

济南地区典型基坑工程信息统计分析*

王国富¹ 路林海¹ 王婉婷² 徐前卫² 王永吉¹

(1. 济南轨道交通集团有限公司, 250101, 济南; 2. 同济大学交通运输工程学院, 201804, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘要 济南地区的工程地质条件大多为深厚冲积层。为了能具体地分析和解决济南地区基坑工程中存在的问题, 通过调研、收集相关资料, 对 457 个济南地区基坑工程典型案例进行了整理分类, 并进行信息统计和分析, 总结出了济南既有基坑工程的分类和特点, 为今后研究济南地区基坑工程提供了参考。

关键词 济南地区; 基坑工程; 信息统计

中图分类号 TU753

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.08.016

Analysis on Engineering Information Statistics of the Typical Foundation Pit in Jinan Area

WANG Guofu, LU Linhai, WANG Wanting, XU Qianwei, WANG Yongji

Abstract Most of the engineering geology in Jinan area are the deep alluvium. To analyze and solve the problems existing in the foundation pit engineering of Jinan area specifically, by way of surveying and collecting the relevant information, sorting and classifying 457 foundation pit project data in Jinan area, the collected information are counted and analyzed. On this basis, the characteristics of foundation pit engineering in Jinan area are summarized, providing references for the research on other foundation pit projects in Jinan area.

Key words Jinan area; foundation pit engineering; information statistics

First-author's address Jinan Rail Transit Group Co., Ltd, 250101, Jinan, China

近年来,随着城市建设的发展,出现了越来越多的深基坑工程。基坑工程作为岩土工程的重要组成部分,具有很强的区域性,不同的工程地质和水文地质条件下,基坑工程的设计与施工方法差异较大。因此,必须结合具体的地域环境,开展典型基坑工程信息的统计,以便更好地为基坑支护结构

的设计理论、计算方法和施工技术的不断完善和进步服务。

本文主要采用国内外相关文献资料查阅、工程现场资料调研和典型案例分析相结合的方法,对 457 个济南地区基坑工程典型案例进行了归纳和分类^[1~5]。内容包括:典型地质条件,基坑概况,基坑设计方案,以及关于基坑问题的数值模拟计算等。总结济南地区既有基坑工程的特点,为今后济南地区基坑工程的设计与施工提供参考。

1 基坑工程典型地质条件统计

1.1 典型土层及土性参数

济南地区共分为以下 11 个区、县(市):历下区、槐荫区、天桥区、市中区、高新区、历城区、长清区、济阳县、商河县、平阴县及章丘市。根据统计范围内基坑工程的工程地质条件来看,不同地区的地质结构不尽相同。总体来看,济南地区基坑工程影响范围内的场地揭露存在如下四类典型地层:①人工填土/黏性土/砂性土地层,②人工填土/黏土—粉土地层,③人工填土/黏性土/碎石/岩石(残积土)地层,④人工填土/黏性土/粉细砂—中细砂地层。大多数基坑工程都位于此四类典型地层或由其组成的混合地层中。

表 1 给出了对所收集资料统计得到的济南地区基坑工程典型岩土体物理力学参数的参考指标。

统计资料中所有基坑工程揭露层土体中均包括冲积平原松软堆积、山前冲积平原松软、松散堆积及河谷平原松散堆积物,其堆积物中的粉土、粉质黏土、黏土等工程地质性能良好,地基允许承载力较高,适宜作为建筑地基。

揭露层土体中黏性土层中部分黄土为湿陷性黄土。湿陷性黄土是一种会在上覆土层自重应力作用下,或者在自重应力和附加应力共同作用下,因浸水后土的结构破坏而发生显著附加变形的黄

* 国家自然科学基金项目(41672360)

表 1 济南地区岩土物理力学参数参考指标

地层	土质	重度/(kN/m ³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	钉土摩阻力/kPa	锚杆土摩阻力/kPa
人工填土	杂填土	10.0~20.0	0~22.0	0~25.0	10.0~50.0	10~35
	素填土	0~19.9	0~17.5	4.0~20.0	15.0~35.0	15~40
黏性土	黄土	16.0~28.8	8.2~31.0	8.7~25.0	18.9~70.0	45~80
	黄土状粉质黏土	16.1~19.2	13.4~37.0	10.9~50.0	22.7~110.0	50~110
	粉质黏土	17.2~32.0	5.0~57.0	7.5~50.0	28.0~85.0	38~90
	黏土	17.2~23.6	8.0~66.8	3.8~25.8	18.2~75.0	35~90
	碎石	17.0~20.0	0~35.0	10.0~40.0	30.0~150.0	60~250
碎石土	卵石	19.0~21.0	5.0~10.0	30.0~35.0	130.0~150.0	60~250
	圆砾					60~250
	粗粒混合土	18.0~19.5	5.0	32.0~35.0	100.0	170
粉性土	粉土	18.4~23.2	4.6~37.0	13.8~27.0	24.0~45.0	24~60
	粉砂	18.0~20.0	0~18.0	10.0~25.0	30.0~55.0	30~42
砂性土	细砂	19.0~20.0	0~10.0	20.0~50.0	45.0~145.0	60~145
	中粗砂	20.0	3.0~6.0	30.0~60.0		
岩石	石灰岩	15.0~26.0	0~120.0	21.0~60.0	130.0~500.0	130~500
	闪长岩	16.4~24.5	15.0~70.0	10.0~45.0	130.0~650.0	58~200
	泥灰岩	20.0~24.0	15.0~60.0	12.0~30.0	120.0~500.0	100~240
	辉长岩	17.9~22.0	8.0~25.0	20.0~35.0	50.0~180.0	80~150
	白云岩	80.0~120.0	30.0~40.0	22.0~24.0		

土,属于特殊土。湿陷性黄土的这种特性,会导致地基上部结构大幅度沉降变形或折裂倾斜,影响结构正常使用和安全性能。目前,针对湿陷性黄土的地基处理方法有很多种,根据不同地基土质选用不同的处理方法,常用的方法有垫层法、强夯法和挤密法^[6]等。

1.2 地下水类型

济南地区不同区位地下水位埋深不尽相同,主要统计了地下水类型。济南地区地下水赋存类型主要包括以下四类:

- 1) 松散层孔隙水,即第四系孔隙潜水;
- 2) 侵入岩裂隙水,主要赋存于岩浆岩风化裂隙和构造裂隙中,即基岩风化裂隙水;
- 3) 碳酸盐岩裂隙岩溶水,含水介质为石灰岩,多为承压水,即奥陶系碳酸盐岩岩溶裂隙含水岩组;
- 4) 承压水,即埋藏在地表以下两个隔水层之间具有压力的地下水。

四种类型地下水受到相邻隔水层的控制,虽然形成了各自独立的循环条件,但因受构造作用影响,在地下水总循环中又有机地联系在一起。场地地下水为第四系孔隙潜水与基岩裂隙水,主要补给来源为大气降水及地下径流。

2 基坑工程分类信息统计

2.1 基坑工程概况

2.1.1 基坑开挖深度

根据中华人民共和国住房和城乡建设部于

2009 年印发的《危险性较大的分部分项工程安全管理 办法的通知》规定:一般深基坑是指开挖深度超过 5 m 或地下室三层以上,或深度虽未超过 5 m,但地质条件和周围环境及地下管线特别复杂的工程。根据既有的济南地区典型基坑工程实例,将基坑工程依据开挖深度的不同依次分为以下六个类别:浅基坑(<5 m)、常深基坑(5 m≤ · <8 m)、中深基坑(8 m≤ · <13 m)、颇深基坑(13 m≤ · <22 m)、特深基坑(22 m≤ · ≤30 m)以及超深基坑(>30 m)。由图 1 可以看出,济南地区既有基坑工程中,基坑开挖深度主要集中在常深基坑和中深基坑两个范围内,据统计现阶段开挖深度最大的是某科研楼桩基工程,基坑深度为 30 m。

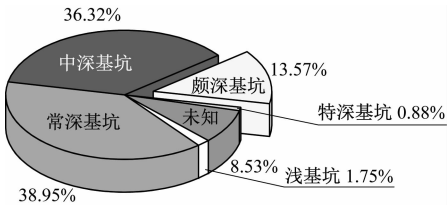


图 1 济南地区基坑工程类型分布

2.1.2 基坑工程位置

统计范围内的基坑工程,在济南地区的区域分布情况如图 2 所示。济南地区的基坑工程主要分布在历下区、槐荫区及天桥区等城市繁华地段。不同区域由于区域性性质不同,各种基坑类型分布也不相同。对于比较繁华的历下区、槐荫区及天桥区等

区域,基坑类型比较丰富,且以常深基坑和中深基坑为主。其他各区域由于区域功能和性质的限制,基坑类型相对不是很丰富。尤其是济阳县和商河县,在信息统计中基坑工程数量较少,且都是常深基坑工程。浅基坑工程多分布在历下区、槐荫区、天桥区及市中区等城市中心地段;常深基坑、中深基坑在各区域都有所分布,但也是主要分布在城市中心的繁华地段;颇深基坑在各个区域都有所分布;特深基坑主要分布在历下区、市中区和高新区。历下区和市中区处于繁华地段,高新区作为高新技术产业开发区颇深基坑工程较多。

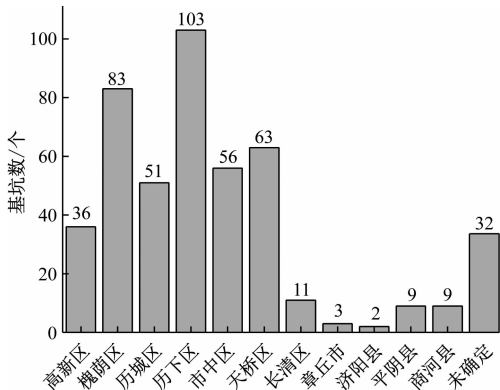


图2 济南地区基坑工程分布

2.2 基坑设计方案

2.2.1 支护结构设计

基坑工程支护结构选型设计须结合场地工程地质和水文地质、基坑开挖深度、施工条件、场地周边环境等众多客观因素而定。常见的支护结构形式分类如图3所示。

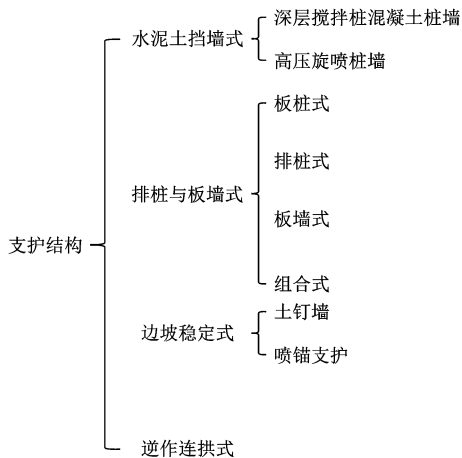


图3 常见支护结构分类

信息统计结果显示,济南地区既有基坑工程共采用过以下九种支护结构:土钉墙(复合土钉墙)、

喷锚支护、桩锚、钢管桩、灌注桩排桩、地下连续墙、高压旋喷桩墙、CFG(水泥粉煤灰碎石桩)墙以及微型桩。实际基坑工程由于基坑开挖面积较大,不同开挖区域地质条件和水文条件不同,常采用以上九种支护结构的组合支护方案。济南地区基坑工程支护结构分类情况如图4所示。

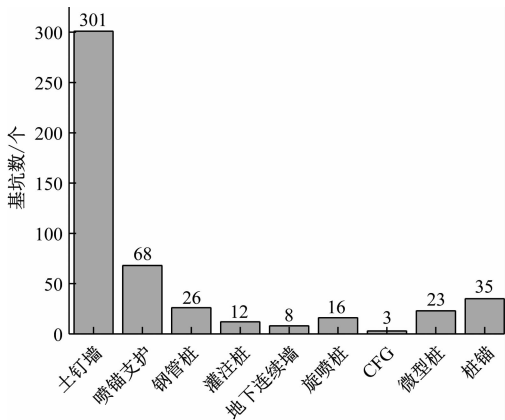


图4 济南地区基坑工程支护结构分类

在济南地区工程地质及水文地质条件下,土钉墙支护结构在基坑工程中的应用占了较大的比重,其次是喷锚支护。实际上,工程多采用复合土钉墙支护结构。复合土钉墙支护是一种将土钉墙与深层搅拌桩、旋喷桩、各种微型桩、钢管及预应力锚杆等结合起来,根据具体工程条件进行多种组合而形成的一种复合基坑支护。统计范围内绝大部分基坑工程都是常深基坑和中深基坑,基坑开挖深度在此范围内且土质较好的基坑工程采用土钉墙或复合土钉墙支护结构形式是较为合理的方法^[7]。对于常深基坑、中深基坑以及颇深基坑所用支护结构形式较为丰富,根据济南地区工程地质条件来看,基坑开挖深度在5~22 m之间地层结构较为复杂,地下水也较为丰富,所以针对不同地质条件要采用灵活多变的支护结构。

2.2.2 降水排水设计

合理确定控制地下水的方案是保证工程质量、加快工程进度、取得良好社会效益和经济效益的关键。通常应根据地质、环境和施工条件以及支护结构设计等因素综合考虑。地下水控制方法有集水明排法、降水法、截水和回灌等方法。由于通常采用地下连续墙、高压旋喷等形式的封闭止水帷幕,阻挡了地下水向坑内渗透,故坑内多采用管井降水来降低地下水位^[8]。

据信息统计,济南地区基坑工程的降水、排水

方法有集水明排法、管井井点降水法、轻型井点降水法、深井泵降水法等;部分地下水较丰富地区增设了高压旋喷桩或双排深层搅拌桩作为止水帷幕;部分地区为防止回灌,在基坑四周设置了回灌井;部分地表水丰富地区设置了挡水墙。济南地区的基坑降水、排水方案设计如图 5 所示。

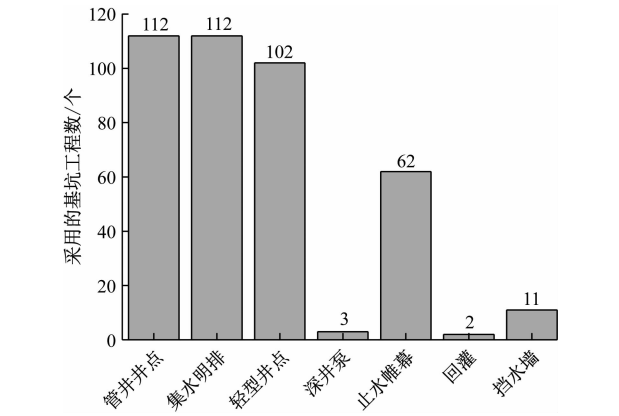


图 5 济南地区降水排水方案设计

济南地区基坑工程大部分采用管井井点降水或轻型井点降水相结合的集水明排法来控制地下水;80%的区域采用了高压旋喷桩或水泥搅拌桩桩作为止水帷幕,说明济南地区地下水比较丰富;只有少部分地区需采用挡水墙截水,说明济南地区地

表降水不是特别丰富。济南地区常深基坑和中深基坑场地所揭露范围内地下水较为丰富,需采用多项降水排水方案相结合的方式,才能有效控制地下水对于基坑及周围建筑物的影响。

2.2.3 监测方案设计

基坑工程的监测既是检验基坑设计理论正确性和发展设计理论的重要手段,又是及时指导正确施工、避免基坑工程事故发生的必要措施。基坑工程的环境监测主要指的是在基坑开挖过程中,用科学仪器设备和手段对基坑支护结构及周边环境(如土体、建筑、道路和地下设施等)的各项指标变化进行监测。基坑的信息化施工是指充分利用前期基坑开挖监测到的岩土及结构体变化和行为的大量信息,通过与勘察、设计的比较分析,反馈和修正岩土力学参数,预测后续工程可能出现的新行为,进行施工设计与施工组织的优化。严格按照监测方案对基坑变形重要部位进行监测,记录其变化情况进行综合分析,及时掌握基坑变形发展趋势,对保证深基坑工程安全、快速的施工,具有十分重要的意义^[9]。

根据资料统计结果,将基坑工程监测内容、对象与方法归纳总结如表 2 所示。

表 2 基坑工程监测内容及对象与方法

监测内容	对象	方法
变形	地面、边坡、坑底土体、支护结构(柱、锚、内支撑、地下连续墙等)、建筑物、地下设施	目测巡视,对倾斜、开裂、鼓凸等迹象进行丈量、记录、绘制图形或摄影;采用精密光学仪器、导线或收敛计测量水平位移,经纬仪投影测量倾斜;埋设测斜管、分层沉降仪测量深层土体变形
应力	支护结构中的受力构件、土体内应力	预埋应力传感器、钢筋应力计、电阻应变片等元件;埋设土压力盒或应力钎测压仪
地下水动态	地下水位、抽(排)水量、含砂量	设置地下水观测孔;埋设孔隙水压力计或钻孔测压仪;对抽水流量、含砂量作定期观测、记录

3 基坑研究现状统计

3.1 研究方向

基坑的研究主要集中在两个方面:变形和稳定性研究。济南地区基坑工程的研究方向:基坑开挖变形分析,基坑支护结构优化,基坑降水对周围建筑物的影响分析,以及大面积基坑开挖对周围建筑物的影响分析等。根据统计资料整理出济南地区基坑工程问题的研究分类如图 6 所示。

3.2 研究方法

对于基坑工程问题的研究一般都基于软件计算或者模型分析。资料统计结果显示,在基坑工程设计阶段98%的工程采用理正深基坑支护设计软

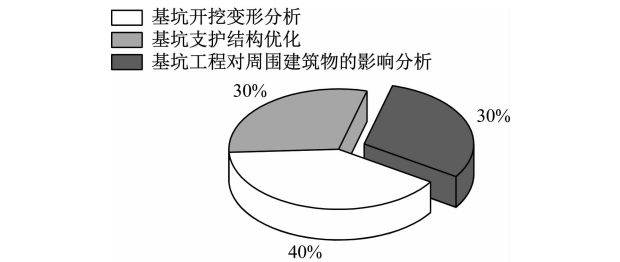


图 6 济南地区基坑工程问题研究分类

件,2%的工程采用同济启明星基坑软件;在关于基坑问题的数值模拟研究分析中,有 70%的工程计算都采用 FLAC3D 有限元分析软件进行模拟分析,15%的工程采用 ANASYS 有限元分析软件,7.6%的工程采用 MIDAS/GTS 软件,7.6%的工程采用

Plaxis 软件。

资料统计结果显示,基坑工程采用 FLAC3D 模拟分析的过程中,对于土的本构模型选择有 98% 采用的是摩尔-库伦模型,有 2% 采用 Druker-Prager 模型。一般用 shell 单元模拟钢筋网混凝土面层, cable 单元模拟锚杆和土钉。

4 结语

1) 济南地区工程地质条件较好。场地内揭露的地层结构中的粉土、粉质黏土、黏土等工程地质性能良好;对于湿陷性黄土等不良土和特殊土,需在进行基坑工程开挖前要对地基进行加固处理。

2) 济南地区地下水类型丰富。在进行基坑开挖之前,要根据场区勘察到的地下水位情况,进行相应的降水排水处理。常用的设计方案为管井井点或轻型井点降水并结合集水明排,以疏干排解地下水。

3) 济南地区基坑工程大部分为常深基坑和中深基坑,多采用复合土钉墙或喷锚支护作为基坑开挖的支护结构。

4) 济南地区对于基坑工程的研究较为单一,针对传统基坑工程变形和稳定性的研究较为普遍。

(上接第 33 页)

湖中心城市中心区,尽量串联龙岗中心、光明中心等外围组团中心,同时尽量预留城际铁路间的互联互通条件,充分发挥深圳对外区域的辐射带动作用;三是尽量将城际铁路引入到城市轨道交通枢纽“以点带面”扩大城际铁路对城市服务覆盖,通过城际铁路和城市轨道交通枢纽与城市空间相耦合,引导城市空间结构形成。

5 结语

“高铁+城际”为骨干的区域交通运输组织模式是我国新型城镇化发展的必然选择以及深圳作为“一带一路”的桥头堡以及粤港澳大湾区的核心城市之一,必须提前谋划抓住这一轮发展机遇,向国家和广东省积极争取铁路规划资源,进一步提升在国家铁路枢纽和珠三角城际网络中地位,充分发挥深圳对粤港澳大湾区及其泛珠三角地区辐射带动作用。另外,深圳土地开发由“增量”转变为“存量”发展阶段,需要对国家铁路和城际铁路的枢纽和通道提前进行预控,充分发挥铁路对城市空间的支撑和引导作用。

但对于开发设计新型基坑工程支护结构方面并没有很深的研究。

参考文献

- [1] 陈启辉,田洪水,孙振波,等. 济南市工程地质特征分析及问题探索[J]. 工程力学, 2010, 27(增刊2):96.
- [2] 张晓波. 济南西站深厚松软土层复合地基施工对策与设计优化, 2014, 5(1): 57.
- [3] 马祥,方光秀,高启义. 地铁车站超大深基坑工程支护结构深化施工技术[J]. 施工技术, 2013, 42(21):58.
- [4] 张学利. 济南文化艺术中心多功能厅的结构设计[J]. 建筑结构, 2013, 43(增刊):347.
- [5] 王连俊,朱孝笑,张光宗. 济南西客站站房基坑降水对京沪高速铁路基沉降影响分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(3):459.
- [6] 杨校辉,黄雪峰,马彦鹏,等. 大厚度自重湿陷性黄土地基处理深度和湿陷性评价试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(5):1063.
- [7] 蒋洪胜,曹怀武,张建国. 多种支护结构形式在深基坑工程中的应用[J]. 施工技术, 2003, 32(8):12.
- [8] 徐帮树,张芹,李连祥,等. 基坑工程降水方法及其优化分析[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(5):1161.
- [9] 慕旭日,陈岩,王永吉. 济南厚冲积层大型深基坑监测结果分析[J]. 山西建筑, 2013, 39(6):35.

(收稿日期:2018-07-03)

参考文献

- [1] 中国城市规划设计研究院. “经略”珠三角,建设世界级城市群[R]. 广州:广东省住房和城乡建设厅,2016.
- [2] 刘龙胜,杜建华,张道海. 轨道上的世界——东京都市圈城市和交通研究[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [3] 李凤玲,史俊玲. 巴黎大区轨道交通系统[J]. 都市快轨交通, 2009, 1:101.
- [4] 孙永海,马亮,邓琪,等. 人性化交通出行角度的都市圈空间尺度研究[J]. 规划师,2014(7):32.
- [5] 广东省城乡规划设计研究院等. 珠三角全域空间规划(2015—2020年)[R]. 广州:广东省住房和城乡建设厅,2015.
- [6] 中国铁路总公司. 中长期铁路网规划[R]. 北京:国家发展改革委,2016.
- [7] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 珠江三角洲地区城际轨道交通网规划(2009年修订)[R]. 广州:广东省发展改革委,2009.
- [8] 深圳市规划国土发展研究中心. 国家铁路深圳地区布局规划(2016-2030)[R]. 深圳:深圳市规划和国土资源委员会,2016.
- [9] 深圳市规划国土发展研究中心,深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司. 珠三角城际铁路深圳地区布局规划[R]. 深圳:深圳市规划和国土资源委员会,2018.

(收稿日期:2018-09-23)