

预制水泥混凝土板模板设计方法研究

卢德来¹ 郑好瑜² 俞金龙² 徐东² 张凯²

1 磐安县公路与运输管理中心, 浙江 磐安 322399

2 河海大学, 江苏 南京 210024

[摘要] 预制水泥混凝土路面板的制备是混凝土路面快速修复技术的关键, 而模板的制作是水泥混凝土路面板预制最重要的技术之一, 此文研究了预制水泥混凝土板模板设计方法, 旨在探讨模板设计原则及要求、模板的设计制作方法, 以及配筋及接缝杆设计。通过深入研究和分析, 提出了一种有效的模板设计方案, 为预制水泥混凝土板的制备提供了可靠的技术支持。

[关键词] 预制水泥混凝土板; 模板设计方法; 配筋; 接缝杆

DOI: 10.33142/sca.v6i7.9603

中图分类号: TU528.72

文献标识码: A

Research on the Design Method of Prefabricated Cement Concrete Plate Formwork

LU Deliai¹, ZHENG Haoyu², YU Jinlong², XU Dong², ZHANG Kai²

1 Pan'an County Highway and Transportation Management Center, Pan'an, Zhejiang, 322399, China

2 Hohai University, Nanjing, Jiangsu, 210024, China

Abstract: The preparation of prefabricated cement concrete pavement panels is the key to the rapid repair technology of concrete pavement panels, and the production of templates is one of the most important technologies in the prefabrication of cement concrete pavement panels. This article studies the design method of prefabricated cement concrete slab templates, aiming to explore the principles and requirements of template design, template design and production methods, as well as the design of reinforcement and joint rods. Through in-depth research and analysis, an effective template design scheme has been proposed, providing reliable technical support for the preparation of precast cement concrete slabs.

Keywords: prefabricated cement concrete slabs; template design method; reinforcement; joint rods

引言

目前, 随着我国交通量的日益增加, 道路超载现象越来越严重, 水泥混凝土路面各类病害频繁出现, 养护任务十分艰巨。在各种修补技术中, 预制水泥混凝土板快速修复技术 (Precast Concrete Slab, 简称 PCS) 在各类水泥混凝土路面快速修复技术中脱颖而出, 具有开放交通快、环保安全等优点。近年来, 不少国内外学者对预制混凝土板设计进行了探讨。

刘卫东^[1]采用有限元分析探讨了预制板块的几何尺寸对荷载应力和挠度的影响。他的研究表明, 路面板厚度的增加可以有效减小路面结构的应力和应变, 而不同基层类型对路面板的平面尺寸选择产生的影响较大。

东南大学李娣^[2], 采用有限元分析方法研究了 PCS 路面结构在静载和动载作用下的力学响应以及接缝传荷能力, 并对 PCS 施工吊装时的受力情况及吊装方法进行了探讨, 最终提出了一种基于可靠度理论的 PCS 结构设计方法。

顾玉辉^[3]对预制水泥混凝土路面板的优势进行了总结。他的研究发现, 板体厚度对挠度影响较小, 但对预制路面板的平面尺寸及厚度变化非常敏感。他推荐采用平面尺寸为 2.5m×2.0m 且与原路面板等厚的预制板, 以获得最佳承载能力。

另一方面, 2007 年, Arizona 州大学的 Cliff 和 Texas

交通研究所的 Gerald^[4]等学者总结了 California 等地实地施工经验, 他们认为预制拼装技术的成功应用关键在于前期施工工艺设计、交通组织以及第一块路面板的放置和后续处理设备的合理安排。

SHRP2 提出了 PCP (Precast Concrete Pavement) 相关技术指标: (1) PCP 选取指南 (2) PCP 设计指南: (3) PCP 预制及安装指南。为 PCP 的设计、制造和安装提供了相关指导^[5]。

目前预制水泥混凝土板快速修复技术已逐步开始使用推广, 但国内对于 PCS 尚未形成系统详细地指导预制水泥混凝土板设计、制造及施工的文件。PCS 的关键是预制混凝土路面板的制备, 因此有必要对进行预制水泥混凝土板模板设计方法研究, 为工程设计及施工提供有关的参考。

1 模板设计原则及要求

模板具体设计原则及要求如下:

(1) 拆卸快捷。模板设计时, 应考虑采用方便拆卸组装的固定方式, 比如螺栓固定等, 同时组合方式不宜过于复杂, 构件不宜过多。

(2) 可重复利用。采用耐久性好及变异性比较小的模板材料, 保证模板的可重复利用, 节约资源, 同时降低技术应用成本。

(3) 尺寸合适。模板的设计和制作应适应各种厚度

和平面尺寸,根据板体结构尺寸的研究结果,板体尺寸越小,应力越小。同时大尺寸的板块自重大,对吊装设备要求高,一般大吨位的吊装设备占的空间很大,也很难在乡村养护工程中正常使用。综合考虑,一般板体的尺寸选用1/2或者1/4。

(4) 保证精度。由于预制水泥混凝土板需在现场进行直接拼装,所以对板块的精度提出了要求。为保证模板的长度、宽度、厚度等参数的精度,模板材料应选择具有较强刚度的材料,避免混凝土在振捣过程中发生侧向变形。

2 模板的设计制作方法

(1) 模板尺寸确定。预制模板首先要确定模板尺寸。板块尺寸的确定应根据应力分析结果确定,如不具备条件重新建模分析,建议采用1/4原水泥混凝土路面板块,采取该尺寸板块承受车行荷载时应力较小,而且1/4板块自重小,对吊装设备要求也更低,更加适用于农村水泥混凝土路面的养护工程中,所以模板设计时尺寸建议采用1/4板块。

(2) 模板样式设计。预制模板推荐采取三部分设计,分别是内侧模、外侧模和底模,材料统一采用钢材。

内侧模由高强度槽钢制备,由左、右侧板和底板组成。内侧模板的左、右侧板宽度在10~15cm之间,厚度不低于2cm,其与底板和下顶板垂直焊接而成,并分别设置至少2个直径不低于3cm的螺栓孔用于与外侧模固定。内侧模板的下顶板宽度在10~15cm之间,厚度不低于2cm,其与底板和左、右侧板垂直焊接而成,并分别设置至少5个直径不低于3cm的螺栓孔用于与底模固定。内侧模板的底板厚度不低于2cm,当水泥混凝土路面板预制时需要预埋杆件时,可在底板上根据预埋杆件间距设置“双U型”槽口,且留有较宽尺寸可方便杆件位置适当调整,如图1所示。外侧模由高强度槽钢制备,由左、右侧板和底板组成。外侧模板的左、右侧板宽度在10~15cm之间,厚度不低于2cm,其与底板和下顶板垂直焊接而成。外侧模板的下顶板宽度在10~15cm之间,厚度不低于2cm。其与底板和左、右侧板垂直焊接而成,并分别设置至少5个直径不低于3cm的螺栓孔用于与底模固定。外侧模板的底板厚度不低于2cm,其左右两侧分别设置有与内侧模的左、右侧板上螺栓孔对应位置的至少2个直径不低于3cm的螺栓孔,用于与内侧模固定。如图2所示:

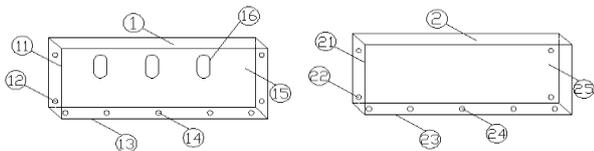


图1 预制模板内侧模板图 图2 预制模板外侧模板图

底模采用2cm厚的钢板制作,尺寸为2m×2m×2cm。四周设置螺栓孔与内侧模、外侧模下顶板对应,如图3所示,整个预制模板拼装完成后的效果图如图4所示。

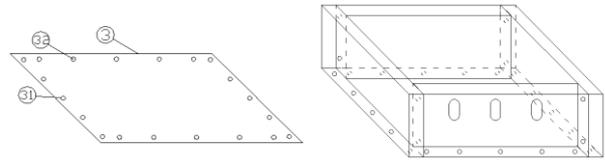


图3 预制模板底模板图 图4 预制模板效果图

(3) 杆槽的设计。预制水泥混凝土板,其面层板的平面布局一般采用矩形分块,难免会出现纵向和横向接缝。为保证板块与板块之间的整体性,防止车辆在反复碾压过程中以及水泥混凝土板块自身的温度收缩现象出现板块产生相对位移现象,需在预制板块之间设置拉杆和传力杆。

内外侧模的设计需要考虑留设拉杆或传力杆接入槽口,为考虑拼装后的平整度,杆槽开口方向朝下。杆槽的间距等同传力杆和拉杆间距,长度建议比传力杆和拉杆多30mm,宽度60mm、深度比板厚的一半大20mm。

(4) 灌浆通道的设计。预制板块拼装完成后,板的底部和水泥路面基层可能会存在脱空现象,如果不能及时地处理,会大大地降低板块的使用寿命,因此为了解决该问题,建议采取板底灌浆的方法,在板上预留或钻取直径30~50mm的灌浆口,灌浆孔的深度为板的厚度。

灌浆通道不建议在预制板全长度或宽度方向布置,浆液在压力的作用下可能从接缝大量溢出,一般距离边端约310~510mm。

(5) 吊点的设置。预制板块需设置吊环,用来转场吊装,常见有旋转吊环与预埋固定式吊环两类。其中旋转吊环这类吊装工具构造简单、拆卸方便,具有一定的承载力,具体见图5。

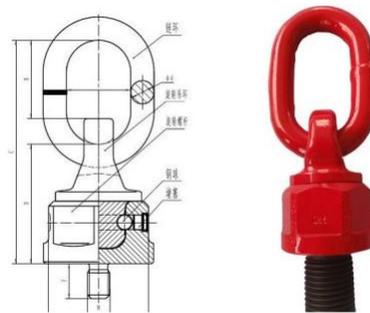


图5 旋转吊环图

其将螺母孔道预制在板体吊装点位,吊装时辅以螺栓,旋转拧紧之后用双根钢丝绳链接吊环。吊环所用的钢筋不得采用冷加工钢筋,因为冷加工钢筋质地比较硬脆,易折断,且容易伤害吊装板块的钢丝绳,所以一般采用一级圆钢,塑形良好且不易折断。

预埋固定式吊环使用一级钢筋预埋在混凝土里,同时与钢筋笼要绑扎或焊接牢固,之后再行水泥混凝土的浇筑振捣。该类吊环施工方便、造成本低、无须特殊构件,拼装后直接切除外露吊环,并进行打磨后即可。具体见图6。

两者对比,预埋固定吊环不仅可以吊装构件与水泥混凝土板集成一体,强度保障更高,保证施工安全性,而且施工方便、造价低廉。建议用于农村公路修复的预制板块采用固定式吊环的方式。

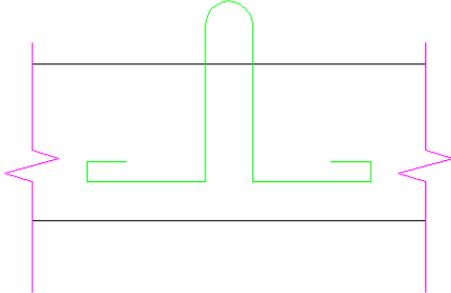


图6 预埋固定吊环图

预制板的吊装方式推荐采用四点吊装,最佳吊点位置对称分布在预制板板角附近,距板边缘 1/4 板长处。预制水泥混凝土板块吊装完成后应将吊环全部切除,切除部分需留有一定面积的低洼区,并用水泥砂浆或环氧类材料填补,防止出现露筋现象。

(6) 模板的安装。模板的安装顺序主要是先在底模范围内的地面找平,然后安放垫木并设置底模、刷脱模剂。接着侧模和底模板的安装,最后用螺栓将底模与侧模固定好。

a. 侧模和隔离板的检查与维护

- 检查模板与肋板焊接点是否连接完全,不存在开裂;
- 检查面板和隔离板的平整度情况,不平度 $<2\text{mm}$;
- 检查封浆胶体是否覆盖完整,部分剥离;
- 检查模板表面是否清理干净。

b. 地面的找平,找平结束之后先安放垫木板,然后采用 1.5m 靠尺配合水平尺、钢板尺进行安放底模。

c. 涂刷脱模剂

将柴油和机油按照 3:7 的比例调配合成,搅拌均匀,先将侧模涂刷均匀之后(一般控制在 20 分钟之内、方便拆模后清除),厚度在 $20\sim 40\mu\text{m}$ 为宜,然后再安装侧模。

d. 安装侧模

检查封浆胶体是否覆盖完整,部分剥离,如有缺失及时补充黏贴;

底板与侧模板之间镶嵌紧密;

模板与螺栓之间的空隙用橡胶垫等材料进行封堵;

将螺栓拧紧,保证混凝土预制板在振捣过程中不致被压坏变形。

3 配筋及接缝杆设计

3.1 配筋设计

钢筋采用预先架设方式安装,并应符合设计要求及现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ D40)的规定。对于不同板块的配筋设计应根据应力分析结果进行配筋,一般情况下,按照 0.4%~0.8%的配筋率设计即可。

3.2 拉杆传力杆

不管是普通水泥混凝土、钢筋混凝土、碾压混凝土和钢纤维混凝土还是预制水泥混凝土板,其面层板的平面布局一般采用矩形分块,难免会出现纵向和横向接缝。为保证板块与板块之间的整体性,防止车辆在反复碾压过程中以及水泥混凝土板块自身的温度收缩现象出现板块产生相对位移现象,需在预制板块之间设置拉杆和传力杆。

纵向接缝之间应设置拉杆,拉杆建议采用螺纹钢筋,设立在板厚的中央,并应在拉杆中部 100mm 范围内做防锈处理。拉杆的直径、长度和间距见表 1。

表 1 拉杆直径、长度和间距 (mm)

面层厚度 (mm)	到自由边或未设拉杆纵缝的距离 (m)					
	3.00	3.50	3.75	4.50	6.00	7.50
200~250	14×700 ×900	14×700 ×800	14×700 ×700	14×700 ×600	14×700 ×500	14×700 ×400
≥260	16×800 ×800	16×800 ×700	16×800 ×600	16×800 ×500	16×800 ×400	16×800 ×300

横向接缝之间应设置传力杆,使用光面钢筋。最外侧的传力杆与纵向接缝或自由边的距离为 150~250mm。

为保证预制水泥混凝土板的整体性,防止因打孔导致板块出现裂缝,同时在预制过程中直接预埋拉杆和传力杆相比重新打孔要方便、易控制,所以预制水泥混凝土板块内的拉杆和传力杆直接在混凝土板块浇筑时就与相应位置的钢筋笼进行绑扎或焊接,之后浇筑为一体。

开槽时需要严格控制槽口宽度,以确保与旧混凝土的层间黏结力和整体性。较小的槽口宽度节省施工时间,同时满足预制板块搭接要求。槽口深度影响板块搭接和传荷能力,过小的深度会导致板块悬挂,过大的深度会影响传荷能力。槽口深度应控制在预制板厚度的一半加 20~40mm,使传力杆与槽口相切。为了控制槽口的参数,一般在旧板上标记槽口的长度、宽度和深度。在高温天气,先用切割机浅层切割并在槽口范围内切割一条缝用来释放温度应力,从而提高施工速率。槽口的质量控制见下表 2。

表 2 槽口质量控制

槽口类型	长度 (mm)	深度 (mm)	宽度 (mm)	槽口周围有无裂缝	粗糙程度 (mm) ≥
传力杆槽	≤ ±30	≤ ±20	≤ ±30	无	5
拉力槽	≤ ±40	≤ ±30	≤ ±40	无	3

4 结论

通过对预制水泥混凝土板模板设计方法的研究,可以得到以下结论:

(1) 预制水泥混凝土板的模板尺寸建议采用 1/4 板块,模板推荐采取三部分设计,分别是内侧模、外侧模和底模,材料统一采用钢材。

(2) 内外侧模的设计需要考虑留设拉杆或传力杆接入槽口,为考虑拼装后的平整度,杆槽开口方向朝下。板

底需预留灌浆通道,灌浆通道不宜在预制板全长度或宽度方向布置,一般距离边端 300~500mm。

(3) 预制板块推荐采用固定式吊环的方式,采用四点吊装,最佳吊点位置对称分布在预制板板角附近,距板边缘 1/4 板长处。

(4) 对于不同板块的配筋设计应根据应力分析结果进行配筋,一般情况下,按照 0.4%~0.8%的配筋率设计即可。板块之间设置拉杆和传力杆,纵向接缝之间应设置拉杆,横向接缝之间应设置传力杆。

[参考文献]

- [1] 刘卫东,李丽民,侯子义. 混凝土预制拼装路面板结构分析[J]. 黑龙江工程学院学报,2015(5):24-30.
 - [2] 李娣. 预制混凝土板快速修复水泥路面结构设计研究[D]. 江苏:东南大学,2015.
 - [3] 顾玉辉. 水泥混凝土路面预制拼装修复技术研究[J]. 黑龙江交通科技,2011(7):13-14.
- 作者简介:卢德来(1973.11—),男,研究方向路面工程,磐安县公路与运输管理中心。