

# 三段式可调架的可行性研究与实际应用

张丹阳

国能神东煤炭集团皮带机公司 内蒙古 鄂尔多斯 017200

**摘要:** 可调架作为带式输送机标准段中为适应矿井巷道底板波动而设计的产品, 主要应用于机头过渡和张紧过渡部分。本文通过具体的研究分析, 探讨了由碳钢架升级为不锈钢架过程中因于底板的不规则波动而应用三段式可调架使用的可能性, 阐述了现场使用效果情况。

**关键词:** 三段式; 可调架; 适配; 可行性研究

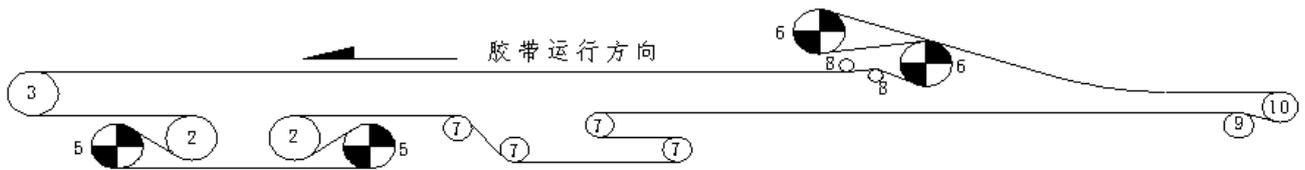
## 引言

作为带式输送机中重要组成部分的标准段, 由于巷道起伏等各种原因, 在某些特殊地点由碳钢更换成不锈钢新架体的时候, 普通的两段式不能满足上下带面的位置需求, 需要实现上下都要可调的功能<sup>[1]</sup>。现通过数据计算、受力分析、实际验证三个方面来探讨特殊的三段式

可调架的施用情况。

## 1 研究基本情况概述

国能神东煤炭集团上湾煤矿22煤集运一部胶带机布置具体情况件如下(图一), 运行参数: 运量 $Q = 4000\text{t/h}$ , 带速 $v = 4.5\text{m/s}$ , 带宽 $B = 1.6\text{m}$ , 整机长度 $L = 5600\text{m}$ , 电机功率 $P = 500\text{kW}$ (数量为8个), 胶带型号为ST2500。



图一 22煤集运一部胶带机示意

### 1.1 载荷计算

#### 1.1.1 物料荷载

根据输送量和带速计算单位长度上物料的质量:  
 $q_G = \frac{Q}{3.6v} = \frac{4000}{3.6 \times 4.5} = 246.91\text{kg/m}$ 。然后计算物料对架体产生的均布荷载 $q_{G1}$ , 对于水平输送机 $q_{G1} = q_G g = 246.91 \times 9.8 = 2420\text{N/m}$ , 其中 $g$ 为重力加速度。

#### 1.1.2 输送带荷载

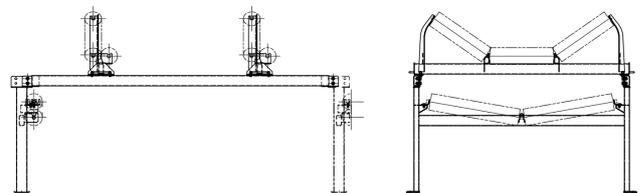
根据带宽和胶带型号, 可查出输送带每米的质量 $q_B = 36.8\text{kg/m}$ , 则输送带对架体产生的均布荷载 $q_{B1} = q_B g = 36.8 \times 9.8 = 361\text{N/m}$ 。

#### 1.1.3 托辊荷载

分别计算上托辊 $m_{l1}$ 和 $m_{l2}$ 下托辊的总质量和, 再根据托辊间距将其转化为单位长度上的等效荷载 $q_{l1}$ 和 $q_{l2}$ , 即  
 $q_{l1} = \frac{m_{l1} g}{l_{l1}}$ ,  $q_{l2} = \frac{m_{l2} g}{l_{l2}}$ , 其中 $l_{l1}$ 和 $l_{l2}$ 分别为上托辊和下托辊的间距。其中 $m_{l1} = 15.221 \times 3 = 45.66\text{kg}$ ,  $m_{l2} = 20.432 \times 2 = 40.864\text{kg}$ ,  $l_{l1} = 1.5\text{m}$ ,  $l_{l2} = 3\text{m}$ 。则 $q_{l1} = \frac{45.66 \times 9.8}{1.5} = 299\text{N/m}$ ;  $q_{l2} = \frac{40.864 \times 9.8}{3} = 134\text{N/m}$

#### 1.1.4 架体自身荷载

不锈钢标准单元由两个槽辊支架、两根中间架、一个下V架或可调架组成, 承载皮带作用于槽辊支架的三个托辊上, 回程皮带作用于调高架两个托辊上。可调架自身所受荷载 $F_{架} = (37+34) \times 2 \times 9.81 = 1393\text{N}$ 。结构见下图(图二)



图二 不锈钢标准单元结构示意图

### 1.2 运行阻力

#### 1.2.1 主要阻力

计算公式为 $F = fLg(q_B + q_G)$ (其中 $f$ 为模拟摩擦系数, 一般取值在0.02-0.03之间, 这里假设 $f = 0.025$ ; 输送机长度 $L = 5600\text{m}$ )。则 $F_H = 0.025 \times 5600 \times 9.81 \times (36.8 + 246.91) = 339106\text{N}$

#### 1.2.2 倾斜阻力

输送机基本水平，则倾斜阻力 $F_{st} = 0$ 。

### 1.2.3 特种阻力（如清扫器等阻力）

特种阻力 $F_s$ 相对复杂，包括清扫器、导料槽等部件产生的阻力<sup>[2]</sup>。假设清扫器产生的阻力 $F_{r1}$ 和导料槽产生的阻力 $F_{r2}$ 等之和为 $F_s = 10000\text{N}$ （此值根据实际设备和经验估算）。

### 1.2.4 总阻力

总阻力 $F = F_H + F_H + F_s = 339106 + 0 + 10000 = 349106\text{N}$

### 1.3 根据驱动滚筒牵引力计算皮带张力

根据驱动功率计算驱动滚筒牵引力。总驱动功率 $P = 2 \times 4 \times 500\text{kW} = 4000\text{kW}$ 。

根据公式 $P = F_q v$ （其中 $F_q$ 为驱动滚筒牵引力），可得 $F_q = P/v$ ，代入数据 $F_q = 4000 \times 1000 / 4.5 = 888888.89\text{N}$ 。

根据欧拉公式 $F_q = F_1 - F_2$ （其中 $F_1$ 为紧边张力， $F_2$ 为松边张力），并且 $F_1 = F_2 e^{\mu\alpha}$ （假设皮带与滚筒之间的摩擦系数 $\mu = 0.3$ ，包角 $\alpha = 210^\circ$ ， $e^{\mu\alpha}$ 则约为3.32）。联立方程求解可得 $F_2 = F_q / (e^{\mu\alpha} - 1) = 888888.89 / (3.32 - 1) = 383142\text{N}$ ， $F_1 = 383142 \times 3.32 = 1272032\text{N}$

根据总阻力计算皮带张力 $F_2 = F / (e^{\mu\alpha} - 1) = 349106 / (3.32 - 1) = 150476$ ， $F_1 = 150476 \times 3.32 = 499580\text{N}$ 。显然根据牵引力计算的皮带张力过大。

### 1.4 考虑输送带下垂度确定张力下限

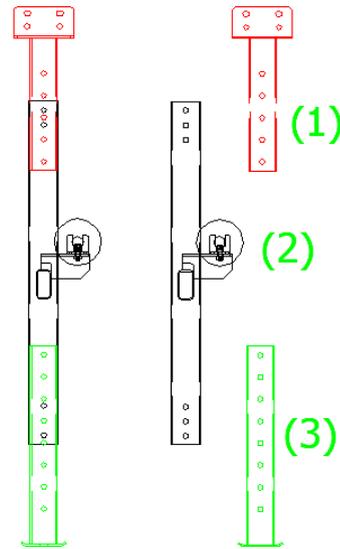
根据输送带下垂度公式 $y = (q_B + q_G) l^2 / (8T)$ 。假设规定下垂度最大值 $y_{\max} = 0.02\text{m}$ ，托辊间距 $l = 3\text{m}$ ，可得到输送带张力下限 $T_{\max} = (q_B + q_G) l^2 / (8y_{\max}) = (246.91 + 36.8) \times 3^2 / (8 \times 0.02) = 15959\text{N}$

最后，综合考虑驱动滚筒牵引力计算出的张力和下垂度确定的张力下限，取安全系数 $k = 1.3$ ，则皮带张力大约为 $T = k T_{\max} = 1.3 \times 15959 = 20747\text{N}$ 。

### 1.5 三段式可调架体结构及组成

正常可调架体由下支腿和带座板的完整架体组成，由于此部胶带机的张紧机构到标准段的调高段底板起伏不定且无规律，为保证此部胶带机的上下带面的平滑过渡，需要从上下两端调节<sup>[3]</sup>。三段式可调架的总高度以保证上带面的高度为准，可调架中上下支腿的调整位置以保证下带面的高度为准，总体保证在适应底板特殊情况下上下带面的平滑稳定过渡。

三段式可调架结构如下所示（图三），由上支腿（1）、架体（2）、下支腿（3）组成，材质全部为TSZ410不锈钢。上下支腿可在25mm标准调距下根据实际情况进行调整，保证胶带机上下带面平滑过渡。为保证稳定性，暂定支腿调节范围为0-500mm，上下支腿与架体的相交部分不少于260mm。



图三 三段式可调架组成示意图

上支腿由座板和冷弯矩形钢管组成，可与中间架螺栓连接；下支腿底板和冷弯矩形钢管组成，可固定在铺设巷道底板上。两者使用矩形方管型号相同，型号：90×40×4，钻孔间距：75mm。架体由钻孔的冷弯矩形钢管和作为横梁的冷弯矩形钢管组成并配有安装托辊的标准化托辊耳子。横梁根据架体高度添加，原则上超过1300mm后增加一个数量。冷弯矩形钢管型号：100×50×4，钻孔间距：25mm。

### 1.6 三段式可调架的强度和稳定性校核

#### 1.6.1 分析前提和原理

在沿线布置不锈钢单元的时候，三段式可调架并不是单一存在的。它是存在于由可调架、中间件、槽辊支架组成的空间桁架而形成的桁架组，正常的单一对可调架的强度校核和稳定性校核进行分析是不全面的。为了简化分析，只对单组架体进行分析。

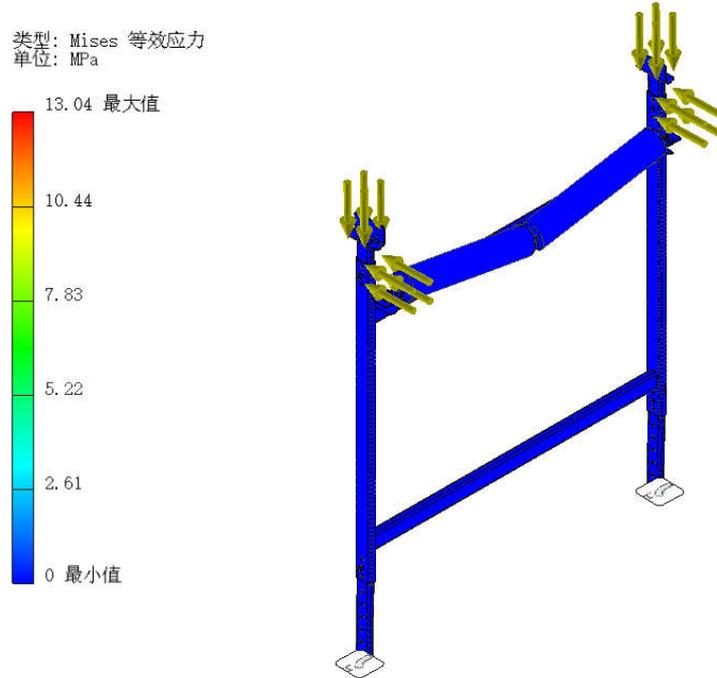
#### 1.6.2 具体的分析方法和步骤

应用Autodesk Inventor Professional软件中的“环境”中的“应力分析”功能模块，对三段式可调架进行应力分析。

把可调架受到的正向压力 $F$ 以“力”的方式施加到可调架体上， $F$ 分别以 $F/2$ 施加到两侧座板上<sup>[4]</sup>。皮带机张紧力 $T$ ， $T$ 分别以 $T/2$ 施加到两侧座板下冷弯矩形钢管的皮带运转方向（真实情况应如图二所示施加到槽辊支架的托辊上，再以间接的方式作用到中间架、调高架，相互之间以螺栓相连接）。下支腿两个底板作为约束条件。分析详细情况见下图（图五）。在这其中 $F = (q_{G1} + q_{B1} + q_{l1}) \times 3 + F_{架} = (2420 + 361 + 299) \times 3 + 1393 = 10633\text{N}$ 。座板所受到的压强 $p_F = F / 10A_F = 10633 / (10000 \times 10) = 0.107\text{MPa}$ 。

(其中 $A_F$ 为两个座板所承受的压力面积之和,单位 $\text{mm}^2$ 。上支腿在运行方向受到的皮带张力压强 $p_T = T/10A_F = 20747/(40000 \times 10) = 0.027\text{MPa}$ 。(其中 $A_F$ 为两个上支腿

横梁所承受的压力面积之和,取 $100 \times 50 \times 4$ 的两个横截面积,单位 $\text{mm}^2$ )



图四 可调架受力分析

三段式可调架的三部分连接使用一条8.8级的M16螺栓,根据使用情况可另外增加一条。以8.8级螺栓为例,其螺栓材质公称抗拉强度达800MPa级,屈强比为0.8,公称屈服强度达640MPa级。则许用剪应力 $T_s = 0.6 \times 640 = 384\text{MPa}$ 。M16螺栓能承受的最大剪切力 $F_s = T_s \times A_s = 384 \times 157 = 60288\text{N}$ ,远大于 $F/2 = 5317\text{N}$ ( $A_s$ 为螺栓的有效截面积)。

## 2 加工安装使用情况

### 2.1 加工安装方面

三段式可调架对于底板无规律波动具有良好的适应性;原碳钢架体拆卸后,由于可调架上下可调,在一定范围内可保证上下带面的平稳顺滑过渡<sup>[5]</sup>;由于增加一段支腿进行螺栓调节,安装上比两段式可调架稍微复杂;相比每架需要定制尺寸单独制作,加工上减少了种类。

### 2.2 使用情况

到论文发表之日,未反馈有不良情况

### 2.3 日常使用维护注意事项

日常巡检对连接螺栓出进行重点观察,在出现松动及弯曲情况下,及时拧紧保证预紧力和螺栓替换。

## 结语

煤矿用带式输送机主要分为顺槽胶带机及固定胶带

机。顺槽胶带机根据巷道挖掘或采煤工作面的开采进度,一般8-15个月内就会进行撤换。固定胶带机要根据盘区开采情况进行撤换,对于主斜井位置的要根据矿井年限进行撤换,一般10-15年,甚至更长。上湾煤矿22煤集运一部胶带机属于主斜井后布置的盘区胶带机,使用年限较长。在整机运转过程中,循环应力和疲劳破坏是最可怕的一点。对于三段式可调架需要谨慎短时间使用,如需用做好维护和螺栓更换。

## 参考文献

- [1]DT II(A)型带式输送机设计手册[M]/北京起重运输机械设计学院,武汉非凡科技开发有限责任公司主编.—2版.—北京:冶金工业出版社,2013.9:22-47.
- [2]朱慈勉.结构力学(上、下册)[M].—3版.—北京:高等教育出版社,2016.8.
- [3]李玉瑾.带式输送机系统动力学设计与智能控制技术[M].—北京:应急管理出版社,2022.10.
- [4]高明伟主编.Inventor使用技巧150例:与研发团队面对面[M].—北京:机械工业出版社,2020.018(06).
- [5]理论力学[M]/哈尔滨工业大学理论力学教研室.—北京:高等教育出版社,2009.