

新型高填方桥台设计研究

熊鹿鹿,李 坤,岳朋超

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北 武汉 430010)

摘 要:在台后填方高度超过 10 m 且台前无法放坡的高填方地形路段,桥台需要能抵抗台后较大的土压力,具有较大的竖向承载力和水平承载力且能克服台后填土较大的不均匀沉降,而传统桥台类型难以满足上述需求。为此,以某台后填方为 10.6 m 的跨站前广场桥为例,提出在台身后设置箱室,并在纵桥向采用 3 排桩基的箱型桥台方案;同时根据桥梁总体布置,对该新型高填方桥台进行了构造设计并采用有限元软件计算验证该桥台结构的可行性。结果表明:新型高填方桥台各力学性能指标均满足规范要求,能够适用于台后高填方的地形,台前无需放坡即可保证桥下站前广场的通行空间。

关键词:高填方;箱型桥台;跨站前广场桥;结构计算

中图分类号: TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)07-0099-06

0 引言

近年来,随着国民经济的飞速发展,路桥建设不断推进,城市桥梁的建设范围越来越广。桥梁建设所遇到的地形条件复杂多样,其中包括桥台后填方高度超过 10 m 且台前无法放坡的高填方路段地形。该类路段桥台不仅要求能承受台后较大的土压力、具有较大的竖向承载力和水平承载力,而且需要能减小台后高填方不均匀沉降的不利影响。本文在分析传统桥台类型及适用情况的基础上,以某跨站前广场桥为工程实例,提出一种新型高填方桥台设计方案,为后续同类桥台工程设计提供参考。

1 常用桥台类型

位于桥梁两端的桥台是支承桥梁上部结构并与路堤相衔接的构筑物,其功能包括将桥梁上部结构荷载传递到基础、抵挡台后的填土压力、稳定桥头路基、使桥头线路和桥上线路平稳可靠地连接。市政桥梁常用梁式桥桥台类型有重力式桥台、桩接盖梁式桥台、一字形桥台、肋板式桥台等^[1]。

重力式桥台(见图 1)常用形式为 U 形桥台,靠自身重量来平衡外力而保持其稳定,台身厚实;可用浆砌片石、毛石混凝土或素混凝土砌筑,但浆砌片石、毛石混凝土实际施工质量难以保证,出于施工质

量考虑推荐采用 C25 素混凝土。根据地质条件可采用扩大基础或桩基础。其缺点是圬工体积和自重较大,增加了对地基的要求;桥台侧墙之间的填土易积水,结冰冻胀后会使得侧墙产生裂缝,宜用渗水性较好的土夯填,做好台后排水。一般适用于填土高度 10 m 以下的桥台。

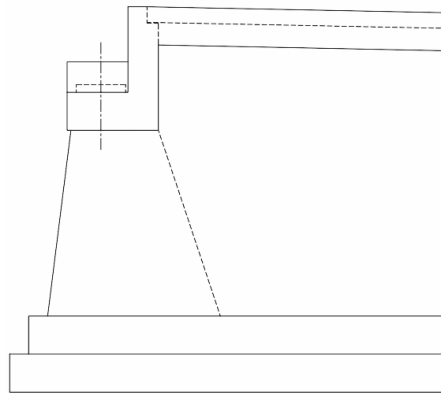


图 1 重力式桥台

肋板式桥台(见图 2)以肋板连接盖梁与承台,承台下纵桥向设 2 排桩基,另有背墙、耳墙、搭板牛腿等构造。肋板纵向尺寸较大,能抵抗较大土压力;肋板间空隙可降低土压力影响。台身边坡范围较大,存在被洪水冲毁而使台身裸露的可能,需保证台前放坡的稳定性,设计时必须慎重地进行强度和稳定的验算。一般适用于填土高度 12 m 以下的桥台。

桩接盖梁式桥台(见图 3)的桩基接在盖梁式台身上,另有背墙、耳墙、搭板牛腿等构造。通常布置 1 排桩基,为增大桥台的台身稳定性,可将桩基交错布

收稿日期: 2023-05-24

作者简介:熊鹿鹿(1993—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

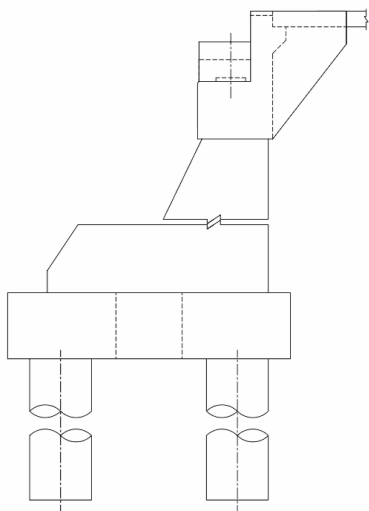


图2 肋板式桥台

置。一般适用于台身高度不超过3 m的桥台。

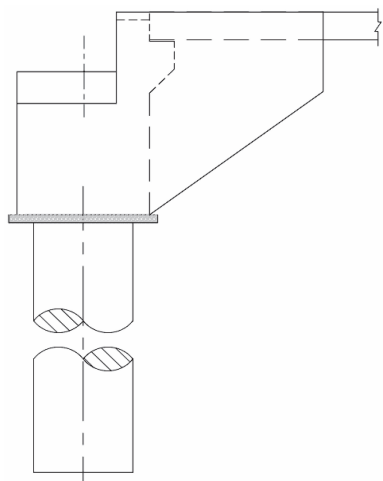


图3 桩接盖梁式桥台

一字形桥台(见图4)台身呈一字形,桩基与台身下的承台相接,另有背墙、侧墙、搭板牛腿等构造。纵桥向通常布置2排桩基。一般适用于填土高度3~6 m的桥台。

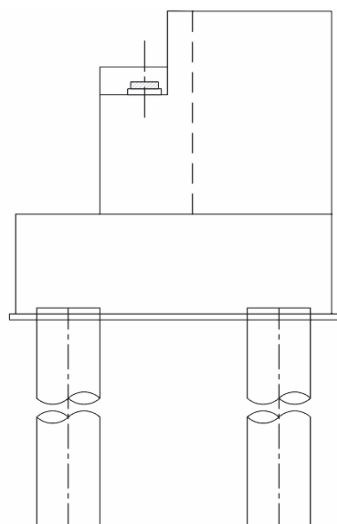


图4 一字形桥台

由以上分析可知,在传统桥台类型中,重力式U形桥台所需圬工量大且无法解决台后填土较大的不均匀沉降;肋板式桥台无法满足桥台前不放坡的要求;桩接盖梁式桥台、一字形桥台等适用的台后填土高度均较小,不适用于高填方路段。因此,本研究以某跨站前广场桥为工程依托——该桥位桥台台后填方高度均超过10 m,提出一种在台身前墙后设置箱室的箱型桥台设计方案,并通过有限元计算验证该桥台结构的可行性。

2 工程概况

某城市主干路跨站前广场桥桥跨布置为35 m+50 m+35 m,桥梁全长120 m,桥宽60 m,采用双幅设计,桥下站前广场通行净空为5 m。上部结构采用预应力混凝土变高连续箱梁,桥墩采用柱式墩,基础采用钻孔灌注桩基础。机动车道荷载采用城-A级;非机动车荷载取人群荷载与小型车专用车道荷载中不利者进行计算^[2];人群荷载按文献^[3]第6.0.5条取值。桥梁结构安全等级为一级,环境类别为I类,桥梁结构设计基准期及设计工作年限均为100 a。跨站前广场桥效果图见图5。



图5 跨站前广场桥效果图

该跨站前广场桥北侧桥台背墙前缘处设计高程为123.50 m,地面高程为112.95 m;南侧桥台设计高程及地面高程与北侧桥台相近。桥梁两端桥台填挖高度均超过10 m,且台前为站前广场区域,放坡受限。在传统桥台类型难以满足本工程需求的情况下,本设计采用适用于台后高填方的箱型桥台,同时在桥台两侧配合设置一段连接挡墙,既能保证台后填方路基的稳定,又能避免台前放坡而影响站前广场通行空间。跨站前广场桥桥位平面布置图见图6。

3 新型高填方桥台构造特点

新型高填方桥台以常规一字形桥台形式为基础,为减小台后高填方的不均匀沉降影响,在台身前墙后方增设一个箱室,形成箱型桥台。桥台箱室由顶

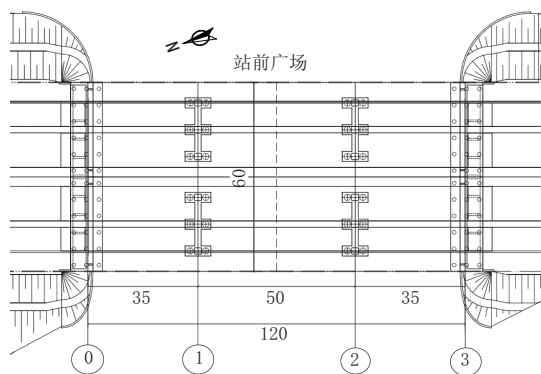


图 6 跨站前广场桥桥位平面布置图(单位:m)

板、侧板、隔板组成,顶板与前墙连接处两侧、侧板与承台连接处内侧、顶板与侧板连接处内侧均设倒角,以减小箱室四角应力集中的不利影响;箱室内横向均匀布置几道隔板,以增强箱室及桥台的整体刚度,同时减小箱室顶板及侧板的受力。箱型桥台为适应锥坡放坡距离要求,保持台后填方稳定,在侧墙后增设一段耳墙,以减小台前挡土墙高度;为增大桥台抗倾覆稳定性、抗剪承载力及桥台竖向承载力,桥台纵向采用 3 排桩基。箱型桥台形成过程见图 7。

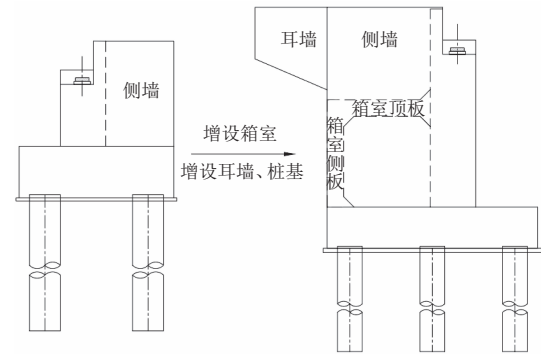


图 7 箱型桥台形成过程

该跨站前广场桥两端均采用箱型桥台,2 幅桥台之间设置 2 cm 断缝。单幅桥台承台尺寸为 29.99 m×10.20 m×2.00 m,下设 18 根直径 1.2 m 的钻孔灌注桩,横桥向间距 5.2 m,纵桥向间距 4 m。桥台前墙高 8 m,背墙高 2.2 m,箱室高 5.2 m;顶板和侧板厚度为 0.8 m,箱室顶板设置倾向台后的 0.5%坡度,以利于箱室上方填土排水。箱室之间设间距 5.84 m、厚度 0.6 m 的隔板。

箱型桥台 1/2 立面图、A-A 剖面图、B-B 剖面图见图 8 至图 10。

桥台箱室、背墙、前墙、侧墙、耳墙采用 C40 混凝土;承台采用 C35 混凝土;桩基采用水下 C30 混凝土。

4 新型高填方桥台结构分析

取跨站前广场桥的半幅 0# 桥台进行结构计算

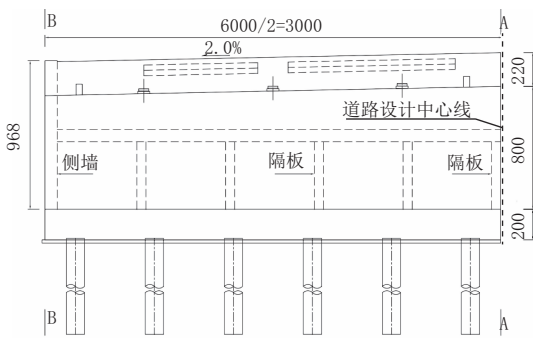


图 8 箱型桥台 1/2 立面图(单位:cm)

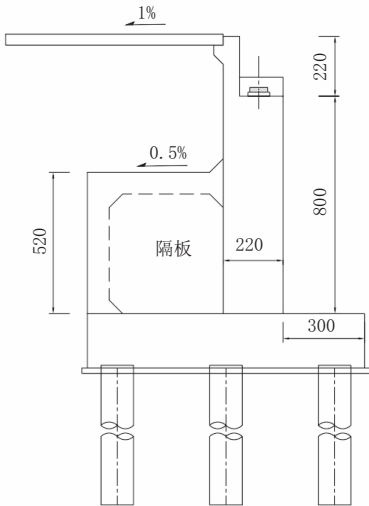


图 9 箱型桥台 A-A 剖面图(单位:cm)

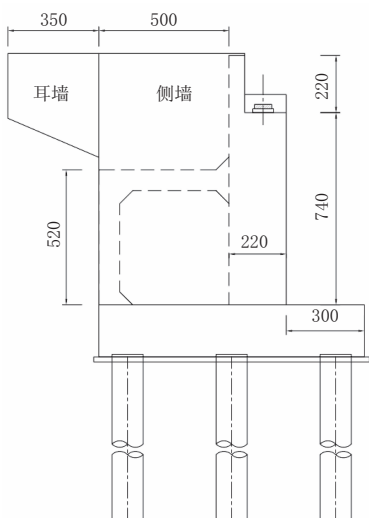


图 10 箱型桥台 B-B 剖面图(单位:cm)

分析。箱型桥台的结构计算包括桩基承载力计算、台身箱室结构计算、侧墙计算、承台计算等。相比于传统一字形桥台结构计算,箱型桥台的桩基承载力计算与台身箱室结构计算较为特殊,而侧墙按受弯构件、承台按拉压杆模型根据文献[4]检算配筋即可。

4.1 桩基承载力计算分析

箱型桥台由于受到纵桥向各种作用而对承台底形心轴产生了不平衡力矩,因此 3 排桩基的桩顶反

力大小会有差异。为提高结构安全性和经济性,设计过程应优化调整桥台纵向结构布置,使桩顶反力不出现负反力并使其大小较均匀。桥台纵向各排桩基桩顶反力的计算需先确定桥台桩基以上部分的竖向荷载和水平荷载,其中恒载包括支座恒载反力、桥台承台及以上各部分构件自重、箱室以上填土自重、搭板及其上铺装重、台后土压力等;活载包括支座活载反力、支座摩阻力、台顶汽车荷载、台后汽车荷载等代土压力等。

箱型桥台纵向承台尺寸由桩间距布置确定后,台身前墙到承台前缘的距离 L 将影响承台以上各项作用产生的力矩大小,因此可通过调整台身前墙位置参数 L 来优化各排桩基桩顶反力。初步拟定 L 值分别取为2.5、3.0、3.5 m,并根据各 L 值计算桥台结构桩顶反力,桩顶反力由台前到台后依次为 N_1 、 N_2 、 N_3 ;桥台纵向弯矩值以顺时针为正。箱型桥台受力示意图见图11,图中 M_{yd} 为桥台各项荷载对于承台底形心轴所产生的纵向弯矩; F_d 为桥台各竖向荷载合力。

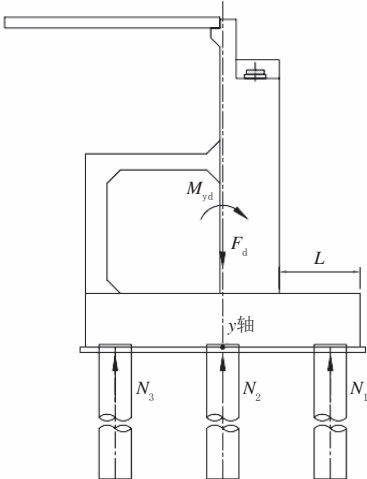


图 11 箱型桥台受力示意图

当台身前墙位置参数 $L=2.5$ m时,台身前墙自重及支座反力荷载产生的顺时针弯矩较大,预计桩基桩顶反力 $N_1>N_3$;桥台纵向活载中,支座活载反力、支座摩阻力、台后汽车荷载等代土压力会使前排桩顶反力 N_1 进一步增大,并参与计算桩顶反力的最不利组合;而台顶汽车荷载会使 N_1 减小,且不参与计算桩顶反力的最不利组合。桥台各项竖向荷载及其到承台中心线的距离见图12(图中 G 为桥台各部分结构重力; $R_{反}$ 为支座反力; $F_{土}$ 为台后土压力; $F_{摩}$ 为支座摩阻力),可得桥台各竖向荷载合力为69 684 kN;纵向弯矩为-9 709 kN·m。

箱型桥台承受的纵向水平荷载包括支座摩阻力

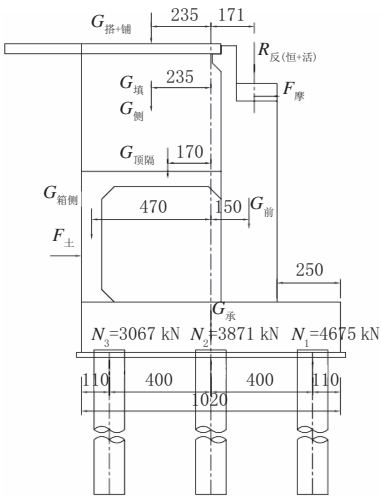


图 12 桥台纵向受力图($L=2.5$ m)(单位:cm)

与台后土压力。根据文献[5]第4.3.13条算得支座摩阻力 $F_{摩}=503$ kN,支座到承台底的垂直距离为10 m,则支座摩阻力对桩群产生的弯矩为5 030 kN·m;根据文献[5]第4.2.3条算得台后土压力(含台后汽车荷载等代土压力) $F_{土}$ 在桥台承台底产生的弯矩为43 265 kN·m。则根据文献[4]第8.5.1条可算得 $L=2.5$ m条件下的桩顶反力,结果见表1。

表 1 桥台桩顶反力($L=2.5$ m)

N_1 /kN	N_2 /kN	N_3 /kN
4 675	3 871	3 067

由表1可知,桩顶反力 N_1 、 N_2 、 N_3 差值较大,前排桩基桩顶反力 N_1 比后排桩基桩顶反力 N_3 大1 608 kN,说明 $L=2.5$ m时的桥台结构并不合理,应将台身前墙向台后移动来优化桥台结构,减小各排桩基桩顶反力差值。

调整台身前墙位置参数 L ,重新布置桥台纵向结构并计算桩顶反力。当 $L=3.0$ m时,假定桩基桩顶反力仍是 $N_1>N_3$,桥台纵向活载中只有台顶汽车荷载不参与计算桩顶反力的最不利组合;当 $L=3.5$ m时,假定桩基桩顶反力 $N_1<N_3$,桥台纵向活载中支座活载反力、支座摩阻力、台后汽车荷载等代土压力均不参与计算桩顶反力的最不利组合。若计算结果不符合假定,则调换参与最不利组合的各项活载。按上述 $L=2.5$ m的分析步骤重新计算桥台结构竖向荷载、水平荷载及其弯矩值,可得 $L=3.0$ 、3.5 m时桩顶反力,结果见表2。

表 2 桥台桩顶反力($L=3.0$ 、3.5 m)

L /m	N_1 /kN	N_2 /kN	N_3 /kN
3.0	4 156	3 822	3 487
3.5	3 110	3 475	3 840

综合比较表 1、表 2 桩顶反力结果可知,当 $L=3.0、3.5\text{ m}$ 时,前后排桩基桩顶反力的差值均小于 $L=2.5\text{ m}$ 时的差值, $L=3.0\text{ m}$ 时前排桩基桩顶反力 N_1 比后排桩基桩顶反力 N_3 大 669 kN ; $L=3.5\text{ m}$ 时后排桩基桩顶反力 N_3 比前排桩基桩顶反力 N_1 大 730 kN 。为减小台后高填土沉降引起的桥台后倾现象,应使前排桩基桩顶反力 N_1 适当大于后排桩基桩顶反力 N_3 ,因此 $L=3.0\text{ m}$ 比 $L=3.5\text{ m}$ 确定的桥台结构受力更为合理,该桥箱型桥台采用了台身前墙距承台前缘为 3.0 m 的纵向结构布置。

桥台桩基采用摩擦桩设计,按文献[6]第 6.3.3 条采用最大桩顶反力 $4\,156\text{ kN}$ 进行桩基承载力验算。根据工程所处地质条件可知, 30 m 桩长满足设计要求。

4.2 箱室结构计算分析

采用 MIDAS Civil 2022 对该桥台进行有限元建模计算,取长度为 1.0 m 节段作为计算模型。箱型桥台有限元计算模型见图 13。有限元模型的荷载工况包括:(1)结构容重:由软件自动计算;(2)箱室顶土压力: $q=95\text{ kN/m}$;(3)台后土侧压力:箱室顶板处前墙土压力集度 $q_1=23.4\text{ kN/m}$,箱室侧板底部土压力集度 $q_2=47.7\text{ kN/m}$;(4)汽车荷载:车辆荷载在台后引起的等代土侧压力 $q_3=1.8\text{ kN/m}$,箱室顶车辆荷载附加荷载 $q_4=16.3\text{ kN/m}^2$;(5)支座反力: 543 kN/m ;(6)支座摩阻力: 16.8 kN/m 。

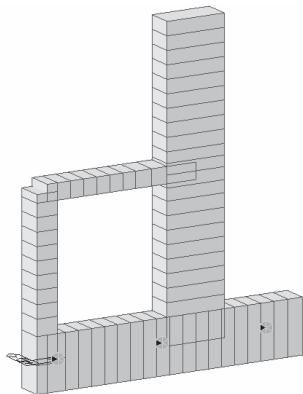


图 13 箱型桥台有限元计算模型

有限元模型恒载按必组合考虑,其他荷载按包络判别自动组合,结构安全系数取 1.1。运行得到基本组合工况下的弯矩包络图、轴力包络图、剪力包络图(见图 14 至图 16);频遇组合及准永久组合的内力图限于篇幅不再列出。

由图 14 可知:箱室顶板抗弯的最不利截面在顶板跨中截面 1 及顶板根部截面 2;由图 14、图 15 可知:箱室侧板抗压弯最不利截面 3 在与顶板相接处,

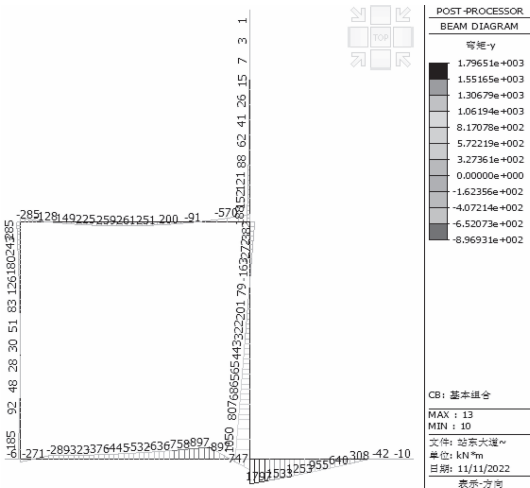


图 14 基本组合工况下的弯矩包络图

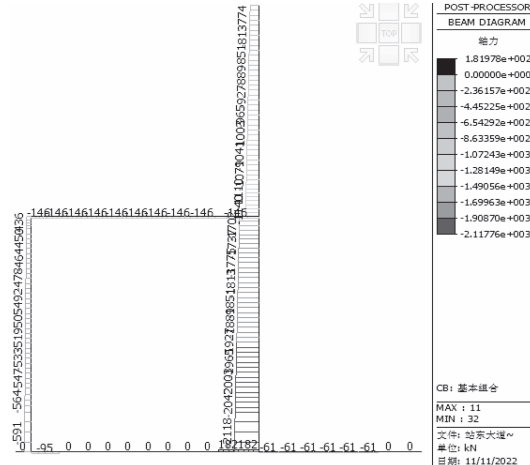


图 15 基本组合工况下的轴力包络图

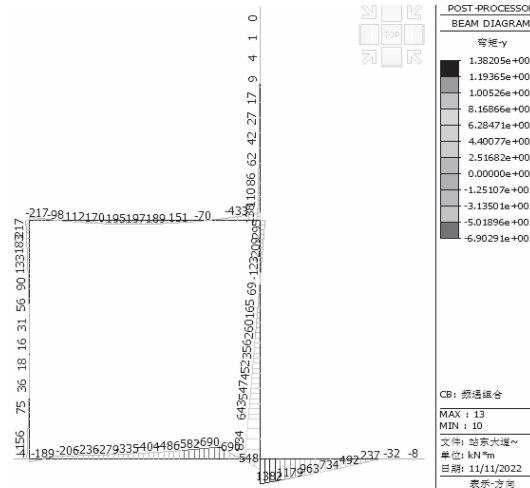


图 16 基本组合工况下的剪力包络图

前墙抗压弯的最不利截面 4 在底部;由图 16 可知:箱室抗剪的最不利截面在顶板根部截面 2。

桥台箱室结构验算最不利截面位置示意图见图 17。

从各组合内力包络图读取截面内力结果后,对截面 1、截面 2 根据文献[4]第 5.2.2 条、第 6.4.3 条进行正截面抗弯检算,且对截面 2 根据文献 [4]第 5.2.11 条进行斜截面抗剪检算;对截面 3、截面 4 根

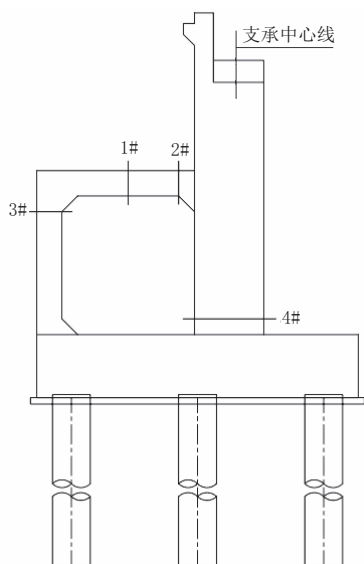


图 17 桥台箱室结构验算最不利截面位置示意图

据文献[4]第 5.3.4 条、第 6.4.3 条进行偏心受压构件检算。

在检算过程中,通过多次调整钢筋规格和间距,可知对箱室顶板及侧板结构两侧均配置单肢 $\phi 25@10\text{ cm}$ 的 HRB400 主筋、对前墙结构纵桥向两侧配置单肢 $\phi 25@15\text{ cm}$ 的 HRB400 主筋时,各部分构件均满足规范要求。箱室隔板起结构加固作用,只需按构造规定配筋。

该桥建成后,箱型桥台保证了台后高填方路基

的稳定与台前站前广场的通行空间,得到了业主的高度赞扬。

5 结 语

(1)箱室结构降低了箱室上方的填土高度,减小了台后填土沉降,使桥台填土高度及其沉降能均匀过渡,从而满足使用要求。

(2)桥台采用空心箱室,混凝土用量相比传统重力式桥台大幅减少,减小了桥台对地基承载力的要求,适用地质条件范围广。

(3)箱室结构增强了桥台整体刚度,增强了桥台对高填方较大土压力的适应能力。

(4)桥台采用 3 排桩基,增强了桥台竖向承载能力、抗倾覆稳定性及水平抗剪能力。

(5)桥台侧墙后的耳墙使锥坡放坡起点向侧墙后移动,减小了桥台两侧挡土墙高度。

参考文献:

- [1] 邵旭东.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范(2019 版)[S].
- [3] GB 55011—2021,城市道路交通工程项目规范[S].
- [4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [5] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [6] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [7] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com