

# Organic Polymers Stabilized Crushed Stone Based on Vertical Vibration Test Method Study on the Stability of Basic Level Water

Dejing Shi

Wuyi County Highway Administration Bureau, Jinhua Zhejiang  
Email: 1565721331@qq.com

Received: Jun. 27<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 14<sup>th</sup>, 2017; published: Jul. 17<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The paper proved the adaptability of Vertical Vibration Test Method (VVTM) by comparing the mechanical strength with the core sample of practical engineering, taking the organic polymer (SRX) stabilized crushed stone base as the research object and exploring its water stability by studying its saturated strength and dry strength. The research shows that: the compaction degree determined with the static method was between 100.2% - 100.7%; there existed over 100% phenomenon; the compaction degree determined with VVTM was between 98.3% - 98.8%, and degree of anastomosis was more than 90% between the strength of the specimen and the strength of field core sample. The relative water content of SRX stabilized crushed stone constantly increased with the extension of immersion time; the compressive strength constantly decreased, when the immersion time was up to 32 hours after saturation, the compressive strength did not change, and the soaking time ( $t$ ) and the ratio ( $R$ ) of compressive strength and maximum compressive strength meet:  $R = -0.135 \ln t + 1.097$ ; the residual strength ratio of SRX stabilized crushed stone specimen was more than 90% under the worst conditions; water stability was good.

## Keywords

Vertical Vibration Test Method, Organic Polymer, Stabilized Crushed Rock Material Base, Water Stability

---

# 基于垂直振动试验方法有机聚合物稳定碎石水稳定性研究

石德景

武义县公路管理段, 浙江 金华

Email: 1565721331@qq.com

收稿日期: 2017年6月27日; 录用日期: 2017年7月14日; 发布日期: 2017年7月17日

## 摘要

通过与静压法成型试件和实体工程芯样的物理力学性能的对比, 证明了垂直振动试验方法(VVTM)的适应性, 并采用垂直振动试验方法研究了有机聚合物稳定碎石饱水强度和干化强度, 分析了其水稳定性。结果表明: 静压成型法存在着确定的 $\rho_{dmax}$ 偏小、最佳含水率偏大、压实度处于100.2%~100.7%超百等现象, 而垂直振动法确定的压实度一般处于98.3%~98.8%, 最佳含水率更加接近实际, 抗压强度与劈裂强度和现场芯样的强度吻合度在90%以上; 随着浸水时间的延长, 有机聚合物稳定碎石的相对含水率不断增大, 抗压强度不断减小, 当浸水时间达到32小时饱水时, 抗压强度基本不再变化, 且此时有机聚合物稳定碎石的抗压强度约为最大抗压强度的60%以上, 浸水时间( $t$ )与某一浸水时间下抗压强度与最大抗压强度比值( $R$ )满足:  $R = -0.135\ln t + 1.097$ ; 有机聚合物稳定碎石试件在重复饱水、干化后测定的干化强度, 其残留强度比均大于90%, 水稳定性良好。

## 关键词

垂直振动试验方法, 有机聚合物, 稳定碎石基层, 水稳定性

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

有机高分子聚合物 SRX 材料是采用多种特殊压力敏感性树脂及高强度抗老化树脂聚合而成的特殊路用聚合物溶液, 是一种新型高分子树脂聚合物路用稳定剂。近年来, SRX 稳定碎石因具有良好的柔韧性、较高的力学强度以及施工简便、造价低廉等优点开始得到道路工作者关注, 并开展了相关应用研究 [1] [2]。Iyengar 等 [3] 研究了 SRX 稳定基层的物理、化学及机械碾压特性, 并通过实际工程状况对 SRX 稳定基层进行了可行性分析; Scholten 等 [4] 研究了 SRX 的技术性能及其对路用性能的影响。杜洪新 [5] 研究了 SRX 稳定基层的技术特征和适用条件, 并针对不同的基层材料进行了配合比设计和路用性能验证; 蒋应军、杨晨光等应用振动成型水基聚合物 SRX 稳定碎石试件, 研究了 SRX 稳定碎石含水率变化规律及其对 SRX 稳定碎石力学强度的影响 [6]; 张敏江、赵云龙等通过室内试验确定 SRX 稳定基层材料的 CBR 值和回弹模量 [7]; 赵伟、蒋应军等应用垂直振动方法成型 SRX 稳定碎石试件, 研究了 SRX 稳定碎石强度增长规律 [8]。可见, 有机聚合物 SRX 稳定碎石研究和应用文献报道较少, 关于其水稳定性的研究几乎没有, 而水稳性直接影响沥青路面抗水损坏能力 [9]。因此, 研究 SRX 稳定碎石的水稳定性具有重要意义。已有研究成果表明: 静压成型水泥稳定碎石试件物理力学特性与工程实际相关性不足 50%, 而半刚性基层材料垂直振动试验方法成型试件物理力学特性与工程芯样的相关性可达 90% [10] [11] [12] [13] [14], 这表明振动成型试验方法能够更好地模拟基层实际碾压效果, 成型试件能真实地反映基层材料实际性能。因此, 论文采用振动法成型 SRX 稳定碎石试件, 研究了 SRX 稳定碎石饱水强度与干化强度, 分析了 SRX 稳定碎石的水稳定性。成果可为实践应用提供参考。

## 2. 原材料及试验方法

### 2.1. 原材料及矿料级配

聚合物 SRX: 试验选用 Romix International Ltd 公司生产的 SRX 溶液;

集料: 取用浙江省东阳市胡家岭石料厂石灰岩, 其技术指标略;

矿料级配: 采用文献[15]中的矿料级配, 见表 1。表中 GF 取自《公路沥青路面设计规范 JTG D50-2006》悬浮密实型二灰碎石级配范围中值, GM 是基于 VVTM 的骨架密实级配中值。

### 2.2. 垂直振动试验方法(VVTM)

振动压实仪要求垂直方向有激振力、水平方向激振力为零, 其基本参数为激振力 7.6 kN、名义振幅 1.4 mm、工作重量为 3 kN、击振频率 30 Hz。

垂直振动击实法确定最大干密度及最佳含水率时, 振动击实时间为 120 s。

垂直振动方法成型圆柱体  $\Phi 15 \text{ cm} \times h 15 \text{ cm}$  试件时, 振动成型试件时间为 80 s。

### 2.3. 垂直振动法的适应性

#### 1) 与重型击实方法的比较

重型击实方法、VVTM 试验方法、现场振动碾压方法确定的最大干密度、最佳含水率结果见表 2。矿料级配采用表 1 中 GF, SRX 剂量 0.5%。

由表 2 可知, 以 VVTM 确定的最大干密度计算压实度, 压实度为 98.3%~98.8%; 以重型击实方法确定最大干密度计算, 则压实度为 100.2%~100.7%, 均出现超百现象, 可见振动压实标准与现场振动压路机击实功更吻合[15]-[20]。

#### 2) 与现场芯样比较

VVTM 试件、现场芯样的力学强度结果见表 3。矿料级配采用表 1 中 GF, SRX 剂量 0.5%, 表中  $\delta_c = R_{c(v)}/R_{c(x)}$ ,  $\delta_i = R_{i(v)}/R_{i(x)}$ ,  $R_{c(v)}$ 、 $R_{i(v)}$  和  $R_{c(x)}$ 、 $R_{i(x)}$  分别代表 VVTM 和现场芯样的抗压强度和劈裂强度。

表 3 可知, 振动成型试件的  $R_{c(v)}$  和  $R_{i(v)}$  分别是现场芯样的 0.931 倍、0.938 倍, 与现场芯样的强度吻合度在 90% 以上。因此, VVTM 法接近于现场碾压方式, 该方法是可靠的[15]-[20]。

Table 1. Gradation of mineral aggregate

表 1. 矿料级配

| 级配类型 | 通过下列筛孔尺寸(mm)质量百分率(%) |      |    |     |      |      |      |       |
|------|----------------------|------|----|-----|------|------|------|-------|
|      | 37.5                 | 31.5 | 19 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.6  | 0.075 |
| GF   | 100                  | 95   | 73 | 53  | 32   | 29   | 17   | 4     |
| GM   | 100                  | 97.5 | 68 | 48  | 36   | 25.5 | 14.5 | 8     |

Table 2. Test result of specimens produced by static compaction and VVTM

表 2. 静压成型和 VVTM 试验结果

| SRX 含量(%) | 静压成型试验    |                              | VVTM      |                              | 现场实测      |                              | 压实度 $K(\%)$                               |                                           |
|-----------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|           | $w_o(\%)$ | $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$ | $w_o(\%)$ | $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$ | $w_o(\%)$ | $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$ | $\frac{100 \cdot \rho_d}{\rho_{dmax(H)}}$ | $\frac{100 \cdot \rho_d}{\rho_{dmax(V)}}$ |
| 0.50      | 4.5       | 2.413                        | 3.6       | 2.461                        | 3.7       | 2.419                        | 100.2                                     | 98.3                                      |
|           |           |                              |           |                              | 3.8       | 2.422                        | 100.4                                     | 98.4                                      |
|           |           |                              |           |                              | 3.8       | 2.431                        | 100.7                                     | 98.8                                      |

**Table 3.** Comparison of mechanical properties of samples produced by VVTM and core samples  
**表 3.** VVTM 与现场芯样力学强度

| 项目               | VVTM | 现场芯样 | $\delta_c$ (%) | $\delta_i$ (%) |
|------------------|------|------|----------------|----------------|
| 抗压强度 $R_c$ (MPa) | 5.4  | 5.8  | 0.931          |                |
| 劈裂强度 $R_i$ (MPa) | 0.30 | 0.32 |                | 0.938          |

### 3. SRX 稳定碎石的水稳定性分析

#### 3.1. SRX 稳定碎石试件饱水强度

研究了 SRX 含量为 0.25%、0.50% 及 0.75% 三种情况下 SRX 稳定碎石的水稳定性，级配采用表 1 中 GM 级配。试验时，将干化后的 SRX 稳定碎石试件置于水中，研究不同浸水时间对 SRX 稳定碎石强度的影响。其中，浸水时间与相对含水率  $\Delta w$  关系、相对含水率  $\Delta w$  与浸水强度  $R_c$  关系、浸水时间与  $R$  的关系分别见图 1~图 3。其中  $R = R_{cx}/R_c$  (不同浸水时间下抗压强度与最大抗压强度比值)。

图 1~图 3 可知，随着浸水时间的延长，SRX 稳定碎石的相对含水率不断增大，抗压强度不断减小，当浸水时间达到 32 小时即饱水时，抗压强度基本不再变化，且此时 SRX 稳定碎石的抗压强度约为最大抗压强度的 60% 以上。根据曲线拟合结果，浸水时间( $t$ )与某一浸水时间下抗压强度与最大抗压强度比值( $R$ )满足公式(1)。

$$R = -0.135 \ln t + 1.097 \quad (1)$$

#### 3.2. 饱水 SRX 稳定碎石试件干化后强度

试验步骤如下：

1) 将一批饱水后的 SRX 稳定碎石试件置于 90℃ 干燥箱内、干化 2 d 后，在室温下对试件进行强度测试，测试结果记为  $S_1$ ；

2) 将已在上述同样条件下经过一次饱水、干化后的 SRX 稳定碎石试件，再次在同样条件下饱水、干化后，在室温下对试件进行强度测试，测试结果记为  $S_2$ ，以此类推。

根据上述试验步骤进行试验，试验结果见表 4。

由表 4 可知，重复饱水、干化后测定 SRX 稳定碎石试件干化强度，其残留强度比均大于 90%。

综上可知，SRX 稳定碎石的水稳定性良好，在最不利情况下可满足一般设计要求。

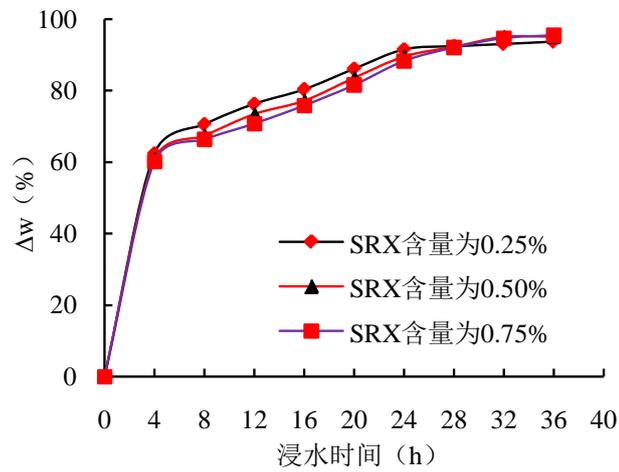
### 4. 结论

1) 研究了垂直振动法的适应性，结果表明：常规试验所用的静压成型法存在着：确定的  $\rho_{dmax}$  往往偏小、最佳含水率偏大、压实度处于 100.2%~100.7% 超百等现象；而垂直振动法确定的压实度一般处于 98.3%~100%，最佳含水率更加接近实际，抗压强度与劈裂强度和现场芯样的强度吻合度在 90% 以上。

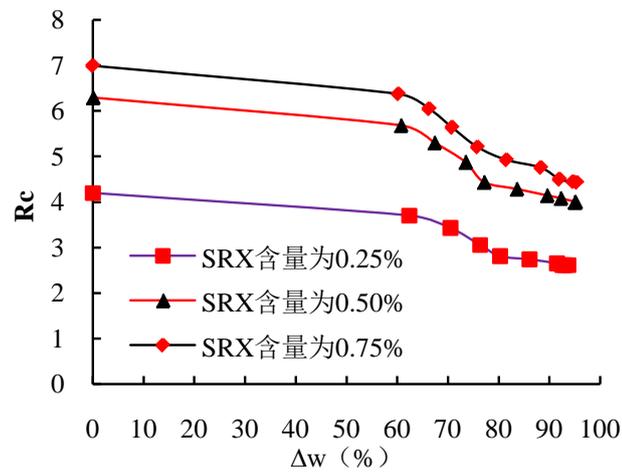
2) 研究了不同 SRX 含量稳定碎石试件的饱水强度，结果表明：随着浸水时间的延长，SRX 稳定碎石的相对含水率不断增大，抗压强度不断减小，当浸水时间达到 32 小时即饱水时，抗压强度基本不再变化，且此时 SRX 稳定碎石的抗压强度约为最大抗压强度的 60% 以上，浸水时间( $t$ )与某一浸水时间下抗压强度与最大抗压强度比值( $R$ )满足： $R = -0.135 \ln t + 1.097$ 。

3) 研究了不同 SRX 含量稳定碎石试件重复饱水干化后强度，结果表明：SRX 稳定碎石试件在重复饱水、干化后测定的干化强度，其残留强度比均大于 90%。

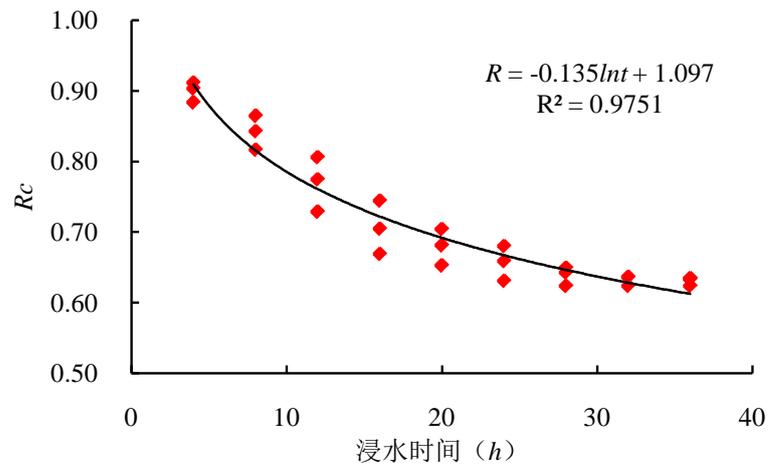
4) 研究成果具有实际工程参考价值，论文将进一步研究不同原材料类型对 SRX 稳定碎石力学特性的影响规律。



**Figure 1.** Relationship between soaking time and  $\Delta w$   
**图 1.** 浸水时间与相对含水率 $\Delta w$  关系



**Figure 2.** Relationship between  $\Delta w$  and  $R_c$   
**图 2.** 相对含水率 $\Delta w$  与浸水强度  $R_c$  关系



**Figure 3.** Relationship between soaking time and  $R_c$   
**图 3.** 浸水时间与  $R_c$  关系

**Table 4.** Dry compressive strength of water-saturated SRX stabilized crushed rock  
**表 4.** 饱水 SRX 稳定碎石试件干化后强度

| SRX 含量(%) | 项目          | 饱水 SRX 稳定碎石试件干化后强度 |       |       |       |       |
|-----------|-------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|           |             | $S_0$              | $S_1$ | $S_2$ | ..... | $S_5$ |
| 0.25      | $R_c$ (MPa) | 4.20               | 4.15  | 4.05  | ..... | 3.91  |
|           | 残留强度比       | 1.0                | 0.988 | 0.964 | ..... | 0.921 |
| 0.50      | $R_c$ (MPa) | 6.30               | 6.30  | 6.19  | ..... | 5.97  |
|           | 残留强度比       | 1.0                | 1.0   | 0.983 | ..... | 0.948 |
| 0.75      | $R_c$ (MPa) | 7.0                | 6.97  | 6.84  | ..... | 6.56  |
|           | 残留强度比       | 1.0                | 0.996 | 0.977 | ..... | 0.937 |

## 基金项目

浙江省交通运输厅 2013 年科技计划项目，编号 2013H18。

## 参考文献 (References)

- [1] 杜洪新. SOILFIX 高分子聚合物稳定柔性基层试验研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2011.
- [2] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 李岷. 基于振动法的级配碎石设计标准与设计方法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2010.
- [4] Iyengar, S.R., Masad, E. and Rodriguez, A.K. (2012) Pavement Subgrade Stabilization Using Polymers: Characterization and Performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **25**, 472-483.
- [5] Scholten, E.J., Vonk, W. and Korenstra, J. (2010) Towards Green Pavement with Novel Class of Soilfix Polymers for Enhanced Effectiveness in Bitumen and Pavement Performance. *International Journal of Pavement Research and Technology*, **3**, 216-222.
- [6] 路用水基 - 聚合物(SRX-VR 系列)稳定道路基层施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010: 22-26.
- [7] Sungho, K. (2009) Performance of Polymer-Modified Asphalt Mixture with Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Research Record*, **21**, 109-114.
- [8] Iyengar, S.R., Masad, E. and Rodriguez, A.K. (2012) Pavement Subgrade Stabilization Using Polymers: Characterization and Performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **25**, 472-483.
- [9] 蒋应军, 乔怀玉. 垂直振动法水泥稳定碎石设计与施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [10] 李美江. 道路材料振动压实特性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2002.
- [11] 蒋应军, 杨晨光, 陈浙江, 等. 路用水基聚合物稳定碎石养生及测试条件研究[J]. 西安科技大学学报, 2016, 36(4): 528-533.
- [12] 胡力群, 沙爱民, 等. 骨架孔隙结构水泥稳定碎石配比设计及路用性能[J]. 公路交通科技, 2006, 23(6): 22-26.
- [13] 张丙炎. 基于 VTM 水泥稳定碎石设计参数研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [14] DB 61/T 529-2011 垂直振动法水泥稳定碎石设计施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [15] 蒋应军, 李明杰, 张俊杰, 等. 水泥稳定碎石强度影响因素[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2010, 30(4): 1-7.
- [16] 蒋应军, 曹帆, 等. 垂直振动成型水泥稳定碎石疲劳特性及应用[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2014, 34(4): 1-6.
- [17] 李明杰. 水泥稳定碎石振动试验方法研究及应用[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2010.
- [18] 董鑫, 宋健, 蒋应军. 基于振动法的水泥稳定碎石设计标准[J]. 公路交通科技, 2008(12): 36-41.
- [19] 蒋应军, 李德文, 解瑞松. 成型方式对水泥稳定碎石物理力学特性的影响[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 93(9): 44-50.
- [20] 李明杰, 蒋应军, 张俊杰, 等. 半刚性基层材料振动试验方法[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(2): 7-12.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ojtt@hanspub.org](mailto:ojtt@hanspub.org)