

结合永久性边坡支护的深基坑预应力锚杆柔性支护法的应用

林振德，陈云彬

(中国京冶工程技术有限公司厦门分公司，福建 厦门 361009)

摘要：预应力锚杆柔性支护法是用于深基坑支护和边坡治理的一种新的支护技术，从特定实例看，该方法在经济、技术、安全等方面均具有良好的优越性。笔者在厦大博海园基坑边坡工程中采用预应力锚杆柔性支护法进行设计，对完工后边坡进行了长时间的位移监测工作。从监测数据看，边坡位移、周边建构筑物沉降均较小，边坡工程历经 10 a，目前状况良好，预应力锚杆柔性支护法在永久性边坡工程中的应用是成功的。

关键词：永久性边坡；拉锚支护结构；预应力柔性支护

中图分类号：TU473 文献标识码：A 文章编号：1000-4548(2012)S0-0389-04

作者简介：林振德(1977-)，男，福建漳州人，学士，工程师，主要从事地基基础工程、基坑工程等方面的设计与施工工作。E-mail: xmyt2001@sina.com。

Application of flexible retaining method with prestressed anchor for deep excavations in retaining of permanent slope

LIN Zhen-de, CHEN Yun-bin

(China Jingye Engineering Corporation Limited Xiamen Branch, Xiamen 361009, China)

Abstract: Prestressed anchor flexible retaining method is a new retaining and protecting technology used for retaining of deep excavations and treatment of slopes. In practice, the method has good performance in terms of economy, technology, safety and so on. It is used in the design of slope retaining project of Bohai Park of Xiamen University, and good performance is achieved after the completion of slope retaining construction based on long-term displacement monitoring work. The slope retaining has been finished for ten years, from the analysis of monitoring data, the displacement and the settlement of surrounding buildings are small, and the slope retaining is currently in good condition. It is proved that the application of the prestressed anchor flexible method in the permanent slope projects is successful.

Key words: permanent slope; anchor retaining structure; prestressed anchor flexible retaining method

0 前 言

边坡、基坑支护的方法很多，具体工程中采用何种方法主要根据开挖深度、岩土性质、周边场地情况以及施工条件等因素综合考虑决定。目前在工程中常用的支护方法有悬臂式、拉锚式、土钉支护及预应力锚杆柔性支护等支护结构^[1]。

我们知道，旧城区改造工程一般地处城市中心，寸土寸金，建筑设计时往往尽可能接近红线，致使可供支护的空间往往较小，且周边环境复杂，对边坡变形要求较严。本文通过厦大博海园基坑边坡工程实践，根据开挖深度、岩土性质、周边场地情况以及施工条件等因素综合分析比较了不同支护方式的优缺点，最

终选用合理可行的预应力锚杆柔性支护方式。

预应力锚杆柔性支护是用于基坑开挖和边坡稳定的一种新的支护技术，从实践来看，该方法在经济、技术、安全等方面均具有良好的性能，但人们对该方法运用于永久性边坡的研究较少，缺乏深入系统的研究，缺少工程实践的试验资料。笔者在厦大博海园基坑边坡工程中采用预应力锚杆柔性支护法进行设计，对完工后边坡进行了长时间的位移监测工作。从监测数据看，边坡位移、周边建构筑物沉降均较小，边坡工程历经 10 a，目前状况良好，预应力锚杆柔性支护法在永久性边坡工程中的应用是成功的。

1 工程概况

1.1 基坑建筑设计要求

基坑支护总平面图如图1所示,建筑设计±0.00=11.50 m,地面自然标高9.60~21.80 m,设计开挖底标高6.30 m,基坑开挖深度3.30~15.50 m,其中北侧、东侧11.00 m标高以上应作永久边坡设计支护。

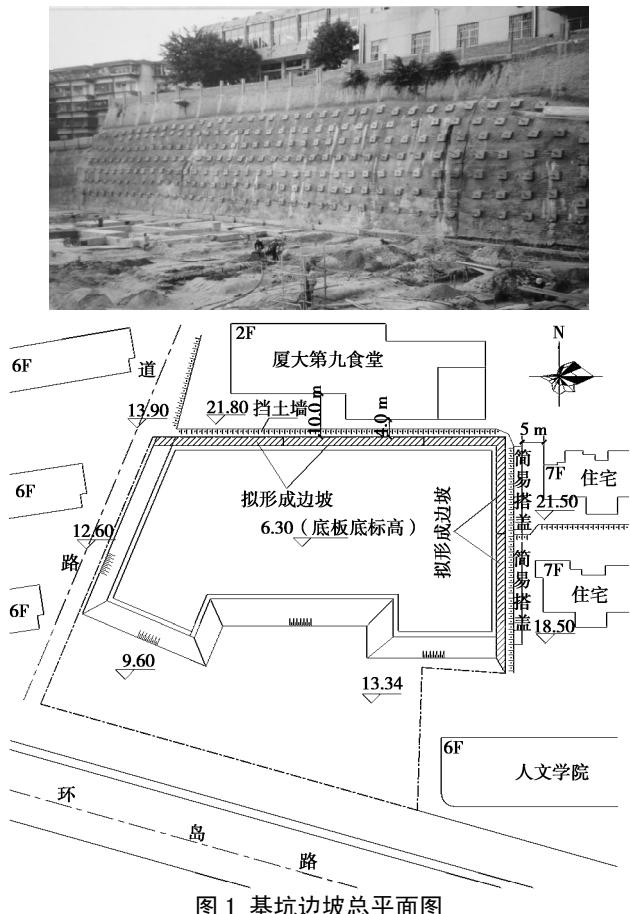


图1 基坑边坡总平面图

Fig. 1 General plan of excavation and slope

1.2 周边环境

基坑北侧,地下室外墙距红线2.0 m,紧贴红线为2~5 m高浆砌块石挡墙,挡墙顶平台为厦门第九食堂(2层,独立基础),距挡墙边4~10 m;东侧,地下室外墙距红线2.0 m,紧贴红线为3~5 m高浆砌块石挡墙,挡墙顶有简易搭盖储藏间,挡墙顶平台为住宅楼(7层,独立基础),距挡墙边7 m;南侧,空地;西侧,距红线6.0 m,红线外为厦门校园内道路。

基坑南侧、西侧周边环境较简单,结合土质情况南侧、西侧采用自然放坡;工程的难点在北侧与东侧。本文将着重阐述北侧与东侧支护方式。

1.3 场地的地质、水文条件

(1)拟建场地位于厦门大学白城校区原厦门电子仪器厂内。该场地原始地貌类型属丘陵山前斜坡地带,后经人工改造,现场地呈台阶状(参见图2示意)。根据钻探揭露,边坡开挖影响范围内,从上至下各岩土

体分布及特征如下:杂填土① 分布于整个场地,厚度0.4~1.6 m,主要成分为垃圾、碎砖及砂质黏性土;全风化花岗岩② 全场地分布,厚度2.25~6.75 m,工程性能较好,但具有遇水软化,强度降低的特性;散体状强风化花岗岩,全场地分布,厚度9.7~15.65 m,亦具有遇水软化、崩解,强度降低的特性,属极软岩;碎裂状强风化花岗岩,全场地分布,厚度4.1~9.45 m,属软岩,工程性能好。

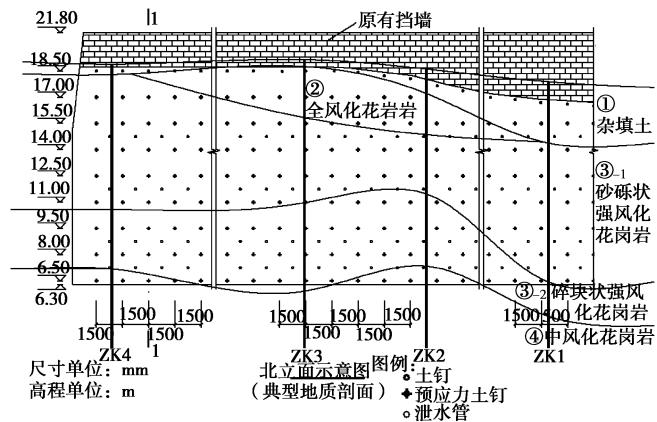


图2 基坑场区典型地质剖面

Fig. 2 Typical geological profile of excavation

(2)边坡支护设计岩土参数列于表1。

表1 边坡支护设计岩土参数

Table 1 Parameters of rock and soils

| 岩土层 名称 | 重度 γ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$) | 变形 模量 E_0/kPa | 直剪快剪 | | 侧摩 阻力 q_{sk}/kPa | 等效内 摩擦角 $\phi_e/(\text{°})$ |
|-------------------|---|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | | | 黏聚 力 c_k/kPa | 内摩 擦角 $\varphi_k/(\text{°})$ | | |
| 杂填土 | 18.0 | | 10 | 15 | | |
| 全风化 花岗岩 | 19.0 | 50 | 35 | 35 | 65 | |
| 散体状 强风化 花岗岩 | 19.5 | 90 | 38 | 38 | 80 | 35 |
| 碎裂状 强风化 花岗岩 | 20.0 | 120 | 45 | 40 | 120 | |

(3)拟建场地地下水主要赋存并运移在强风化岩的孔隙及网状裂隙中,地下水类型为潜水。场地地下水主要接受大气降水及场地外围地下水的侧向补给,地下水总体由东北向西南方向渗流排泄。

2 工程特点、难点

(1)拟开挖边坡上部存在旧有浆砌块石挡墙,挡墙已建造近20 a,断面不详,高度3~5 m,由于挡墙上平台为厦门第九食堂,因此挡墙不能拆除且施工期间应确保食堂正常运营。

(2)拟建地下室靠近红线,地下室外墙距红线只有2.0 m,扣除局部承台外挑及施工操作空间,可支

护空间约 1.0 m, 非常狭小。

(3) 现状场地为台阶状, 高差起伏变化, 且支护紧贴已有挡墙, 空间小, 若采用机械施工支护桩非常困难。

(4) 基坑上部约 11 m 开挖边坡属永久性边坡, 应按永久性边坡挡墙考虑。

(5) 边坡顶部紧邻天然基础的公建(2层)或居民楼(7层), 对边坡变形的技术要求较高。

3 支护结构的比选

边坡支护条件及工程特点, 类似边坡工程一般, 首选采用桩+拉锚的支护方式。但是该工程主要受如下几方面原因, 不适合采用灌注桩的支护方式。

(1) 支护空间小, 可支护空间只有 1.0 m, 若采用灌注桩(口径约 0.9~1.0 m) 加腰梁(约 0.4 m), 需支护空间 1.4 m。支护空间无法满足要求, 地下室施工受影响。

(2) 由于支护桩紧贴原有块石挡墙底部, 且场地现状高差起伏较大, 若采用机械冲孔桩, 场地难于满足施工要求, 若采用人工挖孔桩, 紧贴挡墙底挖孔, 危险较大。

(3) 基坑底部已至碎裂状强风化花岗岩, 若采用机械冲孔桩, 桩端嵌岩困难, 施工速度慢, 冲孔时震动大, 对周边影响大, 若采用人工挖孔桩也需爆破, 周边条件不允许。

综上所述几点原因, 该边坡无法采用对边坡位移控制较好的刚性桩锚支护方式。

在排除桩锚刚性支护方式后, 在现有的支护技术条件下, 预应力锚杆柔性支护也许是适合该边坡的支护方式。

4 预应力锚杆柔性支护法的工作机理

预应力锚杆柔性支护体系由支护面层、锚下承载结构、排水系统及预应力锚杆组成, 其中预应力锚杆由众多小吨位预应力锚杆系统组成, 属于柔性支护体系。其支护原理是通过预应力锚杆将被加固区锚固于潜在滑移面以外的稳定岩土体中。锚杆的预应力通过锚下承载结构和支护面层传递给加固岩土体, 预应力在被加固岩土中产生压应力区, 大大减少了塑性区的范围, 延缓了潜在滑移面的形成和岩土体的破坏。这种对加固区岩土体主动的约束机制, 增加了基坑的稳定性, 同时有效地控制了基坑的变形。

5 预应力锚杆柔性支护法与土钉墙支护法的比较

从分类看, 一方面拉锚式支护结构包括桩锚支护

和墙锚支护, 属刚性支护体系; 土钉支护和预应力锚杆柔性支护为柔性支护体系。另一方面土钉支护属被动支护体系, 而拉锚式支护和预应力锚杆柔性支护为主动支护体系。从作用机理讲, 拉锚式支护结构主要为锚固机制, 土钉支护主要为加固机制^[2], 而预应力锚杆柔性支护为加固基础上的锚固机制, 它们有相似之处, 但也有不同点, 预应力锚杆支护比土钉墙支护有如下几方面优势。

(1) 边坡变形小 土钉支护只有当土体发生一定变形后才能被动受力, 随着开挖深度的加深, 坑壁的位移也不断加大; 而预应力锚杆柔性支护由于施加了预应力, 在土体中产生压应力, 减小了土体剪切变形, 同时锚固段内砂浆锚固体与岩土间的剪切变形以及锚杆的弹性变形也随着预应力的施加而相继发生。因此, 尽管基坑坑壁位移的形态两者相似(在地面处最大, 随深度的增加逐渐减小), 但是预应力锚杆支护的位移要比土钉支护的位移小得多。

(2) 施工期短 由于预应力锚杆柔性支护中单根锚杆的承载力要比单根土钉的承载力大, 锚杆的水平间距和竖向间距要比土钉的大, 对相同深度的基坑, 锚杆的层数要比土钉少, 需要分层循环施工的次数减少, 尤其浆体达到一定强度需要一定的时间。因此, 相对而言, 预应力锚杆柔性支护的工期较短。

(3) 支护的深度大 对两种支护方法边坡的极限深度做出估计是件困难的事情。由于预应力的存在, 预应力锚杆柔性支护的坑壁位移比土钉支护的位移要小得多, 特别是对坑壁位移有严格要求的区域, 预应力锚杆柔性支护的边坡可以做得深一些。另一方面, 由于预应力改变了土体单元的受力状态, 延缓了土体单元发生剪切破坏或主拉应力破坏的过程, 提高了坑壁的稳定性。因此, 从理论上讲, 预应力锚杆支护边坡的深度要大一些。

6 预应力锚杆柔性支护法的实践

以厦门大学博海园基坑边坡为例, 依据土层、支护条件、开挖深度, 经过计算, 该基坑边坡采用图 3 所示的支护。

(1) 对边坡顶部旧挡墙进行注浆加固处理, 提高旧挡墙整体性(见图4)。

(2) 锚头考虑永久性要求设置扩大头锚墩, 面板与锚墩采用无梁楼盖模型进行计算, 锚墩与面板间验算局部承压、抗冲切。

(3) 预应力锚索构造上增设 1Φ25 钢筋, 增强施工期间锚杆体的强度, 避免分层开挖时杆筋下垂, 方便施工, 同时增强杆体筋的防腐性能(见图 5)。

(4) 考虑上部为永久性边坡, 面层配双层双向钢筋网。

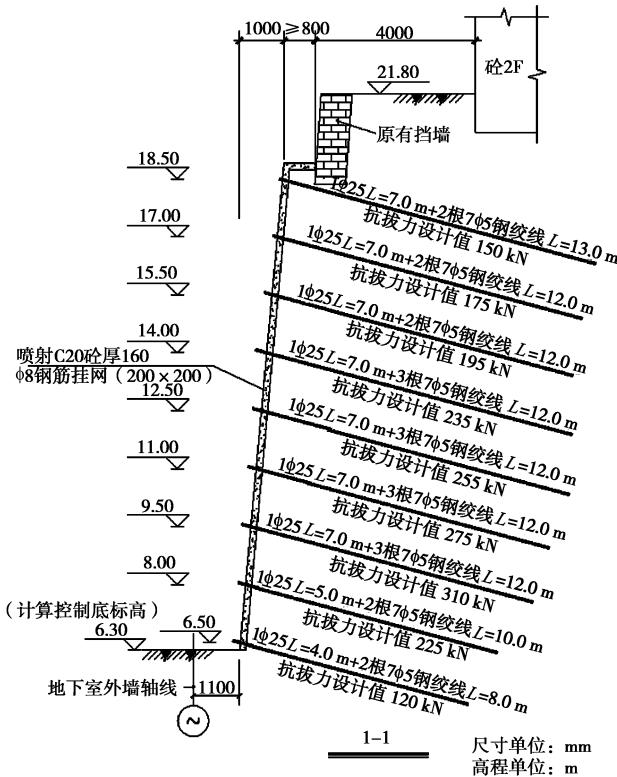


图3 支护剖面

Fig. 3 Supporting section

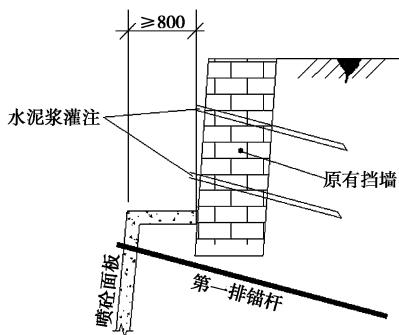


图4 旧挡土墙的加固

Fig. 4 Reinforcement of old retaining wall

(5) 动态限制边坡位移

施工顺序: 分层开挖→进行面层初喷→施工锚索→复喷→锚墩施工→一次锁定→进行下层开挖施工→上层支护锚索达设计强度的85%后进行二次锁定。

(6) 加强边坡及周边建筑物的水平位移、沉降的观测。

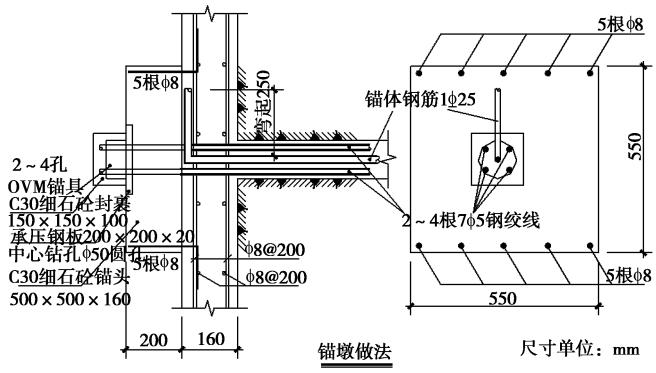


图5 锚头处理

Fig. 5 Treatment of anchor ends

7 结语

该工程边坡采用预应力锚杆柔性支护法, 其主要优点体现在: ①支护结构占用空间小; ②工程造价比桩锚低; ③施工速度快, 工期短; ④边坡变形小; ⑤施工简单, 安全性好。

该工程与普遍采用的预应力锚杆柔性支护方法有几点不同:

(1) 由于钢绞线较软, 为方便施工, 在杆体内增加1φ25钢筋, 增强杆体的刚度; 同时增强永久性锚杆的防腐性能。

(2) 由于永久性边坡的需要设置了扩大头锚墩, 锚墩与面板需验算局部承压、抗冲切, 此部分的计算按无梁楼盖的模型进行计算, 该计算方法有待进一步的理论研究与工程实测数据的验证。

(3) 该工程自建造完成至今已10 a时间, 目前状况良好, 说明预应力锚杆柔性支护法在该工程上的应用是成功的。当然, 如上所述, 锚墩与面板间如何计算、面板内力实测、优化设计、方便施工等方面有待我们进一步探索。

参考文献:

- [1] 余志成. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1977. (YU Zhi-cheng. Design and construction of deep foundation pit support[M]. Beijing: China Architecture and Building Pres, 1997. (in Chinese))
- [2] 贾金青, 郑卫锋. 预应力锚杆柔性支护法的研究与应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(11): 1257 - 1261. (JIA Jin-qing, ZHENG Wei-feng. Research and application on prestressed anchor flexible retaining method[J]. Chinese Engineering, 2005, 27(11): 1257 - 1261. (in Chinese))

(本文责编 明经平)