

电动汽车用驱动电机系统评价体系的研究

黄宜山¹, 张文军¹, 张昌凡², 李伟聪¹, 谢佳¹, 申健¹, 吕露¹

(1. 湖南南车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 针对电动汽车用驱动电机系统的综合评价问题, 提出了一种评价方法。首先, 从驱动电机系统的性能测试指标、本体设计指标和企业资质能力指标等三个方面建立了评价指标体系框架; 然后, 对评价指标权重和评价指标数据进行了处理, 并给出了评价体系综合评价数值的计算方法; 最后, 对不同类型的驱动电机系统进行了综合评价分析。结果表明, 所建立的驱动电机系统评价体系具有良好的应用性和可操作性。

关键词: 驱动电机系统; 评价体系; 判断矩阵; 层次分析法; 关联度

中图分类号: TM32; U469.72

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2013)02-0047-06

Study on Evaluation Model of Drive Motor System for Electric Vehicle

HUANG Yi-shan¹, ZHANG Wen-jun¹, ZHANG Chang-fan², LI Wei-cong¹, XIE Jia¹, SHEN Jian¹, LV Lu¹

(1. Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China;

2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan 412008, China)

Abstract: An evaluation method is proposed for comprehensive evaluation problems of drive motor system in electric vehicle. First of all, the evaluation index system frame is established based on drive motor system performance test index, ontology design index and enterprise qualification ability index. Next, the evaluation index weight and evaluation index data are processed and the evaluation of the comprehensive evaluation value is introduced. Finally, comprehensive evaluation analysis of motor drive system in different types is made. The results show that the establishment of drive motor system evaluation system has good applicability and operability.

Key words: drive motor system; evaluation system; judgment matrix; analytic hierarchy process; correlative degree

0 引言

随着国家《节能与新能源汽车产业规划(2012年-2020年)》颁布实施, 及现代城市发展对环保、节能要求的日益严格, 新能源汽车的销售增长率超越传统汽车已经成为一种趋势。驱动电机系统(包含电机和控制器)作为电动汽车动力总成系统的重要组成部分, 也是电动汽车的核心部件, 已受到越来越多新能源汽车厂家的关注。整车制造厂家不但关心驱动电机系统的各

项性能是否符合国家标准或强制性规范^[1-2], 同时更关注驱动电机系统产品的质量保障、供货能力及售后服务等相关水平。因此, 全面客观地评价车用驱动电机系统的综合性能成为亟待解决的问题之一。

车用驱动电机系统综合指标, 在某种程度上决定了电动汽车性能, 长期以来, 大多仅仅根据驱动电机的台架试验测试结果来进行评价^[3]。文献[4]从电机本体设计、电机控制性能、整车运行工况三个方面对驱动电机的性能进行了评价, 但未考虑驱动电机系统产品质量保障、供货能力及售后服务等指标。如何保证评价结果的完善性和准确性, 建立一个较为合理的驱动电机系统综合评价体系, 是本文研究的重点。

根据各种类型驱动电机系统综合性能和企业资质

收稿日期: 2013-01-20

作者简介: 黄宜山(1985-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事电动汽车检测技术及故障诊断的研究工作。

基金项目: 中央企业电动车产业联盟项目(JS-308); 国家自然科学基金(61273157和61104024); 湖南省自然科学基金(13JJ8020); 湖南省教育厅科研项目(12A040)

能力的考核,本文从驱动电机系统的性能测试指标、本体设计指标和企业资质能力指标三个不同的角度建立一个驱动电机系统评价体系,以便较为全面、客观地反映同一厂家不同类型、不同厂家同一类型或不同厂家不同类型驱动电机系统的优劣程度。

1 评价体系的建立

近年来,对驱动电机系统的评价大多数只涉及其固有特性的指标,很少与驱动电机系统制造企业自身的资质能力发生联系。本评价体系不仅考虑驱动电机系统的综合性能,也考虑驱动电机系统制造企业的资质能力。因此,基于电动汽车用驱动电机系统的特点,从驱动电机系统性能测试指标、本体设计指标和企业资质能力指标三个不同的角度来建立驱动电机系统的评价体系。

1.1 性能测试指标

为辨别驱动电机系统在性能方面的差异,选择其转矩响应时间、转速响应时间、转矩控制精度、电机高效率(效率>85%)区间、电机温升、控制器温升、可靠性和耐久性等8个指标的实验测试数据作为系统的性能评价指标。

1.2 本体设计指标

为辨别驱动电机系统在设计方面的差异,选择电机堵转转矩、电机功率密度、控制器容量密度、峰值扭矩和峰值功率、超速性能、防护等级和成本等7个指标作为系统的设计评价指标。

1.3 企业资质能力指标

因受制造工艺、设备状况、技术等方面的影响,产品单体之间可能存在差异,因此仅从驱动电机系统本体设计指标和性能测试指标来评价,尚不能全面地反映不同类型驱动电机系统的优劣程度。为了客观、合理地评价某企业批次产品的综合指标,引入企业资质能力考核指标。本文从技术保证能力、质量保障能力、设备能力、人力资源管理、供货能力、价格水平、售后服务能力等7个指标来全面考核企业的资质能力。

在上述评价指标分析的基础上,构建了图1所示的驱动电机系统评价指标体系。驱动电机系统评价体系由一级指标和二级指标组成,一级指标分为性能测试指标、本体设计指标和企业资质能力指标,主要反映驱动电机系统的性能测试、本体设计和制造企业能力三个方面;二级指标则为一级指标的细分,由若干子指标组成。

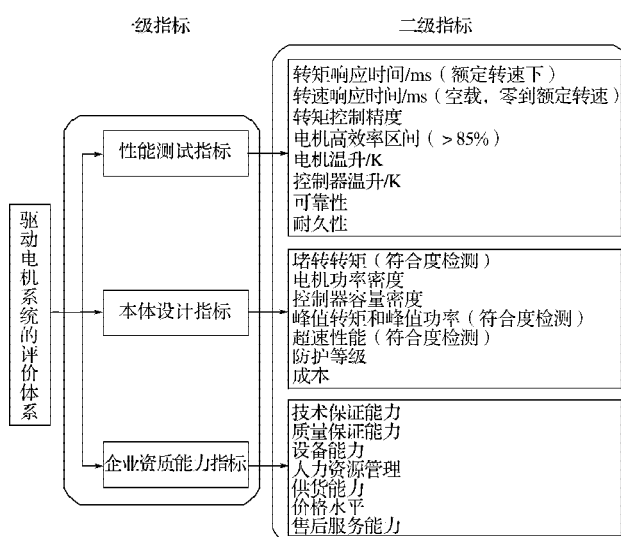


图1 驱动电机系统评价指标体系

Fig.1 Evaluation system of drive motor system

2 层次分析法确定各指标权重

图1评价体系中各指标权重的确定,在很大程度上决定了综合评价方案的可信度。本文将运用层次分析法^[5]求取驱动电机系统22个评价指标的权值,尽可能使驱动电机系统评价体系具有客观性。

2.1 构造判断矩阵

在用层次分析法求取各指标权重的过程中,为使决策判断定量化,引入了Saaty教授^[6]提出的1~9标度方法(表1)。这样,可对一系列成对因素的相对重要性由定性评价转化为定量评价来进行度量,并建立成对比较矩阵(即判断矩阵),形成的判断矩阵 A 须满足层次单排序和总排序的一致性检验要求。

表1 判断矩阵1~9标度及其含义

Tab.1 One to nine scaling and its meaning of judgment matrix

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有相同重要性
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 B_i 与因素 B_j 的重要性之比为 a_{ij} ,那么因素 B_j 与因素 B_i 重要性之比为 $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

2.2 层次单排序和总排序的一致性检验

所谓层次单排序^[6],是指判断矩阵 A 所对应的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 的特征向量 W ,运用归一化得到不同层次相应因素相对重要性排序权值的过程。

利用构造成对比较判断矩阵来求取各指标权重的办法,虽能减少专家知识水平、个人爱好及其他因素的

干扰,较客观地显现出一对因子影响力的区别。但综合考虑结果时,各层次单排序非一致性有可能积累起来,最终会导致总排序分析结果的严重非一致性。因此,构造的判断矩阵要满足以下条件:

(1) 判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 满足

$$a_{ij}a_{jk}=a_{ik}$$

(2) 计算单排序一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(3) 计算单排序一致性比例 CR

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

(4) 计算总排序一致性指标 CR^k

$$CR^k = \frac{\sum_{j=1}^n CI(j)}{\sum_{j=1}^n RI(j)}$$

式中: $CI(j)$ 、 $RI(j)$ 为单排序一致性求的指标数据 ($j=1, 2, \dots, n$)。

当单排序一致性比例 $CR < 0.10$, 且总排序一致性比例 $CR^k < 0.10$ 时, 认为判断矩阵的一致性是正确的、合理的、可接受的。其中, 平均随机一致性指标参数 RI 的具体数值如表 2 所示。

表 2 平均随机一致性指标 RI 参数表

Tab.2 Table of mean random RI consistency index parameter

各指标间判断 矩阵的维数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3 各指标数据的标准化处理

在确定了各指标的权重后, 须对各指标数据进行标准化^[4]处理。完整的评价决策过程可分为三步: 第一步, 建立各指标数据矩阵; 第二步, 数据规范化; 第三步, 灰色关联度分析。

3.1 各指标数据矩阵的确定

在各指标定性分析的基础上, 确定方案集 $X=\{X_1, X_2, X_3 \dots X_m\}$, 方案的列向量属性 $Y_i=\{y_{i1}, y_{i2}, y_{i3} \dots y_{im}\}$, 则 $y_{ij}=f_i(x_j)$ 各方的属性值称为各指标数据矩阵 D , 其表达式为:

$$D = \begin{bmatrix} f_1(x_1) & f_1(x_2) & \dots & f_1(x_n) \\ f_2(x_1) & f_2(x_2) & \dots & f_2(x_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_m(x_1) & f_m(x_2) & \dots & f_m(x_n) \end{bmatrix}$$

3.2 数据规范化

由于各指标数据矩阵 D 中属性的含义不同, 属性值的计算方法也不同, 造成各指标的量纲各异, 为了使各属性有可公度性, 必须对各指标数据矩阵进行规范化处理。为便于对指标数据矩阵中的效益型指标数据和成本型指标数据进行数学处理, 采用两极比例方法将定性语言类属性指标转换为定量指标, 对驱动电机系统各指标进行分类和统一无量纲变化, 进行标准 0-1 变换^[7-8]。

(1) 对效益型指标数据 (指标的属性值越大越好, 如电机的高效率区间) 作如下转化:

$$r_{i0} = \frac{x_{ij} - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

式中: r_{i0} 为效益型指标转化后的数据, $x_i^{\max} = \max\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$, $x_i^{\min} = \min\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$ 。

(2) 对成本型指标数据 (指标的属性值越小越好, 如电机的成本) 作如下转化:

$$r_{i1} = \frac{x_i^{\max} - x_{ij}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

式中: r_{i1} 为成本型指标转化后的数据。

各指标数据矩阵 D 经过数据规范化处理后转化为 D_1 , 即:

$$D_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & \dots & r_{1j} \\ \dots & r_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & \dots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

3.3 关联度分析

以经过多属性准则规范化处理的各指标数据矩阵为依据, 用灰色关联度原理^[4,8-9]对矩阵进行处理, 并描述各指标间的关系强弱、大小和次序。如果样本数据反映出两因素的变化态势不一致, 则表示关联度较小; 反之, 关联度较大。具体步骤如下:

(1) 构造最优样本

$$R_0 = (r_{01} \ r_{02} \ \dots \ r_{0j})$$

其中, $r_{0j} = \max_{1 \leq i \leq m} \{r_{ij}\}$ ($j=1, 2, \dots, n$)。

(2) 计算样本 R_i 与最优样本 R_0 的关联系数 ε_{ij}

$$\Delta_{ij} = |x_{ij} - x_{0j}|$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\min_i \min_j \Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \rho \max_i \max_j \Delta_{ij}} = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{ij} + \rho \Delta(\max)}$$

式中: ρ 为分辨率系数, $\rho \in (0, 1)$, 一般取 0.5。

得到关联系数矩阵 D_2 :

$$D_2=\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \cdots & \varepsilon_{1n} \\ \cdots & \varepsilon_{22} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \varepsilon_{m1} & \cdots & \cdots & \varepsilon_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

关联系数 ε_{ij} 为不超过1的非负数, ε_{ij} 越大, Δ_{ij} 越小,它在一定程度上反映了第*i*个样本 r_i 与参考样本 r_0 在第*j*指标的关联程度。

4 综合评价数值的确定

根据上述得到的各指标权重和关联度系数,用下式可计算出各方案的关联度 Γ :

$$\Gamma=\sum_{i=1}^m w_j \times \varepsilon_{ij} \quad (j=1,2,\cdots,n)$$

式中: $w_j(j=1,2,\cdots,n)$ 是各指标的归一化权重, ε_{ij} 是与之

对应的关联系数。

根据关联度 Γ 的取值,可以确定各个驱动电机系统的优劣,若关联度 Γ 越大,说明 $\{R\}$ 与最优指标 $\{R^*\}$ 越接近,变化的趋势越一致。

5 举例验证

为了验证所搭建的电动汽车用驱动电机系统评价体系的合理性和应用性,根据台架试验与现场考核的各种类型驱动电机系统的数据(表3)进行例证分析。以甲、乙厂家提供的3套驱动电机系统为例,A、B系统为甲厂家生产的永磁同步电机系统,C系统为乙厂家生产的交流异步感应电机系统。结合3套驱动电机系统的台架试验数据和企业资质能力考核结果,运用本文提出的评价体系对选用的驱动电机系统进行综合评价。

表3 3套驱动电机系统的数据
Tab.3 Data of three sets of drive motor systems

项目	指标	具体指标	A(永磁同步)	B(永磁同步)	C(异步感应)
驱动电机系统的综合评价指标	性能测试指标	转矩响应时间(额定转速下)/ms	30	40	35
		转速响应时间(空载,零到额定转速)/ms	40	55	55
		转矩控制精度/%	5	3	4
		电机高效率(效率>85%)区间/%	75	85.5	72.5
		电机温升	高(9)	高(9)	高(9)
		控制器温升	高(9)	高(9)	高(9)
		可靠性	高(9)	中(7)	中(7)
		耐久性	中(7)	高(9)	中(7)
		堵转转矩(符合度检测)/N·m	220	280	300
		电机功率密度	中(7)	高(9)	中(6.5)
	本体设计指标	控制器容量密度	中(7)	高(9)	中(6.5)
		峰值扭矩和峰值功率(符合度检测)	高(9)	中(7)	高(9)
		超速性能(符合度检测)	好(9)	中(7)	中(7.5)
		防护等级	高(9)	高(9)	高(9)
		成本	中(7)	中(7)	中(7.5)
		技术保证能力	20	20	17
	企业资质能力指标	质量保证能力	30	30	30
		设备能力	18	18	15
		人力资源管理	4	4	3
		供货能力	8	8	6
		价格水平	9	9	7
		售后服务能力	4	4	4

注:(1)性能测试指标为系统在试验室台架上测得的试验数据,其中电机温升、控制器温升、可靠性和耐久性指标的试验数据作了定量化处理;
(2)本体设计指标是根据系统的设计参数规格书进行符合度验证然后作定量化数据处理后的数据,其中高(9-8)、中(8-6)和一般(6-1);
(3)企业资质能力指标是先进行企业现场资质考核评审再作定量化处理后的数据,企业资质能力指标的7个子指标满分分别为20、30、20、5、10、10和5,总计100分。

根据本文提出的综合评价体系方案,首先构建判断矩阵并进行各指标权重的确认,然后对效益型指标数据和成本型指标数据进行量化处理,在此基础上建

立标准化矩阵。与图1评价指标体系对应的层次结构图如图2所示。

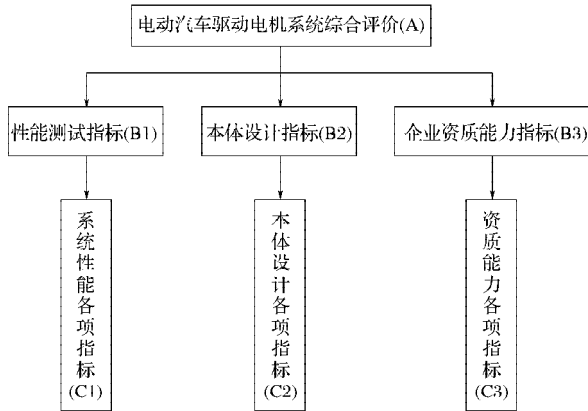


图2 驱动电机系统的评价层次结构图

Fig.2 Evaluation hierarchical structure of drive motor system

建立判断矩阵，并对其进行一致性检验，得到各层次的总排序，计算过程和结果如表4所示。表中各层数据经过单排序和总排序一致性检验，其中总排序一致性比例 $CR=0.0183<0.1$ ，具有整体满意的一致性，驱动电机系统各项指标的权重如表5所示。

表4 驱动电机系统各指标间的判断矩阵

Tab.4 Judgment matrix for each index of drive motor system

$A \sim B$	A	$B1$	$B2$	$B3$	—	—	—	—	—	W_A	$\lambda_{\max}=3$ $CR_A=0$
	$B1$	1	1	5	—	—	—	—	—	0.455	
	$B2$	1	1	5	—	—	—	—	—	0.455	
	$B3$	1/5	1/5	1	—	—	—	—	—	0.090	
$B1 \sim C1$	$B1$	$C11$	$C12$	$C13$	$C14$	$C15$	$C16$	$C17$	$C18$	W_{B1}	$\lambda_{\max}=8.057$ $CR_{B1}=0.0058$
	$C11$	1	1	1	1/2	2	2	1/3	1	0.076	
	$C12$	1	1	1	1/2	2	2	1/3	1	0.0976	
	$C13$	1	1	1	1/2	2	2	1/3	1	0.0976	
	$C14$	2	2	2	1	5	5	1/2	2	0.2008	
	$C15$	1/2	1/2	1/2	1/5	1	1	1/5	1/2	0.0489	
	$C16$	1/2	1/2	1/2	1/5	1	1	1/5	1/2	0.0489	
	$C17$	3	3	3	2	5	5	1	5	0.3162	
	$C18$	1	1	1	1/2	2	2	1/5	1	0.0924	
$B2 \sim C2$	$B2$	$C21$	$C22$	$C23$	$C24$	$C25$	$C26$	$C27$	—	W_{B2}	$\lambda_{\max}=7$ $CR_{B2}=0$
	$C21$	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	—	0.1	
	$C22$	2	1	1	2	1	2	2	—	0.2	
	$C23$	2	1	1	2	1	2	2	—	0.2	
	$C24$	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	—	0.1	
	$C25$	2	1	1	2	1	2	2	—	0.2	
	$C26$	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	—	0.1	
	$C27$	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	—	0.1	
$B3 \sim C3$	$B3$	$C31$	$C32$	$C33$	$C34$	$C35$	$C36$	$C37$	—	W_{B3}	$\lambda_{\max}=7.46$ $CR_{B3}=0.058$
	$C31$	1	1/5	1	7	3	3	7	—	0.1848	
	$C32$	5	1	5	7	3	3	7	—	0.4189	
	$C33$	1	1/5	1	5	3	3	5	—	0.1677	
	$C34$	1/7	1/7	1/5	1	1/3	1/3	1	—	0.0320	
	$C35$	1/3	1/3	1/3	3	1	1	3	—	0.0823	
	$C36$	1/3	1/3	1/3	3	1	1	3	—	0.0823	
	$C37$	1/7	1/7	1/5	1	1/3	1/3	1	—	0.03206	

表5 评价体系各指标的权重表

Tab.5 Weight table of each index of evaluation system

项目	指标	具体指标	各指标的权重数值
性能测试指标	性能测试指标	转矩响应时间(额定转速下)/ms	0.0444
		转速响应时间(空载,零到额定转速)/ms	0.0444
		转矩控制精度	0.0444
		电机高效率区间(>85%)	0.0914
		电机温升/K	0.0222
		控制器温升/K	0.0222
		可靠性	0.1439
		耐久性	0.042
		堵转转矩(符合度检测)	0.0455
		电机功率密度	0.091
本体设计指标	本体设计指标	控制器容量密度	0.091
		峰值转矩和峰值功率(符合度检测)	0.0455
		超速性能(符合度检测)	0.091
		防护等级	0.0455
		成本	0.0455
		技术保证能力	0.0166
		质量保证能力	0.0377
		设备能力	0.0151
		人力资源管理	0.0029
		供货能力	0.0074
企业资质能力指标	企业资质能力指标	价格水平	0.0074
		售后服务能力	0.0029

对表3中的测试数据进行处理转化，得各指标数据矩阵 B 为：

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0.19 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0.75 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0.25 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

最优方案的最优样本 B_0 为：

$$B_0 = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)$$

则绝对差值矩阵 Δ 为：

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0.81 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0.8 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.25 & 0 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0.75 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

取分辨率系数 $\rho=0.5$ ，确定关联系数矩阵 ζ 为：

$$\zeta = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.33 & 0.38 & 1 & 1 & 1 & 0.33 & 0.33 & 0.38 & 0.38 \\ 0.33 & 0.33 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.33 & 1 & 0.67 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.33 & 0.5 & 0.33 & 1 & 1 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0.33 & 0.33 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.33 & 0.33 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0.4 & 1 & 0.33 & 0.33 & 1 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 1 \end{bmatrix}$$

各指标的权重值和关联系数代入公式, 最终计算出3套系统的关联度:

$$\Gamma = \sum_{i=1}^3 w_j \times \varepsilon_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, 22)$$

计算结果为: $\Gamma_1=0.742$, $\Gamma_2=0.738$, $\Gamma_3=0.500$ 。

对比综合评价方案中关联度数值的大小($\Gamma_1 > \Gamma_2 > \Gamma_3$), 得知A驱动电机系统综合指标优于B系统, B系统优于C系统。对于甲厂家A、B两种不同类型的驱动电机系统, 虽然两者的企业资质能力一样, B电机的堵转转矩优于A, 但A系统的测试性能指标等属性明显优于B。对于甲厂家B系统和乙厂家C系统, 虽然乙厂家C系统的堵转转矩和转矩响应时间等属性优于B, 但乙厂家的企业资质能力等属性明显低于甲厂家, 综合考虑得知, B系统的综合指标优于C系统。通过分析可知, 本文建立的评价体系可以应用于电动汽车的各种驱动电机的综合评价, 具有良好的分辨性。

6 结语

本文从驱动电机系统的性能测试指标、本体设计指标及企业资质能力指标三个不同的角度建立了驱动电机系统的评价体系框架。运用层次分析法, 对评价体系各指标的权重进行了表征, 同时, 采用多属性灰色关联度算法, 将各指标数据进行了标准化处理, 最终根据

关联度数值的大小客观准确地对驱动电机系统进行了综合评价。以甲厂家生产的A、B系统和乙厂家生产的C系统为例进行了评价体系的验证, 结果表明, 所建立的电动汽车用驱动电机系统的评价体系具有良好的应用性。

参考文献:

- [1] 中国科学院电工研究所, 北京理工大学, 株洲电力机车研究所. GB/T 18488.1-2006 电动汽车用电机及其控制器 第1部分: 技术条件[S]. 2版. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] 中国科学院电工研究所, 北京理工大学, 株洲电力机车研究所. GB/T 18488.2-2006 电动汽车用电机及其控制器 第2部分: 试验方法[S]. 2版. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [3] 金启前. 混合动力客车评价与试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [4] 王伟, 王庆年, 初亮, 等. 混合动力汽车驱动电机性能评价体系研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 20-25.
- [5] 杨海涛, 马东堂. 层次分析法中判断矩阵的一致性研究[J]. 现代电子技术, 2007(19): 46-48.
- [6] Sarvestani A S, Safavi A A. A novel optimal energy management strategy based on fuzzy logic for a Hybrid Electric Vehicle[C]// 2009 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), 2009: 141-145.
- [7] 卢英. 灰色模糊多属性决策分析方法研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.
- [8] 闫书丽. 多属性决策与集成方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [9] 杨波, 莫灿林, 李仁旺. 基于灰色关联度的供应商评价体系研究[J]. 计算机应用研究, 2005(10): 20-22.

.....

(上接第31页)

网络冗余系统的平均寿命为:

$$\tau = \int_0^{\infty} R dt = \frac{2}{\lambda_c + 2\lambda_3} - \frac{1}{2\lambda_c + 4\lambda_3} = 308071.5 \text{ (h)} \quad (3)$$

由以上分析可知, 冗余系统的平均寿命比单个系统的平均寿命延长了1.5倍。由此可知, 冗余系统可以大大提高系统的可靠性, 而且组成冗余系统所花的费用也比采购西门子S7-400硬件冗余系统低。此系统除了能延长寿命, 满足可靠性之外, 还能及时地发现故障, 以及主备切换, 及时修复和恢复, 从而达到不停机运行的目的。

4 结语

基于石油变频器的冗余网络控制系统具有良好的

可靠性和稳定性, 并且根据石油钻井平台的实际情况, 设计开发出具备防爆技术的控制装置, 系统的各种工作模式能有效地提高钻井平台工作效率, 大大减轻钻机对平台的冲击, 节约能源。目前, 基于石油变频器的冗余网络控制系统已经成功应用到多个钻井现场, 系统运行均良好。

参考文献:

- [1] 廖常初. S7-300/400 PLC应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 宋伯生. PLC编程使用指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [3] 范丽云, 武保红, 黄维金. 硬件冗余在安全控制系统中的应用[J]. 计算机系统应用, 1998(11): 38-40.
- [4] 西门子自动化与驱动集团. 西门子工控设备部件平均无故障时间参考表[M]. 北京: 西门子自动化与驱动集团, 2010.