

# 汽车吊在单向板上的等效均布活荷载分析

刘建平<sup>1,2</sup> 岳焱超<sup>1</sup> 李鹏飞<sup>1,2</sup> 周支军<sup>1,2</sup>

1 西安交通大学 2 中建七局安装工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i5.4541

**[摘要]** 随着国家物流业的发展,物流园仓储项目越来越多。这些项目仓库的结构形式一般采用下部混凝土结构以承受重达 $20\text{kN}/\text{m}^2\sim 30\text{kN}/\text{m}^2$ 的活荷载;顶层采用轻钢结构以节约工期和造价。利用下部混凝土结构高承载力的特点,将汽车吊开至楼板上进行钢结构的吊装,能够大量节约工期和人工成本。本文将根据规范和工程实际详细分析汽车吊在楼板上行驶和吊装两种工况下单向板等效荷载的计算方法,为同类项目施工方案的编制和计算提供参考。

**[关键词]** 物流园;汽车吊;起重吊装;单向板;等效均布活荷载

中图分类号: TU311 文献标识码: A

## Equivalent uniform live load analysis of the automobile hanging on the unidirectional plate

Jianping Liu<sup>1,2</sup> Yanchao Yue<sup>1</sup> Pengfei Li<sup>1,2</sup> Zhijun Zhou<sup>1,2</sup>

1 Xi'an Jiaotong University 2 China Construction Seventh Bureau Installation Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** With the development of the national logistics industry, there are more and more logistics park warehousing projects. The structure form of these project warehouses generally adopts the lower concrete structure to withstand the live load of  $20\text{ kN} / \text{m}^2 \sim 30\text{ kN} / \text{m}^2$ ; the top layer adopts light steel structure to save the construction period and cost. Taking advantage of the high bearing capacity of the lower concrete structure, the lifting of the car to the floor for the steel structure can save a lot of construction period and labor costs. This paper will analyze the calculation method of the equivalent load of the single plate under the specification and the engineering practice, so as to provide reference for the preparation and calculation of the construction scheme of similar projects.

**[Key words]** logistics park; car crane, lifting lifting; one-way plate; equivalent uniform cloth live load

### 1 概述

当施工底部为钢筋混凝土结构,顶层为钢结构的房屋时,塔吊受有效载重等限制很难满足钢结构的吊装要求。能否将汽车吊开至屋面,能将多大吨位的吊车开至屋面,是钢结构吊装编制时是一个亟待解决的问题。

《建筑结构荷载规范》GB5009-2012<sup>[1]</sup>(以下简称荷载规范)表5.1.1第8项给出了客车和消防车的荷载标准值,但汽车吊按照该表注3的规定“当不符合本表的要求时,应将车辆的局部荷载按结构效应的等效原则,换算为等效均布荷载”。问题在于如何将汽车轮压换算成等效均布荷载。

很多学者,工程师都对着这个问题开展了研究。李强,曹霄,郑德胜<sup>[2-4]</sup>等根据工程实际,按照荷载规范附录C的方法研究了叉车作业时的等效荷载计算方法。钱建颖<sup>[5]</sup>则分别运用查表法(静力计算手册)和有限元软件ANSYS根据荷载规范附录C对叉车的等效荷载进行计算,结果显示有限元软件的计算结果比查表法结果小13.4%。这说明采用查表法进行有限元分析时其结果是可靠的。与叉车不同,汽车吊在行驶时的车轮更近,存在轮压互

相影响的情况;而在吊装时随着大臂的转动,支腿的发力也在变动,存在求最大值的问题。刘建强、武学文、周国伟等人<sup>[6-8]</sup>分析了重型卡车轮压转化为等效均布荷载的情况,涉及到轮压的相互影响,认为轮距、轴距、轮压才是影响等效荷载的主要参数,而不是车辆的总重。郑齐征<sup>[9]</sup>研究了汽车吊在吊装过程中支腿最大反力的计算方法。这些对汽车吊的计算有帮助,但缺乏系统性且在动力系数取值等方面存在缺陷。

朱丙寅<sup>[10]</sup>在《建筑结构设计问答及分析》(第三版)中对等效荷载的计算也进行了分析,指出单向板的计算符合承载能力极限状态的设计原则,而双向板仍值得探讨。研究表明双向板的等效荷载计算时当板跨较大而荷载作用面积较小时误差很大,只适合于面积相对板跨较大的局部荷载<sup>[11]</sup>。汽车吊的轮压荷载或支腿荷载作用于双向楼板时,作用面积很小,按照荷载规范计算的等效荷载误差很大。因此本文仅分析汽车吊在单向板上的等效荷载分析,采用的方法是较简单的查表法,方便借鉴和参考。

为了更好的阐述汽车吊的等效荷载计算方法,本文以某实际工程为例进行分析。该工程下部为两层现浇混凝土结构,顶部为轻

型门式刚架,梁板结构的具体参数见表1。项目根据钢梁的吊重和吊距拟采用25t汽车吊进行吊装,某25t汽车吊的行驶参数见表2,前轮为单轮着地面积0.2m×0.3m,后轮为双轮着地面积0.2m×0.6m,轮压分布情况见图1。汽车吊的起吊重量2.0t,起吊幅度8.0m。

表1 某工程现浇混凝土梁板结构的具体参数

板类型	板厚 (mm)	次梁间距 (m)	混凝土强度等级	次梁跨度 (m)	楼面活荷载设计值 (kN/m <sup>2</sup> )
单向板	250	2.75	C40	12	30

表2 某工程25t汽车吊行驶参数

起重量 (t)	自重 (t)	前轴重 (t)	后轴重 (t)	轮距 (m)	轴距 (m)	支腿间距 (m)
25	34	8	13×2	1.8	4.72+1.35	5.36×6.1

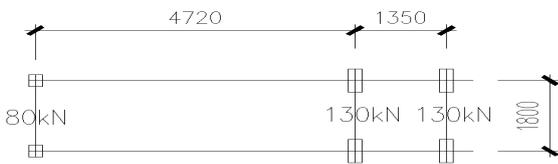


图1 汽车吊行驶参数示意图

## 2 行驶工况等效均布活荷载分析

根据《荷载规范》附录C的规定,进行等效荷载验算时应考虑荷载作用面长边与板跨的关系,同时考虑车轮的不利位置。

2.1荷载作用面长边平行与板跨时等效均布活荷载。当后轮位于板跨中时最为不利,轮压位置如图2所示。

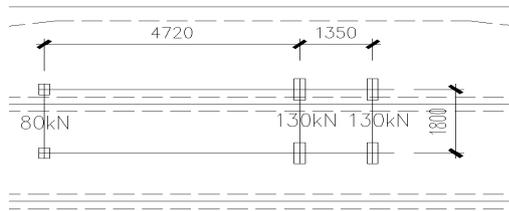


图2 荷载不利位置示意图

根据荷载规范的规定计算如下:

$$bcx = 0.6 + 0.25 = 0.85m, bcy = 0.2 + 0.25 = 0.45m \quad (2-1)$$

其中bcx、bcy为荷载作用面平行和垂直于板跨的计算宽度。

则因:  $bcx > bcy, bcy < 0.6l, bcx < l$

故: 荷载有效分布宽度

$$b = bcy + 0.7l = 0.45 + 0.7 \times 2.75 = 2.375m \quad (2-2)$$

又因两个轮压的间距为1.35m < 2.375m, 需要考虑荷载有效分布宽度进行折减。最终

$$b = \frac{2.375}{2} + \frac{1.35}{2} = 1.86m \quad (2-3)$$

单侧车轮荷载130/2=65kN, 车轮线荷载65/0.85=76.5kN/m。最大绝对弯矩, 考虑1.3的动力系数,

$$M_{max} = 1.3 \times (0.25 \times 65 \times 2.75 - 0.5 \times 76.5 \times 0.425^2) = 49.1kN \cdot m \quad (2-4)$$

等效均布荷载

$$q_e = \frac{8M_{max}}{bl^2} = \frac{8 \times 49.1}{1.86 \times 2.75^2} = 27.9kN/m^2 \quad (2-5)$$

由计算结果可知该种工况下由汽车轮压引起的楼面等效活荷载小于设计时的30kN/m<sup>2</sup>, 结构是安全的。

2.2荷载作用面长边垂直与板跨时等效均布活荷载。当后轮位于板跨中部最为不利, 轮压位置如图3所示。

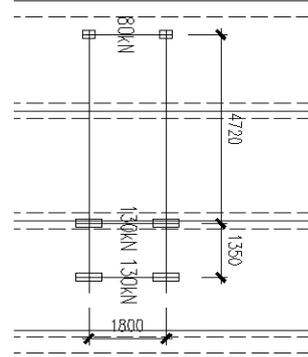


图3 荷载不利位置示意图

此时

$$bcx = 0.2 + 0.25 = 0.45m, bcy = 0.6 + 0.25 = 0.85m \quad (2-6)$$

因为:  $bcx < bcy, bcy < 2.2l, bcx < l$

所以荷载有效分布宽度

$$b = \frac{2}{3} bcy + 0.73l = 2 \times 0.85 / 3 + 0.73 \times 2.75 = 2.57m \quad (2-7)$$

又因两个轮压的间距为1.8m < 2.57m, 需要考虑荷载有效分布宽度进行折减。最终

$$b = \frac{2.57}{2} + \frac{1.8}{2} = 2.185m \quad (2-8)$$

最大绝对弯矩, 考虑1.3的动力系数,

$$M_{max} = 1.3 \times (0.25 \times 65 \times 2.75 - 0.5 \times 76.5 \times 0.225^2) = 55.6kN \cdot m \quad (2-9)$$

等效均布荷载

$$q_e = \frac{8M_{max}}{bl^2} = \frac{8 \times 55.6}{2.185 \times 2.75^2} = 26.9kN/m^2 \quad (2-10)$$

该种工况下由汽车轮压引起的楼面等效活荷载同样小于设计时的30kN/m<sup>2</sup>, 结构是安全的。根据计算结果25t汽车吊行驶时两种工况的等效荷载分别为27.9kN/m<sup>2</sup>, 26.9kN/m<sup>2</sup>, 计算结果相近。实际上这可以作为判断计算结果是否正确的一个参考。当

两个计算结果差别较大时,需要复核一下计算结果是否正确。

### 3 吊装工况等效荷载分析

3.1 支腿反力计算。汽车吊的支腿反力会随着大臂的转动而变化,当大臂与某个支腿在一条线上时支腿压力最大,如图4所示。实际上大臂的旋转中心一般并不在图4所示的中心位置。然而吊车的起吊参数能够方便查到的一般只有支腿间距,旋转中心位置及配重位置等参数很难查到。而且在吊车方案编制时一般只能确定吊车吨位,具体的吊车型号也难以确定。综合以上原因当我们实际计算时如果将大臂的旋转中心放在图4位置非常便于计算,同时由于不考虑配重等有利因素,其计算结果是偏于保守的、可靠的。

该工程汽车吊的起吊重量2.0t,起吊幅度8.0m,需要注意的是,计算时需要考虑1.3倍动力系数,动力系数只需要作用于重物即可。

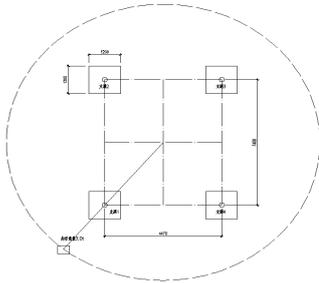


图4 吊装工况不利工况示意

最大反力:

$$N_{\max} = \frac{(G_k + G_m)}{4} + \frac{G_m \cdot R}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \frac{(340 + 36)}{4} + \frac{288}{\sqrt{5.36^2 + 6.1^2}} = 129.5kN \quad (3-1)$$

最小反力:

$$N_{\min} = \frac{(G_k + G_m)}{4} - \frac{G_m \cdot R}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \frac{(340 + 36)}{4} - \frac{288}{\sqrt{5.36^2 + 6.1^2}} = 58.5kN \quad (3-2)$$

式中 $G_k$ ——吊车自重, kN;  $G_m$ ——为起吊重量, kN;  $X$ 、 $Y$ 分别为支腿的纵距和横距, m;  $R$ ——起吊半径, m。

3.2 支腿等效荷载计算。楼板的跨度为2.75m,支腿位于楼板的跨中时为最不利位置,计算方法同上节轮压等效荷载的技术,其中吊车支腿下部铺20mm厚钢板,钢板尺寸为0.5m\*0.5m,则:

$$bcx = 0.5 + 0.25 = 0.75m, bcy = 0.5 + 0.25 = 0.75m \quad (3-3)$$

因:  $bcx \geq bcy, bcy < 0.6l, bcx < l$

$$b = bcy + 0.7l = 0.75 + 0.7 \times 2.75 = 2.675m \quad (3-4)$$

最大绝对弯矩

$$M_{\max} = 0.25 \times 129.5 \times 2.75 - 0.5 \times 259 \times 0.375^2 = 70.8kN \cdot m \quad (3-5)$$

等效均布荷载:

$$q_e = \frac{8M_{\max}}{bl^2} = \frac{8 \times 70.8}{2.675 \times 2.75^2} = 28.0kN/m^2 \quad (3-6)$$

计算结果表明汽车最大支腿压力引起的楼面等效活荷载小于设计时的30kN/m<sup>2</sup>,结构在起吊过程中是安全的。

### 4 结论

汽车吊在单向板上行驶或起吊时等效荷载计算,在理论上和结果上都较为精确,本文根据规范的要求系统性的提出了一种满足工程需要的简化计算方法。非常便于工程实际中参考借鉴。根据分析结果得到以下结论:

- (1) 汽车吊在楼板上行驶或起吊等效荷载的计算应按照荷载规范附录C的规定计算。同时考虑行驶和起吊两种工况。
- (2) 行驶工况应考虑汽车的行驶情况按荷载作用面长度方法与板跨垂直或平行分别计算。一般情况下两种工况计算结果接近。
- (3) 起吊工况支腿最大反力计算时,将大臂的旋转中心置于4个支腿的中心位置,可以大大简化计算步骤且不需要详细的吊车参数,计算结果是偏安全的。
- (4) 支腿等效荷载计算时,如果加大支腿下部钢板或枕木的尺寸,可以减小等效均布荷载。

### 【参考文献】

- [1] 建筑结构荷载规范:GB50009-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2] 李强.叉车在楼板上运输的等效均布活荷载的确定[J].橡胶技术与装备,2010,36(6):46-48.
- [3] 曹霄.叉车作业楼面结构计算的探析[J].山西建筑,2020,46(3):40-41.
- [4] 郑德胜.叉车作用楼面等效均布活荷载的确定方法[J].低温建筑技术,2013,(3):89-90.
- [5] 钱建颖,邱兴凯.库房楼面等效均布活荷载的确定[J].山西建筑,2014,40(16):34-35.
- [6] 刘建强,赵传莹,官立宝.特重六轴拖挂车等效均布活荷载的计算方法[J].建筑标准化,2019,(08):21-22.
- [7] 武学文.重型车辆荷载在结构设计中的等效分析[J].玻璃,2022,(12):38-42.
- [8] 周国伟,朱祖敬.重型货车停车库等效均布活荷载取值研究[J].广东土木与建筑,2024,31(2):61-64,76.
- [9] 郑齐征,郑士金.汽车吊支腿反力及楼面等效均布活荷载的计算方法[J].建筑标准化,2019,(08):21-22.
- [10] 朱丙寅.建筑结构设计问答及分析(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.4.
- [11] 侯俊锋,李志洋,苏三庆.提升机大厅层楼面的等效均布活荷载计算[J].济南大学学报(自然科学版),2021,34(1):80-85.

### 作者简介:

刘建平(1977--),男,汉族,河南周口人,本科,高级工程师,主要从事土木工程方面研究。