

黄陵矿业公司运煤专线边坡治理方案设计与施工

张丽红¹, 王振福²

(1. 陕西陕煤黄陵矿业公司, 陕西 黄陵 714100; 2. 陕西地质工程总公司, 陕西 西安 710054)

摘要:针对黄陵矿业公司运煤铁路专用线新庄科隧道西出口边坡崩塌、落石灾害发育的特点,提出采用喷射砼面层防止岩层表面进一步风化、采用预应力锚索框架梁防止山体发生崩塌灾害的治理设计方案,并根据设计对边坡进行了治理施工。介绍了治理方案设计及施工要点。

关键词:边坡治理;崩塌;预应力锚索;框架梁

中图分类号:U418.5⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)09-0055-04

Design of the Slope Treatment Plan for Coal Special Railway Line of Huangling Mining Company/ZHANG Li-hong¹, WANG Zhen-fu² (1. Huangling Mining Co., Ltd., Huangling Shaanxi 714100, China; 2. Shaanxi Geological Engineering Corporation, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: According to the slope collapse and rock falling in a tunnel of coal special railway line in Huangling mining company, the control plan was put forward by concrete spraying and pre-stressed cable frame beam to prevent the further weathering of the rock surface and the mountain collapse. The control construction was carried out based on the design the paper introduces the control plan design and the main points of the construction.

Key words: slope treatment; collapse; pre-stressed cable; frame beam

1 概述

黄陵矿业公司运煤铁路专用线新庄科隧道西出口边坡高 20 m, 坡度 65°~75°, 由于山体陡峻、表层风化严重, 形成崩塌、落石等地质灾害隐患。2013 年春季, 由于冻融作用, 岩体风化层发生滑落, 部分岩体发生崩塌, 对铁路运行的安全造成重大隐患。为了消除边坡崩塌、落石安全隐患, 保证运煤列车安全运行, 必须对该边坡灾害隐患进行治理。山体边坡崩塌及落石地质灾害隐患情况见图 1(左)。



图 1 边坡灾害隐患情况及治理竣工照片

针对新庄科隧道西出口边坡表层风化严重、崩

塌、落石灾害发育等特点, 提出了清理边坡岩体表面风化层和活动石块、采用喷射砼面层防止岩层表面进一步风化、在喷射砼层面上采用预应力锚索框架结构防止山体发生崩塌灾害的治理方案。2013 年 5~6 月对该边坡实施了工程治理施工, 2013 年 7 月陕西延安地区发生特大暴雨灾害, 该治理边坡在暴雨中没有再发生滑落、崩塌和落石等灾害现象, 初步说明治理方案设计合理, 施工效果良好。边坡治理竣工状况见图 1(右)。

2 治理方案设计

2.1 边坡治理方案比选

边坡支护结构常用型式及适用条件见表 1。

从表 1 看出, 重力式挡墙、扶壁式挡墙、悬臂式支护结构及Ⅲ类岩坡岩石锚喷支护结构型式支护高度均小于 15 m, 不适应本边坡工程。坡率法支护高度虽能满足本工程支护要求, 但现场不具备放坡条件不能采用。格构式锚杆挡墙与排桩式锚杆挡墙支护结构型式均可满足本边坡治理工程要求, 但排桩式锚杆挡墙支护结构与格构式锚杆挡墙支护结构相比造价高、施工难度大、施工周期长。因此, 本边坡工程治理方案选用格构式锚杆挡墙支护结构型式。

收稿日期: 2013-06-17; 修回日期: 2013-08-19

作者简介:张丽红(1970-), 女(汉族), 陕西大荔人, 陕煤黄陵矿业公司规划基建部工程师, 工程管理专业, 从事矿建、土建工程技术及造价管理工作, 陕西省黄陵县店头镇, wangzhenfu@sohu.com; 王振福(1961-), 男(汉族), 陕西大荔人, 陕西地质工程总公司一级注册建造师、教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程技术和管理工作, 陕西省西安市雁塔北路 100 号, wangzhenfu@sohu.com。

为防止边坡表层岩层继续风化,采用喷射砼面层对岩层表面进行封隔。

表 1 边坡支护结构常用型式及适用条件

类型	边坡环境	边坡高度 H/m
重力式挡墙	场地允许	土坡: $H\leq 8$;岩坡: $H\leq 10$
扶壁式挡墙	土质边坡填方区	土坡: $H\leq 10$
悬臂式支护		土坡: $H\leq 8$;岩坡: $H\leq 10$
格构式锚杆挡墙		土坡: $H\leq 15$;岩坡: $H\leq 30$
排桩式锚杆挡墙	坡顶建筑物重要, 场地狭窄	土坡: $H\leq 15$;岩坡: $H\leq 30$
岩石锚喷支护		I、II类岩坡: $H\leq 30$; III类岩坡: $H\leq 15$
坡率法	场地有放坡条件	土坡: $H\leq 10$;岩坡: $H\leq 25$

2.2 预应力锚索设计计算

2.2.1 计算参数

表 2 主动土压力及锚索设计计算表

排序	排高 /m	埋设厚度 /m	土压力标准值 /kPa	承担面积 /m ²	主动土压力 /kN	拉力设计值 /kN	钢绞线截面积 /mm ²	钢绞线根数/根	
								计算值	取值
1	0.8	19.2	118.16	4.18	493.91	664.68	764.52	4.21	4
2	3.0	17.0	96.60	4.84	467.54	629.20	723.72	3.99	4
3	5.2	14.8	75.04	4.84	363.19	488.77	562.20	3.10	4
4	7.4	12.6	53.48	4.84	258.84	348.34	400.66	2.21	4
5	9.6	10.4	31.92	4.84	154.49	207.91	239.14	1.32	4
6	11.8	8.2	10.36	4.84	50.14	67.48	77.62	0.43	4
7	14.0	6.0	0.00	4.84	0.00	0.00	0.00	0.00	4
8	16.2	3.8	0.00	10.78	0.00	0.00	0.00	0.00	4

2.2.2 主动土压力及锚索设计计算

(1) 各排锚索的主动土压力标准值:

$$e_a = \gamma h_a K_a - 2C \sqrt{K_a} = 20 \times 0.49 \times h_a - 2 \times 50 \times 0.7 = 9.8h_a - 70 \text{ (kPa)}$$

(2) 各排锚索的主动土压力:

$$E_a = e_a S_{xi} S_{yi} \text{ (kN)}$$

(3) 各排锚索承受的拉力标准值:

$$N_{ak} = E_a / \cos\alpha = E_a / \cos 15^\circ = 1.035E_a \text{ (kN)}$$

(4) 各排锚索承受的拉力设计值:

$$N_a = \gamma_Q N_{ak} = 1.3 \times 1.035E_a = 1.35E_a \text{ (kN)}$$

(5) 各排锚索钢绞线的计算截面积:

$$A_s = \gamma_0 N_a / (\xi_3 f_y) = 1.0 \times 1.35E_a / (0.69 \times 1.26) = 1.55E_a \text{ (mm}^2\text{)}$$

(6) 各排锚索钢绞线的计算根数(钢绞线直径为:15.2 mm):

$$n = A_s / [(1/4)\pi d^2] = 1.55E_a / [(1/4)\pi 15.2^2] = 8.54E_a \times 10^{-3} \text{ (根)}$$

各排预应力锚索所受主动土压力标准值、主动土压力、承受的拉力设计值、锚索钢绞线的计算截面积、钢绞线的计算根数及选取根数见表 2。

2.2.3 锚索长度计算

(1) 根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)第 4.5.1 条规定,土压力参数选取为: $c = 50\text{kPa}$, $\varphi = 20^\circ$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ 。根据第 3.2.3 条规定,边坡破裂角 $\theta = 55^\circ$ 。

(2) 根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)第 6.3.4 及 6.2.4 条规定:

①主动土压力系数: $K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = \text{tg}^2(45^\circ - 20^\circ/2) = 0.49$; $\sqrt{K_a} = 0.70$ 。

②主动土压力标准值: $e_a = \gamma h K_a - 2C \sqrt{K_a}$ 。

(3) 锚索布设:横向间距 2.2 m,竖向间距 2.2 m,最下一排锚索距地面 0.8 m,最上一排锚索距坡顶 3.8 m,共布设 8 排锚索。各排锚索高度及距坡顶埋设厚度见表 2。

(1) 自由段长度计算:

$$L_f = h_a / \text{tg}\theta = h_a / \text{tg}55^\circ = 0.70h_a \text{ (m)}$$

(2) 锚索锚固体与地层间的锚固长度计算:

$$L_a = N_{ak} / (\xi_1 \pi D f_{tb}) = 1.035E_a / (1.0 \times \pi \times 0.15 \times 150) = 0.01465E_a \text{ (m)}$$

(3) 锚索钢绞线与锚固砂浆间的锚固长度计算:

$$L_a = \gamma_0 N_a / (\xi_3 n \pi d f_b) = 1.0 \times 1.35E_a / (0.6 \times 4 \times \pi \times 0.0152 \times 2750) = 4.283E_a \times 10^{-3} \text{ (m)}$$

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)第 7.4.1 条规定,岩体预应力锚索锚固段取值长度: $3 \text{ m} \leq L_a \leq 55D$ 和 8 m。

(4) 锚索长度计算:

$$L = L_f + L_a = 0.70h_a + 4.283E_a \times 10^{-3} \text{ (m)}$$

锚索自由段、锚固段长度及锚索总长度计算值、取值见表 3。

2.3 预应力锚索框架梁加固结构设计

(1) 锚索孔设计直径 150 mm,锚索长度 15 m,其中自由段长度 3 m,锚固段长度 12 m,自由段采用 PVC 套管隔离。锚固体采用 M25 水泥砂浆压力注

表 3 锚索长度计算及取值表

排序	排高 /m	自由段 长度 /m	锚固段长度计算值及取值/m			锚索长度/m	
			锚固体与地 层粘结长度	钢绞线与砂 浆粘结长度	长度 取值	计算值	取值
1	0.8	0.58	7.24	2.11	8	8.58	15
2	3.0	2.18	6.85	2.00	8	10.18	15
3	5.2	3.77	5.32	1.55	8	11.77	15
4	7.4	5.37	3.79	1.11	8	13.37	15
5	9.6	6.96	2.26	0.66	6	12.96	15
6	11.8	8.56	0.73	0.21	6	14.56	15
7	14.0	10.15	0.00	0.00	3	13.15	15
8	16.2	11.75	0.00	0.00	3	14.75	15

浆,注浆压力 0.6 MPa。自由段采用 PC32.5 纯水泥浆浇注,水灰比 0.6,注浆压力 0.3 MPa。

(2)设计单根锚索最大拉应力 660 kN,施加锁锚预应力值 200 kN。锚索采用 4 根直径 15.2 mm 的 1860 型钢绞线,锚座采用 OVM 预埋式锚座、锚垫板。

(3)锚索孔横向间距 2200 mm,竖向间距 2200 mm。格构梁横柱、竖柱规格均设计为 450 mm×450 mm 砼方形梁,砼强度等级为 C30。

(4)框架梁配筋为:主筋 12 根 Ø22 mm 钢筋,箍筋 Ø8@150。

预应力锚索框架梁加固结构设计见图 2、图 3。

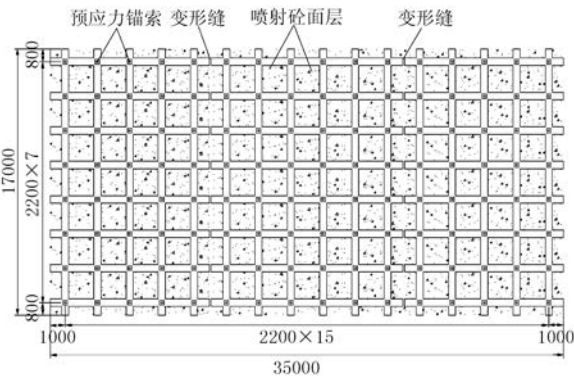


图 2 预应力锚索框架梁加固结构立面示意图

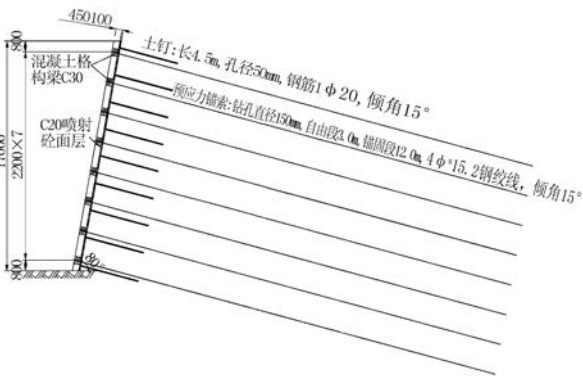


图 3 预应力锚索框架梁及喷射砼加固结构剖面示意图

2.4 喷射砼土钉墙结构设计

因岩体边坡主动土压力已全部由预应力锚索框

架梁支护结构承担,喷射砼土钉墙的作用主要是封闭岩体坡面、防止岩体风化层继续风化。因此,喷射砼土钉墙设计仅需要满足《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)第 9 章岩石锚喷支护第 9.3 条构造设计要求即可。具体设计如下:

(1)土钉横向、竖向间距均为 2000 mm,梅花形布设,最下一排土钉距地面 0.5 m。

(2)土钉孔径 50 mm,土钉长度 4.5 m,采用 1 根 Ø20 mm 钢筋。土钉孔采用 PC32.5 纯水泥浆浇注,水灰比 0.5,注浆压力 0.2 MPa。

(3)坡面网筋采用 Ø6.5 mm 钢筋,网筋间距 250 mm×250 mm,在网筋上面沿土钉位置布设横向、竖向双向加强筋,加强筋采用 1 根 Ø14 mm 钢筋。

3 治理结构施工

3.1 施工准备要点

(1)边坡加固结构施工前,先在铁路沿线搭设防护架及拦挡网,防止施工过程中落物落入轨道影响列车运行安全。

(2)正式施工前,先对坡面上的活动石块及强风化层进行人工清除,清除到中风化较稳定层位或弱风化稳定层位。清除作业完成后再人工搭设加固结构施工脚手架,满足加固结构施工要求。施工现场照片见图 4。



图 4 边坡加固结构施工现场照片

3.2 预应力锚索施工要点

(1)采用风动潜孔锤钻进方法钻进成孔,钻进过程严禁向孔内注水。

(2)根据设计要求,锚索选用 4 根 Ø15.2 mm 钢绞线,注浆管选用 Ø25 mm 塑料管。根据设计长度,截取钢绞线和注浆管。根据架线环设计的间距尺寸,将钢绞线绑扎到架线环上,再将注浆管与钢绞线绑扎成一体。钢绞线自由段选用套安塑料管的方式进行隔离。

(3) 锚索采用人工方式安放。安放前先用与直径相同的探头探孔,对塌孔或掉块进行清理。在锚孔倾斜的垂直面搭设钢管导向架或人工运送操作平台。下索时用力均匀一致,防止锚索扭曲和转动。安放锚索时一同安入注浆管。当推送锚索困难时,应将锚索抽出。对抽出的锚索应仔细检查,对锚索出现的问题进行处理,必要时对钻孔进行再次清理。

(4) 锚孔采用二次注浆工艺。浆液用搅拌机搅拌,用高压注浆泵经锚索中的注浆管注入孔底,当预埋的浆液泵压力达到设计值时停止注浆。锚固体采用 P. O42.5 水泥配制的 M25 水泥砂浆,注浆压力 0.6 MPa;自由段采用 PC32.5 纯水泥浆浇注,水灰比 0.6,注浆压力 0.3 MPa。浆液中添加 R1-103 型阻锈剂。

(5) 锚索张拉分 5 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 10~20 min 外,其余每级需要稳定 5 min,并分别记录每一级钢绞线的伸长量。在每一级稳定时间内必须测读锚头位移 3 次。当张拉到最后一级荷载且变形稳定后,卸荷至锁定荷载锁定锚索。锚索锁定后,切除多余钢绞线。

(6) 锚索锁定后立即进行封锚浇筑施工,封锚前应将露头钢绞线、锚具、钢垫板表面的水泥浆及锈蚀物等清理干净,并将锚定板接触表面凿毛,涂刷一层与封锚砼水泥同等性质的水泥浆液,然后用 C30 砼浇筑锚固头封锚。

3.3 框架梁施工要点

(1) 框架梁钢筋采用现场绑扎,山体边坡上固定方式架设,自下而上分级支模,分级浇注砼的方法施工。浇筑框架梁时用塑料管套住锚索,保证锚索自由段的自由。锚定板受力面应与锚索轴线保持垂直。

(2) 钢筋的搭接长度、安设间距、绑扎均要符合规范和设计要求。对于悬空的、容易产生移位的钢筋,要及时进行加固和固定。钢筋保护层采用预制好的垫块同钢筋一起固定,在支模时进行进一步的调整和固定。

(3) 模板安设时首先对坡面进行整平,必要时,用砂浆找平。模板安置时必须用线绳进行校对,直至模板达到设计要求为止。模板的加固采用可调式

拉杆固定,利用锚头螺栓和钢垫板,调节模板间距并夹紧模板,防止混凝土浇注中出现跑模现象。

(4) 混凝土浇注采用自下而上分层浇注的方式,采用震动棒振捣。脱模时间不少于 24 h,脱模过程中严禁损坏棱角。脱模后定时浇水、覆盖防晒、保湿养护。

(5) 西侧边坡下部 5 m 凹进部分施工框架梁前,在框架位置先施工浆砌石支撑墙,支撑墙宽度为 50 cm,砌筑砂浆强度 M10。框架梁以外部位采用土方或块石分层回填至悬空岩层位置。

3.4 喷射砼施工要点

(1) 岩层锚杆孔采用风钻钻进成孔。注浆采用高压注浆泵注入法,注浆材料为纯水泥浆液,水泥浆液水灰比为 0.5,注浆压力 0.2 MPa。

(2) 面层钢筋网采用人工绑扎方式安设,加强筋与锚钉采用点焊方式连接。砼面层采用湿式喷射法施工,砼强度等级 C20,厚度均为 100 mm。

4 结语

陕煤黄陵矿业公司运煤铁路专用线新庄科隧道西出口边坡加固工程设计方案是采用《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)对地质灾害治理设计的一种尝试,经过 2013 年 7 月延安地区大暴雨冲刷,该边坡治理结构坚固、稳定,治理后边坡没有再发生滑塌及落石现象,说明治理结构设计合理,达到了边坡加固治理的目的。

参考文献:

- [1] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].
- [2] 时战峰,王振福.黄陵矿业公司运煤专线沉陷治理方案设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):66-70.
- [3] 朱英,王迪,赵宪富.松江河石龙电站边坡加固工程施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):71-74.
- [4] 谭彬建,俞敏,息颀,等.桂柳高速公路边坡预应力锚索加固方案设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):73-77.
- [5] 黄健民,李德洲.河梅高速公路某边坡加固支护施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(6):31-33.
- [6] 刘以波,穆道贵,潘金禄,等.已通车高速公路路堤滑坡处治方案设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(6):7-9.
- [7] 黄陵矿业集团铁路专用线新庄科隧道西出口加固工程设计[R].陕西西安:陕西地质工程总公司,2013.