

# 通用带式 输送机设计

宋伟刚 著

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 通用带式输送机设计

宋伟刚 著



机械工业出版社

本书论述通用带式输送机的设计计算方法。全书分3篇共19章：第1章介绍带式输送机的特点和应用范围；第2章和第3章分别给出德国标准带式输送机计算方法和美国输送机制造商协会带式输送机功率计算方法；第4~11章讨论输送机各主要部件的设计计算方法，包括：输送带、驱动装置、托辊、滚筒、拉紧装置、逆止器与制动器、带式输送机的辅助设备、带式输送机的机电保护装置；第12~19章讨论带式输送机的设计计算理论，包括：带式输送机的阻力、带式输送机的传动理论、带式输送机的曲线段、受料过程的冲击与缓冲方法、卸载过程的物料轨迹、带式输送机的动态过程、输送带在输送机横截面上的振动和设计计算实例。

本书内容丰富、新颖，反映了国内外带式输送机研究的最新成果。本书可供机械、电力、冶金、化工、煤炭、矿山、港口、建材、粮食等系统从事运输专业的设计人员、工程技术人员、研究人员使用，也可供高等学校有关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

通用带式输送机设计/宋伟刚著. —北京：机械工业出版社，2006.5

ISBN 7-111-18415-7

I. 通... II. 宋... III. 带式输送机—设计  
IV. TH238.022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005568 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：曲彩云 责任编辑：张亚秋 版式设计：张世琴

责任校对：陈延翔 封面设计：马精明 责任印制：李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm  $\frac{1}{16}$ ·21.75 印张·537 千字

0001—4000 册

定价：46.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线：(010)68351729

封面无防伪标均为盗版

# 序

机械设备正向高效化、精密化、智能化、集成化、数字化方向发展，对机械设备的设计质量提出了愈来愈高的要求，现代机械产品设计在新产品开发中起着重要的作用。现代机械产品设计方法正在向对产品综合质量或综合性能的总体方向发展，它是以产品设计综合性能或广义质量为目标，即在最大范围内来满足用户对产品综合性能或广义质量或综合性能的要求。综合设计法的普遍公式是： $(1+3)+x$ ，其中1是功能优化设计；3是三化综合设计法，即综合动态优化、智能优化和可视优化设计为一体的广义优化方法；x是依据产品的特点采用的设计方法，如在汽车的设计中，造型设计十分重要，x就是造型设计等。因此，综合设计法将几种设计法综合在一起，以便在较大范围内来满足用户对产品广义质量的要求。

综合设计法以提高产品综合性能或广义质量(包括结构性能、工作性能和工艺性能等)为目标，使产品的综合性能或广义质量在较大范围内得到满足。它提出的动态优化、智能优化和可视优化均是研究的目标，同时又是一种手段。它是以所选择的产品为研究与设计对象，如大型旋转机械等，以非线性动力学理论为基础，以广义优化为手段，通过综合设计，即功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计和绿色设计等来全面提高产品的综合性能或广义质量。

带式输送机是重要的散状物料输送设备。随着国民经济的发展，带式输送机的应用越来越广泛。目前，带式输送机的主要发展方向是设备的大型化和新型结构的特种带式输送机。在带式输送机设计过程中应用综合设计法是提高该类设备质量和性能的必由之路。本书给出的带式输送机设计计算方法，特别是动态优化方法，体现的就是综合设计法的主要内容。

本书作者宋伟刚教授长期从事带式输送机的研究和相关的教学工作，曾参与多种大型带式输送机和特种带式输送机的研究工作，完成了多项带式输送机的科研工作，取得了良好的经济效益和社会效益。开发出了带式输送机动态分析软件，该软件已在实际工程中应用于带式输送机的动力学分析和计算。

本书全面论述了带式输送机的设计理论与方法，具有下列特点：

(1) 从输送机主要部件的设计计算方法和带式输送机的设计计算理论两个方面论述了输送机设计中的主要问题，详细讨论了输送机设计计算力学模型的建立和动态分析方法。

(2) 将传统设计方法与动态设计方法有机地结合，并提出了带式输送机的设计计算过程，从而形成系统的带式输送机设计计算理论。

(3) 理论与实践相结合，在设计理论的基础上所研究的实际工程项目设计、分析和计算方法，以及所给出的设计计算实例对设计者有参考价值。

本书还吸取了国内外带式输送机的最新研究成果，内容丰富。本书的出版对进一步提高我国的带式输送机设计制造水平具有实际意义。

中国科学院 院士  
东北大学 教授

宋伟刚

# 前 言

带式输送机是最重要的现代散状物料输送设备，它广泛应用于电力、冶金、化工、煤炭、矿山、港口、建材、粮食等领域。

早在 20 世纪 70 年代，就已经出现了运输距离达到 100km 的带式输送机输送线路。近年来，带式输送机在矿山运输中已经逐渐开始取代汽车和机车运输，成为散状物料输送的主要装备，不断出现的新型带式输送机，拓宽了带式输送机的应用领域。为适应这一变化，广大科技人员急需一本全面论述带式输送机设计的书籍。

本书主要研究带式输送机的设计计算方法。全书分为 3 篇共 19 章。

第 1 篇包括 1~3 章，介绍带式输送机的特点和应用范围、散状物料带式输送机计算与设计基础，重点介绍了以德国标准 DIN22101 为基础的带式输送机设计计算基础、美国输送机制造商协会带式输送机功率计算方法，给出了日本标准的计算方法。

第 2 篇包括 4~11 章，涉及输送机各主要部件的设计计算方法，包括：输送带、驱动装置、托辊、滚筒、拉紧装置、逆止器与制动器、带式输送机的辅助装置、带式输送机的机电保护装置。重点研究了输送带特性和选择计算方法、驱动装置的力学模型、托辊和滚筒的选择计算方法。

第 3 篇包括 12~19 章，是带式输送机的设计计算理论部分，包括：带式输送机的阻力、带式输送机的传动理论、带式输送机的曲线段、受料过程的冲击与缓冲方法、卸载过程的物料轨迹、带式输送机的动态过程、输送带在输送机横截面上的振动和设计计算实例。

本书包括了作者多年来从事带式输送机的研究、博士学位论文等主要研究成果，并吸收了国内外的研究成果。书中的主要内容曾在带式输送机行业进行了多次讲授。

沈阳矿山机械研究设计院王恩光教授级高级工程师审阅了全书，并提出了许多宝贵意见。中国科学院院士闻邦椿教授为本书作序，并对本书的编排给予了指导。

本书受到了沈阳矿山机械(集团)公司、中国重型机械工业协会带式输送机分会、青岛华夏胶带有限公司、美国罗克韦尔(道奇)公司、机械工业出版社等单位的大力支持。在编写过程中，得到了研究生于野、战悦晖、王元元、沙丽娜、王德东等同志的协助。作者向他们表示感谢。

此外，作者还要向妻子李清和儿子宋冠霆表示感谢，是他们的鼓励与支持使作者能够集中精力顺利完成本书繁重的写作工作。

由于作者水平所限，疏漏之处难免，恳请读者批评指正。

宋伟刚

2005 年 10 月于东北大学

# 目 录

## 序 前言

## 第 1 篇 带式输送机及其计算与设计基础

|                                 |    |                            |    |
|---------------------------------|----|----------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....           | 1  | 2.8 过渡段和过渡长度的设计 .....      | 38 |
| 1.1 带式输送机的结构原理 .....            | 1  | 2.9 竖向曲线段最小半径的确定 .....     | 38 |
| 1.2 带式输送机的种类 .....              | 2  | 2.10 输送带翻转的设计 .....        | 39 |
| 1.3 带式输送机的应用 .....              | 3  | 2.11 日本标准驱动功率的计算方法 .....   | 40 |
| 1.4 带式输送机的系统设计 .....            | 9  | <b>第 3 章 CEMA 输送带张力和功率</b> |    |
| <b>第 2 章 带式输送机计算与设计基础</b> ..... | 13 | 计算方法 .....                 | 42 |
| 2.1 输送量与带速 .....                | 13 | 3.1 输送机所需的基本功率 .....       | 42 |
| 2.2 稳定工况下的运行阻力和功率               |    | 3.2 输送带张力的计算 .....         | 43 |
| 消耗 .....                        | 16 | 3.3 输送设备制造商协会的功率计算         |    |
| 2.3 驱动系统的设计 .....               | 23 | 方法 .....                   | 54 |
| 2.4 输送带张力和张紧力 .....             | 25 | 3.4 复杂的输送机线路的 CEMA 计算      |    |
| 2.5 输送带宽度面上的张力分布 .....          | 30 | 方法算例 .....                 | 54 |
| 2.6 输送带的额定抗拉强度和覆盖层              |    | 3.5 用 SI (米制单位)进行带式输送机的    |    |
| 厚度的选择 .....                     | 34 | 输送带张力和功率的计算 .....          | 62 |
| 2.7 滚筒最小直径 .....                | 36 |                            |    |

## 第 2 篇 带式输送机主要部件及其设计计算

|                                |     |                               |     |
|--------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| <b>第 4 章 输送带的结构与选择</b> .....   | 65  | 6.2 滚筒的选择计算 .....             | 104 |
| 4.1 输送机对输送带的要求 .....           | 65  | 6.3 滚筒的结构设计计算 .....           | 105 |
| 4.2 输送带的结构与种类 .....            | 66  | <b>第 7 章 输送带拉紧装置</b> .....    | 115 |
| 4.3 输送带的性能 .....               | 71  | 7.1 拉紧装置概述 .....              | 115 |
| 4.4 输送带的磨损形式与寿命 .....          | 74  | 7.2 拉紧装置的种类 .....             | 115 |
| 4.5 输送带的动力特性 .....             | 77  | 7.3 拉紧装置的选择计算 .....           | 119 |
| 4.6 输送带的选择 .....               | 83  | <b>第 8 章 逆止器与制动器</b> .....    | 125 |
| <b>第 5 章 带式输送机的托辊</b> .....    | 86  | 8.1 逆止器 .....                 | 125 |
| 5.1 托辊的结构与种类 .....             | 86  | 8.2 制动器 .....                 | 127 |
| 5.2 托辊的选择计算 .....              | 89  | 8.3 输送机制动装置的设计方法 .....        | 132 |
| 5.3 托辊组间距、过渡段设计 .....          | 91  | 8.4 机械摩擦制动器 .....             | 133 |
| 5.4 托辊和托辊组的等学质量 .....          | 96  | <b>第 9 章 带式输送机的辅助设备</b> ..... | 136 |
| 5.5 托辊间距的分级 .....              | 99  | 9.1 给料装置 .....                | 136 |
| <b>第 6 章 滚筒组的选型与设计计算</b> ..... | 101 | 9.2 卸料器 .....                 | 139 |
| 6.1 滚筒的结构与种类 .....             | 101 | 9.3 卸料装置 .....                | 140 |

|                                  |     |                                    |     |
|----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 9.4 秤量装置 .....                   | 142 | 10.5 纵向撕裂保护装置 .....                | 156 |
| 9.5 取样装置 .....                   | 146 | <b>第 11 章 带式输送机驱动技术</b> .....      | 160 |
| 9.6 清扫器 .....                    | 148 | 11.1 概述 .....                      | 160 |
| <b>第 10 章 带式输送机的机电保护装置</b> ..... | 152 | 11.2 电动机驱动及软启动方式 .....             | 162 |
| 10.1 防止跑偏保护装置 .....              | 152 | 11.3 液力耦合器 .....                   | 167 |
| 10.2 带速检测保护装置 .....              | 153 | 11.4 液体粘性调速器 .....                 | 176 |
| 10.3 断带保护装置 .....                | 155 | 11.5 液压马达驱动 .....                  | 178 |
| 10.4 金属杂物检测与清除装置 .....           | 156 | 11.6 差动变频无级调速 .....                | 178 |
|                                  |     | 11.7 CST 的原理与选择计算 .....            | 180 |
| <b>第 3 篇 带式输送机的计算理论</b>          |     |                                    |     |
| <b>第 12 章 带式输送机的阻力</b> .....     | 184 | 16.2 抛料轨迹 .....                    | 248 |
| 12.1 主要阻力及其影响因素 .....            | 184 | <b>第 17 章 带式输送机的动态分析方法</b> .....   | 252 |
| 12.2 主要阻力系数的计算方法 .....           | 185 | 17.1 概述 .....                      | 252 |
| 12.3 模拟摩擦阻力系数和带速之间的关系 .....      | 200 | 17.2 动力学方程的建立 .....                | 254 |
| 12.4 吊挂托辊的前倾阻力分析 .....           | 204 | 17.3 带式输送机的启动速度曲线 .....            | 265 |
| <b>第 13 章 带式输送机的传动理论</b> .....   | 206 | 17.4 带式输送机连续模型的解析解 .....           | 269 |
| 13.1 单传动滚筒 .....                 | 206 | 17.5 带式输送机动态分析软件 .....             | 274 |
| 13.2 多滚筒传动 .....                 | 208 | 17.6 动态分析软件计算机仿真实例 .....           | 282 |
| 13.3 功率不平衡影响因素的分析 .....          | 214 | <b>第 18 章 输送带在输送机横截面上的振动</b> ..... | 290 |
| 13.4 多滚筒参数的设计 .....              | 219 | 18.1 输送带横截面上的振动方程 .....            | 290 |
| <b>第 14 章 带式输送机的曲线段</b> .....    | 221 | 18.2 振动微分方程解的形式 .....              | 292 |
| 14.1 凹弧曲线段 .....                 | 221 | 18.3 固有频率的计算 .....                 | 295 |
| 14.2 凸弧曲线段 .....                 | 227 | 18.4 避免共振的设计 .....                 | 297 |
| 14.3 弯曲段设计方法 .....               | 230 | <b>第 19 章 带式输送机设计计算实例</b> .....    | 301 |
| <b>第 15 章 受料过程的冲击与缓冲方法</b> ..... | 233 | 19.1 DIN 计算方法的算例 .....             | 301 |
| 15.1 缓冲分析有关参数的确定 .....           | 233 | 19.2 采用自动拉紧装置的算例 .....             | 310 |
| 15.2 托辊组的冲击动载荷 .....             | 235 | 19.3 长距离复杂线路带式输送机设计计算算例 .....      | 320 |
| 15.3 各种缓冲结构的缓冲效果 .....           | 239 | 19.4 带式输送机结构参数的优化 .....            | 332 |
| 15.4 改进缓冲的措施 .....               | 243 | <b>参考文献</b> .....                  | 335 |
| <b>第 16 章 卸载过程的物料轨迹</b> .....    | 244 |                                    |     |
| 16.1 物料在输送带上的运动 .....            | 244 |                                    |     |



# 第 1 篇

## 带式输送机及其计算与设计基础

### 第 1 章 绪 论

#### 1.1 带式输送机的结构原理

带式输送机是以输送带作牵引和承载构件，通过承载物料的输送带的运动进行物料输送的连续输送设备。其结构原理如图 1-1 所示，输送带绕经传动滚筒和尾部滚筒形成无极环形带，上下输送带由托辊支承以限制输送带的挠曲垂度，拉紧装置为输送带正常运行提供所需的张力。工作时驱动装置驱动传动滚筒，通过传动滚筒和输送带之间的摩擦力驱动输送带运行，物料装在输送带上和带子一起运动。带式输送机一般是在端部卸载，当采用专门的卸载装置时，也可在中间卸载。

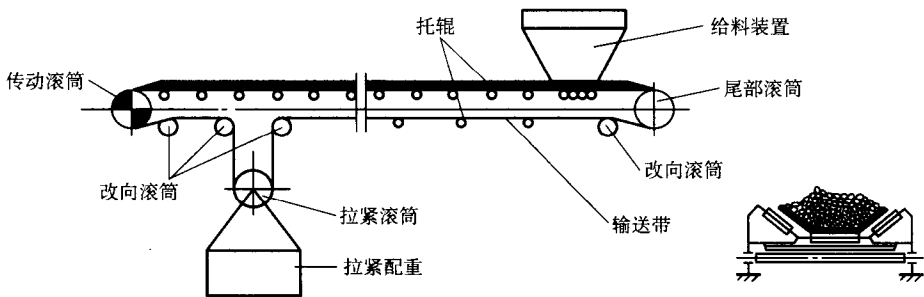


图 1-1 带式输送机结构原理

带式输送机已有 150 余年的历史，早期的输送带是用皮革之类的材料制成，或用皮革加纤维织物制造。有关输送带的最早文献是 Oliver Evans 于 1795 年在美国费城出版的《Millers Guide》上发表的，当时把输送机描述为“在一框或槽里的两个滚筒上旋转的薄而柔软的宽环皮带或帆布带”。1858 年，S.T.Parmalee 取得了织物增强的橡胶输送带的专利。1863 年，O.C.Dodge 关于处理谷物的输送带被授予美国专利。1892 年，Thomas Robins 发明的槽型结构的带式输送机在矿物工程中应用，确定了当代输送机的基本型式。此后，随着物料运输量的增大，带式输送机取得了巨大的发展，出现了多种的新型结构的带式输送机。其中具有代表性的主要有：大倾角带式输送机(深槽带式输送机、花纹带输送机、波纹挡边以及压带式输送机)、管状带式输送机、气垫带式输送机、平面转弯带式输送机、线摩擦带式输送机等。



带式输送机已成为最重要的散状物料连续输送设备。它不仅应用于企业内部的运输，也拓展到企业外部的输送，广泛应用于冶金、矿山、港口、粮食和化工等领域。

带式输送机的机身横断面如图 1-1 所示。上段输送带利用槽形托辊组支承，称为上分支或承载段或重段。下段输送带由平托辊支承，称为下分支或回程段或空段。原理上，输送机上、下分支都可用来完成输送工作。

带式输送机与其他散状物料输送机以及汽车、铁路运输相比，有以下优点：

### 1. 输送物料种类广泛

输送物料的范围可以从很细的各种粉状物料到大块的矿石、石块、煤或纸浆木料，以最小的落差输送精细筛分过的或易碎的物料。由于橡胶输送带具有较高的抗腐蚀性，在输送强腐蚀性或强磨损性物料时维修费用比较低。带式输送机还可以输送碱性物料和一定温度热料，也可以运送成件物品。

### 2. 输送能力范围宽

带式输送机的输送能力可以满足任何要求的输送任务，既有轻型带式输送机完成输送量较小的输送任务，又有大型带式输送机实现每小时数千吨甚至上万吨的输送任务。

### 3. 输送线路的适应性强

带式输送机可以适应坡度为 30% ~ 35% 的地形，而对于卡车运输来说仅能适应原有自然地形的坡度为 6% ~ 8%。输送机线路可以适应地形，在空间和水平面上弯曲从而降低基建投资，并能避免在厂内和其他拥挤地区，以免受铁路、公路以及河流、山脉的干扰。带式输送机的运输线路是十分灵活的，线路长度可根据需要延长。

### 4. 灵活的装卸料

带式输送机可根据工艺流程要求灵活地从一点或多点受料，也可以向多点或几个区段卸料。

### 5. 可靠性强

带式输送机的可靠性已为所有工业领域中的使用经验所证实，它的运行极为可靠，在许多需要连续运行的重要生产单位，如在发电厂内煤的输送，钢铁厂和水泥厂散状物料的输送以及港口内船舶装卸散状物料等，都获得了广泛的应用。

### 6. 安全性高

带式输送机具有很高的安全性，需要的生产人员很少，与其他运输方式相比发生事故的机会比较少。不会因大块物料掉下来砸伤人员或由于大型笨重的车辆操纵失灵而引起事故。

### 7. 费用低

带式输送机系统运送每吨散状物料所需的劳动工时和能耗，在所有运输散状物料工具中通常是最低的。而且它所占用的维修人员的时间少，较小零件的维修和更换可在现场很快地完成，维修费用低。

## 1.2 带式输送机的种类

带式输送机可从不同的角度分类。

### 1. 按承载能力分类

轻型带式输送机：专门应用于轻型载荷的输送机。

通用带式输送机：这是应用最广泛的带式输送机，其他类型带式输送机都是这种带式输送机的变形。

钢绳芯带式输送机：应用于重型载荷的输送机。

## 2. 按可否移动分类

固定带式输送机：输送机安装在固定的地点，不需要移动。

移动带式输送机：具有移动机构，如轮、履带。

移置带式输送机：通过移动设备变换设备的位置。

可伸缩带式输送机：通过储带装置改变输送机的长度。

## 3. 按输送带的结构形式分类

普通输送带带式输送机：输送带为平型，带芯为帆布或尼龙帆布或钢绳芯。

钢绳牵引带式输送机：用钢丝绳作为牵引机构，用带有耳边的输送带作为承载机构。

压带式输送机：用两条闭环带，其中一条为承载带，另一条为压带。

钢带输送机：输送带是钢带。

网带输送机：输送带是网带。

管状带式输送机：输送带围包成管状或用特殊结构输送带密闭输送物料。

波状挡边带式输送机：输送带边上有挡边以增大物料的截面，倾斜角度大时，一般在横向设置挡板。

花纹带式输送机：用花纹带以增大物料和输送带的摩擦，提高输送倾角。

## 4. 按承载方式分类

托辊式带式输送机：用托辊支撑输送带。

气垫带式输送机：用气膜支撑输送带。另外还有磁性输送带、液垫带式输送机，它们共同的特点都是对输送带连续支撑。

深槽型带式输送机：由于加大槽深，除用托辊支撑外，也起到对物料的夹持作用，可增大输送倾角。

## 5. 接输送机线路布置分类

直线带式输送机：用于输送机纵向是直线，但是可在铅垂面上有凸凹变化曲线。

平面弯曲带式输送机：可在平面上实现弯曲运行，如封面所示。

空间弯曲带式输送机：可以在空间实现弯曲运行。

## 6. 按驱动方式分类

单滚筒驱动带式输送机。

多滚筒驱动带式输送机。

线摩擦带式输送机：用一个或多个输送带作为驱动体。

磁性带式输送机：通过磁场作用驱动输送带。

# 1.3 带式输送机的应用

带式输送机的应用范围十分广泛，下面仅举例说明带式输送机的应用情况。

### 1.3.1 长距离带式输送机的应用

#### 1. 西班牙的西撒哈拉带式输送机线路

西班牙的西撒哈拉带式输送机线路是世界上最长的长距离输送机线路。该线路长达100km, 用来将位于石质高原地区的布·克拉露天矿的磷灰石矿石运往艾汾阿雍海港。此线路于两年半内建成, 并于1972年投入使用, 西班牙的一些专家是在技术经济方面进行周密的研究后才做出采用带式输送机运输这一选择的。专家们曾将输送机运输、管道运输、汽车运输和铁路运输各种方案进行过比较。该系统总投资额为2亿马克。服务年限为30年, 年平均运输量为1000万吨磷灰石矿石(2000t/h)。每吨千米的运费为0.026法郎, 整条线路由长为6.9~11.8km的11台输送机组成。单台输送机的长度有时选为9km以上在经济上也是合算的, 因为可以减少传动站和转载站的数量。根据计算, 如果再增大输送机的长度, 需要选择强度更大的输送带, 而且费用将显著增加。

输送机采用宽为1000mm, 强度为3150N/mm的钢绳芯输送带, 带速为4.5m/s。输送带的安全系数为6.7~10。

输送机设有顶棚, 迎风侧装有护板, 其上分支采用三辊式悬挂托辊, 下分支则采用双辊式托辊。各辊的辊轴用板式链的链节相互连接, 上分支的托辊间距为4m, 而下分支的托辊间距为8m。

较长的输送机头部有两个传动滚筒, 共装有四个感应电动机, 每台的功率为378kW; 其尾部则装有一个传动滚筒, 装有减速器、液压起动离合器和制动器的每台电机构成一个驱动单元。整条线路总共有51个驱动单元。当其中有一个单元发生故障时, 输送机不停机, 而由其他三个或四个驱动单元驱动, 使之继续运行。但是, 此时带速减慢, 因此线路的运输效率也相应地降低。输送线路的起动次序与所装物料的运行方向相反, 且各段的接通均有一定的延时。整条线路完全起动的周期为5.5h。

线路上备有11台自行式小车, 以供进行检查和技术维护之用。小车上装有声纳检测器、无线电发射机以及输送机的紧急停机按钮。

借助于能反映输送带运动所发生的声音变化情况的声纳检测器可以发现损坏的托辊。此时, 在输送带不停止运行的条件下, 只需数分钟就可更换损坏的托辊。无线电发射机可以保证与总操纵台取得联系, 并根据无线电信号保证用紧急按钮使输送机停机, 输送机线路的终端建有贮矿场, 以便在矿山中断采掘作业时保证均匀供应精矿厂所需的矿石。

#### 2. 恰那矿20km地面带式输送机系统

澳大利亚恰那矿20km地面带式输送机系统是代表了现代带式输送机发展水平的一条输送线。该输送系统由一条长为10.3km的平面转弯带式输送机和一条10.1km的直线长距离带式输送机构成。转弯带式输送机的曲率半径为9km, 弧长为4km。两条输送机除线路参数外, 其他参数相同, 运输能力为2200t/h, 带宽1050mm, 输送带抗拉强度为3000N/mm, 安全系数为5, 拉紧装置为重锤拉紧。允许行程为25m, 驱动采用3台700kW直流电动机, 双滚筒驱动。该机在25℃下每台电动机的牵引功率小于330kW, 相应摩擦系数分别为: 直线输送机0.00998, 转弯输送机为0.011。封底上图为系统的转弯段。系统采用了先进的托辊制造和安装技术、水平转弯技术和动态分析技术。

### 3. 津巴布韦钢铁公司 (ZISCO) 15.6km 水平转弯越野带式输送机

ZISCO 的 15.6km 水平转弯越野带式输送机于 1996 年投入使用, 是世界上单机最长的带式输送机。该输送机将 ZISCO 的 New Ripple Creek 矿的经过二次破碎的铁矿石运送到 Redcliff, Zimbabwe 的炼钢厂附近。输送量为干矿石 500t/h (湿矿石 600t/h)。输送机线路如图 1-2 所示, 系统全长为 15.6km, 物料提升高度为 90m。

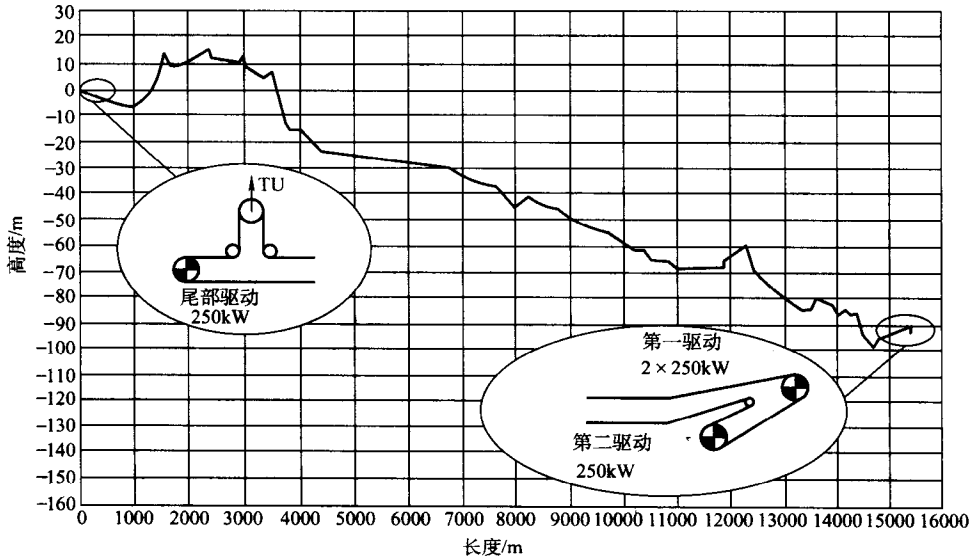


图 1-2 ZISCO 越野带式输送机系统线路

输送带采用桥石公司的钢绳芯输送带, 抗拉强度为 888N/mm, 运行速度为 4.25m/s。输送带的安全系数为 5.8, 当环境温度为 0℃ 时, 安全系数降到 5.5, 当输送量增加到 600t/h 时, 输送带安全系数降低到 4.8。为了提高输送带的利用率, 输送带的上、下覆盖层采用相同的厚度, 为 5mm。这样做的目的是, 当上覆盖层磨损超过 2mm 时, 可将输送带翻面使用, 从而达到提高输送带的使用寿命。

在主要阻力计算方面, 采用了输送机动力学公司的粘弹性模型理论, 所给出的阻力系数相当于 DIN 标准模拟摩擦系数为 0.0135。按此计算, 整个系统所需功率为 445kW。

输送机采用头部双滚筒, 尾部单滚筒的驱动方案, 头部第一传动滚筒上设两个驱动单元, 其他传动滚筒上设一个驱动单元。每个驱动单元配置西门子的 250kW 电动机, 采用变频调速器控制系统的起动与停机。起动过程是: 首先尾部驱动开始起动, 经过 20s 的时间速度达到额定速度的 4%, 并一直保持此速度到 60s, 这样做的目的是将输送机停机造成的输送带垂度增大的部分拉紧, 在头部的第二传动滚筒后设张力传感器, 当张力达到一定数值后, 头部驱动开始投入。

拉紧装置为重锤拉紧方式, 拉紧塔高 50m, 封底下图所示。拉紧装置设置在尾部装料区的后面, 使其靠近水平曲线段, 从而有效地降低转弯段的张力, 避免了拉紧装置设置在头部, 使转弯段产生较大的张力波动。采用 2 倍率的拉紧方式, 拉紧重锤的行程为 22m, 可使拉紧滚筒具有 44m 的拉紧行程。重锤重量为 80t, 相当于单边张紧力为 20t。

在承载段和回程段上使用了不同的托辊直径, 承载段为 152mm, 回程段为 127mm。托辊

间距分别为：承载直线段为 5m，承载转弯段 2.5m；回程直线段为 10m，回程转弯段为 5m。

考虑到承载段和回程段的惯性不同，为保证良好的停机过程，除对系统进行控制停机外，在头部的每个驱动单元上设置了飞轮，飞轮的转动惯量为电动机惯量的 9 倍，并在尾部设置 20kN·m 的制动器。输送机停机时间为 100s。避免了输送机承载段过大垂度可能造成的撒料问题。

为了保证曲线段不产生过大的输送带偏移，在转弯段采用内曲线抬高，承载段为 2°(在凹曲线段为 6°)，回程段为 3°(在凹曲线段为 5°)，为了适应输送带张力，在回程转弯段采用 3 托辊槽形托辊组。输送机在靠近尾部和头部的回程段上设置了翻转装置。

### 1.3.2 带式输送机在电厂中的应用

#### 1. 火力发电厂对带式输送机的需求

带式输送机是火力发电厂运输煤炭和灰渣的主要设备。

当通过铁路运输进行供煤时，装设 4~6 台机组的电厂，一般需用带式输送机的长度大致为：卸煤装置：80m(翻车机)~180m(缝隙煤斗)；运输到燃煤系统：350~450m；煤场堆取：300~400m；煤斗间输送及配仓：300~500m；总计输送路程均为 1200~1500m。

电厂对设备的安全性要求很高，一般全线均设双路带式输送机，一路工作，另一路备用，因此输煤工艺系统所需带式输送机的总长度大致为 2500~3000m。

对水路来煤的电厂，码头的位置有时较远，特别是用大型海轮运煤的电厂，接卸码头往往建在远离岸边的深水区。通过引桥与厂区联接，运距要增长上百米至上千米不等。

建设场地受到限制的电厂，运输路径迂回曲折，转运点亦增多，运距将相应增加。

位于煤矿附近的坑口电厂，国外多采用带式输送机代替铁路运输。这种方式，避免了装车、卸车作业，简化了流程，节省投资，管理亦较方便。

另外，一些辅助、转载也需要一定数量的带式输送机。

#### 2. 电厂中带式输送机的使用特点

由于发电厂对安全性的要求很高以及受传统习惯的影响，对带式输送机的技术要求与其他工业企业不尽一致，主要表现在以下几方面：

(1) 受料、运输与卸料三者对输送机的要求不同。火力发电厂中，无论是水路或铁路供煤，工艺上必须通过受料、运输(或兼作提升)以及向原煤斗卸料等过程，才能完成整个输送工艺。三种功能对带式输送机的要求不尽相同。例如：受料带式输送机的带速不宜过高，上托辊布置稍密及槽角适当加大，以减轻物料的冲击。而煤斗间上方用于输送及配仓的输送机则要求带速稍低，托辊槽角适当减小，如采用犁式卸料器时，输送带工作面的覆盖胶亦应适当加厚。而一般输送用的带式输送机则要求能构成最佳断面系数的槽角，并以合理的更换周期来选择覆盖胶厚度等。对与叶轮给煤机(卸煤斗下方)或双滚筒卸料车相配合的带式输送机，中间架需特殊加强等。

(2) 带速选择偏低。电厂的带式输送机多数布置在厂房里，对煤尘治理要求较高，根据国内外实践经验，宜选用较低的带速。

(3) 安装一次就位，固定不变。发电厂的带式输送机安装位置固定，一次定位装就不再变动。而且国内设计的厂房，多数为钢筋混凝土结构，预制件比重日益增加，因此，带式输送机的布置套用一定模式偏多，较少因地制宜。

(4) 运行率低。由于发电厂安全性要求很高，整个工艺系统中的带式输送机多数设置双路，一路工作，一路备用(厂外及与码头连接的带式输送机除外)。而且多数电厂运行时间每昼夜不足 18h，即每路带式输送机全年平均运行时间仅 2000 ~ 3000h。

(5) 煤种变迁大。由于煤种变迁大，因此对带式输送机提出了新的要求。例如，由于来煤粒度过大，对缓冲托辊的要求高；来煤水分小，运行时飞尘大，要求导料槽、料斗、管道有良好的密封性；煤内杂质多，遇水后流动性大，需要配置高效清扫器等。

火电厂大都采用通用带式输送机。近年来也开始逐渐采用圆管带式输送机、气垫式带式输送机、波状挡边带式输送机和深槽式带式输送机。

### 1.3.3 带式输送机在港口的应用

带式输送机在港口散状物料运输中起着重要作用。图 1-3 是某港口煤码头装船运输系统。该系统的工艺流程为两种方式：一种是将煤从货车卸载后经带式输送机系统装船；另一种是将煤从货车卸下，通过带式输送机，由堆料机存入堆场，再由取料机从堆场取煤通过带式输送机进行装船。

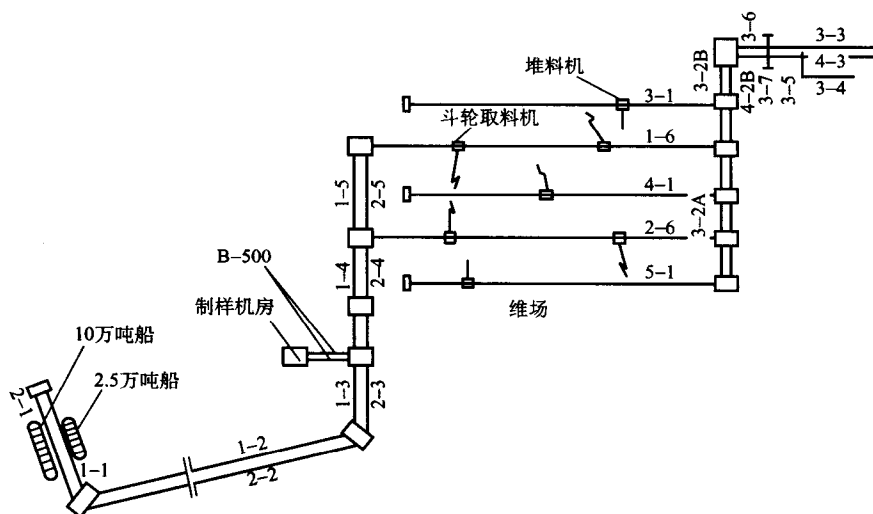


图 1-3 港口煤码头装船系统

运煤货车的卸载有三种方式。标准车箱由翻车机卸车、空车的清扫(清扫下的煤用铲式装载机运到清扫漏斗中)、非标准车箱货车用螺旋卸料机卸载。三种方式卸载的物料直接或转载经带宽 1800mm，能力为 3600t/h 的主带式输送机，将煤由旋转半径为 30m 的堆料机，按不同品种堆到煤场中。

装船时，由四台能力为 3000t/h，旋转半径为 45m 的斗轮取料机取煤，经过两条带宽 2200mm，带速 4.3m/s，能力为 6000t/h 的带式输送机运输线和能力为 6000t/h，旋转半径 33.5 ~ 49.5m 的装船机，将煤装入 10 万吨级或 2.5 万吨级煤舱内。

整个系统由 25 条带式输送机组成。在输送机 3-3、4-3、1-6、2-6 上装有金属检测器和除铁器。在 3-2B、4-2B、1-4、2-4 上装有电子秤，用于测量输送带上物料的瞬时和累计输送量，出料端电子秤可以发出取样信号。

装卸设备设有中心控制室，用集中和自动控制，进行整个系统的控制和管理。微型控制器负责整个系统的控制，控制台有人工控制开关、自动操作开关、现场转换操作开关、流程选择开关、各种不同的操作电钮指示灯、警报显示器等，还设有同步显示屏、工业电视机，能看到整个系统装卸设备的操作情况。

控制包括：流程控制、程序控制、同步多流程控制、停止和紧急停机控制、可移动设备的冲撞保护控制；取制样装置、金属检测装置、测量装置、除尘装置的起动等都要在中控室显示。

整个系统的 25 条输送机的驱动装置均由笼型电动机配限矩型液力耦合器。

### 1.3.4 带式输送机在矿山中的应用

带式输送机是先进的金属矿山的半连续开采工艺和煤矿的连续开采工艺中的重要装备。图 1-4 是某露天煤矿的连续开采系统。该系统由斗轮挖掘机、带式输送机系统和排土机为主体。运煤系统由 M101、M201、M203 和 M301 四台带式输送机组成。排土系统由 101、201、401、501、601、602 及其所属的两个分支 701、801、803 和 702、802 等带式输送机组成。其中 M101 带式输送机附设一台受料车，801、802、803 各附设一台卸料车。运煤系统和排土系统均由斗轮挖掘机供料，岩土系统终端由排土机排土。为适应工作需要该系统的带式输送机分别采用不同类型的带式输送机：

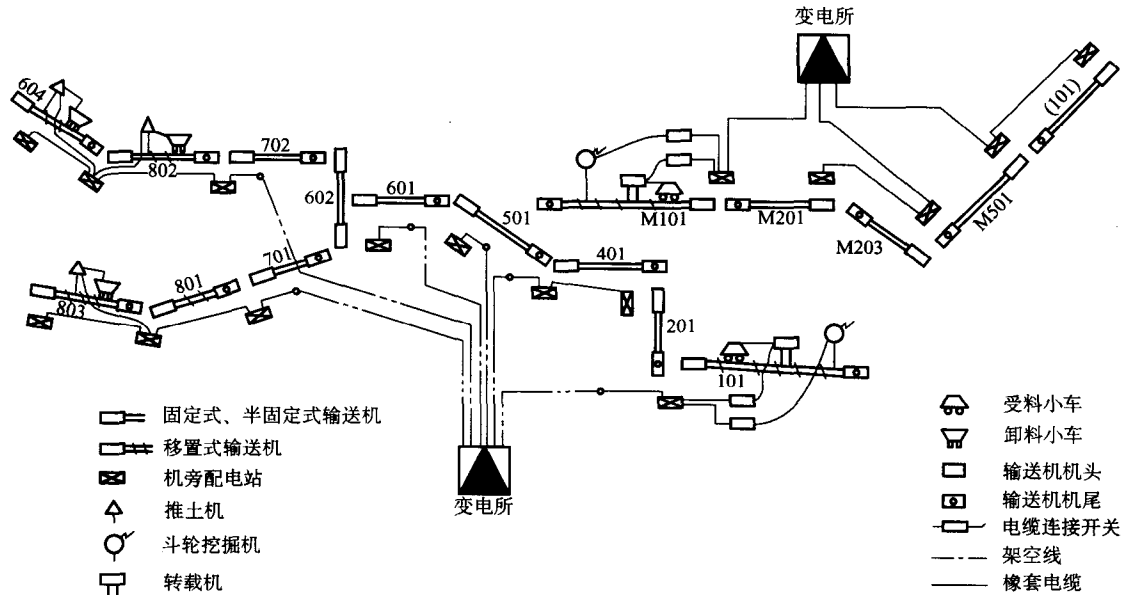


图 1-4 露天煤矿连续开采系统

固定式带式输送机：M301、401、501、601、701、702。

半固定带式输送机：M201、201。

可逆式(分流式)带式输送机：602。

单轨移置式带式输送机：M203。

双轨移置式带式输送机：M101、101、801、802、803。



该系统带式输送机的参数见表 1-1。

表 1-1 带式输送机参数

| 机 号  | 机长/m   | 提升角度   | 形 式         | 主电动机/kW | 拉 紧 装 置 |
|------|--------|--------|-------------|---------|---------|
| 101  | 1498.5 | 0°     | 双轨移动式, 有受料车 | 2 × 380 | 机头自动绞车  |
| 201  | 852.4  | 0°     | 半固定式        | 460     | 机头自动绞车  |
| 401  | 496.5  | 14°    | 固定式         | 2 × 460 | 机尾自动绞车  |
| 501  | 912.5  | 14°30' | 固定式         | 460     | 机尾自动绞车  |
| 601  | 618.4  | 2°3'   | 固定式         | 460     | 机尾自动绞车  |
| 602  | 25     | 0°     | 分流式         | 55      | 重锤式     |
| 701  | 136.04 | 8°     | 固定式         | 380     | 机尾自动绞车  |
| 702  | 206    | 12°56' | 固定式         | 2 × 310 | 机头自动绞车  |
| 801  | 1479.5 | 0°     | 双轨移动式, 有受料车 | 2 × 460 | 机头自动绞车  |
| 802  | 1000   | 0°     | 双轨移动式, 有受料车 | 2 × 310 | 机头自动绞车  |
| 803  | 450    | 0°     | 双轨移动式, 有受料车 | 310     | 机头自动绞车  |
| M101 | 998.5  | 0°     | 双轨移动式, 有受料车 | 2 × 310 | 机头自动绞车  |
| M201 | 925    | 0°     | 半固定式        | 310     | 机头自动绞车  |
| M203 | 57.5   | 0°     | 单轨移动式       | 75      | 机头固定绞车  |
| M301 | 1257.5 | 14°30' | 固定式         | 3 × 460 | 机尾自动绞车  |

## 1.4 带式输送机的系统设计

带式输送机的线路在满足输送机倾角要求的前提下可以适应线路布置成任何形式。在确定输送机线路布置后, 所需要确定的是驱动装置、拉紧装置和制动器的位置。表 1-2 给出了带式输送机典型的布置方式, 这些布置形式适用于通常的输送机系统。换句话说, 它们只适合于某些特定的场合。当然也有其他的布置形式适合于特定地点的特定输送机。例如: 通常的上运输送机的驱动装置都是将驱动装置布置在头部, 而在某些特例中, 也有将驱动装置布置在尾部的情况。在带式输送机设计时, 没有必要一定采用典型布置的形式, 而应通过现场的环境要求和其他因素综合起来进行布置。在布置驱动装置、拉紧装置和制动器时应遵循下列原则:

- (1) 输送带所受张力最小。
- (2) 满足驱动力传动要求。
- (3) 满足制动力要求(必要时加设逆止器)。
- (4) 通过静力或动力学分析来确定。

### 1.4.1 带式输送机系统设计

当确定采用带式输送机来完成散料输送后, 面对的问题就是如何经济合理地设计出带式输送机系统。设计时, 往往是生产工艺要求确定输送机的布置。输送机系统的设计需要考虑下列问题:

- (1) 合理的转载方式, 提出给料装置和卸料装置的要求。
- (2) 输送机线路上输送机之间的相互关系。起动顺序是受料的输送机先起动, 停机顺序

是给料的输送机先停机，当各输送机的参数(例如长度,驱动装置)不同时，通过这一关系可以提出起动时间和停机时间的要求。

(3) 当不能满足上面的起动和停机顺序的要求时，需要考虑在输送机间增设缓冲料仓以提高系统的适应能力和系统的运转率。

(4) 环保要求。对于粉尘大的情况要考虑采用密闭输送或者设置必要的除尘设备。

(5) 系统的监控。

(6) 设备移置能力的要求。

(7) 零部件的标准化和通用化及易损件的供货可能性。

(8) 优先采用长距离、大运量输送机。输送机从经济上和节省占地等方面考虑一般不设置为多条运输线并行的运输方式(在特别重要的环节也有采用并行两条输送机,其中一条为备用)，而都是采用多条输送机串联。当中间某条输送机发生故障后，整条输送机线路都将停止运输工作，降低了设备的运转率。为减少中间环节可以用一条长距离输送机替代多条短距离输送机。

(9) 选用适应工艺要求倾角的输送机。

表 1-2 带式输送机的典型布置形式

|      |       |  |      |        |     |  |
|------|-------|--|------|--------|-----|--|
| 水平运输 | 单滚筒传动 |  | 向上运输 | 单滚筒凸弧  |     |  |
|      | 双滚筒传动 |  |      | 单滚筒凹弧  |     |  |
|      |       |  |      | 单滚筒凸凹弧 |     |  |
|      |       |  |      | 双滚筒    |     |  |
|      | 三滚筒传动 |  |      | 向下运输   | 单滚筒 |  |
|      | 单滚筒   |  |      |        | 双滚筒 |  |