无级绳绞车在矿井辅助运输系统中的应用研究

王强
（山西煤炭运销集团金达煤业有限公司　山西　孝义　032300）

摘要：无级绳绞车是目前煤矿井下采掘的重要运输设备，能够满足多转弯、多变坡、长距离等各种复杂工作面的场景，可以替代传统调度绞车，在运输巷道多转弯的状态下发挥非常显著的优势，减少运输设备和操作人员数量，确保不经中间转载就能一次运输到位。无级绞车主要利用绞车驱动滚筒旋转，借助钢丝绳与驱动滚筒之间的摩擦力，带动梭车底部两端梭头固定缠绕，在梭车后并由梭车牵引其他车辆实现物料运输。

关键词：无级绳绞车；矿井辅助运输系统；应用

0　引言

随着采煤工作面产能的快速提升，大量综采装置被广泛应用，尽管无级绳绞车的相关参数能够满足运输需求，但在实际运输中因为巷道不具备竖曲线，很容易因为钢丝绳张力过大而造成工作人员受伤。如果弹出距离较高也会导致顶板受损，不仅造成摩擦因素增加，还会导致损耗问题加剧。因此要确保无级绳绞车运输采取双轨单向运输模式，主绳、副绳布置在轨道中间，通过安装压绳轮拐弯轮尾轮等共同组成牵引装置，实现连续运输。

1　无级绳绞车的工作原理

无级绳绞车各部件如图 1 所示。无级绳绞车包括电控信息系统和牵引系统共同组成，利用钢丝绳能够实现井下物料的快速运输，主要应用在坡道小于 20°的煤矿井下巷道轨道运输，可以实现区段内直达运输无需转载有效减少了倒车次数。在巷道掘进过程中会出现多个转弯点，过去采用的绞车运输很容易在拐弯处发生脱轨翻车等故障，不仅耗费成本，而且还会引发安全事故。无级绳绞车运输通过配备专用转弯护轨和梭车，可以实现水平曲线运输的效果，弯道地点的钢丝绳存在脱绳的危机，与轨道和绞车弯道轮组的安装质量有密切关联。在巷道拐弯处的轨道弯曲半径不够或者弯曲段前后，巷道存在坡度轨道过渡不顺畅等问题都会导致无级绳绞车牵引钢丝绳脱绳，而对弯道内侧人员及设备造成巨大的伤害。为了确保弯道地点施工及安装质量，必须对无级绳绞车拐弯设计方案进行规范。在无级绳绞车弯道地点的巷道工程轨道辐射标准以及绞车安全运行处，对可能出现的车辆刚绳等问题进行规范化处理，采取有效措施，避免在弯道处发生翻车现象。在巷道工程运输中要求无级绳绞车的倾角低于 12°，而弯道处前后 3m 必须是平向不得有变坡，轨道敷设必须符合安全标准，变坡点不得处于罗锅道或塌弯道，可以根据底板的情况选择多点弯曲轨道，确保整个轨道实现平缓过渡，避免出现陡坡的情况。

图 1　无级绳绞车各部件图

2　无级绳绞车在矿井生产中的具体应用

无级绳绞车作为普通轨道的运输设备能够满足煤矿和金属矿下巷道长距离、多变坡、大吨位的工作需求，例如工作面巷道采区上（下）山以及集中轨道巷道运输材料，设备可以不经转载直达目的地，在综采工作面巷道的两个顺槽以及采区运输斜向起伏角度不超过 12°的巷道中具有操作简单、可靠性高、适用性强、用途广泛等许多特点。无级绳绞车整体系统布置灵活可以垂直轨道布置，也可以在原有基础旁边靠近巷道，并根据不同的工况条件，可以采用不同的组轮配置适应不同起伏变化和水平转弯的轨道需求。梭车储存量大，运行费用低，采用张紧装置，张紧钢丝绳可以随着牵引工况的变化而变化钢丝绳的整体寿命更长，利用导向轮、主副压绳轮能够减少钢丝绳出现咬绳或磨损的情况，提高了整体的稳定性，确保工作面的延伸能够提前放出储绳，有效减少距离变化而造成的钢丝绳浪费。无级绳绞车在综

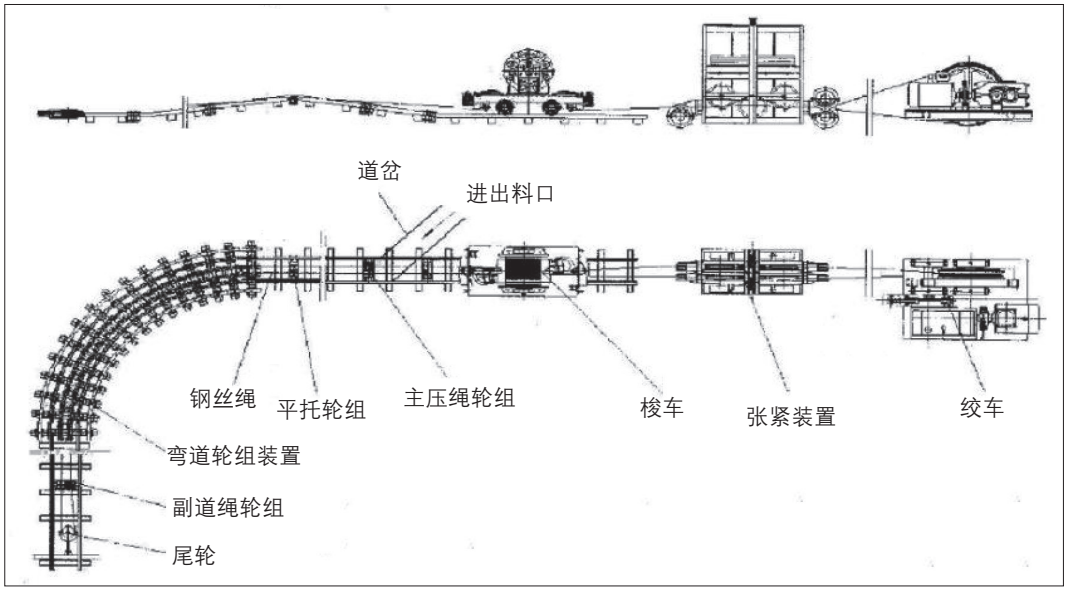

图 2　无级绳绞车运行示意图

采工作面结束工作面辅助运输中被广泛使用，长度由 1000m 到 2400m，具备安全稳定的特点。由最开始的运输材料逐渐发展到运输人员，在无级绳绞车安装时需要依据绞车参数和运输巷道的相关资料进行分析。并且按照有关部门的要求，对无级绳绞车张紧架尾轮进行放绳，依据煤炭行业标准要求语言、声光报警信号装置距离为 100m，保证运行绞车的安全稳定运行。图 2 所示为无级绳绞车运行示意图。

3　无级绳绞车存在的缺陷

尽管无级绳绞车在实际使用过程中的优点非常突出，但是也存在缺陷，主要有：(1) 在启动时梭车冲击较大，如果钢丝绳收得较紧时，在遇到地质条件变化的情况下，很容易出现车辆掉道的情况；(2) 如果钢丝绳松，在运行期间梭车容易出现打滑情况，无法拉动车辆；(3) 如果地质条件坡度变化大时，巷道变化超过 9° 时，绞车钢丝绳容易弹起到空中，无级绳绞车运输会产生极大的危险。

4　防止钢丝绳弹出或脱绳的主要方法

首先将巷道的起伏坡度减少或者增加巷道竖曲线半径，因为受到断层以及煤层倾角的干扰，巷道起伏会有较大的变化趋势，应该根据实际情况尽量减少坡度的起伏坡度，确保设备的安全系数不断提高，同时要增大巷道竖线竖曲线半径。必须确保运输竖曲线半径超过 20m，因为牵引车存在较大的质量，在实际运行中曲线半径也应该实现最大化，减少压绳装置的数量和风险问题。要使用重型压绳轮，无级绳绞车不仅需要强大的机架和弹簧，还应该对压绳装置进行优化，当牵引车通过第 1 组时，梭子将弹簧打开，第 2 组、第 3 组依然关闭，在经过第 2 组时弹簧打开，其余两组关闭，确保整个钢丝绳处于一组压绳轮内，三组压绳轮运行用同一机架构成，整体能够提高整体的强度，减少变形发生的概率，从而预防钢丝绳脱绳问题。将压绳轮组数量增加，因单独 1 组压绳装置不具有较强的力量，在重车运输以及大坡度时无法压绳，会造成钢丝绳弹出，必须在底弯处增加多组压绳装置，避免钢丝绳出现风险问题。

5　无级绳绞车的选型设计

5.1　基本概况

已知井下综采工作面回风巷里程长度约为 1000m，轨道运输采用 24kg/m 的道轨，巷道最大坡度为 8°，牵引设备最重物件为过渡支架重量为 21.5t，平板车自重为 1.015t。牵引车重量加配重总重量为 2.5t。计划使用 SQ-120/132W 型号无级绳绞车，选用直径为 26mm 的钢丝绳。该型号绞车为高低速可调节，高速运行速度为 1.89m/s，可提供 60kN 的牵引力；低速运行速度为 0.76m/s，可提供 120kN 的牵引力。

5.2　选型计算

(1) 钢丝绳选择。

钢丝绳选用 26NAT6×19S+FC-1670-ZS，钢丝绳直径 d=26mm，公称抗拉强度 $\sigma_{绳}$=1670MPa，单位重量 P=2.49kg/m，钢丝绳中全部钢丝破断力总和 Q=372kN。

无级绳绞车受力分析示意图如图 3 所示。

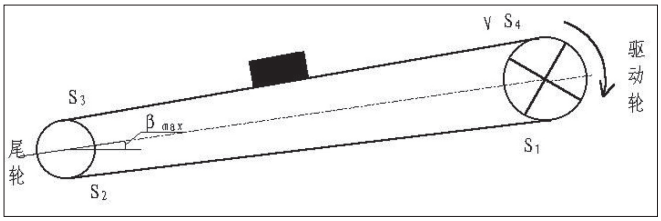

图 3　无级绳绞车受力分析示意图

(2) 牵引力计算。

$$F=(G+G_0)(\sin a+f_1\cos a)g+2f_2PLg\approx 52\ (\text{kN})$$

式中：F －慢速牵引最重件时最大的牵引力（kN）；

G －梭车自重，2000kg；

G_0 －运输最重支架＋板车重量=24000+1015=25015kg；

a －运输线路中最大坡度，取 8°。

f_1 －板车在轨道上摩擦阻力系数，取 0.02；

f_2 －钢丝绳摩擦阻力系数，取 0.2；

L －运输距离，1000m；

g －重力加速度，9.8m/s。

根据以上牵引力计算，要完成此项运输工作，需最大牵引力为 52kN 及以上的无级绳绞车。SQ-120/132W 型无级绳绞车，最大牵引力 120（慢速）/80（快速）kN，大于 52kN，符合要求。

（3）电机功率验算。

$$N=KFv/\eta=55.79(\mathrm{kW})$$

式中：K －电动机功率备用系数，K=1.2；

v －牵引最大件时速度，取慢速 0.76m/s；

η －绞车传动效率，0.85。

N=55.79kW ＜ 132kW, 电动机功率满足要求。

（4）钢丝绳张力计算。

$$F=S_4-S_1=[S_1(e^{\upsilon\alpha}-1)]/n$$

式中：n—摩擦力备用系数，n=1.2；

μ—钢丝绳与驱动轮间的摩擦系数，μ=0.14；

α—钢丝绳在驱动轮上的总围包角，$\alpha=7\pi$；

e—常数，e=2.71。

S_4—钢丝绳的最大静张力。

$$S_4=(G+G_0)(\sin\alpha+f_1\cos\alpha)g+P\times L(\sin\alpha+f_2\cos\alpha)\times g\approx 50.26(\mathrm{kN})$$

$$S_1=S_4n/(n+e^{\upsilon\alpha}-1)=2.78(\mathrm{kN})$$

（5）钢丝绳安全系数 ma 验算。

由《煤矿安全规程》可知，安全系数最小值为 5-1000×0.001=4。

$ma=Q/S_{大}=13.62>4$，符合要求。

式中：$S_{大}$—钢丝绳实际最大张力，考虑到张紧前钢丝绳已经收紧，钢丝绳理论值增加 10kN。

工作面搬家运输期间，为保证安全运行，必须使用慢速档位运输重物，向尾轮运输重物时速度为 0.76m/s，向机头方向运输时速度为 1.89m/s；每次摘挂钩时间为 15min，在工作面切眼交错板车时间为 10min, 则运输一个支架的时间为：

$$T=15\times60\times2+10\times60+1000\div0.76+1000\div1.89=1800+600+1315.78+529=4244.78(\mathrm{s})\approx71(\mathrm{min})$$

根据金达煤业有限公司工作面安装经验，搬家运输期间每班运输设备时间为 5h，要求运输 4 个支架。通过计算可知：T=4×71=284min 约 4.5h。

因此选用一台 SQ-120/132W 型无级绳绞车，最大牵引力 120（慢速）/80（快速）kN，电机功率 132kW，牵引速度 0.76/1.89m/s，牵引中钢丝绳允许的最大静张力 52.07kN。

钢丝绳选用 26NAT6×19S+FC-1670-ZS，钢丝绳直径 d=26mm，公称抗拉强度 $\sigma_{绳}$=1670MPa，单位重量 P=2.49kg/m，钢丝绳中全部钢丝破断力总和 Q=372kN。

该绞车符合工作面运输要求。

6 结语

综采作业面辅助运输主要以小绞车为主，需投入大量的物力和人力，设备多、操作人员多，容易引起安全事故，整体的运行费用较高。通过无级绳绞车能够有效解决运输巷道中距离长变坡多拐弯大的情况，随着无级绳绞车的应用不断深入，能够确保安全高效运行，有效克服启动时对梭车产生的冲击力。在社会快速发展的背景下，通过无级绳绞车的改进，可以为矿井安全生产提供优质的服务，为企业创造更多的效益，保障煤矿安全生产更加稳定安全。

参考文献：

[1] 晋波．无级绳绞车在矿井辅助运输系统中的应用[J]. 矿业装备，2021(3):266-267.

[2] 李民．新型牵引梭车在重载大坡度运行中的防翘头分析[J]. 中国设备工程，2021(19):258-259.

[3] 穆春林．煤矿井下无级绳连续牵引车控制系统的设计研究[J]. 机械管理开发，2020,35(6):238-240.

[4] 王宏锦．无级绳绞车在矿井辅助运输中的应用[J]. 机电工程技术，2020,49(3):143-144.

[5] 王张文，吴利学．无级绳循环绞车在"弓形"面轨道运输中的应用[J]. 山东煤炭科技，2020(1):104-105.

[6] 薛新顺，李梦苇，张俊浩．关于煤矿井下辅助运输系统的优化分析[J]. 数码设计（上），2020,9(2):148.

作者简介：王强（1992.10-），男，汉族，山西吕梁人，本科，助理工程师，研究方向：矿山机电。