

# 装配式预应力锚索框架结构设计及施工关键技术

武仁文

(广西益建工程建设监理有限责任公司, 广西 防城港 538000)

**摘要** 装配式预应力锚索框架结构作为一种新型边坡加固结构,在复杂地形边坡加固施工中起到了至关重要的作用。相比于现浇梁,预制梁具有安全系数高、梁体变形小、受力结构稳定等优势,可极大提升公路施工的边坡防护。基于此,本文首先对预应力锚索结构的定义、特点及受力展开分析,基于前人研究理论,在遵循《预应力混凝土结构设计规范》等相关规范的基础上,阐述了装配式预应力锚索框架结构的设计方法和施工关键技术,最后将其应用在实际公路施工案例中,证实本文研究结果可为复杂地形边坡加固提供解决方案,以期为促进公路施工边坡防护工作的开展提供借鉴。

**关键词** 装配式锚索框架结构;设计方法;施工工艺

**中图分类号**: TU318

**文献标识码**: A

**文章编号**: 1007-0745(2023)02-0007-03

装配式预应力锚索框架结构是近年来新兴的一类边坡防护技术,相比于传统锚索框架结构,该结构具有高机械化、高防护性、受力稳定等独特优势,可极大缩短边坡支护工程施工工期,提升边坡防护技术水平。当前,国内外有关装配式预应力锚索结构的研究较为深入,但在设计方法、施工关键技术等方面仍存在一定缺陷。预制梁、现浇梁的受力模式存在较大差异,为此需要针对装配式预应力锚索框架结构特点及受力情况展开分析。此外,在装配式预应力锚索框架结构施工关键技术等方面尚未形成一个完整的系统理论,对此还需开展深入研究。基于此,本文对装配式预应力锚索框架结构设计及施工关键技术展开研究。

## 1 预应力锚索框架结构概述

将平面框架、预应力锚索两种构件按照特定方式组合装配在一起,利用锚索、框架和边坡的岩石、土体形成支护结构,以锚索、框架、岩石土体间的相互作用共同承受滑坡推力,共同应对由边坡卸荷松弛所产生的岩石压力,促使边坡处于稳定状态,此种结构即为预应力锚索框架结构。20世纪90年代,预应力锚索框架结构被提出并持续推广应用。当前,此种结构已被广泛应用在公路、铁路等边坡防护施工,可有效整治斜坡类自然灾害<sup>[1]</sup>。

## 2 装配式预应力锚索框架结构特点及受力分析

### 2.1 结构特点

预应力锚索框架结构的主要特点表现在八个方面:第一,预应力锚索、框架、边坡岩石土体之间的相互

作用可形成支挡结构。预应力锚索为柔性受力杆,可承受拉力但无法承受压力,可将已经变形、滑坡的岩石、土体看作受压杆,在此种坡面利用特定强度的框架结构,可形成一个完整的受力体系,共同阻抗边坡下滑力<sup>[2]</sup>。第二,此种结构体系可充分利用岩石、土体强度。基于框架转换作用,可将边坡推力转化为拉力,在预应力锚索作用下可起到稳定地形作用。第三,此种结构体系易于同各类抗滑支挡结构组合应用。换句话说,预应力锚索框架即可单独使用,又可同其他结构何用。第四,此结构体系使用位置较为灵活,可不受地形等条件限制。第五,可有效改善边坡岩石、土体的受力状态。第六,可减少边坡开挖量,进而降低边坡开挖高度,减少边坡防护工程对自然斜坡的破坏。第七,该结构体系可同多种植被防护体系共同应用,可同施工周围环境融为一体。第八,该结构体系具有施工简易,施工风险低,施工速度快、成本低等特点<sup>[3]</sup>。

### 2.2 受力分析

基于预应力锚索框架结构特点,针对装配式预应力锚索框架结构的受力特征展开深入分析,进一步明确此种结构同现浇式锚索框架结构的受力区别,具体如下:

在锚固阶段,现浇式锚索框架结构的梁体受弯矩作用为:上部承受压力,下部承受拉力。与之相反,在预应力施加阶段,装配式锚索框架结构在预应力的作用下会促使梁体受压,同时基于预应力偏心作用,促使梁体弯矩,其弯矩作用为:上部承受拉力,下部

承受压力。在此过程中,预制梁始终处于压弯状态下,整体变现为向上方隆起。预制梁在锚固阶段,由于受到锚固力作用,促使预制梁弯矩向下隆起,此时弯矩的隆起方向同预应力施加阶段的隆起方向相反。预应力可以消除由于部分锚杆引起的梁体弯矩,促使预制梁承受的拉应力大幅减小,使梁体承载能力和抗裂性得到改善<sup>[4]</sup>。

### 3 装配式预应力锚索框架结构设计方法

#### 3.1 设计流程

装配式预应力框架梁是一种单独预制构件,每一块预制梁仅能承受一个锚固力的载荷作用,利用锚索可将拉力转化为集中力,并将其作用预制梁的中心位置,促使预制梁可承受坡体的反作用力。在此种受力原理及装配式预应力锚索框架结构受力特征的基础上,本文基于前人研究理论,在遵循《预应力混凝土结构设计规范》JGJ 369-2016等相关规范的基础上<sup>[5]</sup>,依据二级抗裂构件要求,开展裂缝控制。在预应力十字梁中,混凝土的拉伸强度不超过规定中的混凝土极限承载能力,采用规范方法对装配式预应力锚索框架结构截面、配筋及相应结构进行了设计,具体设计流程为:

确定滑坡面及岩石、土体参数→计算滑坡推力、锚索锚固力→初步拟定预制梁形式、尺寸→计算梁体承受弯矩、剪力、变形→依据抗裂要求、承载力要求设计钢筋、非钢筋位置及数量→计算预应力损失、有效预应力→承载方基状态、施工阶段、使用阶段验算→满足验算要求→完成结构设计。

根据上述设计流程,可将装配式预应力锚索框架结构的设计过程分为三个阶段:

阶段一:预制梁内力、变形计算。本文基于预制梁特点,基于Timoshenko梁理论,在充分考虑梁体配筋、预应力作用的前提下,可计算预制梁承受弯矩、剪力、变形,可为梁体预应力、非预应力钢筋设计提供计算方法及理论依据。

阶段二:基于抗裂要求、承载力要求的预应力、非预应力钢筋位置及数量设计。需要依据抗裂要求设计预应力钢筋的具体应用位置,明确其应用数量。需要依据装配式预制梁的抗弯要求、承载力要求设计非预应力钢筋的具体位置,明确其应用数量。

阶段三:预制梁承载力验算、变形验算。基于预应力损失、钢筋有效应力计算结果,需要验算预制梁承载力极限,正常使用状态下的承载极限以及变形状态。同时还需要对预应力张力、拉力,吊装阶段预制梁整个梁体的受力、变形情况加以验算。若验算结果

无法通过,应回到流程中的第三步,重新拟定预制梁形式、尺寸,重新开展结构与计算。

#### 3.2 应用实例

选取A高速公路向K25+580-K25+5690段,一侧边坡作为实际应用案例,二级坡在应用预制十字梁(规格:5.5m×2.9m)后开展张法施工,具体参数为:

纵横梁中心厚度(t)=600mm

梁端部厚度(t)=400mm

截面宽度(b)=400mm

设计锚固力(F)=400kN

基于Timoshenko梁理论的计算公式,在设计锚固力基础上计算纵梁分配锚固力,即275kN,得出纵梁最大弯矩=183kN·m,纵梁最大剪力=147kN。横梁锚固力,即125kN,得出横梁最大弯矩=44kN·m,横梁最大剪力=62kN。所选择的混凝土强度等级为C40,预应力钢筋为 $\phi^*15.2$ 。根据上文中提及的装配式预应力锚索框架结构设计流程,依据抗裂性要求设计预制梁。

### 4 装配式预应力锚索框架结构的施工关键技术

#### 4.1 施工工艺流程

待装配式预应力锚索框架结构设计方法明确后,进一步分析其所应用的施工关键技术,具体施工工艺流程:预制场地选择、模板加工→安装→混凝土浇筑→梁体预应力张拉、封墙→预制构件吊装→坡面锚索多次张拉→背衬注浆找平→锚索封墙。

#### 4.2 预制梁制作

先张法、后张法是预制梁常用的制作功法。先张法具有用料少这一优势,但此种方法具有极高的模具要求,具有较慢的模具周转效率,同时使用先张法制作预制梁具有制作周期长、效率低、成品获得速度慢等缺陷。后张法具有模具周转快、制作周期短、效率高优势,但也存在用料多这一缺陷。在后张法使用过程中,可选择两种混凝土结构,即有黏结混凝土、无黏结混凝土,利用无黏结预应力混凝土可持续简化施工工艺流程。基于上述分析,在明确两种预制梁制作方法优缺点的前提下,出于成本、效率等多方面考虑,本文在预制梁制作过程中选择应用后张法。具体施工方法如下:

##### 4.2.1 预制梁支模

为了确保工程进度和与预制梁的美观,采取了砖砌底模、成型侧模组合的施工方法,在钢筋混凝土强度大于2.5MPa时,拆掉并移除侧膜,以增加模板利用率。按照图纸进行侧模制作,为了保证工作的顺利进行,模板使用手工可拆卸的铝合金模具。底部模具由红色

瓷砖砌成,具体规格为 240mm×150mm×115mm,随后利用砂浆抹平。

#### 4.2.2 梁体预应力张拉与封锚

钢束张拉利用张拉力、伸长值双控方法。首先将钢束张拉至设计张拉力值的 10%,记录一次伸长值。其次,再次将钢束张拉至设计张拉力值的 20%,再次记录一次伸长值,最后将钢束张拉至设计应力,记录最终伸长值。待钢束张拉至设计应力时,需要测量两端的引伸量,得出两端引伸量相加后的数值,此数值最终结果需同设计引伸量保持一致,误差许可范围为 ±6%<sup>[6]</sup>。

在封锚之前,要切断钢丝绞线,切断时必须采用磨削设备,禁止采用电弧焊割,钢丝线切断点与锚杆外侧端部不应少于 30mm。在切断钢丝绞线后,要进行锚穴凿毛,凿毛面积不得少于 90%,深度不得低于 5mm,不能有灰泥。封锚砼必须捣实、及时抹面、压光、补水、保温并在养护完成后进行防水处理,可在锚槽外面涂上防水涂料。

#### 4.3 预制梁吊装

##### 4.3.1 吊点选择

预制十字梁在横梁两点吊装过程中,在纵向梁自重和预应力作用下会引起较大负弯矩,为此,本文经过周密的计算后,选择纵梁两点吊装施工工艺。预制一字梁同样采用两点吊装施工工艺,应将梁端、锚固点的中线位置设定为吊装点位。

##### 4.3.2 确定初始锚固力

在预应力预制梁的安装过程中,首先要确定预应力锚固力,以确保预应力预制梁能够在斜坡上直接进行加固。本文所选取的 A 高速公路向 K25+580-K25+5690 一侧坡体岩石层为中风化板岩石层,相关参数为:

预制梁、岩体摩擦系数 =0.35

坡率为 1:0.75-1:1.00

锚固角度 =25°

梁体规格 =5.5m×2.9m

自重 =49kN

经计算后得出,在其余参数不变的前提下,1:1.00 坡率条件下,预应力预制梁的初始锚固力需要 ≥ 103.5kN,1:0.75 坡率条件下,预应力预制梁的初始锚固力需要 ≥ 192kN。

#### 4.4 预制件背衬找平

为确保预应力预制梁结构同 A 高速公路向 K25+580-K25+5690 一侧坡面紧密结合,在预制梁与坡面裂缝的封堵上,需要采用膨润土混合水泥封堵方法。在

3d-4d 后开展背衬灌浆施工。

基于本文所选取的施工项目特点,在预制梁背衬灌浆方式选择上以重力式为主,需准备的材料为水、水泥、水玻璃、膨胀剂,每种材料的比例应为 12:20:3:0.7。将调配好的浆液顺着预制件预留注浆孔注入,在整个灌浆过程中需要观察预制件作为是否存在漏浆等问题。若发生漏浆,应立即停止灌浆操作并辅以封堵处理。待预制件背衬找平施工完毕后,应开展坡面锚索张拉、封锚等施工操作,以此来确保预制件背衬施工的密实性。

基于上述施工关键技术,141 片预制梁的吊装时间被控制在 2.5d 以内,采用 4 名工人同时施工。预制件背衬找平时间控制在 3.0d 以内,同样应用了 4 名施工工人。与现浇梁相比,上述施工工艺可极大提高预制梁的制作效率,降低预制梁人工成本。

## 5 结语

基于装配式预应力锚索框架结构的受力特征,本文提出了较为详尽的装配式预应力锚索框架结构设计方法及流程,将此种设计流程应用在 A 高速公路向 K25+580-K25+5690 一侧坡面防护施工中取得了较为显著的施工效果。同时,本文依托于 A 高速公路向 K25+580-K25+5690 一侧坡面防护施工项目,提出了完整的基于装配式预应力锚索框架结构施工工艺,认为预制梁制作、预制梁吊装、预制件背衬找平是整个施工工艺中的关键技术。

## 参考文献:

- [1] 刘少龙,赵一波,赵剑峰,等.装配式框架预应力锚索支护结构及其承载特性[J].水利与建筑工程学报,2022,20(06):149-154,187.
- [2] 郭楠,陆发,杨校辉,等.装配式框架预应力锚索支护结构承载特性及装配式框架计算方法研究[J].岩土工程学报,2022,44(S1):254-258.
- [3] 裴艳.预制装配式柱板组合挡墙施工工法[J].价值工程,2022,41(20):83-85.
- [4] 魏少伟,蔡德钧,姚建平,等.装配式预应力锚索框架结构设计及施工关键技术[J].铁道建筑,2022,62(02):15-24.
- [5] 曹以灿,陈培冲,徐光波.装配式锚索格梁护坡结构设计技术研究[J].中国勘察设计,2020(05):94-97.
- [6] 张清林,公茂文.装配式可回收预应力锚索设计[J].工程建设与设计,2018(17):53-55.