

艾格佐尔铜钼矿全无轨地下开采方案设计

田昌贵¹, 徐立¹, 李元松¹, 陈清运¹, 胡乔²

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

2. 新疆鑫岩工贸有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:结合亚美尼亚艾格佐尔铜钼矿地下开采方案设计,系统地介绍了大型金属地下矿山全无轨开采方式的开拓方案、采矿方法、阶段高度的确定、主要运输巷道的布置、矿块构成要素、主要巷道几何尺寸的确定和运输、通风及采掘设备的选型配套。该方案具有开采强度大、基建时间短、动力性能好、运输方式机动灵活、机械化程度高和作业安全等许多优点,不失为大型金属矿山地下开采设计研究的典型案例。

关键词:铜钼矿床;全无轨;地下开采;方案设计

中图分类号:TD214

文献标识码:A

0 引言

随着国民经济的飞速发展,采矿科学技术的日新月异,采矿生产者对改善生产环境,降低劳动强度,提高机械化作业程度的要求逐渐提高;近年来采掘机械设计制造,不论是从技术性能,还是产品质量,均有较大幅度的提高与改进。这些从主客观上均给采矿设计工作者提出更高的要求。在给定地质条件下,设计出开采强度大,适应性强,运输方式机动灵活,安全、经济、高效的开采方案始终是采矿工作者追求的目标,同时也是时代对采矿科技工作者的要求。

然而,我国现有的矿山,不论是有色、冶金,还是化工矿山,从采、掘、运等主要设备到装药、喷射混凝土、锚杆安装、撬毛等辅助性设备实现完全无轨配套的工程案例并不多见^[1-3]。本文结合亚美尼亚艾格佐尔铜钼矿地下开采的方案设计,全面系统地介绍全无轨地下开采的开拓方案、采矿方法、阶段高度的确定、主要运输巷道的布置、矿块构成要素、主要巷道的几何尺寸和运输、通风及采掘设备的选型配套,为采矿工程设计研究积累典型案例,以供同类矿床开采设计时参考。

1 工程概况

1.1 交通及地理位置

艾格佐尔铜钼矿位于亚美尼亚共和国南部的麦格利地区,与麦格利市中心相距12 km。矿区分布在麦格利河中游,海拔1 000~1 600 m的河流

两岸,占地面积5 km²。本地区气候具有多样性。在分水岭上有7~8个月的冰雪天气,而在麦格利河谷则是亚热带气候,最大年降水量为600 mm。根据国际图幅分幅,艾格佐尔铜钼矿位于Y 38 45 A版图内。根据亚美尼亚地震活动分布图,矿区位于8级地震活动区。矿区平面布置见图1。

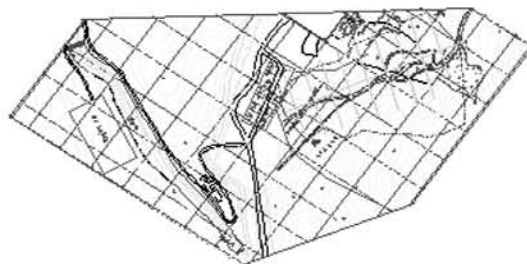


图1 艾格佐尔铜钼矿矿区平面图

Fig. 1 The mine area plane layout map of Aigedzor Copper-molybdenum mine

1.2 矿床地质

艾格佐尔铜钼矿床是典型的铜钼代表性矿床,分布在帕姆巴克-赞格祖尔构造带内,位于其西南。成矿带是一个由古生界、白垩系和老第三系错断地层所组成的穹隆状隆起。

地层:(1)前寒武系巨厚的变质片岩;(2)上泥盆统地层;(3)下二迭统和上二迭统灰色、深灰色和黄灰色的石灰岩;(4)上白垩统地层;(5)始新统和(6)第四系形成物。

侵入岩:本地区最大的特点是侵入岩种类繁多,属于古生代和第三纪。

艾格佐尔矿床是由两个矿段组成:中央矿段和特赫库特矿段。中央矿段矿体是脉状,库特矿段

是网脉状.整个艾格佐尔铜钼矿床中,花岗闪长岩是分布最为广泛和直接含矿的岩石.

1.3 开采技术条件

矿区属坚硬、半坚硬非层状矿床复杂工程地质类型.岩体中各种结构面发育且互相穿切,其延伸长短皆有,空间展布形态各异,它们共同作用,破坏了岩体的完整性,降低了岩体工程地质质量.岩体中的软弱结构面主要表现为低强度、高压破碎带、近矿蚀变带等,对岩体的工程地质质量影响较大.矿体围岩主要为花岗闪长岩,受构造控制.

基底岩石主要是不同蚀变程度和裂隙的花岗闪长岩.矿物密度为 $2.75 \sim 2.95 \text{ kg/dm}^3$,矿岩密度 $2.65 \sim 2.89 \text{ kg/dm}^3$,矿岩平均重度 28 kN/m^3 .孔隙度 $1.08\% \sim 5.89\%$,吸水性 $0.04\% \sim 0.61\%$,软化系数 $0.45 \sim 0.97$.岩石干样品强度极限 $65.0 \sim 231.5 \text{ MPa}$,含水强度极限 $61.3 \sim 176.6 \text{ MPa}$.

矿体上部覆岩层为花岗闪长岩,厚度约 100 m .矿体开采移动界线内,为荒山,地表允许塌落.

1.4 资源条件

艾格佐尔矿床属于热液深成岩成因类型,矿石属于铜钼建造.矿体形态为 $(1\,000 \sim 1\,200) \times (300 \sim 350) \text{ m}$ 的网脉状,厚度为 $250 \sim 300 \text{ m}$.矿体

为北东向延长的等轴状.已探明艾格佐尔矿床矿石平衡表内 C1 级储量为 $5\,160 \text{ 万 t}$,钼的平均品位 0.0427% ,钼 2.2 万 t ;铜的平均品位 0.172% ,铜 8.9 万 t ;平衡表外 C 级储量约 $7\,000 \text{ 万 t}$,平均品位铜 0.1% ,钼 0.02% ;在第 XV 勘探线之外,另有 P 级预测储量 $5\,000 \text{ 多万 t}$.

2 开拓方案

2.1 开采范围及建设规模

本次开采设计范围界于第 III 勘探线与 XVI 勘探线之间,即前露天开采设计的 $1^\# \sim 10^\#$ 矿段.确定生产规模为 $6\,000 \text{ t/d}$,即 $2\,000\,000 \text{ t/a}$.设计按中段可布置有效矿块数、年下降速度、经济合理服务年限等进行了规模技术验证.产品方案:铜钼精矿粉外销.其中铜精矿中铜品位 20% ,钼品位 2.6% ;钼精矿中钼品位 45% ,铜品位 0.3% .

2.2 开拓系统

2.2.1 开拓方案 根据矿床赋存条件,可行的开拓方案有:Ⅰ平硐-盲斜井联合开拓;Ⅱ平硐-盲竖井联合开拓;Ⅲ平硐-斜坡道联合开拓.通过优先系数法对上述三种方案进行数值优选(将另文详述),最后确定方案Ⅲ为该矿开拓系统方案,详见图 2.

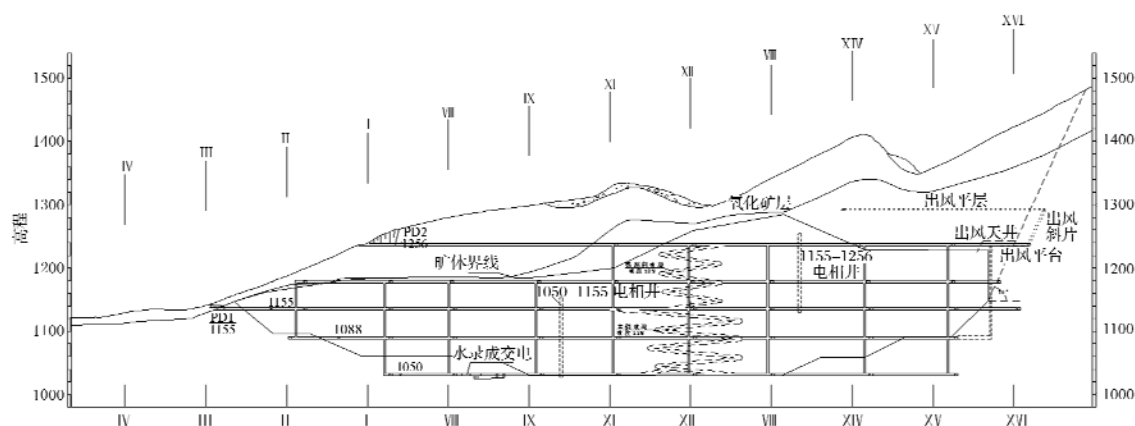


图2 开拓系统纵投影图

Fig. 2 The vertical projection drawing of opening up system

主运输平硐布置在 $1\,133 \text{ m}$ 水平,该水平以上控制矿量 $2\,360 \times 10^4 \text{ t}$,占设计利用储量的 45.8% .该平硐以上采出的矿石通过溜井下放到 $1\,133 \text{ m}$ 水平,由 25 t 矿用汽车运出地表.人员及轻便材料、设备由专用电梯运往各分段平巷,重型设备、材料通过联络斜坡道上下.

主运输平硐以下采用斜坡道开拓,入口位于 $1\,133 \text{ m}$ 平硐内 XI-XI 线与 XII-XII 勘探线之间矿体下盘.该斜坡道主要用于井下采出废石和矿石及

重型材料、设备的运输.井下采出的矿石和废石,通过各分段平巷运往溜井下放到 $1\,030 \text{ m}$ 水平,由汽车运至 $1\,133 \text{ m}$ 水平,经平硐运至地表,废石直接运往废石场堆存,矿石由汽车直接运往一级破碎站.

在矿区的东西两侧布置风井,作为 $1\,133 \text{ m}$ 水平以下开采的进、回风井.

在 $1\,030 \text{ m}$ 水平布置井下排水系统及变电硐室.考虑到当地国际政治环境复杂,加强安全管

理,矿山炸药库设在坑内,位于 1 133 m 水平主要大巷以东 150 m 处。

2.2.2 中段高度确定 根据矿体的赋存条件和采用的采矿方法,参考国外内同类金属矿山的实际生产资料^[4-7],确定中段高度为 100 m。其中段标高分别为 1 030 m、1 133 m 和 1 235 m。为了降低天井钻机的凿岩困难,提高天井钻凿效率,改善采场通风条件,在两中段之间分别设一副中段,其标高分别为 1 176 m 和 1 088 m。

2.2.3 运输巷道的布置 在 1 133 m 水平,矿体下盘岩层移动范围外沿矿体走向布置主运输平硐,三心拱断面,底宽 4.5 m,墙高 3.0 m,矢高 1.5 m。在矿体中轴线(X-X 剖面线)平行主运输平硐布置一条沿脉巷道,其断面与主运输平硐相同。垂直矿体走向每间隔 100 m 布置穿脉横巷,与主运输平硐和沿脉平巷联通,构成水平环行运输系统。在矿体下盘中央部位布置折返式斜坡道,以便与 1 133 m 以上各分段联系,斜坡道坡度 18%,断面 4×3.8 m,为便于人、车分流,另在 XIII 与 XIV 剖面线之间布置一部 5 吨电梯,通往各分段联络平巷,构成矿山垂直运输系统。1 133 m 以下巷道布置与运输系统与 1 133 m 以上基本相同。

2.2.4 溜井布置 采用全无轨设备运输,矿石与废石溜井的布置非常方便,不需布置集中溜井。每矿块布置一眼矿石溜井与一眼废石溜井,或按控制矿量布置溜井。溜井均为 $\Phi 2.5$ m 圆形断面。

3 采矿方案

3.1 采矿方法选择

根据矿体赋存特征和开采技术条件及采矿方法选择原则,适合艾格佐尔铜钼矿开采的采矿方法有阶段强制崩落法与无底柱分段崩落法。两种采矿方法结构参数如下:

阶段强制崩落法。矿块沿矿体走向布置,阶段高度为 60 m,矿块长度为 50 m,分段高度 15 m,采用平底整沟底部结构,铲运机出矿,汽车运输。其它参数见图 3。矿块厚度为矿体的厚度。在运输巷道设漏斗底部结构,底柱高度 5 m。在矿体下盘钻凿天井,通向各分段凿岩平巷,中深孔落矿,矿块的回采自上而下,采用分段崩落,分段高度 15 m。回采工作的主要工序有凿岩、爆破、通风、局部放矿、松石处理、平场、二次破碎及大量出矿。

无底柱分段崩落法。矿块沿矿体走向布置,中段高度 100 m 左右,回采进路垂直矿体走向布置。分段进路式回采矿石,进路长度为矿体水平厚度,

分段高度 14~15 m,进路高 4 m,宽 4 m,间距 16 m。中深孔落矿,铲运机出矿,矿石由铲运机经联络平巷运至矿石溜井,矿块结构参数见图 4。

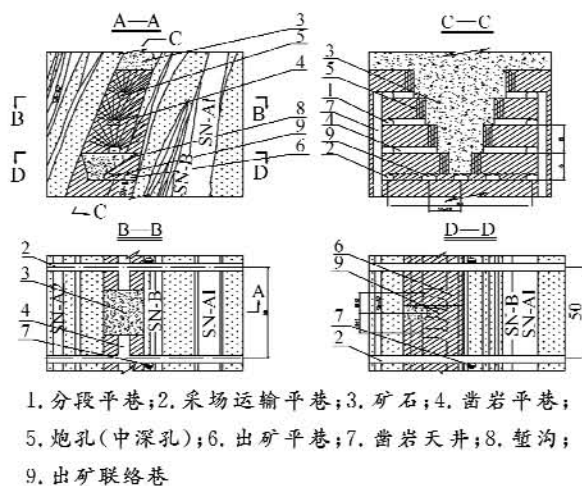


图 3 阶段强制崩落采矿法示意图

Fig. 3 The sketch map of level force caving method

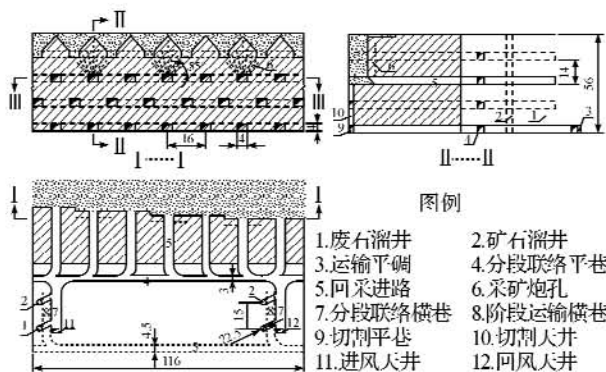


图 4 无底柱分段崩落采矿法示意图

Fig. 4 The sketch map of sub-level caving method

布置下盘脉外中段运输平巷与脉内运输平巷通过矿块联络平巷构成环形运输通道。沿矿体下盘设置脉外矿石溜井,人员、轻型材料由电梯运往各分段平巷,由分段平巷进入各回采进路。设备及重型材料由铲运机经联络斜坡道运至各分段。矿石回采包括凿岩、爆破、采场通风、出矿、支护等工序。两种采矿方法技术经济比较见表 1。

由表 1 可以看出,阶段崩落法的优点与无底柱分段崩落法类似,效率高、开采强度大、劳动生产率高。缺点为贫损指标难以控制,采矿工艺复杂,不便生产管理。无底柱分段崩落法的优点是采矿方法结构简单,灵活性大,不需留矿柱;回采工艺简单,便于使用高效的自行凿岩、装运设备,实现采掘综合机械化;在巷道中作业比较安全;劳动生产率高,矿块生产能力大,可控制贫损指标等各项技术经济指标均优于阶段强制崩落法。综合考虑,推荐无底柱分段崩落采矿方法作为艾格佐尔铜钼矿体开采的采矿方法。

表1 采矿方法技术经济比较

Table 1 The comparison of technology and economy among mine methods

序号	指标名称	单位	阶段强崩落 无底柱分段	
			采矿法	崩落法
1	矿块生产能力	t/d	350	1 500
2	掌子面工效	t/工班	80	100
3	凿岩台效	m/台班	20~40	60
4	铲运机台效	t/台班	200	500
5	每米炮孔崩矿量	t/m	7	20
6	矿石回收率	%	90	86
7	矿石贫化率	%	20	15
8	千吨矿石采切比	m/kt	3.45	2.4
9	主要材料消耗(木)	m ³ /万t	10	5
10	工艺与管理难易程度		一般	易
11	作业安全程度		较好	好
12	机械装备情况		适应	好
13	对矿体变化的适应情况		适应	好

3.2 无底柱分段崩落法回采工艺

3.2.1 回采顺序及基建采切矿块数 矿山开采顺序坚持“贫富兼采、生产安全、技术可行、经济合理”的原则。由于矿体属极倾斜厚矿体,矿体受地质构造切割强烈,大部分构造应力已释放,矿体地应力以自重应力为主,对矿体回采顺序影响不大。鉴于本矿是合资企业,要求基建时间短,投资返本快,拟分期开采。因此考虑回采顺序时,将地质储量已探明且品位较高的4、5、6和7号矿块作为一期开采对象。在一期开采矿段中,首采7号矿块,由上盘至下盘,而后依次回采6号矿块、5号矿块和4号矿块。基建采切矿块数:基建采切矿块全矿共布置3个,投产时2个回采,1个备用。

3.2.2 矿块构成要素 根据矿体赋存条件和围岩稳定性,矿块构成要素确定为:矿块沿走向布置,长96~100 m,中段高度为100~103 m,矿块宽度为矿体厚度,分段高度14~15 m。回采进路垂直矿体走向布置,回采进路宽4 m,高4 m,间距16 m。

3.2.3 采准切割 中段运输平巷布置在脉外,主要采切工程有通风天井、联络平巷、联络斜坡道、放矿溜井与废石溜井、切割天井与切割平巷及回采进路的准备等。

在矿体下盘掘进一条与阶段运输大巷平行的分段水平联络巷道,分别联通相连矿块,并与联络斜坡道相接,分段平巷设有2%~3%的坡度,以便排除凿岩用的废水,为了延长轮胎寿命,平巷的路面应平整、干净。人员、轻便材料、设备由电梯井提升至各分段联络平巷,经联络平巷进入采场。重型设备及材料由铲运机装运,经联络斜坡道进入分段平巷。风水管和新鲜风流由通风天井进入联络

平巷。每矿块分别掘一眼矿石溜井与一眼废石溜井,采出的矿石与废石由铲运机分别运至矿石溜井与废石溜井。对于靠近上盘顶端的进路需先在进路顶端开掘切割天井与切割平巷,以形成补偿空间与覆盖围岩。

3.2.4 进路回采 回采工艺包括:打眼、装药、爆破、通风、安检和出矿等几个环节,回采循环作业。

凿岩:采用CS 100D型凿岩台车打上向前倾扇形炮眼,前倾角85~90°。炮孔直径100 mm。炮眼深度9~20 m,边孔角为55~60°,崩矿步距为3.5 m,每排炮孔总长度为90~110 m,炮孔数7~9个,一次崩矿量约2 038 t,平均每米炮孔崩矿量约20 t。

装药:按崩矿步距3.5 m,矿石容重2.8 t/m³计,炸药单耗取0.25 kg/t,采用二号岩石粉状炸药,一排炮孔用药量约509 kg,选用1台BQF 100型混装炸药车装药,装药速度40~75 kg/min,装药密度0.9~1.0 g/cm³,可满足要求。

爆破:最小抵抗线 $W=3.5$ m,炮孔间距 $a=W=3.5$ m,一次单位炸药消耗0.25 kg/t,炮孔前后排交错布置。用非电导爆管起爆法瞬发起爆。经验表明,如将9个炮孔,抽出2个,布置在距掌子面1.8 m处,与后排7个炮孔采用微差起爆,爆破效果更好。本设计建议实际生产时可做一定量的试验对比,选出效果更好的方法。

通风:新鲜风流从阶段平巷沿天井上升,经联络道进入矿块。配局扇加强通风,清洗工作面后,污风由另一侧的联络道,经回风天井上升到阶段回风平巷排出。

出矿:进路出矿选用JCCY-6型铲运机,直接将矿石装运至矿块溜井,再通过振动放矿设施,将矿石装入JQK 25矿用汽车运至地表。

3.2.5 覆盖层的形成 无底分段落崩落法是在覆盖岩(矿)石下进行放矿,因此初期形成覆盖层是无底柱分段崩落法采矿的必要条件。根据艾格佐尔铜钼矿矿体赋存条件,矿岩物理力学性质,可以看出矿岩坚硬,稳定较好,埋深从30 m至100 m不等,单靠自然崩落法形成覆盖层可能性不大。因此本设计拟在1 235 m水平之上,钻凿上向炮孔,强制崩落约25 m厚的岩(矿)石,暂不运出,作为下部矿体开采的覆盖层。

4 通风及排水系统

4.1 通风系统

采用对角抽出式通风系统(详见图5)。

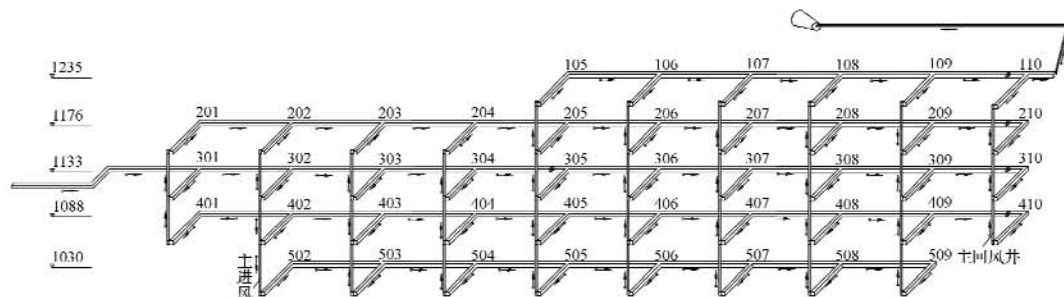


图 5 通风系统示意图

Fig. 5 The sketch map of ventilation system

4.2 排水系统

矿井排水分两种方式:1 133 m 水平以上平硐自流和 1 133 m 水平以下由排水泵排水。由于主平硐口,标高 1 133 m,高于当地侵蚀基准面。因此 1 133 m 水平以上矿岩渗水,通过运输巷道排水沟,汇至主运平硐排水沟,水沟均设有 4‰~5‰ 水坡,自流至地表排水系统。

1 133 m 水平以下排水。依据地表气象资料,当地最大年降雨量不足 600 mm,属干旱少雨地区,地表补给水很少,但考虑到 1 030 m 水平已低于附近主河床,且地层受构造破坏严重,可能造成地下水与主河流产生水流联系。因此 1 133 m 水平以下总排水量按 600 t/d 设计,随着开采中段的延伸,矿床涌水量还会有一定的增加。因此在 1 030 m 水平设井下排水系统。水仓设大小两个,正常排水使用主水仓,清渣、排泥时使用小水仓。主水仓容量为 800 m³,小水仓容量 500 m³。

5 矿山机械

主要设备选择详见表 2。

表 2 主要采矿设备表

Table 2 The statistics table of main mine equipment

序号	设备名称	规格型号	单位	数量
1	掘进凿岩台车	Rocket Boomer 282	台	2
2	出渣铲运机	JCCY-2	台	2
3	天井钻机	AT-2000	台	2
4	采矿凿岩台车	CS-100D	台	3
5	出矿铲运机	JCCY 6	台	3
6	混凝土喷浆机	TPS 6	台	2
7	锚杆台车	BOI.TEC	台	2
8	撬毛台车	PT50	台	2
9	装药器	BQF-100	台	1
10	25 吨载重汽车	JQK-25	台	4
11	5T 电梯	富士 E20	台	2

6 结 语

随着地下金属矿山规模不断扩大,劳动效率

不断提高,无轨采矿方法已逐渐推广应用。

结合亚美尼亚艾格佐尔铜钼矿床地下开采设计,全面地介绍了一种典型完全无轨式地下开采方案包括:开拓系统、采矿方法的比选,回采工艺、矿井运输系统、通风、排水系统的设计和主要设备选型。该方案的主要特点有:a. 全面实现掘进、采矿、运输等主要设备及装药、喷锚、撬毛等辅助设备无轨化;b. 有利实现安全生产,降低劳动强度,提高生产效率;c. 对生产能力的变化有较强的适应性。

参考文献:

- [1] 杨福泉. 地下金属矿山无轨辅助车辆的现状与发展 [A]. 第六届采矿学术会议文集 [C]. 1999, 10: 433-438.
- [2] 高梦熊,程浚. 再谈国外地下采矿汽车的现状与发展 [J]. 矿山机械, 2005, 12: 30-34.
- [3] 郭金峰. 我国地下金属矿山采矿技术现状和发展趋势 [J]. 金属矿山, 2005, 9: 1-5.
- [4] 余健,汪德文. 高分段大间距无底柱分段崩落采矿新技术 [J]. 金属矿山, 2008, 3: 26-31.
- [5] 范庆霞. 梅山铁矿采场崩落步距的探讨 [J]. 金属矿山, 2007, 9: 24-27.
- [6] Miller R D, Steeples D W. Applications of shallow, high resolution seismic reflection to various mining operations [J]. Mining Engineering, 1995, 47(4): 355-361.
- [7] Handly M F, De Lange J A J, Essrich F. A review of the sequential grid mines method employed at Elandsrand Glod Mine [J]. The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 2000, 100: 157-167.

(下转第 61 页)

- 1997,(4):34-37.
- [2] 姜国顺,孙广顺,李长英.不断轨动态电子轨道衡测量原理的探讨[J].计量技术,2002,(6):21-23.
- [3] 上海铁路局职工教育处.营业线施工安全知识[M].北京:中国铁道出版社,2009.
- [4] 中华人民共和国铁道部.TB10210—2001/J118—2001 铁路混凝土与砌体工程施工规范[S].北京:中国铁道出版社,2001.

Construction technology of rail weighbridge of Duoluokou station in of the new second line Wukang railway

JIA Kang-tian

(China Railway 12th Bureau Group CO., LTD, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The GCU-100 double-force integration ceaseless dynamic electronic rail weighbridge is a kind of measuring equipment that can automatically, continuously and dynamically scale the running trains without requirement of uncoupling. Due to the earnest study on existing line transportation and construction technique, the reconstruction of Duoluokou station of the new second line in Wukang railway constructed by the Twelfth Bureau Group of Chinese Railway Construction General Corporation accomplished the newly-built railway scales under the complicated and interlaced station.

Key words: rail weighbridge; construction; technique

本文编辑:萧 宁



(上接第 56 页)

Schematic design of full trackless underground mining of Aigedzor copper-moly ore

TIAN Chang-gui¹, XU Li¹, LI Yuan-song¹, CHEN Qing-yun¹, HU Qiao²

(1. School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Xinjiang Xinyan Industrial and Trading CO., LTD, Urumqi 830011, China)

Abstract: An full trackless underground mining scheme was introduced combined with the mining design of Armenia Aigedzor Copper-moly ore. The scheme included opening up the deposit, choosing method of mining, determining the height between horizons, laying out transportation laneway, designing the geometry parameters of mine block and the section sizes of main heading and choosing type of transportation, ventilation, drain and mine drilling equipment. There are many advantages in the scheme such as high producing strength, the short of basic construction period, convenient transportation mode, mechanized operation and safety work, etc. Therefore the scheme can be taken as a model example for schematic design of large scale underground mining of metal mine.

Key words: copper-moly ore; full trackless equipment; underground mining schematic design

本文编辑:萧 宁