

电梯曳引机

设计 · 安装 · 维修

杨兰春 等编著



电梯曳引机设计·安装·维修

杨兰春 等编著



机械工业出版社

本书较系统地论述了电梯曳引机主动机构的选用和设计,全面讨论了曳引机的结构设计、制造工艺、安装及维修技术,重点探讨了控制曳引机产品质量的对策,以及控制曳引机振动和噪声的途径和方法。

本书可供电梯技术人员及高级技术工人参考应用,亦可供机械设计人员和高校工科院校学生参考。

1128/03
图书在版编目 (CIP) 数据

电梯曳引机设计·安装·维修/杨兰春等编著. —北京:机械工业出版社, 2000. 3

ISBN 7-111-07830-6

I. 电… II. 杨… III. 房屋建筑设备-电梯-基本知识 IV. TU857

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 01757 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘小慧 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云

封面设计:方 芬 责任印制:何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·15.625 印张·410 千字

0 001—5 000 册

定价:30.00 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) 68993821、68326677-2527

前 言

电梯是典型的机电一体化产品。近年来我国的电梯技术发展很快，已由仿制过渡到自行设计、生产阶段，电梯产品质量已接近或达到国际先进水平。

电梯曳引机是电梯的主要组成部分，它的设计水平、产品质量，直接影响电梯的产品质量，其强度和寿命直接影响电梯寿命和工作可靠性，它的振动和噪声直接影响人员乘坐电梯的舒适感。所以，研究曳引机，采用高新技术设计曳引机，高质量地生产曳引机，已成为提高电梯质量的关键。为了配合这一发展要求，满足开发、生产、使用和维修电梯的需要，我们特编写了本书。

本书以“立足全局、反映共性、突出重点、面向全国、服务生产、便于应用”为原则，采用最新的有关标准，内容新颖、图文并茂，力求为曳引机的设计和应用提供方便。

本书可供电梯部门的技术人员，曳引机生产、安装、维修的技术工人参考应用，亦可供机械设计人员及高校学生参考。

本书由山西九三学社太工大齿轮传动实业公司（原山西九三学社太工大电梯实业公司）组织并给予资助，中国建筑机械化研究所马培忠高级工程师、中国电梯质量监督检验中心严涛高级工程师、《中国电梯》杂志编辑部给予了大力帮助，在此一并表示感谢。

本书执笔人：第1章杨兰春；第2章姚志平；第3章武昭晖；第4章郝兴明（4.1~4.12）、杨兰春（4.13~4.14）；第5章姚志平（5.1~5.6.5）、王海珍（5.6.6~5.7）；第6章武昭晖（6.1~6.3）、徐为民（6.4）；第7章郝兴明；第8章武宝林；第9章郝兴明；第10章姚志平。最后由杨兰春整理定稿。徐为民高级工程

师任主审。

由于执笔人水平所限，书中必定有不当和错误之处，望同行提出宝贵意见，谢谢。

作 者

1999 年 7 月 30 日于太原

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 电梯（垂直梯）简介	2
1.2 曳引机的主要技术指标	4
1.3 曳引机技术的发展及研究方向	6
第 2 章 曳引机分类、结构型式及主要特征	10
2.1 曳引机的分类	10
2.2 无齿曳引机、同步带传动曳引机	11
2.2.1 无齿曳引机	11
2.2.2 同步带传动曳引机	12
2.3 蜗杆副曳引机	32
2.3.1 卧式蜗杆副曳引机	33
2.3.2 立式蜗杆副曳引机	37
2.3.3 双出轴蜗杆副曳引机	38
2.4 齿轮副曳引机	38
2.5 行星齿轮系曳引机	39
第 3 章 电梯的驱动功率计算	42
3.1 曳引比与曳引力	42
3.1.1 曳引传动与曳引传动形式	42
3.1.2 作用在曳引轮上的静力	49
3.2 电动机承受的静转矩	52
3.2.1 曳引轮上的静转矩	52
3.2.2 静摩擦转矩	52
3.3 几个问题的讨论	52
3.3.1 F 和 Q 值的讨论	53
3.3.2 静转矩的讨论	53
3.4 曳引机驱动转矩的计算	55

3.4.1	动量定理及曳引力	55
3.4.2	曳引轮承受的动量矩	58
3.4.3	转动惯量及动量矩	58
3.4.4	曳引机驱动力矩和功率计算	63
3.4.5	输入功率的简易计算方法	63
第4章	曳引机主传动机构的设计与计算	65
4.1	圆柱蜗杆副的共性技术	66
4.1.1	螺旋运动、螺旋线、螺旋面	66
4.1.2	蜗杆传动的径向变位	67
4.1.3	蜗杆传动的切向变位	72
4.1.4	蜗杆副的运动状态	72
4.2	蜗杆传动的类别	78
4.2.1	刀具铲形线	78
4.2.2	首创件及其齿面形成	78
4.2.3	蜗杆传动的分类	81
4.3	蜗杆副在曳引机主传动机构中的应用	83
4.4	普通圆柱蜗杆传动	84
4.4.1	普通圆柱蜗杆副几何参数搭配方案	84
4.4.2	普通圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算	85
4.4.3	几何计算中应注明的几个问题	94
4.5	圆弧圆柱蜗杆传动	95
4.5.1	ZC ₃ 蜗杆传动 [齿形 C ₃]	96
4.5.2	ZC ₁ 蜗杆传动 [齿形 C ₁]	100
4.6	圆柱蜗杆传动的强度计算	110
4.6.1	圆柱蜗杆传动的效率	110
4.6.2	圆柱蜗杆传动的受力分析	112
4.6.3	圆柱蜗杆传动承载能力计算	114
4.7	圆柱蜗杆传动的标记方法	124
4.7.1	标记内容	124
4.7.2	标记示例	124
4.8	圆柱蜗杆传动的技术要求与公差	125
4.8.1	蜗杆、蜗轮、蜗轮轴的技术要求	125
4.8.2	轴系零件的配合精度	126

4.8.3 蜗杆、蜗轮精度	128
4.8.4 装配公差	130
4.9 环面蜗杆传动	132
4.9.1 环面蜗杆的主要几何名称	132
4.9.2 环面蜗杆副的主要啮合参数	134
4.10 直廓环面蜗杆传动	134
4.10.1 直廓环面蜗杆的形成	134
4.10.2 直廓环面蜗杆副	135
4.10.3 直廓环面蜗杆传动的几何尺寸计算	140
4.11 平面包络环面蜗杆传动	147
4.11.1 平面一次包络环面蜗杆传动	147
4.11.2 平面二次包络环面蜗杆传动	149
4.11.3 平面包络环面蜗杆传动几何尺寸计算	150
4.12 环面蜗杆传动的精度与公差	154
4.13 偏置蜗杆传动	158
4.13.1 偏置蜗杆传动的啮合特性	160
4.13.2 偏置蜗杆(以锥蜗杆为例)传动的两个基本方程式	162
4.13.3 锥蜗杆传动的几个基本式的推导	166
4.13.4 锥蜗杆传动几何参数的选择	170
4.13.5 锥蜗杆传动的几何尺寸计算	174
4.13.6 偏置圆柱蜗杆传动	181
4.13.7 偏置蜗杆传动的螺旋方向和传动效率	186
4.14 变态蜗杆副及其改进	190
4.14.1 圆柱蜗杆传动良好啮合区的实现	190
4.14.2 非对偶展成蜗轮	191
4.14.3 几种变态蜗杆传动	198
4.14.4 封闭接触线圆柱蜗杆副	199
第5章 曳引机的设计	203
5.1 概述	203
5.1.1 曳引机设计应重视的性能指标	203
5.1.2 曳引机的设计步骤	204
5.2 有关标准对曳引机的技术要求和规定	206
5.2.1 基本参数	206

5.2.2 曳引机型号	207
5.2.3 客梯曳引机的技术和性能要求	207
5.3 设计计算用到的基础知识	210
5.3.1 失效、失效形式、设计准则	211
5.3.2 强度基本概念	212
5.3.3 曳引机计算制的确定	218
5.4 曳引机的总体设计	221
5.4.1 整体布置	221
5.4.2 运动参数与运动机构尺寸的确定	224
5.5 曳引机主要零件受力分析	228
5.5.1 蜗杆与蜗轮的受力情况	229
5.5.2 轴蜗杆的受力分析	229
5.5.3 轴蜗杆左右支承承受的力	230
5.5.4 蜗轮轴的受力情况	230
5.5.5 蜗轮轴承受的力	232
5.5.6 箱体承受的力	232
5.6 曳引机结构设计与计算	233
5.6.1 减速器的整体结构型式	234
5.6.2 箱体结构设计的讨论	235
5.6.3 曳引机轴的结构设计	240
5.6.4 轴承的选用	245
5.6.5 联轴器的选用	265
5.6.6 制动机构的设计与计算	271
5.6.7 曳引轮的设计与计算	287
5.7 常用曳引机产品简介	302
5.7.1 汇达曳引机	303
5.7.2 莎仕曳引机	304
第 6 章 齿轮副与行星齿轮系曳引机	305
6.1 渐开线齿轮副的基本知识	305
6.1.1 渐开线的性质	305
6.1.2 渐开线齿轮副的啮合特性	308
6.1.3 基本术语	309
6.1.4 圆柱齿轮的啮合参数与运动参数	313

6.1.5 斜齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	314
6.2 内齿轮副的扼要讨论	317
6.2.1 假想齿槽外齿轮	317
6.2.2 Euler-Savary 定理	317
6.2.3 内齿轮副的基本啮合定理	318
6.2.4 内齿轮副的径向变位	320
6.2.5 内齿轮副三个基本啮合方程式	322
6.2.6 内齿轮副的分类	326
6.2.7 内齿轮副的几何尺寸计算	328
6.3 斜齿轮副曳引机设计中的几个问题	334
6.3.1 斜齿圆柱齿轮副的主要特点	334
6.3.2 斜齿轮设计中主要几何参数选择	334
6.3.3 斜齿圆柱齿轮传动的工艺要点	335
6.3.4 斜齿轮副曳引机设计	336
6.4 行星齿轮传动的设计	338
6.4.1 概述	338
6.4.2 传动比计算	340
6.4.3 参数选择及几何尺寸计算	344
6.4.4 效率计算	356
6.4.5 结构设计	359
第7章 曳引机的安装工艺	367
7.1 安装曳引机应达到的技术指标	367
7.2 曳引机的安装工艺流程	369
7.3 轴承的安装	370
7.3.1 安装轴承前的准备工作	370
7.3.2 轴承的安装工艺	371
7.3.3 轴承安装常出现的症候、原因、对策	373
7.4 蜗杆副的安装	375
7.4.1 安装蜗杆副常见症候、原因、对策	376
7.4.2 蜗杆副安装中应达到的技术指标	379
7.5 联轴器的安装	379
7.6 制动机构的安装	379
7.7 曳引机安装后常出现的症候、原因、对策	380

7.8 曳引机主传动机构中轴向窜动量的控制	382
7.9 曳引机的跑合工艺	384
7.9.1 跑合过程中的特点	385
7.9.2 跑合工艺	386
第8章 曳引机振动和噪声的控制	388
8.1 曳引机主传动机构振动和噪声的产生机理	388
8.2 齿轮副扭转振动分析	390
8.3 影响曳引机主传动机构振动和噪声的主要因素分析	396
8.3.1 设计参数对齿轮振动与噪声的影响	396
8.3.2 齿轮误差对齿轮振动与噪声的影响	400
8.3.3 其他一些因素的影响	406
8.4 齿轮系统减振降噪的动态设计及分析方法	408
8.4.1 齿轮系统的动态设计	409
8.4.2 谱分析方法	410
8.5 齿轮传动系统振动与噪声的控制	413
8.5.1 提高齿轮精度	413
8.5.2 改进齿轮传动系统的结构设计	414
8.5.3 齿轮修整	417
8.6 滚动轴承的振动与噪声及其控制	426
8.6.1 滚动轴承振动与噪声的产生	427
8.6.2 滚动轴承噪声的控制	432
8.7 电动机噪声的控制	439
8.7.1 气流噪声的产生机理	440
8.7.2 电动机通风噪声的控制	441
第9章 曳引机的维修	443
9.1 曳引机常出现的失效形式	443
9.1.1 主传动机构的失效、原因及对策	443
9.1.2 轴承失效、原因及对策	447
9.1.3 曳引轮的磨损失效、原因及对策	450
9.1.4 制动机构的失效、原因及对策	450
9.2 蜗杆副的修复	451
9.2.1 机加工修复	451
9.2.2 手工修复	451

9.3 轴承的更换	452
9.3.1 轴承损伤判断	452
9.3.2 轴承的拆卸	453
9.4 曳引机的润滑	455
9.4.1 摩擦与润滑基础知识	456
9.4.2 润滑油	461
9.4.3 润滑油及润滑方法的选择	463
9.4.4 曳引机使用及维修时用油注意事项	465
第 10 章 曳引机的检测	467
10.1 单项技术指标的质量检查	467
10.1.1 抽检曳引机主要零件的材质	467
10.1.2 蜗杆与蜗轮的质量检查	467
10.1.3 箱体的质量检查	468
10.1.4 蜗轮轴的质量检查	468
10.1.5 外购件的质量检查	468
10.1.6 控制旋转零件动平衡残留量	468
10.2 曳引机综合技术指标的质量检查	469
10.2.1 蜗杆副的啮合部位	469
10.2.2 齿侧间隙	469
10.2.3 轴向窜动量的测量	471
10.2.4 制动机构的安装、调整和测试	472
10.2.5 曳引机的噪声和质量检查	476
10.2.6 扭转振动速度有效值	480
10.2.7 制动磁力线圈与电动机定子绕组温度测量方法	482
10.2.8 漏油及渗油检验	483
10.2.9 外观及油漆质量检查	483
10.3 曳引机的跑合与试验	483
参考文献	487

第 1 章 概 述

电梯是机电一体化的典型产品。大力开发电梯产品，不仅可以供给各行业各部门所需的运载设备，而且可以带动高新机电技术的发展。因此研究电梯技术是当前电梯界技术人员最迫切的任务，推广、普及电梯技术亦是必不可少的重要工作。

电梯可分为两大类：一类是垂直升降电梯（简称垂直梯或通常所谓的电梯），一类是自动扶梯（含自动人行道，简称扶梯或自动扶梯）。自动扶梯是通过电动机带动传动机构驱动梯级执行输送任务的。把电动机、主传动机构、制动系统等组合成的装置称为驱动主机^{〔1〕}，它的工作是驱动运行。垂直电梯则是通过电动机驱动减速器，靠减速器从动轴上的曳引轮与钢丝绳之间的摩擦力矩牵动轿厢与配重（或称对重）上、下运动实现运输目的。因为它是靠摩擦力牵动执行机构工作，故把电动机、减速器、曳引轮和辅助机构——制动器作为整体，称电梯曳引机，如图 1-1 所示。

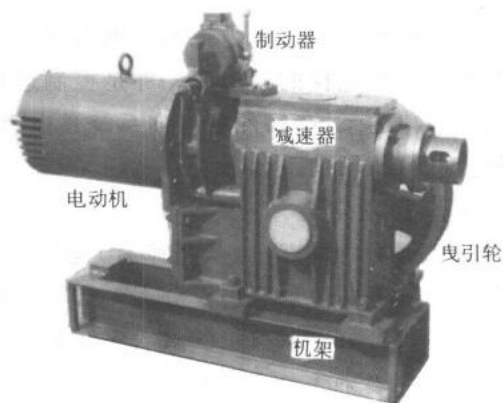


图 1-1 曳引机（北京汇达提供）

曳引机分有齿曳引机和无齿曳引机两大类。本书仅论述有齿

曳引机。

电梯曳引系统中的曳引机减速器、曳引轮（简称绳轮）和动轮（由曳引比体现）组成了电梯的减速传动系统。其中曳引机减速器减速范围较大。曳引机减速器多为齿轮副（含蜗杆副、行星轮系）减速器，该减速器中的齿轮副即为电梯的主传动机构。

电动机输入转矩 T_1 ，驱动曳引机减速器中的主传动机构，通过减速带动曳引轮转动，这时利用轿厢和配重的重量在曳引轮与钢丝绳之间产生的摩擦力矩，拖动轿厢与配重上、下运动，从而完成电梯的运输任务。因为曳引机是决定轿厢运行速度、控制运行状态的减速装置，曳引机的技术含量、设计质量、产品质量等都会影响电梯的工作性能、工作寿命及乘客的舒适感，所以电梯对曳引机有很高的技术要求。

1.1 电梯（垂直梯）简介

1. 电梯的组成

电梯主要由曳引系统、导向系统、门系统、轿厢、配重（对重）平衡系统、电力拖动（动力）系统、电力控制系统、安全保护系统等部分组成，见图 1-2。

在电梯的各组成部分中，电力拖动、电力控制、曳引机的组合称为动力系统，它是电梯的动力源，亦是控制运行速度、运行状态和改变运行规律的系统；轿厢和导向系统是电梯的执行系统；其他部分统称为电梯的辅助系统。

2. 电梯（垂直梯）分类

垂直电梯是建筑物内垂直（或接近垂直）运输工具的总称。其种类十分繁多，可从不同的角度进行分类，常见的有下列几种：

1) 按用途分类有：乘客电梯（客梯）、客货电梯、货梯（载货电梯）、病床电梯（医梯）、住宅电梯、服务电梯（杂物梯）、船舶电梯、观光电梯和车辆电梯（汽车库）。

2) 按驱动方式分类有：直流电梯、交流电梯、液压电梯、齿轮齿条电梯（已基本淘汰）、螺杆式电梯（已基本淘汰）、直线电

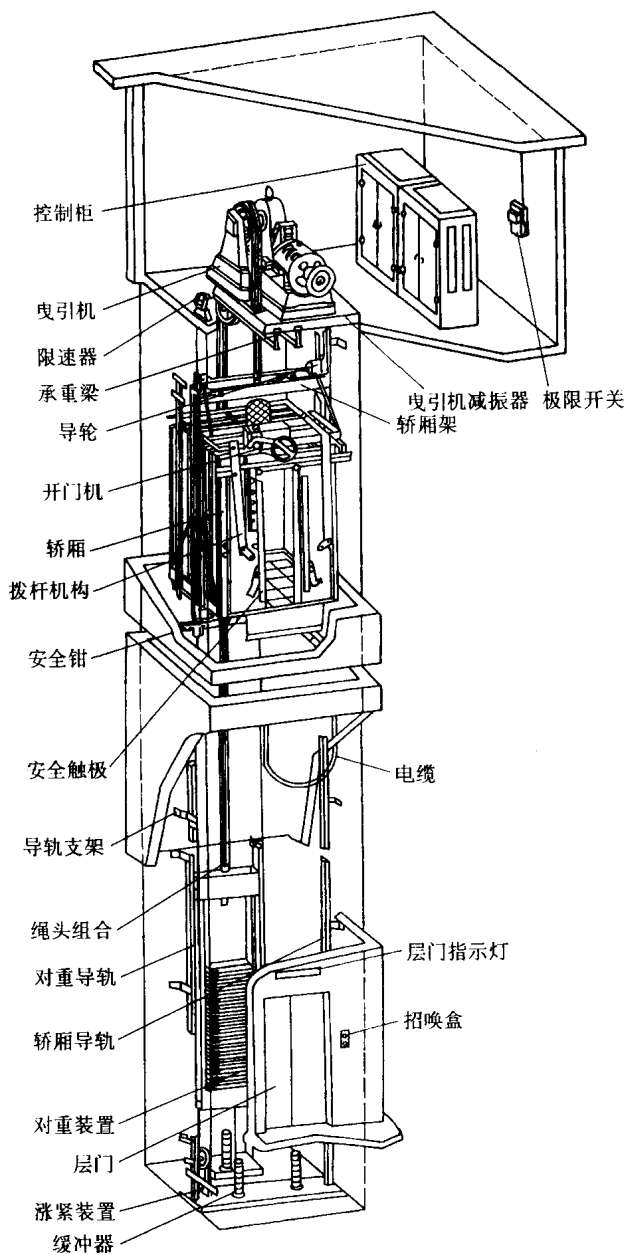


图 1-2 电梯示意

动机驱动电梯（有被交流电梯代用的趋势）。

3) 按轿厢运行速度分类（暂时规定）有：低速电梯（ $v < 1\text{m/s}$ ）、中速电梯（ $v = 1 \sim 2\text{m/s}$ ）、高速电梯（ $v > 2 \sim 5\text{m/s}$ ）、超高速电梯（ $v > 5\text{m/s}$ ）。

4) 按操作控制方式分类有：手柄开关操作电梯、按钮控制电梯、信号控制电梯、集选控制电梯、并联控制电梯、群控电梯。

5) 按有无司机分类有：有司机电梯、无司机电梯、有/无司机电梯。

6) 特殊电梯有：斜行电梯、立体停车场电梯、建筑施工电梯。

3. 电梯的发展

电梯技术发展很快，主要表现在下列几个方面：

1) 电力拖动、电力控制系统技术发展是电梯技术发展的一个重要标志。目前已由直流电梯过渡到交流电梯；轿厢的起动和停层运行可控制在恰到好处的程度；轿厢运行速度可实现多次方运行规律，高速（或超高速）电梯中，乘客也不会有超重和失重感，与此同时能量耗损也大大降低。

2) 有齿曳引机日趋完善，扭振和噪声大幅度下降，传动效率明显提高。无齿曳引机与行星轮系曳引机的出现引起了人们的关注，它不但为发展高速电梯创造了条件，而且为提高传动效率、减少能量耗损开辟了道路，同时也为无机房电梯的推广提供了可能。

3) 齿形带在电梯中的应用已显示出优越性。

4) 高速电梯的迅速发展进一步说明了高速电梯技术已逐渐成熟。

5) 我国在“住宅电梯”设计的规范化、系列化、标准化、通用化、国产化等方面都取得了明显效果。

1.2 曳引机的主要技术指标

为了提高曳引机产品质量，必须满足下列技术指标：

1. 要确保电梯承载能力及曳引机的强度

电梯承载能力从 100kg 到几吨重,速度从 0.25m/s 到 10m/s 以上,亦即曳引机的功率范围很大。在设计曳引机时,应首先满足在设计寿命内,不产生任何失效形式的强度要求,其中包括电动机功率的选择、制动力的确定,主传动机构强度设计或校核计算。要特别重视轴承强度的校核计算及地脚螺栓的设计计算。另外,绳轮可按易损件处理,其设计寿命可短一些。

2. 具有较高的传动效率

曳引机的传动效率是其综合技术指标。传动效率的高低不但标志着输入功率有效利用的程度,而且表明了克服阻力矩的能力,功率耗损的多少。它不仅体现在节约能源上的意义,同时也是曳引机技术含量、设计质量、产品质量的具体体现。为提高传动效率,合理选择主传动机构、轴承和联轴器是十分重要的,并且要提高制造和安装精度。

3. 具有较高的体积载荷

所谓体积载荷是指曳引机的许用载荷(功率或转矩)除以曳引机体积所得的商。体积载荷越大表明曳引机体积越小,结构越紧凑。不难理解,要想实现大的体积载荷,首先要选择高科技型的主传动机构。合理地设计箱体结构,其中要特别重视轴承的选用。根据作者调研结果表明,传递同样功率的曳引机,体积可相差 1/3,重量相差到 2/5。因此设计出结构紧凑、体积小、重量轻的曳引机是设计者的奋斗目标。

4. 应满足电梯所需的运动特性

电梯的工作特性决定了曳引机的运动特征:运动速度中等、间断工作、变速、起动频繁的正反转运行。为了满足运动特性,在设计曳引机时要特别注意曳引传动系统中传动比的分配,电动机类型的选用,以及主传动机构齿轮副齿侧间隙的保证等。

5. 应具有较低的振动和噪声

这项技术指标对乘人电梯特别重要。为了不造成严重的环境污染,使乘客感到乘坐舒适,要求曳引机有较低的振动(特别是扭振)和噪声,这也是本书将要重点讨论的问题。