

# 调速电气传动系统安规标准的现状和展望

柴青<sup>1</sup>, 连孝藩<sup>2</sup>, 王烁<sup>3</sup>, 邱见青<sup>4</sup>

- (1. 天津电气科学研究院有限公司, 天津 300180; 2. 施耐德电气(中国)有限公司上海分公司, 上海 201203; 3. 丹佛斯中国研发设计中心, 北京 100027; 4. 深圳科士达科技股份有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 首先依据国家标准 GB/T 12668.501—2013, 从产品的设计、安装、运行、维护、测试各环节, 对电气、热和能量安全方面的要求进行了说明、分析, 并对实际应用给予指导性意见; 其次, 对于 UL 508C—2016, UL 61800—5—1—2017, IEC 61800—5—1:2007 和 GB/T 12668.501—2013 这 4 项安规标准的产生、发展、终结的原因和过程以及它们之间的相互关系逐一进行了阐述和对比, 并对于今后的发展趋势进行了预测和判断; 最后, 对于我国电气传动系统安规标准的制修订过程和后续的相关认证及如何保证行业的健康发展给予建议。

**关键词:** 电气传动系统; 成套传动模块; 电气; 标准; 安全; 认证; 行业

**中图分类号:** TM08 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqed20323

## Current Situation and Future Development of Safety Standard for Adjustable Speed Electric Power Drive System

CHAI Qing<sup>1</sup>, LIAN Xiaofan<sup>2</sup>, WANG Shuo<sup>3</sup>, QIU Jianqing<sup>4</sup>

- (1. Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300180, China; 2. Shanghai Branch, Schneider Electric (China) Co., Ltd., Shanghai 201203, China; 3. R&D Design Center, Danfoss China, Beijing 100027, China; 4. Shenzhen Kstar Science & Technology Co., Ltd., Shenzhen 518057, Guangdong, China)

**Abstract:** Firstly, according to national standards GB/T 12668.501—2013, explains and analysis for the design, installation, operation, maintenance and test of the product on the aspect of electrical, thermal and energy safety were carried out and the guidance was given to the practical application; secondly, the in-depth elaboration and contrast on the reason and process of the birth, development, and the end of UL 508C—2016, UL 61800—5—1—2017, IEC 61800—5—1:2007, GB/T 12668.501—2013 and the relations between them were made, and then the future development was predicted and judged; finally, the suggestions were provided for the development of our national power drive system (PDS) safety standards, related certification and how to guarantee the healthy development of the industry.

**Key words:** power drive system (PDS); complete drive module (CDM); electrical; standard; safety; certification; industry

电动机广泛应用于工商业等各个领域, 常用来拖动风机、泵、纱机等设备。相应地, 控制电动机的成套传动模块也得到了普遍应用, 其不但能根据工艺的需求实时调节电动机的速度、提高产品质量和生产效率, 比如造纸和纺织, 而且还可以根据电动机负载的特性实现节能, 比如风机和泵。随着我国产品的核心竞争力日益增强, 包含成套传动模块和电动机在内的调速电气传动系

统的安全越来越受到重视, 人们也就越来越重视与之相关的标准。

目前, 安规方面标准有 UL 508 工业控制设备的标准, 比如 UL508C—2016<sup>[1]</sup> 电力转换设备标准; UL 61800—5—1—2017 调速电气传动系统第 5-1 部分的安全要求: 安全要求——电气、热和能量<sup>[2]</sup>; IEC 61800—5—1:2007 调速电气传动系统的安全要求<sup>[3]</sup>; IEC 62477—1:2012 电力电子变换

器系统和设备的安全要求第1部分:通则<sup>[4]</sup>和GB/T 12668.501—2013 调速电气传动系统第5-1部分:安全要求—电击、热和能量<sup>[5]</sup>等。

安规标准是安规认证的法理依据,而安规认证是为确保用户使用产品的安全,依据安规标准进行的认证,是市场准入的最基本要求。世界上主要国家都有自己的认证要求,产品必须符合这些要求才可以进入该市场内销售。

随着我国产品的核心竞争力日益增强,人们的消费观念更加理性,用户不仅仅追求实现某些功能,不再一味地追求强大的功能和低廉的价格,而是更多地关注如何实现系统的功能、基本需求,选择相应的产品,使得生产商研发的产品更加细分,同时,用户更加重视产品的安全问题。如何获得功能完备又有安规认证的产品,已经成了消费者逐渐看重的要素。

随着国内生产制造商的技术水平和产品质量的不断提高,开拓海外市场已经成为了必然的发展趋势。无论是单品销售还是和上游系统集成商一起进入到欧盟和美国等市场,安规认证都是最基本的需求。因此一份适合国内企业使用的、和国际最新标准对接的国家标准也自然成为了大家的需求。

## 1 GB/T 12668.501—2013标准简述

GB/T 12668.501—2013是调速电气传动系统的安规标准,它由中国电器工业协会提出,由全国电力电子系统和设备标准化技术委员会(SAC/TC60)归口,由其调速电气传动系统分技术委员会(SAC/TC60/SC1)执行。这是我国第一部在调速电气传动领域与安全相关的、对接国际标准的国家标准。它的出现,对于统一和协调国内的调速电气传动系统在生产制造和应用方面的安规要求有重大的指导意义。

GB/T 12668.501—2013适用的调速电气传动系统包含功率转换、电机控制和电动机。此标准中,直流调速传动系统电压范围规定为:≤1 kV, 50 Hz或60 Hz;交流调速传动系统电压范围为:≤35 kV, 50 Hz或60 Hz。它既不适用于被传动设备,也不适用于牵引传动系统和电动汽车传动系统。

对于调速电气传动系统及其子部件,GB/T 12668.501—2013规定了有关电气、热和能量安全方面的要求。关于设计,它规定了对调速传动

系统设计和结构的最低要求,以保证产品或者系统在安装过程中、正常工作条件下以及维护过程中的安全;关于测试,按照设计的要求进行试验,要求制造商和试验机构在充分考虑到公差和测量不确定度的情况下,采用规定的最大或最小值;对于制造商,为了保证用户在各个环节的安全,要求提供各种必需的信息。

### 1.1 电击、热和能量危险的防护

GB/T 12668.501—2013中,值得强调的是,产品或者系统具备电击防护、热危险防护和能量危险防护的条件是:对最终用户要进行双重保护,即要保证最恶劣正常工作或者发生了单一故障时用户都应是安全的;对于同时发生的多重故障的防护,不在该标准的范畴内。以下分别简述电击防护和热危险防护等规定的内容。

#### 1.1.1 电击防护

界定电压等级(decisive voltage class, DVC),目的是通过对电压范围进行分类来确定防止触电的保护方式。DVC A电压是指DC电压小于60 V,如果产品中只有1个DVC A电路,则限制为交流峰值电压小于42.4 V,交流RMS电压小于30 V。

初级电路(primary circuit),也称为一次电路,是指直接与AC电网电源连接的电路。例如:与AC电网电源连接的装置、变压器、电动机、其它负载装置初级绕组,以及与电网连接的各种装置。

电击防护的内容在GB/T 12668.501—2013中占据了很大篇幅。首先,介绍了界定电压等级的范围,定义了不同的界定电压等级相互之间应该做怎样的防护:功能绝缘、基本绝缘还是保护隔离。其次介绍了直接接触的防护和非直接接触的防护。再次,详细介绍了如何计算电气间隙和爬电距离、如何设计固体绝缘及其影响因素。另外,介绍了不同材料的外壳的设计要求,比如金属外壳的板材厚度要求,塑料外壳的可燃性要求和撞击要求等。最后,介绍了布线与连接、输出短路要求和电容器剩余电量的要求等。

电气间隙和爬电距离是设计中常用的指标,判断绝缘距离的基本框图,如图1所示。

依据标准中相应的表格,可以查出或计算出电气间隙和爬电距离(如果查出的数值爬电距离小于电气间隙,请以电气间隙为准)。

2个导体之间的绝缘类型,可以通过表1来查询。表1中涉及的安全特低电压(safety extra low voltage, SELV)、保护特低电压(protective extra

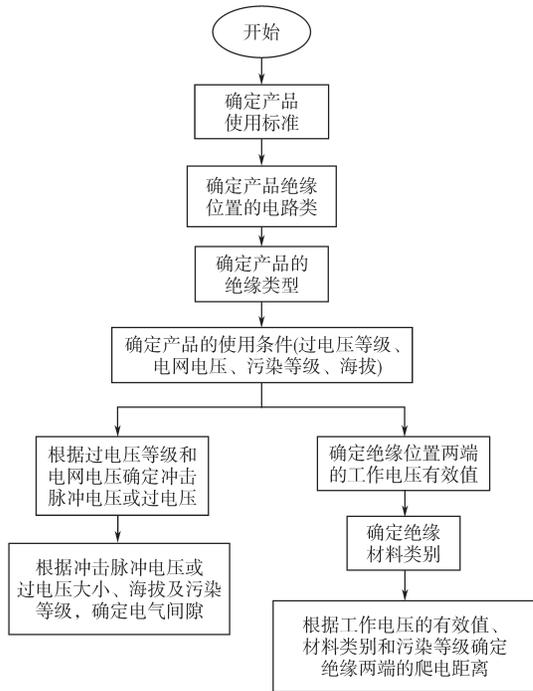


图1 判断绝缘距离的基本框图

Fig.1 The basic block diagram to determine insulation distance

low voltage, PELV)、特低电压(extra low voltage, ELV),均指DVC A(DC 60 V或以下,峰值42.4 V或以下)工况下。表1中相对极性导体的定义:两导体短路时导致能量泄放,则属于相对极性导体。

表1 绝缘类型的选择

Tab.1 The choice of insulation type

绝缘类型	绝缘位置 (在下列部分之间)		备注
功能绝缘 I	SELV	SELV	有电气隔离
	PELV	PELV	有电气隔离
	ELV	ELV	有电气隔离
功能绝缘 II	导体	相对极性导体	例如: L <sub>1</sub> -L <sub>2</sub> , 正母线-负母线, U-V-W
	初级电路	接地导体	
基本绝缘	初级电路	ELV	
	初级电路	另一初级电路	有电气隔离
	SELV	PELV	
	SELV	接地导体	
加强绝缘	初级电路	SELV	
	初级电路	PELV	
附加绝缘	初级电路	可触摸非接地部件	金属或塑胶
	ELV	SELV	
	ELV	PELV	

表1中绝缘类型的选择,也是贯彻了双重保护的思想,基本绝缘/附加绝缘/保护接地都是对

最终用户一重有效的保护,加强绝缘则认为是双重保护。

保护接地是防触电设计的另外一种保护方法,满足标准要求保护接地认为是一重有效保护,通常保护接地+基本绝缘是常见的双重保护组合。

图2为保护联结示例图,其中,1为CDM/BDM保护接地导体(按照CDM/BDM要求确定尺寸);2为保护联结;3为PDS保护接地导体(按照PDS要求确定尺寸)至装备接地点;4为接地棒;EE为其他电气设备(对该设备适当时连接)。如图2所示,保护接地包括保护接地导体、保护连接导体、接地棒等。在绝缘被破坏的情况下,接地故障电流远大于供电回路中的过流保护器件(空开、保险丝)的电流,导致过流保护器件动作,从而保护最终用户的安全。标准中对保护接地的导体截面积、接地电阻、接地线电流以及故障发生时的电压都有明确要求。

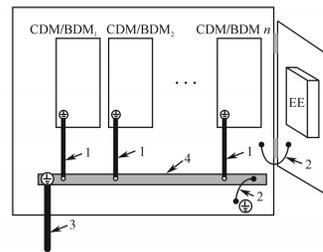


图2 保护联结示例

Fig.2 Example of protective bonding

标准附录B给出了如何降低过电压等级的示例,以减少绝缘间距;在产品确定绝缘距离时,可以选择适当防护方式,如使用浪涌保护器的方式来降低过电压等级,从而减少绝缘距离等等,具体示例见标准附录B。

标准附录C给出了电气间隙和爬电距离如何测量的示例;针对不同的污染等级,开槽的宽度是不同的,具体见标准附录C中C.1~C.14的举例。

标准附录D提供了电气间隙在不同海拔高度下的校准系数,这主要是因为作为绝缘材料,空气在不同的海拔高度的分布不同:50%空气分布在5 500 m以下,23%空气分布在5 500~10 000 m,15%空气分布在10 000~15 000 m。

标准附录E给出了工作频率>30 kHz时,绝缘间距的确定方法,在产品中有频率较高的部分时应特别注意。

### 1.1.2 热危险防护

标准中规定了常用材料的可接受温度,为着火危险最小化,应当选择合适的器件、设计适当的结构。对于外壳材料的可燃性,有比较详细的描述。

标准对于使用液体冷却的产品,也有相应的规定,比如冷却剂的温度、冷却系统的耐腐蚀性等。

### 1.2 试验要求

从试验的角度,GB/T 12668.501—2013 标准对电气传动系统提出了明确的要求。根据试验项目的不同,分成型式试验(一般指研发过程中的试验)、出厂试验(批量生产过程中的试验)和抽样试验(批量生产过程中的试验)3 大类。对试验需要满足的指标或者接受判据也进行了明确的规定。根据理论指导设计,通过试验验证,很好地确保了最终产品的安全性。试验安规要求也是安规认证过程中最主要的组成部分。

### 1.3 信息和标志的要求

标准定义了产品如何选型、安装与调试、运行与维护等所必需的信息,要求产品制造商应该用什么样的方式向对客户传达必需的信息,比如,信息应当使用适当的语言,所有文件应当具有识别标志,产品外壳上贴哪些标识等。这样保证客户能够正确选择产品、按要求使用设备,将发生损害安全的可能性降到最低。

## 2 调速电气传动系统相关安规标准之间的关系

### 2.1 GB/T 12668.501—2013 和 IEC 61800—5—1:2007

GB/T 12668.501—2013 是我国调速电气传动系统的安规标准,它是使用等同翻译法将 IEC 61800—5—1:2007 第 2.0 版等同转化而来,仅从表述上做了少量编辑性修改,技术上的要求完全等同于 IEC 61800—5—1:2007 第 2.0 版。由于该标准并没有考虑美国/加拿大标准与 IEC 标准的差异,所以对于想要进入美国/加拿大市场的产品,该标准还有一定的局限性。未来如何兼顾 IEC、美国和加拿大这几大标准体系,还需要更深入的研究和探讨。

### 2.2 IEC 61800—5—1:2007 与 IEC 62477—1:2012 的关系

IEC 62477—1:2012 是电力电子变换器系统和设备的安规标准,额定系统电压不超过交流

1 000 V 或者直流 1 500 V,它是调速电气传动系统、不间断电源和稳压电源等产品的安规方面的基础标准。

图 3 为 IEC/TC22 的基本架构图。为了理清 IEC 62477—1:2012 与 IEC 61800—5—1:2007 二者之间的关系,理解 IEC/TC22 的基本架构是必要的。IEC/TC22 是 IEC 第 22 技术委员会,负责电力电子产品方面的标准制定与维护等;按电力电子技术应用于不同的产品,TC22 共分为 4 个委员会分会,其中,IEC/TC22/SC22G(对应 SAC/TC60/SC1)负责调速电气传动系统的标准。IEC 62477—1:2012 是 TC22 为广义的电力电子产品类(不包含牵引和电动汽车)制定的通用标准,而 IEC 61800—5—1:2007 是为其中的一类电力电子产品,即调速电气传动系统制定的标准。图 3 给出了 IEC 62477—1:2012 与 IEC 61800—5—1:2007 两个标准在 IEC/TC22 中的位置,从中可以了解二者之间的关系。

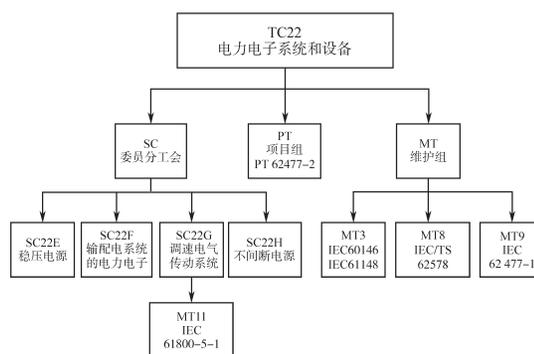


图3 IEC/TC22的基本架构图

Fig.3 The basic architecture diagram of IEC/TC22

现行的 IEC 61800—5—1 是第 2.1 版本,包括 IEC 61800:2007 和 AMD1:2016,与 IEC 62477—1:2012 的关联性不强;而未来的 IEC 61800—5—1 是第 3.0 版本,正在修订中,从内容和结构上最大限度地与 IEC 62477—1:2012 保持统一,考虑了美国和加拿大标准与 IEC 标准(2.1 版本)的差异,并且最大程度上兼顾了 IEC、美国和加拿大这几大标准体系,IEC 61800—5—1 第 3.0 版,预计于 2021 年发布。

IEC 标准的这种基础标准和其产品标准的统一,也是 IEC 标准委员会经过多年的工作总结,逐渐认识到该工作的重要性,并逐渐实施完成的。它解决了标准框架结构不统一,不易阅读以及术语不一致,容易造成混淆的问题。这给国内标准的发展提供了宝贵的经验和可参考的发展方向。

### 2.3 IEC 61800—5—1:2007和UL 61800—5—1—2017的关系

UL 61800—5—1—2017是统一IEC 61800—5—1:2007和UL 508C—2016 2个标准而创建的新标准,它以IEC 61800—5—1:2007标准为基础,吸收了IEC标准的要求,考虑了美国NFPA70(美国国家电气规范)的安装要求。这项标准主要由NEMASC7(美国国家电气制造商协会第7分委员会)来完成,花费10 a左右的时间,但是没有达到预期的成功,两项标准并未实现完全的统一,也就是说,符合IEC 61800—5—1:2007并不意味着符合UL 61800—5—1—2017。

2个标准之所以未能实现完全统一,主要难度在于:

1)IEC安装指令、IEC标准和NFPA70之间存

在不可调和的冲突。IEC和NFPA作为不同的标准体系在建立之初是各自发展的。基于不同的国家法律法规,不同的安全要求以及不同的安全实践,顺其自然的,2套标准也就产生了不同的条款规定;

2)IEC和UL标准对元器件的参考和评估要求不一样。IEC和UL有各自的对应不同元器件的标准,其内容是存在差异的。譬如关于保险丝的要求,IEC参考的是IEC 60296—1,而UL参考的是UL 248—1.两者目前并没有完成协调统一;

3)IEC和US的实际安装应用存在很大的差异。

### 2.4 UL 61800—5—1—2017和UL 508C—2016的关系

UL 61800—5—1的前身是UL 508C,但是两个标准不完全等同,存在差异,如表2所示。

表2 UL 61800—5—1—2017与UL508C:2016的差异  
Tab.2 The difference between UL 61800—5—1—2017and UL508C—2016

参考标准		UL 61800—5—1	UL 508C
		不再参考UL 840	参考UL 840
电气间隙和爬电距离	保护性隔离的电气间隙	采用对应于较其高一档的冲击脉冲电压的值或者1.6倍于暂态过电压的值或者两倍于工作电压的值,确定电气间隙。例如,系统电压AC 600 V,过电压等级Ⅲ,确定电气间隙的脉冲冲击电压值比对应的值高一档,为8 kV,污染等级3下的电气间隙为8 mm	采用对应的冲击脉冲电压值,确定电气间隙。例如,系统电压AC 600 V,过电压等级Ⅲ,确定电气间隙的脉冲冲击电压为6 kV,污染等级3下的电气间隙为5.5 mm
	保护性隔离的爬电距离	根据表格计算的爬电距离,应当加倍	直接使用表格计算的爬电距离,距离不加倍
	印刷电路板内层	同一层的不同导线之间的绝缘,看作污染等级1时的电气间隙和爬电距或者固体绝缘	同一层的不同导线之间的绝缘,没有要求
浪涌抑制设备	保护性隔离	使用浪涌抑制设备,不可以降低过电压等级	UL 840允许使用浪涌抑制设备来降低过电压等级,且不需要监视其状态
	基本绝缘	可以使用浪涌抑制设备降低过电压等级,需要监视其状态	
短路测试	短路点	要求所有的功率输出必须做短路测试	仅要求接电机的输出做短路测试
	脱脂棉指示	需要脱脂棉作为指示物	在使用断路器时,可以不使用脱脂棉
器件击穿试验	短路电流	要求使用制造商宣称的或者经过分析有更严酷结果的短路电流值做试验,且二次电路的电压在短路期间,不能超过一定的水平	没有详细的要求

在UL 508C—2016废除之前,对调速电气传动系统参考的UL标准有如下要求:

1)2016年2月1日前,调速电气传动系统的设备可参照二者之一的任何一个标准;

2)2016年2月1日至2020年2月1日,调速电气传动系统的新产品(包括做一些修改的老产品)需要参考UL 61800—5—1—2017;

3)2020年2月1日后,UL 508C—2016废除,UL 61800—5—1—2017是调速电气传动系统的唯一参考标准。

## 3 结论及展望

目前,我国的调速电气传动系统标准处于起步阶段,未来如何让它更符合我国的国情、更好地指导相关行业的发展、和同世界接轨甚至在世界范围内产生重要影响力,通过以上内容的阐述和分析,本文有以下几点想法及展望:

1)体现中国的国情。由于安规标准是将来可能推出的产品认证的法规依据,关系重大,在等同转化的同时,应广泛地研究国内的实际情

况,使未来版本的安规标准更能体现我国的国情,必要时可以修改转化IEC标准。如果SAC/TC60/SC1与IEC/TC22/SC22G同步工作,即IEC在修订相关标准时,SAC/TC60/SC1多提出符合我国国情的建议,让IEC方面考虑并采纳SAC/TC60/SC1的建议,这无疑对国标的标准化工作具有深远的影响。这一点在UL 61800—5—1的标准中也能得到很好的印证。虽然美国的UL和IEC委员会进行了大量的讨论和协商,在UL 61800—5—1这部标准中我们仍能看到许多标识出来的美国的UL和IEC的标准的差异内容。

2)与IEC/UL同步维护安规标准。由于我国的标准工作起步较晚,等同转化而来的国家标准一般滞后于IEC标准,这会造成标准要求上的时间差问题,影响我国的国家标准的权威性,不利于指导行业发展,SAC/TC60/SC1应与IEC/TC22/SC22G同步工作,与IEC的维护工作保持节奏一致,在IEC标准维护的同时,维护我国的国家标准。

3)发展相关认证,保持行业健康发展。纵观欧美等发达国家的标准发展历程,产品的安全认证已经成为社会经济生活的重要一环。产品的安全认证作为人身安全的保证,被保险行业普遍参考,这为保障企业的利益、抵御风险起到了重要的作用。我国的电气传动行业可参照欧洲的

CE认证,发展我国的相关认证,虽然是自声明,但是可以适当提高市场准入门槛,带动相关产品安全性能普遍提高,有利于行业的有序、健康发展,提升我国的国际影响力。

#### 参考文献

- [1] Underwriters Laboratories Inc. UL 508C—2016. Power Conversion Equipment[S]. US: Underwriters Laboratories Inc., 2016.
- [2] Underwriters Laboratories Inc. UL 61800—5—1—2017. Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems—Part 5-1: Safety Requirements—Electrical, Thermal and Energy[S]. US: Underwriters Laboratories Inc., 2017.
- [3] International Electrotechnical Commission. IEC61800—5—1: 2007. Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems—Part 5-1: Safety Requirements—Electrical, Thermal and Energy[S]. CH: International Electrotechnical Commission, 2007.
- [4] International Electrotechnical Commission. IEC 62477—1: 2012. Safety Requirements for Power Electronic Converter Systems and Equipment—Part 1: General[S]. CH: International Electrotechnical Commission, 2012.
- [5] 国家标准化管理委员会第60技术委员会第1分技术委员会. GB/T 12668.501—2013. 调速电气传动系统 第5-1部分:安全要求—电气、热和能量[S]. 北京:中国标准出版社, 2013.

收稿日期:2019-05-27

修改稿日期:2020-05-07

(上接第9页)

- net Generator with Different Sleeve Materials[J]. IEEE Trans. Ind. Electron, 214, 61(6):3056-3063.
- [21] 张凤阁,杜光辉,王天煜,等. 高速永磁电机转子不同保护措施的强度分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(S1):195-202.
  - [22] 张凤阁,杜光辉,王天煜,等. 1.12 MW 高速永磁电机多物理场综合设计[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12):171-180.
  - [23] 王继强,王凤翔,鲍文博,等. 高速永磁电机转子设计与强度

分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15):140-145.

- [24] 程文杰,耿海鹏,冯圣,等. 高速永磁同步电机转子强度分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(27):87-94.
- [25] 杜光辉,黄娜,张凤阁,等. 大功率高速永磁电机柔性转子系统模态分析[J]. 电工技术学报, 2017, 32(22):101-107.

收稿日期:2019-05-11

修改稿日期:2019-06-13