

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.06.003

# 装配式边坡防护在京雄城际铁路中的应用

宋向荣

(中交二航局第四工程有限公司, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**边坡防护是基坑放坡法开挖的关键环节,传统的边坡防护多采用混凝土喷锚或喷锚或土钉墙与喷锚结合的防护方式。但这种边坡防护方式具有施工量大、环境污染较明显等缺陷。为了优化边坡防护形式,该文以京雄铁路机场2号线明挖隧道边坡工程为依托,探索了一种绿色装配式边坡防护形式。通过理论研究、试验总结与现场跟踪相结合的方法,对这种新型防护结构的合理结构形式、施工关键技术及质量控制要点进行了研究与总结。建立了这种防护形式的合理锚固结构,施工关键技术,并制定了其质量控制要点与质量指标。研究表明:这种防护方式具有施工便捷、质量可控、环境污染小等优势,可作为传统混凝土喷锚防护的替代产品。

**关键词:** 边坡防护; 装配式; 土钉墙; 施工工艺; 质量控制

近年来,装配化理念在建筑领域得到大范围推广,将工艺中的固定设备、结构进行标准化,可以大幅度地提高生产效率、质量,具有显著的经济性。基坑支护的装配化也有研究和探索,例如采用十字形装配式基坑支护结构、现浇加装配式连拱内撑的结构等。在相似地质条件下开挖的标准断面,采用的支护结构相似性程度较高,为装配式方法的应用提供了较好的基础,然而目前缺乏针对该类型工程的研究。以标准化设计降

低施工难度,提高施工的精准程度,有利于开展边坡的稳定性控制,防护构件的工厂化生产,也能够减少对环境的扰动。该文以京雄铁路机场2号线为工程背景,开展装配式边坡防护技术研究。主要采用绿色的、可回收的装配式土钉墙,取代传统土钉墙开展支护,以此为基础开发支护形式、配套工艺措施以及相关质量标准体系等,取得了较好的应用效果。

- \*\*\*\*\*
- [4] 杨峰. 基于线形风险指数的高速公路线形风险评估方法研究[J]. 公路交通科技, 2017(6).
- [5] 范振宇, 张剑飞. 公路运行车速测算模型的研究和标定[J]. 中国公路学报, 2002(1).
- [6] 胡浩林, 刘毅超. 基于运行速度的高速公路安全性评价研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2016(4).
- [7] 杨少伟, 许金良, 杨宏志. 考虑平、纵、横三方面关系的横向加速度变化率[J]. 中国公路学报, 1999(4).
- [8] YANG Shao-wei, XU Jin-liang, YANG Hong-zhi. Lateral Change of Acceleration According to the Relationship of the Horizontal, Vertical and Lateral Geometry of Highway[J]. China Journal of Highway and Transport, 1999(4): 15-19.
- [9] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.
- [10] 高振海, 管欣, 李谦, 等. 基于预瞄跟随理论的驾驶员跟

- 随汽车目标速度的控制模型[J]. 吉林工业大学学报(工学版), 2002(1).
- [11] GAO Zheng-hai, GUAN Xin, LI Qian, et al. Control Model of Driver Following Vehicle Target Speed Based on Preview Follower Theory[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2002(1): 1-5.
- [12] JianyongCao, HuiLu, KonghuiGuo, et al. A Driver Modeling Based on the Preview-Follower Theory and the Jerky Dynamics[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013.
- [13] 陈天幸. 基于加速度的公路线形连续性评价研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [14] 高建平, 郭忠印. 基于运行车速的公路线形设计质量评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004(7).
- [15] 符铎砂, 何石坚, 鲁岳, 等. 公路线形评价方法的工程实用性探讨[J]. 中外公路, 2018(1).

收稿日期: 2020-07-14

作者简介: 宋向荣, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: 877933948@qq.com

## 1 依托工程概况

新建京雄城际铁路机场 2 号线工程北起北京大兴机场地下站,南穿永定河南大堤后露出地面,全长约 8.338 km。隧道最大埋深为 28.64 m,设计为单洞双线隧道,洞门采用柱式洞门。路线大部分区段主体结构断面形式为拱形明洞结构。隧道衬砌采用钢筋混凝土结构,衬砌仰拱最小厚度为 0.85 m,拱顶最小厚度为 0.8 m,含衬砌墙趾总宽度为 19.9 m。

项目采用放坡明挖施工,以土钉墙、钻孔灌注桩围护、双排钻孔桩围护对边坡及基坑进行防护。基坑典型开挖断面见图 1。对于埋深较浅区段采用一级放坡,埋深较深区段采用两级放坡,放坡坡度分别为 1:1.25 和 1:1,两级放坡之间设置宽度为 2 m 的水平台阶。在坡顶和坡脚分别设置截水沟,在两级边坡的水平段和坡底分别布置降水井,降水井沿纵向间距分别为 8、6 m,作为基坑放坡开挖的防排水措施。在坡底设置 8~11 m 的水平段作为隧道衬砌施工的操作平台。

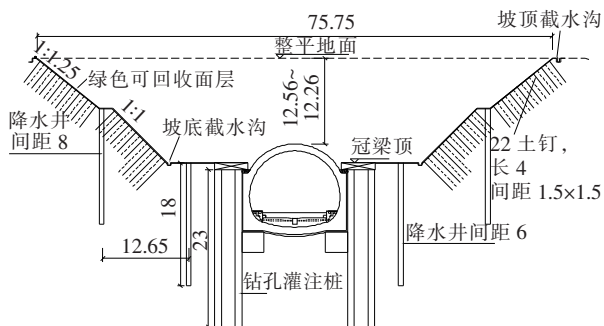


图 1 典型开挖断面图(单位:m)

边坡防护原计划采用网喷混凝土方案。考虑到该项目隧道施工工期紧、任务重, C25 网喷混凝土施工存在劳动强度大、功效低且污染环境、易出现质量缺陷等缺点, 在项目实施中对边坡防护方式进行了优化。为探索装配化产品与绿色建造技术在该项目中的应用, 结合已有技术调研与参照同类工程实践经验, 选取桩号在 DK46+092~DK48+000、DK49+435~DK51+129 两段范围内采用绿色装配式土钉墙(GRF)防护结构形式替代传统网喷混凝土防护形式。该区段上部为 5~6 m 耕植土, 下方为 6~8 m 黏土层, 黏土层以下为粉土与粉砂。

## 2 装配式边坡防护结构特点

### 2.1 装配式边坡防护结构组成

装配式边坡防护结构的主要组成形式见图 2,主

要由可回收的绿色柔性防护面层和锚固体系组成。面层为高强轻质的预制复合材料加工制成的网状结构,承担边坡土体的压力。锚固体系主要由锚筋和锚固配件组成,锚筋可采用直径为 22 mm 的螺纹钢筋,锚筋通过锚孔灌浆锚固。锚固钢筋穿过面层,在面层上方缠绕 6 mm 直径钢丝绳,钢丝绳外侧安放 4 mm 钢垫片,钢垫片外利用钢筋套筒旋紧锚固,将面层紧密锚固于边坡外表面。

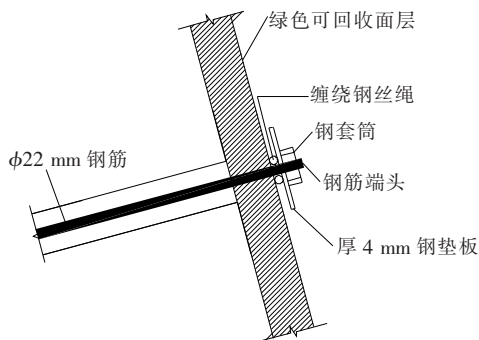


图 2 典型开挖断面图

防护结构平面布置如图 3 所示,锚固钢筋在面层上均匀布置,锚固钢筋的间距为  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ,锚固钢筋长度不小于  $4\text{ m}$ 。在锚固钢筋上缠绕的钢丝绳在不同土钉之间连续缠绕,形成间距  $2\text{ m}$  的网格,在锚钉之间压紧面层。

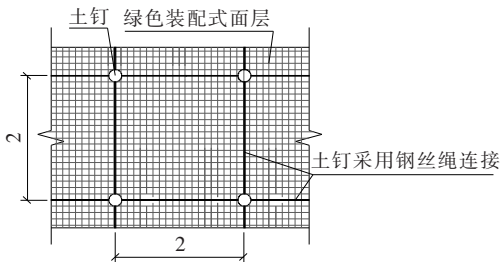


图3 防护结构平面布置图(单位:m)

## 2.2 装配式边坡防护特点

可回收绿色装配式土钉墙是一种较为新颖的装配式边坡防护结构,这种结构利用了装配化理念推进绿色建造技术的应用。与传统喷锚防护相比较,绿色装配式土钉墙具有以下优势:① 绿色环保优势。能耗低、污染小,绿色节能环保,可减少污染较大的材料例如水泥、钢筋的使用,还可将材料回收再利用,同时具备美学效果;② 显著的工期及工效优势。施工简便、高效,不需要在现场编网、支模和养护,从工厂出货检验合格后可直接在现场进行安装,施工受天气影响较小,施工效率极高,较普通土钉墙支护可大大缩短工期达 50% 以上;③ 经济优势。可明显减少施工工期,还

可以回收再利用,具有一定的社会和经济效益;④ 质量优势。在工厂预制,方便质量检验,利于按照标准进行质量管控,施工方法流程化、标准化强,施工质量易于保证和控制。

### 3 装配式边坡防护现场试验

#### 3.1 现场试验实施

在京雄铁路建造过程中为了推行绿色装配式边坡防护形式的应用,在正式应用前先进行现场试验。试验选取机场 2 号线隧道工程 DK46+970~DK47+070 段开挖边坡进行。试验段基坑的支护形式采用放坡、钻孔桩及钢支撑支护相结合形式。顶部外侧采用一级放坡,靠近隧道位置采用单排钻孔灌注桩,桩顶冠梁处设置钢管支撑防护。

现场试验分别对材料的主要性能、锚固性能及施工工艺等内容进行试验与总结。以确定满足施工要求的防护板材料的拉伸强度、伸长率、铺设搭接长度、翻边长度等参数,从而验证绿色装配式土钉墙联合支护工法在现场施工、验收上的可行性,并为后续推广提供施工工艺及质量把控的依据。

试验段防护层现场实施见图 4,先进行锚固土钉施工,再进行面层铺设。装配式面层材料铺设施工主要采用汽车吊配合人工进行铺设,施工工艺较为简单方便。面层铺设后建议利用梯子完成缠绕钢丝与锚固螺栓紧固工作。



图 4 试验段面层铺设现场(单位:m)

#### 3.2 试验段质量分析

在试验段实施过程及实施后对主要工艺及质量进行分析,主要检验指标及相关质量分析情况如下:

(1) 装配式防护面层的单位质量测试结果表明,其单位面积质量为  $650\sim 680\text{ g/m}^2$ ,质量检验要求可按照  $650\text{ g/m}^2$  进行控制。材料拉伸强度实测值为  $35\sim 40\text{ kN/m}$ ,质量检验可按照  $35\text{ kN/m}$  进行控制。材料实测拉伸率大于  $12\%$ ,拉伸率检测指标可按照  $10\%$  控制。

(2) 土钉锚固结构共进行了 32 组检测,钻孔深度测试值为  $4.20\sim 4.25\text{ m}$ ,均大于  $4.20\text{ m}$  深度要求;孔径实测值为  $10\sim 11\text{ cm}$ ,均大于  $10\text{ cm}$  的直径要求;试验段所用工艺可满足锚孔使用要求。

(3) 面层搭设宽度实测值均大于控制值,搭接质量可控,可按照搭接宽度为  $0.5\text{ m}$  进行控制。在坡顶和坡脚的翻边宽度施工中均可控,可按照坡顶  $0.5\text{ m}$ ,坡脚  $0.8\text{ m}$  控制。

(4) 对试验段的防护效果进行了连续 1 个月的观察,结果表明这种装配式土钉墙防护效果良好,边坡未发生明显变形,表面整洁,防冲刷效果良好。

综上所述,总结试验效果与相关检验数据表明,采用装配式边坡防护的各项施工工艺、性能指标及现场施工安全质量等均达到预期目标,绿色装配式面层结构代替网喷混凝土结构可行,为后续绿色装配式土钉墙边坡防护施工提供了经验与数据参数,达到了绿色装配式土钉墙工艺性试验的目的。结合试验段的成本分析结果表明:采用装配式绿色土钉墙的直接成本较传统喷锚式防护高约  $2\%$ ,但面层可回收,无污染,其综合效益良好。

### 4 装配式边坡防护标准施工工艺

#### 4.1 标准施工工艺

装配式边坡防护结构的标准化施工工序可以分为施工准备、土钉施工、面层铺设置工、面层翻边施工 4 个标准工序,各工序的标准化操作可按照以下规定执行。

(1) 施工准备。边坡施工前需对所有施工机械、设备、材料进行检查,满足开挖后及时防护的要求。根据设计坡度要求,边坡开挖后先用挖机进行边坡初步修整,再进行人工修整剩余土体边坡,从而达到设计要求的坡度及平整度。检查明确边坡范围内需要设置的管线、临水、临电埋深、位置,并完成所有预埋设备的提前预埋工作,避免出现二次开挖。

(2) 土钉施工。该项目所用标准土钉长  $3\text{ m}$ ,采用直径  $22\text{ mm}$  的 HRB400 钢筋制成,沿锚杆轴线方向隔  $1.8\text{ m}$  设置一组对中支架,每组两个对中支架,相互之间呈  $90^\circ$  布置,以对两个方向进行对中。对中支架采用直径为  $8\text{ mm}$  的 HPB300 钢筋制作与锚杆焊接。对中支架梁端距离锚杆端部  $0.2\text{ m}$ ,见图 5。

边坡修整完成后,搭设钻孔平台,孔位测量放样,布置形式符合设计要求,孔位允许误差为  $\pm 100\text{ mm}$ ,



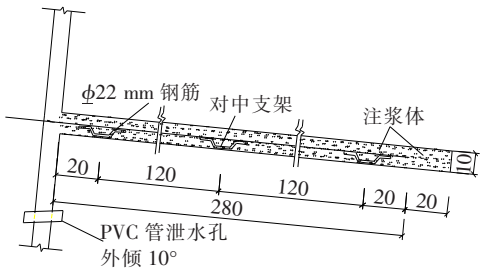


图5 土钉施工示意图(单位:cm)

钻孔至设计孔深,安装土钉及注浆管,注浆管规格型号须与注浆机相匹配。采用孔底注浆法,将金属管插入孔内,管口离孔底 200~500 mm,用密封袋将孔口封严,启动注浆泵开始送浆,调整注浆压力到 0.2 MPa,边注浆边向孔口方向拔管,直至注满,连续逐孔注浆完成并补浆,确保孔洞注浆饱满。

(3) 绿色装配式面层施工。根据现场情况,确定卷材尺寸,准确量取尺寸并进行裁剪后试铺,裁剪尺寸精度应控制在±10 mm。检查撒拉宽度是否合适,搭接处应平整,松紧适度。GRF 面层用人工滚铺,布面要平整,并适当留有变形余量,在坡面上,对土工布的一端进行锚固,然后将卷材从坡面放下以保证面层保持拉紧的状态。

GRF 面层接缝处的搭建处理方法见图 6,搭接处缝合的宽度宜控制在 0.5 m 以上。拼接接缝应该相互垂直,在接缝搭接位置应设置土钉锚固,土钉间距不宜大于 1.5 m。两道相互平行的拼缝间距应大于 1.5 m。

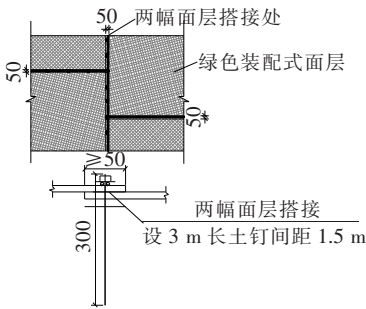


图6 绿色装配式面层搭接施工示意图(单位:cm)

面层接缝处通过直径 6 mm 的普通钢丝绳连接件将土钉在纵向与横向连接,土钉外端头设置钢垫板与钢套筒,通过丝扣与土钉连接,如图 7 所示。

(4) 绿色装配式面层翻边施工。绿色装配式面层在距离边坡坡顶外 0.5~1.0 m 范围进行翻边处理,处理方案可按照图 8 进行。在面层端部利用长度 1 m 的土钉锚杆进行锚固,土钉纵向布置间距为 1.5 m,并用直径 6 mm 钢丝绳沿纵向连接。在面层顶部浇筑

0.1 cm 厚 C20 混凝土硬化层,在面层边缘 0.2~0.3 m 位置砖砌挡水台和截水沟,避免冲刷对边坡形成破坏。

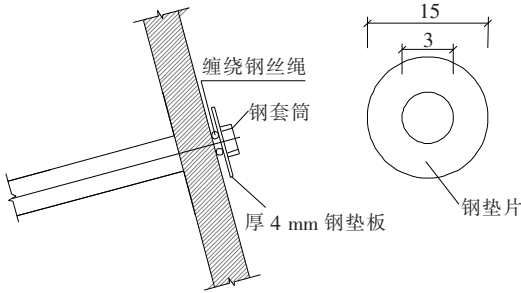


图7 土钉端头构造示意图(单位:cm)

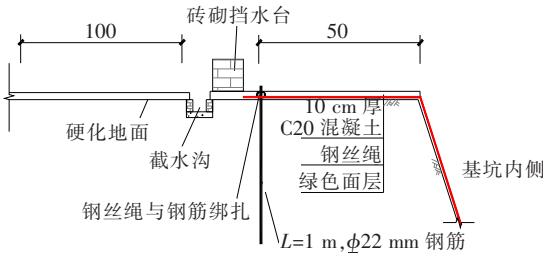


图8 坡顶面层翻边处理示意图(单位:cm)

绿色装配式面层在距离边坡坡脚 0.6~0.8 m 范围进行翻边处理,处理方式可按照图 9 进行。在面层距边缘 0.2 m 位置采用长度为 1 m 的土钉锚固,土钉型号与坡顶相同。土钉纵向间距按照不大于 1.5 m 控制,并用钢丝绳沿纵向连接。最后在面层上方浇筑 0.1 m 厚 C20 混凝土。在面层端部位置沿纵向设置一道截水沟进行边坡底部排水。

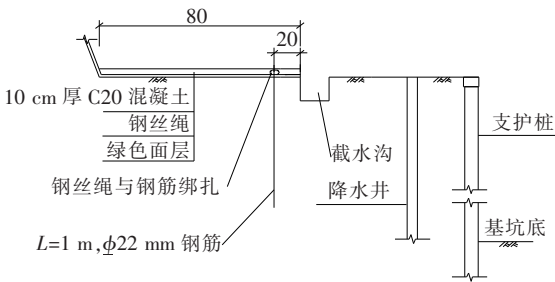


图9 坡脚面层翻边处理示意图(单位:cm)

#### 4.2 工艺控制要点

为提高防护的总体质量,在采用装配式防护结构施工时应做好以下工艺控制要点:

- (1) 边坡开挖后应及时施作坡面防护结构,避免长时间暴露被雨水冲刷或风化脱落。
- (2) 坡面防护材料与边坡土层应保证密贴、平整,坡面材料上避免出现砂浆污染,控制好防护层外观

质量。

(3) 控制好泄水孔设置,避免泄水孔对面层造成过多破坏,压边施工应与既有坡顶和坡脚硬化层综合考虑并妥善处理。

(4) 现场土钉锚固螺栓及垫片做好防腐处理,宜采用绿色油漆涂装,确保坡面色泽基本一致,提高坡面防护的美观效果。

装配式边坡防护施工质量检验按表 1 控制。

表 1 装配式边坡防护施工质量检验控制

分部	检验项目	质量要求	检查数量	检验方法
钻孔	钻孔记录	钻孔尺寸误差	钻孔记录表见附表 1	查看
	钻孔深度	±50 mm	全部的 10%	尺量
	钻孔孔径	应符合图纸要求	全部的 10%	尺量
注浆	注浆记录	注浆开始、结束时间,初始、最终注浆压力,注浆量,注浆材料及配合比	注浆记录表见附表 2	查看
土钉	土钉钢筋	品种规格数量应符合施工图纸要求	每批任选 2 根各做 1 组式样	冷弯试验
	土钉长度	±50 mm	全部的 10%	尺量
	土钉布置	应符合图纸要求	全部检查	观察
	土钉锚固砂浆强度	应符合图纸要求	每 100 m <sup>3</sup> 砂浆取试件 1 组,不足按一批计	砂浆试件抗压强度
铺设面层	面层材料	品种,规格,质量应符合施工图要求	设计要求	查看
	面层搭接	应符合图纸要求	全部	尺量
	钢丝绳连接	钢丝绳卡扣是否不小于 3 个	全部	查看
	垫片厚度	应符合图纸要求	全部的 10%	尺量
	混凝土翻边厚度	应符合图纸要求	全部	尺量

5 结语

以京雄铁路机场 2 号线明挖隧道工程为背景,对绿色装配式边坡防护结构的探索应用进行了总结。研究了这种新型防护结构的特点与优势。探索了这种防护形式的施工关键技术与质量管控要点。研究表明:绿色装配式边坡防护结构是一种较好的新型边坡防护结构形式。具有施工便捷、质量可控、环境污染小等优势,可作为传统混凝土喷锚防护的替代产品。其施工可分为土钉施工、面层铺设和翻边施工几个关键环节,该文对各施工环节的关键工艺进行了总结,可指导这种防护结构的具体施工。结合现场实践与研究,该文给出了绿色装配式边坡防护施工的质量控制要点与指标标准,涵盖了钻孔、注浆、土钉及面层施工各环节,可作为这种防护结构施工质量控制的依据。

参考文献:

[1] 《中国公路学报》编辑部. 中国隧道工程学术研究综述·2015[J]. 中国公路学报,2015(5).

[2] 林永贵,陈文明,汪传智. 浅深深覆土超大断面明挖隧道关键技术[J]. 公路,2019(8).

[3] 张爱军. 复杂地形钢管与拉森桩组合式基坑围堰施工技术[J]. 浙江建筑,2019(4).

[4] 陈云强. 土钉墙支护在深基坑边坡防护中的应用[J]. 中国标准化,2019(8).

[5] 唐有为,谭利华,杨世好. 三峡库区岸坡深基坑边坡支护技术[J]. 施工技术,2017(S2).

[6] 蒋华. 十字形装配式基坑支护结构应用研究[D]. 广西大学硕士学位论文,2015.

[7] 詹集明. 连拱形基坑支护体系——对一种新型支护体系的探讨[J]. 岩土工程技术,2000(3).

[8] 邹文华,刘辉,邓小钊,等. 连续强降雨工况土质边坡非饱和渗流及稳定性分析[J]. 中外公路,2019(6).