

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.03.011

建筑深基坑与紧邻道路高边坡一体化支护研究

张露, 沈宝营

(重庆市设计院有限公司, 重庆市 400015)

摘要:以重庆市某工程案例为依托,对建筑深基坑紧邻道路高边坡时的一体化支护方案进行研究。采用有限元软件 Midas GTS NX 模拟双排桩及单排桩的施工过程,预测计算其位移及内力;采用理正岩土软件对扶壁式挡墙所在的边坡整体稳定性进行验算,并从结构变形、施工难度、工程造价、对坡顶构筑物影响等方面比较了4种一体化支护方案的优缺点,分析了不同方案所适用的工况。研究结果可为其他类似工程提供有益的参考。

关键词:紧邻道路;双排桩;高扶壁式挡墙;深基坑开挖

中图分类号:U417.1

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)03-0039-05

0 引言

建筑深基坑普遍采用的支护结构施工方法有:钢板桩支护法、深层搅拌水泥桩支护法、排桩支护法、地下连续墙支护法、逆作法以及非逆作法等^[1]。如果建筑深基坑紧邻新建道路高边坡时,就需要将二者结合进行一体化设计研究,以便节约施工工期和工程成本。李景龙等^[2]研究了相邻建筑深基坑的双层单排桩组合支护形式;魏海涛等^[3]针对紧邻建筑的土质滑坡提出了抗滑桩+嵌顶微型桩+坡面锚杆格构的综合治理措施;梁永辉^[4]结合上海某邻近建筑的大型软基高填方工程,提出了桩承式加筋土复合支挡结构的设计方案;徐开顺^[5]对某一案例工程的深基坑边坡进行了稳定性分析,并用 Midas GTS NX 数值模型进行了双排桩的内力和变形计算。

在以上学者的研究成果基础上,本文结合实际工程案例,就建筑深基坑紧邻道路高边坡工况提出了4种一体化支护结构设计方案,并进行结构计算和优缺点分析,供类似工程参考。

1 工程概况

1.1 地理位置

项目位于重庆市云阳县黄岭工业园。建设用地南西侧为已建外环大道,北东侧为已建黄岭工业园片区道路A段,北西侧现状为已平场场地,南东侧现为开云高速施工项目部。拟建场地现状为已平场

场地,目前外环大道、黄岭工业园片区道路可以到达项目所在地附近,交通十分便利。

拟建工程为污水处理厂,建设型式为双层加盖半埋地式。本次设计为污水处理厂拟建场地场坪的初步平整,为后续污水处理厂施工做好基础,以节省施工时间。根据设计标高,在场地东北侧,拟建厂房与已建黄岭工业园片区道路A段将形成最大高度约22 m的基坑边坡(临时边坡);拟建园区道路与已建黄岭工业园片区道路A段将形成最大高度约13 m的环境边坡(永久边坡)。临时边坡和永久边坡两者均为土质边坡。边坡平面示意图见图1。

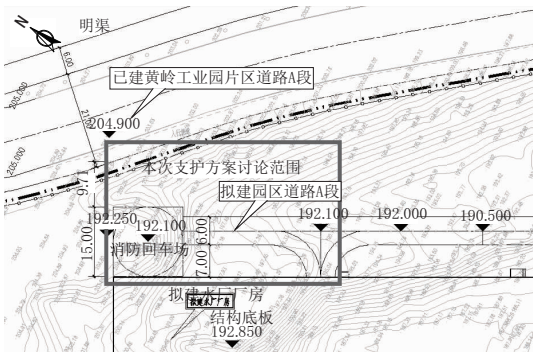


图1 边坡平面示意图

由于建筑基坑临时边坡紧邻园区道路永久边坡,若将二者进行一体化支护不仅能缩短施工工期,也能在一定程度上降低工程成本。

1.2 地质条件

场地东北侧以土质边坡为主,坡体主要为人工填土,土层最深处约38 m。土体多为周边道路建设弃土,结构松散-稍密,均匀性差,回填时间不一,下部回填时间约5 a,上部为新近回填,回填方式为人工或

收稿日期:2023-03-26

作者简介:张露(1994—),女,硕士,工程师,从事市政结构设计工作。

机械抛填。土体下方主要为砂泥岩地层,中风化泥岩的岩体质量等级为Ⅴ类,饱和单轴抗压强度 4.13 MPa;中风化砂岩为Ⅲ类,饱和单轴抗压强度标准值 31.5 MPa。基岩面起伏较大,相邻钻孔间基岩面坡角一般为 5°~20°,局部可达到 40°。场地内地下水位深度为 166.5~172.7 m,受季节及降雨影响较大,呈现季节性变化及雨后上升的变化特征。

根据地勘报告,素填土层分布厚度不均,强度相差较大,块石之间可能存在局部架空现象,不做处理时不建议作为基础持力层,碾压后可作为重力式挡墙的基础;强风化基岩厚度较小,强度较大,可作为荷载不大的拟建构筑物基础;中风化基岩岩层稳定,厚度大,强度高,可作为本工程的基础持力层。

1.3 岩土参数

依据地勘提供的钻孔柱状图,确定了该深基坑周围土体的初始参数。设定的各层土基本物理力学参数(重度 γ 、黏聚力 c 、内摩擦角 φ 等)见表 1。

表 1 土层物理力学参数						
土层	厚度 /m	弹性模量 /MPa	泊松比	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
素填土	36.5	100	0.20	21.5	2	20.0
中风化泥岩		900	0.34	25.6	430	30.9
中风化砂岩		3 800	0.20	25.0	2 300	32.7

2 支护方案及分析

2.1 方案一:双排桩

以最不利断面 3-3' 为例进行分析。建筑形成的最大深基坑高度为 22.037 m,拟建园区道路与已建黄岭工业园片区道路 A 段形成的最大永久边坡高度为 12.787 m。

方案一(双排桩)平面布置图、地质横断面图见图 2、图 3。

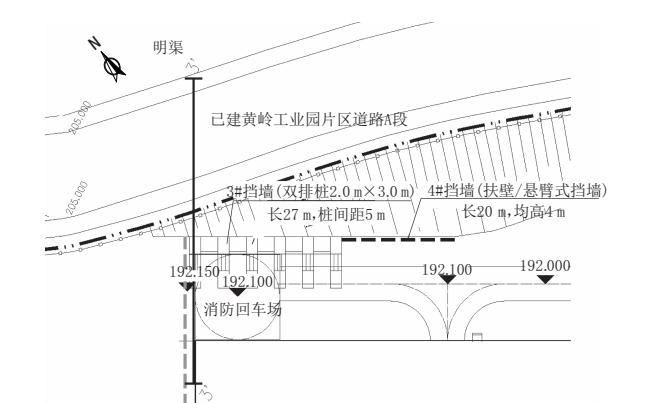


图 2 方案一(双排桩)平面布置图(单位:m)

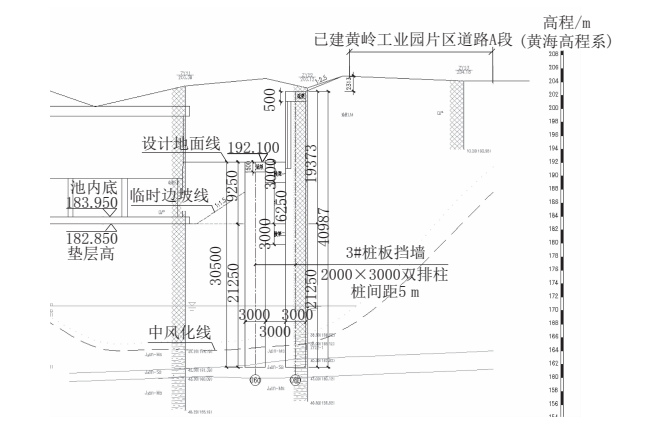


图 3 方案一(双排桩)地质横断面图(单位:mm)

《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)第 13.1.3 条规定:悬臂式桩板挡墙高度不宜超过 12 m,锚拉式桩板挡墙高度不宜大于 25 m。由于此处土层深度较大,约 36.5 m,预应力锚索可发挥作用十分有限。曾经有类似工程案例,其最大支护高度约 16 m,最大填土厚度约 24 m,设计预应力锚索桩进行支护,锚索长度达到 30~45 m;结果施工完成 5 a 后发生失稳坍塌,预应力锚索被破坏,经济损失严重。为弥补损失,该工程采用了“H 型双排桩+连梁”支护方案进行加固,效果显著^[6]。受此启发,方案一在此断面处设计“H 型双排桩”,桩基采用 2.0 m×3.0 m 方桩,桩间距 5 m,前排桩与后排桩之间采用 2 根横梁连接,横梁高度 3 m、宽度 2 m,并在横梁之间设置厚 700 mm 剪力墙,以减小支护结构的侧向变形;在桩顶进行 1:2.5 的放坡卸载,以减小桩基悬臂高度及结构内力^[7],放坡高度 2.3 m,放坡后桩基悬臂高度 19.737 m。

基于 Midas GTS NX 有限元软件,采用地层结构法对方案一(双排桩)进行数值模拟。首先建立结构模型,然后对单元进行网格划分,网格边长 1 m,如图 4 所示。

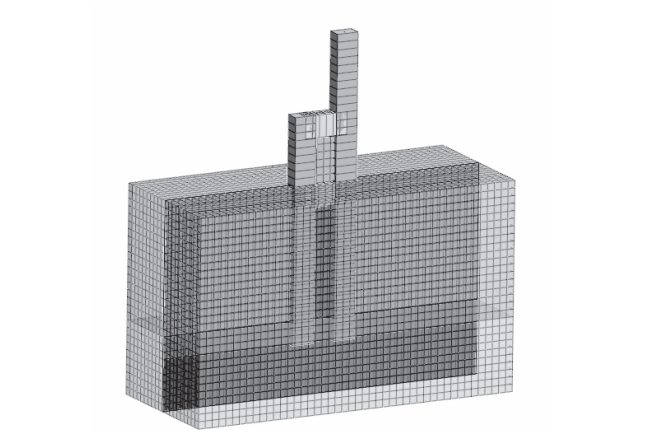


图 4 方案一(双排桩)有限元单元

有限元模型包含素填土和中风化泥岩 2 层土体,每层土体的物理力学参数见表 1。基于 MIDAS GTS NX 软件本构模型特征,素填土采用莫尔-库伦模型,中风化泥岩采用德鲁克-普拉格模型,混凝土采用弹性模型。将桩后填土侧压力及坡顶道路车辆荷载作为连续梁单元分布荷载加到后排桩上,桩后填土综合内摩擦角 35° ,主动土压力系数取 0.271。

通过计算分析,双排桩的计算弯矩如图 5 所示。

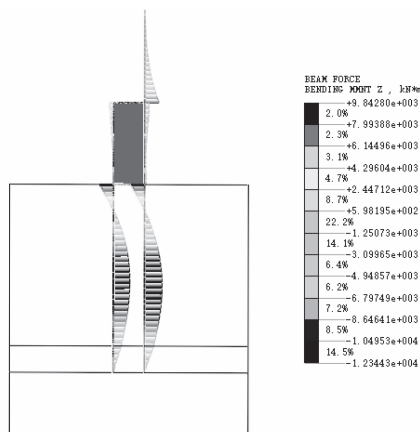


图 5 方案一(双排桩)弯矩云图

由计算结果可知:在悬臂高度达 19.737 m(临时工况)时,后排桩桩顶水平位移 90.5 mm,嵌固点位移 38.2 mm,最大弯矩 $12\,345\text{ kN}\cdot\text{m}$,位于桩基嵌固端;前排桩桩顶水平位移 60.7 mm,嵌固点位移 38.1 mm,最大弯矩 $11\,595\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。而当悬臂高度为 10.487 m(永久工况)时,双排桩最大水平位移 10.4 mm,发生在后排桩桩顶;嵌固点位移 3.8 mm;最大弯矩 $9\,978\text{ kN}\cdot\text{m}$,位于桩基嵌固端。

由此可见,当园区道路建成后,桩基悬臂高度将减少 9.25 m,其桩顶位移和内力均会大幅度降低。若将双排桩拆分为 2 排单桩,便能分别减少 2 排桩的悬臂高度,达到控制桩基位移和内力的目的,由此产生了方案二。

2.2 方案二:2 排单桩

依然对最不利断面 3-3' 进行分析。方案二将之前的双排桩拆分为 2 排独立的单桩,前排为 5# 桩板挡墙,紧贴建筑布置,作为临时支护;后排为 3# 桩板挡墙,布置在园区道路东北侧,作为永久支护,如图 6 所示。

这样 2 排独立的单桩将 19.737 m 的悬臂高度拆分成了两部分,前排 5# 桩板挡墙悬臂高度 9.25 m,后排 3# 桩板挡墙悬臂高度 10.487 m,同时对 3# 桩板挡墙顶部进行放坡卸载。桩基均采用 $2.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ 方桩,桩间距 5 m。同样用 MIDAS GTS NX 建立模

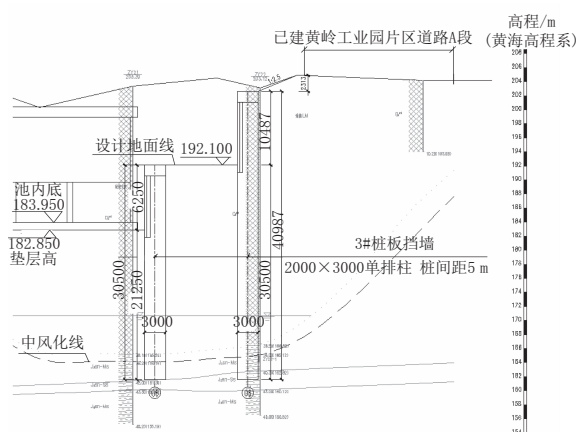


图 6 方案二(2 排单桩)地质断面图(单位:mm)

型进行计算。由计算结果可知:对于前排 5# 桩板挡墙,桩顶水平位移 3.3 mm,嵌固点位移 1.6 mm,最大弯矩 $1\,136\text{ kN}\cdot\text{m}$;对于后排 3# 桩板挡墙,桩顶水平位移 37.8 mm,嵌固点位移 16.5 mm,最大弯矩 $11\,879\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

在临时工况下,方案二的 2 排单桩位移和内力均更优,也能在一定程度上节约工程造价;而在永久工况下,方案二主要是后排 3# 桩发挥作用。将永久工况下的方案二与方案一进行对比,发现方案一(双排桩)的位移和弯矩均优于方案二(2 排单桩),且有相关文献提出过 2 排单桩所受轴力分布不均匀,而双排桩所受轴力分布较为均匀的结论^[8]。

2.3 方案三:直接放坡+1 排单桩

在园区道路建成后,方案二中的前排 5# 桩板挡墙将全部埋于地面以下,而后排 3# 桩板挡墙是能够独立对道路永久边坡进行支护的。经过验算,建筑侧墙能够抵挡土侧压力,于是 5# 桩板挡墙仅起到临时支护作用,在园区道路建成后,它能发挥的作用很有限。基于此,考虑直接放坡开挖,前 2 级边坡按 1:2.0 坡率放坡,第 3 级按 1:1.5 放坡,从而形成高约 21.3 m 的深基坑,水平宽度约 44 m,但这会挖掉已建黄岭工业园片区道路 A 段。由此提出方案三:按上述坡率对建筑基坑直接放坡开挖,在建筑底部建好后,回填土至设计园区道路标高,并在道路东北侧施工 1 排桩基为 $2.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ 的方桩,桩间距 5 m;然后在桩后进行回填,恢复黄岭工业园片区道路 A 段。方案三地质横断面图如图 7 所示。

在 MIDAS GTS NX 中进行建模计算,得到桩顶水平位移 28.9 mm,嵌固点位移 11.2 mm;最大弯矩 $11\,265\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

方案三对方案二进行了优化,工程造价适当,但对坡顶构筑物影响较大。

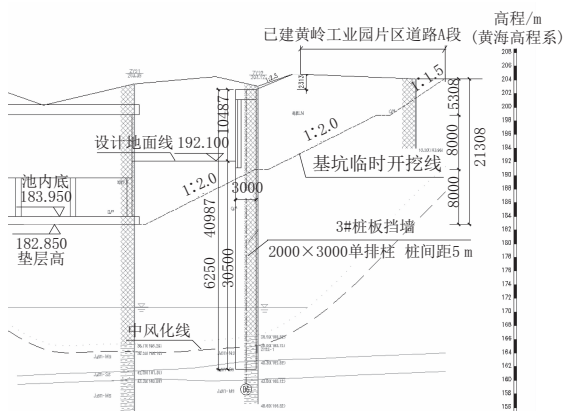


图7 方案三(直接放坡+1排单桩)地质横断面图(单位:mm)

2.4 方案四:直接放坡+扶壁式挡墙

对于方案三,挡墙悬臂高度为10.487 m,如果地基处理得当,也可以设计为扶壁式挡墙,此为方案四。也就是:依旧按方案三的坡率对建筑基坑直接放坡开挖,待建筑底部建好后再回填土至设计园区道路标高,并在道路东北侧施工1排扶壁式挡墙,然后进行挡墙后回填,恢复黄岭工业园片区道路A段。方案四地质横断面图如图8所示。

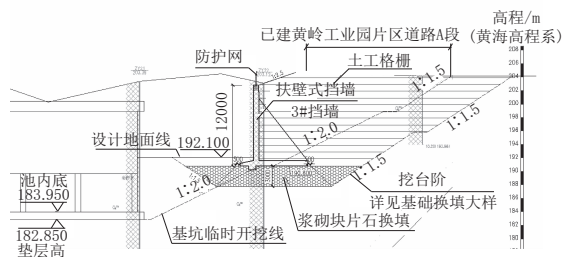


图8 方案四(直接放坡+扶壁式挡墙)地质横断面(单位:mm)

对于最不利断面3-3',若设计高12 m扶壁式挡墙,经计算需要地基承载力达到240 kPa;若设计高3 m浆砌块片石换填,则依旧需要地基承载力达到160 kPa。为增加边坡稳定性,在墙后填土区采用土工格栅加固,每隔1 m铺1层,土工格栅插入临时开挖线内。

利用理正岩土6.5PB4版对整个边坡进行建模计算,分析其整体稳定性。其中:素填土沿岩土界面滑移时抗剪强度取为2 kPa,内摩擦角取为20°(饱和);回填土抗剪强度取为3 kPa,内摩擦角取为30°;换填浆砌块片石综合内摩擦角取为35°。经过计算,滑动安全系数为1.416,大于一级永久边坡的稳定安全系数(1.35),边坡整体稳定。

采用扶壁式挡墙的优点是在满足支护要求的前提下,能节省工程造价,且施工难度相对较低。不足之处在于挡墙顶部位移较大、开挖量大,比方案三的水平开挖距离增加9 m,将会破坏现状排洪渠;地基

处理难度较大,因现状土层较深,在挡墙基础换填前,基底要分层碾压、分层夯实,现场实测地基承载力应不小于160 kPa。

为弥补方案四的不足,可在扶壁式挡墙下方设计2排桩基。有相关文献^[9-10]证明,采用双排桩结合扶壁式挡墙的支护形式,可明显减小挡墙位移和弯矩,其变形也能得到较好控制,可以保证邻近建筑物的安全使用。此外,也有学者^[11]对某软基路段高扶壁式挡墙变形开裂进行原因分析和加固设计,认为该挡墙产生变形的主要原因是台背填料压实度不足,导致挡墙台背填土压力过大,而挡墙地基承载力也不满足要求等,同时提出了气泡轻质土加固、注浆加固等措施。另外有学者^[12]提出,针对高扶壁式挡墙的构造,墙面板倾角的存在使得作用在挡土墙的土压力减小,墙底板逆坡有利于挡土墙稳定性的提高,适当增加挡墙底板宽度也有利于挡墙基底压应力的减小。

方案三和方案四均存在大开挖的情况,徐路^[13]提出了在施工过程中土方开挖、土方回填的技术要点,以及恰当的降水方案及开挖方式选择方式;孔令奇^[14]对深基坑施工技术进行了详细分析,提出了具体的控制措施和注意事项。这些文献对于本工程均有一定的借鉴意义。

2.5 4种方案优缺点

4种方案各有优缺点,从结构变形、施工难度、工程造价、对坡顶构筑物影响这4个方面进行方案比选,结果见表2。

表2 方案比选表

比选项目	方案一 (双排桩)	方案二 (2排单桩)	方案三(直接 放坡+1排单 桩)	方案四(直接 放坡+扶壁式 挡墙)
结构变形 (永久工况)	最小	中等	中等	最大
施工难度	最大	中等	中等	最小
工程造价	最高	高	中等	最低
对坡顶构筑 物影响	小	小	大	最大

由表2可知:方案一、二对坡顶构筑物影响较小,但造价偏高,其中方案一工程造价最高;方案三、四对坡顶构筑物影响较大,其中方案四影响最大,但工程造价较低。

3 结 语

(1)建筑深基坑紧邻新建道路高边坡时,对建筑深基坑临时支护与紧邻道路高边坡永久支护方案采

用一体化设计优势明显。

(2)可采用 MIDAS GTS NX、理正岩土软件对位移、内力以及边坡整体稳定性进行验算,并从结构变形、施工难度、工程造价、对坡顶构筑物影响等方面进行不同方案的优缺点比选。

(3)提出了 4 种一体化支护方案,分别适用于不同的工况:若坡顶有重要构筑物不能破坏,且对变形有严格要求时可选择双排桩方案;若对变形要求不高时可选 2 排单桩方案;若坡顶无构筑物或可破坏后还建,且对变形要求高或地基土十分软弱时,可选直接开挖 +1 排单桩方案,也可选双排桩结合扶壁式挡墙方案;对变形要求不高而对工程造价控制严格时,可选择直接开挖 + 扶壁式挡墙方案。

参考文献:

- [1] 李俊锋.深基坑支护结构分析与应用研究[D].成都:西南交通大学,2015.
- [2] 李景龙,付效铎,李云杰,等.相邻建筑深基坑双层单排桩组合支护技术应用[J].天津建设科技,2023,33(1):46-49.
- [3] 魏海涛,孙兰宁.紧邻建筑土质滑坡治理工程设计与实践[J].岩土工程技术,2020,34(6):329-333.
- [4] 梁永辉.邻近建筑软基高填方支挡结构的优化设计[J].岩土工程学报,2013,35(2):697-701.
- [5] 徐开顺.土岩组合地质条件下某建筑深基坑边坡稳定性分析与变形预测研究[D].贵阳:贵州大学,2022.
- [6] 陈玉新,郭建辉,陈似华.预应力锚索桩板墙在高填方边坡中的失稳分析及加固研究[J].重庆建筑,2023(1):55-57.
- [7] 李钟顺,郭景琢,陈昊,等.顶部放坡及被动区加固对双排桩支护结构变形影响研究[C]//2022 年工业建筑学术交流会议论文集(中册).北京:工业建筑杂志社,2022:331-337.
- [8] 孔繁慧,徐群利,侯付闯.两种桩型治理滑坡的数值模拟比选研究[J].陕西水利,2022(9):88-90.
- [9] 成守泽.双排桩结合扶壁式挡墙结构在邻近建筑物支护中的应用[J].福建建设科技,2018(5):27-29.
- [10] 钟国辉.高填方区双排桩叠加扶壁式挡墙边坡支护技术[J].建筑监督检测与造价,2017,10(4):35-40.
- [11] 王大群,田阳辉.扶壁式挡墙变形加固处理设计[J].交通科技,2015(3):91-94.
- [12] 任庚.高扶壁式挡土墙设计及应用研究[D].北京:中国地质大学,2013.
- [13] 徐路.高层建筑深基坑土方开挖技术探讨[J].现代制造技术与装备,2022(4):127-129.
- [14] 孔令奇.深基坑开挖过程中的安全注意事项及应对措施[J].施工技术,2022(30):100-102.

《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