

广州周大福金融中心基坑支护设计与监测分析

江毅¹, 陈百曦²

(1 华南理工大学建筑设计研究院有限公司, 广州 510641;

2 华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

[摘要] 目前广州周大福金融中心为广州第一高楼,其基坑范围广、深度大,且周边环境复杂,根据分段施工的要求,分为4个相对独立的基坑进行开挖。根据地质情况、周边环境、支撑条件的不同,采用了内撑、土钉墙、桩锚等支护方案。采用理正深基坑设计软件进行了计算分析,同时依据有关规范制定了基坑监测方案,对监测结果进行了整理,并与理论计算值进行对比分析,结果表明本基坑支护合理、可行;此外,对基坑开挖过程中地铁隧道的变形进行监测,监测结果表明,基坑的施工不影响地铁运营与隧道安全。

[关键词] 广州周大福金融中心;深基坑;支护结构设计;基坑监测;地铁隧道变形

中图分类号: TU973+.35 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2019)20-0104-07

Retaining and protection structural design and monitoring for foundation pit of Guangzhou CTF Finance Centre

Jiang Yi¹, Chen Baixi²

(1 Architectural Design & Research Institute of SCUT Co., Ltd., Guangzhou 510641, China;

2 School of Civil Engineering & Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Guangzhou Chow Tai Fook (CTF) Financial Centre is the tallest building in Guangzhou, China. Its foundation pits are deep and have the large scope, and the surroundings around the foundation pit are complicated. Based on the requirements of the section construction, the foundation pits were divided into four individual parts to excavate. According to the difference of geological conditions, surroundings conditions and supporting conditions, different retaining and protection structures, such as strutted retaining structure, soil nailing wall and composite soil nailing wall, were applied. Lizheng deep excavations design software was used to conduct theoretical calculation and analysis. Meanwhile, the foundation pit monitoring scheme was determined by related standards. The monitoring results were analyzed and compared with theoretical results. Results show that the retaining and protection methods are reasonable. Besides, the deformation of the subway tunnel was also monitored. Monitoring results show that the construction of foundation pit does not affect the subway operation and tunnel safety.

Keywords: Guangzhou CTF Finance Centre; deep foundation pit; retaining and protection structural design; foundation pit monitoring; deformation of subway tunnel

1 工程概况

广州周大福金融中心位于广州市珠江新城珠江东路东侧 J2-1、J2-3 地块,建筑总高度为 530m,地上 111 层,地下 5 层,裙楼高 60m,主要为办公楼、酒店式公寓及超五星级酒店。广州周大福金融中心基坑北边长约 86m,南边长约 142m,南北向长约 193m,占地面积约 2.2 万 m^2 ,基坑底周长约 600m。大部分区域基坑底标高为 -28.30m、基坑顶标高为 -1.70m,开挖深度为 26.60m;部分区域基坑底高达 -33.3m、基坑顶标高为 -1.70m,开挖深度达 31.6m;基坑安全等级为一级。

根据项目建造计划,基坑开挖分为 4 个施工段。场地西侧中段为主塔楼范围,为一期基坑,先行支护和开挖;其他范围为二期基坑,分 A、B、C 三个区依

次支护和开挖,如图 1 所示。基坑北侧为花城大道,花城大道下方为地下空间及地铁五号线(运营中);南侧为花城南路,花城南路对面为广州市图书馆,相距基坑南侧 21m;西侧为珠江东路,珠江东路下方为地下空间(运营中);东侧为规划路,且东侧临近 J2-2 地块项目和 J2-5 地块项目(施工中)。

2 地质条件

2.1 岩土层构成及工程特性

据钻探资料,场区内覆盖层自上而下依次为人工填土层(Q_4^{ml})、冲积层(Q_4^{al})、残积层(Q^{el}),白垩系大塍山组黄花岗段沉积岩(K_2^{d2}),其岩土物理力学指标见表 1,现分述如下:

作者简介:江毅,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师,Email: jiangyi@scut.edu.cn。

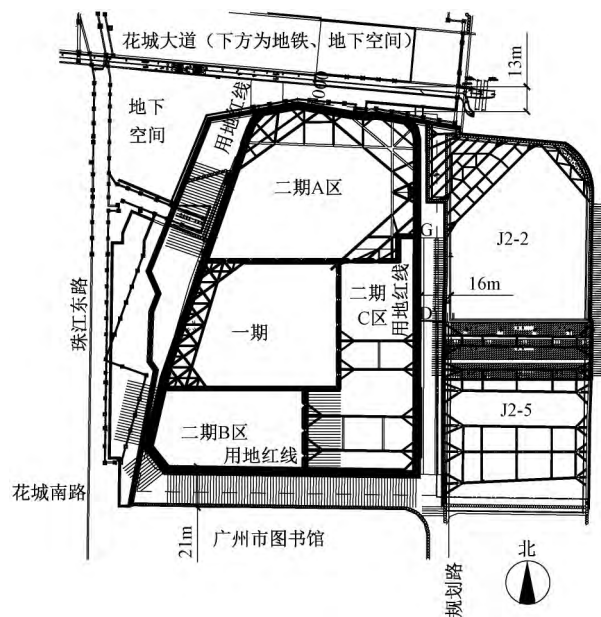


图 1 基坑平面及分区

岩土物理力学指标 表 1

土(岩)层编号	土(岩)层名称	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$
①	杂填土	10	10	18
② ₁	淤泥质土	10	4	17
② ₂	粉质黏土	25	15	19
② ₃	中粗砂	0	33	18.5
② ₄	淤泥质土	10	5	17
③	粉质黏土	25	15	19
④ ₁	全风化岩	40	20	20
④ ₂	强风化岩	100	25	21
④ ₃	中风化岩	500	28	23
④ ₄	微风化岩	800	30	24

(1) 人工填土层(Q_4^{ml}): ①杂填土,层厚 1.30~4.80m,由黏性土、混凝土碎块等堆填而成,为新近填土。

(2) 冲积层(Q_4^{al}): 该层可分为 4 个亚层: ②₁淤泥质土,层厚 0.80~2.10m,呈透镜体状分布和流塑性; ②₂粉质黏土,层厚 0.80~7.30m,局部呈花斑状,可塑为主,黏性较好,土质不均匀; ②₃中粗砂,层厚 0.60~5.30m,呈透镜体状分布,砂质成分以石英为主; ②₄淤泥质土,层厚 0.55~1.49m,呈透镜体状分布和流塑性。

(3) 残积层(Q_4^{el}): ③粉质黏土,层厚 0.65~5.60m,在场地断续分布,湿水后易软化。

(4) 白垩系大塍山组黄花岗段沉积岩(K_2^{d2}): 该层可分为 4 个亚层: ④₁全风化岩,层厚 0.60~4.60m,在场地分布不连续,主要为粉砂质泥岩,风化剧烈; ④₂强风化岩,层厚 0.50~15.00m,在场地分布不连续,主要为粉砂质泥岩,风化不均匀; ④₃中风化岩,层厚 0.40~11.40m,在场地分布普遍,主

要为粉砂质泥岩,风化明显; ④₄微风化岩,揭露厚度 0.60~19.30m,主要为粉砂质泥岩,裂隙不发育,岩石较完整。

2.2 地下水

场区内地下水为第四系孔隙承压水和基岩裂隙水。第四系素填土、粉质黏土及淤泥质土为相对隔水层,砂层为主要含水层,厚度较小,分布不广,根据室内试验结果,场地中粗砂中含较多黏粒,局部为粉细砂,透水性及赋水性较差,属中等透水性地层。中风化岩层地下水水头较高,透水性较弱,该层水量不丰富。

勘察期间测得地下水混合水位埋深为 0.40~2.40m,标高为-5.87~-7.98m,主要靠大气降雨补给,水位受季节影响而变化,降雨是地下水变动的主要原因。

3 基坑支护设计及分析

综合考虑周边环境保护的要求、场地条件及工程地质条件,基坑支护结构采用多种支护结构形式,并考虑施工顺序的因素,充分利用先完成主体结构作为后支护结构的支撑作用。

3.1 施工顺序

根据施工进度安排,项目主塔楼最先施工,一期基坑进行开挖并完成主塔楼地下室结构施工区;二期 A 区、B 区基坑在一期地下室结构完成后进行施工,其中 A 区基坑南侧、B 区基坑北侧与主塔楼地下室结构相连,无须支护;二期 C 区基坑在 A 区与 B 区地下室结构完成后进行施工,其中 C 区基坑西侧及北侧与已完成地下室结构相连,无须支护,西侧支护还将作为东侧支撑支护的支撑点。基坑按一期基坑、二期 A 区、二期 B 区、二期 C 区的顺序依次施工。

3.2 支护结构选型

基坑支护结构平面如图 1 所示,各区段支护结构形式如表 2 以及图 2~7 所示。考虑地块四周的复杂地形,针对地块西侧的地下空间,一期基坑西侧采用搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+桁架内撑的混合支护形式,其中地下空间埋深以下部分采用预应力锚索,地下空间部分由于预应力锚索无法穿透,因此采用桁架内撑(图 3);二期 B 区基坑南侧与广州市图书馆有一定距离,因此采用桩锚,并控制锚索最大长度(图 4);二期 C 区东侧邻近 J2-2 与 J2-5 施工地块,采用预应力锚索会破坏相邻地块的基坑支护,因此只能采用桁架内支撑+止水帷幕的形式,并依赖相邻基坑已有的支护措施(图 5)。二期 A 区北侧紧邻地铁五号线,因此采用双管旋喷桩止水帷幕+人工挖孔桩+桁架内撑的支护形式(图 6)。

各区段支护结构形式 表 2

分期	分区	剖面	位置	支护形式
一期	—	1-A-A	南侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+土钉墙
		1-B-B	东侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+土钉墙
		1-C-C	北侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+土钉墙
		1-D-D	西侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+桁架内撑
二期	A 区	2-C-C	北侧	双管旋喷桩止水帷幕+人工挖孔桩+桁架内撑
		2-B-B	东、东南、西北侧	搅拌桩止水帷幕+旋挖桩+桁架内撑
		2-D-D	西侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索
	B 区	2-A-A	南、东、西侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+土钉墙
		2-A1-A1	南侧	搅拌桩止水帷幕+人工挖孔桩+预应力锚索+土钉墙
	C 区	2-B1-B1	东侧	双管旋喷桩止水帷幕+对撑

3.3 理论分析

本项目采用理正深基坑设计软件,依据相关规范^[6-8]对各个剖面进行了理论分析。各剖面的安全度与变形如表 3 所示。计算结果显示,支护结构的安全度和变形均满足规范要求。

4 基坑监测

本项目依据相关规范^[6-8]制定了监测方案,对基坑从开挖到回填整个过程的内力及变形进行了监测。根据支护结构的实际受力及变形适时调整基坑设计,以确保了基坑开挖施工过程的安全。

4.1 监测内容

监测的内容包括:支护桩侧移,支护结构的顶部水平位移,基坑周边 40m 范围内的地面沉降,地下

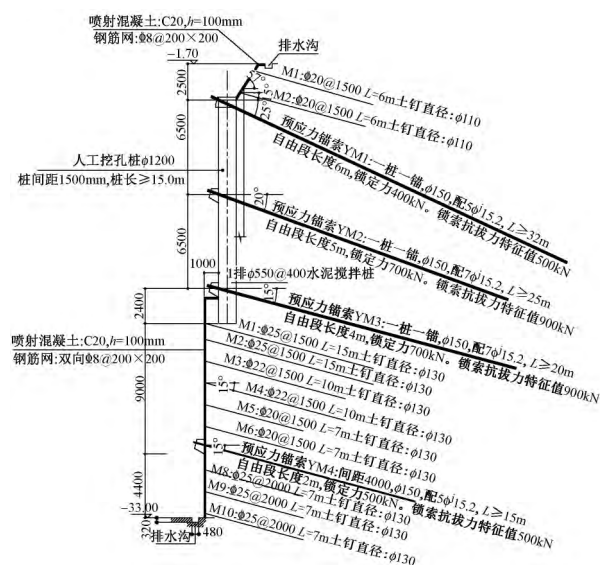


图 2 1-B-B 剖面

各剖面支护结构的安全度与变形 表 3

剖面编号	安全系数	最终水平位移/mm	最大水平位移深度/m	最大沉降/mm
1-A-A	2.333	2.66	10.0	-14/-21/-11
1-B-B	2.302	8.65	11.0	6/9/5
1-C-C	2.556	1.82	2.5	-10/-16/-8
1-D-D	3.567	5.61	2.5	-12/-17/-10
2-A-A 2-A1-A1	1.526	10.18	8.0	14/22/11
2-B-B	1.316	18.57	8.0	39/59/28
2-C-C	1.589	25.70	9.0	38/56/28
2-D-D	1.263	18.42	5.0	22/33/14

注:最大沉降-14/-21/-11 分别为三角形法/指数法/抛物线法的计算值,依次类推;沉降向下为正,水平位移移向基坑内为正。

水位、锚索、桁架内支撑的内力。一期基坑和二期基坑的部分监测点位置示意图如图 8 与图 9 所示。监测时间间隔为 3d,对于变形过大的部位加密监测时间间隔。

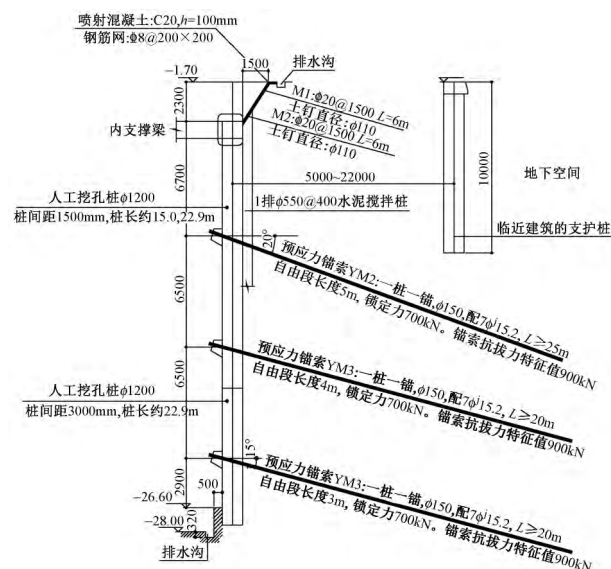


图 3 1-D-D 剖面

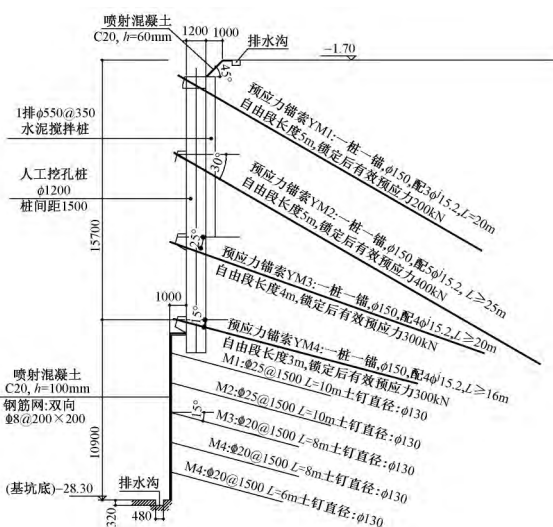


图 4 2-A-A 2-A1-A1 剖面

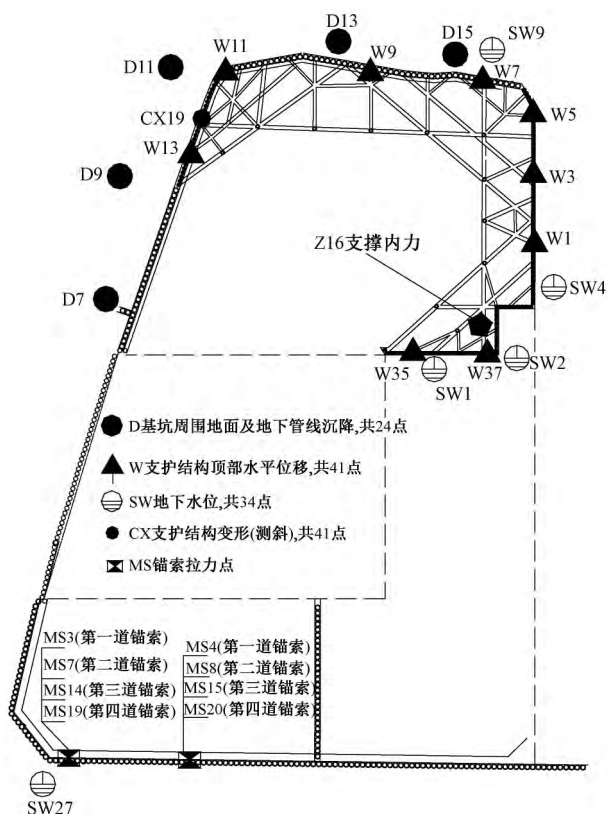


图9 二期基坑部分监测点布置示意图

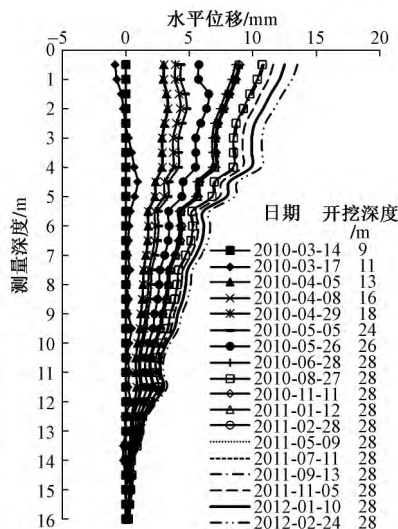
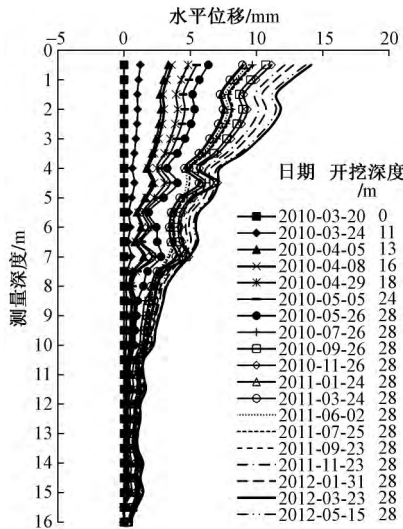
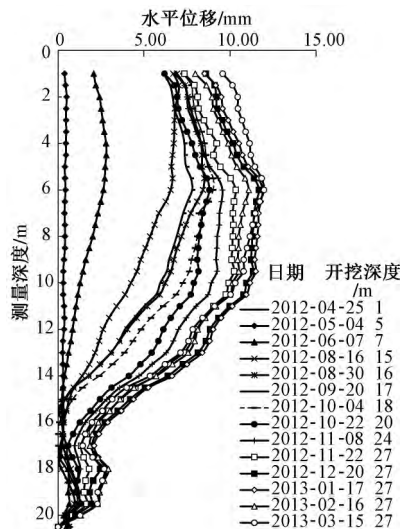
于1-B-B, 1-D-D剖面的, 后两者通过对锚索施加较大的预应力产生补偿性的反向变形, 减少了支护桩上部的侧移, 而2-B-B剖面除了桩本身的变形外还要叠加内撑的弹性变形, 故最大变形出现在桩上部处。2-B-B剖面支护桩侧移同样随着时间不断增加, 沿测量深度先增大, 在测量深度为6~10m的位置达到最大值, 然后趋于平稳, 在测量深度为9m后缓慢下降, 到20m处进入岩层, 桩体基本没有侧移,

如图12所示。侧移最大值约为12mm, 小于警报值40mm和计算分析结果18.57mm, 说明基坑设计有较大安全度。同时计算的最大位移点和实际最大位移接近, 均在深度6~10m之间。

选取一期和二期基坑顶部部分水平位移测点绘制位移随开挖时间的变化曲线, 如图13与图14所示。各测点水平位移随着时间增加整体均呈现先增加后稳定在一定范围内的趋势。除一期基坑南面中部WY3测点水平位移最终在20~25mm之间以外, 其余各测点水平位移均分布在15mm以内, 均未超过警报值30mm, 水平位移得到了很好的控制。经分析, WY3测点变形偏大的原因可能是该处土体有一定数量的裂隙。

选取二期基坑A区、B区周围地面部分典型沉降观测点沉降数据绘制沉降随开挖时间的变化曲线, 如图15所示。可见, 二期基坑A区、B区开挖初期, 基坑周围地面沉降随着基坑的开挖逐渐增加, 在基坑开挖350d(此时基坑开挖基本完成, 开始底板浇筑与地下室施工)后, 基坑周围地面沉降趋于稳定。二期A区与B区各测点沉降最终稳定在5~6.5mm之间, 小于理论计算结果11~28mm, 并且各区域沉降均未超过警报值20mm, 对周围建筑物及地铁并无严重的不良影响。

选取一期、二期基坑典型水位监测点绘制水位深度随开挖时间的变化曲线, 如图16与图17所示。一期基坑在开挖初期地下水位上升较为明显, 且波动较大, 这是因为一期基坑土质含砂较高, 渗透性较高, 受季节影响明显, 开挖初期处于雨季, 导致水位明显波动。随着基坑的开挖与地下室施工, 一期基

图10 剖面1-B-B 支护桩侧移
(孔号 CX8)图11 剖面1-D-D 支护桩侧移
(孔号 CX19)图12 剖面2-B-B 支护
桩体侧移

坑周围水位也逐渐下降。二期基坑与一期基坑相比土质渗透性较差,四周紧邻已建或在建工程,受季节影响较小,开挖到岩层后水位基本处于稳定状态,局部由于季节与土体渗透性原因有些许波动。整体来说各段水位下降的累积变化值均控制在 1.1m 以内,未超过警报值 2m。

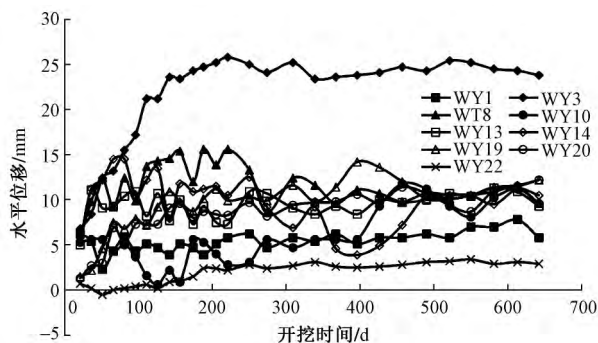


图 13 一期基坑顶部部分测点水平位移随时间变化曲线

一期与二期基坑支护的锚索内力变化趋势相近,因此以二期 B 区部分锚索拉力测点为例,绘制锚索拉力随开挖时间的变化曲线,如图 18 所示。剔除个别异常数据,各锚索轴力随着开挖时间整体均呈现缓慢上升或者保持稳定的趋势,且最大值均未超过各自警报值中的最小值 400kN,说明基坑周围地层良好,深部土体变形较小,应力变化不大,支护结构受力合理,与预期基本一致。

取二期 A 区每道支撑典型杆件的测点 Z16 观

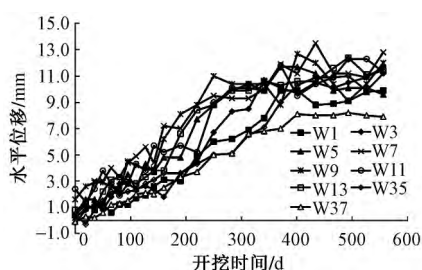


图 14 二期基坑顶部部分测点水平位移随时间变化曲线

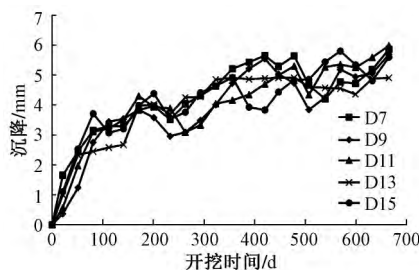


图 15 二期基坑周围地面沉降随开挖时间变化曲线

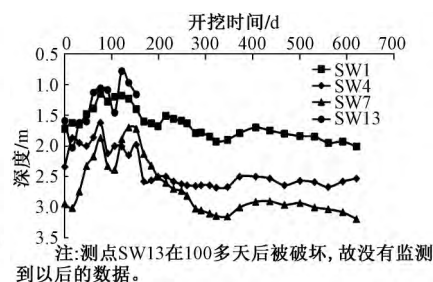


图 16 一期基坑水位深度随开挖时间的变化曲线

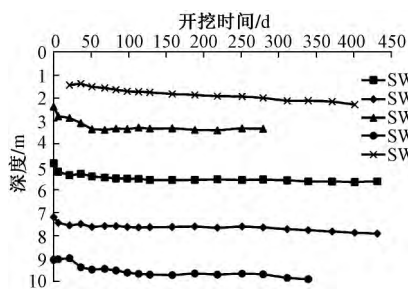


图 17 二期基坑水位深度随开挖时间的变化曲线

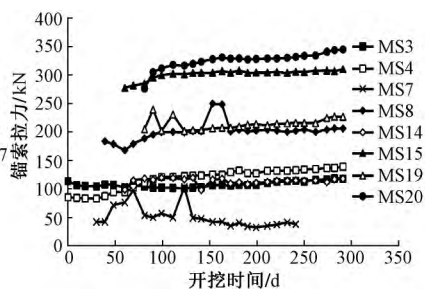


图 18 锚索拉力随开挖时间的变化曲线

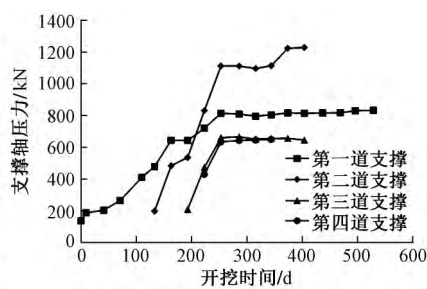


图 19 典型杆件轴力随开挖时间的变化曲线

察剖面 2-B-B 的支撑轴压力随开挖时间的变化曲线如图 19 所示。在初期开挖时各道支撑轴压力随着时间增加逐步增加,开挖到基坑底部后各道支撑的轴压力趋于稳定。随着支撑的深度增加,支撑所受到的土压力增大,从而导致支撑内力增加,因此第二道支撑所受到轴压大于第一道支撑所受到轴压。但是当基坑开挖到岩层后,土质较好,土压力反而不大,这导致处于岩层的支撑所受到的向内的挤压力较小且基本相同,因此位于岩层的第三和第四道支撑轴压力相近且均小于前两道支撑。此外各道支撑受力合理,所受轴压与预期基本一致,且均小于警报值(第一、第四道支撑警报值为 1 000kN,第二、第三道支撑警报值为 1 500kN)。

5 地铁安全性评估及监测

本项目二期基坑北侧紧邻正在运营的地铁五号线,为确保地铁隧道结构安全和地铁正常运行,对基坑开挖整个过程中邻近地铁结构的变形进行了监测,设置了 5 个监测断面,如图 20 所示,每个断面设置了 5 个监测点进行监测。根据支护结构的实际变形适时调整基坑设计,确保基坑开挖施工过程的安全。部分的典型测点水平变形随时间的变化曲线如图 21 所示。剔除个别异常数据,可以看出,随着基坑开挖的进行,变形缓慢增加,最大累积变形均小于 2.5mm,未超过警报值 10mm,不影响地铁运营与隧道结构安全。

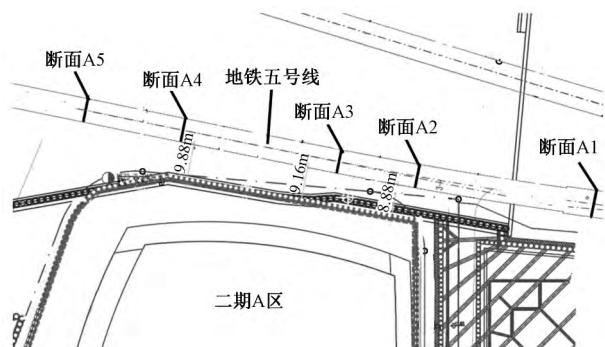


图20 地铁隧道监测断面布置图

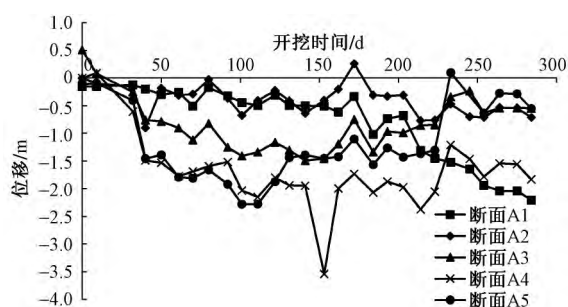


图21 地铁隧道典型测点水平变形随开挖时间的变化曲线

6 结论

本文详细介绍了广州周大福金融中心基坑设计、计算分析以及施工和监测的情况,得到如下结论:

(1) 数值分析计算结果表明,通过合理的基坑设计及施工工序安排,能够保证基坑施工过程中的安全,并不对邻近地铁产生不利的影响。

(2) 监测结果与数值计算结果较为吻合,验证了数值计算的准确性和合理性。

(3) 本基坑范围广、深度大,周边环境复杂,根据分段施工的要求,分为4个相对独立的基坑进行开挖。根据基坑实际情况,采用了多种支护方案,支护方案合理可行。这种复杂的基坑设计较为少见,对于同类工程有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 陆培毅,王子征.软土地区超大规模深基坑设计与变形监测分析[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2015,48(2):185-188.
- [2] 孙亮.广州邦华环球广场深基坑支护设计与分析[J].岩土工程学报,2012,34(S1):756-760.
- [3] 蒋冲,周科平,胡毅夫.深圳平安金融中心基坑围护结构变形监测分析[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S1):3383-3389.
- [4] 孟长江.汉口站出站厅深基坑支护设计与监测分析[J].岩土工程学报,2010,32(S1):478-482.
- [5] 安关峰,宋二祥,高俊岳.广州地铁小谷围岛站基坑支护设计与监测分析[J].岩土力学,2006,27(2):317-322.
- [6] 建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [7] 广州地区建筑基坑支护技术规定:GJB 02—98[S].广州:广州市建设委员会,1999.
- [8] 建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

《减震技术》征稿启事

2014年2月,住房和城乡建设部在全国范围内发布了《关于房屋建筑工程推广应用减隔震技术的若干意见(暂行)》,旨在有序推进房屋建筑工程应用减隔震技术,并确保工程质量。在这一政策背景下,2014年5月,广州大学周云教授联合《建筑结构》杂志社共同创立了《减震技术》,并邀请周福霖院士担任编辑委员会主任委员,任庆英、周云和王学东担任副主任委员。此刊伴随《建筑结构》正刊随刊赠阅,为防震减灾技术的发展提供了一个广泛交流的平台。

2015年12月,为了及时推送分享减隔震技术最新资讯,《建筑结构》杂志社特开通减震技术官方微信平台,争取为广大读者及粉丝提供前沿的动态及更周到的服务。《减震技术》主要面向于防震减灾的技术发展趋势、设计分析问题、工程案例、软件应用、会议通知、产品咨询、行业规范等,历次防震减灾的发展历程,剖析减震技术的发展现状,分享专业领域的前沿动态,进一步推动我国减震技术的研究与应用,促进我国防震减灾事业科学、规范和有序发展。现征集《减震技术》稿件,具体事项如下:投稿邮箱:shijiao1122@163.com(唯一接收稿件的方式)。

投稿要求:投稿论文必须具有原创性,有独到见解和学术价值,经评审后择优录用,提交论文时请注明“减震技术通讯”,收到投稿稿件后我们会在七个工作日内通过邮件回复,如未收到回复请及时联系我们。

论文请使用 word2003 严格按照格式排版,详细要求可登录《建筑结构》官方网站(www.buildingstructure.cn)(点击“投稿”>“稿件版式”,下载即可),务必在稿件中注明联系人的姓名、手机号、单位名称和 Email(缺一不可)。



欢迎关注《减震技术》
官方微信