

# Application of Flexible Prestressed Anchor Cable Support Method in Deep Foundation Pit Permanent Slope Support

Jinhua Wang

China MCC 20 Group Co., Ltd., Shanghai, 201901, China

## Abstract

The flexible prestressed anchor cable support method is a new support technology for deep foundation pit support and slope treatment. From specific examples, this method has good advantages in economy, technology, safety and other aspects. Taking the foundation pit slope engineering of Xiangya No.5 Hospital in Hunan of China as an example, the project was designed by using the flexible prestressed anchor cable support method, and the slope displacement monitoring was carried out for a long time after completion. According to the monitoring data, the slope displacement and the settlement of surrounding structures are small, after 4 years of slope engineering, the slope is in good condition now, the application of the flexible prestressed anchor cable supporting method in permanent slope engineering is successful.

## Keywords

permanent slope; pull anchor support structure; flexible prestressed support

## 柔性预应力锚索支护法在深基坑永久性边坡支护的应用

王金华

中国二十冶集团有限公司, 中国·上海 201901

## 摘要

柔性预应力锚索支护法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。以中国湖南湘雅五医院基坑边坡工程为例,采用柔性预应力锚索支护法对该工程进行设计,并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4年,目前状况良好,柔性预应力锚索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; 柔性预应力支护

## 1 引言

基坑边坡支护的形式很多,具体工程中采用何种形式主要根据基坑开挖深度、基坑边坡岩土性质、基坑边坡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结构围护墙的支撑形式有内支撑、锚杆(索)、与主体结构相结合的基坑支护结构。

城市工程建设一般地处城市中心,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。论文利用中国湖南湘

雅五医院基坑边坡工程实践,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柔性预应力锚索支护形式。

柔性预应力锚索支护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。中国湖南湘雅五医院基坑边坡工程中采用柔性预应力锚索支护法进行设计,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4年,目前状况良好,柔性预应力锚索支护法在永久性边坡工程中的应用是成功的。

**【作者简介】**王金华(1971-),男,中国江苏通州人,本科学历,工程师,从事建筑工程工程技术及工程管理研究。

## 2 工程概况

### 2.1 基坑建筑设计要求

拟建湘雅五医院工程位于中国长沙市天心区果子园路与新谷路交汇处的东南角,工程东侧为仙姑岭森林公园。山体标高介于 68.00~74.30m。设计 ±0.00 标高为 61.30m,因此东侧山体 ±0.00 标高以上 13m 高边坡部分应作永久性边坡支护设计。

### 2.2 工程环境

工程地下室 3 层结构,基坑开挖底标高为 49.30m,东侧山体边坡开挖深度达 25.00m。基坑开挖底边线周长 1900m。基坑上口边线到工程山体用地红线距离 6m。

### 2.3 工程地质、水文地质条件

(1) 工程东侧是仙姑岭森林公园,工程基坑边坡自上而下地质结构为:

第一,地表植物土层约 0.5m 厚。

第二,粉质粘土④:局部含少量卵石,呈稍湿,硬塑状态,该层约 5.500m 厚。

第三,粉质粘土⑥:局部含少量强风化岩块,呈硬塑状态,该层约 1.10m 厚。

第四,强风化泥质粉砂岩⑦:紫红色,泥质、钙质胶结,大部分矿物已风化。遇水易软化,属极软岩,岩体基本质量等级为 V 类,该层约 2.20m 厚。

第五,中风化泥质粉砂岩⑧:紫红色,泥质、钙质胶结,中厚层状构造,遇水易软化,岩体较完整,岩体基本质量等级为 V 类。

(2) 设计采用的岩土参数见表 1。

(3) 场地地下水类型主要为上层滞水,上层滞水主要赋存于第四系土层中,分布不均匀,受大气降水和地表水补给,水量、水位均随季节而变化,未形成连续稳定水面。此外,场地内基岩裂隙中局部存在基岩裂隙水,未形成连续水面,

水量小且埋藏较深。

## 3 工程特点、难点

(1) 工程东面山体开挖边坡高度较高,高达 25m,边坡上层有 6m 深左右粉质粘土,土体结构松散,渗透性强,山体植被不能受破坏。

(2) 拟建地下室靠近边坡边线,地下室外墙距边坡只有 2.0m,扣除局部承台外挑及施工操作空间,可支护空间约 1.0m,非常狭小,无法采用放坡卸载方案。

(3) 基坑上部约 13m 开挖边坡属永久性边坡,应按永久性边坡挡墙考虑。

## 4 支护结构的比选

根据工程边坡支护条件及工程特点,常规优先选择地下连续墙 + 钢筋锚杆支护形式,但该工程主要受以下几方面原因,不适合采用钢筋锚杆支护方式。

(1) 支护空间小,边坡高差 25m,若采用地下连续墙 + 钢筋锚杆支护形式,地下连续墙一次性施工达不到这个深度,分阶梯完成空间无法满足要求,地下室施工受影响。选用旋挖桩基能为工程提供 30m 以上支护结构体。

(2) 工程该边坡地质条件,需要对该边坡土体提供一定的预压应力,才能保证土体不松散,边坡土体才能不产生滑动位移,钢筋锚杆支护形式提供预压应力不满足要求。

综上所述几点原因,在现有的支护技术条件下,采用旋挖桩 + 柔性预应力锚索支护也许是比较适合该边坡的支护形式。

## 5 柔性预应力锚索支护法的工作机理

柔性预应力锚索支护体系由支护面层、支护悬背结构体、锚下承载结构、排水系统及预应力锚索组成,其中预应力锚索由众多小吨位预应力锚索系统组成。其支护原理是通过灌注桩 + 冠梁、腰梁 + 预应力锚索将被加固区锚固于潜在滑移

表 1 岩土参数表

| 地层指标  | 天然重度 (kN/m <sup>3</sup> ) | 承载力特征 Fak (kPa) | 压缩模量 Es (MPa) | 抗剪强度        |            | 基底摩擦系数 μ | 锚杆极限粘结强度标准值 q <sub>sk</sub> (kpa) | 渗透系数 K(cm/s)           |
|-------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|------------|----------|-----------------------------------|------------------------|
|       |                           |                 |               | 凝聚力 C (kPa) | 内摩擦角 φ (度) |          |                                   |                        |
| 植物层②  | 19.4                      | 130             | *4.0          | *12         | *12        | /        | 30                                | 3.5 × 10 <sup>-6</sup> |
| 粉质粘土④ | 20.0                      | 280             | 8.5           | 35          | 21         | 0.30     | 70                                | 4 × 10 <sup>-6</sup>   |
| 粉质粘土⑥ | 19.8                      | 240             | 8.0           | 30          | 22         | 0.30     | 70                                | 5.5 × 10 <sup>-6</sup> |
| 强风化层  | 21.0                      | 400             | (80)          | 40          | 28         | 0.38     | 160                               | /                      |
| 中风化层  | 22.8                      | 2000            | /             | 100         | 35         | 0.45     | 400                               | /                      |

面以外的稳定岩土体中。锚索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体中产生压应力区，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。

### 6 柔性预应力锚索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，而拉锚式支护和柔性预应力锚索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，而柔性预应力锚索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，柔性预应力锚索支护比土钉墙支护有以下几方面优势。

#### 6.1 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；而柔性预应力锚杆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），但是预应力锚索支护的位移要比土钉支护的位移小得多。

#### 6.2 施工工期短

由于柔性预应力锚索支护中单根锚索的承载力要比单根土钉的承载力大，锚索的水平间距和竖向间距要比土钉的大，对相同深度的基坑，锚索的层数要比土钉少，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，柔性预应力锚索支护的工期较短<sup>[1]</sup>。

#### 6.3 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。一方面由于预应力的存在，柔性预应力锚索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，柔性预应力锚索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，预应力锚索支护边坡的深度要大得多<sup>[2]</sup>。

## 7 柔性预应力锚索支护法的实践

以湘雅五医院工程基坑东面山体边坡为例，依据土层、支护条件、开挖深度，经过计算，该基坑边坡采用图 1 所示的支护。

### 7.1 支护设计

基坑边坡 EG 支护段采用柔性预应力锚索支护，支护详见图 2、图 3。

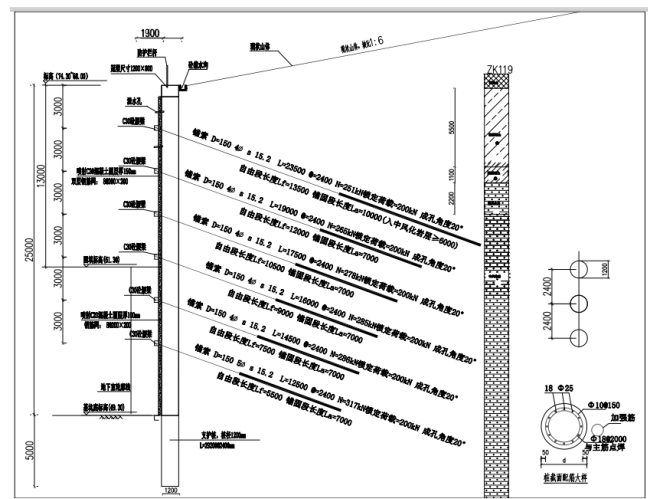


图 1 基坑边坡 EG 段柔性预应力锚索支护剖面图

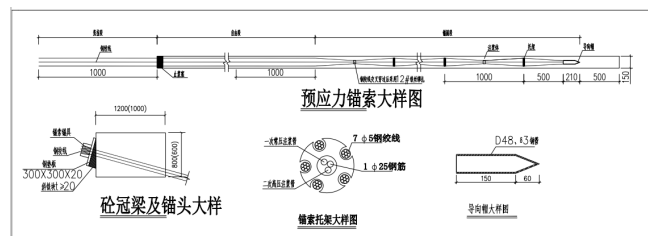


图 2 柔性预应力锚索详图

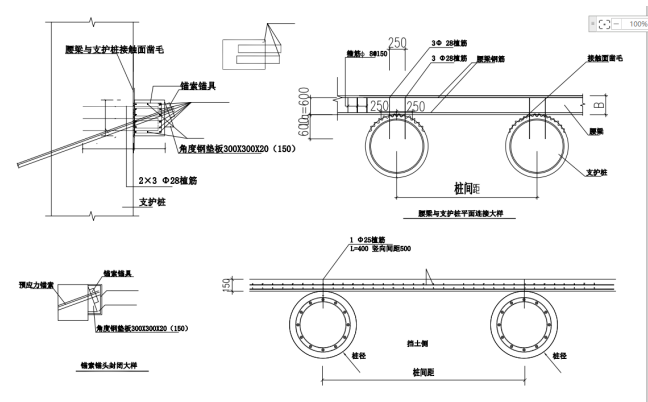


图 3 柔性预应力锚索锚固详图

## 7.2 边坡支护施工顺序

边坡支护施工顺序: 边坡开挖线及支护桩位放线、复核—变形观测点(含基准点)的设置—变形初始观测—桩施工—桩顶连梁施工—锚(杆)索、桩间土处理、腰梁施工—基坑施工—基坑土方回填—桩顶施工—土方回填至设计顶标高。施工过程中及竣工后一定时期内按要求进行变形观测工作。

## 7.3 柔性锚索施工及检测

(1) 锚索施工前应先查明坡顶建筑物基础位置及地下管线分布情况,以便施工中采用避让措施。

(2) 在预应力锚索正式施工前,按设计要求先进行锚索基本试验,即抗拔拉破坏试验。在基本试验锚孔施工完成后,在锚固浆体达到28d龄期且锚头混凝土强度达到80%后进行试验。

(3) 基本试验的目的在于验证设计采用的工作锚索的性质和性能、施工工艺、设计质量、设计合理性以及所提供的安全储备,同时考虑有关搬运、储存、安装和施工过程中物理破坏的能力。

(4) 预应力锚索采用钻孔干成孔工艺成孔,成孔直径150mm,钻孔前应根据设计要求定出孔位,孔位允许偏差为50mm,钻孔倾斜度允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

(5) 锚索锚固段应清污除锈,张拉段、自由段锚索应涂抹专用防腐油脂,并且外套 $\phi 22$ 聚乙烯塑料套管隔离防护。

(6) 预应力锚索采用强度为1860的15.2钢绞线制作,二次注浆工艺注浆,注浆材料为普硅42.5水泥,浆液为纯水泥浆,水灰比0.45~0.50。注浆应采用孔底注浆法,保证一次灌浆浆液不进入二次灌浆管内,空压机清孔后,第一次注入纯水泥浆至孔口冒浆,封堵孔口,注浆压力不宜小于0.6~0.8MPa,两小时后在锚固段二次高压注入纯水泥浆,二次注浆压力2.5~3.0MPa,二次注浆时间通过实验确定。

(7) 锚索应设置一定数量的锚索计对锚索轴力进行长期监测,锚杆锁定后10d内每天一次,10d后每10d一次,1个月后每月一次,以掌握锚索应力变化情况,数量不少于该

工点锚索孔数的5%,且不少于3孔。

(8) 预应力锚索在喷射混凝土达到设计强度80%后方可进行张拉锁定锚索,张拉顺序应考虑对边坡支护体系的影响,为避免相邻锚索张拉的应力损失,可采用“挑张法”,即隔一拉一的方法。

(9) 锚索采用千斤顶对锚头施加预应力,正式张拉前取张拉设计值的10%预张拉,使其各部位接触紧密、钢绞线完全平直。锚索设计施工张拉力为设计张拉力的60%。锚索张拉分五级进行,每级荷载分别为设计拉力的0.25、0.5、0.75、1.0、1.1倍,除最后一级需要稳定10~20min外,其余每级需要稳定5min,并分别记录每一级钢绞线的伸长量。在每一级稳定时间里必须测读锚头位移三次。当张拉到最后一级荷载且变形稳定后,卸载至锁定荷载锁定锚索。锚索锁定后,钢绞线预留不切除。

## 8 结语

该工程边坡采用柔性预应力锚索支护法,其主要优点体现在支护结构占用空间小;工程造价低;施工速度快,工期短;边坡变形小;施工简单,安全性好等方面。需要注意的是,由于钢绞线较软,为方便施工,在杆体内增加1 $\Phi 25$ 钢筋,增强杆体的刚度,同时增强永久性锚杆的防腐性能。但是,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与工程实测数据的验证。该工程自建造完成至今已4年时间,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] 罗基伟,张顶立,房倩,等. 超大跨度隧道预应力锚杆—锚索协同支护机理[J]. 中国铁道科学, 2020,41(05):71-82.
- [2] 黄珍龙. 预应力锚索与灌注桩支护在深基坑的应用[J]. 大科技, 2020(23):295-296.