

文章编号:0451-0712(2007)02-0188-06

中图分类号:U455.33

文献标识码:B

大倾角斜井长曲线提升机运输施工技术

郭世杰¹, 罗俊荣¹, 郭德福¹, 康 政¹, 温 泉², 蒋智勇²

(1. 中铁隧道集团第一工程处 新乡市 453000; 2. 重庆高速公路发展有限公司 重庆市 400000)

摘 要: 传统提升机有轨运输只能直线牵引或短距离斜线牵引, 本文介绍了大倾角斜井长曲线提升机运输施工技术, 其运输方式有安全性能高、施工速度快、成本低的优点。

关键词: 斜井; 长曲线; 提升机; 运输

国内高速公路隧道运营管理经验表明, 隧道的运行成本主要为机械通风和电光照明的电费。随着隧道施工技术和机械化程度的不断提高, 我国公路特长山岭隧道越来越多, 随之也带来了特长隧道运营通风的技术和成本问题, 现有的射流通风机技术难以满足需要, 在西南地区公路特长隧道设计中, 已逐步使用竖井、斜井配合地下风机房进行运营通风尝试。这类斜井设计都会采用一段或长或短的曲线与地下风机硐室群相接, 这给施工运输带来了一大难题。我们在保证运输安全的前提下, 攻克了斜井曲线使用单一绞车提升运输的难题, 开创了对大倾角斜井曲线段绞车提升运输的施工先例, 为今后运营通风斜井的设计、施工提供一点参考。

1 工程概述

方斗山斜井是沪蓉国道主干线支线分水岭(鄂渝界)至忠县高速公路方斗山特长隧道的运营专用通风巷道, 工程位于重庆市石柱县境内。斜井左线全长 707.14 m, 倾角 24° , 开挖断面面积 $56.8 \sim 72.7 \text{ m}^2$; 右线全长 779.94 m, 倾角 22° , 开挖断面面积 $41.3 \sim 53.8 \text{ m}^2$ 。方斗山斜井是目前国内在建斜井中开挖断面最大、倾角较陡、长度较长的斜井之一。其中右线在 JYK0+38.2~+156.01 路段处为一水平投影半径 $R=150 \text{ m}$ 的曲线, 曲线斜长 $L=127 \text{ m}$ (工程平面图见图 1)。在 22° 大倾角上开挖如此长的曲线为国内罕见, 属全线难点工程之一。

2 提升运输系统

根据缓坡斜井低于 13° ($i \leq 0.23$) 以下可采用汽

车运输, 陡坡斜井 $16^\circ \sim 24^\circ$ ($i=0.3 \sim 0.45$) 只能用绞车提升运输的特点, 方斗山斜井运输采用 2JK-2.5 \times 1.5/20 型矿用提升机 (其技术参数见表 1) 牵引, 双线四道运输。钢轨采用 43 kg/m 重轨, 轨距为 762 mm。枕木采用铁路运营替换下的油枕, 油枕横截面为 220 mm \times 160 mm, 枕木长 1 200 mm, 铺设间距 800 mm, 枕木每间距 16 m 设置一地辊及轨道防滑装置。运输采用 4 m³ 侧卸矿车, 矿车质量 2 895.06 kg。矿车连接器 (牵引部位) 中心距枕木高 534 mm; 地辊上平面距枕木 180 mm。下放轻矿车钢丝绳在重力作用下 25 m 左右落入地辊上, 上行重矿钢丝绳在 37 m 左右落入地辊上 (矿车牵引示意图如图 2)。

3 曲线提升主要研究问题

通过对提升系统的分析, 提升机牵引矿车过曲线, 必须处理好以下 4 个难题:

- (1) 如何约束钢丝绳使其沿曲线轨道运动;
- (2) 对提升机刹车时及其他因素造成牵引钢丝绳跳跃的约束;
- (3) 如何降低钢丝绳牵引高度;
- (4) 矿车运行安全措施。

4 处理办法

约束牵引钢丝绳沿曲线轨道运行最经济易行的办法是在轨道内设置立辊。多家科研单位在与我们共同研究时, 都提出设置立辊, 将矿车连接器进行降低的方案。

通过图 2 牵引示意图可得知, 矿车车轮轴下端

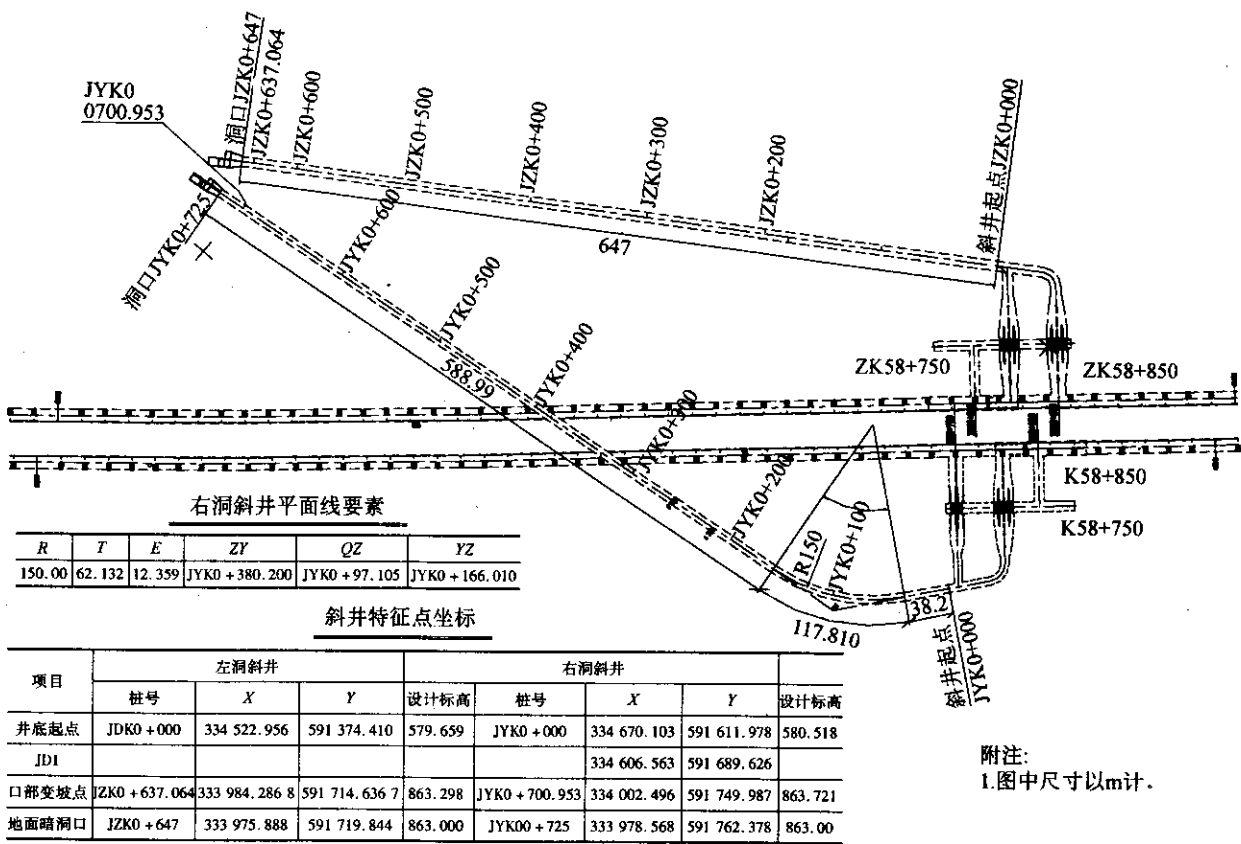
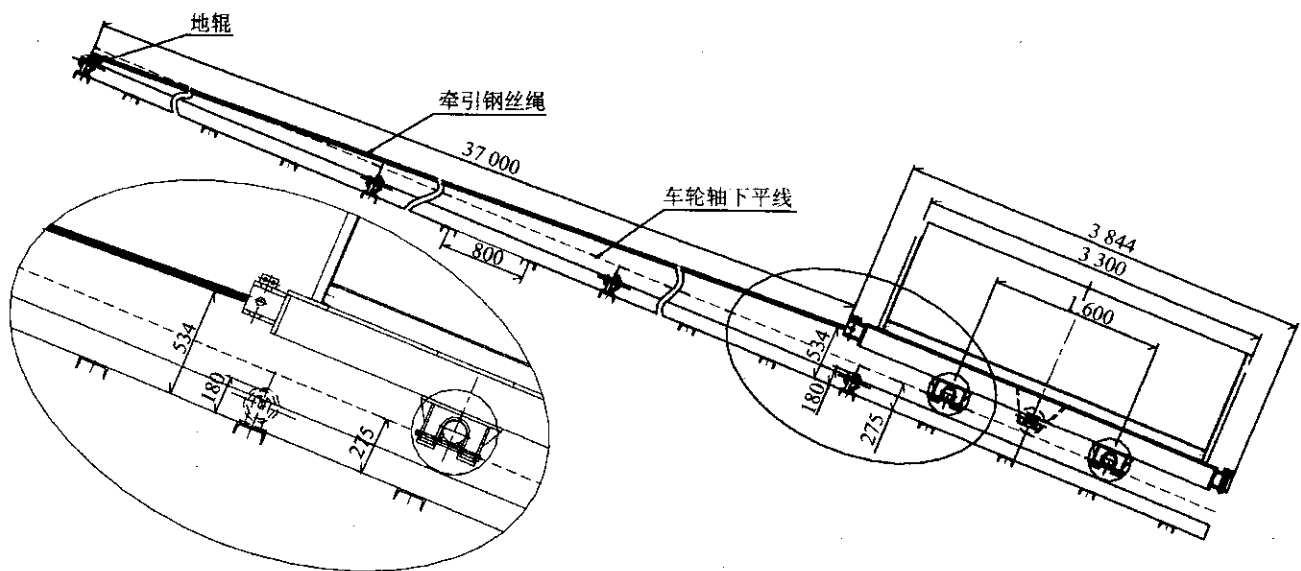


图 1 方斗山隧道通风斜井平面位置示意

表 1 提升机技术参数

机器型号			2JK—2.5×1.5/20 型矿井提升机				
卷筒	数量		2	卷筒容绳量	m	一层	290
	直径	mm	2 500		m	二层	650
	宽度	mm	1 500		m	三层	1 000
	两卷筒中心距		mm	1 600	减 速 器	型号	JSZ—2×550
负 荷	钢丝绳最大静张力 $F_{静}$	kN	90	电 动 机		传动比	20
	钢丝绳最大静张力 $F_{差}$	kN	55		型号	JR1510—10	
					功率	kW	400
					同步转速	rpm	590
					极数	10	
钢 丝 绳	型号	6×19+FC		钢丝绳速度 V_{max}		m/s	3.9
	长度	m	1 000	钢丝绳直径		mm	3.1
	破断拉力总和	kN	657.396	实测破断拉力总和		kN	607.3
	公称抗拉强度	MPa	1 670	净重		kg/m	3.442
机器旋转部分重量		kg	16 186	机器重量(不包括电机电器)		kg	35 935
最大外形尺寸 (长×宽×高)		mm	9 526×8 680×2 500	液压系统 工作压力		MPa	6.3

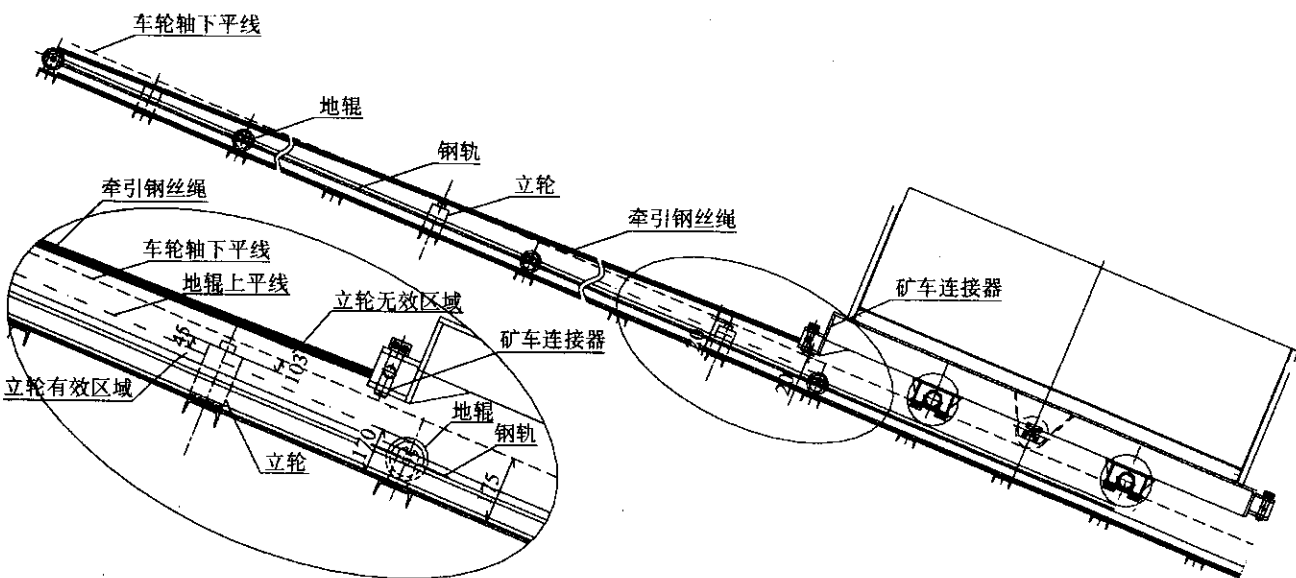


单位: mm

图2 4 m³侧卸车牵引示意

距枕木高 275 mm, 因此立辊高度不能超过 275 mm, 否则矿车车轮轴便会碰撞立辊造成矿车无法运行或跳道; 同理, 矿车的连接器不能低于 275 mm, 低于连

接器就会碰撞地辊。根据这个条件可绘出图 3 牵引示意图。



单位: mm

图3 降低连接器牵引方案示意

分析图 3 可得知: 由于立辊和矿车连接器工艺的原因, 牵引钢丝绳与立辊之间会有 103 mm 的无效区。这只能依靠钢丝绳自重形成的悬链线效应降到立辊的有效约束区域内。观察钢丝绳悬链线现象, 在下放空矿车时, 矿车在无效区内需运行 8 m 左右, 钢丝绳才会进入立辊有效区域内; 重矿车则需要

无效区内运行 15 m 以上才会进入立辊有效约束区域内。而矿车在曲线段运行 15 m 时的中心线偏移量是 752 mm, 即使此时钢丝绳降下来, 已早在钢轨外面。所以该方案被否定。

从图 3 中可知: 利用图中连接器牵引矿车时, 无法让矿车通过立辊后及时将钢丝绳引入立辊中。通

过研究改用绳卡器牵引代替连接器牵引。绳卡牵引器设计体积很小,这使它不受车轮轴下平线的限制而能根据需要任意降低牵引高度,使矿车通过立辊便能将钢丝绳引入立辊有效约束区域内,从而让牵引钢丝绳沿立辊设置位置运动。

为防止钢丝绳在绳孔中的挤压形成点或线接触而磨损、点蚀影响钢丝绳寿命,同时防止绳卡器松动或在意外冲击力下钢丝绳在绳槽中滑动磨损钢丝绳,设计在绳卡器与钢丝绳之间镶嵌一套两半圆形紫铜套。紫铜质地较软,在夹紧力的作用下能与钢丝绳紧密接触,形成足够的摩擦力,保证钢丝绳在任何情况下不受损伤。同时为消除绳卡器两端对钢丝绳的剪切力,两端制作成圆滑过渡喇叭形,将绳卡器对钢丝绳的损伤降至最小。紫铜套与夹绳器之间各有矩形螺纹槽,相互镶嵌其中,防止紫铜套与夹绳器相互滑动。

绳卡器通过支座与矿车底盘相连,材料为 Q235 钢。所有连接部位采用连续焊接法焊接,焊缝高不低于 8 mm。为保证矿车与牵引钢丝绳的绝对安全,将原矿车连接器移至矿车尾部(从牵引方向分),钢丝绳末端留 1.8~2.1 m,绕过桃形环(绳环)后用卡子固定联接。为保证工作可靠,使用绳卡子应不少于 6 个。然后再将桃形环用 $\phi 50$ mm 插销与矿车连接器相联,并将插销按规定锁住,这样即使绳卡牵引器在意外情况下出现松夹,也不会出现矿车与牵引绳脱离事故。

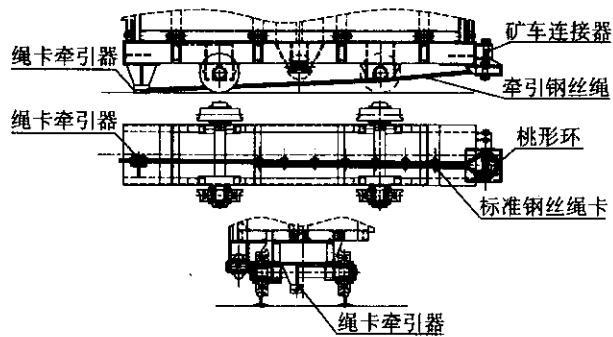


图 4 矿车牵引修改后示意

矿车牵引高度降低后,通过计算,立辊的有效约束高度=矿车轮轴下平线高度-立辊与轮轴下平线之间安全距离(取 20 mm)-立辊上端无效距离 25 mm-地辊高度-绳卡器与地辊之间安全距离(取 20 mm)即:

$$275-20-25-180-20=30\text{ mm}$$

也就是说牵引钢丝绳完全深入立辊时尺寸仅有 30 mm,这仅是在理想条件下的尺寸。若钢轨不平或运行中自然下沉都会造成钢丝绳不能进入立辊的有效区域内。通过观察牵引钢丝绳运动时在两地辊之间的最大悬链线尺寸,设计将地辊安装尺寸降低 80 mm。安装地辊枕木由原来的木枕改为 160 mm 槽钢,地辊支架焊接在槽钢上(见图 5),这样立辊的有效约束区域由原来的 30 mm 增至 110 mm。

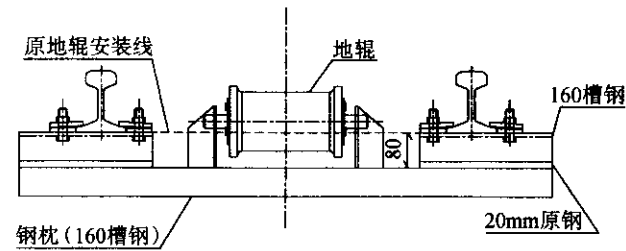


图 5 改进后地辊安装示意

由于牵引钢丝绳在运动中受外界影响因素很多,运动也无规律。为保证牵引钢丝绳在各种情况下均不会自行从立辊约束区域内滑出,将立辊顶端设计一厚 20 mm 的凸缘来防止钢丝绳滑出。为减少凸缘对钢丝绳的连续磨擦,将凸缘设计成 5~6 瓣(如图 6)。

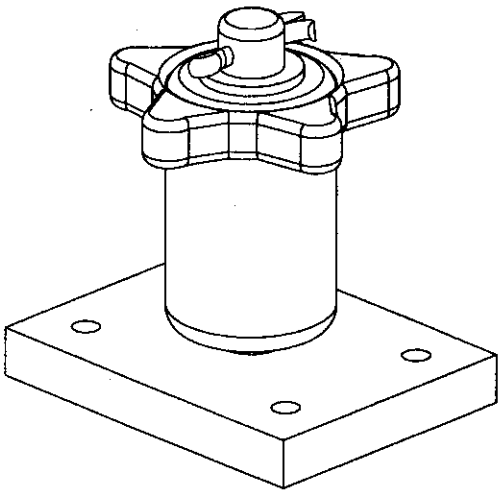


图 6 五瓣立辊

5 瓣立辊用螺栓连接在 160 槽钢制作的钢枕上,其安装位置与轨道中心线相对位置尺寸如图 7。

5 轨道铺设

曲线段运输采用单线双轨(单钩提升)。当双线四轨铺设至曲线起始里程 JYK0+156.01 处,停止铺设靠曲线外侧的轨道,并对矿车底盘按上述改进牵引方式改造。

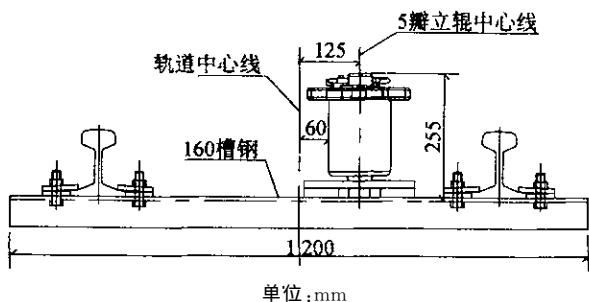


图7 5瓣立辊安装尺寸示意

因地辊安装尺寸由原高于钢轨面 40 mm 降至低于钢轨面 40 mm (参见图5), 为防止钢丝绳拖磨枕木, 地辊安装间距由原 16 m 调整为 8 m 一组。在隧道开挖至曲线起始里程前将靠曲线内侧 (留下过曲线运输) 的轨道上的地辊按上述方式全部抽换、补充完毕。

在铺设靠曲线内侧的轨道至 JYK0+164 (距曲线起始里程差 8 m) 处开始设置安装立辊的钢枕, 同时设轨距拉杆一组。安装立辊钢枕每间距 4 m 一根, 轨距拉杆 8 m 一组。在曲线起始点连设两组 (间距 0.8 m) 立辊及轨距拉杆。

钢轨从 JYK0+164 处开始按规定由直线对接式接头改为曲线错接式接头, 错距约 2 m。此时轨道仍沿直线继续铺设延伸。

6 试验与试运行

隧道开挖至 JYK0+120 时, 轨道已靠近斜井曲线外侧边墙而不能再向前直线延伸, 此时轨道已深入曲线 27 m, 这段轨道便是曲线试验轨道。

在将直线轨道改铺成曲线前, 先进行测量放线, 标出轨道中心线和标高。路基平整好将轨道拨成曲线。调整好轨道后在安装立辊的钢枕两端用风钻打地锚, 将轨道固定于路基。再将 5 瓣立辊安装于钢枕上, 最后施做安全保护装置即可。

试验段轨道铺设后, 将已改装好牵引方式的矿车吊入轨道, 用绳卡牵引器卡住钢丝绳。为清楚看到牵引器与地辊、立辊的相对位置及钢丝绳进出的过程, 在矿车底盘不影响矿车运行位置处用双面粘胶带安装三个数码摄像机, 镜头对准绳卡牵引装置、矿车尾部连接器、矿车底盘中部的钢丝绳等几处关键部位进行摄像。

为确保试验安全, 在变坡点、每个立辊处安排专职安检员、绳检工、机电技术员等在安全位置手执对

讲机进行试验观察, 发现异常情况及时通知绞车司机停车。

一切准备完成后, 绞车从井口将矿车按 0.5 m/s 的速度缓慢下放至井底, 在井底的技术人员通过摄像机对运行情况进行观察分析, 确定矿车运行完全满足技术要求, 再将矿车调至 5 瓣立辊处, 人为串动矿车, 让轮缘紧靠曲线内侧及外侧钢轨, 分别测量出绳卡牵引装置与 5 瓣立辊间最小及最大安全间隙、绳卡牵引装置与地辊安全间隙 (分别见图8、图9)。

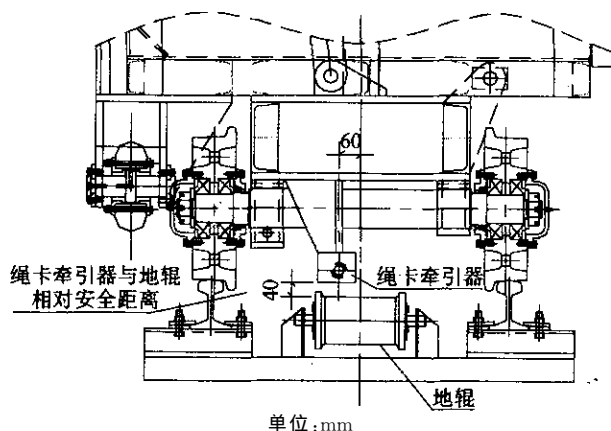


图8 矿车绳卡牵引器与地辊相对位置示意

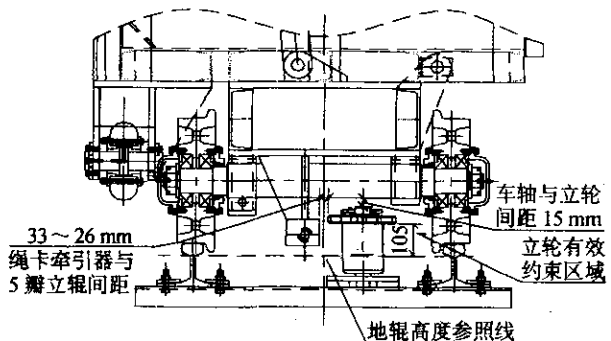


图9 矿车绳卡牵引装置与5瓣立辊相对位置示意

在确定各部位之间不会产生钩挂、碰撞的情况下, 使矿车按不同速度进行试运行, 如 1 m/s、1.5 m/s 等, 为确保安全, 最大运行速度不能超过 1.5 m/s。在各种速度下均能顺利运行后, 可进行载荷试验。载荷也要逐步增加, 如总载重的 20%、40%、60%、80% 至 100%。最后, 要在矿车正常载重情况下, 用最大速度多次反复试运行, 直至确信不会出现异常情况, 方可投入使用。

7 安全措施

(1) 采用视频监控系统对矿车运行全过程监控

与录像,直线段每间距150 m设置一套,曲线段每间距30 m设置一套,其中卸渣位、变坡点、曲线起始、终止点各增设一套,由绞车副司机进行监控,发现问题及时停车处理。

(2)增设矿车跳道信息捕捉装置。方法是:在轨道内外侧距矿车车厢150 mm处每间距16 m(直线段)、8 m(曲线段)锚焊一立杆,立杆高出车厢底板150 mm,立杆上安装一套小滑轮,滑轮内穿 $\phi 3$ mm钢丝绳,调整钢丝绳与矿车车厢相距为50 mm。每间距80 m安装一套LX4-12S型行程开关,将钢丝绳与行程开关撞杆顶端固定。工作原理:矿车轮缘一旦爬上钢轨面,矿车车厢便会偏离轨道中心线撞上其中一侧钢丝绳,钢丝绳拉动行程开关向绞车司机发出警报,即可立即停车处理。

(3)严格控制运行速度。

曲线段运行速度 ≤ 1.5 m/s,进入直线段后才能逐渐加至全速。

(4)勤检查。

每7 d将矿车放置在阻车器上,松开绳卡牵引

器对夹紧部位的钢丝绳进行检查。

(5)勤保养。

每次出渣完毕,用铜丝刷将矿车底盘下的尾绳及绳卡牵引器前30 m范围内的钢丝绳上粘附着的粉尘清理干净,重新涂上增磨脂进行保护。

8 效果

曲线段为Ⅲ至Ⅳ类围岩,开挖断面面积 $49.2 \sim 41.3$ m²,初期支护厚度15~10 cm。用上述方法运输,日平均进尺2.6 m,仅用48 d顺利开挖完曲线段,并向井底直线段继续开挖。在曲线段运输过程中未出现任何意外事故,达到了安全、快速运输的初期目标。

9 结论

斜井曲线段运输难题的解决,使通风斜井的曲线段设计、施工不再成为难以逾越的障碍,必将为公路长大山岭隧道采用斜井运营通风的普遍推广产生一定的影响。