

隧道大坡度斜井有轨运输技术的研究与应用

陈顺惠

中交二公局第三工程有限公司 宝坪 11 标 陕西 西安 710016

【摘要】针对宝鸡至坪坎高速公路秦岭特长隧道实际施工特点,重点介绍了该隧道主副大坡度通风斜井应用大功率绞车提升有轨运输系统的方法和工艺、提升设备造型、斜井上下车场布置,轨道铺设、材料运输设备、相应采取的安全创新措施,研究成果可为类似条件下的大坡度斜井隧道工程提供借鉴和经验。

【关键词】大坡度斜井;绞车提升;安全措施;轨道铺设

为解决长隧道施工期紧、运行期通风困难的问题,通常采用斜井来增加工作面积。其中,大坡度斜井轨道运输施工可供借鉴。传统的施工方法面临着巨大的施工风险、技术困难和资源投入。本课题在大坡度斜井施工中形成的研究成果,可以有效提高施工效率,缩短施工周期,解决施工过程中的排渣、物料运输等一系列问题。

1 概况

陕西宝坪高速是国家高速公路银昆线(G85)的组成部分,宝鸡至坪坎高速公路秦岭特长隧道位于秦岭山地区,从北向南穿越秦岭主山脊,全长15.5公里,其建设规模(双向六车道)目前居世界第一,是全线控制性工程。该项目部部施工秦岭特长隧道的第二区段,LJ-11标全长3.185公里。1号通风斜井左线全长868m,坡度-40.175%(∠21.8°)。右线全长962m,坡度-36.153%(∠19.8°)。有轨运输斜井承担斜井、联络洞及正洞的主要运输量有:挖方设计106万方(考虑超挖以及折合松散系数约130万),混凝土约23万方,钢材约8897.8吨,防水板及土工布498450平方。由于斜井设计坡度较大,其出渣采用绞车提升有轨运输方式进行,根据总体工期目标要求及施工组织安排,斜井开挖支护完成后,需要承担隧道主洞段(3.185km)的施工任务。有轨运输是项目的施工命脉,承担着运输量大、安全风险高等诸多挑战。

2 具体的方法和工艺

施工设计在1号斜井左洞布设2条运输线,洞外安装2JK-3.5*1.7双滚筒绞车1部,功率630kW,侧卸式曲

轨矿车2台,容量10方;在2号斜井中布设3条运输线,安装JK-2.5单筒绞车1部,功率315kW;2JK-3.5*1.7双筒绞车1部,功率630kW,分别运输人员上下和运输隧道内所用材料。

2.1 出渣运输

斜井有轨运输系统辅助隧道正洞施工,通过挖掘机、装载机及自卸汽车相互配合,将正洞爆破碎石运输到斜井井底车场装碴,通过斜井有轨矿车提升到洞外车场卸碴,装载机配合自卸汽车装碴后弃运至指定弃碴场,有效地实现了无轨-有轨-无轨的工序转换,提高了施工效率。

2.2 主斜井出碴提升机运输能力分析

左洞为主斜井,主要承担正洞及斜井出碴的生产任务。根据以往施工经验正洞Ⅲ级围岩每天单洞掘进6m(断面面积130m²)计算,松方系数1.6。

日出碴量:130×6×2×1.6=2496m³,设计选型分取值2500m³/天。

主斜井选定一台2JK3.5×1.7P型双滚筒矿井提升机,提升速度4.6m/s,配10m³矿车,矿车装载率为80%,自重8.5t,运输距离816m。

矿车行走时间:816/4.6/60≈3min

装碴卸碴时间:3min

矿车一次运输时间:5min

日出碴运输时间:[2500÷(10×0.8)×8]÷60=42h/2(双筒)=21h。

分析结果:主斜井采用一台2JK-3.5×1.7P型双滚筒矿井提升机,提升速度4.6m/s,配10m³矿车,运输距离为816m,能够满足日最大出碴任务。

2.3 安全性验算

2.3.1 提升机使用技术参数

作者简介:陈顺惠(1984—),男,江苏徐州人,本科学历,研究生学位。2010年毕业于中国矿业大学地下工程专业,工程师、国家注册安全工程师。现任中交二公局第三工程有限公司宝坪项目副经理兼安全总监。

JK型单绳缠绕式矿井提升机技术参数表（配置双力线减速机型）

型号规格	结构参数						运动动力参数							
	卷筒			钢丝绳			主机地面上 外形尺寸 L×F×H	最大 静张 力	最大 静张 力差	减 速 公 称 速 比	钢 绳 速 度	电 机 额 定 转 速	推 荐 电 机 功 率	
	数 量	直 径	宽 度	容绳量 (m)										
				一 层 绕 绳	二 层 绕 绳	三 层 绕 绳								
2JK-3.5×1.7(P)	2	3.5	1.7	42	327	686	1154	15×10.4×2.92	170	115	20	4.6	453	545
	个	m	m	m	m	m	m	m	KN	KN	i	m/s	rpm	KW

矿车容积 10m³，自重 8.5t；石碴 1.7t/m³；提升绳速度 4.6m/s；提升长度 816m；斜井倾角 22°。

f1：矿车运动时阻力系数 f1=0.015；f2：钢丝绳运动阻力系数 f2=0.35；

T：提升一次循环时间 s；L：提升长度 m；V：提升机绳度 m/s；

Q：提升一次重量 Kg；Qm：矿车自重 Kg α：斜井倾角 α=22°；

η：提升机传动效率 η=0.92；P：钢丝绳每延米重量 P=5.76Kg/m；

N：提升机电动机功率 KW；F：计算最大静张力 KN；

g：重力加速度 9.8N/Kg。m：安全系数，取 6.5

F差：计算最大静张力差 KN；δ：钢丝绳公称抗拉强度 1770N/mm²。

2.3.2 提升机最大静张力验算

$$F = (Q + Q_m) (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + PL \times 9.8 \times 0.001 \times (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha)$$

$$F = (166.6 + 83.3) \times (\sin 220 + 0.015 \cos 220) + 5.76 \times 816 \times 9.8 \times 0.001 \times (\sin 220 + 0.35 \cos 220)$$

$$F = 249.9 \times (0.3746 + 0.015 \times 0.9272) + 46.06 \times (0.3746 + 0.35 \times 0.9272)$$

$$F = 119.01 \text{KN} < 170 \text{KN} \text{ (最大静张力符合要求)}$$

2.3.3 提升机最大静张力差验算

$$F_{\text{差}} = F - Q_m \times (\sin \alpha - f_1 \cos \alpha)$$

$$F_{\text{差}} = 119.01 - 83.3 \times (\sin 220 - 0.015 \cos 220)$$

$$F_{\text{差}} = 119.01 - 83.3 \times (0.3746 - 0.015 \times 0.9272)$$

$$F_{\text{差}} = 88.97 < 115 \text{KN} \text{ (最大静张力差符合要求)}$$

2.3.4 提升机电动机功率验算

$$N = F_{\text{差}} \times V_m \times 1.02 / 1000 \times \eta$$

$$= 88970 \times 4.6 \times 1.02 / 1000 \times 0.92$$

$$= 453.73 \text{KW} < 545 \text{KW} \text{ (电机功率符合要求)}$$

2.3.5 提升机钢丝绳验算

$$P_k = (Q + Q_m) \times (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) \div [(11 \times \delta \div m) - L \times (\sin \alpha + f_2 \cos \alpha)]$$

$$= (17000 + 8500) \times (0.3746 + 0.015 \times 0.9272) \div [2995.3 - 570.4]$$

$$= 3.65 \text{(kg/m)} < 5.76 \text{(kg/m)} \text{ (钢丝绳满足要求)}$$

验算结果：经计算分析，选用 2JK-3.5×1.7P 型双滚筒矿用提升机，绳速 4.6m/s，最大静张力 119.01KN，

最大静张力差 88.97KN，采用 6×19×FC-φ40 钢丝绳提升 10m³ 矿车，提升能力满足要求。

2.4 车场布置

2.4.1 井上车场

根据电葫芦提升机和钢丝绳最大挠度角的原理确定起升机位置后，先应用起升机基础，然后安装调整起升机，最后搭建起起升室等辅助设施。在厂房建设时，应合理规划高压电源、备用电源、高低压变频柜、门机的详细位置。

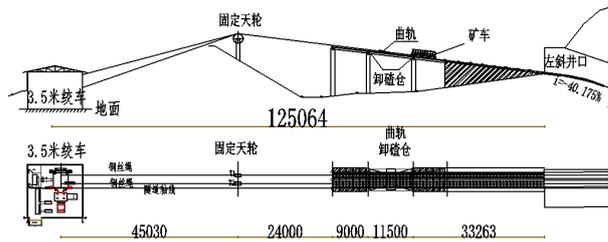


图 1 主斜井车场平面图

2.4.2 井下车场

通过延长斜井坡度，增大斜井轨道与路面高程差，建立了井底转渣仓、地下车站和入站平台。井底堆场采用龙门式起重机起升物料，快速更换混凝土罐车。实现机械化连续操作。

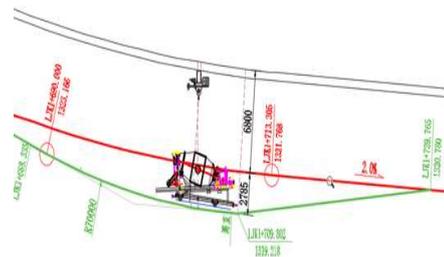


图 2 斜井地下车场立面

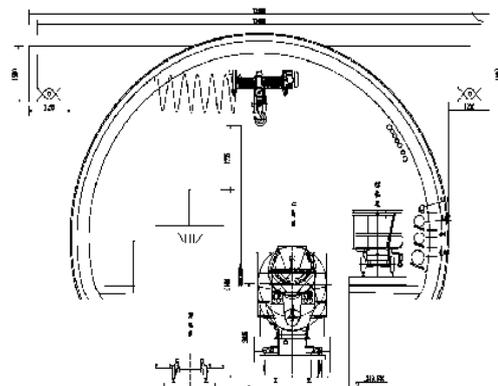


图 3 斜井地下车场断面

2.5 轨道铺设

2.5.1 临时轨道铺设

临时轨道随着掌心脸的镜头不断向前移动。临时轨道采用钢轨枕和拉杆固定轨道。轨道固定后,进行仪器找平,底部填满空渣,达到稳定效果。现场验收后,进行试车。当后端临时轨道度满足一条永久性轨道长度时,应立即施工永久性轨道。

2.5.2 永久轨道铺设

轨道床为整体混凝土浇筑,钢轨拆除后可作为斜井铺装。

轨枕采用混凝土轨枕,长1500 mm,宽120 mm,高180 mm,宽145 mm,纵向间距1.0 m。钢轨由嵌入在钢轨枕木上的紧固件固定。同时,轨道铺设间隔15 m,直径320 mm。尼龙磨辊设置好,坡度变化点位置加密正确。

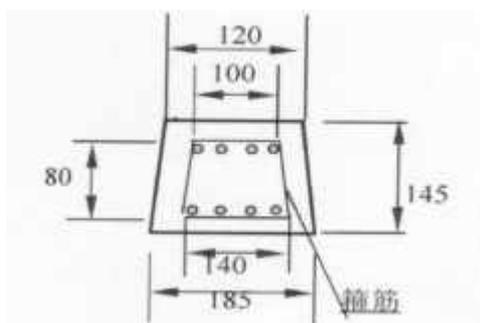
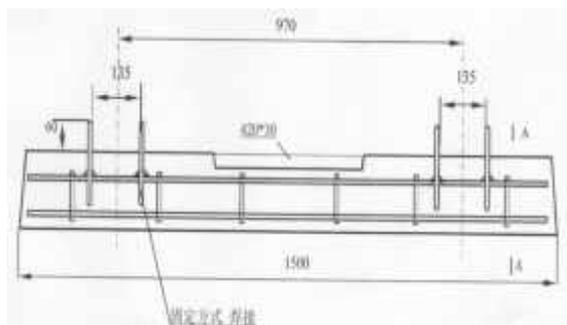


图4 轨道铺设示意图

2.6 安全创新措施

由于项目场地空间有限,距离变电站较远(20.8 km),三相电压不稳定,电流不同步。开发了PLC双回路控制系统,绞车房直接引入10 KVA电源,绞车房不再安装高压变压器。这不仅解决了上述问题,还实现了停电时通过低压电路实现低频拖拽——增加转矩,降低转速,从而完成停电时的剩余工作。具体保护包括:防过卷、防超速、相对位置及变频调速系统电压、限速、断轴、闸瓦间隙、松绳、减速、防电击、防咬绳、紧急停止保护装置。除上述保护外,项目还配备了视频监控系

统,将画面传输到操作平台,实时观察前方情况。

为了减少咬绳现象,将滑轮由轮辐改为腹板,增加

滑轮刚度,减少变形量。地面滚轮安装在轨道上,拖曳滚轮设置在顶轮和绞车间,以减少钢丝绳的磨损。为了保证专业人员操作提升机,机房设置了人脸识别和指纹识别,不相关人员禁止进入。

为了防止矿车在牵引过程中钢丝绳断裂和跑车事故的发生,在钢丝绳与矿车连接端设置了两条安全绳。同时在矿车端部设置抓斗钩,将预埋在轨道中间的挡缆钩住,实现紧急停车。

通过在卸渣栈桥上设置抓钩,可以及时将卡在渣仓内的较大石块清除,避免人工操作造成危险。卸渣栈桥端部设有防滚塞,车位内设有防滑塞,确保矿车安全。

2.7 材料运输设备

因1号斜井纵坡大,难以保证正洞施工时混凝土罐车行走的安全性和混凝土的使用性能。根据有轨运输施工特点,研发了可换装式混凝土罐车,采用洞口和洞底龙门吊将混凝土罐车进行洞口分离、洞底安装,斜井轨道平板车运输砼罐方式,解决了有轨斜井施工混凝土运输的难题。

由于斜井坡度大,洞内路面净宽有限。为了有效利用斜井的净空断面,及时施作初支喷射混凝土保障施工安全和质量,创新研发了轨行式喷浆车,即在矿车底盘增加传送带自动给喷浆机上料装置,解决了斜井初支喷射混凝土不及时和喷浆料落地造成材料浪费的问题。

3 技术、经济、安全性综合效果及推广价值

在大坡度斜井施工过程中,采用轨道运输系统,将挖出的石料、矿渣快速转移到隧道外,所需物料快速运输到隧道内,有效保证了隧道的施工进度。

随着新技术的推广应用和新设备的不断投入,选择科学的机械设备变得越来越重要。通过实践证明,根据斜井断面尺寸、斜度、斜井长度及要承担的任务,选择合理的设备是降低工程投资、缩短工期的重要因素。

4 该方案适用的环境和条件

在大坡度斜井施工中采用有轨运输系统,可有效提高施工效率,缩短施工工期,解决施工过程中人工、材料、机械等系列问题。

【参考文献】

- [1] JGB/T20961-2007 单绳缠绕式矿井提升机.
- [2] 毛君. 煤矿固定机械及运输设备[M]. 北京:煤炭工业出版社,2006.
- [3] 大断面. 大角度斜井有轨运输施工技术[J].
- [4] 刁凯,赵波. 大坡度斜井有轨运输快速施工[J].