

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2019.03.004

# 援塞内加尔竞技摔跤场钢罩棚施工测量技术

张纪<sup>1</sup>, 吴翔<sup>2</sup>, 王晓军<sup>2</sup>, 程明<sup>3</sup>, 刘方成<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南省工业设备安装有限公司, 湖南 株洲 412000;  
3. 中国建筑材料工业地质勘查中心湖南总队, 湖南 株洲 412011)

**摘要:** 援塞内加尔竞技摔跤场是由中国政府援建、湖南建工集团承建的非洲首座现代化摔跤场。钢罩棚纵向跨度达 206.9 m, 由主拱、后拱、次桁架、连系桁架, 共 49 榀桁架组成。在钢罩棚的测量工作中, 通过自由建站方法严格控制测量误差, 采用 Tekla 技术优化测点的布置。从胎架拼装、桁架拼装与校核、临时支撑放样、桁架吊装、卸载变形监测 5 个方面介绍了该工程施工中测量工作的技术要点, 确保工程质量及精度要求。

**关键词:** 钢罩棚; Tekla 技术; 测量工作; 精度要求; 援塞内加尔竞技摔跤场

**中图分类号:** TM461      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-9833(2019)03-0021-06

**引文格式:** 张纪, 吴翔, 王晓军, 等. 援塞内加尔竞技摔跤场钢罩棚施工测量技术 [J]. 湖南工业大学学报, 2019, 33(5): 21-26.

## Construction Survey Technology for Steel Canopy of Senegalese Wrestling Arena

ZHANG Ji<sup>1</sup>, WU Xiang<sup>2</sup>, WANG Xiaojun<sup>2</sup>, CHENG Ming<sup>3</sup>, LIU Fangcheng<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. Hunan Industrial Equipment Installation Co., Ltd., Zhuzhou Hunan 412000, China;  
3. Hunan Branch of National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Zhuzhou Hunan 412011, China)

**Abstract:** Senegalese wrestling arena is the first modern wrestling field in Africa built by Hunan Construction Group with the aid of Chinese government. With a longitudinal span of 206.9 meters, the steel canopy consists of 49 trusses, including the main arch, the rear arch, the secondary trusses and the connecting trusses. The measurement error of the steel canopy has been strictly controlled by adopting the method of free station construction, with the layout of measurement points optimized by Tekla technology as well. This paper introduces the technical points of measurement from the following five aspects: bed-jig assembling, truss assembling and checking, temporary support lofting, truss hoisting and unloading deformation observation, so as to ensure the quality and accuracy of the project.

**Keywords:** steel canopy; Tekla technology; measurement work; precision requirements; Senegalese wrestling arena

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51108177, 51608190)

作者简介: 张纪 (1992-), 男, 河北唐山人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为结构隔震与减震,  
E-mail: 2802922958@qq.com

通信作者: 刘方成 (1978-), 男, 湖南常宁人, 湖南工业大学副教授, 主要从事结构隔震与减震方面的教学与研究,  
E-mail: fcliu@hut.edu.cn

## 0 引言

大跨度钢桁架结构因其空间布置灵活、施工工期短、造型简洁美观,是一种新型的建筑体系,在如今的工程中得到了广泛的应用。但是钢桁架因其质量大、结构形状复杂的特点,对其加工精度及测量技术均提出了较高要求。如何优化钢桁架材料的加工工艺,并将测量工程中的累积误差控制在规范要求范围内,是业内亟需解决的难题。

本研究从援塞内加尔竞技摔跤场项目中钢罩棚安装工程的测量技术出发,介绍了在海外施工条件有限的前提下,探讨如何优化测量方案,以提高测量精度,确保工程质量,以期为类似大跨度钢桁架结构的测量技术提供参考依据。

## 1 工程概况

援塞内加尔竞技摔跤场位于塞内加尔共和国首都达喀尔市西北部皮金区内,项目总用地  $7.5 \text{ hm}^2$ ,体育场可以容纳观众 2 万人,其总建筑面积约为  $1.8 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,建筑层数为 3 层,高度为 23.5 m,下部看台为钢筋混凝土框架结构,整体由南向、北向、西向 3 部分看台组成。上部结构为钢桁架罩棚,采用空间圆管桁架结构,由一道前主拱和一道后拱以及若干次桁架组成,呈金腰带形状,后部支撑采用 16 根钢骨柱,支座采用抗震球型钢支座连接<sup>[1]</sup>,桁架采用全熔透焊连接,焊缝等级为一级。总体建筑效果见图 1,钢罩棚的结构布置图如图 2 所示。

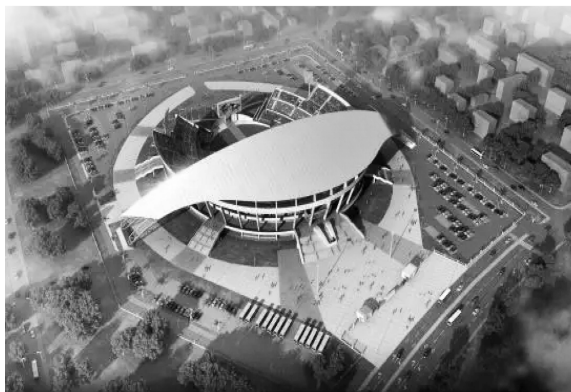
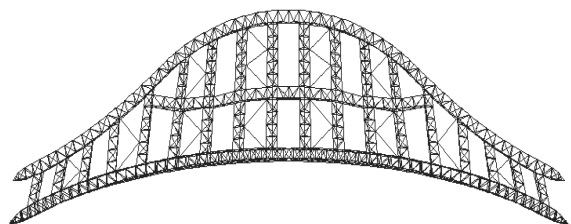
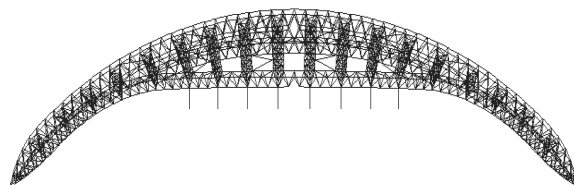


图 1 总体建筑效果

Fig. 1 Overall architectural effect



a) 平面图



b) 立面图

图 2 钢罩棚结构布置图

Fig. 2 Structural layout of the steel canopy

## 2 技术要点

### 2.1 胎架拼装

设计图纸给出了胎架的空间坐标,在地面拼装胎架时,需要将其空间坐标系换算到地面坐标系,才能在地面进行拼装工作。具体的换算方法,是将桁架的立体模型图拷贝到新的 tekla 图形中,重新定义地面拼装坐标系,将其原点  $(0, 0, 0)$  设定在胎架控制线的端头,然后用查询命令提取各节点的拼装坐标即可。

在拼装场地铺设素混凝土基础,并用水准仪检查其平整度。在场地设立临时坐标系控制网<sup>[2-3]</sup>,用全站仪在地面上放样各节点的平面坐标  $(X, Y)$ ,再用水准仪抄测该节点的标高,根据地面实际标高值确定胎架立柱的高度,在立柱上标记所需要的标线。具体的地面拼装测量控制示意图 3。

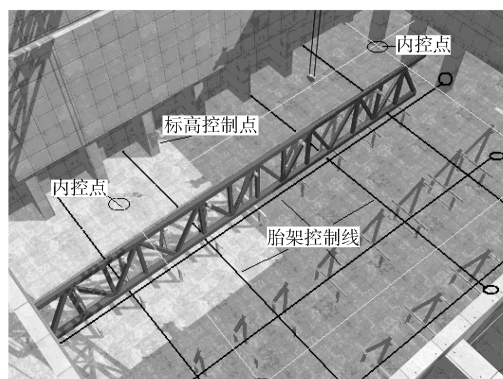


图 3 地面拼装测量控制示意图

Fig. 3 A schematic diagram of ground assembling measurement control survey

胎架放线<sup>[4]</sup>的主要流程如下:

- 1) 根据拼装场地设立临时拼装坐标系、胎架控制线;
- 2) 胎架定位后,用水准仪抄测地面标高,确定立柱高度值;
- 3) 胎架拼装过程中,用全站仪、水准仪配合胎架拼装,校正到位;
- 4) 在胎架上放样通视性良好的放样点,并用反光片标记,以便在桁架拼装过程中确定桁架位置。

### 2.2 桁架拼装与校核

桁架拼装<sup>[5]</sup>的工艺流程如下:桁架在胎架上定位拼装—检验校正—焊缝初步焊接—坐标检查—焊缝最终焊接—焊缝检查—构件坐标复核—拼装完成。

在桁架拼装过程中,需要在桁架上布置测点,图4所示为测点布置示意图。

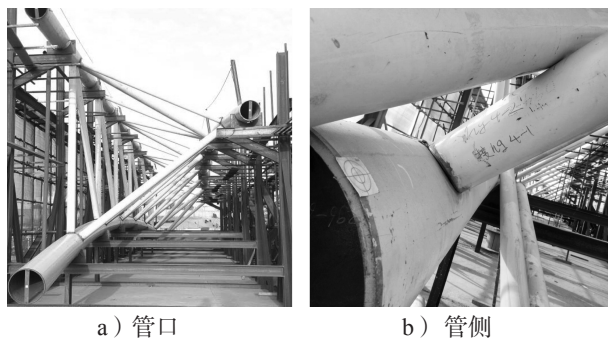


图4 测点布置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of measuring point arrangement

桁架拼装时,桁架和胎架选用相同的坐标系,在桁架上布置测点的方法如下:

1) 管口测点(如图4a)的布置。在桁架两端的每个管口处焊接钢片,钢片应大致通过管口圆心。在钢片处通过钢尺绘制3条长度等于管口直径的连线,3条连线在钢片处应交汇于一点,将反光片中心贴在该点处。

2) 管侧面测点(如图4b)的布置。考虑到管桁架高度较高、跨度较大、结构较复杂的特点,管侧面的测点布置需满足通视性良好和测点附近有接口等参照物要求,以通过接口的理论坐标校核实际坐标。

由于现场施工条件限制,桁架杆件在国内制作、裁切后运送到现场。长达数月的海运过程中,杆件有可能因为环境和受力因素而发生变形。因此,在胎架拼装过程中需加密测量点和测量复核间隔。

### 2.3 临时支撑放样

#### 2.3.1 临时支撑的3种情况

该工程的临时支撑柱布置示意图见图5。

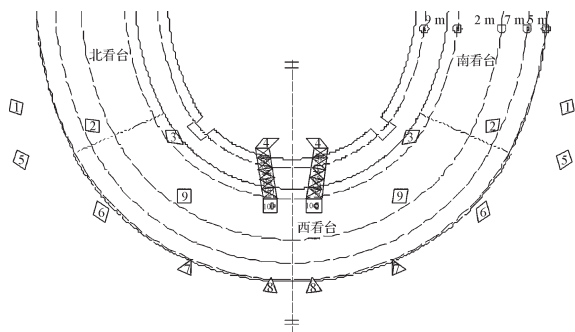


图5 临时支撑柱布置示意图

Fig. 5 A schematic diagram of temporary support column arrangement

如图5所示,该工程的临时支撑按照柱脚落地位置分为3类情况:1)从地面做基础,如图5中1、4、5、6;2)从看台上预埋,对原砼结果进行支撑加固,如图5中2、3、9、10;3)从砼柱侧面预埋,如图5中7、8。

#### 2.3.2 临时支撑的定位

临时支撑的定位,根据支撑柱的3类情况采取3类不同的方案。

一类情况和三类情况:通过全站仪在地面上放样出临时支撑4个柱脚的坐标,起吊过程中,用经纬仪校准支撑柱的垂直度,当垂直度满足精度要求后,将柱脚焊接固定,并且在每个柱脚四周做独立的基础预埋。

二类情况:通过全站仪在看台上放样出临时支撑4个柱脚的坐标,并且做好标记,然后在标记的正上方布置HW300\*300\*10\*15型钢做抬梁(见图6),型钢下表面一端紧贴楼面,另一端焊接在型钢立柱上,两端固定在砼梁上(两端不可以固定在楼板上)。再测量抬梁在砼梁或型钢立柱两端处的平面坐标,利用此坐标在地面层、二层及三层楼面进行放样,考虑到隔墙结构复杂、通视性不良的因素,放样过程中需要大量转点,所以应合理地选取转点位置。在保证便于放样的前提下,尽量减少转点的数量,以降低误差。此坐标处标记点用加密钢管连接,并且辅以加密脚手架受力(见图7),以确保看台层柱底反力逐层传递至地面<sup>[6]</sup>。



图6 抬梁示意图

Fig. 6 A schematic diagram of the lifting beam



图7 层间支撑体系示意图

Fig. 7 A schematic diagram of the interlayer support system

### 2.4 桁架吊装

钢罩棚采用“分段吊装，高空散拼”的安装方案，吊装顺序为由南北面同时开始，从两端向中间合拢。起吊前，需要在临时支撑柱的每个柱顶平台上绘制构件弦杆走向<sup>[7]</sup>（见图8）。



图8 弦杆走向示意图

Fig. 8 A schematic diagram of the direction of chord

绘制构件弦杆走向的方法如下：

1) 在 Tekla 中获取构件弦杆定位点（见图9）平面坐标，以及定位点前后各一点的平面坐标。

2) 在柱顶平台上过平台中心绘制2条相互垂直的直线，放样这3个点，3个点必须在一条直线上，此直线即为弦杆走向，并记录中间点坐标与千斤顶位置（千斤顶必须安置在垂线上）的偏移量和偏移方向，作为放样时确定千斤顶上部弦杆位置的依据。

3) 过定位点平面坐标在平台上的对应点作一条垂线，此垂线即表示定位板的方向。弦杆的支撑点由垫块更换为千斤顶（见图10），再由千斤顶调节其高度。

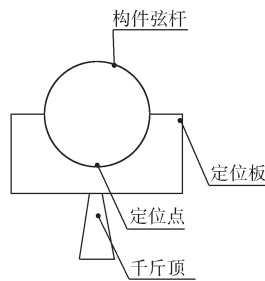


图9 构件弦杆定位点示意图

Fig. 9 A schematic diagram of component chord positioning points

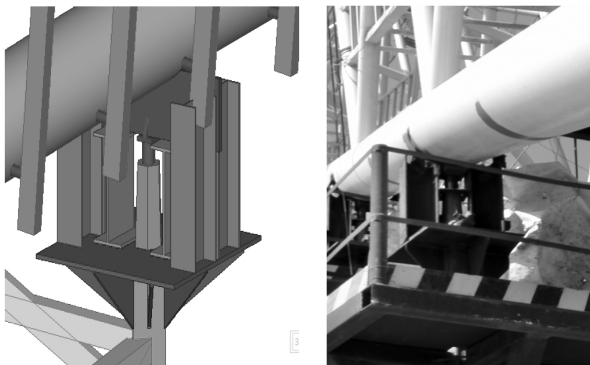


图10 千斤顶布置图

Fig. 10 Layout diagram of the lifting jack

起吊时，测站位置分为劲性柱上（如图11）的测站和看台上的测站。测量时要保证每个测站有3个测点，并且通过改变测站和多次复核的方法来确保放样精度。



图11 劲性柱上测站布置

Fig. 11 Arrangement of measuring stations on rigid columns

### 2.5 卸载变形观测

桁架吊装并在高空拼装完成后，需要对整个钢罩棚进行空间线型测量，并将测量所得坐标与理论坐标进行对比分析，以确定卸载方案<sup>[8]</sup>。

在卸载中，以拼装完成后的钢罩棚空间坐标实测值为初始值，监测卸载过程中的钢罩棚变形。

监测对象：桁架的水平及竖向位移、拱脚支座的水平位移及沉降。

监测方法：采用全站仪测量，在待测点位置布置反光片或小棱镜。

监测频率：在卸载过程中，每10 min采集1次钢罩棚的变形数据；待每一步卸载完毕且数据基本稳定后，每3 h采集1次钢罩棚变形数据；支撑架全部卸载完毕后，每6 h采集1次钢罩棚变形数据，连续监测3 d。实际工程中，根据桁架实际的变形监测结果适当加减监测频率。鉴于本工程中的变形监测点较多，现取主拱北第3号监测点作为监测对象，主拱北3号三维坐标观测变化曲线如图12所示，由图可知，监测点位移在工程测量规范的要求范围之内。

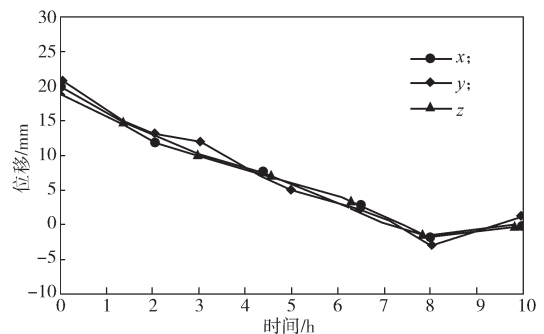


图12 主拱北3号三维坐标变化曲线

Fig. 12 Three-dimensional coordinate change curves of main arch # 3

拆除临时支撑柱的具体顺序如下<sup>[9-10]</sup>:

1) 拆除后拱有劲型柱附加的4个临时支撑柱。

2) 拆除看台上4个次桁架支撑柱。

3) 对剩下的12个临时支撑柱实施逐步释放位移的方式进行卸载,对于看台上的主桁架临时支撑优先考虑释放,以减小对看台的影响<sup>[11]</sup>。临时支撑完全拆除后的效果图如图13所示。



图13 临时支撑完全拆除效果图

Fig. 13 Effect drawing of complete removal of temporary supports

### 3 结论

本研究以援塞内加尔竞技摔跤场钢罩棚测量工程为例,对大跨度悬挑钢结构的测量工程中的技术要点进行了探讨,以期今后的测量工程提供指导性建议,可得出如下结论:

1) 全站仪应尽量选择光线良好、无风无雾的天气使用。测量过程中,应时刻观察仪器中气泡是否居中,并且每个测点应测量3次,若3个数据的差值满足工程要求,方可取其平均值作为最终数据。放样过程中,待初步标记放样点位置后应复测放样点的坐标,测量值与理论值的误差满足要求后,方可确定放样点位置。在实际工程中若需要大量转点,需尽量在转点个数较少的前提下,复测转点坐标,以保证转点与控制点在同一个坐标系下。

2) 对于大跨度悬挑结构放样临时支撑柱的位置时,应多次校核,并将抬梁在梁上的两个着力点的坐标垂直放样到地面层,层间以加密钢管、脚手架支撑,以满足工程的安全性。在桁架的拼装和吊装过程中,建站位置以桁架走向为准,尽量确保全站仪激光方向垂直于反光片或棱镜平面,且测距应不大于100 m。利用Tekla软件选择测点位置,测点位置既要满足在桁架上连接点等特殊位置,也要便于全站仪的观测。

3) 对于大跨度悬挑结构,不仅要临时支撑柱卸载过程进行SAP2000V17.3及MIDAS8.21软件仿

真分析,同时也要严格控制卸载方法和卸载顺序,遵循“变形协调,卸载均衡”的原则进行卸载。每次千斤顶的下降量为10 mm,各个点依次进行。每次监测结果要及时记录及整理,以确保工程安全。

### 参考文献:

- [1] 孟永杰,王继涛,刘满怀,等.援塞内加尔竞技摔跤场钢罩棚结构设计[J].建筑结构,2017,47(2):28-32.  
MENG Yongjie, WANG Jitao, LIU Manhuai, et al. Steel Structural Design of Shed for Wrestling Stadium Aid for Senegal[J]. Building Structure, 2017, 47(2): 28-32.
- [2] 余建杰,朱建平,刘碧霞.基于全站仪在路线测量中方向转点的确定[J].北京测绘,2018,32(7):761-763.  
YU Jianjie, ZHU Jianping, LIU Bixia. Determination of Direction Turning Point Based on Total Station in Route Measurement[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2018, 32(7): 761-763.
- [3] 王策,刘峰,翟鹏程,等.拉萨市体育场钢罩棚无支撑施工技术[J].建筑机械化,2015,36(10):46-49.  
WANG Ce, LIU Feng, ZHAI Pengcheng, et al. Lhasa City Stadium Steel Awning Free-Standing Construction Technique[J]. Construction Mechanization, 2015, 36(10): 46-49.
- [4] 李巍,赵亮,张占伟,等.常用全站仪放样方法及精度分析[J].测绘通报,2012(5):29-32,40.  
LI Wei, ZHAO Liang, ZHANG Zhanwei, et al. Commonly Used Methods for Electronic Total Station Layout and Its Precision Analysis[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012(5): 29-32, 40.
- [5] 王碧如,郭福元,肖俊,等.基于高精度激光全站仪的钢结构数字模拟预拼装技术研究[J].建筑施工,2016,38(12):1726-1729.  
WANG Biru, GUO Fuyuan, XIAO Jun, et al. Research on Digital Analog Preassembly Technology for Steel Structure Based on High Precision Laser Total Station[J]. Building Construction, 2016, 38(12): 1726-1729.
- [6] 王伟.洛阳新区体育场罩棚工程临时支撑设计[J].钢结构,2010,25(9):44-47.  
WANG Wei. Design of Temporary Support in Luoyang New Stadium Canopy Project[J]. Steel Construction, 2010, 25(9): 44-47.
- [7] 文良波,赵孙贺,陈棋,等.浅谈超高层钢结构吊装测量控制技术[J].施工技术,2018,47(增刊1):347-349.  
WEN Liangbo, ZHAO Sunhe, CHEN Qi, et al. Talk-

ing About the Measurement and Control Technology for the Hoisting of Super-High-Rise Steel Structures[J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 347-349.

[8] 敖明华, 魏焱, 朱吉, 等. 体育场管桁架钢罩棚临时支撑整体卸载 [J]. 安装, 2014(11): 31-32, 64. AO Minghua, WEI Yan, ZHU Ji, et al. Overall Unloading of Temporary Support for Stadium Pipe Truss Steel Canopy[J]. Installation, 2014(11): 31-32, 64.

[9] 刘奔, 谢任斌, 钟广建, 等. 大跨度钢结构卸载技术的研究及应用 [J]. 建筑结构, 2014, 44(22): 56-59. LIU Ben, XIE Renbin, ZHONG Guangjian, et al. Study and Application of Uninstall Technology for Large-Span Steel Structures[J]. Building Structure, 2014, 44(22): 56-59.

[10] 高尼. 福州海峡奥林匹克体育中心体育场钢罩棚临时钢支撑安装与拆除技术 [J]. 福建建筑, 2013(6):

75-77, 95.

GAO Ni. The Installation and the Removal of Temporary Steel Supports Technology in the Steel Awning of Stadium in Fuzhou Strait Olympic Sports Center[J]. Fujian Architecture & Construction, 2013(6): 75-77, 95.

[11] 杨鸿玉, 刘卫东, 蒋韬, 等. 上海世茂深坑酒店双曲线异形钢结构施工技术 [J]. 施工技术, 2016, 45(23): 76-79. YANG Hongyu, LIU Weidong, JIANG Tao, et al. Construction Technology of Hyperbolic Special-Shaped Steel Structure for Shanghai Shimao Chasm Hotel[J]. Construction Technology, 2016, 45(23): 76-79.

(责任编辑: 廖友媛)



(上接第 20 页)

HUANG Kefeng, LI Huaishu, ZHOU Yu, et al. Method Research for Reducing the Cogging Force by Auxiliary Slots[J]. Electrical Machines and Control, 2014, 18(3): 54-59, 66.

[7] 王秩楠, 唐冲, 颜钢峰. 定子齿冠开辅助凹槽抑制永磁电机齿槽转矩 [J]. 微电机, 2014, 47(10): 20-23. WANG Zhinan, TANG Chong, YAN Gangfeng. Reducing Cogging Torque of Permanent Magnet Motors by Notching Auxiliary Slot in Top of Stator Teeth[J]. Micromotors, 2014, 47(10): 20-23.

[8] 石松宁, 王大志, 时统宇. 永磁驱动器偏心磁极的优化设计 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2014, 35(8): 1078-1082. SHI Songning, WANG Dazhi, SHI Tongyu. Optimal Design of Eccentric Magnetic Pole for Permanent Magnet Drive[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2014, 35(8): 1078-1082.

[9] 王伟, 杜晓彬, 胡弼, 等. 基于齿冠偏心内凹结构的工业机器人用 PMSM 转矩波动抑制 [J]. 电气工程学报, 2018, 13(10): 22-28. WANG Wei, DU Xiaobin, HU Bi, et al. Reducing Torque Ripple of a Permanent Magnet Motor Used in Industrial Robots Based on Structure of Eccentric

and Concave Stator Tooth[J]. Journal of Electrical Engineering, 2018, 13(10): 22-28.

[10] 倪有源, 王磊. 表贴式永磁电机齿槽转矩解析法比较研究 [J]. 微特电机, 2018, 46(11): 1-5, 11. NI Youyuan, WANG Lei. Comparison of Analytical Methods of Cogging Torque of Surface-Mounted Permanent Magnet Machines[J]. Small & Special Electrical Machines, 2018, 46(11): 1-5, 11.

[11] ZHU L, JIANG S Z, ZHU Z Q, et al. Comparison of Alternate Analytical Models for Predicting Cogging Torque in Surface-Mounted Permanent Magnet Machines[C]//IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Harbin: IEEE, 2008: 1-6.

[12] WANG X H, YANG Y B, FU D J. Study of Cogging Torque in Surface-Mounted Permanent Magnet Motors with Energy Method[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2003, 267(1): 80-85.

[13] 刘婷. 表贴式永磁同步电机齿槽转矩削弱方法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2013. LIU Ting. The Study for Reducing Cogging Torque in Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Machine[D]. Changsha: Hunan University, 2013.

(责任编辑: 廖友媛)