

压型钢板-混凝土组合桥面板设计及施工方法

雷波 曹硕 王乐群 王琦

(浙江数智交院科技股份有限公司 杭州 310030)

[摘要] 文章基于组合型混凝土箱梁桥,提出了一种简易支架形式的压型钢板-混凝土组合桥面板施工方法,明确了其主要施工流程、施工细节构造的处理方式及施工临时构件规格的计算方法。采用该施工方法能够减少现场施工工作量及施工难度,促进组合型箱梁的应用,对于类似工程也有参考及借鉴意义。

[关键词] 压型钢板;组合桥面板;组合型箱梁;施工技术

0 引言

压型钢板-混凝土组合板为采用连接件将压型钢板与混凝土板连接成整体共同受力的组合结构,最早应用在建筑结构中作为楼板的永久模板^[1],随着应用与研究的深入,人们发现压型钢板亦能作为结构受拉部分提高组合承载力^[2]。随着钢-混凝土组合结构的研究发展,压型钢板-混凝土组合桥面板应运而生并逐渐在桥梁结构中得到应用。例如,南京市樱铁村人行天桥的后浇桥面板采用了压型钢板组合桥面板,施工过程中避免了对桥下交通的影响^[3];小西湖立交南滨河路交通节点改造工程中及广州市文中天桥的桥面板均采用压型钢板-混凝土组合桥面板,具有受力性能好,施工速度快、外观简洁等特点^{[4]~[5]}。

组合型箱梁桥为一种混凝土组合结构桥梁,采用预制槽型梁和桥面板分开施工的施工工艺形成箱型截面,如图1所示。组合型箱梁的施工过程中,桥面板可以采用全预制桥面板、部分预制桥面板或现浇压型钢板-混凝土组合桥面板。采用压型钢板-混凝土组合桥面板时,桥面板混凝土浇筑以压型钢板为模板,能够减少现场施工工作量,同时现浇桥面板连接牢固,整体性更好^[6]。但是,此类桥梁槽型梁间距可能

较大,桥面板跨度较大时,现有做法为采用复杂的支架对压型钢板模板进行支撑^[7],这限制了压型钢板-混凝土组合桥面板的应用。

本文基于组合型箱梁桥,提出了一种简易支架形式的压型钢板-混凝土组合桥面板的标准化施工方法,有利于组合型箱梁在我国的应用,同时,其施工方法对于其他结构的压型钢板-混凝土组合桥面板设计及施工也有指导意义。

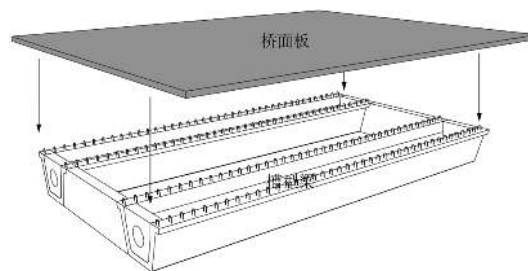


图1 组合型箱梁

1 施工方案设计

雷波^[6]等在综合研究了国外组合型箱梁的应用之后,提出了一种适用于我国的组合型箱梁桥原型,如图2所示。组合型箱梁截面,较为广泛采用的是双主梁结构以减少混凝土用量及现场施工工作量。本文研究的工程案例,桥梁宽度为15.25m,受限于公路运输要求,槽型梁顶敞口宽度为3.19m,这使得槽型梁间桥面

收稿日期:2020-10-14

作者简介:雷波(1974-),男,正高级工程师,主要从事桥梁设计工作。

板跨度达到4.81m，桥面板跨度较大，对桥梁施工提出了挑战。本文将图2所示组合型箱梁桥为例，对较大跨度压型钢板-混凝土桥面板施工方案进行设计。

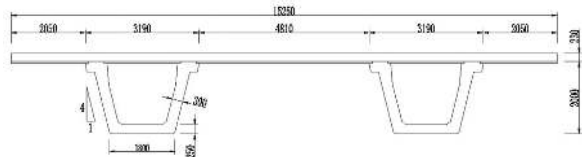


图2 组合型箱梁横断面

当不采用支架支承时，施工状态下压型钢板受力情况如图3所示，槽型梁间和槽型梁内部压型钢板为简支受力状态，跨度分别为4.81m和1.92m。槽型梁外部混凝土在浇筑时桥面板为悬臂受力状态，因此必须搭设脚手架支承压型钢板。此种支承方式压型钢板跨度大，对压型钢板的刚度要求较高，同时脚手架搭设工作较为繁琐，不利于快速施工。

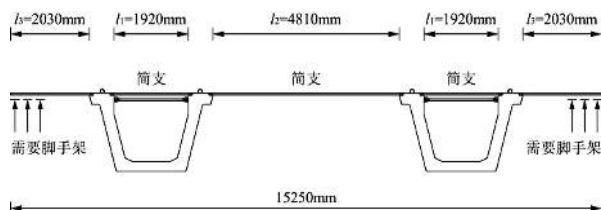


图3 压型钢板支承情况（不采用施工支架）

为了减小槽型梁间压型钢板的跨度，同时对槽型梁外侧的压型钢板提供支承，设计采用了一种基于槽型梁的临时悬臂支架支承压型钢板，其支承受力情况如图4所示。采用临时悬臂支架后，槽型梁间压型钢板受力变为四点连续状态，大大减小了其计算跨度。槽型梁外部压型钢板受力为单悬臂状态，但其悬臂长度大大减小，结构受力得到明显优化。

为将两种支承条件的受力进行对比，分别计算了其最大弯矩与剪力，其结果如表1所示。由表可知，采用临时悬臂支架支承压型钢板最大剪力与弯矩分别为之前的10.1%，39.9%，模板内力得到大幅削减，因此，此种施工方案相较于不搭设支架方案有较大优势。

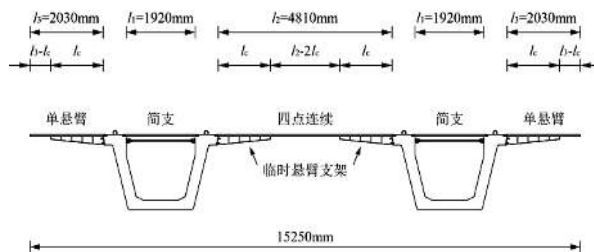


图4 压型钢板支承情况（采用临时悬臂支架）

表1 有无支架支承受力对比

	无支架	悬臂支架	百分比 (有支架/ 无支架)
最大弯矩 ($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)	18.1	1.83	10.1%
最大剪力 (kN/m)	15.2	6.01	39.9%

2 施工流程及施工难点设计

2.1 施工流程设计

针对以上施工方案，其施工流程如图5所示。首先，在槽型梁运输至桥位后，槽型梁上安装悬臂支架，槽型梁内部安装有临时撑杆保证其受力。而后铺设压型钢板与桥面板钢筋网，浇筑桥面板混凝土。待桥面板混凝土形成一定强度后，一次拆除悬臂支架和临时撑杆，压型钢板-混凝土组合桥面板施工完毕。

2.2 施工重难点设计

2.2.1 压型钢板的定位与铺设

施工过程中，确保压型钢板的定位准确与牢固为压型钢板施工的重难点。因此，设计采用了图6a所示的封口与限位装置。包括钢垫板及限位封口板。压型钢板铺设流程如图6b~图6d所示，首先采用钢垫板平整接触面，而后安装封口与限位板。封口、限位板、钢垫板和槽型梁间采用螺栓连接的方式连接，其波折构造与压型钢板一一对应，起到了压型钢板的固定与定位作用。《组合楼板设计规程》^[8]中规定压型钢板在混凝土梁上的支承长度宜大于100mm，采用此种定位方法将压型钢板牢牢固定也能减小对支承长度的要求，更加方便对槽型梁的设计。

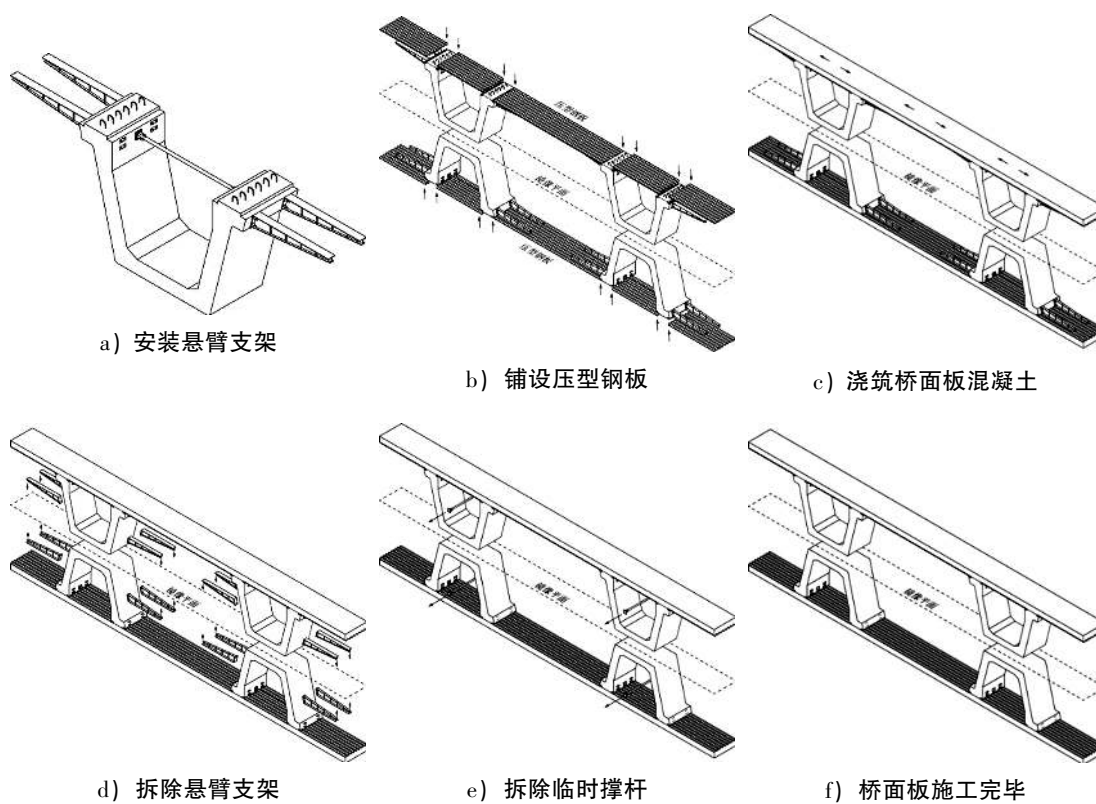


图5 压型钢板-混凝土组合桥面板施工流程

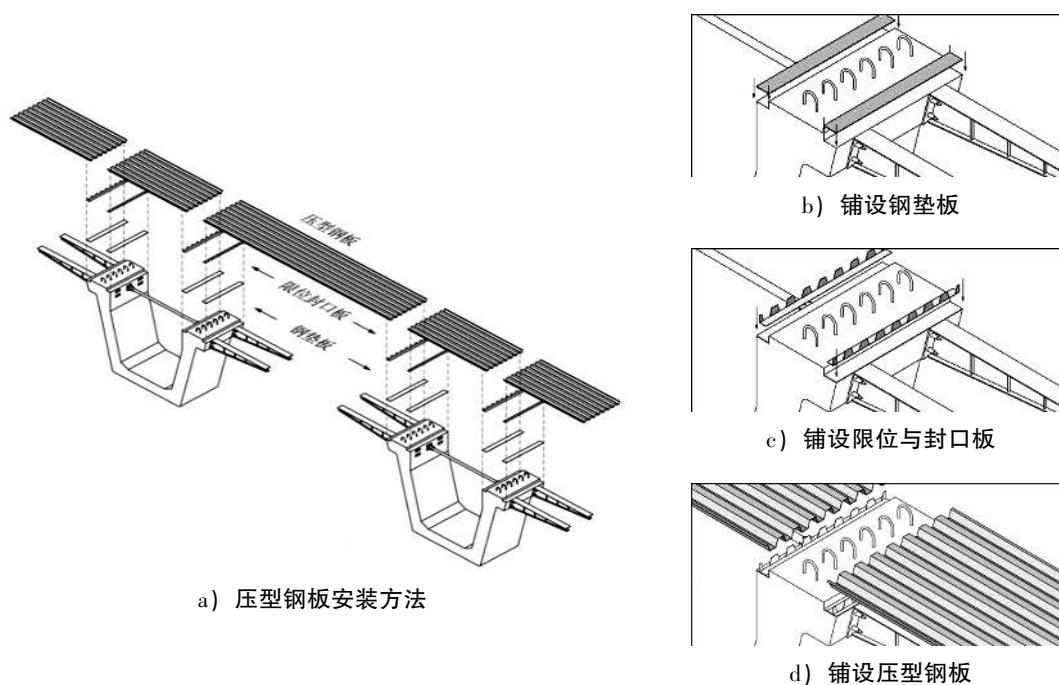


图6 压型钢板安装方法

2.2.2 悬臂支架的安装与拆除

为实现在槽型梁内部对位于槽型梁外部的悬臂支架进行安装,设计采用螺栓连接的悬臂支架,如图7所示。悬臂支架包括预埋螺纹套筒,高强螺栓,带有锥形螺母的临时悬臂支架等构件。其中预埋螺纹套筒与钢垫板相连,在槽型梁预制阶段预埋在槽型梁内部。悬臂支架安装时,从槽型梁内部安装高强螺栓,经由螺纹套筒形成的孔道伸出腹板至箱梁外部,旋紧临时悬臂支架的锥形螺母,形成连接。该连接方式既能够保证连接的有效性,又便于临时悬臂支架的安装与拆卸。

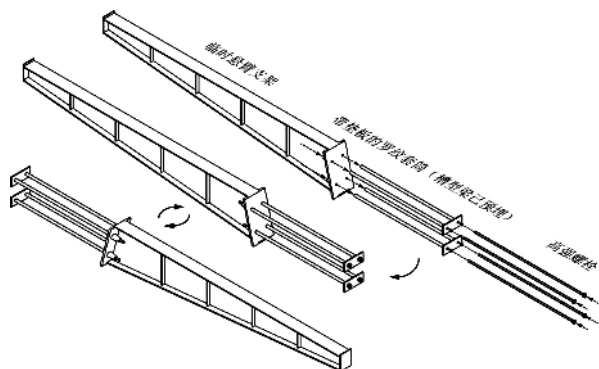


图7 临时悬臂支架构造

临时悬臂支架在桥梁纵桥向按一定距离布置,纵桥向布置间距较大时,压型钢板在桥梁纵向受力较为不利,此时可布置一定数量筒支承托在悬臂支架之间以减小压型钢板纵桥向受力,如图8所示。

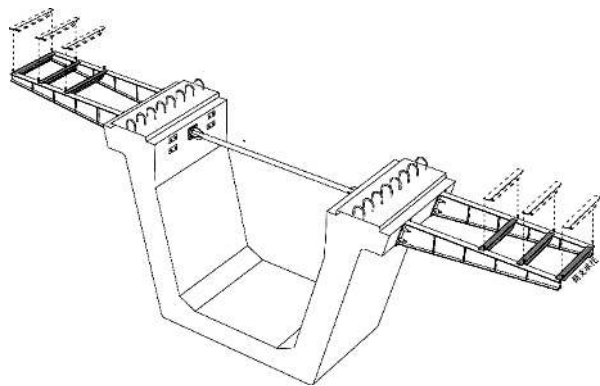


图8 筒支承托布置

3 施工构件规格设计

3.1 压型钢板规格设计

压型钢板规格依照规范 GB/T 12755-2008《建筑用压型钢板》进行设计^[9],压型钢板的截面特性取决于以下5个参数,即板厚 t 、波高 d 、波峰间距 p 、覆盖宽度 W_c 、基板宽度 W_l ,如图9所示。其中,波峰间距是指任意两个相邻波峰中点的水平距离;覆盖宽度是指单块压型钢板的投影宽度;基板宽度则是单块压型钢板截面中心线的总长度,即辊压前平钢板的宽度,一般为1米。

对图9的基本单元进行分析,如图10所示,其中 w_l 、 w_b 为上下翼缘宽度,假设其满足 $w = w_l = w_b$, w 为基本单元翼缘宽度。

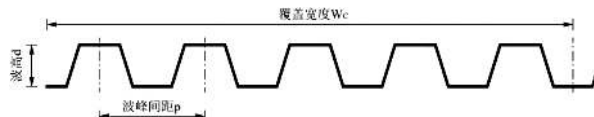


图9 压型钢板规格参数

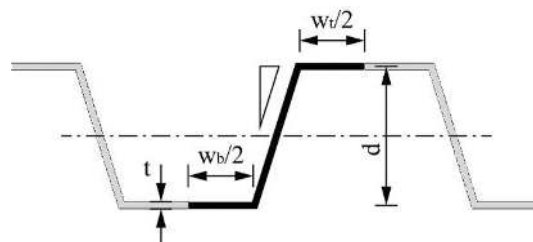


图10 压型钢板基本单元

首先根据几何关系,利用压型钢板5个基本参数计算 w ,计算公式如下:

$$w = \frac{W_l + W_c}{W_c} \cdot \frac{p}{4} - \frac{W_c}{W_l - W_c} \cdot \frac{d^2}{p} \quad (1)$$

利用基本单元,按式(2)、式(3)计算单位长度压型钢板抗弯、抗剪承载能力,其中 f 为压型钢板的抗拉、抗压强度。

$$M_{cr} = \frac{2}{p} M_{cr}^e \leq \frac{ft}{3pd} (d^3 + w t^2 + 3w d^2) \quad (2)$$

$$V_{cr} = \frac{2}{p} V_{cr}^e \leq \frac{8t f_v (d^3 + w t^2 + 3w d^2)}{3pd(p + w)} \quad (3)$$

对于研究工程案例,该桥压型钢板参数选择为:

$t = 1.214\text{mm}$, $d = 51\text{mm}$, $p = 127\text{mm}$, $W_c = 635\text{mm}$, $W_l = 1000\text{mm}$

受力计算结果为:

$$M_{cr} = 6.61(\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}) > 1.83(\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}), \\ V_{cr} = 105.4(\text{kN}/\text{m}) > 6.01(\text{kN}/\text{m})$$

压型钢板-混凝土组合板在建筑工程中应用较多,组合桥面板的使用可以借鉴,当采用其他规格压型钢板时,按照本文所述方法计算其截面承载能力,同时应符合 GB/T 12755-2008《建筑用压型钢板》^[9], GB 50018-2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》^[10]中对于压型钢板厚度、宽厚比等相关规定。

3.2 悬臂支架规格设计

悬臂支架选用工字型截面,依照规范 GB/T 706-1988《热轧工字钢尺寸、外形、重量及允许偏差标准》进行设计^[11],其抗弯承载能力与抗剪承载能力按式(4)、式(5)计算。

$$M_{cr} = \gamma_x W_x f \quad (4)$$

$$V_{cr} = \frac{I_x d f_v}{S_x} \quad (5)$$

式中, γ_x 为放大系数,取为 1.05, W_x 、 I_x 、 S_x 、 d 为截面抵抗矩,惯性矩、半截面面积矩与腹板宽度, f 、 f_v 为材料抗拉压与抗剪强度。

本桥悬臂支架选用 I22a 工字钢,其抗弯、抗剪承载能力为:

$$M_{cr} = 101(\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}), V_{cr} = 255(\text{kN}/\text{m})$$

因此,悬臂支架纵桥向布置最大间距为:

$$l = \min\{l_v, l_m\} = \min\left\{\frac{M_{cr}}{M_c}, \frac{V_{cr}}{V_c}\right\} = 9.26(\text{m})$$

4 结语

压型钢板-混凝土组合桥面板在桥梁中存在广泛的应用前景,为解决较大跨度下的压型钢板支撑问题,以组合型箱梁为例,设计了一种简易的压型钢板临时支承结构并给出了其临时构件设置的计算方法。采用此种施工方法能够减少施工现场工作量与施工难度,对组合型箱梁的应用有促进作用,同时对类似工程设计也有参考意义。

参考文献

- [1] 刘维亚. 钢与混凝土组合结构理论与实践 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 王春平. 复合砂浆钢丝网叠合板抗弯性能试验研究 [D]. 湖南: 湖南大学, 2007.
- [3] 李秉南. 箱形截面杆件三角形钢桁架人行天桥结构设计 [J]. 中国市政工程, 2011 (04): 10-11+87.
- [4] 胡学奎. 钢-混凝土组合结构桥梁在小西湖改造工程中的应用 [J]. 公路, 2013, 58 (11): 120-123.
- [5] 陈彦彬. 压型钢板混凝土组合桥面板在桁架天桥的应用 [J]. 四川建筑, 2014, (6): 208-209.
- [6] 雷波, 阮欣, 张杰等. 公路组合型箱梁桥结构体系与性能分析 [C]. 2019 年全国桥梁学术会议论文集. 北京: 中国公路学会桥梁和结构工程分会, 2019.
- [7] 马喜敬. 压型钢板在桥梁中的首次应用 [J]. 建筑·建材·装饰, 2009, 10 (3): 131-132.
- [8] CECS 273-2010《组合楼板设计与施工技术规范》[S].
- [9] GB/T 12755-2008,《建筑用压型钢板》[S].
- [10] GB 50018-2002,《冷弯薄壁型钢结构技术规范》[S].
- [11] GB/T 706-1988《热轧工字钢尺寸、外形、重量及允许偏差标准》[S].