

外置封闭式大型三相绕线型异步电动机 集电环通风系统的设计研究

吴孟青, 樊少丽, 安震东
(兰州电机股份有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 重点介绍了外置封闭式大型三相绕线型异步电动机集电环、刷架通风结构的设计, 冷却系统的结构设计, 并指出了设计中的关键点。验证了封闭式大型三相绕线型异步电动机集电环各滑环温度均匀性、集电环理论设计与实际测试结果的吻合性。验证了封闭式集电环碳粉收集装置的实用性及改造电机局部结构的可行性。

关键词: 三相绕线型异步电动机; 集电环; 风路设计; 结构设计

中图分类号: TM 302 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2018)05-0092-04

Design of External Enclosed Large Three-Phase Wound Asynchronous Motor Ventilation System with the Collector Ring

WU Mengqing, FAN Shaoli, AN Zhendong
(Lanzhou Electric Co., Ltd., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The external enclosed large three-phase wound asynchronous motor slip ring, brush holder, the design of the ventilation structure were mainly introduces. The structure of the cooling system were design, and the key point in design was pointed out. The enclosed large three-phase wound asynchronous motor collector ring each slip ring temperature uniformity, collector ring design and actual test results anastomotic theory were verified. The enclosed collector ring carbon powder collection device was practical and motor the feasibility of local structure.

Key words: three-phase asynchronous motor wound; collector ring; wind road design; structure design

0 引言

外置式封闭集电环刷架独立安装在电机非轴伸端, 集电环刷架的通风冷却直接影响电机的稳定运行和电机的整机寿命。集电环刷架冷却需满足国家规程规范的要求, 各个部分不能产生局部过热, 冷却系统的结构要简单易行, 冷却系统的功率要小, 电刷摩擦损耗也要小。

2016年9月兰州电机公司向某公司供封闭

式三相绕线型异步电动机。该电机集电环刷架按外置式封闭结构设计。

本次改造通过改变外风路导风罩结构, 有利于集电环冷却器的冷却效果, 更改集电环内风路结构, 通过试制验证该电动机能否满足集电环温升低于 90 K 及各滑环温度均匀的要求, 验证封闭式三相绕线型异步电动机集电环理论设计与实际测试结果的吻合性。该电动机基本参数如表 1 所示。

作者简介: 吴孟青(1969—), 女, 工程师, 研究方向为电机设计。

樊少丽(1974—), 女, 工程师, 研究方向为电机设计。

安震东(1982—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电机应用策略。

表 1 电动机基本参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
额定功率/kW	2 800	绝缘等级	F
额定电压/V	10 000	转子电压/V	1 484
额定电流/A	211.4(75 ℃)	转子电流/A	1 150
额定频率/Hz	50	极数	10
额定转速/(r·min ⁻¹)	597	冷却方式	IC611
效率/%	95.91	防护等级	IP54
功率因数	0.797	电机总重/kg	27 700

1 外置封闭式集电环刷架系统结构设计改造

将全封闭集电环由内置结构改为外置结构,解决了电刷的拆卸、更换、检查、碳粉的过滤收集问题;独立的冷却系统解决了内置结构通风效果差、集电环温升高的问题;同时加大外置集电环刷架箱体两侧观察门,增大操作空间,便于观察、检修,在集电环刷架箱体两侧对称布置转子接线盒,提高电动机设计的标准化;集电环由布置在两轴承间改为布置在两轴承之外,从而缩短两轴承间的距离,降低电机挠度,缩短机座轴向尺寸,减轻机座重量,如图 1 所示。

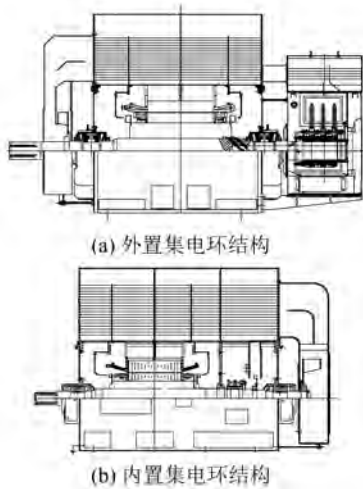


图 1 内置电机与改造后外置电机集电环结构

(1) 改变集电环内风路,使各滑环温度均匀,同时有利于碳粉收集,如图 2 所示。

(2) 在保证电刷接触面的前提下,尽量减少电刷数量,以增加散热空间。

(3) 集电环空-空冷却器与电动机空-空冷

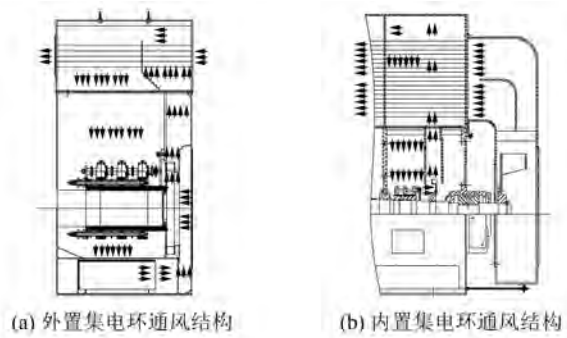


图 2 内置电机与改造后外置电机集电环通风结构

却器共用一个外风扇,同时将集电环风扇由电机轴上改装在集电环上,缩短电动机轴的长度,如图 3、图 4 所示。

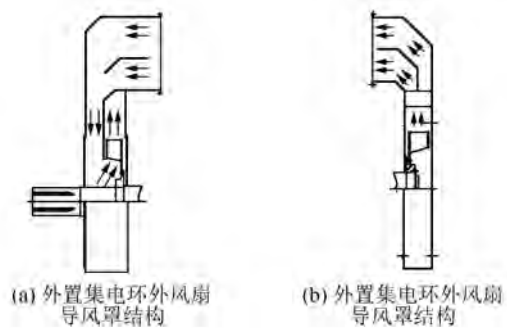


图 3 内置电机与改造后外置电机外风扇导风罩结构

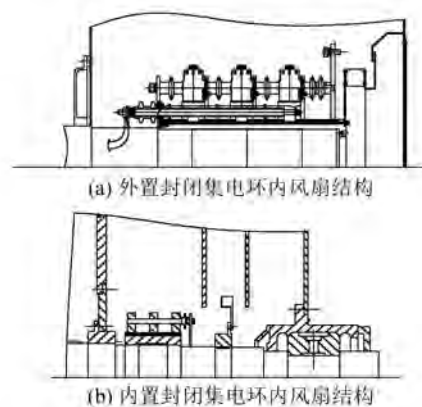


图 4 内置电机与改造后外置电机集电环内风扇结构

(4) 刷架箱下部安装便于拆卸、更换的碳粉过滤装置,以解决封闭集电环腔内碳粉污染造成的集电环打火问题。

2 改造后集电环通风、发热计算

2.1 集电环通风计算

集电环内部总风量: Q_B 。

集电环内风扇外圆线速度:

$$v'_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{\pi \times 0.75 \times 597}{60} = 23.4 \text{ m/s}$$

集电环内风扇内圆线速度:

$$v'_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \times 0.62 \times 597}{60} = 19.4 \text{ m/s}$$

集电环内风扇静压(即当流量为零时径向叶片风扇压力):

$$H_0 = 0.075(v_2^2 - v_1^2) = 0.075(23.4^2 - 19.4^2) = 12.84 \text{ kg/m}^2 (125.83 \text{ Pa})$$

集电环内风扇出风面积:

$$S_2 = 0.92\pi D_2 b = 0.92 \times \pi \times 0.75 \times 0.075 = 0.163 \text{ m}^2$$

集电环内风扇最大风量:

$$Q_{\max} = 0.42V_2 S_2 = 0.42 \times 23.4 \times 0.163 = 1.602 \text{ m}^3/\text{s}$$

流量为 Q_B 时集电环内风扇压力:

$$H_1 = H_0 \left(1 - \frac{Q_B^2}{Q_{\max}^2} \right) = 12.84 \left(1 - \frac{Q_B^2}{1.602^2} \right) = 12.84 - 5Q_B^2$$

集电环内风路总压力:

$$H_1 = \left(0.061 2 \frac{\xi}{F^2} \right) Q_B^2$$

$$(12.84 - 5Q_B^2) = (0.061 2 \times 64) Q_B^2$$

其中, $\frac{\xi}{F^2}$ 由内风路风阻计算中得。

集电环总风量:

$$8.92Q_B^2 = 12.84$$

$$Q_B = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

集电环外风路的风压为 H_2 , 外风路总流量为 Q_H 。

外风扇外圆线速度:

$$v_2 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \times 1.29 \times 597}{60} = 40.3 \text{ m/s}$$

外风扇内圆线速度:

$$v_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \times 1.11 \times 597}{60} = 34.7 \text{ m/s}$$

外风扇静压(即当流量为零时径向叶片风扇压力):

$$H_0 = 0.075(V_2^2 - V_1^2) = 0.075(40.3^2 - 34.7^2) = 31.5 \text{ kg/m}^2 (308.7 \text{ Pa})$$

外风扇出风面积:

$$S_2 = 0.92\pi D_2 b = 0.92 \times \pi \times 1.29 \times 0.12 = 0.447$$

外风扇最大风量:

$$Q_{\max} = 0.42V_2 S_2 = 0.42 \times 40.3 \times 0.443 = 7.5$$

流量为 Q_H 时外风扇压力:

$$H_2 = 0.15H_0 \left(1 - \frac{Q_H^2}{0.15Q_{\max}^2} \right) =$$

$$0.15 \times 31.5 \left(1 - \frac{Q_H^2}{0.15 \times 7.5^2} \right) = 4.73 - 0.56Q_H^2$$

外风路总压力:

$$H_2 = \left(0.061 2 \frac{\xi}{F^2} \right) Q_H^2$$

$$(4.73 - 0.56Q_H^2) = (0.061 2 \times 17.4) Q_H^2$$

其中, $\frac{\xi}{F^2}$ 由内风路风阻计算中得。

$$1.63Q_H^2 = 4.73$$

$$Q_H = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

经以上集电环通风计算, 其结果满足运行要求。

2.2 集电环温升计算

集电环基本参数如表 2 所示。

表 2 集电环基本参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
集电环外径 D/mm	500	电刷型号	CG70
每相电刷数 n	12	额定运行电流密度/ ($\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)	15
电刷厚度、宽度/ mm	20、40	每相电流/ A	1 150

(1) 集电环机械摩擦损耗。

电刷摩擦因数 $\mu = 0.2$

滑环圆周速度:

$$v = \pi D n_N / 60 = \pi \times 0.5 \times 597 / 60 = 15.6 \text{ m/s}^2$$

单个电刷接触面积:

$$s = ab = 2 \times 4 = 8 \text{ cm}^2$$

单个电刷弹簧压力:

$$p = 1.96 \text{ N/cm}^2$$

三相电刷与滑环的摩擦损耗:

$$P_1 = 3\mu n s p v = 3 \times 0.2 \times 12 \times 8 \times 1.96 \times 15.6 = 1.76 \text{ kW}$$

(2) 集电环电损耗。

每个电刷的电压降 $\Delta U = 1.1 \text{ V}$

电损耗:

$$P_2 = 3\Delta UI = 3 \times 1.1 \times 1 150 = 3.795 \text{ kW}$$

集电环总损耗:

$$P = P_1 + P_2 = 1.76 + 3.795 = 5.555 \text{ kW}$$

集电环单位热负荷:

$$w = \frac{P \times 10^3}{\pi D l} = \frac{5.555 \times 10^3}{\pi \times 50 \times 24} = 1.474 \text{ W/cm}^2$$

集电环温升:

$$\theta_1 = \frac{w C_{Fe}}{1 + 0.1\nu} = \frac{1.474 \times 50}{1 + 0.1 \times 15.6} = 28.7 \text{ K}$$

2.3 集电环冷却器温降计算

冷却器基本数据如表 3 所示。

表 3 冷却器基本数据

参数名称	参数值	参数名称	参数值
管数 n_{mp}	95	管长 l/mm	1 120
管子排数	5	管子内径 d_q/mm	30
每排管数	19	管子外径 d_H/mm	32

集电环内风路在左段(出风)部分空气流过面积:

$$\Sigma q = 10^{-6} Nca = 10^{-6} \times 18 \times 11 \times 620 = 0.122 \text{ m}^2$$

集电环内风路在右段(进风)部分空气流过面积:

$$\Sigma q_1 = 10^{-6} Ncb = 10^{-6} \times 18 \times 11 \times 474 = 0.094 \text{ m}^2$$

集电环内空气流过平均面积:

$$\Sigma q_{cp} = \frac{\Sigma q + \Sigma q_1}{2} = \frac{0.122 + 0.094}{2} = 0.108 \text{ m}^2$$

冷却管之间风速:

$$\nu_q = \frac{Q_B}{\Sigma q_{cp}} = \frac{1.2}{0.108} = 11.11 \text{ m/s}$$

管子外表散热系数:

$$C_q = \frac{450}{1 + 0.2\nu_q} = \frac{450}{1 + 0.2 \times 11.11} = 139.7$$

外风扇外圆线速度:

$$\nu_v = 10^{-3} \frac{\pi D_H n_N}{60} = 40.3 \text{ m/s}$$

外风扇损耗:

$$Q_v = 0.175 \left(\frac{\nu_v}{10} \right)^2$$

$$Q_H = 0.175 \left(\frac{40.3}{10} \right)^2 \times 1.7 = 4.83 \text{ kW}$$

管子外表散热面积:

$$S_q = 10^{-2} \pi d_q n_{mp} l = 10^{-2} \pi \times 32 \times 95 \times 1 120 = 34 048 \text{ cm}^2$$

管子外表单位面积损耗:

$$w_q = 10^3 \frac{P - \theta_q}{S_q} =$$

$$10^3 \frac{5.555 - 4.83}{34 048} = 0.021 3 \text{ W/cm}^2$$

管子外表对内部空气温升:

$$\theta_q = w_q C_Q = 0.021 3 \times 139.7 = 2.97 \text{ K}$$

管子内空气流过的截面:

$$\Sigma q_H = \frac{\pi}{4} d_q^2 n_{mp} \times 10^{-6} =$$

$$\frac{\pi}{4} \times 30^2 \times 95 \times 10^{-6} = 0.067 2 \text{ m}^2$$

外风路管内风速:

$$\nu_H = \frac{Q_H}{\Sigma q_H} = \frac{1.7}{0.067 2} = 25.3 \text{ m/s}$$

管子内表散热系数:

$$C_H = \frac{450}{1 + 0.2\nu_H} = \frac{450}{1 + 0.2 \times 25.3} = 74.3$$

管子内表散热面积:

$$S_H = 10^{-2} \pi d_H n_{mp} l =$$

$$10^{-2} \pi \times 30 \times 95 \times 1 120 = 31 920 \text{ cm}^2$$

管子内表单位面积损耗:

$$w_H = 10^3 \frac{P}{S_H} = 10^3 \frac{5.555}{31 920} = 0.174 \text{ W/cm}^2$$

管子内表对外部空气温升:

$$\theta_H = w_H C_H = 0.174 \times 74.3 = 12.9 \text{ K}$$

冷却器温降:

$$\theta_2 = \theta_H + \theta_q = 12.9 + 2.97 = 15.9 \text{ K}$$

集电环总温升:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = 28.7 + 15.9 = 44.6 \text{ K}$$

经以上集电环通风、发热计算,其结果满足电机运行要求。

3 试验数据及结果

该电动机 2017 年 3 月试制完毕,试验证明了该电动机结构布局合理可靠,主要指标满足技术条件和用户的要求。具体参数如表 4 所示。

改造后电机经现场实际运行,电机的效率、功率因数均高于设计值,远远高于用户要求,集电环 3 个滑环的温度分别为 51、52、51 °C,电机噪声低于国标 GB 10069.3 的要求,试制成功,完全满足国家规程规范及用户的要求。

(下转第 119 页)

督检验中心按照 GB/T 1032—2012《三相异步电动机试验方法》进行的检测,实测效率值达到 IEC 60034-30-1:2014《单速、三相笼型感应电动机的能效分级》中最高 IE4 能效等级的标准规定,同时也达到 GB 18613—2012《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》中的最高等级的 1 级能效标准规定;样机的主要性能指标均达到《YE4 系列(IP55)三相异步电动机技术条件(机座号 80~450)》的标准要求。

2017 年 9 月,国家财政部、国家税务总局、国家发改委、工信部和环保部以财税(2017)71 号文发布了《关于印发节能节水和环境保护专用设备企业所得税优惠目录(2017 年版)的通知》,其中 IE4 能效等级电动机列入所得税优惠目录。YE4 (IP55)三相异步电动机系列产品的成功开发及

推广应用,将对进一步推进我国节能减排政策的落实做出重要的贡献。

【参考文献】

- [1] IEC TS 60034-30-1:2014:ROTATING ELECTRICAL MACHINES-Part 30-1: Efficiency classes of Line operated AC motors (IE-code) IDT[S].
- [2] GB/T 32891.1—2016:旋转电机效率分级(IE 代码)第 1 部分:电网供电的交流电动机[S].
- [3] GB 18613—2012:中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级[S].
- [4] GB/T 1032—2012:三相异步电动机试验方法[S].
- [5] 黄坚,姚丙雷,顾德军,等.IE4 超超高效率电动机系列产品的开发[J].电机与控制应用,2018,45 (2): 56-61.

收稿日期:2016-12-12

(上接第 95 页)

表 4 设计值与试验值对比

参数名称	设计值	试验值	保证值
额定功率/kW	2 800	2 800	—
额定电压/kV	10	10	—
定子绕组电阻/ Ω	0.149 36(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.164 916(115 $^{\circ}\text{C}$)	—
转子绕组电阻/ Ω	0.012 6(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.013 115(115 $^{\circ}\text{C}$)	—
空载电流/A	96.3	90.33	—
定子电流/A	211.4(75 $^{\circ}\text{C}$)	209.07(115 $^{\circ}\text{C}$)	—
转子电压/V	1 484	1 500	—
定子绕组温升/K	39.1	64.1	105
转子绕组温升/K	39.3	49.8	105
定子铁心温升/K	33.2	—	100
前轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	43.7	80
后轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	43.5	80
滑环温升/K	—	39	90
机械损耗/kW	26.64	19.517	—
铁耗/kW	43.56	39.023	—
定子铜耗/kW	20.03	20.139	—
转子铜耗/kW	15.22	17.098	—
杂散损耗/kW	14	22.667	—
效率/%	95.91	95.94	95
功率因数	0.797	0.822	0.78
转速/(r/min)	597	596.4	—
最大转矩/倍	2.68	3.0	1.8
振动位移/ μm	—	6.7	37
振动加速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	—	0.4	3.6
振动速度/($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	—	0.5	2.3
噪声/dB	—	102.1	109

4 结 语

由于外置全封闭集电环绕线性电机结构较内置集电环绕线性电机运行的安全可靠,降低了用户使用时的故障率和维护成本,同时全封闭集电环结构绕线性电机广泛适用于环境恶劣的水泥、矿山钢铁等行业,若此电机能形成大批量生产,其经济效益将非常可观。该结构电动机的试制成功,将为全封闭集电环绕线性异步电动机的制造和设计积累经验,使绕线性异步电动机设计、制造水平上一个新台阶。

【参考文献】

- [1] 汤蕴珍,史乃.电机学[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 陈世坤.电机设计[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 纳霍德金.牵引电机设计[M].李忠武,译.北京:中国铁道出版社,1983.
- [4] 周凤.YKK 高压电机冷却器通风计算[J].宁夏:宁夏机械,2006(3): 19-20.

收稿日期:2017-12-04