

# 预应力锚索在基坑支护中的应用

丁正虎

德建建筑设计咨询(上海)有限公司 上海 200042

**【摘要】**文章结合北京地铁十号线二期工程首经贸大学站锚索支护体系的实际应用情况,介绍并分析了预应力锚索在明挖法地铁车站深基坑支护中的技术特点、原理、构造要点及施工工艺。此技术较好地解决了车站轨排井下料口对车站主体及围护结构的受力影响问题,保证了基坑及主体结构安全以及周边建筑安全,为后期轨道及设备安装提供了有利条件和安全保障。

**【关键词】**深基坑;预应力锚索;钢绞线;支护体系

随着我国城市基础建设的不断加速升级,地下铁路工程的建设规模也在不断增大,随之带来的是地下工程各项施工技术的探讨及应用,根据不同的工程地质情况选择不同的支护体系显得尤为重要,不同的支护体系将对工程成本、工期、安全性产生不同的影响,其中预应力锚索支撑体系在地铁车站主体围护结构中得到广泛的应用。

## 1 预应力锚索原理

锚索是通过外端固定于基坑内表面,另一端锚固在滑动面以内的稳定土体中穿过边坡滑动面的预应力钢绞线,直接在滑面上产生抗滑阻力,增大抗滑摩擦阻力,使结构面处于压紧状态,以提高边坡土体的整体性,从而在根本上改善岩体的力学性能,有效地控制土体的位移,促使其稳定,达到整治顺层、滑坡及危岩、危石的目的。

## 2 工程概况

### 2.1 设计概况

车站主体基坑通过的地层依次为人工堆积层,新近沉积层,第四纪晚更新世冲洪积层三大类,并按地层岩性及其工程地质力学性质进一步分为5个大层及若干亚层。

另外,根据钻探及人工探井资料,场地土层中7.0~25.0m之间普遍分布粒径大于200mm的漂石,分布随机性较强,一般粒径20~30cm,个别粒径大于30cm,最大约70cm,漂石含量约10%以上。

首经贸站西端从K40+390.409~K40+420.409设置4.5m×30m两个轨排井,支护采用两排预应力锚索加一道钢支撑,锚索设在每两根围护桩中间,锚索横向间距为1800mm,竖向间距为6921mm,共72根。锚索平面布置见《图1 支护结构平面布置图》和《图2 轨排井段剖面图》。

第一道锚索采用两根 $\phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线,长度19000mm,倾角为 $20^\circ$ 。

第二道锚索采用五根 $\phi 15.2\text{mm}$ 钢绞线,长度28000mm,倾角为 $15^\circ$ 。

锚具由锚环、夹片和承压板组成,围檩采用I45工字钢焊接而成。

锚索施工段的基坑南侧为首经贸大学大门处空地,此处无房屋、建筑物。北侧为万年花城小区18号楼,此处房屋采用箱型结构基础,房屋基础深10.5米,距离车站基坑

结构最小距离为28.3米。通过计算得第一道锚索端头水平距离万年花城房屋基础14.4米;第二道锚索端头水平距离万年花城房屋基础10.5米,锚索端头与房屋基础的垂直距离为3.7米(锚索在房屋基础下部)。故锚索施工过程中不影响万年花城18号楼箱型基础,锚索施工长度、锚固质量可以保证。

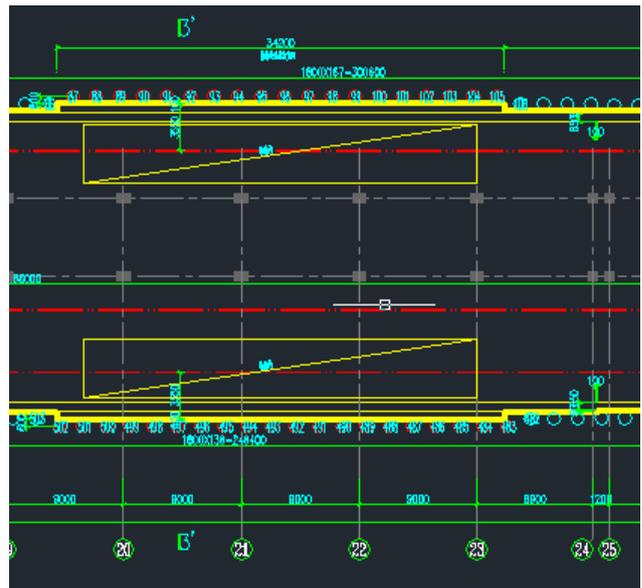


图1 支护结构平面布置图

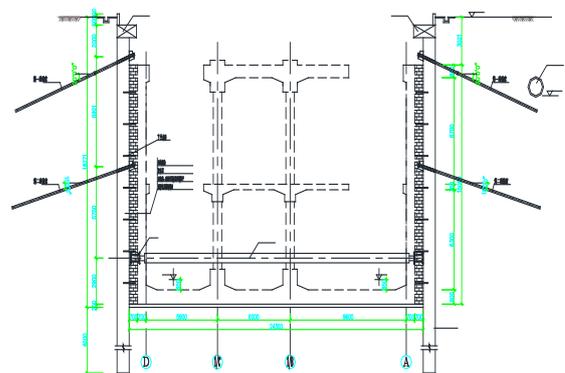


图2 轨排井段剖面图

### 2.2 预应力锚索构造

预应力锚索采用拉力集中型粘结式预应力锚索体系,锚索由锚固段、自由段和紧固头三部分构成,紧固头由腰

梁、钢垫板和锚具组成。锚索长度包括锚固段  $L_m$ 、自由段  $L_f$ 、张拉段  $L_1$  三部分 (见表 1)。

表 1 锚索简表

锚索类别	竖向倾角	锚索长度 (m)				设计轴力	锁定荷载
		L	L1	Lf	Lm		
第一道锚索	20°	19	1.5	10	7.5	251KN	200KN
第二道锚索	15°	28	1.5	6.5	20	754KN	603KN

各锚索均为一桩一锚，锚索采用 1X7 标准型钢绞线 (fptk=1860MPa), 公称直径 15.2mm。

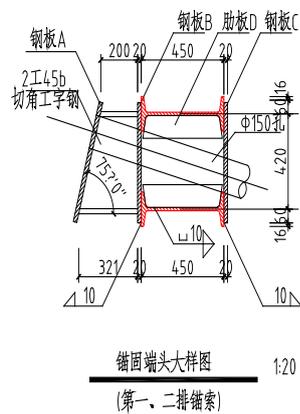


图 3 锚索锚固段头大样图

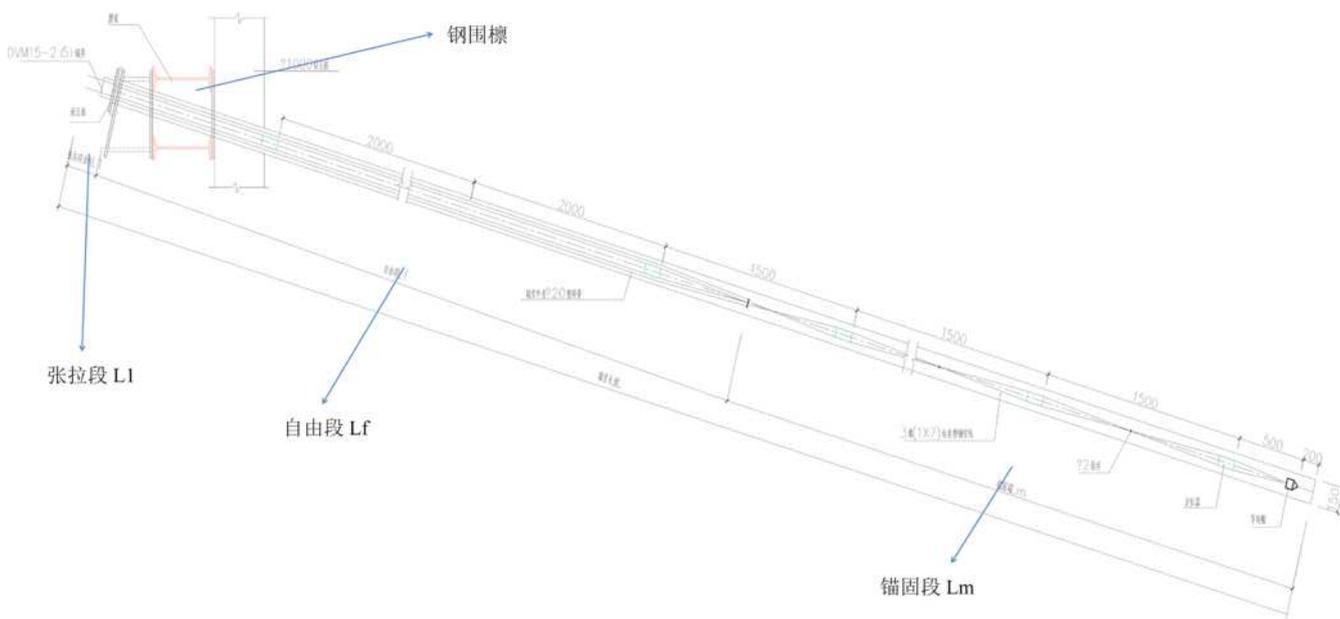


图 4 锚索详图

### 3 工艺流程

工艺流程详见图5 锚索施工流程图。

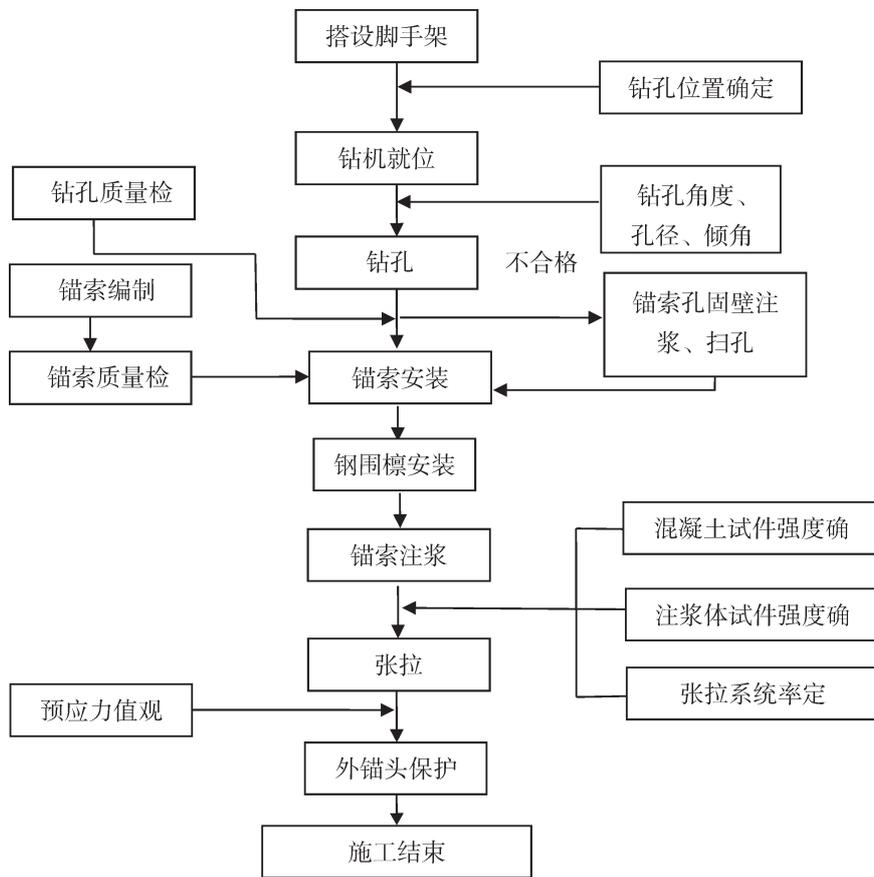


图5 锚索施工流程图

### 4 锚索的制作安装

#### 4.1 轨排井段开挖

轨排井段开挖采用30m分层开挖，第一次开挖到第一排锚索孔位标高下1m时，停止开挖，进行第一排锚索支护施工。第二次开挖到第二排锚索孔位标高下1m时，停止开挖，进行第二排锚索支护施工。第三次6m一段分段开挖到钢支撑开挖面时，设置钢支撑。第四次开挖挖到基坑基底。

#### 4.2 钻孔



(1) 由于孔底标高在砂卵石地层中，锚索钻孔采用

潜孔钻机风动冲击回转钻进工艺造孔。采用全站仪结合控制点坐标确定开孔位置，地质罗盘和倾角仪分别校正方位角和倾角。开孔后，给水回转钻进，送泥浆清出残渣。当钻至预定深度后，要检验孔底的岩芯残留，保证清孔质量降低沉渣。在成孔过程中，若出现泥浆漏失或涌水现象，必须用跟管钻进方法进行处理，直至上述现象消失为止。

(2) 钻机钻进前在孔口埋设2米长Φ200钢套筒，钢套筒按照锚索打设角度设置。开孔时应严格控制钻具的倾角及方位角，当钻进20cm-30cm后应校核角度，在钻进中及时测量孔斜并及时纠偏，锚索水平方向孔距误差不应大于0.05m，垂直方向孔距误差不应大于0.1m；钻孔底部偏斜误差不应大于1°，孔深不应小于设计长度。钻孔测斜采用CX1型钻孔型测斜仪，钻孔结束后将孔内残留的废渣和积水冲洗干净。

#### 4.3 锚索的制作与安装

(1) 锚索的预应力钢绞线均采用符合ASTMA416-90a标准1860MPa的φ15.2mm高强度低松弛无粘结钢绞线。

(2) 设计长度相同的锚索，其钢绞线下料长度应相同，其长度误差不应大于±10mm，下料采用切割机，并彻底清洗钢绞线。

(3) 沿锚索长度方向安设隔离架，隔离架间距为2m，其间距允许偏差5cm；编束时，每根钢绞线必须平顺，

不得发生扭曲、交叉和钢绞线污染、锈蚀现象。

(4) 锚索入孔前重新对钻孔进行检查,并将孔内沉渣清理干净。锚索入孔时用力要均匀一致,不得转动锚索体,随时检查隔离架及绑扎丝,发现有移动、损坏、脱落等要及时处理,必要时更换重新编制。



(5) 注浆管随锚体一起放入钻孔,注浆管距孔底5-10cm,锚体放入角度与钻孔角度一致。锚体放入孔中长度不小于锚索长度的95%。将锚索体推送至预定深度后检查排气管和注浆管是否畅通。

#### 4.4 钢围檩的安装

钢围檩安装前,以C20细石混凝土填平桩间凹槽,保证钢围檩与围护桩密切接触。按设计施工图的布置间距,在围护桩结构上定出支撑中心点位,以中心的水平线为基准,准确画出支撑牛腿的位置,定出螺栓点位,在螺栓点位上使用手持电钻在围护桩上钻眼,打入膨胀螺栓。安装三角托架及斜拉筋上部固定角钢,紧靠桩身吊装钢围檩,放置在三角架上,最后安装斜拉筋并拉紧。



#### 4.5 注浆

锚索安装到位后,即进行全孔一次性注浆。灌浆管设置2根 $\phi 20\text{mm}$ PVC管作为进、出浆管。注浆采用水灰比

为0.38~0.45水泥砂浆,强度不低于设计值M30,注浆压力为0.5MPa,为确保施工安全,不影响开挖施工进度,在浆液中掺入适量对锚索无害的早强剂,实施前先进行试验验证。砂浆在初凝前用完,并严防石块、杂物掉入浆液,孔口溢出浆液或排气管停止排气时,可停止注浆。注浆时宜适当加强注浆压力,使浆体饱满,并与地层密贴。

#### 4.6 锚索张拉

按设计要求,当锚固体强度达到设计强度值的80%,即24MPa,并且混凝土腰梁的承载强度达到80%以上时,方可进行张拉施工。根据不同的锚固荷载,分别采用YCW-250型和YCW-400B型千斤顶配合ZB4-500型高压电动油泵整体张拉。张拉设计轴力及锁定荷载见表2。

表2 锚索张拉及锁定荷载表

锚索类别	竖向倾角	锚索长度(m)				设计轴力	锁定荷载
		L	L1	Lf	Lm		
第一道锚索	20°	19	1.5	10	7.5	251KN	200KN
第二道锚索	15°	28	1.5	6.5	20	754KN	603KN

各锚索均为一桩一锚,锚索采用1X7标准型钢绞线( $f_{ptk}=1860\text{MPa}$ ),公称直径15.2mm。

张拉作业在锚固体达到80%设计强度后进行。张拉前对张拉设备进行标定,作为张拉的依据,并在正式张拉前用10%或20%的设计拉力进行张拉,以便锚索各部位接触紧密,索体完全顺直。锚体张拉,分两次进行,第一次张拉按五级张拉(即设计吨位的25%、50%、75%、100%、110%),前四级稳定时间为6分钟,后一级为30分钟,然后进行锁定,锁定轴力为锚索设计轴力的80%,第一次张拉后6~10天根据监测信息,如预应力明显损失的,需再进行一次补偿张拉,以便补偿锚索的松弛和地层的蠕变等因素造成的预应力损失,锚索张拉时,对地表面加强观测,以免土体胀起。张拉完成锚索锁定。

#### 5 锚索施工质量控制要点

- (1) 钢绞线、张拉设备及锚具等均需有出厂合格证,钢绞线进场后需进行力学性能试验;
- (2) 孔位、孔深、孔径和孔斜等均需符合设计及规范要求;
- (3) 锚固段的固结灌浆严格按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL62-94)要求进行;
- (4) 剥除锚索内锚固段的塑料套管,钢绞线表面油脂清洗洁净,彼此平行伸直不扭曲。钢绞线必须采用切割机下料,严禁使用电弧或乙炔焰切割,雷雨时不应进行室外作业;
- (5) 锚孔注浆从通至孔底的PVC注浆管开始,确保注浆密实,灌浆记录要求准确、完整、清晰;
- (6) 承压钢板孔道中心线与锚孔轴线重合;
- (7) 分级均匀施加张拉荷载,并控制加载速率,张拉设备必须配套标定并绘制相关曲线;

(8) 按锚索总数的5%随机进行抽样验收试验,合格标准按应力控制为:实测值不大于设计值的5%,或不小于设计值的3%。

### 5.1 锚索施工质量保证措施

(1) 测量人员在现场施工部位标明锚索开孔位置,根据规范及设计要求孔位偏差不得大于5cm;搭建钻机平台要求稳固牢靠,钻机倾角及方位角要进行严格校验,在钻孔施工过程中要求加强钻机的导向作用,及时检测孔斜误差,孔轴偏差不得大于孔深的2%,合理采用纠偏措施,并做好施工记录。终孔孔深宜大于设计孔深40cm,终孔孔径不得小于设计孔径为10mm。

(2) 锚索钢绞线进场后,按规范要求抽检进行破坏性试验。每根钢绞线下料长度可按以下公式进行控制:钢绞线下料长度=锚固段+自由段+预留。剥除锚固段塑料套管后钢绞线上的油脂、污渍必须用棉纱擦洗干净,要求表面乌亮,手感滑腻无涩滞感。沿锚索长度方向均安设隔离架,隔离架间距为2m,误差不得大于50mm,相邻两隔离架之间安设束线环(绑扎丝)对锚索进行绑扎固定。隔离架需能使锚索入孔后周围有足够的保护层,钢绞线彼此平行伸直不扭曲。锚索编制完成后要编号,分类存放在专用场地并加以保护。

(3) 锚索入孔前重新对钻孔进行检查,对孔内集渣清理干净。在监理工程师检查验收前,不得将锚索装入锚索孔内。锚索入孔时用力要均匀一致,不得转动锚索体,随时检查隔离架及绑扎丝,发现有移动、损坏、脱落等要及时处理,必要时更换重新编制,并确保将锚索体推送至预定深度后排气和注浆管畅通。孔外露钢绞线要满足设计要求。

(4) 锚固段固结灌浆按规范(SL62-94)进行,采用水灰比为0.38~0.45水泥浆液进行纯压式灌浆,进浆管伸至孔底,按设计锚固段长度要求在孔中设置止浆塞封闭。止浆塞有良好的膨胀性和耐压性能,在灌浆过程中不得产生滑移和串浆现象。灌浆泵和灌浆孔口均安有压力表,灌浆压力需符合设计要求,并做好详细的灌浆记录。

(5) 承压钢板要求牢固地钢腰梁上,且其预留孔的中心位置与锚孔轴线一致,承压钢板与套筒必须正交,误差不得大于0.5°,几何尺寸满足设计要求,表面平整。

(6) 锚体张拉,分两次进行,第一次张拉按五级张拉(即设计吨位的25%、50%、75%、100%、110%),前四级稳定为6分钟,后一级为30分钟,然后进行锁定,锁定轴力为锚索设计轴力的80%,第一次张拉后6~10天根据监测信息,如预应力明显损失的,需再进行一次补偿张拉,以便补偿锚索的松弛和地层的蠕变等因素造成的预应力损失。

(7) 锚索施工完成后,要求钢绞线在锚具外的外露

长度不大于2cm,多余部分予以切除,外露部分钢绞线用混凝土进行封锚保护。

(8) 锚索质量检查标准见下表3

表3 锚索质量检查允许误差

序号	检查项目	允许偏差	检查数量	检查方法
1	锚索位置	±50mm	每孔	全站仪测, 尺量
2	钻孔倾斜度	±1°	每孔	测钻机倾角
3	钻孔深度	±50mm	每孔	尺量
4	钢绞线下料长度	±10mm	每根	尺量
5	隔离架间距	±50mm	每根	尺量

### 5.2 安全措施

(1) 施工前进行技术安全交底,施工中应明确分工,统一指挥。

(2) 各种机械机具应处于完好可靠状态。

(3) 上岗前要做好安全检查工作,由班组长负责,责任到人,互相监督,施工人员进入现场应戴好安全帽,操作人员应精力集中,遵守有关安全操作规程。

(4) 机械、电器设备应专人操作。

(5) 电(气)焊操作工应有操作证。

(6) 边坡加固工程钻孔通常是在脚手架上作业的,为确保脚手架绝对安全稳定,采用双排方式,间距1.2-1.3m,重力集中处增加斜向及横向支撑,并设置短桩柱,将脚手架锚固在稳定的岩壁上。

(7) 高空作业应设安全防护设施,在既有线附近作业,应设行车安全防护。

(8) 风动钻机管路连接应牢靠,避免脱开甩出伤人。

(9) 切割钢绞线使用的砂轮切割机要设安全护罩,以免断片伤人。

(10) 注浆管路应畅通,不得有堵塞现象,避免浆液突然喷出伤人,注浆管路不使用时要及时注压清水冲洗干净。

### 6 结束语

预应力锚索支护体系在地铁车站主体围护结构中得到广泛的实践应用,此技术在保证结构安全的前提下节约了一定的支护成本,并在一定程度上加快了施工进度,值得进一步推广引用;当然,预应力锚索技术也面临一些挑战,首先,其受地质条件的复杂性、围护结构的强度、整体稳定性和变形的影响较大,因此必须从设计与施工两方面着手,合理地选定锚固形式和锚索类型;其次,由于预应力锚索支撑体系具有隐蔽性,且预应力锚索的施工工艺还处于探索中,预应力锚索加固机理、锚固体系与土体的相互作用需进一步研究,因此必须制订合理有效的施工方案,才有助于提高锚索在支护体系中的作用价值及施工安全。

### 【参考文献】

- [1] 劳毅雄. 结合实践谈深基坑工程施工技术[J]. 广东科技, 2007(11).
- [2] 唐中海. 分析建筑工程施工中深基坑支护的施工技术[J]. 建材与装饰, 2017(27).