测，可按开挖试坑方式进行，最小施工段落应不少于 1 个试坑。试坑开挖到基层时，应清理基层表面，并应记录基层的松散、沉陷、裂缝、破碎粒径大小等情况。

(4) 基层开挖完成后清理表面，在每个试坑的露出路基区域内，应随机选取至少 6 个点测试 CBR 值。在测试点附近，清除浮土采集土样，测试路基含水量。

#### 3.4.2 调查与检测方法要求

(1) 面板强度调查：现场取芯时应避开已有裂缝。

(2) 基层稳定性调查：开挖露出区域内，基层自身有一道以上或有分岔的裂缝，可判定为基层开裂；基层破碎颗粒粒径在 40cm~200cm 之间，应判定为基层破碎；当破碎粒径小于 40cm 时，应判定为基层松散。

(3) 路基含水量和强度的调查：含水量与强度检测点成组对应，并在路基表面露出区域内均匀分布；路基强度宜采用动力圆锥贯入仪（DCP）测试，根据附录 A 确定对应的 CBR 值。

### 3.5 数据处理

#### 3.5.1 面板钻芯劈裂强度

应按式 (3.5.1) 计算面板芯样劈裂强度的平均值、标准差和代表值, 并记录其最小值。

$$\begin{aligned}\overline{f_{sp}} &= \frac{\sum_{i=1}^n f_{sp,i}}{n} \\ f_{sp} &= \overline{f_{sp}} - Z_a S \\ S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{sp,i} - \overline{f_{sp}})^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (3.5.1)$$

式中:

$n$ —测点数, 每个施工段落内大于等于 6;

$f_{sp,i}$ —各测点的劈裂强度值 (MPa);

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

$S$ —标准差;

$\overline{f_{sp}}$ —所有测点的劈裂强度平均值 (MPa);

$f_{sp}$ —劈裂强度代表值 (MPa);

$f_{sp,\min}$ —劈裂强度最小值 (MPa)。

#### 3.5.2 基层钻芯抗压强度

将式 (3.5.1) 中的面板芯样劈裂强度替换为基层钻芯抗压强度, 计算基层抗压强度的平均值、标准差和代表值, 并记录其最小值。

#### 3.5.3 路基强度与含水量

按式 (3.5.3-1)、(3.5.3-2) 计算各施工段落的 CBR 代表值和含水量平均值。

$$\begin{aligned}\overline{CBR} &= \frac{\sum_{i=1}^n CBR_i}{n} \\ CBR &= \overline{CBR} - Z_a S \\ S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CBR_i - \overline{CBR})^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (3.5.3-1)$$

式中:

$n$ —测点数，取施工段落内所有试坑的测点总数，大于等于 6；

$CBR_i$ —各测点的 CBR 值（%）；

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

$S$ —标准差；

$\overline{CBR}$ —所有测点的 CBR 平均值（%）；

$CBR$ —CBR 代表值（%）。

$$\overline{\omega} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i}{n} \quad (3.5.3-2)$$

式中：

$n$ —测点数，取施工段落内所有试坑的测点总数，大于等于 6；

$\overline{\omega}$ —所有测点的含水量平均值（%）；

$\omega_i$ —各测点的含水量测试值（%）。

## 4 碎石化应用决策与加铺设计

### 4.1 旧水泥混凝土路面加铺改造的判断条件

在旧水泥混凝土路面正常养护措施无法满足相应等级公路运营质量技术要求时，宜按以下特征判断旧水泥混凝土路面是否需进行改造维修：

- (1) 超过 20%的纵、横向接缝需要修补，并发生了严重错台、啃边或角隅断裂现象；
- (2) 断板率超过 20%，已经出现了局部翻浆现象或大面积碎板；
- (3) 超过 10%的路面面积需要开挖修补；
- (4) 出现明显的碱集料反应裂缝或冻胀开裂征兆；
- (5) 继续换板翻修的造价偏高，所获得的技术性能偏低，翻修性价比明显不合理。

旧水泥混凝土路面具有上述特征之一时，宜按 4.2 节进行碎石化技术应用决策。

### 4.2 碎石化技术应用决策内容

#### 4.2.1 碎石化技术应用的必要条件

碎石化技术的实施应满足必要的技术条件：

- (1) 实施碎石化技术，旧路必须满足碎石化应用的条件，如表 4.2.1。

**表 4.2.1 碎石化技术应用的基本标准**

| 相关指标  | 土基 CBR | 基层情况 | 板体情况    |
|-------|--------|------|---------|
| 界限或性状 | >5     | 未松散  | 强度无显著下降 |

注：1、基层未松散是指基层无明显裂缝、沉陷，或虽有但破碎成的块体粒径不小于 40cm；2、强度无显著下降的具体标准是面板材料劈裂强度代表值按《公路水泥混凝土路面设计规范》方法换算为弯拉强度后，应不低于原混凝土板强度设计值的 80%；3、如果路基平均含水量减去最佳含水量之差大于 10%，则应增设碎石盲沟等排水措施。

- (2) 除表 4.2.1 所列的技术条件外，旧路的其它病害特征或指标，不宜作为碎石化技术应用的必要条件。

#### 4.2.2 经济性决策标准

在满足 4.2.1 规定后，工程的经济性指标是决策的最终依据：

(1) 宜将碎石化后加铺改建费用与继续维修、尽量延长路面服务年限的费用相比较,当前者费用较低时,适宜加铺改建。

(2) 应在充分考虑技术特点、成本、加铺结构要求和使用年限的基础上,对比其它原位破碎利用技术方案,如:打裂压稳、打碎压稳、冲击压实等,选择技术经济性最佳的方案。

### 4.3 决策方法

4.3.1 按 4.1 规定,判断碎石化技术应用的前提条件是否具备,确定可能性。

4.3.2 按 4.2.1 规定,判断碎石化技术应用的技术条件是否可行,确定可行性。

4.3.3 按 4.2.2 规定,判断碎石化改建方案的投资效益是否最佳,确定技术经济性。

4.3.4 碎石化技术应在以上三方面规定都符合的情况下进行科学决策、实施。

### 4.4 加铺设计原则

4.4.1 加铺结构设计宜结合 3.3 节划分的不同施工段落进行分段设计。

4.4.2 加铺前应对路况调查中已查明的严重唧泥、沉陷和积水部位开挖至路基,清除路基表面积水后,用碎石分层回填夯实至旧路面标高。

4.4.3 受多种因素影响,碎石化前设计参数无法准确预知,应采用两阶段设计:设计阶段、优化设计阶段。

4.4.4 加铺水泥混凝土路面和加铺沥青路面两种情况下,旧水泥混凝土路面碎石化后的设计参数相同。

4.4.5 加铺结构设计应按《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)、《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)中的新建路面设计方法进行。

4.4.6 沥青路面分段设计时,应考虑不同路面结构段落的衔接:加铺水泥混凝土路面时,宜在施工段落划分的基础上对结构适当合并;路面结构层不一致或变化时,应通过加铺或加厚基层进行衔接或调整纵坡。

### 4.5 设计参数

碎石化后的设计参数取其顶面的当量回弹模量。

4.5.1 在碎石化后加铺结构设计时,取顶面的当量回弹模量代表值作为设计参数。

4.5.2 设计阶段,其平均值查表 4.5.2-3 取值,带入公式 (4.5.2) 得到代表值。计算中用到的参数取值见表 4.5.2-1、表 4.5.2-2。

$$E_t = \bar{E}_t / \gamma_r \quad (4.5.2)$$

其中:

$E_t$ —设计阶段,按可靠度方法折减后的旧水泥混凝土板块顶面破碎后的当量回弹模量代表值 (MPa);

$\bar{E}_t$ —当量回弹模量平均值,取表 4.5.2-3 的推荐值 (MPa);

$\gamma_r$ —根据顶面当量回弹模量变异系数值查表 4.5.2-2 确定的变异水平等级对应的可靠度系数。

表 4.5.2-1 可靠度设计标准表

|          |         |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| 公路技术等级   | 高速公路    | 一级公路    | 二级公路    | 三、四级公路  |
| 安全等级     | 一级      | 二级      | 三级      | 四级      |
| 设计基准期(年) | 30 (15) | 30 (15) | 20 (12) | 20 (12) |
| 目标可靠度(%) | 95      | 90      | 85      | 80      |
| 变异水平等级   | 低       | 低—中     | 中       | 中—高     |

注: 1、本表引用自《公路水泥混凝土路面设计技术规范》;

2、对沥青路面加铺沿用水泥混凝土路面加铺可靠度设计标准;

3、设计基准期一栏的数据中,括号外为水泥混凝土路面,括号内为沥青路面。

表 4.5.2-2 可靠度系数表

| 变异水平等级 | 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 4.5.2-3 碎石化后顶面当量回弹模量平均值取值范围

|                      |         |         |
|----------------------|---------|---------|
| 水泥标号                 | 32.5    | 42.5    |
| 顶面当量回弹模量平均值<br>(MPa) | 250~350 | 300~500 |

注: 当路基、基层状况较好,且为填方路堤时,可取中值;路基、基层状况较好的挖方(土方甚至石方)取大值;路基、基层软弱时,取小值。

4.5.3 碎石化施工完成并按 6.1 节检查验收后的加铺路面优化设计阶段,通过碎石化后顶面回弹模量的实测数据计算每个施工段落的当量回弹模量平均值、标

准差和代表值，计算公式如式（4.5.3）。

$$\begin{aligned}\overline{E_{t0}} &= \frac{\sum_{i=1}^n E_{t0,i}}{n} \\ E_{tp} &= \overline{E_{t0}} - Z_a S \\ S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{t0,i} - \overline{E_{t0}})^2}{n-1}}\end{aligned}\quad (4.5.3)$$

式中：

$n$ —施工段落内的所有测点数，大于等于 6；

$E_{t0,i}$ —各测点的实测回弹模量值（MPa）；

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

$S$ —标准差；

$\overline{E_{t0}}$ —所有测点的实测回弹模量的平均值（MPa）；

$E_{tp}$ —实测回弹模量的代表值（MPa）。

## 4.6 水泥混凝土路面加铺设计

4.6.1 碎石化后加铺水泥混凝土路面的设计方法，应按《公路水泥混凝土路面设计规范》的规定执行。碎石化层可作为加铺水泥混凝土路面的基层或底基层，加铺路面应按《公路水泥混凝土路面设计规范》规定的结构组合设计原则，合理确定基层类型和面层类型。

4.6.2 碎石化后加铺水泥混凝土路面应按两阶段设计方法进行，当设计阶段当量回弹模量取值（按公式 4.5.2 计算）与实测计算的代表值（按公式 4.5.3 计算）相比，差值在 10MPa 以内时，可直接在设计中使用；否则应进行优化设计，调整原路面设计方案。

## 4.7 沥青路面加铺设计

### 4.7.1 沥青加铺层最小厚度

沥青加铺厚度应符合表 4.7.1 的最小厚度规定。

表 4.7.1 不同地区年最大温差对应的加铺层最小厚度

|             |    |    |    |    |    |    |
|-------------|----|----|----|----|----|----|
| 年最大温差 (°C)  | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 最小加铺厚度 (cm) | 10 |    | 13 |    | 14 |    |

4.7.2 结构组合要求

为适应工程中出现的碎石化后颗粒粒径或回弹模量波动情况，加铺结构组合宜满足以下要求：

- (1) 碎石化施工中应尽可能参照推荐的颗粒粒径（见表 6.1.4）进行破碎控制，施工后立即洒布透层油，然后尽快施工防水封层。
- (2) 粒径控制结果符合 7.5~30cm 的要求，且当量回弹模量 250~500MPa 时，直接加铺双层、三层式密级配沥青混凝土。
- (3) 局部段落碎石化后颗粒粒径偏大或当量回弹模量偏高时，宜在防水封层上增设大粒径透水性沥青碎石层。
- (4) 局部段落粒径偏小或当量回弹模量偏低时，宜设置抗疲劳层，并应保证加铺层总厚度。
- (5) 当量回弹模量低于 150MPa 的路段，宜增设半刚性基层补强。

4.7.3 沥青加铺层结构组合选用

施工后粒径符合检查验收标准，且测试的当量回弹模量代表值处于 250~500MPa 时，宜采用图 4.7.3 所示结构组合形式。



图 4.7.3 一般采用的碎石化后沥青加铺结构形式

因具体工程差异，出现部分段落粒径起伏或当量回弹模量代表值超出一般范围时，宜按表 4.7.3 选取相应的结构组合形式。

表 4.7.3 碎石化后沥青加铺层结构组合选择

| 破碎程度            | 颗粒过细           | 颗粒偏细                 | 一般颗粒大小          |                | 颗粒偏粗                 |
|-----------------|----------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------------|
| 代号              | S <sub>1</sub> | S <sub>2</sub>       | S <sub>3</sub>  | S <sub>4</sub> | S <sub>5</sub>       |
| 当量回弹模量代表值 (MPa) | 小于 150         | 150~250              | 250~350         | 350~500        | 大于 500               |
| 加铺结构组合形式        | 加补强基层+面层       | 透层+AC-10 等抗疲劳层+沥青混凝土 | 透层+防水封层+三层沥青混凝土 |                | 防水封层+大粒径沥青碎石+二层沥青混凝土 |

#### 4.7.4 加铺结构厚度设计

(1) 直接加铺沥青层时, 应以沥青层底拉应力为设计指标, 按柔性基层沥青路面计算弯沉作为竣工验收指标;

(2) 碎石化层与相邻的沥青层之间宜按完全滑动处理。

#### 4.7.5 设计步骤

##### (1) 设计阶段

①确定交通量参数, 计算累计标准轴载作用次数;

②按旧面板的混凝土标号, 从表 4.5.2-3 选取碎石化后当量回弹模量平均值;

③按表 4.5.2-1~4.5.2-2 选取可靠度系数, 按式 (4.5.2) 计算折减后的碎石化后顶面回弹模量代表值;

④按双层或三层沥青混凝土层加铺, 拟定结构组合, 以沥青层底弯拉应力为设计控制指标, 计算加铺层厚度;

⑤对照表 4.7.1 的沥青加铺层最小厚度, 如果小于表列值, 则取表列值;

##### (2) 优化设计阶段 (经调整并开始正常施工后, 实测当量回弹模量)

根据实测当量回弹模量数据, 带入式 (4.5.3) 计算代表值, 与设计阶段的顶面回弹模量代表值比较, 如果相差在 10MPa 之内, 可不进行优化。否则, 应进行优化:

①按照实测回弹模量的代表值, 按 4.7.3 规定确定结构组合;

②按实测回弹模量代表值设计厚度, 以沥青层底弯拉应力为设计控制指标;

③检验是否符合表 4.7.1 的最小厚度要求。

上述设计步骤的流程图见图 4.7.5。

#### 4.7.6 参考结构

##### (1) 交通量分级

加铺结构设计采用的交通量分级标准见表 4.7.6-1。

**表 4.7.6-1 交通量等级划分**

| 交通等级           | 轻交通            | 中交通            | 重交通            | 特重交通           |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 代号             | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| 累计标准轴次 (万次/车道) | 150~400        | 400~900        | 900~2000       | 2000~4000      |
| 公路等级           | 三级             | 二级             | 高速、一级          | 高速、一级          |

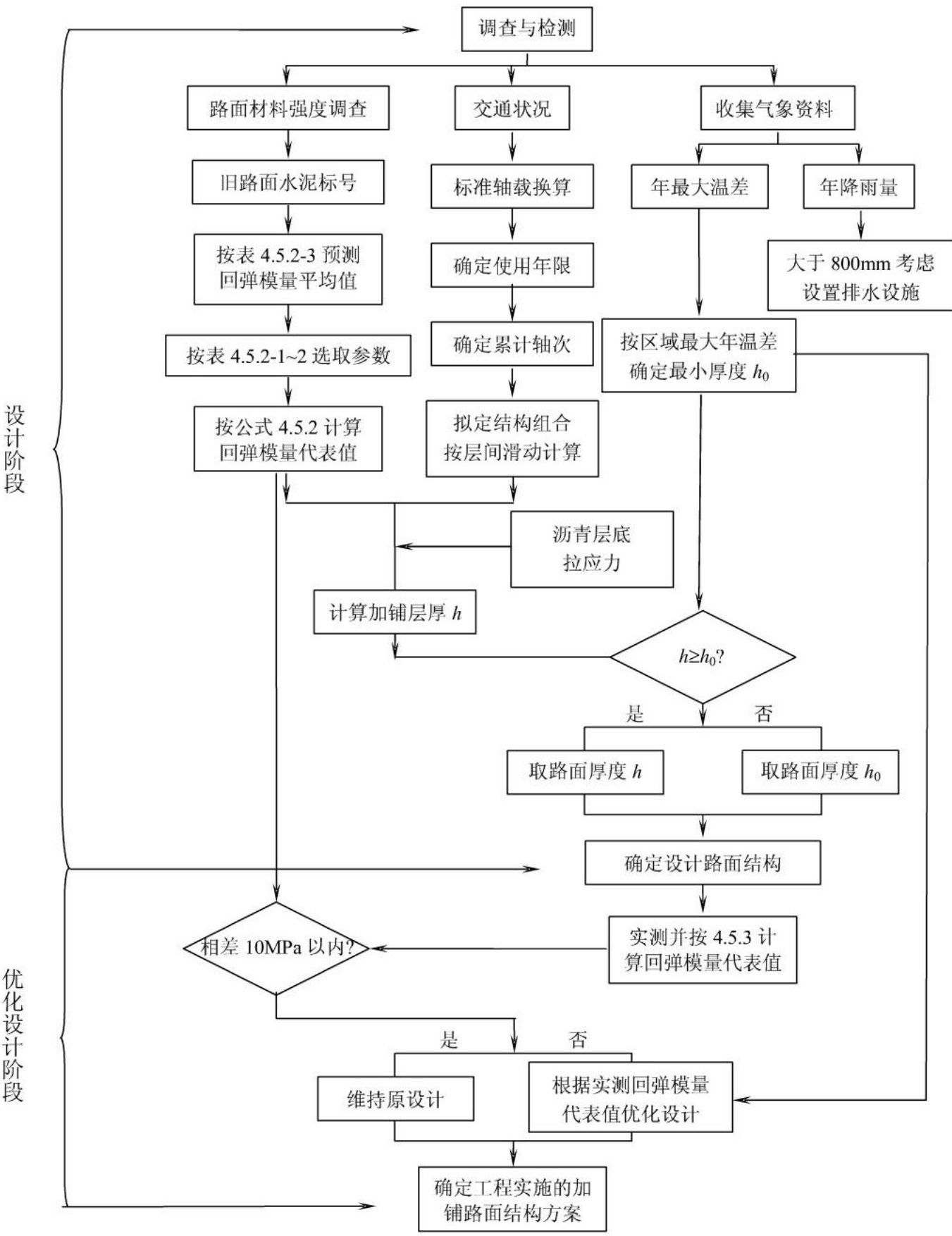


图 4.7.5 设计步骤流程图

## (2) 碎石化后顶面当量回弹模量分级

碎石化后顶面回弹模量代表值分级见表 4.7.3。

## (3) 碎石化后的结构厚度参考范围

结构组合的选取按表 4.7.3 进行，设计阶段的参考结构厚度如表 4.7.6-2。

**表 4.7.6-2 碎石化后沥青加铺层参考结构（单位：cm）**

| 结构组合特点            | 碎石化后回弹模量代表值 (MPa) | 交通量等级 ( $\times 10^4$ ) |                   |                     |                       |
|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
|                   |                   | T <sub>1</sub>          | T <sub>2</sub>    | T <sub>3</sub>      | T <sub>4</sub>        |
| 加补强基层             | S <sub>1</sub>    | 18~20cm<br>基层+3~5       | 18~20cm<br>基层+5~8 | 18~20cm 基<br>层+8~15 | 18~20cm 基<br>层+*15~18 |
| 增设抗疲劳层<br>+沥青混凝土  | S <sub>2</sub>    |                         | *10~15            | *15~20              | *18~22                |
| 沥青混凝土             | S <sub>3</sub>    |                         | 10~12             | *12~18              | *15~20                |
|                   | S <sub>4</sub>    |                         |                   | 10~12               | *12~18                |
| 增设 LSPM+<br>沥青混凝土 | S <sub>5</sub>    |                         | 12~16             | 16~20               | 20~24                 |

注：1、带\*的沥青层总厚度较大，可考虑采用 LSPM 替代下面层，根据设计计算结果和经济性进行优化；

2、“增设 LSPM+沥青混凝土”结构组合厚度为包含 LSPM 层的厚度；

3、“增设抗疲劳层+沥青混凝土”结构组合，抗疲劳层为细粒式沥青混凝土，如 AC-10 等。

# 5 碎石化的施工

## 5.1 一般规定

5.1.1 碎石化施工前，施工单位必须提供详实的施工组织设计，符合技术要求后方可施工。

5.1.2 碎石化不得在雨（雪）天施工；施工中遇雨（雪）时，应立即停工。

5.1.3 碎石化的施工现场交通控制应严格按照《公路养护安全作业规程》的要求进行，保障施工安全。

## 5.2 设备要求

### 5.2.1 设备基本性能要求

碎石化应采用专用机械 MHB 和 Z 形压路机配套施工。MHB 设备的破碎能力应与待破碎水泥混凝土路面的状况相适应，应通过试验段破碎尺寸及效果来确定。

### 5.2.2 设备主要技术参数要求

MHB 设备应为自行式，携带八对重锤呈两排分布，每对重锤由单独的液压控制系统控制，能够以相同的行进速度和不同的提升高度、频率对路面进行冲击破碎。重锤下落时可产生  $1383\sim11060\text{ N}\cdot\text{m}$  的冲击能量，典型的工作效率是单车道每小时 100m。MHB 技术参数如表 5.2.2 所示。

表 5.2.2 MHB 设备主要技术参数表

| 设备参数       | 要求       |
|------------|----------|
| 锤重范围（kg）   | 700~1100 |
| 最大落锤高度（cm） | ≥150     |
| 最大破碎宽度（cm） | ≥375     |
| 工作速度（m/h）  | 50~120   |

与 MHB 配套使用的还有 Z 形压路机，通过在钢轮上附设的 Z 形条纹，对 MHB 破碎后的路面进行补充破碎。

### 5.2.3 设备初始施工参数

MHB 施工应主要控制设备的落锤高度和锤迹间距。推荐的试验段施工时的

初始设备参数如表 5.2.3。

表 5.2.3 初始设备控制参数范围

| 初始设备参数   | 混凝土弯拉强度 |         |         |         |         |      |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
|          | <3.5    | 3.5~4.0 | 4.0~4.5 | 4.5~5.0 | 5.0~5.5 | >5.5 |
| 下落高度（m）  | 1.0     | 1.0     | 1.1     | 1.1     | 1.2     | 1.2  |
| 锤迹间距（cm） | 6~10    | 8~12    | 6~10    | 8~12    | 6~10    | 8~12 |

注：因原水泥混凝土路面状况差异较大，推荐的参数只供试验段实施时调试设备参考，具体施工设备运行参数需根据试验段结果来调整。

5.3 一般工序

MHB 设备进行碎石化并加铺沥青路面结构的一般工序如下：

- （1）移除现有的旧罩面修补层；
- （2）修复或增设排水设施；
- （3）不稳固特殊路段挖补处理；
- （4）线路内、外及地下构造物标记；
- （5）设置施工测量控制点；
- （6）施工区段的交通管制及分流；
- （7）破碎旧水泥混凝土路面；
- （8）修复或补强软弱基层或路基；
- （9）废弃材料清除；
- （10）破碎后水泥混凝土路面碾压；
- （11）与非破碎段原有水泥混凝土路面的接缝处治；
- （12）透层或封层施工（加铺沥青面层前）；
- （13）加铺新路面。

5.4 施工准备

5.4.1 移除现存的沥青加铺层和沥青修补材料

碎石化施工前，应先清除所有需要破碎的混凝土板块上存在的沥青加铺层和沥青表面修补材料。

5.4.2 排水系统修复或增设

碎石化工程应清理原有边沟或增设边沟，以保证明流排水及渗透排水。在碎

石化施工及其后的运营过程中，应确保路面不积水，明流排水应通畅快捷，渗透排水应不堵塞、不倒灌。

在凹型竖曲线底部、平曲线超高段的低边及现有混凝土板块明显唧泥等排水不畅的路段应增设横向排水盲沟。

排水系统宜在碎石化施工前两周投入正常运行。

#### 5.4.3 特殊路段的处理

在破碎之前应对出现严重病害的软弱路段进行修复处理：

- (1) 清除翻浆等不稳定部位的旧水泥混凝土路面板；
- (2) 开挖基层或路基直至稳定层；
- (3) 在挖除部位换填碎石等材料，顶面标高应与破碎混凝土板底相同；
- (4) 挖除与未挖除的过渡位置应采用与加铺底层相同的混合料，回填料应进行适当的摊铺和压实，最小控制尺寸应不小于全车道宽和 1.2m 长，以保证压实效果。

#### 5.4.4 构造物的标识和保护

施工前，应在现场对线路沿线需要保护的构造物做出明确标识，以确保这些构造物不会因碎石化施工而造成损坏。

(1) 有埋深在 1m 以上构造物(或管线)的路段可以正常破碎；埋深在 0.5~1m 的构造物(或管线)可降低锤头高度进行轻度破碎；埋深不足 0.5m 的构造物(或管线)以及桥梁等，应禁止破碎，并应避让结构物端线外侧 3m 以内的所有区域。

(2) 对于路肩外有建筑物的区段应加强安全检测，建筑物距路肩 10m 以外时应按正常破碎施工；距路肩外 5~10m 范围内时，施工时应降低锤头高度对路面进行轻度破碎；路肩外 5m 以内存在建筑物的路段，应禁止破碎。

(3) 对于不同距离的路边建筑物或不同埋深的构造物、管线等，应采用不同标志的红色油漆标注清楚，分别使用不同的破碎能量施工，以确保其安全。

#### 5.4.5 上跨构造物的净空

施工前需测量上跨构造物的净空，应尽量同时确保加铺后的净空和加铺层的厚度。如果 HMA 加铺层后的最终净空不足，可采用如下措施：

(1) 当桥下净空相差较少时，可在满足疲劳验算的前提下适当减少加铺层厚度；也可在保证足够承载力的前提下铣刨桥下路面，降低至指定标高。

(2) 当桥下净空相差较大时，则应根据设计净空挖除原路面结构，并修复或新建基层至指定标高。

#### 5.4.6 设置高程控制点

应在有代表性路段设置高程控制点，以便在施工中监测高程的变化，指导加铺层施工。

#### 5.4.7 交通管制及分流

在碎石化施工之前，应制定施工区段的交通管制及分流方案，满足通车及施工交通的安全要求。

### 5.5 试验段工程

5.5.1 碎石化正式施工前，应根据路况调查资料选择有代表性的路段作为试验段，长度不小于 200m。

5.5.2 在 5.2.3 推荐的设备初始施工参数基础上，逐级调整提升高度、锤迹间距（行进速度），直至破碎后路表呈现均匀的鳞片状，清除破碎层表面 2cm 左右碎屑至碎石化嵌挤层顶，观察裂缝情况，并与粒径范围要求（表 6.1.4）对比，粒径合适时记录设备参数。

5.5.3 在试验段内随机选取 2 个独立的位置开挖大于 1m×1m 的试坑。试坑应开挖至基层，以在全深度范围内检查碎石化后的颗粒是否满足表 6.1.4 的规定。如果不满足，必须增加试验区调整设备控制参数，直至满足要求。

5.5.4 通过以上程序得出的施工设备控制参数应记录备查并用以指导正常施工。正常施工过程中，仅可根据路面实际状况对破碎参数做出微小的调整，当必须对参数作出较大的调整时，应得到监理工程师或业主认可。

### 5.6 碎石化施工

#### 5.6.1 MHB 破碎施工

(1) 破碎施工顺序：应从外侧车道向内侧车道破碎。

(2) 边缘应防止破碎过度：在破碎路肩时应适当降低外侧锤头高度，减小落锤间距，既保证破碎效果，又不至于破碎功过大而造成过度破碎。

(3) 搭接宽度要求：两幅破碎一般要保证 10cm 左右的搭接破碎宽度。

(4) 施工匀质性要求: MHB 机械施工过程中应根据旧水泥混凝土路面的强度差异随时优化调整行进速度、落锤高度、频率等破碎参数, 尽量达到破碎均匀。

#### 5.6.2 预裂要求

基层强度过高或面板厚度过大时, 宜采用打裂等其它手段进行旧混凝土路面的预裂, 确保碎石化后达到预期效果。预裂后的区段应重新进行试验段施工, 确定其碎石化的各项施工优化参数。

#### 5.6.3 凹处回填

碎石化层作基层时, 碎石化后表面凹处在  $10\times 10\text{cm}$  以内, 压实前可用级配碎石回填;  $10\times 10\text{cm}$  以上的宜利用沥青混合料找平, 以保证加铺沥青面层的较佳平整度。

#### 5.6.4 原有填缝料及外露钢筋清除

在铺筑 HMA 以前, 应清除填缝料、胀缝材料, 并切除暴露的加强钢筋等杂物, 清除过程中产生的坑洞宜填充级配碎石粒料。

#### 5.6.5 压实

(1) 将表面的扁平颗粒进一步破碎, 同时稳固下层块料, 为新建沥青面层提供一个平整的表面。

(2) 对于一次破碎后个别面积大于  $1\text{m}^2$  的板块, 宜在碾压前用人工或小型气动冲击设备补充破碎。

(3) 破碎后的路面采用 Z 型压路机和单钢轮压路机振动压实, 压实遍数 1~2 遍, 压实速度不允许超过  $5\text{km/h}$ 。

(4) 在路面综合强度过高或过低的路段应避免过度压实, 以防造成表面粒径过小或将碎石化层压入基层。

### 5.7 碎石化表层处置

碎石化后宜对表层进行处置, 喷洒慢裂乳化沥青 (用量  $2.5\sim 3\text{kg/m}^2$ , 沥青含量 50%~55%) 后, 撒布适量石屑进行光轮静压, 石屑用量不宜过多, 以不粘轮为标准。

## 6 检查验收

### 6.1 碎石化层检查验收

6.1.1 评定长度宜按照 3.3 划分的施工段落为单位。

6.1.2 检查测试位置选择应符合随机性要求。

6.1.3 碎石化层检查验收可分为施工单位过程自检，监理、业主检测，质检部门的质量检验验收。质量检验验收合格后，方可进入下道工序的施工。为了加快施工各工序的衔接，质量检验验收应在每个施工段落的碎石化工序完成后尽快完成。

6.1.4 碎石化层的质量检验评定标准应符合表 6.1.4 的规定。

**表 6.1.4 碎石化后作底基层时的检查验收标准表**

| 项次 | 检查内容 | 标准      | 保证率 | 检查方法和频率                         |
|----|------|---------|-----|---------------------------------|
| 1  | 顶面粒径 | <7.5cm  | 75% | 直尺，20 米一处                       |
| 2  | 上部粒径 | <22.5cm | 75% | 直尺，试验段 50 米一处/<br>正常施工不均匀时抽检 5% |
| 3  | 下部粒径 | <37.5cm | 75% | 直尺，试验段 50 米一处/<br>正常施工不均匀时抽检 5% |

6.1.5 施工过程自检结果应与表 6.1.4 的规定数据相对照，有差距时，应及时查明原因，调整后续施工段落的施工方案，达到碎石化层的质量要求。

6.1.6 每一单位评定长度内，顶面当量回弹模量测试不少于 6 个随机点，按式（4.5.3）计算代表值，作为加铺结构优化设计的主要参数。

### 6.2 结构加铺后检查验收

结构加铺后检查验收应按照《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）、《公路水泥混凝土路面施工技术规范》（JTG F30）规范执行。

# 附录 A CBR 与 DCP 的 PR 指数关系表

附表 CBR 与 DCP 的 PR 指数对应关系表

| PR 指数<br>(mm/次) | CBR<br>(%) | PR 指数<br>(mm/次) | CBR<br>(%) | PR 指数<br>(mm/次) | CBR<br>(%) |
|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| <3              | 100        | 39              | 4.8        | 69~71           | 2.5        |
| 3               | 80         | 40              | 4.7        | 72~74           | 2.4        |
| 4               | 60         | 41              | 4.6        | 75~77           | 2.3        |
| 5               | 50         | 42              | 4.4        | 78~80           | 2.2        |
| 6               | 40         | 43              | 4.3        | 81~83           | 2.1        |
| 7               | 35         | 44              | 4.2        | 84~87           | 2.0        |
| 8               | 30         | 45              | 4.1        | 88~91           | 1.9        |
| 9               | 25         | 46              | 4.0        | 92~96           | 1.8        |
| 10~11           | 20         | 47              | 3.9        | 97~101          | 1.7        |
| 12              | 18         | 48              | 3.8        | 102~107         | 1.6        |
| 13              | 16         | 49~50           | 3.7        | 108~114         | 1.5        |
| 14              | 15         | 51              | 3.6        | 115~121         | 1.4        |
| 15              | 14         | 52              | 3.5        | 122~130         | 1.3        |
| 16              | 13         | 53~54           | 3.4        | 131~140         | 1.2        |
| 17              | 12         | 55              | 3.3        | 141~152         | 1.1        |
| 18~19           | 11         | 56~57           | 3.2        | 153~166         | 1.0        |
| 20~21           | 10         | 58              | 3.1        | 166~183         | 0.9        |
| 22~23           | 9          | 59~60           | 3.0        | 184~205         | 0.8        |
| 24~26           | 8          | 61~62           | 2.9        | 206~233         | 0.7        |
| 27~29           | 7          | 63~64           | 2.8        | 234~271         | 0.6        |
| 30~34           | 6          | 65~66           | 2.7        | 272~324         | 0.5        |
| 35~38           | 5          | 67~68           | 2.6        | >324            | <0.5       |

附件

# 《旧水泥混凝土路面碎石化技术规程》

## 条文说明

# 1 总则

1.0.1 水泥混凝土路面修复比沥青路面难度大、耗时长、效果难以保证。在水泥混凝土路面使用期末、病害严重，采用其它养护措施已不能保证路面使用性能时，破碎改造是有效途径之一。破碎后的处理方式有两种：一是从原位移除，二是原位利用。原位破碎再利用可以充分利用旧路资源，符合我国建设资源节约型、环境友好型社会的必然要求，是旧水泥混凝土路面改造的必然趋势。

碎石化技术是旧水泥混凝土路面原位破碎再利用的有效技术手段。混凝土路面破碎需要在结构性降低和反射裂缝风险增高之间寻求平衡。在破碎后的有效模量使反射裂缝出现的可能性降到最低的前提下，应尽量保证原混凝土板块结构性。破碎后有效模量与破碎后颗粒粒径密切相关，存在一个合理的破碎后粒径区间，能使有效模量达到适宜范围，碎石化技术就很好地符合这一要求。

1.0.2 碎石化技术只有在常规养护手段失效，确需加铺改造的前提下才可以应用。碎石化后板块的强度损失是无法恢复的，是一种重建手段，必然要求加铺新路面结构层。

碎石化技术需依托专用设备，主要有两种：一种是多锤头破碎机，通过设备多个重锤的提升、下落将板块破碎；另一种则是共振式破碎机，通过设备振动梁产生的高频低幅振动破碎旧水泥板块。2002 年起，山东省在国内率先引进多锤头破碎机碎石化设备，由山东省交通厅公路局、东南大学和山东省公路建设（集团）有限公司共同对相关技术进行了研究，2005 年通过专家鉴定、2008 年度获山东省科技进步一等奖。截至 2008 年底，该技术已在国内应用 900km 以上，已基本成熟。在前期科研、工程实践的基础上，由山东省交通厅主持，由山东省交通厅公路局等单位编制完成了本规程，为该技术的标准化、规范化发展服务。

鉴于目前碎石化后以加铺沥青层为主的实际，本规程的加铺设计部分也重点针对这种情况进行了详细规定。如需加铺水泥混凝土路面，也可参照本规程设计方法，确定当量回弹模量，并采用两阶段优化设计的思路进行设计。

1.0.3 除碎石化技术外，还有其它多种旧板块破碎技术，由于破碎效果不同，加铺结构与预期使用寿命也各不相同，需进行综合技术经济比较，择优选定旧水泥混凝土路面的改造技术方案。

1.0.4 碎石化施工与排水、旧路面结构强度、路基强度等多种因素有关，施工前难以全部查明，施工中很可能出现破碎效果波动。同时，碎石化工艺不适宜二次破碎，因此在施工前、施工中对破碎效果进行动态检测至关重要。要通过试验段确定基本设备参数，做好施工计划与施工组织工作，然后在施工中加强检测，根据结果动态调整，保证破碎效果。

## 2、术语、符号

### 2.1 术语

2.1.1 旧水泥混凝土路面的原位破碎利用技术种类较多，划分的主要依据是破碎后颗粒粒径的范围，这与各种设备的破碎方式和破碎能力密切相关。综合国内外常用的原位破碎利用设备，破碎后粒径从大到小排列的设备分类如下：

- (1) 打裂压稳、冲击压实设备，破碎后粒径范围 50~80cm；
- (2) 打碎压稳设备，破碎后粒径范围 30~50cm；
- (3) 多锤头破碎机、共振式破碎机，破碎后粒径范围 2~40cm，统称为碎石化。

因此，通过选择破碎设备，可以将板块破碎成 2~80cm 范围内的不同大小。当破碎后粒径大于 80cm 时，其减少加铺沥青路面反射裂缝的能力已基本丧失，不适宜归入原位破碎利用设备。

在 80cm 以下的范围内，各种设备破碎后粒径各不相同，破碎后加铺层出现反射裂缝的可能性也不同。如果是同一工程采用不同破碎设备后将可能出现以下两种情况：

- (1) 破碎后粒径不同，破碎后粒径较大时，出现反射裂缝的可能性增大，为保证设计使用寿命必须增加沥青加铺层厚度；
- (2) 采用了相同厚度的沥青加铺层后，破碎后粒径大的路段将较早出现反射裂缝。

但是，破碎后粒径也不是越细越好，过细则会导致板块强度损失过多，虽完全防止了可能的反射裂缝，但不能充分利用旧板强度，带来资源浪费。从目前的工程实践总结来说，路面结构采用碎石层的往往容易发生疲劳相关病害，而反射裂缝问题成为次要问题，因此，将原板块用碎石化技术破碎后，因其颗粒粒径类似于碎石，反射裂缝的隐患大大降低，更应注重防止疲劳破坏的发生。

从旧路现状来看，在板块破碎严重的情况下，需要采用破碎后粒径更小的技术，为此，板块破损严重路段采用碎石化技术更具有技术经济性。

以上各类破碎设备中，碎石化的破碎后粒径及分布状态较优，既基本消除了

反射裂缝可能性、充分利用了旧板块剩余强度，又能有效防止疲劳破坏，为此，本规程重点针对 MHB 设备碎石化的实施技术进行编制。

### 2.1.3 多锤头破碎机（Multi-head Breaker, MHB）

采用 MHB 碎石化后，形成了具有咬合嵌挤作用的层位，板块处于“裂而不碎”的状态，在尽量保留旧板块强度的同时，有效控制了反射裂缝的发生，实现了破碎程度和强度保留的综合均衡。

### 2.1.4 共振式破碎机（Resonant Breaker）

共振式破碎机对旧基层影响小，破碎后粒径较 MHB 设备小，但颗粒间嵌挤作用较弱，为了避免路面出现疲劳问题，需要采用较厚的加铺层以保证使用寿命。

### 2.1.7 冲击压实（Impact Compaction）

用于旧水泥混凝土路面破碎时，效果类似于打裂压稳。我国早期在没有旧水泥混凝土路面专用破碎设备前，将该设备用于此类工程，取得了一定的使用经验。

## 3 实施前路况调查

### 3.1 调查与检测内容

水泥混凝土路面碎石化前，要经过调查、分析、经济性比较和决策四个阶段。需要在了解原水泥混凝土路面的使用状况、破损状况与破损原因的基础上，分析可能的改造加铺方案，并通过技术经济比较来决策。

**历史调查：**指修建、养护历史。调查中要重点了解旧水泥混凝土路面结构状况、排水设施、历年养护费用和技术资料等。

**基本路况：**指路面破损状况、构造物与排水设施状况。通过详细调查分析局部严重破坏的原因，初步确定整体性差、路基软弱、基层不稳定的位置，为进一步的取芯、开挖检测等服务。了解构造物与排水设施状况，可为正式决定采用碎石化技术后的预处理提供资料。预处理主要包括路面与构造物连接处的接缝切割和排水设施的重新设置等。

**技术参数：**指混凝土面板材料劈裂强度、基层抗压强度及稳定情况、路基含水量与强度状况等。面板材料劈裂强度测试结果用于判断板块材料是否松散而不宜破碎；基层稳定情况调查在试坑开挖过程中进行，通过检查开挖后基层的具体状况，可判断基层是否松散和碎石化的实施效果；路基强度与含水量检测是判断路基否存过分软弱，从而影响破碎效果。

### 3.2 调查方法

3.2.1 因为在碎石化过程中采用分段处理方法，分段中要用到路况参数，同时参考修建养护历史情况，分段后按工程段落实施技术参数调查与检测，因此 3.1.1 中列出的调查与检测需遵循一定的顺序。断板率 DBL 指标用于划分工程段落，路况破损情况参照最新养护技术规范执行。

3.2.2 修建养护历史可先制作简易表格，通过资料收集填写表格内容，主要了解：路基历史情况、路面结构状况、历年病害发展情况、养护措施与效果及费用等情况等；构造物、排水设施则通过沿线调查的方式，主要记录构造物桩号范围、原有排水设施构造与效果等情况。

3.2.3 取芯的圆柱体试件，在进行试验前需根据顶面、底面的平整情况酌情进行切割。

3.2.4 基层稳定情况通过开挖后基层是否出现网裂、沉陷甚至松散的情况来判别，在出现上述情况时，需考虑增加开挖点，进一步判明基层不稳定的范围。

3.2.5 路基含水量宜采用现场取土、室内烘干法检测，为加快测试进程，也可在现场采用酒精燃烧法测试。路基强度可采用现行规范推荐的测试方法，但为了避免过度开挖路面造成的损害，推荐采用动力圆锥触探设备进行现场测试。测试方法参照《公路路基路面现场测试规程》，其测试结果与 CBR 具有相关关系，可通过附录 A 的表格得出 CBR。

### 3.3 施工段落划分

3.3.1 划分施工段落的出发点是为了增强碎石化技术应用的针对性。针对整个工程中不同路段技术状况，进行有针对性的检测，其目的是提供不同的施工和加铺方案，同时也可以进行更详细的施工质量检查与控制。

3.3.2 施工段落的划分首先应参考修建养护历史，从路基分段特性、路面结构分段变化、病害发生的分段特征、养护措施的分段实施情况等方面初步划分施工段落。在这方面没有明确的分段依据时，按不大于 10km 的标准初步分段；在每一初步分段内，进一步确定段内是否需要进一步细分，根据路况调查数据进行分公里评定其分级，通过合并相邻且分级相同的路段，形成初步分段内的最终施工段落。分段的距离之所以规定不大于 10km，主要是考虑旧路路况的差异和改造方案的针对性；如果在改造工程中，有局部路段病害严重，也要单独调查、单独评价，以求改造方案的合理性。

3.3.3 路面破损状况分段级别采用 DBL 指标，其中分段等级 1、2、3 大致相当于养护技术规范中路况评定为中、次、差的路段，而等级 4、5 则路况更差。

3.3.4 在划分工程段落后，针对每个段落进行取芯、开挖、检测等工作，用相应数据及其处理结果表征每个段落的旧路状况，从而可对其提出针对性对策。

### 3.4 调查与检测要求

#### 3.4.1 位置选择与测试数目要求

试坑和测点优选病害严重的路段的行车道,主要是为了了解和掌握道路的最不利情况,便于采取针对性的技术措施。

面板、基层取芯主要用于劈裂强度和无侧限试验,判断材料是否松散,测试数目无需过多。

基层稳定性和路基强度调查每 2km 随机开挖 1 至 2 个试坑,主要是避免重复劳动和对旧路面的破坏。一般在开挖面板后就应该对基层状况进行观察,确定是否出现裂缝甚至网裂、沉陷、松散。将基层资料记录后,再测定路基强度和含水量,因此应保证开挖面积足够大,以保证测试的正常进行。开挖后短期内不进行改造施工时,宜结合路面病害情况进行局部维修。

3.4.2 面板材料现场取芯主要考察面板材料有无碱集料反应等病害,为保证劈裂强度试验成功,应避免已有裂缝的位置。

“基层稳定”定义为“不出现裂缝”或“虽有裂缝,但其分割的基层碎块颗粒粒径不小于 40cm”。而“基层松散”则是小于 40cm 的情况。

测试路基 CBR 值时,路基强度测试的 6 个点宜选择在一个试坑内进行,因露出区域面积限制,按现场 CBR 测试方法测试时速度慢、难度大,建议采用动力圆锥贯入仪(DCP)。动力圆锥触探(DCP)是一种方便的现场测试方法,对于较软弱的材料,如路基土,其测试结果稳定可靠,且与 CBR 值具有相关关系,在测试出贯入值 PR 后,可查附录表格确定对应的 CBR 值。

### 3.5 数据处理

数据处理针对:面板材料劈裂强度、路基强度与含水量。主要计算平均值、标准差和代表值等。

## 4 碎石化应用决策与加铺设计

### 4.1 旧水泥混凝土路面加铺改造的判断条件

旧水泥混凝土路面是否需要改造加铺有一些具体的技术判断标准。

旧水泥混凝土路面病害发展有加速特点，使用末期，正常养护措施已无法满足保持路面使用性能的技术要求，这是旧水泥混凝土路面要进行改造或重建的重要标志，这是选择采用碎石化技术的基础和前提。

### 4.2 碎石化技术应用决策内容

4.2.1 国内外研究和工程实践证明，碎石化技术实施必须满足一定的必要条件，这些必要条件是独立于经济性、适宜性之外的技术因素。在不满足这些必要条件的前提下，不能保证碎石化技术的应用的成功。

这些必要条件包含三个方面的因素：土基 CBR、基层情况、板体情况。原土基和基层的强度状况对碎石化的效果有直接影响，因此，土基和基层是否稳定性至关重要。MHB 在破碎过程中产生的低频高幅振动可以传递到路面结构的较大深度范围内，土基和基层在破碎过程中也会受到影响，所以碎石化前基层出现裂缝或土基强度较原设计时降低是允许的。

国外研究推荐了适宜采用破碎加铺的路基 CBR 范围，图 4-1 中给出了破碎后加铺的最小“基层与面层厚度”为 15.3cm，在 CBR 值小于 7 的情况下，碎石化后需增加“基层与面层总厚度”。一般情况下，碎石化后直接加铺沥青面层；在土基 CBR 值过小的情况下，加铺的面层总厚度增大，需通过增设基层补强，以减薄面层来提高其经济性。但是，需要说明的是在增设基层补强的情况下，就路面进行碎石化是否经济，需要进行更深入的对比分析。为简化问题，取路基 CBR 值 5 为分界，大于 5 的情况下，需加铺的总厚度约 20cm，这与我国目前高速公路沥青路面的沥青层总厚度 18~20cm 基本相符，是不需要加铺新基层的最小控制标准。

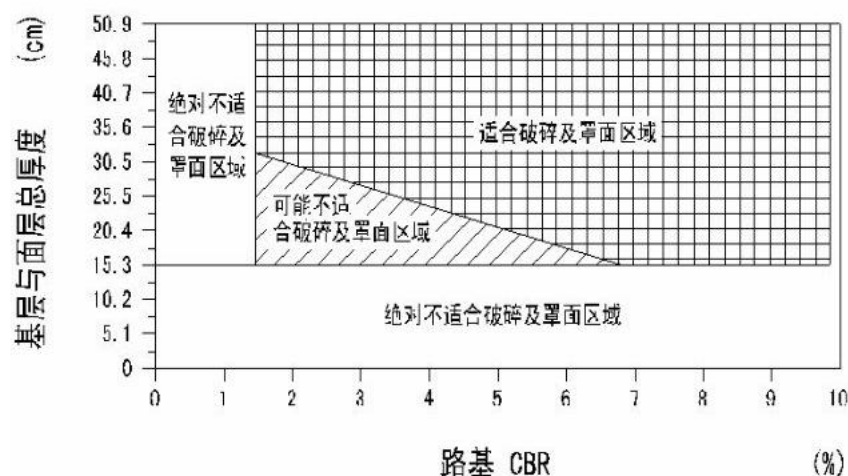


图 4-1 适合采用碎石化的 CBR 值范围示意图

在长期使用过程中，水泥混凝土路面可能因原材料中的碱性物质与活性成分发生化学反应，生成膨胀物质（或吸水膨胀物质）而发生碱集料反应，使板块逐步开裂甚至松散。碎石化应用应避免这种情况，否则可能造成板块过分粉碎，完全失去承载能力。

根据已有研究成果，除上述因素外，水泥混凝土路面的其他病害特征，如：断板率、错台等，对碎石化实施效果都没有直接影响，无需考虑。但这些病害特征会对路面的结构性能、使用性能等产生直接影响，是判断是否需要大修重建的决定性影响因素。

在工程适用条件满足的条件下，要进行技术、经济比较。

4.2.2 在满足 4.1、4.2.1 规定，即碎石化技术可行且旧水泥混凝土路面病害已严重影响路面功能且需要大修重建的情况下，还要进行技术经济性分析。碎石化后加铺的对比方案主要有：维持正常养护、打裂压稳加铺、打碎压稳加铺、冲击压实加铺等。各种技术方案在重建路面结构、使用年限等方面都各不相同，需要进行详细的技术经济对比，认真权衡，慎重决策。

### 4.3 决策方法

决策过程中要解决的主要问题是：1、是否需要改造或重建；2、改建是否适宜采用碎石化方法。4.1~4.2 节中三个主要决策步骤有针对性地回答了上述两个问题。

#### 4.4 加铺设计原则

4.4.2 加铺的旧路病害处治对加铺路面结构使用寿命有直接影响，有必要提出相应的处治要求。根据碎石化技术的原理，不少非结构性病害，如：错台、裂缝、断板等对碎石化技术实施的影响不大。在基层情况较好时，不会对加铺结构造成明显影响，而严重唧泥、沉陷和积水的病害往往需要重点处治，这在路况调查时可以查明。对以上病害，常伴随板下积水，需进行清理，要求开挖至路基，清除路基表面积水后，用碎石分层回填夯实至旧路面标高。

4.4.3 碎石化技术实施效果受到众多因素（如：路基强度变异性、旧路结构层厚度变异性、旧路材料变异性、分段施工质量差异等）的影响，最终顶面上测试的回弹模量值也具有一定变异性。部分情况下，其破碎后板块“颗粒”的粒径变化范围甚至超出控制的区间，导致回弹模量值也超出粒径控制区间对应的范围。

以上实际情况带来的一个问题是：即使通过试验段确定了施工的基本控制方法与参数，但碎石化正常施工前仍无法预知整个施工路段的破碎后强度指标（回弹模量），因此，本规程采用了两阶段设计方法，即碎石化施工前的设计阶段和施工后的优化设计阶段。在设计阶段，没有实测参数时，可按表 4.5.1-3 取值，进行加铺层结构设计；在优化设计阶段，通过实测当量回弹模量数据计算代表值，根据代表值与设计阶段取值的差异，确定是否要进行优化设计。

4.4.4 在加铺水泥混凝土路面和加铺沥青路面两种情况下，旧水泥混凝土路面碎石化后一般作为底基层或基层，采用当量回弹模量指标时，在两种路面的设计方法中均能应用。

4.4.5 碎石化后加铺沥青路面结构设计基本方法可按我国的规范方法为基础，但要作进一步改进，主要体现在两个方面：

- （1）设计程序上分设计及改进设计两步；
- （2）增加 AI 法中对不同温度特点地区的最小厚度要求。

在实际工程中，因原路面基层、土基等状况的参数比较难以测得，所以以碎石化后结构层顶面的当量回弹模量作为原路面结构碎石化后的强度代表参数，这样就以碎石化顶面的当量回弹模量代替常规路面结构计算中的土基模量即可，泊松比可取 0.3。通过洒布乳化沥青等措施，使得碎石化后表层的小粒径颗粒粘结

成具有一定整体性的材料。

碎石化后板块层类似于级配碎石，直接加铺沥青面层时，总的柔性层厚度很大，其受力属于柔性基层沥青路面，弯沉控制标准应相应按照柔性基层沥青路面要求乘以基层类型系数。设计时根据碎石化后直接加铺沥青层的路面结构状态，以沥青层层底拉应力为设计指标，而将回弹弯沉作为竣工验收指标。

4.4.6 分段设计带来一个问题是相邻路段的路面结构形式可能不同，设计时应考虑调坡后顺接。水泥混凝土路面衔接难度较大，因此可适当合并工程路段，使结构更单一，便于施工。

## 4.5 碎石化后的设计参数

碎石化实施后，旧板块处于颗粒嵌挤且类似于级配碎石的无粘结状态：

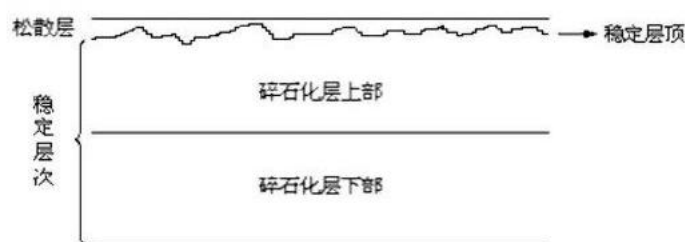


图 4-5 碎石化后根据粒径分层情况

在这一层上测试回弹弯沉难以得到变异性小、可靠度高的检测结果，因此，推荐直接采用当量回弹模量指标。刚性承载板因具有更大的承载面积，其测试结果的变异性更低，更符合碎石化后路面状况。

研究表明：水泥混凝土路面应用碎石化工艺时，还应考虑以下原则：

(1) 回弹模量平均值一般在 150~500MPa 左右，部分原路面水泥混凝土材料较好时，回弹模量会更大，现场测试中出现过个别值在 600、700MPa 的情况，进行上部结构设计时，必须将弯拉指标作为主要设计指标；

(2) 等级较高的公路，碎石化层上加铺的沥青层总厚度一般不宜小于 12cm；

(3) 上面层必须密级配防水；

(4) 必须完善排水设施。如果基层含水量大，施工时应采取办法降低含水量后再进行碎石化；

(5) 在碎石化程度较高，测试的回弹模量数据较小时，应注意下面层的抗疲劳特性。

为使碎石化后加铺层设计与我国的现行设计理论和方法相衔接,采用了以弹性层状体系理论为基础的新建路面设计方法。

在规范设计方法中,对路基采用的设计参数是顶面的回弹模量。碎石化加铺时,这个值通过对旧路碎石化后的检测得到,测试当量回弹模量将其看作路基顶面回弹模量,并将其作为加铺结构设计的基本参数。

碎石化加铺层构筑在破碎板块顶面上,因此在进行加铺层设计前,有必要对碎石化层的基本性质作出界定。从我国路面结构设计理论出发,反映碎石化层性状的主要参数是该层的弹性模量和泊松比。这两者中,弹性模量是因材料性质不同而变化较大的参数,碎石化施工过程中的各种施工参数的控制,最后都反映在该层弹性模量的变化上。从另一角度考虑,碎石化层以下的原基层、土基等的弹性模量对加铺层的结构设计也有相应影响。我国沥青路面设计的一般思路是将碎石化层顶面上的强度特性作为碎石化及其下层结构的代表强度,即顶面当量回弹模量。如果破碎后当量回弹模量能达到较高的水平,则在设计时可以充分利用这一点达到减小路面加铺层厚度的目的。

碎石化的根本目的是防止旧水泥混凝土板块可能的反射裂缝,而反射裂缝产生的根本原因是强度上的差异,所以碎石化的根本目的是使碎石化后顶面强度趋于均匀。在控制破碎程度时应该以破碎后顶面强度的均匀性来衡量,在此基础上再保证其强度尽量高。

为此选择了以可靠度为基础的当量回弹模量取值方法,因目前的数据积累有限,其中的可靠度设计标准与可靠度系数表(4.5.1-1、4.5.1-2)直接从《公路水泥混凝土路面设计技术规范》中引用。因为是在设计中应用,在碎石化施工后要根据实际检测情况进行判断和调整,因此即使取值出现偏差也不会影响最后的设计结果。为简化起见,对加铺沥青路面的情况也采用了相同的可靠度设计标准。

#### 4.6 水泥混凝土路面加铺设计

我国刚性路面设计规范《公路水泥混凝土路面设计规范》中对基层顶面当量回弹模量按可靠度设计标准表要求。碎石化后结构层作为新路面结构的基层,可参照这一可靠度标准取值。当然,这一标准是新建水泥混凝土路面采用的指标。

值得注意的是,以上可靠度指标是在对已有路面结构进行隐含可靠度分析得

到的，主要考虑的参数除基层顶面的当量回弹模量外还有材料参数、结构尺寸、施工因素等方面的变异，而可靠度系数是综合这些变异以后的系数。简而言之，如果仅基层的顶面当量回弹模量发生低、中、高的变异所对应的可靠度系数应低于上列可靠度系数表列数值。从这个角度而言，公式 4.5.2 计算值作为顶面当量回弹模量应是偏安全的。

## 4.7 沥青路面加铺设计

4.7.1 温度因素对碎石化后加铺面层设计的影响，主要表现在不同温区，加铺层厚度的最小值上，AI 设计方法就采用这种方式进行控制。控制不同最大温差地区的最小加铺层厚度是为了防止面层厚度太小，不能抵御破碎层温度变化带来的温缩应力而产生相应的面层裂缝，对面层造成早期损害。出于同样的考虑，在我国应用碎石化工艺的情况下，也必须考虑年最大温差所要求的极限最小厚度。具体的厚度极限标准，参照 AI 设计方法取值。具体控制厚度如表 4.7.1 所示。

降雨量因素也会影响碎石化后加铺结构的应用，国外资料没有相关内容，而且单纯按降雨量大小对路面结构作出定量的限定也是不尽合理的。因此对降雨量的考虑主要应从结构构造、结构组合上考虑。主要是注重防水、排水设施的设置、施工和检查过程，保证排除水损害的可能。将防水、排水设施的设计作为路面结构设计的一个重要组成部分，同时要求沥青面层的密水性。

4.7.2 国外资料对一般破碎粒径情况下的沥青路面加铺结构组合提出了较宽的要求，即：一般要求其密级配，并且要特别注意整个沥青加铺层底与碎石化层相联结位置处的拉应力疲劳问题。

提出上述两方面要求的原因是：

(1) 水泥混凝土路面碎石化后，形成了很多贯穿板厚的裂缝，这些裂缝为水份通过提供了渠道，使得整个碎石化结构层成为透水层，虽有排水设施完善和表面洒布透层油的预防措施，仍不能杜绝可能的水份在碎石化层下的聚集，因此提出了采用密级配沥青混凝土的基本要求，以防止水份从路表进入；

(2) 破碎层顶、沥青层底的拉应力疲劳问题是国外相关工程中曾出现的实际情况，这些疲劳裂缝一般都是由于碎石化程度太高、颗粒粒径过小，而在加铺层结构设计中又没有充分估计碎石化层的强度降低程度，使得新路面结构难以抵

御重复拉应力作用，而出现相应的疲劳开裂。

4.7.3 碎石化的实际工程应用中，因道路实际使用状况多变，即使采取了相应的决策步骤，也很难避免碎石化后颗粒粒径不在推荐的粒径范围之内。因此，有必要讨论在这些情况下，适宜采用的结构层类型和结构组合模式，以应对可能出现的实际工程情况。

对于颗粒粒径偏大的情况，主要出发点是从结构组合角度提出合理结构层类型以进一步降低反射裂缝出现的可能。粒径偏小时，则需要提出能抵抗沥青层底疲劳开裂的结构层类型和组合模式。

国内碎石化技术工程实践中，针对碎石化后回弹模量代表值超出控制的范围的情况下，采用 LSPM-25、LSPM-30 和 AC-10 等进行结构组合取得了良好的使用效果。回弹模量代表值大于 500MPa 时，破碎后粒径偏大，反射裂缝威胁加剧，增加 LSPM 层吸收变形；代表值小于 250MPa 时，破碎后粒径偏小，疲劳破坏威胁加剧，可考虑增加 AC-10 抗疲劳层。

4.7.4 结构厚度设计采用弹性层状体系理论，当量回弹模量采用 4.5.2-3 推荐的平均值按公式 4.5.2 计算代表值进行设计，虽然是沥青路面设计，但因为缺乏可用的加铺沥青路面可靠度设计标准，所以沿用相同指标，由于优化设计的保障，这种差异对最终路面结构的影响不大。优化设计时采用实测值计算，按公式 4.5.3 计算代表值。代表值与设计取值相差 10MPa 以内无需进行优化设计，否则进行优化设计。

4.7.6 表 4.7.6-2 是在两阶段设计中的第一阶段选用的参考结构，在优化设计阶段需根据实测的当量回弹模量代表值重新按组合设计要求选定组合形式，用软件计算确定结构层厚度。

标注\*的结构可以考虑增设 LSPM 层替代 AC 层，以降低工程造价。以厚度范围的形式给出参考的沥青加铺结构厚度范围。

碎石化后可采用的沥青加铺层有：密级配沥青混凝土、LSPM 等，上面层还可以根据需要设置 SMA、OGFC 等。结构层组合应满足经济性原则，在总厚度要求超过 12~14cm 时，可考虑双层组合方式，在下层设置 LSPM，上层采用抗磨耗能力强的层次，在总厚度超过 18~20cm 时，可考虑三层组合方式，下层采用 LSPM。在碎石化后顶面回弹模量较小时，考虑设置抗疲劳层。

## 5 碎石化的施工

### 5.2 设备要求

要使原水泥混凝土路面板碎石化后可直接作为新路面结构的基层或底基层，必须采用有如下能力的破碎施工机械：

- (1) 使原水泥混凝土板块破碎后在平面上强度分布比较均匀；
- (2) 原水泥混凝土路面破碎后具有一定的强度；
- (3) 破碎后，原水泥混凝土路面病害可以消除；
- (4) 破碎后的粒径合理，不会产生应力集中，从而对加铺层质量产生影响。

选择 MHB 作为旧水泥混凝土路面碎石化的主要施工机械能满足上述要求。这种机械具有八对可以独立控制的重锤，可以破碎 75cm 到 400cm 宽的路面。

破碎效果主要取决于重锤下落势能转化成的冲击能大小，因此，需对落锤势能提出最低要求：不小于 11kJ，同时也不宜大于 15kJ，以免对旧路基层造成不利影响。这主要通过设备主要技术参数表中的锤重范围和最大落锤高度控制。

MHB 作为一种施工机械，主要控制的指标是落锤高度和锤迹间距。这两项指标决定了冲击能量大小和分布密度，从而最终决定了破碎后结构层在整个厚度范围内的粒径分布特性以及其力学性质。水泥混凝土板块过厚或基层、土基强度较高时可能造成碎石化困难，所以要对其强度作出定性评估。土质较好情况下的挖方，应属于下卧层强度较高类，土质一般的挖方和填方属于一般强度类，而路基填料土质较差或含水量可能相对较高的情况属于下卧层强度较低类。

需要指出的是，因原水泥混凝土路面状况差异较大，并且难以进行准确评估，所以上述推荐的施工参数只供试验段调试设备运行参数时参考，具体施工设备运行参数需根据试验段得出的结果来调整。

### 5.3 一般工序

加铺水泥混凝土路面和加铺沥青路面的一般工序稍有不同，如果加铺沥青面层，则应施工透层或封层，如果加铺水泥混凝土路面，则否。

## 5.4 施工准备

混凝土板块上存在的沥青罩面层和部分沥青表面修补材料会吸收 MHB 的破碎能量,改变水泥混凝土板块破碎后的粒径分布,从而影响碎石化质量,因此施工前必须清除。

对老路基层、面板换填时可考虑的方式较多。如果面积较大且利于机械施工,推荐采用水泥稳定类材料换填至原路面标高,碎石化施工时不再对换填的部分进行破碎;如果面积较小且不利于机械施工,推荐采用粗粒式沥青混合料回填,或者采用早强水泥混凝土修补至原路面标高,待其强度达到 70%以上后,与周围原有水泥混凝土面板一起碎石化。具体方案宜根据当地条件、工期等综合考虑。

老路破坏的一个重要原因是水损坏,碎石化后的混凝土层虽然具有一定的过水能力,但并不能承担所有的排水功能,因此,必须提前修复排水设施。

碎石化施工会产生一定振动,应采取措施减小对沿线路幅外建筑物和路幅内构造物与管线等的影响。

碎石化施工中的交通控制非常重要,在碎石化后,加铺层铺筑前应尽量避免车辆驶入,破坏碎石化后的结构层状态。

## 5.5 试验段工程

因为破碎后的粒径大小与分布直接影响碎石化层的强度和均匀性,为此,碎石化主要控制指标为破碎后的粒径分布。由于 MHB 碎石化后混凝土层仅表层为碎石状态,而下部则呈咬合嵌挤状态(这也是 MHB 碎石化优于共振碎石化的一个重要原因),碎石化层开挖十分困难。

现场承载板试验是确定破碎后基层顶面回弹模量的最直接、最有效的评定方法。鉴于承载板试验需要大量的时间,对整个路段开挖测定回弹模量是不可能的,因此,只有利用试验段已有数据来研究和评价碎石化对基层顶面强度的影响。试验段测得的主要数据是碎石化层顶面的当量回弹模量等。

在正常施工阶段,为加快检测速度,可以采用常用的多种无损检测手段,如:FWD 等,建立其测试指标与当量回弹模量的相关关系,从而能对施工进行快速评定。

## 5.6 碎石化施工

在直接加铺沥青混凝土时，为使表面较松散的粒料有一定的结合力，建议使用慢裂乳化沥青做透层，用量控制在  $2.5\sim 3\text{kg/m}^2$ ，乳化沥青透层表面再适量撒布石屑后进行光轮静压，石屑用量以不粘轮为标准。碎石化后表层的粒径较小，透层起到了稳固和防水的双重功效。

在增设半刚性基层时，在摊铺水泥稳定材料之前，建议对碎石化表面喷洒少量的水，湿润混凝土表面，减少因失水造成的水泥稳定材料干燥、松散，保证基层成型完好。

## 5.7 碎石化表层处置

加铺沥青面层前，应对碎石化表层进行处置。

## 6 检查验收

### 6.1 碎石化层检查验收

6.1.1 评定长度采用 3.3 节施工段落划分长度，可以与调查成果、设计成果对应起来，从而实现整个过程的分段原则。

6.1.3 检验验收应在碎石化施工结束后尽快开始，在检测过程中发现问题及时解决，为后续工程段落的施工参数调整提供参考。

6.1.4 碎石化施工后质量控制有两个方面内容：一是粒径尺寸范围；二是几何形位参数。在碎石化过程中，满足粒径要求是主要的。几何形位受旧水泥混凝土路面高程、平整度、病害等因素影响，在碎石化施工中难以有效控制，不再提出要求。在具体工程应用中，如碎石化层直接作为基层时，如表面平整度较差，可增设找平层予以改善，以保证加铺面层平整度。

6.1.6 根据施工中的实际情况，用承载板测试当量回弹模量速度慢、效率低，可考虑采用其他快速测试设备与方法，如：采用 FWD 设备。在试验段增加测试数量，将 FWD 测试数据与当量回弹模量建立回归关系式，在大范围施工时，利用回归关系式直接换算当量回弹模量，但 FWD 测试数据应适当加密。

碎石化施工后检测回弹模量会发现，回弹模量波动较大，往往需要根据实际测得的回弹模量值在优化设计阶段对加铺结构进行优化，使加铺结构设计结果符合实际情况。

根据一般路面结构特点，建议：以 150MPa 作为是否要加半刚性基层补强的分界线，小于等于 150MPa 时需要加基层，碎石化层作为底基层；大于 150MPa 时可直接作基层，加铺沥青层。

### 6.2 检查与验收指标与标准

碎石化后加铺结构的检查验收标准应直接参照我国路面现行施工技术规范。

## 工程实例

本节内容相关实体工程：京沪高速泰化段大修工程，2003 实施，是碎石化科研的试验段工程，碎石化后直接加铺沥青路面。其路面设计、施工过程如下：

### 旧水泥混凝土路面状况调查与检测

为了解试验段原有情况，参考第 3 章相关规定，对其中 1.5km 路段调查的主要病害情况如下：

- (1) 出现的主要病害为各种类型的裂缝和断板，以及部分表面缺陷；
- (2) 所调查路段总的断板率为 21.2%，其中行车道的破坏情况尤为严重，断板率达到了 40.1%，路面破损状况相当严重；
- (3) 通过开挖试坑发现：路基含水量一般比最佳含水量高 5~6%；基层只出现个别裂缝，情况稳定；面板取芯劈裂试验强度换算为弯拉强度后，代表值大于设计值；
- (4) 试验段破坏类型主要为各种类型的裂缝、断板以及局部的沉陷、唧泥，发生结构性损坏的板较多，路面亟待改造。

### 碎石化应用决策

参考第 4 章相关规定：

- 1、是否需加铺改造（参考 4.1）
  - (1) 调查路段与 4.1 中的 (2)、(3) 条吻合，进入加铺改造阶段；
  - (2) 根据《公路水泥混凝土路面养护技术规范》，坏板率在 15~50% 之间，必须安排大中修进行处治。因此，试验段应进行加铺改造。
- 2、技术可行性（参考 4.2）
  - (1) 通过 DCP 测试，原路路基 CBR 平均值为 22.1%，符合碎石化的条件；
  - (2) 通过开挖试坑发现基层只出现个别裂缝，情况稳定；面板取芯劈裂试验强度换算为弯拉强度后，代表值大于设计值。

参考表 4.2.1，满足碎石化的技术可行性要求。

### 3、技术经济性（参考 4.3）

根据实际情况，对碎石化路段进行经济分析，重点对采用压浆稳固后直接加铺 15cm 沥青混凝土路面、冲击压实后加铺 32cm 水泥稳定碎石基层再加铺 15cm 沥青混凝土路面及碎石化后直接加铺 18cm 沥青混凝土路面等三种方案进行经济比较分析。为便于对水泥混凝土路面大修进行经济分析，选取长度为 1000m，宽度按照 10m 计算，面积共计 10000m<sup>2</sup>。

**表 1 各工序单价**

|                |           |              |         |
|----------------|-----------|--------------|---------|
| PCC 修补         | 120 元/平方米 | 锯缝密封         | 15 元/延米 |
| 破裂压稳           | 7 元/平方米   | HMA 下面层（1cm） | 7 元/延米  |
| 碎石化            | 16 元/平方米  | HMA 中层（1 cm） | 8 元/延米  |
| 压浆稳定           | 10 元/平方米  | HMA 表层（1 cm） | 9 元/延米  |
| 32 cm 水泥稳定碎石基层 | 38 元/平方米  | 冲击压实         | 9 元/平方米 |

**表 2 PCC 修补后直接加铺 HMA 的费用（每公里）**

| 内 容             | 面积或长度     | 单价        | 总价（元）  |
|-----------------|-----------|-----------|--------|
| 修补 5%的 PCC 路面   | 500 平方米   | 120 元/平方米 | 60000  |
| 95%的压浆稳定        | 9500 平方米  | 10 元/平方米  | 95000  |
| 横缝锯缝密封          | 3000 延米   | 15 元/延米   | 45000  |
| 加铺 6cmHMA 下面层费用 | 10000 平方米 | 42 元/平方米  | 420000 |
| 加铺 5cmHMA 中面层费用 | 10000 平方米 | 40 元/平方米  | 400000 |
| 加铺 4cmHMA 表面层费用 | 10000 平方米 | 36 元/平方米  | 360000 |
| 合 计             | 1380000   |           |        |

修补面积每增加 5%，综合计算第一、二项费用，将以 55000 元为总额升高。

在使用以上加铺方案的情况下：

修补 10%PCC 路面直接加铺 HMA 面层1435000 元

修补 15%PCC 路面直接加铺 HMA 面层 1490000 元

修补 20%PCC 路面直接加铺 HMA 面层1545000 元

修补 25%PCC 路面直接加铺 HMA 面层 1590000 元

**表 3 碎石化后直接加铺 HMA 所需费用（每公里）**

| 内 容             | 面积        | 单价（元/平方米） | 总价（元）  |
|-----------------|-----------|-----------|--------|
| 碎石化             | 10000 平方米 | 16 元/平方米  | 160000 |
| 加铺 8cmHMA 下面层费用 | 10000 平方米 | 56 元/平方米  | 560000 |
| 加铺 5cmHMA 中面层费用 | 10000 平方米 | 40 元/平方米  | 400000 |
| 加铺 4cmHMA 表面层费用 | 10000 平方米 | 36 元/平方米  | 360000 |
| 合 计             | 1480000   |           |        |

本路段基本符合碎石化条件，需要更换的破碎板数量不大，不再考虑。

**表 4 冲击压实后做基层后加铺 HMA 所需费用（每公里）**

| 内 容             | 面积        | 单价（元/平方米） | 总价（元）  |
|-----------------|-----------|-----------|--------|
| 冲击压实            | 10000 平方米 | 9 元/平方米   | 90000  |
| 32 cm 水泥稳定碎石基层  | 10000 平方米 | 38 元/平方米  | 380000 |
| 加铺 6cmHMA 下面层费用 | 10000 平方米 | 42 元/平方米  | 420000 |
| 加铺 5cmHMA 中面层费用 | 10000 平方米 | 40 元/平方米  | 400000 |
| 加铺 4cmHMA 表面层费用 | 10000 平方米 | 36 元/平方米  | 360000 |
| 合 计             | 1650000   |           |        |

通过以上分析说明：20%的路面需要修补，是采用修补和碎石化的平衡点。

本工程所调查路段断板率为 21.2%，其中行车道的破坏情况尤为严重，断板率达 40.1%，需要修补的面积超过 20%，选用碎石化方案较为经济，方案可行。

### 加铺沥青路面设计

本路段交通量为重交通等级。

碎石化沥青加铺层设计按两阶段设计方法，其中一个施工段落的设计如下：

交通量：当量轴载日交通量的平均值为 16507.7 次，设计年限为 15 年，设计年限内交通量的平均年增长率取 5%，车道系数为 0.45。

$$N_e = \frac{[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta = \frac{[(1+0.05)^5 - 1] \times 365}{0.05} \times 16507.7 \times 0.45 = 1.5 \times 10^7 \text{ 次}$$

$$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c \cdot A_s \cdot A_b = 600 \times (1.5 \times 10^7)^{-0.2} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.6 = 35 \text{ (0.01mm)}$$

水泥标号：42.5，可预计施工后顶面当量回弹模量平均值为中值 400MPa，其公路等级为高速公路，按可靠度设计标准，其变异水平等级应为“低”，且目标可靠度为 95%，相应可靠度系数查表，可取中值 1.26。施工控制应按 0.25 的变异系数控制回弹模量的变化范围。

$$\text{根据可靠度折减后的顶面当量回弹模量: } E_t = \frac{\bar{E}_t}{\gamma_r} = \frac{400}{1.26} = 317 \text{ MPa}。$$

根据参考结构，交通量属重交通 T<sub>3</sub> 等级，当量回弹模量属 S<sub>3</sub> 等级，相应的路面结构总厚度查表 4.7.6-2 为：12~18cm，可采用的组合形式（结合公路等级与施工要求确定）：3cmAC-13+5cmAC-20+7cmAC-25。

沥青层总厚度为 15cm，大于最小厚度要求。设计阶段结束。

## 碎石化施工与检测

现场实测的当量回弹模量平均值为 189MPa，标准差为 20.7，根据公式：

$$E_t = \bar{E} - Z_a S = 189 - 20.7 \times 1.645 = 155 \text{ MPa}$$

## 优化设计阶段

这个实测回弹模量代表值与预测的 317MPa 相差较大。分析其原因，施工中开挖检测发现破碎后粒径偏细。因实测与预测值相差较大，需进行沥青加铺层优化设计。

根据实测值计算的回弹模量属于 S<sub>2</sub> 等级。查表 4.7.6-2，宜采用增设抗疲劳层的结构组合，加铺的沥青层总厚度为 15~20cm，可采用的结构组合（结合公路等级和施工要求）：3cmAC-13+5cmAC-20+7cmAC-25+3cmAC-10。

将其作为参考结构，带入结构设计软件验算并作进一步优化。因碎石化结构组合研究未完成，实际工程采用的是 20cm 的三层式沥青路面。

## 长期使用性能

京沪高速泰化段总长约 27km，于 2002~2003 年采用 MHB 碎石化技术进行了大修。从使用效果看，除了局部出现部分坑槽以外，路面平整密实，整体强度较好，没有出现松散、开裂等病害，路面使用质量均比较理想。坑槽主要与个别位置排水处理不到位、沥青混合料质量欠佳、车辆漏油等因素有关，与碎石化无关。图 6 是京沪高速泰化段采用了 MHB 碎石化技术大修后使用四年的实际状况。



图 6 竣工通车 4 年道路情况