

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: X2009223025

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

曳引驱动电梯能耗检测方法与能效等级评价分析

**Analysis of traction elevator energy consumption and
energy saving**

王建生

指导教师姓名: 刘瞰东 教授

专业名称: 控制工程

论文提交日期: 2017年4月

论文答辩时间: 2017年 月

学位授予日期: 2017年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

本人声明该学位论文不存在剽窃、抄袭等学术不端行为,并愿意承担因学术不端行为所带来的一切后果和法律责任。

声明人 (签名):

指导教师(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于年月日解密，解密后适用上述授权。

() 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

伴随着城镇建设，高楼大厦不断涌现，电梯数量急剧增加，电梯能耗越来越受到公众的关注。目前，电梯能效测试方法与评定标准的研究还处于探索阶段。能耗的影响因素分析不深入，电梯能耗的算法不精准，能效测量及评价的方法和标准不统一。至今还未出台有关电梯能耗的检测方法和能效评定的国家标准。我国也出台了相关规定和政策，鼓励电梯节能技术的研究、开发、推广。因此建立一套合理、科学的电梯能耗检测方法和能效评定标准成为目前函待解决的问题之一。

本文结合曳引式电梯工作原理，研究了曳引形式、驱动方式、平衡系数、速度、加速度、行程、载荷等参数对曳引电梯能耗的影响及程度，对比分析了国内外曳引式电梯采用的各种能效评价指标、能耗评价工况条件包括仿真法、典型法、工况法以及能耗算法的优缺点后，综合考虑了测试的准确性、可操作性，提出了适合于现场测试的能效测试方法，即详细能效测试及简单能效测试方法。

本文构建了电梯能耗测试系统方案，规定了能耗测试现场条件及测试仪器配置要求。随机抽取了一定数量的电梯样本，按照本文规定的测试方法进行了电梯能耗测试，通过对测试结果的统计分析，提出了适用于厦门市曳引式电梯现状的待机能耗、运行能效需求及总体能效等级评定标准。

本文统计了厦门市电梯基本情况，包括载重量、拖动方式以及控制方式等，结合节能技术发展现状，指出了降低电梯能耗水平的措施，给出了电梯节能优化参考表，以期提高电梯节能水平。

关键词：曳引式电梯； 能耗； 能效

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

With the construction of urban high-rise buildings, high-rise buildings continue to emerge, the number of elevators increases dramatically, development and promotion. At present, the research of elevator energy efficiency testing method and evaluation standard is still in the exploratory stage. The analysis of the influencing factors of energy consumption is not in-depth, the algorithm of elevator energy consumption is not accurate, the methods and standards of energy efficiency measurement and evaluation are not uniform. So far, there is no national standard for the measurement of elevator energy consumption and energy efficiency assessment. and the elevator energy consumption is more and more concerned by the public. China has also introduced the relevant provisions and policies to encourage the elevator energy-saving technology research, Therefore, it is one of the problems to be solved to establish a reasonable and scientific method of elevator energy consumption and energy efficiency evaluation.

Based on the principle of traction elevator, the influence of parameters on the traction elevator energy consumption and the degree of traction, driving style, balance coefficient, speed, acceleration, distance, load, comparative analysis of the conditions of various energy efficiency evaluation index, evaluation of energy consumption condition at home and abroad including the use of traction elevator simulation method, the typical method and condition method, advantages and disadvantages of energy algorithm, considering the veracity and maneuverability, proposed energy efficiency testing method is suitable for the field test, the detailed energy efficiency test and simple energy efficiency test method.

In this paper, the scheme of elevator energy consumption testing system is established, and the field test conditions and test equipment configuration requirements are specified. A random sample of a certain number of lift, in accordance with the provisions of the testing methods of elevator energy consumption test, through statistical analysis of test results, puts forward the status quo for elevator in Xiamen City, operating efficiency of standby power consumption demand and the overall energy efficiency evaluation standard.

This paper statistics the basic situation of elevator in Xiamen City, including the load, drag, and control methods, combined with the status quo of the development of energy saving technology, and points out that the lower level of energy consumption of elevator the elevator energy-saving measures, optimization of reference table, in order to improve the level of energy-saving elevator.

Keywords: traction elevator; energy consumption; energy efficiency

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题研究的背景	1
1.1.1 电梯节能技术发展现状.....	2
1.1.2 国内外电梯能耗检测技术方法发展状况.....	4
1.2 课题分析意义	6
1.3 分析内容和论文结构安排	7
第二章 曳引式电梯能耗特性分析	8
2.1 曳引式电梯概述	8
2.2 能耗和能效定义	9
2.3 能耗影响因素	9
2.3.1 电梯本体性能.....	10
2.3.2 电梯使用工况.....	15
2.4 本章小结	18
第三章 曳引式电梯能耗和能效评价方法分析	19
3.1 电梯能耗组成理论	19
3.2 曳引式电梯能效评价指标	20
3.3 曳引式电梯能耗评价的工况条件	22
3.4 能耗测量的计算方法	26
3.5 国内能耗计算方法	28
3.6 能效评价分级	31
3.7 本章小结	32
第四章 曳引式电梯测试系统构建与能耗检测方法	33
4.1 能耗测试系统构建	33
4.1.1 能耗测试的现场条件.....	34
4.1.2 能耗测试仪器.....	34
4.2 详细能耗测试	35
4.3 简单能耗测试	37
4.4 能耗测试评定指标	37
4.5 电梯能耗值的计算	37
4.6 能效等级评定	38
4.6.1 待机功率等级评定.....	40
4.6.2 运行能效需求等级评定.....	41
4.6.3 总体能效等级评定.....	42
4.7 能效等级评定的应用	43
4.8 本章小结	44

第五章 曳引式电梯能耗降低的措施	45
5.1 电梯节能前景分析	45
5.2 降低能耗措施	45
5.3 新技术节能	48
5.4 本章小结	50
第六章 结论与展望	51
6.1 结论.....	51
6.2 工作展望	51
参考文献	53
攻读硕士期间发表的论文	55
致谢.....	56

Contents

Chapter I Introduction.....	1
1.1 Background.....	1
1.1.1 Development status of elevator energy saving technology.....	2
1.1.2 Development status of domestic and international elevator energy consumption detection technology.....	4
1.2 Motivation.....	6
1.3 Contribution and Structure.....	7
Chapter II Analysis of energy consumption characteristics of traction elevator.....	8
2.1 Traction Elevator Requirements.....	8
2.2 Definition of energy consumption and energy efficiency.....	9
2.3 Influencing factors of energy consumption.....	9
2.3.1 Elevator body performance.....	10
2.3.2 Elevator operating condition.....	15
2.4 Conclusion of the Chapter.....	18
Chapter III Analysis on energy consumption and energy efficiency evaluation method of traction elevator.....	19
3.1 Elevator energy consumption theory.....	19
3.2 Energy efficiency evaluation index of traction elevator.....	20
3.3 Working condition of energy consumption evaluation of traction elevator.....	22
3.4 Calculation method of energy consumption measurement.....	26
3.5 Domestic energy consumption calculation method.....	28
3.6 Energy efficiency evaluation.....	31
3.7 Conclusion of the Chapter.....	32
Chapter IV Construction of traction elevator test system and energy consumption detection method.....	33
4.1 Energy consumption test system.....	33
4.1.1 Field conditions for energy consumption testing.....	34
4.1.2 Energy consumption test instrument.....	34
4.2 Detailed energy consumption test.....	35
4.3 Simple energy consumption test.....	37
4.4 Energy consumption evaluation index.....	37
4.5 Calculation of energy consumption of elevator.....	37
4.6 Energy efficiency rating.....	38
4.6.1 Standby power rating.....	40
4.6.2 Operational energy demand rating.....	41
4.6.3 Overall energy efficiency rating.....	42
4.7 Application of energy efficiency rating.....	43
4.8 Conclusion of the Chapter.....	44
Chapter V Measures for reducing energy consumption of traction elevator.....	45

5.1 Elevator energy saving prospect analysis.....	45
5.2 Measures to reduce energy consumption	45
5.3 New energy-saving technology	48
5.4 Conclusion of the Chapter	50
Chapter VI Conclusion and Prospect.....	51
6.1 Summary	51
6.2 Future Work.....	51
References	53
Research Achievements During Master Study Period	55
Acknowledgements	56

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 课题研究的背景

电梯作为城市建筑的重要组成部分，是一种不可或缺的垂直运输工具。随着国民经济的快速发展，高楼大厦、商场等不断涌现，电梯数量急剧增加。据统计，我国各省、市、自治区 2015 年在用电梯较 2014 年新增 66.11 万台，达到 425.96 万台，在用电梯增长率为 18.37%，如下图 1-1 所示。

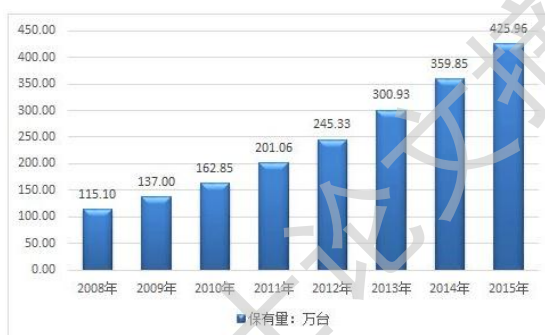


图 1-1 2008-2015 年中国电梯数量对比

当前我国电梯数量仍保持 20%左右年增长速度，随着电梯数量的迅猛增长，电能的消耗也快速增加。根据中国特检协会《电梯能效评价指标与检测方法研究》课题组的现场监测和分析研究，我国在用电梯的平均能耗水平约为每台每天 40 度^[1]。照此推算，根据 2015 年全国在用电梯约 425.96 万台，电梯能耗为 621.9 亿千瓦时，按照 2015 年全国全社会用电量 55500 亿千瓦时^[2]，全年电梯耗电量约为全国全社会用电量的 1.1%。可见，曳引式电梯作为高耗能的特种设备，直接影响到全社会的能耗水平。随着电梯数量的迅猛增长，电能的消耗也快速增加，电梯耗电量不容忽视。

如何降低能耗已经被社会和政府机构所关注，我国相继出台了专门针对电梯的节能降耗相关政策及法规。

2009 年 5 月 1 日起执行的《特种设备安全监察条例》对电梯的节能降耗工作着重强调特种设备节能技术创新和应用，应当保证必要的安全和节能的投入^[3]。国家质检总局于 2009 年 9 月颁布的 116 号令，明确指出发现电梯能耗量严重超标的，应当及时告知使用单位，并报告所在地特种设备安全监督管理部门

^[4]。2014年1月1日开始执行的《中华人民共和国特种设备安全法》规定了电梯应以节能环保为原则^[5]。

从以上管理办法、条例、法等相关内容可以看出，我国对电梯高耗能状况高度关注，要求企业对电梯进行节能技术的投入，并要求检验检测机构对电梯的能耗状况进行监督管理。

在国家提倡节能创效，促进转型升级的方针指导下，降低能耗量、效率高成为未来电梯发展的方向。电梯节能成为研发机构研究动力，电梯能耗水平成为使用单位评价电梯质量指标之一。

1.1.1 电梯节能技术发展现状

电梯节能始终贯穿整个电梯发展史，每一次大的变革，都促进电梯应用更进一步的发展，人们对电梯的性能要求越来越高，从最初简单升降机到现在智能化电梯，随着技术的不断创新、发展，电梯耗能量逐渐减少。我们可以把整个过程分为主机节能、驱动方式节能、控制方式节能、能量反馈装置节能等。

1、主机节能

十九世纪末，电梯开始诞生，主机采用直流电动机，驱动方式为强制式，存在一定的缺陷。比如提升高度受限制，直流电源不方便使用、电梯耗能大等因素，不利于推广。到了二十世纪前期，交流感应电动机的发明，推动社会的进步，出现了现在普遍使用的曳引式驱动电梯，由于它存在很多优点，比如提升高度不受限制、节能等优点，为以后电梯的迅猛发展奠定了基础。到二十世纪末，永磁同步曳引机的发明，电梯的发展又进入一个全新的时期。这种主机不仅不用定期加入润滑油、不需要定期保养、能量损耗少，可靠性高等优点得到了广泛的应用。主机作为电梯的主要耗能部件，从它的历史发展进程，经历了从涡轮蜗杆异步电动机到行星齿轮异步电动机和斜星齿轮异步电动机再到无齿轮电动机发展三个阶段，从有齿轮主机发展到无齿轮主机，机械效率提高15%~25%^[6]。

2、拖动方式节能

电梯的拖动方式发展也经历了从直流调速方式到交流调速方式的过程。20世纪上半叶，直流调速系统由于性能优良，得到了应用。到1967年，由于晶闸

管的应用，出现了交流调压调速拖动方式。直到 1983 年，变频器的使用，变压变频控制的电梯由于它具有节能、舒适感好等优点得到了迅速广泛应用。拖动方式双速交流电动机、三速交流电动机、交流调压调速，到目前应用最为广泛的变频变压（VVVF）调速技术，技术不断更新，拖动方式越来越节能。将交流双速拖动(AC-2)系统改造成变频调压调速(VVVF)拖动系统，电能损耗可减少 20% 以上^[6]。

3、控制方式节能

电梯在操纵控制方式方面的发展也同样经历了不同阶段，由容易到复杂的一个过程。从简单的按钮控制、信号控制、集选控制、上、下集选控制等，不断发展到并联控制、群控控制、智能控制、微机控制等过程^[6]，由于控制方式的不断改进，在不同的场合，采用不同的控制方式，提高了电梯的运行效率，电梯使用率降低了，同时延长了电梯的使用寿命，达到节能效果。

4、能量反馈装置节能

随着超级电容的技术的不断进步，曳引式电梯内设置电容储能，能量储存应用也逐步普及起来，比如已经投入使用的中国博览会会展综合体，安装了 200 多部超级电容电梯，让电梯发电的能量不通过大电阻消耗掉，储存起来转化成电能，用来充抵日常耗电，或者以备不时之需。

另外一种采用能量反馈装置方式，它的原理是电梯发电的能量通过能量反馈装置，反馈供给电梯所需的用电或提供给其它设备使用。

电梯在发电过程中，把能量利用起来，是各国电梯工程技术人员不断实践的绿色建筑，通过不断尝试，节能效果越来越好，但是高次谐波污染电网、电磁干扰等技术难题未能彻底解决，用户往往付出节能成本，却无法长期受益，因此如何更好的把发电能量利用起来，是目前电梯节能发展的一个热门研究课题。

总之，随着电梯技术的不断创新、改进，未来的新技术围绕着高效节能、绿色环保、高速、安全等方向发展。例如由于技术的不断发展，变频控制的普遍使用。永磁同步曳引机与异步电动机的相比，性价比高，更加节能。所以永磁同步曳引机在市面上的使用也越来越普及，每次的技术创新、改进，推动着电梯节能技术的发展。

1.1.2 国内外电梯能耗检测技术发展状况

影响电梯运行的能耗的因素众多，除与电梯本身的配置有关外，还与它的使用时间长短、提升高度、使用频率、载重量等因素有关。如何准确分析及测量电梯能耗量以及如何合理、准确地对电梯能效进行评价成为目前电梯节能监管的重要课题之一。

电梯能耗检测技术的研究，同样是国内外许多科研机构 and 电梯制造单位都在努力研究的一个课题。这些单位研究的内容主要为预估的能耗值、实际能耗量值、能效的等级评定等几个方面。

2005 年，美国能源效率经济委员会（ACEEE）的专家起草了一篇《提高电梯能耗效率的途径》的文章，写入了 ACEEE 的白皮书^[7]，为美国电梯工业的节能研究提供指导性意见，为以后的能耗检测技术的研究提供参考。

2008 年，国际标准委员会发布标准 ISO/DIS25745-1 《Energy performance of lifts and escalators – Part 1:Energy measurement and conformance》^[8]，该标准提及了电梯能耗测量的一种方法，给出了一种简单的能耗预测公式。

2009 年 3 月份，德国工程师协会于发布的标准 VDI 4707 Part 1 《Lifts Energy Efficiency》^[9]，该标准是以评估和检测电梯能耗的方法为基础，给出了一种容易接受和理解的电梯能效评价方法。这使得建筑师、使用单位、电梯制造单位提供一个能效的评价范围。它还提出了在电梯运行的使用频率、平均运行时间、平均待机时间、典型的建筑类型和使用情况来估算电梯的能耗值以及能量需求等级的评定，并明确了测量的计算方法以及确定能效的评价等级。

在国内，目前我国国家标准还未正式出台关于电梯能耗检测方法和能效评价的标准和规范，只有在 GB/T 10058—2009 《电梯技术条件》^[10]对电梯能耗给出了一个电梯能耗的简单模型，用来评估曳引式电梯运行时的能耗量，统计的结果用于整个建筑物的能耗评估参考项目之一，这个模型不适合较复杂的情况或有专用模型的情况。

国内对电梯能耗的研究主要是参照了国外 ISO/DIS25745-1 《Energy performance of lifts and escalators – Part 1:Energy measurement and conformance》的标准以及德国的 VDI 4707 Part 1 《Lifts Energy Efficiency》等相关标准。

浙江省质量技术监督局于 2010 年 01 月 25 日发布的 DB33/T 771—2009

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库