

电梯工程技术系列

DIANTI SHEJI YU YANJIU

电梯设计与研究

陈炳炎 马幸福 贺意 周献 著

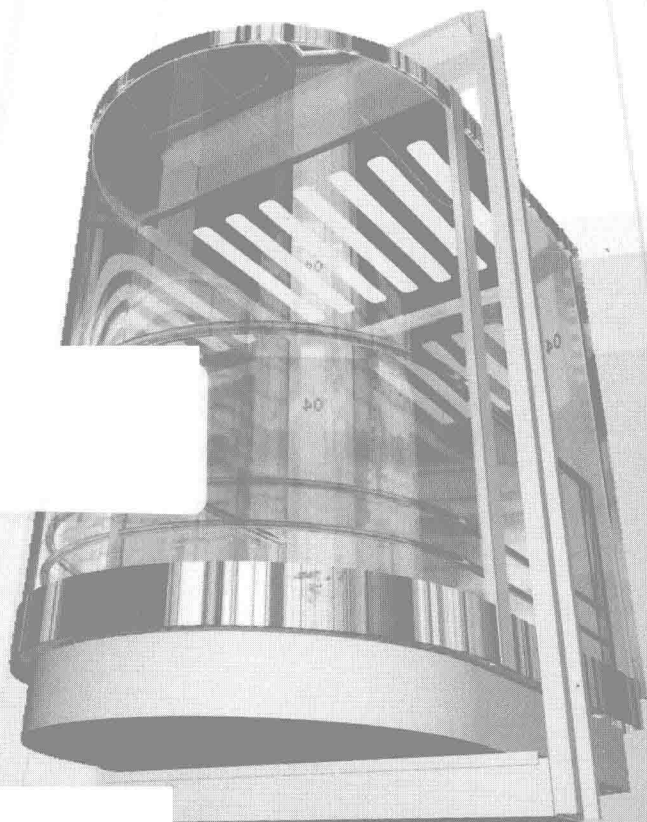


化学工业出版社

电梯工程技术系列

DIANTI SHEJI YU YANJIU
电梯设计与研究

陈炳炎 马幸福 贺意 周献 著



化学工业出版社

·北京·

《电梯设计与研究》从产品设计的角度,根据电梯产品的特性,结合作者多年的电梯设计和研究经验,从参数化定型,到部件选型、结构设计、电气设计,再到整机动态性能分析,相关技术要点都配有实例计算过程,结构体系遵行电梯产品开发流程,体现产品核心技术的开发思路。

《电梯设计与研究》适合从事电梯设计、制造、安装、维修改造、检验等的工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

电梯设计与研究/陈炳炎等著. —北京: 化学工业出版社, 2015. 11
(电梯工程技术系列)
ISBN 978-7-122-25185-5

I. ①电… II. ①陈… III. ①电梯-设计-研究
IV. ①TU857

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 221425 号

责任编辑: 刘 哲 朱 理
责任校对: 吴 静

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市胜利装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 322 千字 2016 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 138.00 元

版权所有 违者必究



前言

随着经济的迅猛发展以及人们工作条件和生活水平的提高，建筑业日益发展壮大，作为建筑内提供垂直交通运输的电梯，也得到迅速的发展。中国电梯行业发展 30 多年，已经成为世界最大的电梯生产国和使用国。

目前，国外知名品牌主要有美国奥的斯、瑞士迅达、德国蒂森克虏伯、芬兰通力、日本三菱和日本日立六大品牌，这些企业在国际上占有的份额最大，特别是高端市场，并且一直独占高速电梯市场。目前世界上速度最高的电梯为 20.0 米/秒，国产电梯目前成熟技术的最高速度为 7.0m/s。

国外一线品牌电梯企业都具有自己独立的科研机构，产品不断更新，实行生产一代、储存一代、研制一代、淘汰一代；产品的研制经过系统设计（整机设计研究）—图纸设计—样机制造—试验塔试验—参数调整—再试验，直至作为定型产品推出市场，从而保证了整机性能的稳定性与可靠性。

中国电梯行业的发展经历了起步、仿制、跟随和自主创造多个阶段。目前大多数中小企业仍处于仿制、跟随阶段，既未进行整机技术系统设计研究，又未进行动态分析，没有自己产品的核心技术。

2015 年，中国电梯行业将发生巨大变化，行业管理进一步加强，行业秩序更加严谨和规范；大型企业市场份额继续扩大。高速电梯技术快速发展，8~10m/s 速度的电梯将不断地通过检测，中国的高速电梯将进入实质性应用阶段，4~6m/s 速度的国产电梯也将开始更多地安装使用。

如何形成自己产品的核心技术、保证产品的稳定与可靠、优化企业管理水平和提高工程管理能力，是我国电梯行业发展面临的最大难点。有效地解决上述问题，我国电梯行业才能赶超国际行业水平。

要解决上述问题、赶超国际行业水平，关键是人。随着社会对电梯技术人才不断的迫切需求，许多大专院校陆续开设了电梯有关课程，甚至专门设置了电梯专业，但是都没有涉及到电梯设计的核心技术。究其原因，一方面是由于缺乏专业的教师进行系统教学；另一方面是由于电梯教材存在严重的滞后性，没有配套的成熟的电梯教材，正式出版的电梯设计方面

的书籍也很少。

本书立足于电梯设计型技术人才的培养目标，主动适应社会发展的需要，突出应用性、针对性和实用性，从产品设计的角度，根据电梯产品的特性，结合作者多年的电梯设计和研究经验，首先从参数系列化、产品定型设计入手，对产品整机运行机理、部件选型、结构设计、电气原理及设计，最后对整机的动态性能，进行全面的分析，全面准确地介绍电梯产品的核心技术，创新电梯设计理念。

本书由陈炳炎教授策划与组织，共分六章，其中机械部分四章，电气部分两章。第一章、第二章、第三章和第六章的机械部分由陈炳炎撰写，第三章第四节和第六章第四节由马幸福撰写，例题由马幸福计算，并由马幸福全面校核。第四章和第五章由贺意和周献撰写并相互校核。

本书在编写过程中，得到湖南电气职业技术学院各部门和电梯行业人士的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意！本书积累了作者多年的设计和研究工作经验，理论上、学术上可能有偏颇的地方，欢迎专家和行业同仁共同探讨与指正。

著者

2015年6月



目 录

第一章 电梯整机技术分析与产品定型设计

第一节	设计原则与设计过程	1
第二节	偏载分析	11
第三节	平衡条件分析	24
第四节	曳引条件分析	29
第五节	电梯的配置与功能	42

第二章 部件选型设计

第一节	曳引机的选型设计	52
第二节	安全钳的选型设计	60
第三节	限速器装置的选型设计	63
第四节	缓冲器的选型设计	67
第五节	钢丝绳的选型设计	70

第三章 结构分析与计算

第一节	导向系统	77
第二节	轿厢轿架的结构及受力分析	90
第三节	机房承重梁受力分析	106
第四节	结构计算软件介绍	111

第四章 电梯拖动系统

第一节	电梯拖动系统的特点和设计要求	118
第二节	电梯运动动力学分析	119
第三节	普通交流电梯电力拖动系统的设计	122

第四节	电梯变频变压调速系统的设计	126
-----	---------------	-----

第五章 电梯控制技术

第一节	电梯控制系统的特点及要求	138
第二节	交流单速电梯继电器控制系统设计	139
第三节	交流双速电梯 PLC 控制系统的设计	146
第四节	微机控制系统设计	159

第六章 电梯动态特性分析

第一节	机械振动基础知识	179
第二节	电梯动态特性分析的建模	190
第三节	电梯动态特性的求解	199
第四节	动态特性程序软件简介	207

参考文献



第一章 电梯整机技术分析与产品定型设计

第一节 设计原则与设计过程

一、电梯产品设计三化原则

1. 标准化

要设计技术性能先进、可靠性高及性价比合理的产品，必须首先制定先进的产品标准。该标准的设计指标可等同或高于国家标准，但不能低于国家标准。产品标准是产品设计、试生产、试运行、检测、修改、可靠性考核和产品定型的准则。标准化的内容涉及到产品规格参数、质量性能指标、制造工艺安全要求等方面内容。只有在制定了先进的、合理的标准前提下，才能设计出技术先进、性能稳定和性价比高的产品。目前我国电梯方面的设计制造标准主要有 GB 7588—2003《电梯制造与安装安全规范》、GB/T 10058—2009《电梯技术条件》、GB 16899—2011《自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范》等。

2. 系列化

电梯的种类和规格很多，在技术性能指标和原材料成本双优设计目标的原则下，对电梯种类、规格和参数进行精确的分析，确定同种类电梯以一定的参数区段作为一种规格的定型产品，形成系列化产品，这样既能减少多规格产品的设计量，又能更加方便、高效率地进行生产组织和管理。

电梯种类有垂直升降类电梯、自动扶梯和自动人行道、液压电梯和无障碍电梯等。垂直升降类电梯又细分有乘客电梯、载货电梯、医用电梯、观光电梯。每一类电梯都可以衍生出几百种规格的产品，加上不同梯种的组合，可能多达上千种规格。一套品种齐全规格完整的电梯产品图纸，如果每一规格都按常规设计程序设计，工作量巨大，几乎不可能完成。通过分析，同梯种的电梯结构相同，主参数相邻规格的产品部件规格或者说零件尺寸都相同或相似。采用集合原理，找出其内在关联，结合低成本设计原则，将几百种规格归纳为几个集合，这样只需要设计几个种类的电梯，就完成了众多规格产品的设计，形成了产品的系列化。下面就不同梯种系列化进行分析。

(1) 乘客电梯

乘客电梯的3个主参数分别为额定载重量 Q 、额定速度 V 和提升 H ，对3个主参数进行分析。例如额定载重量320~450kg，多用作别墅电梯或家用电梯，提升高度不会太高，自然速度也不会太高，且标准规定别墅电梯或家用电梯的额定速度不得超过0.4m/s。630~1150kg的电梯为常用电梯，通常又分为中低速电梯、高速电梯、超高速电梯。大吨位乘客电梯多用于大型高档宾馆，层站数较高，提升高度较大。这样就可以把几百种组合归纳为4~5个规格。

a. 小型家用电梯

额定载重量：320kg，400kg，450kg

额定速度：0.4/1.0m/s

提升高度：20m（7层）

b. 常用客乘电梯

规格参数1： $Q=630\sim 1250\text{kg}$

$V=1.0\sim 1.75\text{m/s}$

$H=3\sim 80\text{m}$ （27层以下）

规格参数2： $Q=630\sim 1250\text{kg}$

$V=1.75\sim 2.5\text{m/s}$

$H=80\sim 115\text{m}$ （40层以下）

c. 中高速电梯

规格参数： $Q=800\sim 1350\text{kg}$

$V=2.0\sim 3.0\text{m/s}$

$H=100\sim 150\text{m}$ （33~50层）

d. 大吨位高速电梯

规格参数： $Q=1000\sim 2000\text{kg}$

$V=3.0\sim 4.0\text{m/s}$

$H=150\text{m}$ （50层以上）

e. 超高速电梯

规格参数： $Q=1000\sim 2000\text{kg}$

$V=6.0\text{m/s}$

$H=150\text{m}$ 及以上

上述5种规格中，b、c两种规格的电梯为常用，市场额度最大；a类家用电梯随着社会的发展呈现出市场扩大的趋势；d、e类规格产品代表一个企业的技术水平，市场需求量近年也有所增加，因而各厂家都在积极开发。

(2) 载货电梯

载货电梯主要用于载货，大多提升高度不高，常规速度以0.5m/s、0.63m/s为主，近年来随着物流业的发展，也有高提升高度、速度1.0~2.0m/s中速载货电梯的市场需求，大多数厂家采用非标设计或新产品开发的方式设计。因此，载货电梯多以主参数载重量作为

设计主参数和产品规格。

载货电梯的载重量 $Q=500、1000、2000、3000、5000、8000$ (kg) 等, 500kg 及以下为杂物电梯, 最大吨位的载货电梯可做到 12000kg。常用载货电梯规格以主参数额定载重量为设计依据, 即 5 种规格 1000~5000kg 的载货电梯。

(3) 自动扶梯与自动人行道

自动扶梯主要有 3 个主参数:

提升高度 $H=3\sim 20\text{m}$;

梯级宽度 $B=600\text{mm}, 800\text{mm}, 1000\text{mm}$;

倾斜角度 $\alpha=35^\circ, 30^\circ, 12^\circ, 0^\circ$ 。

自动扶梯主要用于大型商场、车站、机场、体育馆和展览馆等场所, 主参数中倾斜角度 $\alpha=30^\circ、35^\circ$ 为自动扶梯; $\alpha=0^\circ、12^\circ$ 为自动人行道, 梯级宽度常用为 1000mm, 600mm、800mm 大多在安装位置不够的情况下才采用。对自动扶梯结构及设计影响最大的参数是提升高度 H , 市场常用扶梯以 $H=4.5\text{m}$ 为标准计价规格, 随着大型高铁车站和先进机场增多, 高提升高度的扶梯用量增多, 因此自动扶梯系列产品设计采用主参数提升高度为设计依据。

标准和产品认证将自动扶梯生产厂家资质按如下三挡进行划分: $H=6.0\text{m}$; $H=6.0\sim 12\text{m}$; $H=12\text{m}$ 以上。

以主参数 H 的分级系列化是合理的, 现大多数生产 $H=6.0\text{m}$ 及以下的扶梯桁架为整装配出厂, $H\geq 8.0\text{m}$ 以上就分级制造并在桁架中间增加中间支撑, 运输上也方便。

3. 通用化

产品系列化以后, 同规格中不同参数的产品运行机理和结构是相同的, 甚至不同规格相邻系列之间的产品运行机理和结构也相同, 某些零部件不但结构相同, 尺寸也很接近。综合分析低成本和高效生产组织之间的关联, 对该零部件进行通用化设计, 使之满足同规格不同参数或相邻系列不同规格的产品要求, 对批量生产中高效生产组织意义重大。

▲ 以电梯轿厢设计为例: 图 1-1 及表 1-1 为某厂轿厢围板系列化通用化设计和生产使用

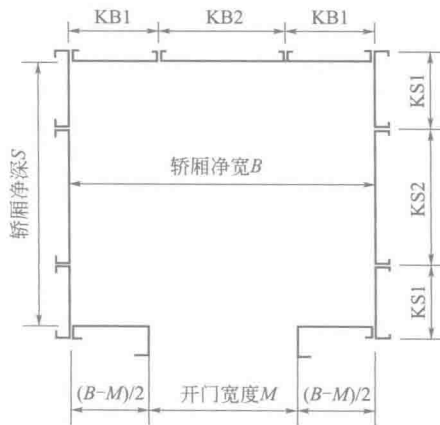


图 1-1 电梯轿厢围板布置图

的图纸。

上述设计可满足额定载重量 320~1600kg 的乘客电梯、轿厢宽度 1000~2000mm、深度 1000~1800mm 之间的任何轿厢内空尺寸组合。对常用乘客电梯和中高速电梯的系列规格，采用下列围壁组合：

表 1-1 围板系列化图表

mm

轿厢内宽 B	KB1	KB2	轿厢内深 S	S1	KS1	KS2	$(B-M)/2$
1000	300	400	1000	1110	300	460	450
1050	300	450	1050	1160	300	510	425
1100	300	500	1080	1190	300	540	400
1150	300	550	1100	1210	300	560	375
1200	300	600	1150	1260	300	610	350
1250	300	650	1200	1310	300	660	325
1300	300	700	1250	1360	300	710	300
1350	300	750	1300	1410	300	760	275
1400	400	600	1350	1460	400	610	250
1450	400	650	1400	1510	400	660	225
1500	400	700	1450	1560	400	710	200
1550	400	750	1480	1590	400	740	
1600	400	800	1500	1610	400	760	
1650	400	850	1550	1660	400	810	
1700	400	900	1580	1690	400	840	
1750	400	950	1600	1710	400	860	
1800	400	1000	1650	1760	400	910	
1850	450	950	1680	1790	400	940	
1900	450	1000	1700	1810	400	960	
1950	500	950	1750	1860	450	910	
2000	500	1000	1800	1910	450	960	

630kg	轿厢尺寸：1400mm×1100mm； 侧壁围板：KS1=400mm，KS2=660mm，KS1=400mm； 后壁围板：KB1=300mm，KB2=500mm，KB2=300mm。
800kg	轿厢尺寸：1400mm×1350mm； 侧壁围板：KS1=400mm，KS2=610mm，KS1=400mm； 后壁围板：KB1=400mm，KB2=600mm，KB2=400mm。
1000kg (1050kg)	轿厢尺寸：1600mm×1480mm/1500mm； 侧壁围板：KS1=400mm，KS2=740mm/760mm，KS1=400mm； 后壁围板：KB1=400mm，KB2=800mm，KB2=400mm。
1150kg	轿厢尺寸：1700mm×1500mm； 侧壁围板：KS1=400mm，KS2=760mm，KS1=400mm； 后壁围板：KB1=400mm，KB2=900mm，KB2=400mm。

由上述常用规格的围壁尺寸组合分析，侧壁板中 KS1=400mm、后壁板中 KB1=400mm 的围板，每种系列的产品都采用，用量最大。这样就可以根据每月生产量的统计，合理增加该零件的库存量，平衡订单的波动，提高生产组织效率。同时该厂在设计过程中根据板材原料的尺寸，多余部分用于制作门框门套，遵循了低成本设计原则。

二、整机技术设计原则

要设计出高性能低成本的产品，应遵循整机技术原则。对某规格参数的产品设计，整机技术设计原则主要有三个方面，即产品的运行机理、结构分析和低成本分析。以垂直升降类电梯中的乘客电梯为例分别论述。

1. 产品的运行机理

电梯的运行机理包括：

- a. 结构布置与偏载分析；
- b. 功能与配置优化；
- c. 平衡条件分析；
- d. 曳引条件分析；
- e. 效率及功率分析；
- f. 动态分析。

即使规格确定的系列化电梯产品，在其确定的参数范围内，运行工况、试验工况以及可能出现的其他工况也是千变万化的。运行机理的分析就是产品在任何工况特别是极限工况下，保持优秀的产品品质和稳定的运行状态。要做到这一点，就必须在产品正式设计前对上述六点进行机理分析。

2. 结构分析

在合理的产品结构计算标准基础上，对结构进行等强度、等刚度计算，以及寿命和可靠

性分析，同时结合低成本设计。

3. 低成本分析

低成本是设计优化目标值之一，低成本设计贯穿整个产品设计、试制、试验、修改和产品定型整个研制过程。低成本设计以降低设计开发任务书规定的产品技术性能和先进性为原则，低成本设计必须考虑产品批量大小和生产组织效率之间的关系。

三、产品定型设计与研制过程

产品定型设计贯穿整个产品设计、试制、试验、修改和定型过程，如图 1-2 所示。

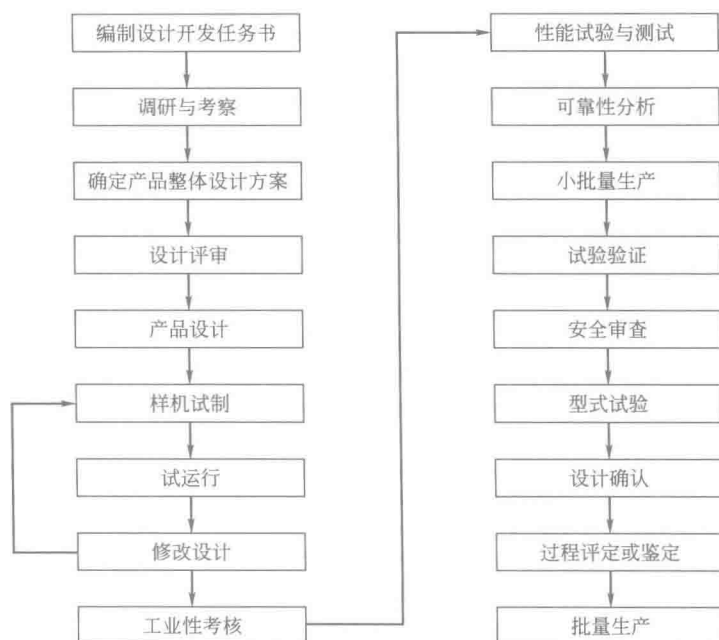


图 1-2 产品定型设计流程

1. 设计开发任务书的编写

一项产品设计开发工作首先是“设计开发任务书”的编写，涉及项目的由来、完成任务的条件、主要设计技术指标、参照的标准和法律法规、产品质量目标、人员组织与分工、工作进度等内容。下面是某厂在原有产品图纸的基础上进行产品标准化、系列化和通用化全面修订时的设计开发任务书。

▲ 某厂的技术开发任务书

* * * * *

曳引式客梯
技术开发任务书
(HWZ/K-1000-CO105)

文件编号：HWZ/K-004-03-JR

受控状态：受控 非受控

* * * * 电梯有限公司								
文件名称	技术开发任务书			文件编号	HWZ/K-004-03-JR			
版次	A/O	生效日期		页码	第 1 页共 3 页			
<p>开发目的</p> <p>HWZ/K 是最常用的电梯,市场需求量很大,* * * * 电梯有限公司在电梯制造方面有数年的经验,特别是在招聘大批有长期电梯设计、生产、管理工作经验的技术管理人员,购买大量先进加工设备后,使公司电梯产品技术水平和产品质量有较大的提高,理应对产品结构进行调整,推出更高档次的产品,对企业发展和国内电梯行业水平的提高贡献力量。</p> <p>主要技术指标</p> <p>1. 主要技术参数</p> <p>① 额定载重量:1000kg</p> <p>② 额定速度:1.75m/s</p> <p>③ 轿厢尺寸(宽×深×高):1600mm×1480mm×2435mm</p> <p>④ 开门方式:中分</p> <p>⑤ 开门尺寸(宽×高):900mm×2100mm</p> <p>⑥ 提升高度≤80m(约 27 层)</p> <p>⑦ 顶层高度:4600mm</p> <p>⑧ 底坑深度:1700mm</p> <p>⑨ 井道平面尺寸(宽×深):2100mm×2200mm</p> <p>2. 主要性能指标</p> <p>① 起制动加减速速度≤1.5m/s²(最大值)。</p> <p>② 当电源为额定电压和额定频率,电梯轿厢在 50%额定载重量时,向下运行至行程中段时的速度,不大于额定速度 105%,且不小于 92%。</p> <p>③ 垂直方向振动加速度不大于 25cm/s²,水平方向振动加速度不大于 15cm/s²。</p> <p>④ 最大平均加速度 $a_p=0.5\text{m/s}^2$。</p> <p>⑤ 机房噪声值≤80dB,运行中轿厢噪声值≤55dB,开关门过程噪声值≤65dB。</p> <p>⑥ 平层准确度≤±15mm。</p> <p>⑦ 平衡系数:0.4~0.5。</p> <p>一、参照标准、法律、法规</p> <p>1. GB/T 7024—2008 电梯、自动扶梯、自动人行道术语</p> <p>2. GB/T 7025.1~3—2008 电梯主参数及轿厢、井道、机房的型式与尺寸</p> <p>3. GB 7588—2003 电梯制造与安装安全规范</p> <p>4. GB 8903—2005 电梯用钢丝绳</p> <p>5. GB/T 10058—2009 电梯技术条件</p>								
更改记录	更改代号	通知单号	更改日期	更改人	签名栏	编制	审核	批准

续表

*** 电梯有限公司								
文件名称	技术开发任务书			文件编号	HWZ/K-004-03-JR			
版次	A/O	生效日期		页码	第 2 页共 3 页			
<p>6. GB/T 10059—2009 电梯试验方法</p> <p>7. GB/T 10060—2011 电梯安装验收规范</p> <p>8. GB/T 22562—2008 电梯 T 型导轨</p> <p>9. JG/T 5072.3—1996 电梯对重用空心导轨</p> <p>10. YB/T 5198—2004 电梯钢丝绳用钢丝</p> <p>11. 中华人民共和国产品质量法</p> <p>12. 中华人民共和国计量法</p> <p>13. 中华人民共和国标准化法</p> <p>二、使用寿命</p> <p>该产品预计使用寿命 15 年以上。</p> <p>三、安全性能要求</p> <p>1. 供电系统缺相、错相保护装置。</p> <p>2. 超载保护装置。</p> <p>3. 限速器、安全钳系统。</p> <p>4. 限速器绳断裂或松弛保护开关。</p> <p>5. 底缓冲器装置及电气复位开关。</p> <p>6. 限位开关。</p> <p>7. 极限开关。</p> <p>8. 层门、轿门电气联锁装置。</p> <p>9. 检修运行装置。</p> <p>10. 防夹人(物)门装置。</p> <p>11. 紧急停止装置。</p> <p>12. 层门自闭装置。</p> <p>四、产品质量目标</p> <p>整机可靠性为起制动运行 60000 次中失效(故障)次数不超过 5 次,每次失效修复时间不超过 1h。</p> <p>五、人员组成</p> <p>本次设计开发及部门有技术部、质管部、生产部、工程部。</p> <p>技术部:负责按照设计开发程序对本次开发进行有关技术设计工作,并组织调试工作。</p> <p>质管部:根据国标、企标对本次开发进行产品检验。</p> <p>生产部:根据有关技术文件安排生产、加工。</p>								
更改记录	更改代号	通知单号	更改日期	更改人	签名栏	编制	审核	批准

* * * * 电梯有限公司								
文件名称	技术开发任务书			文件编号	HWZ/K-004-03-JR			
版次	A/O	生效日期		页码	第 3 页共 3 页			
<p>工程部:根据有关技术文件安排安装,并协助调试、检验工作。</p> <p>六、评审、验证及确认工作安排</p> <p>1. 评审人员组成</p> <p>技术负责人</p> <p>技术部:部长、副部长、主要设计人员;</p> <p>质管部:部长、质检员;</p> <p>生产部:部长、车间主任;</p> <p>工程部:部长、安装队长。</p> <p>2. 评审由技术负责人主持召开,对照设计输入、输出是否一致,由技术部汇总成《评审设计报告》。</p> <p>3. 验证工作由生产部安排试制,工程部组织安装,技术部全程进行跟踪指导。</p> <p>4. 确认工作由技术部出具《设计确认报告》后交总经理确认。</p> <p>七、设计开发的进度</p> <p>1. 本次设计开发工作从 2014 年 9 月 1 日启动。</p> <p>2. 设计文件于 2015 年 1 月 1 日前完成。</p> <p>3. 设计评审工作于 2015 年 1 月 15 日前完成。</p> <p>4. 生产于 2015 年 2 月 25 日前完成。</p> <p>5. 工程安装于 2015 年 4 月 30 日完成。</p> <p>6. 厂检及政府部门检验于 2015 年 5 月 5 日前完成。</p> <p>7. 验证确认于 2015 年 5 月 10 日前完成。</p>								
更改记录	更改代号	通知单号	更改日期	更改人	签名栏	编制	审核	批准