

# Study on precast quality control of prestressed concrete sleepers under climatic conditions in Southeast Asia

Xuecha Zhang

CCCC Second Highway Engineering Co.,Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710065, China

## Abstract

The tropical rainforest climate in Southeast Asia is hot and rainy all year round, with temperatures usually between 28-35 °C and high relative humidity, which greatly affects the concrete mixing temperature, hydration reaction rate and evaporation rate, and has an adverse effect on the performance of concrete. At the same time, since prestressed concrete sleepers use dry hard concrete with a strength grade of C60, less mortar content, more coarse aggregate, low water-cement ratio, poor fluidity, and more pores. In addition, the stress is concentrated at the angle between the shoulder and the rail seat surface of the prestressed concrete sleeper, cracks are easy to occur during vibration demoulding. This article refers to practical data to analyze and summarize the changing pattern of concrete performance under different conditions, improvement measures and quality control measures during the production process, aiming to provide a reference for future project construction under similar conditions.

## Keywords

Southeast Asia; dry hard concrete; sleepers; quality control; cracks; porosity

# 东南亚气候条件下预应力混凝土轨枕预制质量控制研究

张学超

中交第二工程局有限公司, 中国·陕西 西安 710065

## 摘要

东南亚热带雨林气候终年高温多雨, 气温通常在28-35℃之间, 且相对湿度较高, 使得混凝土拌合温度、水化反应速率和蒸发速率影响较大, 会对混凝土性能产生不利影响。同时, 由于预应力混凝土轨枕采用干硬性混凝土, 强度等级为C60, 砂浆含量较少, 粗集料较多, 水灰比较低, 流动性差, 易产生较多孔隙。另外, 预应力混凝土轨枕挡肩与承轨面夹角位置应力集中, 振动脱模过程中易产生裂纹。本文通过实践数据, 分析总结不同条件下混凝土性能的变化规律、生产过程中的改进措施以及质量控制措施, 旨在为后续类似条件工程施工提供科学依据。

## 关键词

东南亚; 干硬性混凝土; 轨枕; 质量控制; 裂纹; 孔隙

## 1 引言

近年来, 随着国家提出共建“一带一路”的宏伟倡议, 先后推动了中老铁路、雅万高铁、中泰铁路和马来西亚东海岸铁路等重要基础设施项目建设。不仅为当地民众出行带来便利, 也促进了区域互联互通, 助力区域经济一体化加速发展。同时, 也助力中国铁路技术标准“走出去”。轨枕作为铁路轨道结构的重要组成部分, 其物理力学性能及外观质量对于打造海外精品工程起着关键性作用<sup>[1]</sup>。

任何地域性的建筑活动都必然依托其所在的地理自然环境, 在东南亚气候条件以及地理环境下, 如何采用当地的

砂石原材料以及相应的施工环境下生产出满足中国标准的预应力混凝土轨枕便是至关重要。

马来西亚位于东南亚, 南临新加坡, 北邻泰国, 东北面对越南, 以及东部和南部面向南中国海和马六甲海峡。其气候特征及地理环境与邻国基本一致, 本文结合马来西亚东海岸铁路项目工程实际, 对采用中国技术标准生产的预应力混凝土轨枕进行质量控制研究。

## 2 工艺原理

本项目轨枕预制采用机组流水法施工工艺, 生产过程由清模、预应力钢丝定长下料、墩头及入模、张拉、箍筋绑扎、安装橡胶隔板、混凝土拌制及浇筑、混凝土振捣清边、蒸养、放张脱模、切割码垛、成品入库等工序组成。

## 3 原材料及配合比对干硬性混凝土性能的影响

马来西亚当地生产轨枕的原材料采用马标, 部分原材

【作者简介】张学超(1991-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 工程师, 从事城市轨道交通、大型铁路铺轨施工技术及管理研究。

料的试验方法及检测指标与国标要求稍有不同，并且当地采用马标原材料生产的混凝土轨枕已运营多年。在推行中国标准的同时综合考虑当地建筑原材料及加工设备实际情况，确定了保证混凝土抗冻等级、氯离子扩散系数、总碱含量等耐久性指标，以及成品强度、弹性模量等力学性能指标符合国标要求的原则，进行混凝土轨枕生产。

### 3.1 原材料性能

- (1) 水泥。水泥参考标准为 MS EN 196:2007, 选用普通硅酸盐水泥，强度为 52.5 级，碱含量不大于 0.6%。
- (2) 细骨料。细骨料采用天然中粗河砂，参考标准为 BS 812:1995 BS 1377:1990 BS EN 1097:201 ASTM。
- (3) 粗骨料。粗骨料采用 5~10mm、10~20mm 两级连续级配碎石，参考标准为 MS30: 1995 BS 812: 1995。
- (4) 减水剂。减水剂的材料检验按照 GB8076 混凝土外加剂标准执行。
- (5) 粉煤灰。粉煤灰按 BS EN450-1-2012 进行试验。
- (6) 矿粉。矿渣粉的材料检验按照 BS EN 196-6: 2018、BS EN 196-1: 2016、MS EN 15167-1: 2010 的标准执行。
- (7) 预应力钢丝。轨枕主筋采用 6.25mm (新 II 型预应力混凝土枕) 及 7mm (III a 型预应力混凝土枕、新 III 型混凝土桥枕) 预应力钢丝，技术标准参考 GB/T 5223。

### 3.2 混凝土配合比设计

预应力混凝土轨枕作为轨道结构的基础构件，其质量直接影响铁路线整体性能和安全性。为提升混凝土性能，对配合比进行了优化研究。通过室内试验、数值模拟和型式试验相结合的方法，对混凝土原材料及配比进行调整，最终形成了优化后配比方案。

#### 3.2.1 设计步骤

①计算配制强度 ( $f_{cu,0}$ ) :

$$f_{cu,0} = 1.15 f_{cu,k} = 69 \text{MPa}$$

②计算水胶比 (W/B) :

$$f_b = \gamma f^* \gamma_s f_{ce} = 54.86 \text{MPa}$$

因水泥 28d 强度龄期未到，根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011) 选取水泥富余系数  $\gamma_c = 1.10$ 。

$$\begin{aligned} W/B &= (\alpha_a f_b) / (f_{cu,0} + \alpha_a \alpha_b f_b) \\ &= 0.53 \times 54.86 / (69 + 0.53 \times 0.20 \times 54.86) \\ &= 0.39 \end{aligned}$$

式中:  $\alpha_a = 0.53$ ,  $\alpha_b = 0.20$

为保证混凝土的耐久性及强度，同时满足施工时混凝土拌合物的和易性，根据经验水胶比确定为 W/B=0.26。

③确定单位用水量 ( $m_{w0}$ ) :

依据《普通混凝土配合比设计规程》查表单位用水量: 175kg/m<sup>3</sup>, 掺外加剂后每 m<sup>3</sup> 混凝土用水量:

$$m_{w0} = 175 \times (1 - 28\%) = 126 \text{kg/m}^3$$

④胶凝材料计算:

$$\text{总胶凝材料 } B = W/(W/B) = 126 \div 0.26 = 485 \text{kg/m}^3 \text{ 取胶凝}$$

材料总量为: 480kg/m<sup>3</sup>, 其中粉煤灰掺量按照 10%, 矿粉掺量按照 27%, 水泥含量为: 302kg/m<sup>3</sup> 粉煤灰含量为: 48 kg/m<sup>3</sup>, 矿粉含量为: 130kg/m<sup>3</sup>。

⑤确定砂率  $\beta_s$  :

依据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011), 选取砂率  $S_p = 34\%$ 。

⑥采用重量法，计算每立方米砼各材料用量:

假定混凝土容重为  $m_{cp} = 2450 \text{kg/m}^3$ , 计算:

$$m_{co} + m_{so} + m_{go} + m_{wo} = 2450 \text{kg/m}^3$$

$$\beta_s = m_{so} / (m_{so} + m_{go}) \times 100\% = 34\%$$

$$\text{细骨料 } S = (2450 - 480 - 126) \times 0.34 = 627 \text{kg/m}^3$$

$$\text{粗骨料 } G = 2450 - 480 - 126 - 627 = 1217 \text{kg/m}^3$$

⑦减水剂用量:

$$J = 480 \times 1.0\% = 4.8 \text{kg/m}^3$$

⑧碎石掺配比例分别为: 5-10mm:10-20mm=30%:70%

⑨确定的初步配合比为:

C : S : G : W : 减水剂 = 480 : 627 : 1217 : 126 : 4.8

#### 3.2.2 基准配合比确定

按初步配合比试拌 25 L 砼拌和物，各种材料用量如下 (1 组) :

$$\text{水泥} = 302 \times 0.025 = 7.6 \text{kg} \quad \text{粉煤灰} = 48 \times 0.025 = 1.2 \text{kg}$$

$$\text{矿粉} = 130 \times 0.025 = 3.2 \text{kg} \quad \text{河砂} = 627 \times 0.025 = 15.7 \text{kg}$$

$$\text{碎石 (5 ~ 10mm)} = 1217 \times 0.025 \times 0.30 = 9.1 \text{kg}$$

$$\text{碎石 (10 ~ 20mm)} = 1217 \times 0.025 \times 0.70 = 21.3 \text{kg}$$

$$\text{水} = 126 \times 0.025 = 3.2 \text{kg} \quad \text{减水剂} = 4.8 \times 0.025 = 0.12 \text{kg}$$

#### 3.2.3 计算试配配合比

用水量不变，集料用量不变，按水灰比减小或增大 0.03 计算另外两个配合比材料用量，分别为 2 组和 3 组。三组配合比经试拌成型，并标准养护至 1d 及 28d，进行试验，测定其抗压强度值。

结合实测抗压强度和增实因数试验数据，最终选定水胶比为 0.23 的混凝土配比。

### 3.3 矿物掺合料的调整对混凝土性能的影响

通过调整水泥用量和掺合料种类及掺量，增减砂率 1%~2%，调整减水剂掺量，优化后的配合比方案在保证性能的同时降低了成本。据估算，每立方米混凝土的成本可降低约 5% 至 8%。

优化后的配合比方案使得各种原材料的利用率得到提高，同时减少混凝土表面气泡，提升轨枕外观质量。另外，通过合理的配合比设计，保证了混凝土的密实性和强度，以及轨枕的其他力学性能。

## 4. 轨枕生产过程中的质量控制

在轨枕试生产阶段，出现了部分挡肩位置表面裂纹、气孔、麻面以及缺棱掉角等外观质量问题，针对相关问题，分析原因并制定解决措施进行大量试验，最终生产出表面光

洁密实的优质轨枕。

#### 4.1 轨枕挡肩位置裂纹控制

轨枕挡肩与承轨面夹角位置出现表面裂纹,基本上呈现45°斜向开裂。挡肩位置作为承受扣压力的重要部位,不允许出现任何裂纹。经过针对性的分析表面裂纹,产生的原因主要有以下几个方面:

①脱模剂类型。轨枕模型内表面的润滑状态不好,放张过程中的模型与轨枕表面摩阻力大,不能及时剥离,同时应力放松后模型轨槽板与挡肩位置产生横向剪切应力,导致挡肩负载过大,出现裂纹。经过尝试水性、油性(机油,食用油)等脱模剂,最终选定人工用棉纱涂抹食用油的方式,挡肩裂纹问题明显改善[2]。

②钢丝放张速率控制。轨枕在带应力状态下切割钢丝会导致挡肩极易开裂,因此在脱模前应进行钢丝放张。经过大量对比尝试,采用自动放张机时,先将放张拉力张拉至总张拉力的90%,然后按照20kN/s的速率放张,挡肩裂纹明显减少。

#### 4.2 轨枕表面气孔、麻面、缺棱掉角等质量控制

①拌合物清洁度及温度。原材料清洁度及混凝土入模温度对气孔及麻面有着重要的影响,生产过程中须严格控制砂石料的含泥量,按照规定进行抽检试验并注重存储条件,严禁低于起铲线铲料。同时,马来西亚气温较高,原材料储存应设置遮阳棚,对于混凝土入模温度需严格检查,不得超过30℃,必要时在拌合的过程中添加冰块进行降温。

②混凝土振捣。混凝土振捣采用高频激振器振动台,不同的振捣频率和振捣时间会产生不同的效果。振捣时间不足,会导致混凝土内部气泡未能完全排出,存在大量孔隙,影响外观质量;振捣时间过长,会导致混凝土离析出现表面泛浆,难以压花。经过多次尝试,最终确定振捣频率设定为48Hz,振捣时间210s效果最佳。

③清边。振动后要能及时清除轨枕两边的飞边及轨枕节间多余的混凝土,同时注意修正橡胶棒位置。否则遗留在边部的碎石在混凝土固结后在轨枕底部轮廓线参差不齐,同时橡胶棒歪斜会导致预留孔垂直度出现偏差,生产过程中应严格把控。

④翻转脱模。轨枕脱模采用翻转振动脱模的工艺,脱模过程中由于橡胶棒的阻力,部分轨枕不能靠自身重力完全脱离模型,不规则的旋转导致个别轨枕在掉落的过程中磕碰在辊道线上,造成缺棱掉角的伤损。经过多次分析尝试,采用降低翻转高度,进行多次翻转振动,可有效减少磕碰破坏,降低缺棱掉角伤损。

### 5 养护方式对轨枕力学性能及外观质量的影响

#### 5.1 蒸汽养护

为提高混凝土早期强度,降低脱模时间,加快生产节奏,采取蒸汽养护的方式。经过长时间观察,发现轨枕入池养护,

静停的时间、温度、湿度,以及升温降温的速率对轨枕强度和表面裂纹控制作用明显。根据马来西亚当地温度及大量试验结果,确定在不超过35℃的环境中静停3h,然后升温2h至45℃,保持恒温6h,最后降温1.5h至环境温度的蒸养参数。

#### 5.2 保湿养护

马来西亚气温较高,为保证轨枕后期强度达到设计要求,避免产生收缩裂纹,轨枕脱模后,还应洒水覆盖土工布,继续保湿养护3d以上。待轨枕强度满足设计强度后便可进行螺旋道钉锚固和成品码垛作业。

### 6 结果与分析

通过对轨枕原材料选用、混凝土配合比优化、脱模剂选型、钢丝放张速率控制、混凝土入模温度控制、混凝土振捣参数调整、清边、翻转脱模、养护方式等一系列质量管控措施,最终生产出力学性能及耐久性满足规范要求并且外观质量优良的精品轨枕<sup>[3]</sup>。

### 7 结论

(1)混凝土原材的性能指标及含泥量应满足参考标准要求,否则会对产品的力学性能及气孔、麻面等外观质量产生影响。(2)在当地气候环境下采用属地原材,选定水胶比为0.23的混凝土配比,混凝土强度满足规范要求,并且电通量、氯离子扩散系数以及抗冻等级等耐久性指标满足国标TB/T3275要求。(3)采用食用油作为脱模剂,可有效润滑模型轨槽板与轨枕表面,减少摩阻力,挡肩裂纹问题明显改善。(4)采用自动放张机,将放张拉力张拉至总张拉力的90%,然后按照20kN/s的速率放张,挡肩裂纹明显减少。(5)马来西亚气温较高,原材料储存应设置遮阳棚,严格控制混凝土入模温度不超过30℃,必要时在拌合的过程中添加冰块进行降温,可明显减少轨枕表面气孔。(6)振动台振捣频率设定为48Hz,振捣时间210s可有效减少气孔及表面泛浆的问题。(7)振动后要能及时清除轨枕两边的飞边及轨枕节间多余的混凝土,避免轨枕底部轮廓线参差不齐。(8)采用降低翻转高度,进行多次翻转振动,可有效减少磕碰破坏,降低缺棱掉角伤损。(9)根据马来西亚当地温度及环境温度和枕芯温度关系曲线,确定在不超过35℃的环境中静停3h,然后升温2h至45℃,保持恒温6h,最后降温1.5h至环境温度的蒸养参数,对轨枕强度和表面裂纹控制作用明显。(10)轨枕脱模后,洒水覆盖土工布,继续保湿养护3d以上,可有效提高混凝土后期强度,避免产生收缩裂纹。

#### 参考文献

- [1] 王明慧,王剑,张桥,李开兰,孟庆斌,刘伟帮.高速铁路双块式轨枕外观质量优化技术.国防交通工程与技术 2022.03
- [2] 张鑫,郭富强,彭丙杰.III型预应力混凝土轨枕挡肩部位损伤分析及改进措施.混凝土世界 2020.05 有砟轨道轨枕-混凝土轨枕:GB/T 37330-2019