

露天石灰岩矿顺层高边坡环境治理 措施研究

Study on environmental control measures of bedding high slope in open-pit limestone mine

陈康力 (天津矿山工程有限公司, 天津 300073)

摘要:在露天矿山生态修复工作持续推进背景下,以某露天矿山作为研究实例,针对其现存地质环境与自然生态环境问题进行分析,基于边坡岩土性质与土壤营养成分判断边坡稳定性,采用“削坡平盘+钢轨桩+压坡脚+疏干排水”与“锚杆和格构护坡+挡土墙”“注浆灭火+挡土墙”实行整体治理与局部治理,并进行分区生态修复方案的编制,对于露天矿山整治措施的研究具有现实指导意义。

关键词:露天矿; 顺层边坡; 环境治理

Abstract: Under the background of continuous promotion of ecological restoration in open-pit mine, an open-pit mine is taken as an example, this paper analyzes the existing geological environment and natural ecological environment problems, evaluation of slope stability based on geotechnical properties and soil nutrients, adopt “slope cutting flat plate + rail pile + slope toe pressing + drainage” and “anchor rod and lattice slope protection + retaining wall”, “grouting fire extinguishing + retaining wall” to implement overall and local treatment, the plan of ecological restoration in different districts should be worked out, it is of practical significance to study the measures of open pit renovation.

Key words: strip mine; bedded slope; environmental governance

1 前言

党的十九大以来,自然资源部协同多部门共同开展露天矿山综合整治工作,“加强露天矿山生态修复”成为其四项基本工作任务之一。大型露天矿山边坡高度通常超过300 m,在地质环境、构造形态与石灰岩层开采等因素的影响下,易产生滑坡、泥石流、地表沉降、片帮以及水体污染、大气污染等环境问题,对于环境治理体系的建构与创新提出现实要求。

2 项目背景介绍

2.1 项目概况

某矿山为大型露天石灰岩矿,地处低山丘陵地带,矿山闭坑后经改造现已成为国家矿山公园,但仍遗留占地面积超过600万 m^2 的矿坑和深度超过300 m的高边坡,多年来引发一系列地质环境与生态环境问题,对周边人群的生命财产安全构成威胁。

2.2 环境问题分析

1) 地质环境层面

首先,该露天矿自投产后北帮历年发生的滑坡、泥石流等地质灾害数量高达80余次,其中有22%的滑坡体体积超过1万 m^3 ,导致周边铁路、轨道交通、高压柱等构造物被严重损坏。其次,高边坡稳定性较差,边帮地表严

文章编号:

1672-609X(2021)02-0062-04

中图分类号: X754

文献标志码: A

作者简介: 陈康力(1991-),男,汉,湖北武汉人,助理工程师,从事绿色矿山研究。

重变形,地表沉降、塌陷面积超过 23.3 万 m²。再次,在矿坑北帮坡顶东侧分布有大量裂缝,裂缝长度超过 1 km、宽度达 0.3 ~ 0.5 m,引发临近道路、桥梁与建筑物均不同程度受损,威胁着人员生命安全。最后,矿坑北帮分布有大量发火点,矿坑内大气污染物浓度超标,都较为容易引发爆炸事故,造成重大人员伤亡。

2) 生态环境层面

首先,矿山淋溶水中含有大量 Ca²⁺、Mg²⁺ 等碱金属阳离子,SO₄²⁻、NO₃⁻ 阴离子以及 NH₃N 等化学污染物,引发地表水与地下水严重污染问题,并且影响到矿山周围土壤的酸碱度,对周边混凝土建筑物产生侵蚀作用。其次,矿坑内的一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、总悬浮颗粒物含量的年均监测值分别为 0.389 g/m³、0.074 g/m³、0.043 g/m³ 和 0.303 g/m³,大气污染物浓度严重超标。最后,当前该露天矿闭坑时间已超过 15 年,但矿坑周围地表植被覆盖率不足 25%,地下水位降低,地表粉尘颗粒在风力作用下易形成大面积扬尘甚至沙尘暴,且周边土地荒漠化现象较为严重,整体生态环境呈持续恶化趋势。

3 矿区边坡岩土性质检测与土壤成分分析

3.1 物理力学性质分析

在地质地层分布结构上,该矿区由人工填土 + 第四系松散层 + 砂质页岩 + 泥质页岩 + 岩石层组成,其中矿坑北帮岩土稳定性主要受到① ~ ⑨弱层的影响,① ~ ③弱层已被挖除,弱层间距保持在 5 ~ 20 m。受弱层产状的影响,其在饱水状态下出现典型的塑性破坏问题,整体物理力学指标处于较低水

表 1 岩土物理力学参数

地层名称	层号	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	C/kPa	$\phi/(\text{°})$	
断层下盘岩体 与弱层	④弱	17.99	10	16	
	④下弱		20	17	
	⑤弱			19	
	⑥弱				
	⑦弱		24	13.8	
	⑧弱		45	19.7	
	⑨上弱	20.1	17.5	15.5	
	断层切层与顺 层	散体状结构		0	32.41
		断层泥	19.09	140	14.25
断层上盘岩体 与弱层	④弱		10	21	
	④下弱	17.99	24	21.2	
	⑤弱		30	24	
岩体		23	115	33.07	

平,又因其是高边坡主要控制结构面,因此成为边坡治理的重点任务^[1]。在地质水文特征上,该矿区地下水由孔隙潜水、基岩裂隙水、层间裂隙水组成,赋存于砂砾层、岩层和破碎带内,由大气降水和河水补给、以蒸发和径流排泄,静置水位埋深为 3.2 ~ 36.1 m、水位标高为 -151.32 ~ 152.47 m。结合土工试验与原位测试结果得到该边坡岩土的物理力学参数,具体参数见表 1。

3.2 土壤营养情况评价

基于综合指数法进行边坡土壤营养成分评价,并完成评价指标与权重的设计,具体见表 2。设养分综合指数为 I ,选取第 i 个指标进行评价,对应的评分值为 F_i 、权重为 W_i ,其计算公式为

$$I = \sum F_i \times W_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

表 2 土壤营养成分评价指标与权重设计

养分指标名称	评分规则/mg·kg ⁻¹					权重 (W)
	非常高(100分)	高(80分)	中等(60分)	低(40分)	非常低(20分)	
碱解氮(N)	≥120	90 ~ 100	60 ~ 90	45 ~ 60	<45	0.25
速效磷(P)	≥90	60 ~ 90	30 ~ 60	15 ~ 30	<15	0.25
速效钾(K)	≥155	125 ~ 155	100 ~ 125	70 ~ 100	<70	0.2

将该露天矿的土壤成分指标输入评价模型中可知,矿坑背帮地表土壤的平均 pH 值为 7.4,土壤呈弱碱性。其中 N 含量为 124.46 mg/kg,对应评分为 100 分;P 含量为 15.02 mg/kg,对应的评分为 40 分;K 的含量为 87.57 mg/kg,对应的评分为 40 分。将

评价结果代入公式中计算得出 $I = 100 \times 0.25 + 40 \times 0.25 + 40 \times 0.2 = 43$ 分,对应的评语等级为“低”,因此可在后续环境治理工作中优先选择固氮、抗旱、耐瘠薄植物进行种植。

4 边坡环境综合治理体系建构方案及措施探讨

4.1 地质环境综合治理

1) 边坡稳定性评价

由于该露天矿北帮的边坡高度超过 300 m、工作帮坡角为 19° ，呈现为典型的顺层高边坡形态，其边坡变形破坏机制为滑移-弯曲，坡角与岩层倾角保持一致，软弱层不会发生整体临空问题，变形体前缘位于构造发育处、应力分布较为集中，在剪出口段易使层状岩层被剪断。因此，该处剖面的滑动面特征为折线组合滑动面，可将软弱夹层设为指定滑动面，基于要求采用极限平衡法进行边坡稳定计算。具体来说，以露天矿北帮为基准划定 2 km 左右的研究区域，从中选取 12 个剖面进行取值计算，拟采用永久性加固设计方案，将边坡稳定系数取值为 1.5。在完成现状剖面稳定性分析的基础上，开展边坡支护结构设计方案编制，再计算出支护方案实施后的边坡稳定性系数值^[2]。例如选取 E22 剖面进行计算，该坡面边坡支护方案为钢轨桩+压坡脚+疏干排水，计算得出边坡稳定性系数为 1.56，符合设计要求。

2) 综合治理方案与措施

综合整治方案由整体+局部方案整合形成，在整体治理方案设计上：首先采用“削坡平盘+抗滑桩”工程措施，具体剖面如图 1 所示，依照垂直坡高 8~12 m、台阶宽 6~10 m、坡面角 $26^\circ \sim 35^\circ$ ，将 E22 剖面的各级边坡先后进行削坡、平盘，采用反坡式平盘形式、将坡度控制在 5% 左右，便于在降雨条件下减少平面蓄水量、使径流顺利排入竖向排水沟内，减少雨水冲刷对台阶坡面产生的破坏作用，并且实现坡面减重卸载、降低下滑力；选用 2 排钢轨桩与挡土墙配合进行边坡支护，将长 7.4 m 的钢轨桩嵌入岩层深度控制为 5 m，各桩中心距保持为 1.5 m，成孔直径为 200 mm，材料包含 M30 水泥浆、粒径为 10~30 mm 的碎石以及普通硅酸盐水泥，挡土墙高 2.2 m、宽 0.8 m、埋深为 0.6 m。其次在压坡脚方案设计上，将堆填区高度设为 25 m、坡度为 0° ，选用山皮土材料实行分层碾压处理，确保碾压系数 >0.9 。最后在疏干排水方案设计上，设有 50 m 长的泄水孔，孔间距为 10 m，将孔径设为 130 mm，内置 110 mm 的 PVC 管，将倾角上倾 5° 以内，并将后 25 m 做成花管，使坡体内与孔内水顺利排向排水沟中；同

时选用 C25 混凝土、水泥砂浆材料砌筑竖向排水沟，选取坡顶和坡脚部位设置截水沟，将伸缩缝间距设为 20 m，用于集水、排水。

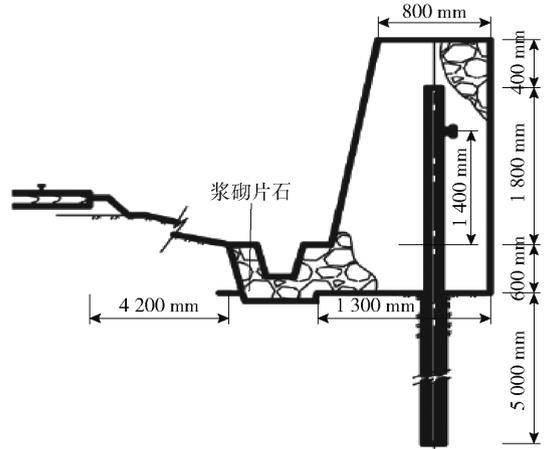


图 1 钢轨桩+挡土墙剖面

在局部治理方案设计上，结合所选 E22 剖面各区段特征进行专项治理方案的编制：一方面针对前缘表层出现塌滑现象的区段，采用“锚杆与格构护坡+挡土墙”工程措施，格构梁尺寸为 300×300 mm，基础梁和压梁尺寸分别为 400×400 mm 和 300×300 mm 并完成配筋，选用 C25 混凝土材料，将保护层厚度设为 35 mm；采用 DZ50 钻杆与坡面垂直设置，长度为 3~5 m、间距控制为 2.5 m、孔径为 110 mm，并选取 M20 水泥砂浆作为锚固体；在坡肩部挂钢筋网、喷射混凝土，喷射层厚为 150 mm，选用长 1.5 m 的土钉以 2.5 m 间距设置；挡土墙设计方案同上。另一方面针对容易自燃的危险区段，采用“注浆灭火+挡土墙”工程措施，将注浆孔以 $3 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的规格呈梅花形布置，选用孔径为 108 mm、壁厚 4 mm 的钢管制成空隙率为 25% 的花管作为注浆管，利用 M20 水泥砂浆进行注浆灭火，并选取 C25 混凝土喷射在表层，形成厚 100 mm 的混凝土保护层，最后完成挡土墙的设置。

4.2 生态环境分区治理

1) 分区治理方案设计

首先从边坡台阶区域入手，考虑到该露天矿北帮各级边坡垂直高度 12 m、坡面角最高为 35° ，因此宜选用紫穗槐、沙棘类小灌木植物进行 1:1 混栽，将灌木行距控制在 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、株高控制在 0.8~1 m，确保每株灌木的枝条不少于 5 枝。其次从平盘区域入手，通常应选用刺槐、榆树类乔木植物进行 1:1 混栽，将乔木行距控制为 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ ，实现均匀布

置。再次从格构区入手,可选用紫穗槐以 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的间距种植在格构区内,将冠幅控制在 $0.5 \sim 1\text{ m}$ 、株高不超过 1 m ,同时采用紫花苜蓿草种均匀播撒在灌木间,将草种生长密度控制在每平方米 10 g 左右。最后从坡顶两侧道路景观入手,选取乔木(如樟子松、刺槐等)与灌木(如紫穗槐、榆叶梅等)营造道路两侧的行道树景观,注意选取带土球乔木、确保株高不小于 2.5 m ,将灌木的冠幅控制在 1 m 以内、株高为 $0.6 \sim 1\text{ m}$ 、各株灌木枝条数量不小于 15 枝^[3]。例如选取樟子松沿道路内侧以 6 m 的间距种植,在紧邻樟子松 $1.5 \sim 2\text{ m}$ 处选取刺槐以 6 m 的间距进行种植,并在两排乔木间搭配灌木,注意调整好株间距,以此营造良好的道路景观效果、达到美化环境的作用。

2) 坡面复绿技术

在丰富边坡生态整治工程技术措施的基础上,应当聚焦生态培植维度进行深入探索。例如针对坡度为 55° 以上的坡面,可采用植被混凝土挂网喷播技术,先完成坡面清理、填平与冲洗,再利用镀锌铁丝网锚固在坡面构成稳定结构,将植物种子、土壤、水等种植材料以合理配比利用高压喷播机喷播在岩石表面,用于恢复地貌景观;针对高陡岩质坡面,可

选取坡脚、台阶处设置种植槽,将预先培养好的容器苗移植在坡面处,利用坡面罩网牵引藤本植物生长,结成速藤屏;还可以采用生态植被毯技术,利用特殊工艺制成三维复合草毯,依托植物纤维层发挥保水保肥作用,形成良性生态循环,借此有效在边坡坡面形成植物复合体、抵抗雨水冲刷,收获良好的生态修复效果。

5 结论

通过针对某露天矿顺层高边坡的地质水文条件、岩土性质与土壤成分进行综合分析,基于综合整治原则采用边坡整体治理与局部加强方案,并结合土壤成分与植物立地条件完成生态环境修复方案的编制,以此实现对地质环境与自然生态的协同治理,为我国露天矿山的边坡修复治理与复绿工作提供重要参考价值。

[参考文献]

- [1] 吴华,史永强. 边坡生态工程效果评价方法探究[J]. 有色冶金节能,2020,36(6):5-10+15.
- [2] 贺茂坤,张伟,徐利辉. 露天矿山联合排土应用研究[J]. 中国矿山工程,2019(1):12-15.
- [3] 乔琛. 露天矿边坡稳定性的影响因素与防治措施[J]. 露天采矿技术,2019(1):92-94.