

基于工序分析方法的转子车间平面布置模拟

吴旭阳

(安徽皖南电机股份有限公司, 安徽 宣城 242500)

摘要: 以企业电机转子车间为试验环境, 生产 YX3-90L-2 转子的整个工艺流程为研究对象, 利用工序分析法对车间内每道工艺流程分析并记录, 从车间平面布置方向进行模拟研究, 提出一种转子车间平面布置方法。新方法节省了 2 道工艺流程, 转子搬运距离从 546.10 m 缩短至 198.38 m, 转子运输时间从 1 053 s 缩短至 736 s, 避免转子交叉运输 5 次。减少了转子的搬运距离和搬运时间, 提高了转子的生产效率和企业的产能。

关键词: 电机生产; 工业工程; 电机转子; 工序分析法; 车间改造; 工艺流程

中图分类号: TM 305; TH 16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2020)12-0098-07

doi: 10.12177/emca.2020.155

Simulation of Rotor Workshop Layout Based on Process Analysis Method

WU Xuyang

(Anhui Wannan Electric Machine Co., Ltd., Xuancheng 242500, China)

Abstract: Taking the motor rotor workshop of an enterprise as the experimental environment and taking the whole process of producing YX3-90L-2 rotor as the object, the process analysis method is used to analyze and record each process flow in the workshop, and simulation research is carried out for the workshop plane layout. A rotor workshop plane layout method is proposed, which saves 2 process flows and shortens the rotor handling distance from 546.10 m to 198.38 m. The transportation time of rotor is shortened from 1 053 s to 736 s, avoiding 5 times of cross transportation. The rotor handling distance and time are reduced, so that the rotor production efficiency as well as the production capacity of the enterprise is improved.

Key words: motor production; industrial engineering; motor rotor; process analysis method; workshop reconstruction; process flow

0 引言

工业工程学中工序分析法是指对基本物料加工使其成为成品这一过程中所有的作业进行分解, 确定每个加工步骤的作业性质、先后顺序、使用的设备、以及所消耗的时间等内容, 用专门的记号将作业内容、顺序等画成图集, 进行评价, 确保产品以最快的速度、最低的成本加工出来。电机转子的生产属于典型的劳动力密集型, 自动化水平较低的生产方式^[1]。利用工序分析法分析转子车间生产转子的作业流程, 分别统计生产 YX3-90L-2 极转子的加工时间、搬运时间、滞留时间和

检查时间, 并记录每道工序相距的距离, 制作转子加工生产工艺流程和作业时间表。

实际测量车间的总面积和各道工序所占的加工面积, 使用 CAD 画出车间平面布置图。在不减少车间加工面积的前提下, 改变各加工工序所占的空间位置, 将各加工工序按照工艺流程呈环形布置, 画出改变后的车间平面布置图, 再依据模拟试验和工序分析法测量转子生产的加工时间、搬运时间、滞留时间和检查时间, 作转子加工生产工艺流程和作业时间表。对比改造前和改造后的转子加工生产工艺流程表, 发现节省 2 道工艺流程, 转子搬运距离从 546.10 m 缩短至 198.38 m, 转子

收稿日期: 2020-07-25; 收到修改稿日期: 2020-09-28

作者简介: 吴旭阳(1997—), 男, 研究方向为电机生产工艺流程。

运输时间从 1 053 s 缩短至 736 s,避免转子交叉运输 5 次。从而提高了转子的生产效率,降低了转子的生产成本,提高了企业的经济效益。

1 转子车间基本现状

转子车间占地 5 800 m²,有多台数控和手控磨床、铣床、车床、动静平衡测试仪及大型铸铝转子压铸机等,因为厂房在设计时依靠经验布置,所以在实践生产过程中易出现问题。车间生产转子的作业流程如图 1 所示。

将转子生产运输分为电机转子,电机转轴和转子铁心运输路线,电机转轴的运输路线用实线标注,转子铁心运输路线用虚线标注,电机转子运输路线用点画线标注。其中,序号为每道工艺流

程的逻辑顺序。转子车间生产运输平面现状图如图 2 所示。图 2 中序号与图 1 序号相同。



图 1 转子生产作业流程图

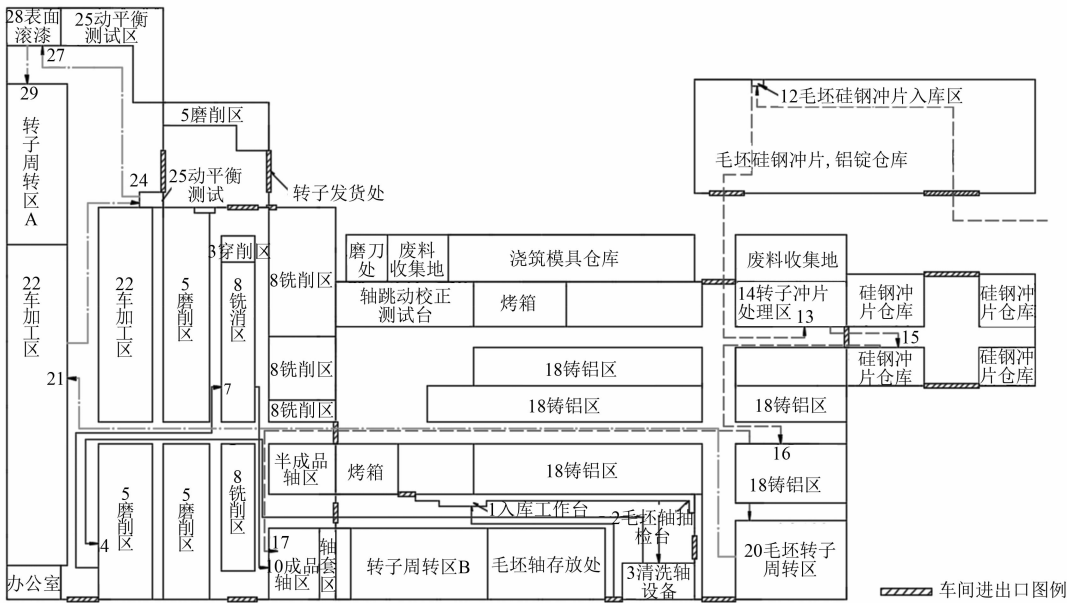


图 2 转子车间改造前平面图

YX3-90L-2 极转子加工生产工艺流程和作业顺序。表 1 中不包括转子加工生产搬运时间和滞留时间。

表 1 转子加工生产工艺流程和作业时间表

工序	作业名称	时间/s	工序	作业名称	时间/s
2	毛坯轴抽检	150	18	铸铝套轴	90
3	清洗毛坯轴	300	19	检查转子铁心长度,斜槽度	25
5	磨削	150	22	车加工	80
6	检查轴伸,轴承挡	10	23	检查转子外圆直径	50
7	铣床	90	25	动平衡测试	90
9	检查键槽	25	26	检查动平衡测试精度	15
11	检查硅钢冲片毛刺,斜槽度	60	28	表面滚漆	5
14	硅钢冲片退火氧化	14 400			

2 运用工序分析法研究转子车间工艺流程

针对目前转子车间的生产情况,深入了解转

子一线生产现场,仔细观察并且调研转子生产和运输流程,利用工序分析法研究每步转子生产运输流程。需要3名检察员,以A、B和C区分不同检查员。

表2 转子车间现状分析表

工序	作业内容	工序名称				设备工具	距离/m	时间/s	人数
		加工	搬运	滞留	检查				
1	毛坯轴入库			√		电脑	27.3	90	1
2	毛坯轴抽检				√	千分尺,游标卡尺	21.0	150	1
3	清洗毛坯轴	√				CQX-100 轴筐清洗机	9.8	300	2
4	配送毛坯轴		√			电动叉车	86.1	70	
5	磨削机床	√				数控外圆磨床,千分尺			1
6	检查轴承,轴伸挡				√	千分尺			A
7	搬运		√			转子推车	25.9	103	
8	铣床	√				卧式铣床 X6036		90	1
9	检查键槽				√	千分尺		25	A
10	搬运至成品区		√			电动叉车		60	
11	检查冲片毛刺,斜槽度				√	游标卡尺,斜槽棒		60	C
12	硅钢冲片入库			√		电脑	12.6	90	1
13	搬运至转子冲片处理区		√			人力叉车	18.2	60	
14	硅钢冲片退火氧化	√				氧化炉		14 400	1
15	搬运至硅钢冲片仓库		√			人力叉车	10.5	90	
16	领用硅钢冲片		√			人力叉车	36.4	215	3
17	成品区取轴		√			转子推车	114.0	115	
18	铸铝套轴	√				铸铝液压机,旋转式熔铝炉,水冷池		90	
19	检查转子铁心长度,斜槽度				√	游标卡尺,斜槽棒		25	C
20	毛坯转子周转区		√			转子推车	4.2	11	
21	周转毛坯转子		√			转子推车	185.0	210	
22	车加工	√				TX40-L 数控车床		80	1
23	检查转子外圆直径				√	千分尺		50	B
24	搬运		√			转子推车	26.6	79	
25	动平衡测试	√				HMI0BU 动平衡机		90	1
26	检查动平衡测试精度				√			15	B
27	搬运		√			转子推车	21.0	40	
28	表面滚漆	√				转子滚漆机		5	1
29	转子周转区			√		转子货架			1
30	库管发货			√					1

第一步对转子加工工序进行分析,记录每一个工位在现场的空间位置,每道工序的加工面积,主要包括每道工序名称,工序的加工内容和转子运输路线等,同时绘制整个转子车间的工艺流程图,如图1和图2。

第二步记录整个转子生产加工中的工序时间和相邻工序之间的距离,把工序时间分为加工时间、搬运时间、滞留时间、检查时间,不同种类的工序时间用不同的符号代替^[2]。同时把每道工序之间的距离、时间和所需的设备工具记录,如表2所示。

第三步整理数据,发现转子车间生产 YX3-90L-2 极转子总共需要 30 道工序,其中加工工序 8 道,11 道搬运工序,4 道滞留工序和 7 道检查工序。在生产过程中搬运距离长达 546.10 m。由于硅钢冲片退火氧化通常需要提前 2 天进行,做到随做随用,此加工时间不考虑,则整个转子生产加工时间为 2 373 s,加工时间为 805 s,占比 33.92%。由于整个转子车间只有 2 辆电动叉车,其余全为手动叉车,转子搬运全靠人力运输,使转子运输时间大大增加,长达 1 053 s。通过以上数据分析,转子车间生产 YX3-90L-2 极转子不合理搬运次数过多,且距离过长,有效加工时间比率较低。有统计资料表明:在物料生产过程中,加工制造时间仅占总过程时间的 5%,而其他大部分时间则是用于存储、运输和等待上^[3]。因此,优化转子车间的平面规划和布局,对降低成本,提高企业经济效益有很重要的意义^[4]。现对转子车间的问题进行如下分析。

(1) 车间布置没有紧跟工艺流程。例如磨床的下一道工序为铣床,在实际厂房布置中,先在磨床机器周围考虑设置铣床,而现转子车间中,铸铝套轴的下一道工序为车床,但在车床与铸铝套轴工序中布置了磨床和铣床,会导致在铸铝套轴区域外需设置毛坯转子周转区域,而车床操作工人需要穿过磨床和铣床去取用转子,增加了转子的搬运距离和使车间的有效加工面积降低,降低了转子的生产率。

(2) 转子生产运输路线重复且交叉,导致转子搬运距离增加。观察整个转子车间的运输路线发现总共出线 5 次运输路线交叉。第 1 次为 22

车加工区向 20 毛坯转子周转区取料路线与 8 铣削区向 5 磨削区取轴路线发生交叉,第 2 次为 8 铣削区向 10 成品轴区输送成品轴路线与 22 车加工区向 20 毛坯转子周转区取料路线交叉,4 配送毛坯轴路线与 18 铸铝区向 10 成品轴区取轴路线和 5 铣削区向 10 成品轴区输送轴路线发生 2 次交叉,第 5 次为 22 车加工区向 20 毛坯转子周转区取料路线与 18 铸铝区向 10 成品轴区取轴路线发生交叉(此序号与图 2 相同)。运输路线的交叉不仅使转子运输距离增加,也增加了出线车间内部道路堵塞的现象。

(3) 厂房没有预留发展面积,空间利用率较低。为了提高车间产能,如果车间购买新机器时,经常出现挪动现有机器,将新机床硬塞入现有机床中的现象,不便于车间的区域化管理。

(4) 车间现有布置区域重复。设置了 2 个转子周转区;通常完整工序结束后,转子会留在转子周转区 A,当转子周转区 A 存放不了多余转子时,又会使用转子推车把多余转子运输至转子周转区 B,由于浇铸完成后的转子较重,且运输距离较长,如果在转子运输时,转子不慎落地,就会出现报废,且将转子周转区一分为二,不便于管理。

3 模拟改变车间平面布置

转子车间的平面改造更应考虑到车间实际生产情况,以不减少原有车间的加工面积为原则,考虑到现有铸铝套轴区域设置了大量大型铸铝转子压铸机和熔铝炉,由于铸铝转子压铸机在铸铝途中还会产生有毒气体,需要铺设排气管道,在不改变铸铝套轴区域的前提下,更改其他工序的位置,降低转子的运输距离。改造后车间平面布置如图 3 所示。

提出以下车间改造措施:

(1) 合并转子周转区,并将转子周转区设置在车间入口处,方便运输且管理。改造前的转子周转区位于车间最底部,运输车辆需要驶向车间最底部取用转子,且当每日生产任务多时,该转子周转区经常出现转子货架占用动平衡测试区域和车间通道,被转子货架堵塞。改造后合并转子周转区 A 和 B,并将转子周转区设置在靠近车间进出口处,且该周转区两侧均紧邻进出口处,方便运输。

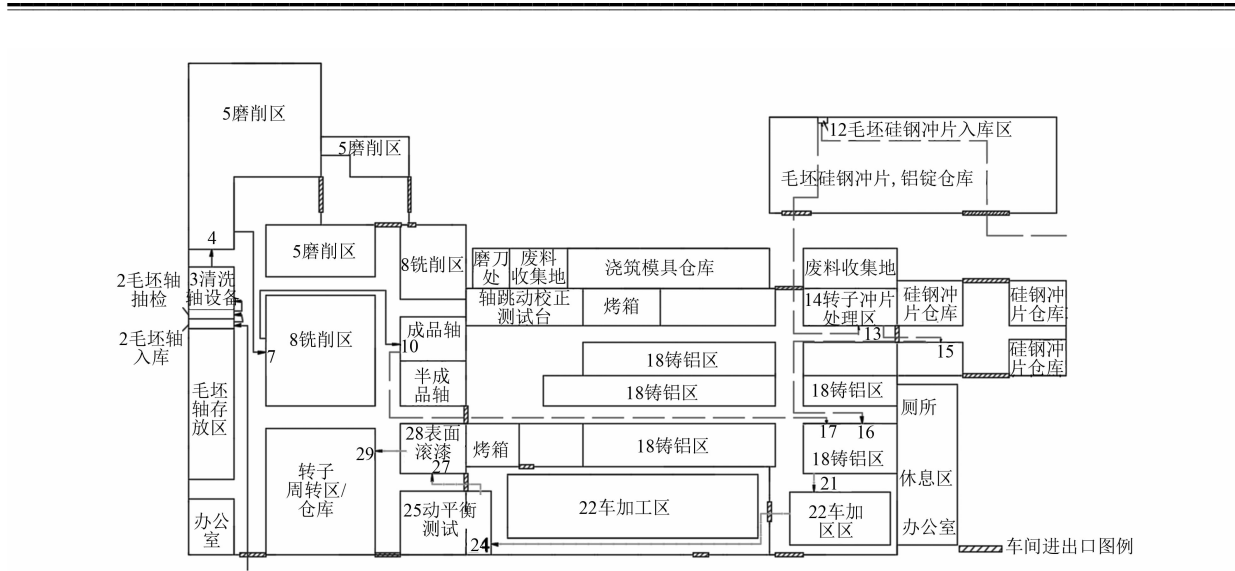


图3 改造后车间平面布置

(2) 车间的空间布置应该紧跟工艺流程,依靠工艺流程的顺序去布置机床的实际空间位置:在厂房设计时,考虑到在转子生产中,铸铝套轴工作环境差,且工作强度较高,因此应该优先布置铸铝套轴工作区域,根据铸铝套轴的工作区域再去排布其他机床的位置,对于已经建成的厂房,应该以尽量不改变铸铝套轴区域的位置为前提,更改其他工序的相对位置,考虑到现有转子车间的实际情况,取消毛坯转子周转区,将车床移至原毛坯转子周转区和毛坯轴仓库,并将毛坯轴仓库和检验区移至原车床区。将磨床整体合并放置原动平

衡测试处和表面滚漆处,把卧铣立铣整体合并后占据原部分车床和磨床位置,不改变原有部分大型手动磨床和自动铣床的位置。

(3) 车间区域化管理,划分每道工序专有区域。该加工工序区域内只能设置这种加工工序机床,且每道工序应该留有余量面积,为以后添置新机床预留空间。

(4) 转子运输路线环型化。将转子运输路线环型化,避免生产运输路线交叉。并将转子生产路线的初始端和末端设置在靠近车间大门处,方便运输。图4为转子车间环型运输路线图。

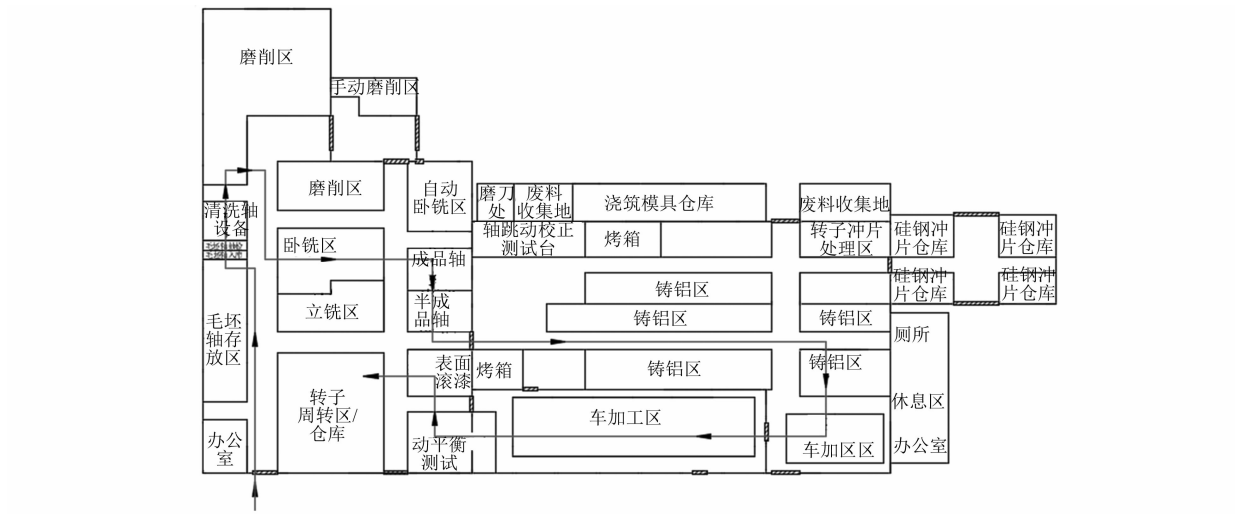


图 4 转子车间环型运输路线图

对改造后的转子车间,再依据工序分析法,分析改造后的每道工序时间和转运距离。转子车间

优化分析表如表 3 所示。

经过改造后的车间,在转子运输路线中节省

表 3 转子车间优化分析表

工序	作业内容	工序名称				设备工具	距离/m	时间/s	人数
		加工	搬运	滞留	检查				
1	毛坯轴入库			√		电脑	31.70	90	1
2	毛坯轴抽检				√	千分尺,游标卡尺		150	1
3	清洗毛坯轴	√				CQX-100 轴筐清洗机	3.78	300	1
5	磨削机床	√				数控外圆磨床,千分尺			1
6	检查轴承,轴伸挡				√	千分尺			A
7	搬运		√			转子推车	9.10	70	
8	铣床	√				卧式铣床 X6036		90	1
9	检查键槽				√	千分尺		25	A
10	搬运至成品区		√			电动叉车	31.10	50	
11	检查冲片毛刺,斜槽度				√	游标卡尺,斜槽棒		60	C
12	硅钢冲片入库			√		电脑	12.60	90	1
13	搬运至转子冲片处理区		√			人力叉车	18.20	60	
14	硅钢冲片退火氧化	√				氧化炉		14 400	1
15	搬运至硅钢冲片仓库		√			人力叉车	10.50	90	
16	领用硅钢冲片		√			人力叉车	36.40	215	
17	成品区取轴		√			转子推车	67.40	155	3
18	铸铝套轴	√				铸铝液压机,旋转式熔铝炉,水冷池		90	
19	检查转子铁心长度,斜槽度				√	游标卡尺,斜槽棒		25	C
21	周转毛坯转子		√			转子推车	2.50	10	
22	车加工		√			TX40-L 数控车床		80	1
23	检查转子外圆直径				√	千分尺		50	B
24	搬运		√			转子推车	46	65	
25	动平衡测试	√				HM10BU 动平衡机		90	1
26	检查动平衡测试精度				√			15	B
27	搬运		√			转子推车	6.80	10	1
28	表面滚漆	√				转子滚漆机		5	
29	转子周转区			√		转子货架			1
30	库管发货			√					1

2 道工序:配送毛坯轴和周转毛坯转子。转子总运输距离从 546.10 m 缩短至 198.38 m,相比改造前节省了 61.9% 运输距离,转子运输时间从 1 053 s 缩短至 736 s,比改造前节约了 30.1% 运输时间,避免转子交叉运输 5 次,大大提高了电机企业电机转子的生产效率。通过将转子的生产运输路线设置成环型运输,既避免了转子生产运输路线的交叉,也使转子的生产运输路线呈现出流动,均衡的生产,从而达到预期的产出^[5-6]。

4 结 语

本文提供了一种新的转子车间平面布置方法,将车间内机床的摆放顺序按照转子的生产工艺流程顺序布置。通过将转子的运输路线设置成环型运输,运输路线的起点和终点设置在车间进出口处,并设置专有机床加工面积,每种机床加工面积留有余量为以后添置新机床做准备。该方法不仅适用于转子车间设计,而且对于已经建设成

的转子车间优化也可以使用,在考虑不改变原铸铝套轴区域,改变其他机床的顺序使按照工艺流程顺序而布置,按照这种布置方法,可以减少转子的搬运时间和距离,避免转子的重复交叉运输,提高了转子的生产效率和产能。同样,对于电动机零部件其他车间的布置也有很强的适应性。

电机制造企业通过将工序分析法和这种转子车间布置方法相结合,可以为企业解决复杂转子车间流程化问题时提供运营更稳定、信息传递更快、库存更低、效率更快的优化方案。

【参考文献】

[1] 王昀睿. 基于 IE 的微型电动机装配生产现场改善

[J]. 现代制造工程, 2015(9): 38.

[2] 张学龙. 基于工序分析方法的企业生产流程优化研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(1): 40.

[3] 朱耀祥, 朱立强. 设施规划与物流[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[4] 陆云, 邱胜海, 王志亮, 等. 某轴承制造企业设施规划及仿真[J]. 中国制造业信息化, 2011, 40(23): 27.

[5] MEYERS F E, STEPHENS M P. 制造设施设计和物料搬运[M]. 2 版. 蔡临宁, 译. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[6] 陈勇, 汤科峰, 林飞龙, 等. 企业 CD 段流水线的瓶颈分析与平衡改善[J]. 工业工程与管理, 2008(1): 112.

(上接第 42 页)

[12] 张冷, 于霜, 丁力. 永磁同步电机的神经网络左右逆协同解耦控制[J]. 控制工程, 2016, 23(10): 1482.

[13] 王新英, 何亚屏, 余栋, 等. 一种新型 PMSM 矢量控制系统速度辨识方案[J]. 控制工程, 2016, 23(6): 884.

[14] 孙明江, 王兴松. 机器人永磁同步电机控制器的控制策略设计[J]. 控制工程, 2014, 21(4): 596.

[15] 赵峰, 罗雯, 高峰阳, 等. 考虑滑模抖振和扰动补偿的永磁同步电机改进滑模控制[J]. 西安交通大学学报, 2020, 54(6): 28.

[16] 张晓光, 赵克, 孙力, 等. 永磁同步电动机滑模变结构调速系统新型趋近率控制[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(24): 77.

[17] 兰志勇, 王波, 王琳, 等. 基于滑模观测器的永磁同步电机无传感器控制[J]. 微电机, 2018, 51(9):

32.

[18] 苗敬利, 周重霞, 郑大伟. 永磁同步电机调速系统变指数趋近律控制[J]. 电气传动, 2019, 49(11): 18.

[19] 王要强, 冯玉涛, 秦明, 等. 表贴式永磁同步电机全阶滑模观测与控制策略[J]. 电工技术学报, 2018, 33(24): 5688.

[20] 刘京, 李洪文, 邓永停. 基于新型趋近律和扰动观测器的永磁同步电机滑模控制[J]. 工程科学学报, 2017, 39(6): 933.

[21] 李永恒, 刘陵顺, 闫红广. 基于积分滑模控制的对称六相永磁同步电机调速系统研究[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(12): 1.

[22] 刘金琨. 滑模变结构控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

(上接第 91 页)

[5] ROMARY R, JELASSI S, BRUDNY J F. Stator inter laminar fault detection using an external flux density sensor[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(1): 237.

[6] GHANBARI T, FARJAH A. A magnetic leakage flux-based approach for fault diagnosis in electrical

machines[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(9): 2981.

[7] 孙宇光, 余锡文, 魏锟, 等. 发电机绕组匝间故障检测的新型探测线圈[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(6): 917.