

流塑淤泥地层深基坑钢板桩围堰位移 突变原因分析及处理

杨 勇, 詹元林

(保利长大工程有限公司, 广东 广州 510620)

摘要:广东省珠海市洪鹤大桥主墩承台位于珠江西江流域的流塑状淤泥地层,采用钢板桩围堰进行基坑支护,基坑开挖过程中,钢板桩围堰发生较大的变形。经详细分析,发现导致事故的主要原因有地下水位持续升高导致土体力学性能显著下降、边跨侧钢板桩长度不足、基坑边缘集中荷载过大、施工控制不严、内支撑体系施工精度不足等。为了确保深基坑支护的安全,在全面分析总结了钢板桩围堰变形原因的基础上,结合实际情况,采取了增设穿透淤泥质土层的钢管桩围堰、加强内支撑体系等加固处理措施,并在实施过程中进行持续监测,最终安全地完成了基坑工程的施工。

关键词:深基坑;钢板桩围堰;位移突变;钢管桩;流塑状淤泥地层

中图分类号:U445.55⁺6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672—7428(2019)03—0069—06

Causes and treatment of displacement of the deep foundation pit sheet pile cofferdam in flow-plastic silt stratum

YANG Yong, ZHAN Yuanlin

(Poly Changda Engineering Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510620, China)

Abstract: The main pier cap of Zhuhai Honghe Bridge is located in the flow silt area of the Xijiang River Basin of the Pearl River, and the steel sheet pile cofferdam is used for the foundation pit support. During the excavation of the foundation pit, the steel sheet pile cofferdam was obviously deformed. After detailed analysis, it was found that the main causes for the accident were significant decrease in the mechanical properties of soil due to continuous rise of the groundwater level, insufficient length of the steel sheet pile in the side span, excessive concentrated load on the edge of the foundation pit, and insufficient construction accuracy of the support system. In order to ensure the safety of deep foundation pit support, the reinforcement measures for the steel sheet pile cofferdam were adopted in regard to the actual condition through comprehensive analysis of the causes for the deformation of the steel sheet pile cofferdam, including extension of the steel pipe pile cofferdam into the muddy soil layer, strengthening of the internal support system, which were continuous monitored during the construction process. Finally, the foundation pit construction was completed safely.

Key words: deep foundation pit; steel sheet pile cofferdam; displacement deformed; steel pipe pile; flow-plastic silt stratum

0 引言

随着国民经济的飞速发展,基础设施建设的规模也不断增大,深基坑工程也逐渐增多。由于深基坑工程技术复杂,安全影响因素多,在施工过程中发生了较多事故,造成了巨大的人员、财产损失,因此,

对基坑事故进行详细分析是非常必要的。广东省珠海市洪鹤大桥 3 号主墩承台位于珠江西江流域的流塑状淤泥地层,采用钢板桩围堰进行基坑支护,基坑开挖过程中,钢板桩围堰发生较大的变形。为了确保深基坑支护的安全,对钢板桩围堰变形的原因进

收稿日期:2019—09—09; **修回日期:**2020—02—27 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.03.012

作者简介:杨勇,男,汉族,1986 年生,高级工程师,主要从事公路桥梁施工技术与管理,广东省广州市番禺区大石街洛溪新城洛浦路 6 号,geavie@163.com。

引用格式:杨勇,詹元林.流塑淤泥地层深基坑钢板桩围堰位移突变原因分析及处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):69—74.

YANG Yong, ZHAN Yuanlin. Causes and treatment of displacement of the deep foundation pit sheet pile cofferdam in flow-plastic silt stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):69—74.

行了详细分析,并采取了加固处理措施,结合实际施工监测,最终安全地完成了基坑施工,相关经验可供后续类似工程借鉴。

1 工程概况

珠海市洪鹤大桥主航道桥为双塔双索面叠合梁斜拉桥,跨径布置为 $73+162+500+162+73=970$ m,其3号主墩位于防洪大堤的背水侧,承台距大堤背水侧护坡脚仅4.3 m。承台平面尺寸为 $43.0\text{ m}\times 17.0\text{ m}$,厚6.0 m,顶面高程为+3.5 m,承台下设置1.0 m厚的垫层,垫层底面高程为-3.5 m,基础采用20根 $\Phi 2.5\text{ m}$ 的钻孔灌注桩。承台沿高度方向分为2层浇筑,第一层(下层)浇筑高度为2.5 m,第二层(上层)浇筑高度为3.5 m。

洪鹤大桥位于珠江入海口西江流域,地貌单元属海陆交互相,地形平坦开阔,地面高程+0.2 m,地表原本为1.3~2.0 m厚的素填土或根植土;往下为流塑状淤泥、淤泥质粘土,层厚12.0~19.0 m,离防洪大堤越远,淤泥层越厚;再往下为粉质粘土至基岩。由于桥位附近渔港进行清淤疏浚、绞吸吹填施工,分阶段地将绞吸吹填的流态淤泥堆载在桥位

区域,桥梁基础施工前,已堆载了约1.0 m(标高+1.2 m)厚的淤泥,其最终堆载面标高约+3.0 m。

3号主墩位于防洪大堤防护范围内,承台距离防洪大堤较近,桥位处预计最终需堆载约2.8 m厚的流态淤泥。综合各方面因素及施工条件,最终3号主墩采用筑岛的方式形成施工场地,筑岛范围自承台边缘往外延伸80 m,顶面标高按+4.0 m控制。筑岛填料选用工程性能良好的砂性土或土石混合料,自大堤侧往外分层填筑、压实,以排挤3号主墩施工范围内的流态淤泥,变水域施工为陆地施工,同时达到对大堤背坡起到加固增强的作用^[1]。

3号主墩桩基础施工设置永久钢护筒穿透淤泥质粘土层,采用2台大型旋挖钻机成孔进行桩基础施工。承台基坑采用钢板桩围堰支护,经分析计算,选用拉森Ⅲ型钢板桩,围堰平面尺寸为 $46.6\text{ m}\times 21.6\text{ m}$,桩长21 m,顶标高为+4.3 m;围堰设置2道内支撑,内支撑标高分别为+4.0、+0.5 m,内支撑圈梁采用双拼HM588型钢,内撑采用 $\Phi 820\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 钢管。边开挖边安装支撑,承台基坑开挖总深度7.5 m。基坑开挖到位后,浇筑100 cm厚C25混凝土垫层。基坑布置如图1、图2所示。

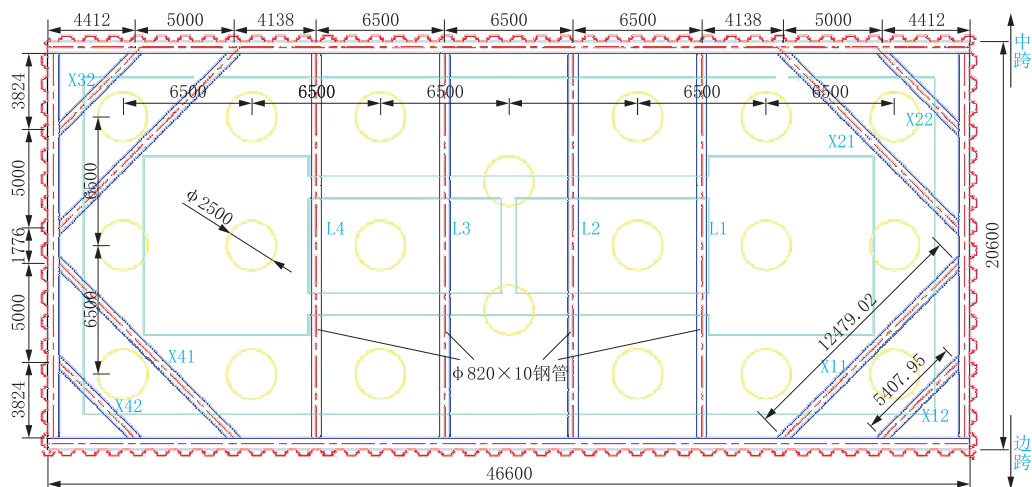


图1 3号主墩钢板桩围堰平面布置

Fig.1 Layout of the steel sheet pile cofferdam for No.3 main pier

2 钢板桩围堰施工及位移突变情况

桩基施工完成后,先用挖机挖出围堰范围内约1.0 m深的地表土层,在桩基钢护筒上焊接牛腿安装上层内支撑的圈梁及内撑,利用圈梁作为导向架,插打钢板桩。钢板桩插打完成,经检查并测量初始应力及位置后,基坑继续往下开挖,开挖土利用运土

车直接运走。

随着开挖深度的增加,内撑应力逐渐增加,钢板桩有向基坑内侧的位移。继续开挖至第一道内撑以下约2.5 m深度(标高约+1.5 m)时,边跨长边右侧钢板桩围堰突然出现明显内倾位移,经测量,突增位移量最大达到37 cm,累计达到41.4 cm,远远超过位移极限值10 cm;中跨侧钢板桩围堰及左侧钢

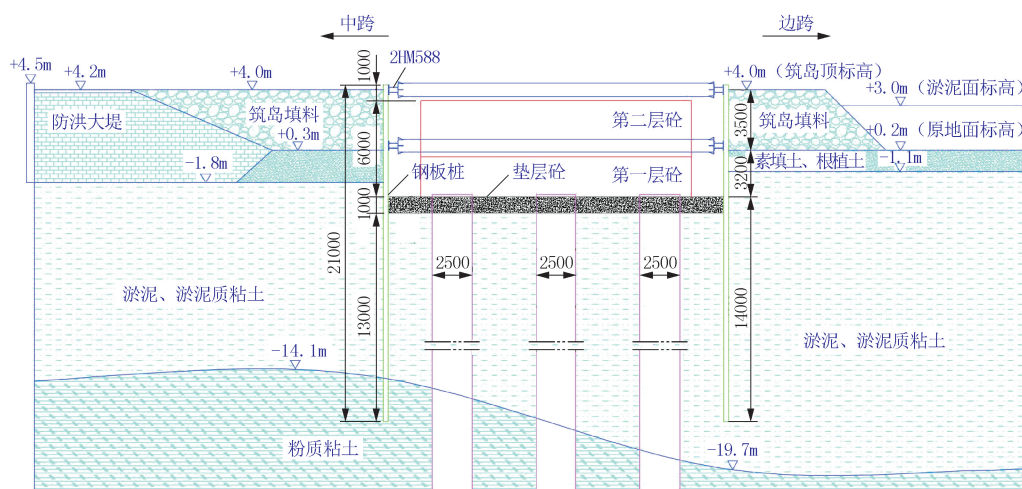


图 2 3 号主墩钢板桩围堰剖面布置

Fig.2 Cross-section of the steel sheet pile cofferdam for No.3 main pier

板桩无明显变化,位移增量仅 2 cm,累计位移 5.3 cm;基坑底未发现明显反涌或隆起现象。直撑 L1、L2 内撑变形失稳,斜撑 X11 钢管端部变形失稳,其他内撑无明显变化。直撑 L1、L2 及斜撑 X11 应力迅速减小,L1 应力由 72.4 MPa 减小为 6.8 MPa,L2 应力由 76.5 MPa 减小为 18.1 MPa,X11 应力由 66.7 MPa 减小为 35.8 MPa;L3、L4 应力则明显增大,L3 应力由 69.6 MPa 增大到 97.3 MPa,L4 应力由 65.8 MPa 增加到 88.5 MPa,其他内支撑应力变化不大。

观察基坑外侧场地,边跨侧距钢板桩围堰约 3 m 范围,地面下沉最大约 20 cm,3~7 m 范围地面有明显裂缝,裂缝平行钢板桩围堰方向,最大宽度 2.5 cm。

3 原因分析

针对钢板桩围堰发生的位移突变、内支撑变形失稳事故,根据现场实际情况及周边环境变化情况,综合分析其原因如下:

(1)桥梁基坑施工期间,附近渔港吹填清淤施工,导致桥梁筑岛外沿的水位持续升高,经实际测量,钢板桩围堰发生位移突变时,筑岛外沿水位已升高到 +3.5 m。由于筑岛填料为粘土、石混合料和石粉等强透水性材料,填筑时间短,压实程度不足,土体未完全固结稳定,空隙较大。筑岛外沿水可通过填料间的空隙渗透至基坑范围,使得基坑范围的土体中水位同步升高,加之基坑开挖期间连日降雨,使其土体接近饱和。当基坑开挖时,基坑内的水位

随着开挖的深入而被强排,水位同步下降,而围堰外侧的水位则因钢板桩围堰的隔水作用,以及外界水的不断补充,始终保持在较高水位,这样使得基坑内外水头差越来越大。该水头差使基坑外的高水头有向下的渗流趋势,基坑内的低水头有向上的渗流趋势,基坑外向下的渗透力增加了钢板桩围堰所受的主动土压力,基坑内向上的渗透力减小了桩前土体提供的被动土压力,使基坑内外逐渐积累了一定的能量差,而此过程中水力坡降并未达到流土破坏的临界坡降,从而导致钢板桩不断向内变形位移来释放水头差势能^[2]。

(2)在桥位处取筑岛以下原状土(淤泥质土)进行不同含水率条件下的直接快剪试验,土体强度与含水率的关系如图 3。由试验结果可知,当土体含水率为 45% 时,其内摩擦角为 4.7°,粘聚力为 8 kPa;当土体含水率为 60% 时,其内摩擦角为 2.7°,粘聚力为 5 kPa;当土体含水率为 80% 时,其内摩擦

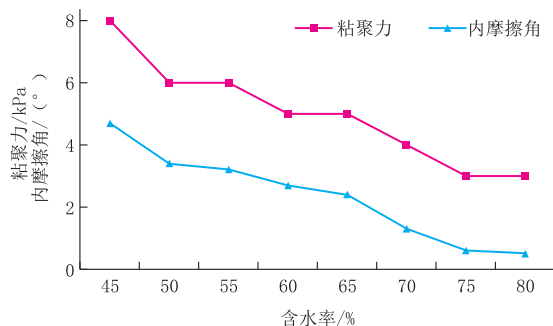


图 3 桥位处土体强度与含水率关系

Fig.3 Relationship between the strength and moisture content of soil at bridge site

角为 0.5° , 粘聚力为 3 kPa。说明桥位处原状淤泥、淤泥质粘土对含水率较为敏感。含水率越大, 土体强度越低, 当土体含水率 $>80\%$ 时, 土体基本趋于流塑状态, 被动土压力与主动土压力趋于相等。而基坑范围土体实测含水率值已达到 81.9%, 因此当基坑开挖出现内外土体高差时, 基坑内侧的被动土压力无法抵抗外侧主动土压力^[3], 导致钢板桩围堰不断向基坑内侧水平变形^[4]。

(3) 图 2 可看出, 边跨侧钢板桩围堰打设深度不足, 钢板桩未穿透淤泥、淤泥质粘土层, 桩端未嵌入粉质粘土层。由于淤泥、淤泥质粘土层土体工程性能差, 不能有效地嵌固钢板桩入土端, 当基坑内外侧土压力相差较大时, 易导致钢板桩围堰向基坑内变形, 甚至发生整体失稳^[5]。

(4) 由于施工场地限制, 基坑开挖过程中, 3 辆载质量 40 t 的翻斗车将开挖的土运出施工现场堆放, 装车时, 翻斗车即停在距离钢板桩围堰约 3 m 远的位置, 当车装满土时, 总质量约 60 t, 远远超出了设计要求的 20 kPa 地面荷载的限制要求^[6-8]。

(5) 当钢板桩向基坑内发生位移时, 对圈梁会产生向上的扭矩, 因钢板桩与圈梁、圈梁与内支撑属刚性连接, 且内支撑系统的平面外刚度较小, 加之杆件局部焊缝质量缺陷、个别轴线偏差等因素^[9], 导致内支撑发生失稳的情况。一旦内支撑失稳, 钢板桩的变形随之增大。

综上所述, 由于筑岛外围水位的持续升高及连日的降雨, 导致基坑范围土体中水位升高, 随着基坑

开挖的深入, 基坑内外的水力差逐渐增大并不断挤压钢板桩围堰。土体的抗剪强度、内摩阻力等力学指标随着含水量的增加而显著下降, 导致基坑内外的不平衡力逐渐增大。同时, 钢板桩设计深度不足, 未穿透淤泥质土层, 钢板桩围堰易发生整体失稳。加之基坑施工时间较长, 施工过程中基坑边缘集中荷载过大, 拉森Ⅲ型钢板桩围堰自身刚度偏小, 内支撑体系施工质量不足等原因, 导致钢板桩围堰发生位移突变、内支撑变形失稳等事故。

4 处理措施

为防止基坑变形进一步加大, 现场立即停止基坑内开挖, 降低基坑外侧 5 m 范围内的地面标高, 并将基坑外开挖的土回填至基坑内侧, 以尽量减小基坑内外土压力差^[10], 阻止钢板桩围堰继续向基坑内位移变形, 并持续监测位移变化情况。

待钢板桩位移基本趋于稳定后, 复测基坑的实际尺寸。经测量并结合边跨侧钢板桩变形情况, 基坑大小仍能满足承台施工需求。为了尽量减小钢板桩位移突变事故对施工的影响, 拟对钢板桩围堰进行加固处理, 具体如下:

(1) 在边跨及右侧钢板桩围堰外 1.5 m 位置增加一排 $\phi 820 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 钢管形成管桩围堰, 钢管连续布置, 单根钢管桩长度 26 m, 确保钢管桩端部嵌入粉质粘土层深度 $<2 \text{ m}$, 顶部通过横向内撑与原有的钢板桩对撑, 形成双层支护结构^[11-13], 如图 4 所示。

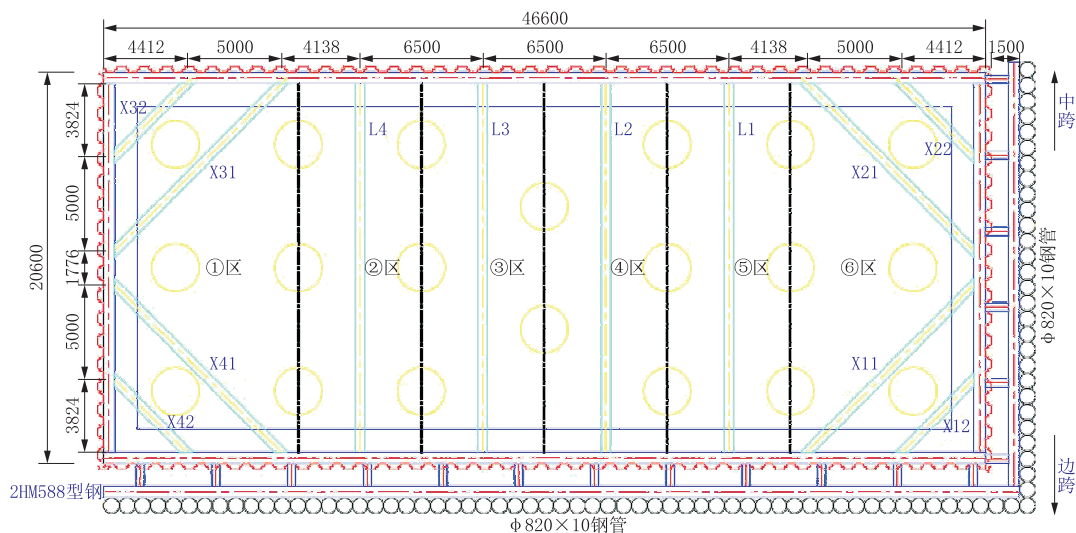


图 4 钢板桩围堰加固平面布置

Fig.4 Layout of reinforcement of the steel sheet pile cofferdam

参照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)中排桩支护设计方法^[14],对钢管桩围堰的抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性以及钢管桩的强度进行验算,计算时不考虑原钢板桩围堰的支护作用以及对新增钢管桩稳定性的增强作用,仅作为内支撑传递荷载的结构。计算结果显示,钢管桩入土深度满足要求,其抗倾覆稳定性、抗滑移稳定性以及钢管桩的强度均满足规范要求,计算结果较为常规且过于冗长,在此不多赘述。

(2)逐根更换直撑 L1、L2 及斜撑 X11 钢管,更换时先在拟更换内撑管旁边临时加一根同直径的内撑,再将变形的内撑拆除并替换,待替换好后再移除临时增加的内撑。

(3)在原钢板桩围堰内增加 1 道内支撑,即由 2 道内支撑变为 3 道,内支撑的安装标高调整为+4.0、+1.0、-1.5 m,竖向相邻层的内支撑钢管间设置型钢竖向联系,形成立体结构,增加内支撑体系平面外刚度^[15]。现场开挖顺序按照:第一道内支撑→基坑第一轮开挖→第二道内支撑→基坑第二轮开挖→第三道内支撑→基坑第三轮开挖→基坑设计深度→浇筑垫层混凝土。在基坑第三轮开挖时,为了安全起见,将基坑划分为 6 个区域,分区域开挖,每个区域开挖到位后及时浇筑垫层,最终形成整体。为了确保相邻区域垫层的连接,在垫层之间设置传力钢筋,传力钢筋直径为 16 mm,间距 30 cm。同时在垫层混凝土范围的钢护筒上均布焊接 8 个 I 25a 工字钢“牛腿”,“牛腿”长度 50 cm,以增强垫层混凝土与桩基钢护筒之间的粘结,防止基坑隆起导致垫层混凝土上浮。

(4)基坑开挖过程中,将开挖的土及时运出施工现场,装车时,运土车停放在距离钢板桩围堰 10 m 以外的位置,避免施工荷载对基坑的扰动。

(5)基坑开挖过程中,对钢板桩围堰的位移及内支撑钢管的应力进行持续监测,用于指导实际施工。

5 处理效果

在对基坑围堰加固处理过程中,对钢板桩围堰的位移及内支撑钢管的应力进行持续监测。在基坑开挖过程,钢板桩围堰仍有向内的位移,但位移缓慢,整个加固施工中,边跨侧钢板桩围堰位移增加 9.7 cm,中跨侧增加了 8.9 cm,与理论分析的位移量基本吻合。

内撑钢管的应力变化如下:基坑第一轮开挖时,第一道内支撑的应力明显增大,在第二道内支撑安装完达到最大 127.6 MPa;基坑第二轮开挖时,第二道内支撑的应力迅速增大,在安装第三道内支撑时达到最大值 97.3 MPa,而第一道内支撑应力反而减小;第三轮开挖时,对应开挖区域的第三道内支撑应力增加,最大达到 74.7 MPa,但在该区域垫层混凝土浇筑后稳定,第二道内支撑应力略有增大,第一道则基本无变化。

通过监测结果可知,加固处理过程中,围堰的位移及内支撑应力变化基本符合理论预期,基坑安全施工到位,并进行后续的桥梁承台施工。

6 结语

珠海市洪鹤大桥 3 号主墩承台基坑在施工过程中发生围堰位移超限突变事故,通过对事故原因的详细分析,并结合实际情况,对基坑围堰采取了增设穿透淤泥地层的钢管桩围堰、加强内支撑体系等加固措施,并加强施工现场管理,在加固处理过程中,围堰的位移及内支撑应力变化情况基本符合理论分析,最终安全的完成了基坑施工。

基坑工程是一门系统科学,其技术复杂,安全影响因素多^[16]。在基坑支护的设计过程中,应充分调查实际地质情况、水文条件,并充分考虑基坑施工季节的天气情况,采取合理有效的技术措施;在基坑施工组织上,应加强基坑支护措施的质量控制,加强现场管理,认真做好基坑支护体系的监测,确保基坑工程的安全。

参考文献(References):

- [1] 杨勇,詹元林,刘永杰,等.大型桥梁基础施工对堤防稳定性的影响分析[J].路基工程,2019(3):130—134.
YANG Yong, ZHAN Yuanlin, LIU Yongjie, et al. Effect analysis of large-scale bridge foundation construction on levee stability[J]. Subgrade Engineering, 2019(3):130—134.
- [2] 李广信,周晓杰.土的渗透破坏及其工程问题[J].工程勘察,2004(5):10—13,52.
LI Guangxin, ZHOU Xiaojie. Seepage failure of soil and its problems in engineering[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2004(5):10—13,52.
- [3] 王琛,秦艳,刘洪啟,等.某基坑垮塌分析与处理[J].施工技术,2019,48(7):18—20.
WANG Chen, QIN Yan, LIU Hongqi, et al. Analysis and treatment on a foundation excavation collapse[J]. Construction Technology, 2019,48(7):18—20.
- [4] 王亮.土体力学参数对深基坑变形性状的影响研究[J].施工技

- 术, 2018, 47(S1): 67—69.
- WANG Liang. Effect of the soil mechanical parameters on deformation behavior in deep foundation excavation [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 67—69.
- [5] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- JGJ 120—2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [6] 李芬, 于建立. 施工扰动荷载对基坑支护结构的影响研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(1): 26—30.
- LI Fen, YU Jianli. Research on the influence of construction disturbing loads on supporting structure of foundation pit [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2019, 43(1): 26—30.
- [7] 陈志辉. 深基坑边坡位移突变的原因分析及控制措施[J]. 西部探矿工程, 2008, 20(10): 28—30.
- CHEN Zhihui. Analysis and control measures for abrupt displacement of the deep foundation pit slope [J]. West-China Exploration Engineering, 2008, 20(10): 28—30.
- [8] 苏铁志, 马世敏, 吴敏. 深基坑边坡位移突变原因及处理措施分析[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(2): 88—91.
- SU Tiezhi, MA Shimin, WU Min. Deep foundation pit slope displacement mutation causes and treatment measures reliability analysis [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2018, 32(2): 88—91.
- [9] 张彬. 钢板桩与支撑体系间空隙大小对围堰系统内力变形影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- ZHANG Bin. Effect of the clearance between the steel sheet pile and the support system on the internal force and deformation in the cofferdam system [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [10] 耿晔宽, 高芬芬, 周成君. 深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(6): 313—316.
- GENG Yekuan, GAO Fenfen, ZHOU Chengjun. The research of large deformation mechanism and control counter-measures of excavation under deep soft soil area [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2018, 32(6): 313—316.
- [11] 李光宏. 复杂环境基坑支护方案的综合设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(9): 80—83.
- LI Guanghong. Comprehensive design of foundation pit support scheme in complex environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9): 80—83.
- [12] 董建忠, 黄飞. 复杂环境条件下深基坑支护方案设计研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(12): 34—38.
- DONG Jianzhong, HUANG Fei. Study on the design of deep foundation pit supporting scheme in complicated environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(12): 34—38.
- [13] 黄世华, 李元志, 陈墨. 多种支护型式联合应用在深基坑支护工程中[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 429—432.
- HUANG Shihua, LI Yuanzhi, CHEN Mo. Application of multi-supports in deep foundation pit excavation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36(S1): 429—432.
- [14] 彭常青, 贺金仁, 林日练. 软土地基上钢管桩围堰的基础理论研究[J]. 水运工程, 2015, 40(6): 152—155.
- PENG Changqing, HE Jinren, LIN Rilian. Basic theory of steel pile cofferdam on soft clay foundation [J]. Port & Waterway Engineering, 2015, 40(6): 152—155.
- [15] 潘泓, 曹洪, 尹一鸣. 广州猎德大桥钢板桩围堰的设计与监测[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(11): 2242—2248.
- PAN Hong, CAO Hong, YIN Yiming. Design and monitoring of steel sheet pile cofferdams of Liede Bridge in Guangzhou [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(11): 2242—2248.
- [16] 任俊. 对若干基坑事故的分析与探讨[D]. 荆州: 长江大学, 2012.
- REN Jun. Discussion on foundation pit accidents [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012.

(编辑 周红军)

(上接第 68 页)

- [13] 孙延贺, 郭少华. 探讨深基坑工程桩锚支护的应用[J]. 河南建材, 2019(5): 46—47.
- SUN Yanhe, GUO Shaohua. Application of pile anchor support in deep foundation pit works [J]. Henan Building Materials, 2019(5): 46—47.
- [14] 单宝学, 倪晓荣, 李哲琳. 北京地区深基坑桩锚支护结构协同变形分析研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(20): 3—5.
- SHAN Baoxue, NI Xiaorong, LI Zhelin. The interaction deformation research on pile-anchor supporting structure of deep foundation pits in Beijing area [J]. Shanxi Architecture, 2019, 45(20): 3—5.
- [15] GB 50021—2001, 岩土工程勘察规范(2009 版)[S].
- GB 50021—2001, Code for investigation of geotechnical engineering (2009 edition) [S].
- [16] JGJ/T 87—2012, 建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].
- JGJ/T 87—2012, Technical specification for engineering geological prospecting and sampling of constructions [S].
- [17] DBJ 11—501—2009, 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S].
- DBJ 11—501—2009, Code for geotechnical investigation and design of building foundations in Beijing area [S].
- [18] JGJ 106—2014, 建筑基桩检测技术规范[S].
- JGJ 106—2014, Technical code for testing of building foundation piles [S].

(编辑 周红军)