

钢管土钉在某深厚填土基坑中的应用

乔丽平

(深圳市市政设计研究院有限公司, 广东 深圳 518029)

摘要:结合钢管土钉在某深厚填土基坑中应用的工程实例,介绍了填土深基坑采用钢管土钉支护的特点、设计计算过程及应注意的事项,重点讨论了在深厚填土基坑中设计计算时填土抗剪强度参数 c , φ 值、钉-土摩阻力如何合理取值的问题及填土年限的判断方法,同时强调施工中钢管土钉的制作工艺和注浆质量的好坏是决定基坑支护成败的关键,其设计参数处理思路和施工工艺要求可供类似基坑工程设计施工时参考。

关键词:钢管土钉; 填土参数; 建筑基坑; 设计

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)S0-0447-04

作者简介: 乔丽平(1979-),男,湖北孝感人,硕士,国家注册土木工程师(岩土),主要从事地基处理、基坑、边坡工程的设计、研究及咨询工作。E-mail: qiaofeng624@126.com。

Application of soil nailing of steel tube in an excavation with deep fills

QIAO Li-ping

(Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518029, China)

Abstract: Based on the engineering application of soil nailing of steel tube in an excavation with deep filling soils, the characteristics of the excavation, the procedures of design and calculation and the attentive aspects are introduced. How to reasonably choose the shear intensity parameters c and φ of the filling soils and the friction of the nail-soil in the design and calculation and the ways to judge the years of the filling soils, are discussed. At the same time, the production technology of the soil nailing of steel tube and the quality of the jet grouting, which are the key to successful excavation bracings, are emphasized. The ideas of how to choose the design parameters and the requirements of construction technology may offer reference for similar excavation projects.

Key words: soil nailing of steel tube; fill parameter; excavation; design

1 工程概况

家和盛世花园(一期)位于深圳市龙岗区中心城福西路东南侧与福园新村西北侧之间,场地内北侧为经营中停车场,东侧、西北侧以及西南侧为施工队临时工棚,西侧为花木场,东南侧为填土堆,高约4.0~5.0 m。场地周边为6~28层已建或在建花园式住宅建筑物(详见图1)。场地大部分区段地势平坦,仅东南侧一填土堆地势较高。拟建地下室2层,基坑开挖深度约5.5~7.5 m,基坑周长约720 m,基坑面积约20000 m²。

2 工程地质及水文地质

场地原始地貌属残丘及坡谷地貌,场地部分为人工填土所覆盖,其下为表土、坡洪积层(粉质黏土、含砾粉质黏土、粉细砂)、残积层粉质黏土,下伏基岩为测水组砂岩及大理岩。基坑开挖范围内分布为人工

填土层,厚度2.50~19.00 m,平均厚10.17 m。灰黑色、棕红色、灰黄色,主要由粉质黏土堆积而成,不均匀含少量碎石,局部含块石,块径3~12 cm不等,未完成自重固结,结构松散。标准贯入试验 N 值1.6~26.7击,平均7.6击。

场地地下水埋深3.10~9.70 m,人工填土赋存有上层滞水,透水但不富水,其余各土层均属弱透水层。

3 支护设计^[1-2]

基坑开挖深度5.5~7.5 m,开挖范围内均为人工填土层,地下水位不高,在基坑开挖范围内无强透水层,不需设置止水帷幕。本着安全经济的原则,采用坡率法+钢管土钉进行支护(典型支护形式见图2、图3)。根据勘察报告提供的岩土层参数,结合当地工程经验,岩土层参数取值详见表1。

表 1 岩土层参数表

Table 1 Parameters of soils

| 土层 | c /kPa | φ /° |
|------|----------|--------------|
| 人工填土 | 12 | 18 |

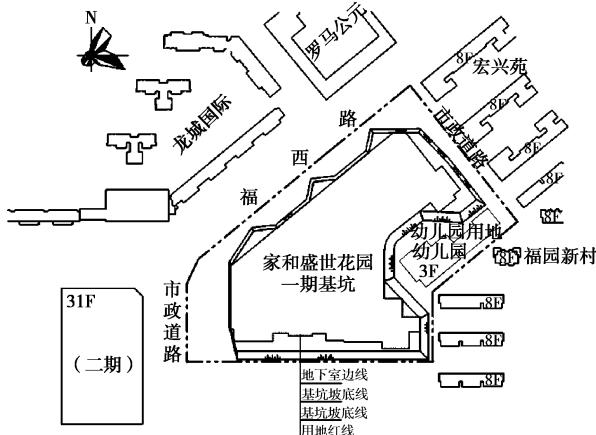


图 1 拟建场地周边关系图

Fig. 1 Sketch of construction site

设计验算采用北京理正软件设计研究院的“深基坑支护设计软件 Fspw5.1”软件进行,计算结果见表 2。

表 2 计算结果表

Table 2 Calculated values

| 典型剖面 | 破裂面情况 | | 整体稳定安全系数 |
|------|-----------------|-------|----------|
| | 圆心坐标/m | 半径/m | |
| 剖面一 | (-1.617, 8.526) | 8.678 | 1.302 |
| 剖面二 | (-2.852, 6.279) | 6.897 | 1.308 |

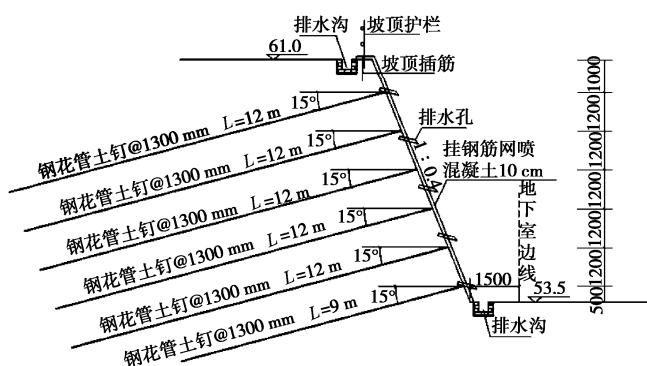


图 2 典型剖面一

Fig. 2 Sketch of a typical section I

4 设计与施工中的几个关键问题

4.1 填土层的 c , φ 值如何取值

原勘察报告提供的基坑开挖支护的岩土参数建议值为 $c=10$ kPa, $\varphi=5^\circ$, 若按此参数进行设计计算, 所需土钉较长、较密, 支护成本较高, 有一定的优化空间。根据现场踏勘调查, 该地块虽为深厚填土层, 但填土时间较久(根据走访调查和比对新旧地形图,

可判定该地块填土时间至少已超过 8 a 以上), 经仔细研究地质勘察报告, 发现地质勘察进行标准贯入试验时标准贯入击数普遍较大, $N=1.6\sim26.7$ 击, 平均 7.6 击。从侧面也验证了该地块填土时间较长, 且填土层经过长时间的自重固结和压密作用, 其岩土层力学性质已得到了较大的改善, 所以反映出来的标准贯入试验击数普遍较高。基坑支护设计时应结合这一实际情况将填土层的 c , φ 值予以适当提高, 以符合实际情况。但如何提高参数值却是一个值得研究的课题, 本文采用如下方法进行近似计算。

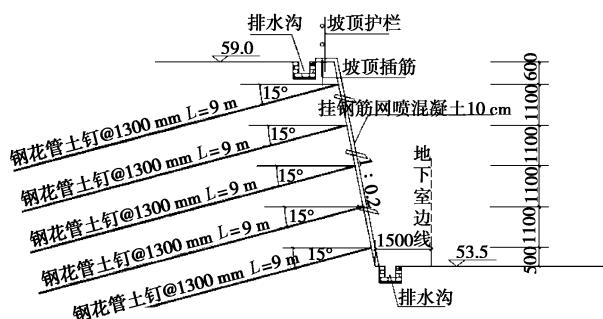


图 3 典型剖面二

Fig. 3 Sketch of a typical section II

广东省标准《建筑地基基础设计规范》(DBJ15—31—2003) 根据广东地区的特点和勘察实践经验, 在规范中列出了不同土层标准贯入击数与其对应土层承载力特征值的关系可供参考(表 3 列出了部分常用黏性土不同标准贯入击数与其对应承载力特征值的经验值)。

表 3 常用黏性土承载力特征值经验值^[3]

Table 3 Characteristic values of bearing capacity on clay

| N | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| f_{ak} | 100 | 150 | 200 | 240 | 280 | 320 | 360 |

国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002) 第 5.2.5 条指出: 当偏心距小于或等于 1/30 倍基础底面宽度时, 可根据土的抗剪强度指标确定地基承载力特征值, 其承载力特征值按下式计算^[4]:

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_k , \quad (1)$$

式中相应参数的含义参见《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)。

本文借助该思想, 先根据填土层的标准贯入试验取得的标准贯入击数查表确定其承载力特征值, 然后假定一组土的抗剪强度参数 c , φ 值, 按式(1)进行试算, 若试算得到的承载力特征值近似等于根据标准贯入试验确定的承载力特征值, 则说明假设的 c , φ 值合理, 将该组 c , φ 值作为支护设计的调整后的抗剪强度参数。当然式(1)中承载力系数 M_b , M_d , M_c

均是关于土层的 φ 值的因子，也就是说土层的 φ 值对式(1)的计算结果影响较大。因此，试算时应先根据经验大致判断土层 φ 值的合理范围，尽量在该范围内进行取值试算，以避免调整后的土层参数与实际情况不符。具体实施中如何判断土层 φ 值的合理范围一个至关重要的条件就是要大致推断地块填土的年限：可根据走访调查、现场踏勘情况，结合地块目前地形资料与以往各年的地形资料进行逐步比对，与目前地形差别最大的某往年可判断为该地块填土的年份，可得到填土的年限。

本工程中：结合勘察报告提供的标准贯入击数，参考该规范结合本地区勘察经验，该层土承载力特征值可取 110 kPa。

考虑该地块填土年限 8 a 以上，假定 $c=12$ kPa，综合考虑取 $c=12$ kPa， $\varphi=16^\circ$ ，根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)表 5.2.5 查得： $M_b=0.36$ ， $M_d=2.43$ 、 $M_c=5.00$ 。则根据第 5.2.5 条得 $f_a=M_b\gamma b+M_d\gamma_m d+M_c c_k=0.36\times 18\times 3.0+2.43\times 18\times 0.5+5.00\times 12=101.31$ kPa<110 kPa，故假定的 $c=12$ kPa、 $\varphi=16^\circ$ 不合理。

重新假设 $c=12$ kPa， $\varphi=18^\circ$ ，相应查表 5.2.5 得： $M_b=0.43$ ， $M_d=2.72$ ， $M_c=5.31$ 。则根据第 5.2.5 条得 $f_a=M_b\gamma b+M_d\gamma_m d+M_c c_k=0.43\times 18\times 3.0+2.72\times 18\times 0.5+5.31\times 12=111.42$ kPa≈110 kPa，基本合理。

故设计计算时，将填土层的抗剪强度指标由勘察报告建议的 $c=10$ kPa， $\varphi=5^\circ$ ，调整为 $c=12$ kPa， $\varphi=18^\circ$ 。

4.2 填土层中钉 - 土摩阻力取值

本工程设计计算时钉 - 土摩阻力根据国家标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120—99)的建议，采用其建议的最大值 20 kPa，土钉钻孔直径 100 mm，实际施工时采用打入式钢管土钉(直径大约 50 mm)，土钉长度一样，工程实践表明按此方法设计计算和施工是可行的。根据抗拔力等效原则，反算出钢管注浆土钉的钉 - 土摩阻力此时应为 40 kPa(此时土钉钻孔直径按 50 mm 计算)。

深圳市地方标准《深圳市基坑支护技术规范》(SJG05—2011)表 5.2.5 列出素填土中打入式钢管土钉的钉 - 土摩阻力标准值为 20~35 kPa^[5]，取该规范的建议值上限 35 kPa，根据实际施工反算出的钢管土钉的钉 - 土摩阻力约为《深圳市基坑支护技术规范》(SJG05—2011)建议的最大取值的 $40/35=1.14$ 倍，实际设计计算时钉 - 土摩阻力取值可较《深圳市基坑支护技术规范》(SJG05—2011)的建议值提高 15%~20%。说明深厚填土年限较久时，由于其自重固结压实作用，其孔隙比将大大减小，大大提高了其钉 - 土

摩阻力，这样在保证基坑安全的前提下将大大降低基坑支护成本。

4.3 钢管土钉的制作

为确保钢管土钉的质量，土钉沿长度方向每隔 500 mm 设置两个出浆孔，在出浆孔处加焊倒刺形等边角钢，倒刺形等边角钢的作用是防止钢管在打入过程中泥土流入钢管内，同时也增加了土钉与周围土体的摩阻力(本文前面部分关于钉 - 土摩阻力取值的讨论也说明了这点)。在靠近土钉头一半土钉长范围内不设出浆孔，土钉端部作成锥体，钢管土钉采用滑锤打入(详见图 4)。

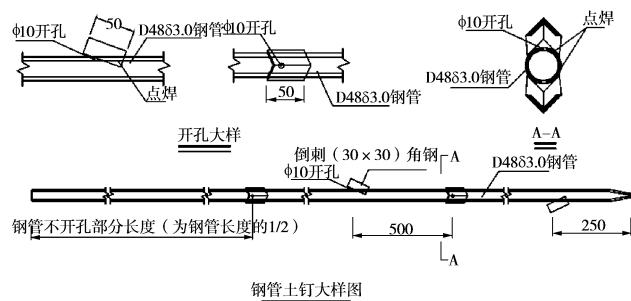


图 4 钢管土钉示意图

Fig. 4 Sketch of soil nailing of steel tube

4.4 钢管土钉的注浆^[6]

注浆质量是保证土钉拉拔力的关键，也是基坑工程成败的关键因素之一。施工时采用低压慢注、间歇注浆、逐渐加压的注浆方式，取得了较好的效果：①注浆前用压力水清洗钢管土钉，直至挤入钢管内部的泥沙和钢管外的虚土被冲洗干净，流出清水为止；②设置止浆塞，注浆从管底开始，开始时采用低压慢注的方式，注浆压力为 0.3~0.4 MPa，使钢管内、钢管与土体间的空隙全部由浆液充满。然后采用多管轮流、间隙注浆的方式，在间隙注浆中逐渐加大压力，直至将压力提高至 0.6 MPa 以上。

良好的注浆质量，可使浆液在填土层中得到扩散和充填，不仅改良了周围土体，提高了周围土体的抗剪强度，而且也提高了土钉的抗拔能力。

5 结 论

目前该基坑已回填，基坑运行过程中质量情况良好，未出现塌方、滑坡等险情，基坑坡顶沉降、水平位移和周边建筑物沉降监测情况也满足现行规范要求，说明原设计、施工是安全、可行的。

(1) 由于填土层的岩土力学性质离散性较大，故一般勘察报告不提供填土层的抗剪强度指标，或者提供的相应指标较保守，这使得在基坑支护设计时稳定性计算难以通过或者需采用造价高昂的支护措施，带

来不必要的成本浪费。尤其当填土时间较久时由于填土自身的自重固结、压密作用，其岩土力学性质已得到了较大改善，此时设计中仍采用较低的抗剪强度指标进行计算是不合理的，也不符合实际情况。本文中关于填土层抗剪强度 c ， φ 值根据其标准贯入击数进行修正的近似试算法可供类似工程参考。

(2) 填土年限的判断是初步确定填土抗剪强度参数的一个关键因素，通过走访调查、现场踏勘和将目前地形资料与往年地形资料逐年比对的方法来判断地块的填土年份在目前不失为一个行之有效、操作简便的方法。

(3) 当填土时间较长时，由于其自重固结、压密作用，其相应的钉 - 土摩阻力取值可较现行规范适当提高。关于深厚填土层钉 - 土摩阻力的取值与填土时间的关系可进一步研究。

(4) 土钉注浆质量是基坑工程成败的关键因素之一，而钢管土钉出浆孔的设置则是保证土钉注浆质量的前提要求，本文有关钢管土钉的制作及注浆细节的做法值得类似工程借鉴。

(5) 本文关于填土抗剪强度参数的修正、钉 - 土摩阻力取值修正的做法带有一定的区域性，应待更多工程实践的检验，以便更符合各地区的实际情况。

参 考 文 献：

- [1] SJG05—96 深圳地区建筑深基坑支护技术规范[S]. 深圳：深圳市建设局，1996. (SJG05—96 Technical code for

retaining and protection of deep building foundation excavations in shenzhen area[S]. Shenzhen: Bureau of Construction of Shenzhen City, 1996. (in Chinese))

- [2] JGJ120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1999. (JGJ120—99 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1999. (in Chinese))
- [3] DBJ15—31—2003 建筑地基基础设计规范[S]. 广州：广东省建设厅，2003. (DBJ15—31—2003 Code for design of building foundation[S]. Guangzhou: Department of Construction of Guangdong Province, 2003. (in Chinese))
- [4] GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[M]. 北京：中华人民共和国建设部，2002. (GB50007—2002 Code for design of building foundation[S]. Beijing: Ministry of Construction P.R. China, 2011. (in Chinese))
- [5] SJG05—2011 深圳市基坑支护技术规范[S]. 深圳：深圳市建设局，2011. (SJG05—2011 Technical code for retaining and protection of excavations in shenzhen city[S]. Shenzhen: Bureau of Construction of Shenzhen City, 2011. (in Chinese))
- [6] 刘彦忠. 复合土钉墙技术在杂填土层基坑支护中的应用[J]. 岩土力学，2002, 23(4): 520 - 523. (LIU Yan-zhong. Application of compound soil nailing to excavation retaining in miscellaneous fill[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(4): 520 - 523. (in Chinese))

(本文责编 李运辉)