

· 道 桥 ·



现代多层物流仓库小半径立交盘道设计特点

黄向平, 张歆瑜

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 200030 上海)

摘要: 随着我国现代物流业的发展, 土地资源的紧缺导致多层仓库成为现代物流仓库的发展方向。作为立体仓库的交通配套, 盘道必不可少。以多层立体物流仓库立交为背景, 总结现代多层物流仓库立交盘道设计特点和思路, 供类似工程参考。

关键词: 多层立体物流仓库; 盘道; 小半径曲线桥

中图分类号: TU 997

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0185-05

Analysis of design characteristics of small -radius interchange of modern multi-storey logistics warehouse

HUANG Xiang-ping, ZHANG Xin-yu

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The rapid development of modern logistics industry in China and the shortage of land resources lead to the development of the multi-layer warehouse. As one of the warehouse transport facilities, the interchange is an essential part. A multi-layer stereo warehouse logistics interchange is taken as an example to demonstrate the design characteristics and ideas of modern multi-storey logistics warehouse interchange bends, which may serve as reference for the similar engineering.

Key words: multi-storey logistics warehouse; interchange; small-radius curve bridge

1 工程背景及特点

随着我国现代物流业的发展, 土地越来越昂贵, 多层仓库越来越成为仓库的发展方向。物流业的多层仓库需要车辆来满足交通运输要求。仓库的不同楼层沟通形式因地制宜, 设计成多种形式, 主要分2类: 第一类为上下行通道分离; 第二类为上下行通道结合在一起。线形上第二类比第一类复杂。



图1 建成实景

义乌内陆口岸场站项目一期工程仓库二、三层和地面道路间的交通系统如图1所示, 横断面为11 m, 双车道。车辆可从一期东进口经盘道进入二、三层仓库; 出仓库时可经盘道、盘道下接线道路由一期北出口(诚信大道)出场站。本盘道工程具有以下特点。

1) 线形复杂: 各车道相互交叉甚至交织, 占地面积受限, 部分上下层车道出现重叠, 桥墩的布置受限。各部分净空受限制多, 还要兼顾美观, 考虑曲线段超高加宽, 满足集装箱车辆的行驶要求。盘道的路线设计、交通组织影响整个立体仓库的功能, 对仓库的布局起关键作用。

2) 曲线桥半径小: 本工程桥梁结构大多位于圆曲线和缓和曲线上, 半径较小, 跨度大, 其中

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 黄向平(1976—), 女, 高级工程师, 从事路桥设计工作。

桥梁最小半径仅为35.4 m。小半径曲线桥的技术难点包括：温度影响桥梁水平位移；由于扭转引起的支座反力不均匀；如何布置支座既能保证结构的位移又不至于支座脱空；中支座预偏量的设置以保证边支座反力均匀；箱梁内外梁受力不均，如何较为精确的计算。

3) 荷载密度大：集装箱车辆长而且荷载大，小半径曲线桥在集装箱车荷载下，若设计不当，易造成侧翻，曲线桥的侧向稳定性尤为重要。

4) 结构形式多：通过对整座桥进行综合分类，共17联，分为5类，如图2~6所示。

为有效利用桥墩，部分桥墩采取双层结构体系（图7）。

综合上述特点，本着“安全、适用、经济”的原则，选择合理的道路纵平面设计及方案及正



图2 直线段模型



图3 支点在中心的小半径曲线桥

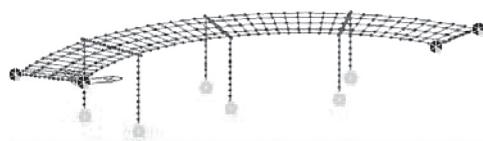


图4 横梁外撑的小半径曲线桥

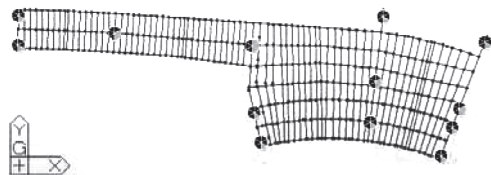


图5 异形变宽段曲线桥

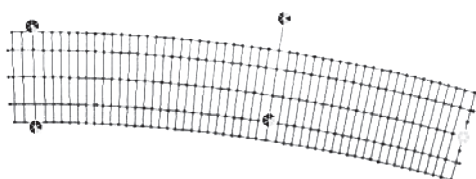


图6 纵横预应力梁

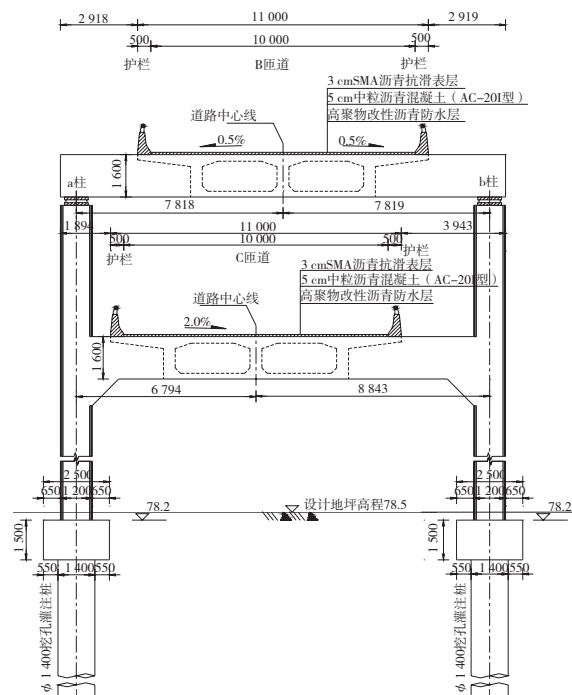


图7 双层梁断面

确的计算方法，经若干调整和优化并合理突破常规，使本设计在有序、合理、简便、易行的基础上进行。

2 曲梁力学特性及计算

2.1 曲梁力学特性

为展示物流立体交通的现代化设计理念，保证交通顺畅，本工程在立交的平面布置上大量采用曲线展线布置。在结构设计上，采用多跨连续曲线梁体系。曲线梁桥基本的受力特征在于其空间性，主梁的平面弯曲使得支座的支承点不在同一直线上，在荷载及预应力作用下将同时产生“弯-扭”耦合内力和“弯-扭”耦合变形，因而造成曲线梁的受力状态与直桥有本质的区别。

在相同跨径的情况下，曲线梁桥的截面内力(弯、剪、扭)比同跨径的直线梁桥要复杂。研究表明，圆心角、曲率半径、弧长、桥面宽以及弯扭刚度比等，是区分曲梁、直梁受力特征的主要因素。一般来说，圆心角越小，直、曲梁的差异越小；当圆心角小于 $22.5^\circ \sim 30^\circ$ 时，可以忽略由扭转作用对挠度的影响。根据上述分析可知，本工程桥梁的曲线梁的弯-扭耦合特征不应忽略，采用合

理的计算方法十分必要。弯扭刚度比 (EI/GJ) 对曲线梁的受力和变形状态有着直接的影响, 弯扭刚度比越大, 说明扭转刚度相对较小, 扭转变形就越大, 故选定曲梁截面时, 在竖向变形满足的情况下, 应尽量增大扭转刚度。本桥选择低高度扁箱梁, 抗扭刚度大, 有效抑制了主梁的扭转变形。

目前曲线桥梁的计算方法主要有以下几种:

- ①空间梁元模型法; ②空间薄壁箱梁元模型法;
- ③空间梁格模型法; ④实体、板壳元模型法。

方法①没有考虑桥梁的横向效应, 使用时要求桥梁的宽跨比不能太大; 方法②是方法①的改进, 主要区别是采用了不同的单元模型, 考虑了横向作用, 如翘曲和畸变; 方法③是目前设计及科研中常用的方法, 其特点是容易掌握, 且对工程设计能保证精度要求, 其中采用较多的方法是剪力-柔性梁格法, 能充分考虑弯桥横向力学特性; 方法④是解决问题最有效的方法, 可综合考虑各种结构受力问题, 但分析模型复杂, 实际工程设计中较少应用。

弯桥由于弯扭耦合现象的存在, 使得外梁弯曲应力大于内梁的弯曲应力, 外梁的挠度大于内梁的挠度。剪力-柔性梁格法的分析原理是充分考虑弯桥的受力特性, 使梁格节点与实际结构重合

的点承受相同挠度和转角, 由此梁格产生的内力局部静力等效于结构的内力; 其实质是将传统的一维杆单元计算模式推进到二维计算模型, 用一个二维的空间网格来模拟结构的受力特性。本工程采用梁格法进行恒活载分析, 用有限元方法辅助进行局部应力分析。

2.2 荷载工况选取

为保证桥梁的安全, 荷载工况分别考虑3种工况。分别考虑了公路一级单列荷载、双列荷载靠内、靠中、靠外, 以最不利工况控制设计。并以密排单列65 t集装箱车进行验算。

对于不同的构件, 最不利的工况选取不同。不能漏掉可能的不利工况。对于上部结构, 选择2个车列荷载比单列车不利, 而对于支座, 单列车更容易使支座脱空。

2.3 曲梁构造措施

弯桥在温度变化时, 一般会产生水平力。桥越宽, 半径越小, 尤其如此。水平力产生的水平位移在边支座处最大。横向位移限制住, 会产生很大的约束反力。所以得选用弹性支座, 既允许水平位移, 又有一定限制。基于这样的考虑, 边支座选用板式橡胶支座。其它支座采用盆式支座。每个桥墩设一个固定支座。

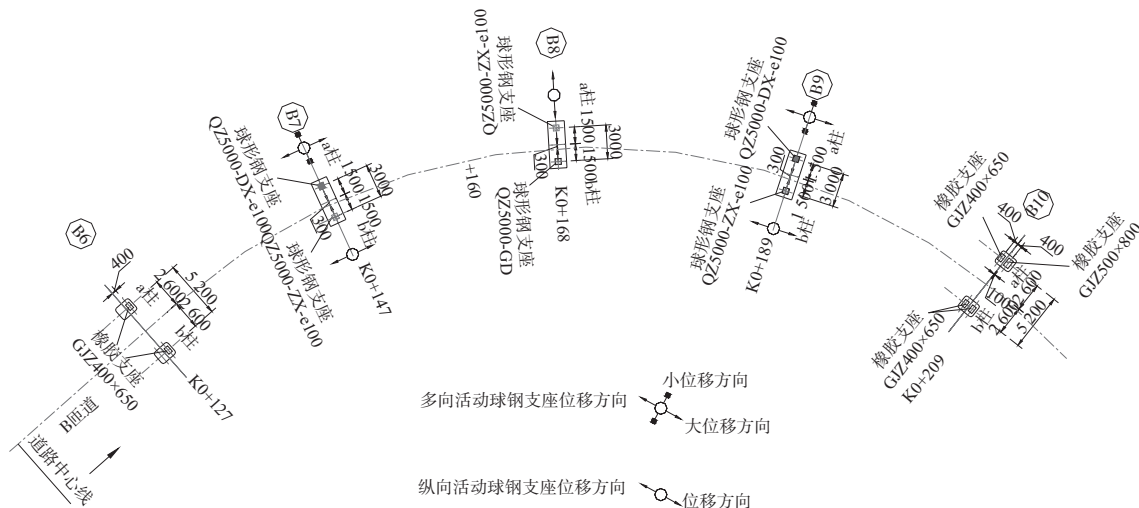


图8 曲线桥支座布置

由于曲线梁外侧支座反力有时相差很大, 当活载偏置时, 内侧支座甚至会出现负反力, 如果支座不能承受拉力, 就会出梁体与支座发生脱离的现象, 通常称为“支座脱空”。设计初期,

由于经验不足, 每联中间墩拟采用单点铰支座, 通过预设偏心, 使曲线桥的扭矩包络得以改善。实际中通过计算发现, 由于半径太小, 桥宽较宽 (11 m), 而中支承只是起到减少弯矩跨径的作

用, 全桥的扭矩还是太大。中间支承还是需要设置抗扭支承来缩短弯桥的抗扭跨度。设双柱墩的同时仍采用一定的偏心, 使边支承反力较为均匀保证支座不产生脱空, 这样可将主梁调整到最佳平衡位置。

在曲线桥中不同的支承方式对上、下部结构内力影响较大, 一般支承分为两种类型: 抗扭支承和点铰支承。抗扭支承通常由横向2个以上的板式或盆式橡胶支座组成, 而点铰支座只由一个板式或盆式橡胶支座组成, 常常配以独柱墩。连续梁端常采用抗扭支座, 该支承方式可 effectively 提高主梁的横向抗扭性能, 保证其横向稳定性。曲线桥的中间支承可用抗扭支承也可用点铰支承, 在实际工程中大多采用盆式或圆板橡胶支座, 以适应主梁纵横向的变形要求。但是如果在采用墩高较大的独柱式中墩构造时, 更宜采用墩梁固结的构造, 充分利用桥的柔性来适应曲线桥的变形要求, 从而获得较好的经济效益。固结桥墩的基本原则: 桥墩低于8 m的, 不设固结墩; 桥墩高于8 m的, 桥墩具有一定的柔性, 采用固结一到两个桥墩, 增加弯桥的稳定性。

除支座外, 各桥墩设限位构造措施, 防止桥梁产生过大水平位移。

2.4 曲线梁的面内稳定性

受桥墩布置空间的限制, 有些桥墩必须设在桥宽外面。如D6-D10联墩高12 m。该跨桥半径仅

43.5 m, 圆心角达105°, 横向力很大。对其进行模态分析结果如图9和图10所示, 可见, 前两阶主要振型均为面内振型, 因此固结桥墩对桥梁面内稳定性有利。

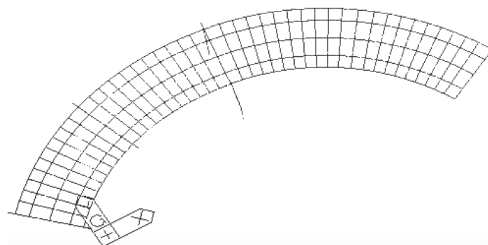


图9 D6-D10联第一阶振型

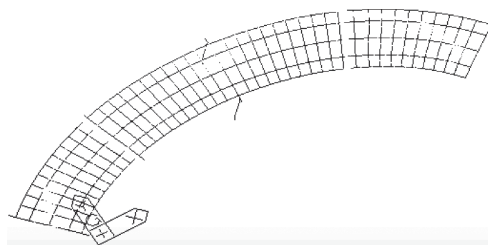


图10 D6-D10第二阶振型

2.5 固结桥墩横梁外挑结构有限元分析

对于外挑固结桥墩的横梁, 采用梁格计算, 通过梁格法计算, 中横梁弯矩如图11所示, 可见, 梁腹板处弯矩值有极大的跳跃。梁格法中, 都是二维梁, 实际中腹板是有一定宽度的, 且横梁截面不仅限于自身, 有一定的计算宽度, 受自身算法限制和实际还是有误差的。横梁自身截面 $A=2.1 \text{ m}^2$, $I=0.343 \text{ m}^4$, $M=4\,873 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 则应力为9.984 MPa。

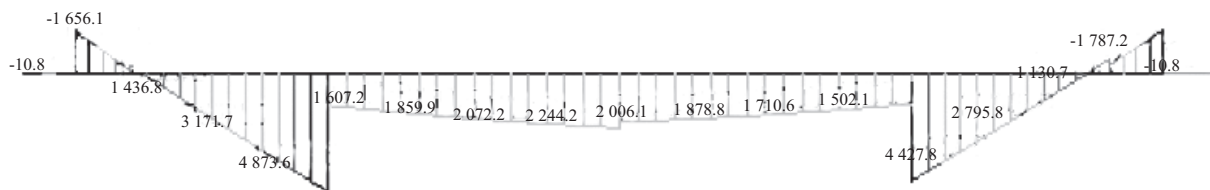


图11 D6-D10梁格法计算中横梁弯矩 (单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

由于上述计算方法的限制, 误差较大, 不利于正确配筋。固结桥墩以后, 升温导致桥墩应力增加, 为准确分析其力学特性, 建立三维实体有限元模型 (图12) 进行分析, 考虑了升温 and 自重工况进行分析, 以揭示局部的应力状态; 三维实体分析结果如图13~15所示。实体模型的最大应力比梁格法小1/2, 实体模型结果较梁格法更为接近实际情况, 据此进行配筋。



图12 实体法有限元模型

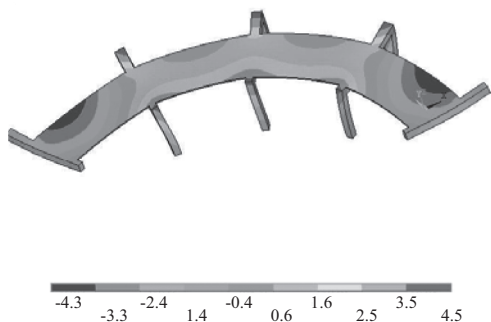


图13 竖向位移 (单位: mm)

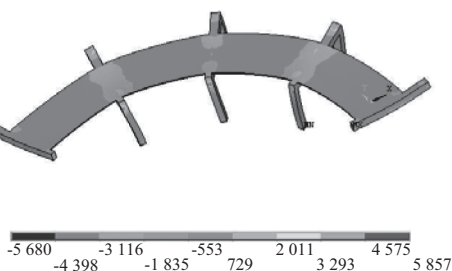


图14 最大拉应力 (单位: kPa)

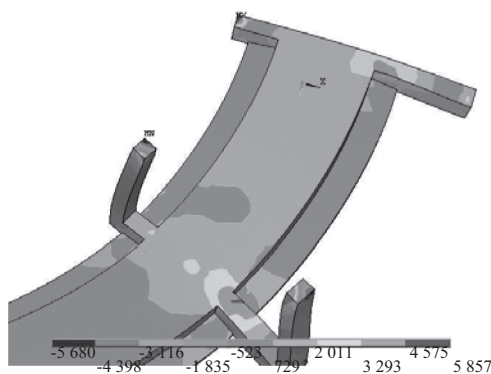


图15 横梁局部S1应力 (单位: kPa)

通过三墩固结的有限元模型计算得知, 升温引起的桥墩和横梁应力桥墩是可以承受的, 水平位移也比较小。横梁和梁腹板处的交接处, 应力比较大, 但是比起梁格法的结果, 仍小很多。

3 结语

1) 盘道是一种复杂的结构体系, 由于地面净空, 桥墩布置引起的技术难点很多, 比如“交织段”的受力特点, “纵横双向预应力”梁的配束特点, “双层桥墩”等。充分认识弯桥的受力特点, 在详细分析的基础上, 采用一定的构造措施, 既保证桥梁的安全, 又兼顾美观。

2) 弯桥的支座布置是否设固结墩, 是否设偏心都和上部结构的安全息息相关, 并且是弯桥设计的重点。对于弯桥上部结构内力, 采用梁格法计算是比较有效的方法。可以一次性给出纵横梁的计算结果和支座反力。对于调整偏心, 支座反力非常方便。

3) 对于不同的构件, 应选取其最不利的工况下的响应。对于一些非常规结构, 比如双层桥墩, 外挑横梁结构, 可根据有限元模型结果进行配筋。

4) 盘道自身的施工方案、盘道与仓库之间的衔接流畅施工组织都要全局考虑周全。盘道工程整体复杂, 合理地划分联, 进行归类。通过对一个典型模型的分析, 找到设计思路, 确定设计原则, 再推广到全桥是个合理高效的方法。

参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 义乌内陆口岸场站项目一期工程盘道施工图[R]. 上海: 中交三航院, 2008.
- [2] 孙广华. 曲线梁桥计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

(本文编辑 郭雪珍)

