

基于 BIM 的桥梁工程整体稳定性分析

程晓东 姚 勇 郭启政 马兴隆

中铁一局集团第二工程有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要] 为了研究高架车站的整体稳定性, 基于局部稳定性角度, 对影响整体稳定性的因素进行分析, 通过优化施工参数的方法来改善高架车站的整体稳定性。文中采用 BIM 软件对车站优化前后进行建模分析对比, 结果表明: 从两端向内施工再由中间向外施工达到闭合状态时最优的桩基加载方案, 基于此对施工顺序进行调整, 可以最大程度提高车站施工稳定性。

[关键词] 高架车站; 施工顺序; 稳定性分析; BIM

DOI: 10.33142/ec.v8i1.14995

中图分类号: TU12

文献标识码: A

Overall Stability Analysis of Bridge Engineering Based on BIM

CHENG Xiaodong, YAO Yong, GUO Qizheng, MA Xinglong

China Railway First Group Second Engineering Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract: In order to study the overall stability of elevated stations, based on the perspective of local stability, the factors affecting the overall stability are analyzed, and the method of optimizing construction parameters is used to improve the overall stability of elevated stations. The article uses BIM software to analyze and compare the modeling before and after station optimization. The results show that the optimal pile foundation loading scheme is to construct from both ends inward and then from the middle outward to reach the closed state. Based on this, the construction sequence can be adjusted to maximize the stability of station construction.

Keywords: elevated stations; construction sequence; stability analysis; BIM

引言

随着我国城市化进程的不断推进, 轨道交通行业迅速兴起, 越来越多的高铁车站建设进入日程。在建设高铁车站的过程中也出现许多问题, 其中最为注重的就是车站的稳定性问题。

对于高架车站来说, 其施工工序复杂, 容易受到多重因素的影响^[1]。由于高架车站作为一个整体, 若其中某个部位出现损坏, 车站整体的稳定性也随之受到一定影响^[2]。因此, 对于车站稳定性的研究显得十分重要。对于车站稳定性的优化方面, 王贺^[3]提出利用土体抗力保护结构的稳定, 朱亚坤^[4]通过优化钢支撑来提高车站整体的稳定性, 贾宗仁^[5]提出两种无内支撑支护优化方案, 通过与原工程对比, 得出其中的钻孔灌注桩加预应力锚索支护方案效果较好。

本文通过分析影响车站稳定的因素, 提出新的施工顺序, 来优化车站的稳定性, 采用 BIM 软件对优化前后的高架车站进行建模对比, 验证优化的效果。

2 高架车站施工顺序优化

综合高架车站的风险评价、监测数据可视化预警技术和高架车站局部稳定性研究可知, 高架车站的施工是将车站的各个构件形成一个有机的整体, 无论从前期的风险因素评价和施工过程中的监测数据与模拟, 车站的整体稳定性与它们都有着不可分割的联系, 从工程管理、施工质量与后期维护各个方面都对高架车站的整体稳定

性有着或多或少的的影响。着眼于工程本身, 车站的施工顺序是整体稳定性的重要影响因素, 因此本章从风险评价结果、数值模拟局部稳定性评价结果两方面对施工顺序进行优化。

2.1 施工顺序优化分析

风险评价结果表明, 环境风险中的强电管线和工程本体风险中的车站主体施工处于 II 级风险状态, 属于中度风险状态。对此, 本着早发现早解决的原则, 管线改迁工作提前进行, 并重点管控车站主体施工的工序和施工方法。强电管线改迁在交通疏解后, 车站基础施工前进行, 改迁过程中严格按照规范标准, 并加强监控量测, 在此处不进行过多赘述, 重点为高架车站主体施工。

车站主体不仅具有高空作业的人员风险, 由于其本身结构的复杂性, 车站构件的种类繁多, 车站主体的局部稳定性对车站的整体稳定性有着直接影响, 根据现有的报告可知, 高架车站站厅层盖梁及有梁板部分在动力作用下容易损伤, 需要对该部分混凝土及钢筋进行局部加强。因此, 无论是站厅层或是站台层, 都无法进行整体浇筑, 需要进行分步浇筑不同标号混凝土, 据此对施工顺序进行调整, 调整如下表 1。

车站主体的施工顺序优化, 由原本的由下至上施工改为车站主体流水作业, 既能提高施工效率, 降低施工管理的成本, 又能在每次流水施工作业时降低风险因子含量, 使高架车站薄弱环节得以集中应对, 采取加强措施。

表1 施工顺序调整表

调整前	调整后
交通疏解、管线改迁、场地平整	交通疏解、管线改迁、场地平整
基坑开挖、桩基和承台施工	基坑开挖、桩基和承台施工
墩柱施工，基坑回填	墩柱施工，基坑回填
施工站厅层盖梁、板及立柱	从一端开始，施工盖梁、立柱及有梁板，站厅层比轨道层多施工一跨
施工轨道层盖梁及有梁板	先施工站厅层盖梁、板，后施工轨道层盖梁和有梁板直至整体施工完成
施工站台板	施工站台板

对于车站局部稳定性的分析，主体部分已经给出具体的工序优化措施。车站基础的稳定性也是影响车站整体稳定性的重要指标，从桩基加载顺序的研究可以看出，不同桩基加载顺序对地基有着不同的影响，因此，车站施工的不同顺序对车站地基的影响也不相同。

在计算的模型结果文件中提取桩基础顶部竖直方向应力，并将其作为纵坐标，将车站主体结构纵向方向距中心点距离作为横坐标，如图1 桩基础竖向应力沿车站纵向分布所示。

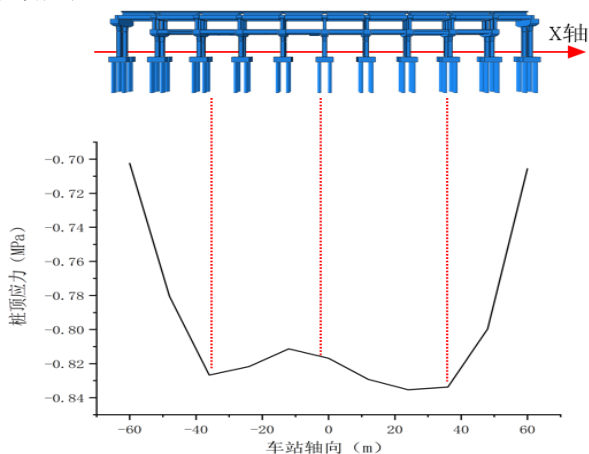


图1 桩基础竖向应力沿车站纵向分布

由于较早阶段施加荷载的桩基础在达到指定沉降时对应的荷载较小，较晚阶段施加荷载的桩基础在达到指定沉降时对应的荷载较大；相对早施加荷载的桩基础极限承载力较小，相对晚施加荷载的桩基础极限承载力较大，分步加载时存在松弛现象，而且以上现象在早期相对更明显，在两桩基础较近时相对更明显。

从这一方面来说，对于加载顺序即基础上部结构施工顺序，给出以下建议：

第一，从两端边缘开始施工，从外向内顺次施工，两端同时进行；

第二，中间部分开始施工；

第三，补齐已施工完成中间的尚未施工部分，由外向内顺次进行，两边同时进行。

2.2 优化前后对比

根据车站主体的施工顺序优化和桩基加载数值实验研究，最终确定了高架车站整体的施工顺序，调整了车站主体的施工工序。对于车站基础加载顺序的研究，表明从两端向内施工再由中间向外施工达到闭合状态时最优的桩基加载方案，基于此对施工顺序进行调整，可以最大程度提高车站施工稳定性。表1展示了高架车站施工顺序调整前后对比的BIM模型，可以直观地看出施工顺序调整前后的差别。

表2 施工顺序调整前后对比

	工序优化前	工序优化后
桩基承台墩柱		
盖梁		
车站主体		
轨道层		
车站施工完毕		

3 施工建议

根据前面风险评价，施工监测和局部整体稳定性分析的结果，可以得到高架车站整体的施工流程，下面详细说明施工的各个流程与需要注意事项。

3.1 地基与基础施工工艺流程

3.1.1 桩基础施工

高架车站桩基础施工方法和工艺与高架区间相同，工艺流程见图2。

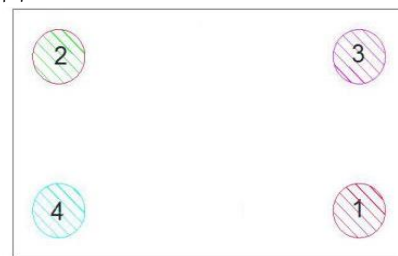


图2 钻孔施工顺序图

(1) 施工顺序

采用“对角钻”，尽量避免冲击时对临桩的干扰。每

个墩位各钻孔施工顺序如图 3。

(2) 桩基施工要点

水下灌注砼时必须严格按操作规程施工:

①现场已修通施工便道至各个桩位的

灌注坡道,并根据灌注平台、罐车溜槽的高度确认灌注坡道的高度

②导管检查

根据钻孔深度来设计导管长度,导管接头采用丝扣连接,直径为 250mm,壁厚 5mm,分节长度 2~4m,最下端一节长 4m。

③确保首批砼的数量

计算首批灌注砼用量,保证导管埋入砼的深度 $\geq 1\text{m}$,确保成功封底。

首批砼方量计算如下图 3 所示:

$$V \geq \pi D^2 (H_1 + H_2) / 4 + \pi d^2 h_1 / 4$$

其中: V —灌注首批砼所需数量 (m^3); D —桩孔直径 (m); H_1 桩孔底至导管底端间距,一般为 0.4m ; H_2 导管初次埋置深度 (m); d —导管内径 (m); h_1 —桩孔内砼达到埋置深度 H_2 时,导管内砼柱平衡导管外(或泥浆)压力所需的高度 (m),即 $h_1 = H_2 \gamma_w / \gamma_c$

γ_w —桩孔内泥浆重度,取 12kN/m^3

γ_c —砼拌和物重度,取 24kN/m^3

H_w —桩孔内泥浆深度

④砼运输保障

单桩砼数量较多,必须保证单桩灌注时有 4 台以上的砼运输车运输,水下砼灌注必须连续进行,严禁中途停顿,确保在 5 小时以内完成桩基砼灌注。

3.1.2 承台施工

(1) 基坑开挖与支护

基坑面积比较大,承台间的土方放坡开挖,坡面采用喷浆封闭。用挖掘机挖至距离基底 20cm 左右,部分边角部位由人工配合开挖,基底以上 20cm 部分土方由人工配合开挖。

(2) 钢筋绑扎

车站承台除预埋墩柱钢筋外,部分承台顶和侧面预埋电缆夹层梁、板、墙钢筋,在绑扎钢筋时确保不能遗漏。

3.2 站厅层立柱施工工艺流程

站厅层立柱一般设计为方形截面,采用定型钢模板。站厅立柱与站厅梁板一起浇筑。每个站厅层有 4 个立柱,其中 2 根外侧立柱设置竖向预应力钢筋,采用圆形塑料波纹管成孔,竖向预应力钢筋张拉完毕后,用 M45 水泥浆灌浆, C50 收缩补偿砼封填张拉槽口。其他施工方法与墩柱相同。

3.3 盖梁张拉、管道压浆和封锚工艺流程

车站盖梁为预应力钢筋砼结构,钢束采用 $\Phi_s 15.2$ 低松弛预应力钢绞线,波纹管采用塑料波纹管。布置图如图 4 所示。

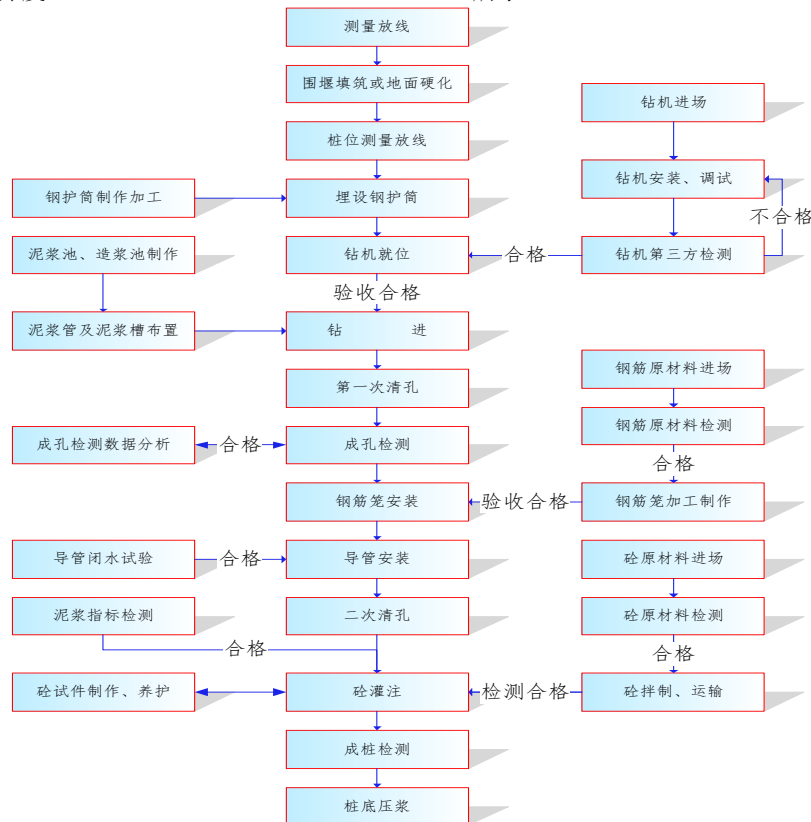


图 3 桩基础施工工艺路线图

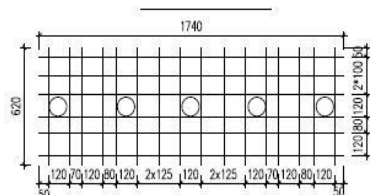


图 4 盖梁钢束布置示意图

预应力筋张拉和管道压浆工艺与高架区间相同,参见高架区间部分。采用盖梁支架作为张拉压浆作业平台,在封锚后拆除。

为保证盖梁外观和线型,盖梁预应力封端模板采用定型钢模板。模板上部设下料口,确保砼能够入模,封端采用人工振捣。

预应力钢束在盖梁施工完成后先张拉 F1-1、F1-3、F1-5 钢束,锚下张拉控制应力为 1302Mpa,在车站站台层施工完成后张拉钢束 F1-2, F1-4, 锚下张拉控制应力为 1265Mpa。

3.4 行车道板层梁板施工工艺流程

(1) 行车道板层梁板结构

行车道板层框架纵梁为普通钢筋砼, 结构形式如图 9 车站横断面图。

(2) 行车道板层梁板模板

站厅层纵梁数量多,间距小,钢模板安拆难度大,均采用竹胶板,横梁底部采用 10*15cm 方木做托木,其余采用 10*10cm 方木。

(3) 砵浇筑

①横梁为普通钢筋砼，横梁、纵梁和板同步施工。

②横梁为预应力钢筋砼的,则先浇筑横梁,再浇筑纵梁和梁板。

③后浇带设置与站厅层梁板相同。

其余的施工方法、工艺与站厅层相同,参见相应内容。

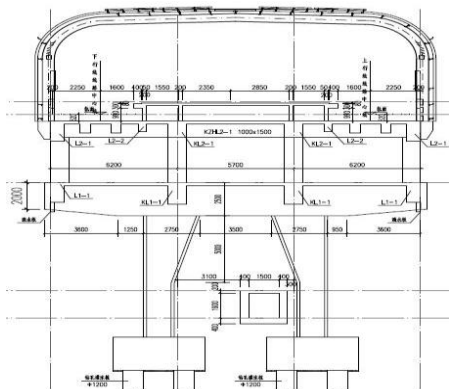


图 5 车站横断面图

4 结论

本文深入探讨了影响高架车站稳定性的各种关键因素，并通过应用建筑信息模型（BIM）技术，对高架车站在优化前后的结构稳定性进行了详细的模拟与分析。研究中，重点关注了桩基的设计和加载方式，以及它们对车站整体稳定性的影响。

首先, 针对影响高架车站稳定性的因素进行分析, 包括桩基设计、施工顺序和荷载分布等。这些因素相互作用, 共同决定了车站在建设过程中的稳定性。特别是桩基作为车站结构的重要支撑, 其设计的合理性和加载的正确性对于保证车站稳定性至关重要。

为了找到最优的桩基加载方案,通过使用 BIM 技术对高架车站的施工过程进行了模拟。通过模拟不同的桩基加载方案,发现从两端向内施工再由中间向外施工直至闭合状态的方案能够最大程度地提高车站的施工稳定性。这种施工顺序能够使得桩基在受力过程中更加均匀,有效分散荷载,减少局部应力集中,从而提高整个车站的结构安全性。

本文通过对高架车站稳定性影响因素的深入分析和BIM技术的应用,得出了最优的桩基加载方案和施工顺序调整建议。这些研究成果对于指导高架车站的实际施工具有重要的参考价值,有望为未来类似工程的设计和施工提供有益的借鉴。

[参考文献]

- [1] 李晓龙. 新建航道基坑下穿高铁桥梁对邻近桥墩的影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(3): 188-192.
- [2] 杨日林. 基坑工程施工对临近地铁隧道结构的安全评价研究[J]. 价值工程, 2024, 43(6): 52-56.
- [3] 王贺., 城市双线隧道车站施工工艺优化及稳定性研究[J]. 价值工程, 2022(17): 77-79.
- [4] 朱亚坤. 地铁车站附属结构支撑设计优化及稳定性分析[J]. 天津建设科技, 2019(4): 75-77.
- [5] 贾宗仁. 合肥地铁车站深基坑内支撑优化设计研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2015.

作者简介：程晓东（1986.5—），项目总工，主要研究方向：岩土工程施工技术优化。