

# 长距离工作面带式输送机 应用中部驱动技术的分析研究

马香玲

(中煤西安设计工程有限责任公司, 陕西 西安 710054)

**摘 要** 结合陕西省黄陵建北煤矿工作面带式输送机项目, 采用卸载式滚筒中部驱动技术, 分析关键点张力要求, 得出中部驱动点位置的计算方法和模型, 对类似长距离工作面带式输送机采用中部驱动技术位置确定提供参考和借鉴。

**关键词** 长距离工作面; 带式输送机; 中部驱动; 位置确定

**中图分类号** TD63+4.1      **文献标识码** A      doi:10.3969/j.issn.1005-2801.2023.11.026

## Analysis and Research on the Application of Middle Part Propel Technology in Long Distance Working Face Belt Conveyor

Ma Xiangling

(China Coal Xi'an Design Engineering Co., Ltd., Shaanxi Xi'an 710054)

**Abstract:** Combining with the belt conveyor project of Jianbei Coal Mine in Huangling, Shaanxi Province, the unloading drum middle part propel technology is adopted to analyze the tension requirements of key points, a calculation method and model for the position of the middle part propel point are obtained. This provides reference for the determination of the middle part propel technology position for similar long distance working face belt conveyors.

**Key words:** long distance working face; belt conveyor; middle part propel; position determination

目前工作面带式输送机多采用阻燃整芯 PVG/PVC 型输送带。为了满足长距离工作面输送机安全运行, 结合国内 PVG/PVC 输送带纵向拉断强度和带速水平, 在带式输送机中采用中部驱动系统效果显著, 其可大幅度降低输送带张力<sup>[1-4]</sup>, 有效地减小了输送带最大点张力, 降低了输送带强度和自重, 其对选择经济安全的输送带有着重要的意义。

本文结合陕西省黄陵建庄矿业有限公司建北煤矿(5.0 Mt/a)长距离工作面带式输送机设计项目, 依据 DT II(A)带式输送机设计手册, 采用卸载式滚筒中部驱动技术, 分析带式输送机各特征点张力, 得出了中部驱动点位置的计算原则、方法和数学模型, 满足了长距离工作面带式输送机输送带的安全系数要求, 实现了设备的可靠运行。

### 1 建北煤矿工作面带式输送机主要设计依据

根据矿井开拓要求, 建北煤矿工作面长度  $L=3962\text{ m}$ , 倾角  $\delta=0^{\circ}\sim 2^{\circ}$ , 工作面峰值输送量  $Q=2000\text{ t/h}$ , 提升高度为  $H=138\text{ m}$ 。

依据输送量  $2000\text{ t/h}$  及原煤粒度  $\leq 300\text{ mm}$  要求, 设计选用阻燃整芯输送带 PVG2500(2500 N/mm)。按照原煤静堆积角  $\alpha=40^{\circ}$ 、动堆积角  $\theta=15^{\circ}$ 、堆积密度  $\rho=900\text{ t/m}^3$ 、输送带上物料最大截面积  $S=0.1512\text{ m}^2$  进行输送机设计选型计算。见表 1。

表 1 工作面带式输送机主要设计依据

参数名称	输送量 / (t/h)	机长 /m	倾角 / ( $^{\circ}$ )	提升高度 /m	带宽 /mm	带速 / (m/s)
参数	2000	3962	0~2	138	1200	4.5

### 2 中部驱动设计方案

#### 2.1 中部驱动技术

中部驱动与头部单点驱动原理相同, 中部卸载式驱动滚筒趋入点和奔离点的输送带张力同样满足

收稿日期 2023-07-21

作者简介 马香玲(1982—), 女, 陕西西安人, 2008年毕业于西安科技大学机械电子工程专业, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事煤矿机械设计工作。

欧拉公式<sup>[5]</sup>，即满足驱动滚筒不打滑要求。

滚筒卸载式中部驱动滚筒的输送带趋入点与奔离点的张力差为该滚筒需要输出的圆周驱动力。采用滚筒卸载式中间驱动系统，输送带张力由输送机尾部改向滚筒线性增大至中间驱动滚筒趋入点，再经该滚筒下降至奔离点后，又开始线性增加至下一中部驱动滚筒趋入点<sup>[6-7]</sup>。如此接力，由各中部驱动分担整机的总圆周驱动力。滚筒卸载式中部驱动正是利用了这一原理，来达到降低输送机输送带最大张力、延长输送距离的目的<sup>[5][8][9]</sup>。

2.2 设计原则

1) 中部驱动点数确定

对于带式输送机，理论上在负载一定的情况下，总圆周驱动力是一定的，滚筒卸载式中间驱动点设置越多，输送带最大张力就降低得越多<sup>[5][9]</sup>。然而根据煤矿井下工作面的生产要求，工作面需定期更换开采。作为工作面主运输设备的工作面带式输送机需要被定期拆装，为适应此种工况，方便快捷地拆装设备，设计应尽量减少中部驱动点的个数，通常仅布置一个中部驱动点<sup>[1]</sup>。

2) 驱动功率单元确定

由于滚筒卸载式中部驱动是辅助性驱动，应充分考虑发挥头部主驱动装置的作用，考虑带式输送机元部件小型化和通用化，一般各驱动单元取相同。为了简化中间驱动系统，一般滚筒卸载式中间驱动只采用一个驱动滚筒<sup>[10-11]</sup>进行驱动。

2.3 布置方案

依据中部驱动技术原理和工作面带式输送机设计原则，根据黄陵建北煤矿工作面带式输送机设计参数，设计采用头部集中双滚筒 3 个电机驱动+1 个中部滚筒双电机驱动方式，功率配比 2:1:2，共 5 套驱动装置。建北煤矿工作面带式输送机头部 2:1 集中驱动+中部 2 套驱动布置简图如图 1。

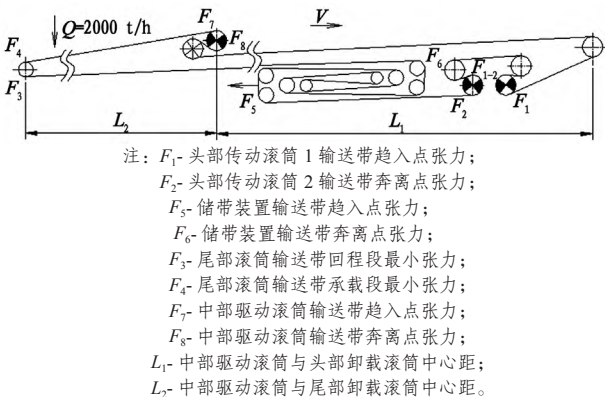


图 1 建北煤矿工作面带式输送机中部驱动布置简图

3 中部驱动位置数学模型确定与关键点张力分析

3.1 初定工作面带式输送机基本参数

根据黄陵建北煤矿工作面带式输送机设计依据，初定带式输送机基本参数为：机长  $L=3962\text{ m}$ ，输送量  $Q=2000\text{ t/h}$ ，倾角  $\delta=0^\circ \sim 2^\circ$ ，提升高度  $H=138\text{ m}$ ，带宽  $B=1.2\text{ m}$ ，带速  $V=4.5\text{ m/s}$ ，托辊直径  $159\text{ mm}$ ，上托辊间距  $1.2\text{ m}$ ，下托辊间距  $3\text{ m}$ ，模拟摩擦系数  $f=0.028$ 。建北煤矿工作面带式输送机主要计算参数见表 2。

表 2 建北煤矿工作面带式输送机主要计算参数

参数名称	参数值或符号
每米物料质量 $q_G/(\text{kg/m})$	123.5
输送带每米质量 $q_B/(\text{kg/m})$	36
上托辊每米质量 $q_{RO}/(\text{kg/m})$	26.33
下托辊每米质量 $q_{RU}/(\text{kg/m})$	9.7
带宽 $B/\text{mm}$	1200
带速 $V/(\text{m/s})$	4.5
倾角 $\delta/(\text{^\circ})$	2
阻燃整芯输送带	PVG2500
机长系数 $C$	1.04
机长 $L/\text{m}$	3962
提升高差 $H/\text{m}$	138
电机备用系数 $K$	1.2
上分支主要阻力 $/(N/m)$	$F_{H1}$
下分支主要阻力 $/(N/m)$	$F_{H2}$
模拟摩擦系数 $f$	0.028
承载分支下垂度最小张力 $F_{\text{承 min}}/N$	23 470
回程分支下垂度最小张力 $F_{\text{回 min}}/N$	13 244
输送带许用张力 $/N$	$F_e$
输送带安全系数 $S$	10
欧拉系数 $(e^{\mu\theta^1}=e^{\mu\theta^2}=e^{\mu\theta^3})$	2.85

其中，上分支主要阻力：

$$F_{H1}=[(q_B+q_G+q_{RO})\cdot f\cdot\cos\delta+(q_B+q_G)\sin\delta]\cdot g=105.6\text{ N/m}$$

下分支主要阻力：

$$F_{H2}=[(q_B+q_{RU})\cdot f\cdot\cos\delta-q_B\cdot\sin\delta]\cdot g=0.2\text{ N/m}$$

3.2 圆周驱动力及电机功率计算

1) 圆周驱动力计算

圆周驱动力为输送机所有阻力之和<sup>[12]</sup>。即总阻力包括：主要阻力、附加阻力、特种阻力、提升阻力。

$$F_U = \sum_{i=1}^{n_0} F_{U,0,i} + \sum_{i=1}^{n_1} F_{U,u,i} = F_H + F_N + F_S + F_{St} \quad (1)$$

式中:  $F_U$  为总阻力, N;  $\sum F_{U,0,i}$  为上分支阻力, N;  $\sum F_{U,u,i}$  为下分支阻力, N;  $F_H$  为主要阻力, N;  $F_N$  为附加阻力, N;  $F_S$  为特种阻力, N;  $F_{St}$  为提升阻力, N。

在确定带式输送机设计方案前期, 对于大型带式输送机而言, 附加阻力和特种阻力对总阻力影响较小, 可暂不计入<sup>[13]</sup>。所以依据式(1)以及表2中主要计算参数, 计算总阻力  $F_U=419\ 162$  N。

## 2) 电动机功率计算

$$P_M = K \cdot \frac{F_U \cdot V}{1000} \quad (2)$$

式中:  $P_M$  为驱动功率, kW;  $K$  为电机备用系数, 取 1.2。

依据式(2)计算驱动功率  $P_M=2263$  kW。设计采用 5 套驱动装置, 故单台电机功率为 453 kW, 选用 500 kW 电机。

采用永磁驱动时, 驱动转矩;

$$T=9550 \times P_M/n$$

式中:  $T$  为电机驱动转矩, N·m;  $n$  为电机转速, 55 r/min;  $P_M$  为电机功率, 取 453 kW。

经计算  $T=78\ 657$  N·m, 选矿用隔爆型永磁同步变频电动机 TBVF-500/60YC, 1140 V, 额定功率 500 kW, 额定转矩 86 818 N·m, 5 台。

## 3.3 中部驱动位置确定数学模型及计算

### 1) 中部驱动位置确定数学模型

如图 1, 头部驱动装置的传动滚筒 2 奔离点处输送带的初张力为  $F_2$ , 使其先满足传动滚筒 2 的欧拉公式, 即为满足不打滑时最小张力, 传动滚筒 1 趋入点输送带张力为  $F_1$ 。依据等功率分配法, 则有

$$F_1=F_2-3F_U/5 \leq F_e \quad (3)$$

式中:  $F_e$  为输送带许用张力, N;  $F_1$  为头部传动滚筒 1 输送带趋入点张力, N;  $F_2$  为头部传动滚筒 2 输送带奔离点张力, N;  $F_U$  为根据负载计算的总驱动力, 即总阻力, N。

在中间驱动装置传动滚筒奔离点的输送带张力  $F_8$  应满足:

$$F_8=F_1-F_{H1}L_1 \geq F_{\text{承 min}}, \text{ 若 } F_8=F_{\text{承 min}}$$

$$\text{则有 } L_1 \leq (F_1-F_8)/F_{H1} \quad (4)$$

式中:  $L_2$  为中部传动滚筒中心与头部滚筒中心的距离, m;  $F_8$  为中部传动滚筒输送带奔离点张力, N;  $F_{H1}$  为上分支主要阻力, N/m。

中部驱动装置传动滚筒趋入点输送带张力  $F_7$  应满足:

$$F_7=F_4+F_{H1}(L-L_1) \leq F_e$$

式中:  $F_7$  为中部传动滚筒输送带趋入点张力, N;  $F_4$  为尾部滚筒输送带奔离点张力, N;  $L$  为头部卸载滚筒中心与尾部滚筒中心线的距离, m。

$$\text{则有 } L_2 \geq (F_4+F_{H1}L-F_e)/F_{H1} \quad (5)$$

根据式(4)、式(5), 中部驱动位置可在以下范围内选取, 即确定中部驱动位置的数学模型。

$$(F_1-F_8)/F_{H1} \geq L_1 \geq (F_4+F_{H1}L-F_e)/F_{H1} \quad (6)$$

### 2) 各特征点张力及中间驱动位置计算

根据工作面带式输送机设计参数, 依据上述式子与中部位置确定的数学模型, 计算各特征点张力, 计算结果见表 3。

表 3 各特征点张力

各点代号	计算公式	各点张力 /N
$F_2$	$F_2=F_U/5/(e^{\mu \alpha^2}-1)$	45 315
$F_{1,2}$	$F_{1,2}=F_2+F_U/5$	129 147
$F_1$	$F_1=F_2+3F_U/5$	296 812
$F_8$	$F_8=F_{\text{承 min}}$	23 470
$F_4$	$F_4=F_2+F_{H2}L$	46 107
$F_e$	PVG2500 × 1200/10	300 000

依据各张力点张力数值, 根据中部驱动位置计算模型式(6)计算, 可得头部滚筒中心与中部传动滚筒中心的距离  $L_1$  可取范围为  $1558 \text{ m} \leq L_1 \leq 2588 \text{ m}$ 。

中部驱动装置初步位置依据上述数学模型确定后, 具体位置还应考虑工作面输送机线路布置、安装和供电便利等因素。圆周驱动力计入附加阻力和特种阻力, 再采用闭环逐点张力详细计算方法计算出各特征点的输送带张力。其中中部传动滚筒奔离点最小张力必须同时满足传动滚筒不打滑条件和输送带承载分支垂度最小张力  $F_{\text{承 min}}$  要求。

建北煤矿工作面带式输送机经详细计算后, 逐点计算各特征点张力:

- ①  $F_1=296\ 812$  N <  $F_e=300\ 000$  N, 满足输送带许用张力要求;
- ②  $F_2=45\ 315$  N;
- ③  $F_{1,2}=129\ 147$  N;
- ④  $F_3 \approx F_4=47\ 187$  N >  $F_{\text{承 min}}=23\ 470$  N, 满足输送带垂度最小张力要求;
- ⑤  $F_7=291\ 953$  N <  $F_e=300\ 000$  N, 满足输送带许用张力要求;
- ⑥  $F_8=108\ 785$  N >  $F_{\text{承 min}}=23\ 470$  N, 满足输送带垂度最小张力要求。

根据以上计算, 各张力点均满足输送带垂度最



小张力要求和传动滚筒不打滑条件,确定各特征点张力后,根据式(6)计算可得中部驱动位置在距机头1567 m处。此位置为各特征点张力较优的位置。

### 3.4 关键点张力要求分析

1) 目前国内工作面可伸缩带式输送机可用的阻燃整芯PVG输送带成熟规格为PVG2500 N/mm,计算长距离复杂工作面输送带的许用张力 $F_c$ 可采用该带强计算。

2) 依据负载计算总功率后,先初步确定主驱动和中部驱动的功率配比,且要充分发挥主驱动装置的作用,考虑部件通用化。一般取等功率单元,主驱动功率是单个中部驱动功率的整数倍<sup>[10]</sup>。以此原则确定主驱动传动滚筒奔离点的最小张力。

3) 确定驱动单元数量和电机功率后,依据输送带最大张力不得大于许用张力,中部驱动输送带奔离点最小张力不小于输送带承载分支垂度最小张力要求,依此确定中部驱动的位置。

## 4 结语

1) 在长距离工作面带式输送机中通过增设中间驱动装置,均衡负载,分担总功率,有效降低了输送机最大点张力,从而使最大点张力满足输送带的许用张力,满足长距离工作面带式输送机的阻燃输送带PVG2500纵向拉断强度运行要求。

2) 利用输送带传动原理,确定优先发挥主传动滚筒的驱动力原则,使得中部驱动传动滚筒奔离点满足承载分支垂度最小张力要求,以及满足主传动滚筒和中部传动滚筒趋入点张力小于输送带许用张力,得出了长距离工作面带式输送机的中部驱动

位置计算数学模型,为确定类似项目的中部驱动点位置提供参考和借鉴。

### 【参考文献】

- [1] 郭晓刚.中部驱动在大型可伸缩带式输送机的设计与应用[J].山西煤炭,2017,37(04):37-39.
- [2] 刘治刚.长距离顺槽带式输送机中部驱动装置在梅花井煤矿的应用[J].能源科技,2020,18(S1):76-78.
- [3] 陈锋.中部驱动在大型带式输送机中的设计应用[J].矿山机械,2015,43(05):73-75.
- [4] 李军.带式输送机设计选型研究[J].机械管理开发,2022,37(06):33-34.
- [5] 刘洵文.滚筒卸载式中间驱动技术在带式输送机上的应用[J].陕西煤炭,2010,29(06):115-116.
- [6] 刘兵.长距离带式输送机中部多点驱动技术[J].露天采矿技术,2016,31(05):48-50+54.
- [7] 郝存根,刘宁.长距离多驱动点带式输送机的控制技术[J].煤矿机械,2016,37(11):55-56.
- [8] 任远.带式输送机关键部件及其参数的选型与设计[J].机械管理开发,2020,35(09):32-33.
- [9] 佟建中,王宁.带式输送机中间驱动装置研究[J].煤矿机械,2023,44(01):116-118.
- [10] 朱立平.带式输送机滚筒卸载式中间驱动技术研究及设计计算[J].矿山机械,1997(12):32-34+68-69.
- [11] 汪宝友,朱满平.带式输送机的中部驱动装置设计分析[J].煤矿机械,2016,37(05):17-18.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.带式输送机工程技术标准:GB 50431-2020[M].北京:中国计划出版社,2020.
- [13] 梁庚煌.运输机械手册[M].北京:化学工业出版社,1983.

(上接第108页)

智能化通风控制系统确保了井下通风安全,通过监测预警+综合防灭火的双重防灭火方案,提高了井下的防火安全程度。主要包括:

1) JSG9型束管自动监测系统能够自动对氧气、氮气、甲烷等9种气体含量进行监测和分析,实现对火灾预兆的提前预警;

2) 采用喷射LFM阻燃、堵漏材料消除采空区漏风、全覆盖灌注浆液封闭、注液态CO<sub>2</sub>防火等方式,消除自燃发生的外在条件,采用阻化剂灭火系统实现对起火区域的快速灭火,确保了井下防火的全面、可靠。

3) 阻化剂防火体系,以氯化钙阻化剂为核心,灭火经济性好。机动式的阻化剂喷洒灭火系统,灵活性高、机动性好,可以实现对不同区域的快速灭火。

4) 监测预警+综合防灭火的双重防灭火方案,通过预防加灭火系统的方式,建立了集火灾监测和火灾高效灭火的高效防灭火体系,实现了对井下火灾的高效预警和灭火,有效性达100%。

### 【参考文献】

- [1] 赵颖超,冀超然.矿井主通风机监控系统运行参数测定方案[J].煤炭科技,2018(03):96-98.
- [2] 原亚菲.通风机节能监控系统中变频装置的应用[J].能源与节能,2019(02):80-82.

(下转第129页)