

国家速滑馆防雷技术研究

唐馨庭

(北京城建集团有限责任公司, 北京 100088)

摘要: 国家速滑馆为二类防雷建筑。利用提前放电避雷针和金属屋面做接闪装置, 通过索网、环桁架和龙型金属龙骨作为引下线, 基础桩作为接地装置。由于建筑结构独特, 为国内首个全冰面比赛场馆, 防雷保护体系极其重要。屋面单元板块加索网结构是国内首次应用的接闪结构形式, 工程政治意义重大, 防雷系统深化技术复杂、难度大。

关键词: 避雷针; 引下线; 智慧防雷

Research on lightning protection technology of National Speed Skating Oval

TANG Xinting

(Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The National Speed Skating Oval (NSSO) is class II lightning protection building. The electricity is discharged by using the lightning rod and metal roof as the lightning catching device, and the cable net, ring truss, dragon-shaped steel structure are as the down-lead, the foundation piles are as the grounding device. The lightning protection system is extremely important in this unique structure of the building as well as the first all-ice competition venue in China. Roof unit plate and cable net structure are the first application of lightning connection structure in China. Its deepening technology of lightning protection system is complicated and difficult. The project has the great political significance.

Key words: lightning arrester; down lead; intelligent lightning protection

1 概述

国家速滑馆位于北京市朝阳区奥林匹克公园西侧, 国家网球中心南侧, 总建筑面积 9.7 万 m^2 , 北京 2022 年冬季奥运会期间, 国家速滑馆将承担速度滑冰项目的比赛和训练。速滑馆主体结构为钢筋混凝土劲性结构, 屋盖为大跨度马鞍形索网结构, 结构跨度 $124\text{ m} \times 198\text{ m}$, 标高为 $15.800\text{ m} \sim 33.800\text{ m}$, 支撑于周圈钢结构环桁架上, 并在环桁架外侧设置幕墙拉索。屋面结构包括: ① 铝板单元式屋面 $17\,000\text{ m}^2$; ② 屋面玻璃天窗 $2\,000\text{ m}^2$; ③ 直立锁边屋面 (外层装饰板和光伏玻璃) $5\,800\text{ m}^2$ 。效果图如图 1 所示。

国家速滑馆为 2022 年冬奥会的主场馆, 承担

速滑比赛任务, 是唯一的新建冬奥比赛场馆, 是国内最大的全冰面场馆。



图 1 效果图

Fig. 1 Design sketch

场馆建设过程中防雷体系不断深化和完善,多方面的保护措施和新技术成功应用在复杂建筑中,为建筑节省了投资,为工程进度节约了时间。目前国家速滑馆进入测试赛阶段,场馆运行良好,防雷体系安全有效。

2 接闪装置

2.1 金属单元板块

屋面结构示意图如图 2 所示,由图 2 可以看

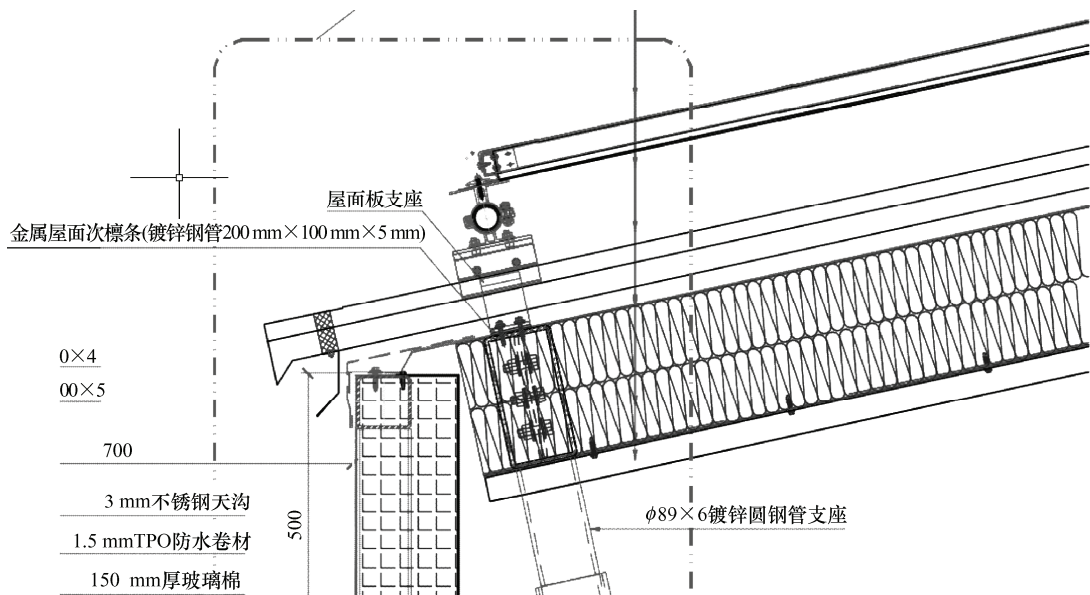


图 2 屋面结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of roof structure

2) 金属单元板块屋面由 2.0 mm 铝合金板及金属框架组成,中间填充保温棉起到保温、降噪的作用,单元板块附带虹吸天沟和防坠栏杆等功能。均需采用 304 奥氏体复合不锈钢自攻螺钉,将铝合金板与金属框架连接。单元板块均采用 A4-70 不锈钢螺栓,与索网结构底座螺栓连接。同时每个板块通过 10 mm² 铜编织线连接 3 处,达到消除跨步电压的危险。

3) 根据 GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》(以下简称《规范》)第 5.2.7 条,金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器,并符合:

① 板间的连接应是持久的电气贯通,可采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺钉或螺栓连

接到屋面中心位置由 1 180 个不规则单元金属板块组成,外侧为 514 个气动开启天窗和直立锁边屋面。

1) 直立锁边采用 0.8 mm 厚铝合金板,外露表面采用氟碳喷涂,涂层厚度不小于 45 μm;通过用 304 奥氏体复合 ST4.8 不锈钢自攻螺钉间距 10 cm 与檩条 140 mm 方钢连接,达到电气连接的作用。

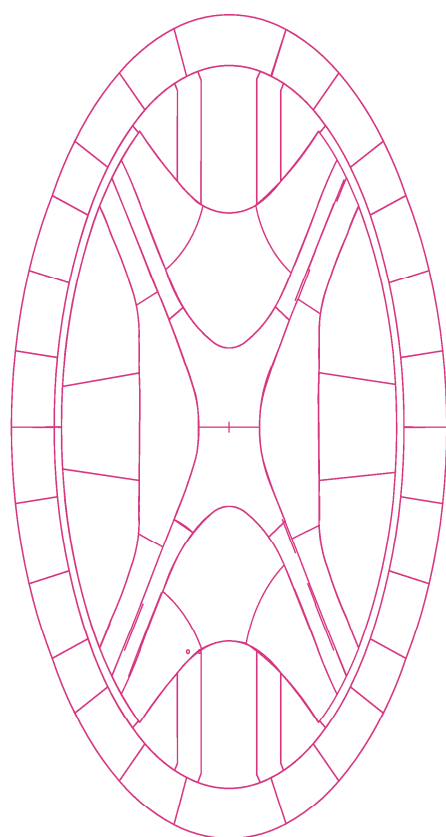
接;② 金属板下无易燃物品时,铅板厚度不小于 2 mm,不锈钢热镀锌钢、钛和铜板的厚度不应小于 0.5 mm,铝板的厚度不应小于 0.65 mm,锌板的厚度不应小于 0.7 mm。

4) 由于屋面防水的需要,在金属单元板块的上面被覆 EPDM 防水材料,此种材料为国外进口防水体系的主体材料,EPDM 主要成分为三元乙丙橡胶,厚度 1.5 mm,不符合《规范》第 5.2.7 条中规定的金属板无绝缘被覆层(薄的油漆保护层、沥青层或 0.5 mm 厚聚氯乙烯层均不属于绝缘被覆层)。由于材料特殊在国内应用较少,规范中没有明确的文字说明。

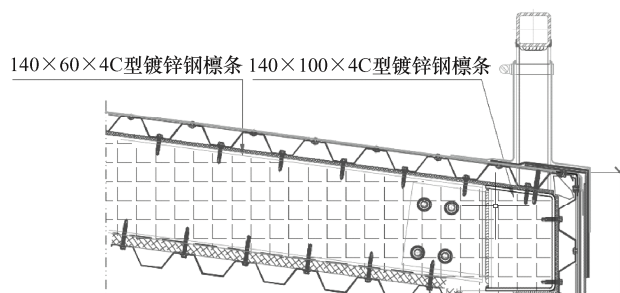
5) 在防雷深化和屋面深化中考虑到建筑幕

墙设计说明中对屋面作业防坠的要求,利用 8 道屋面天沟位置的防坠栏杆 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 热镀锌方钢高度 20 cm 作为避雷带辅助保护屋面。屋面天沟为双曲面覆盖在整个屋面,但不满足二类防雷建筑 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 或 $12\text{ m}\times 8\text{ m}$ 网格要求。最终防直

击雷采用提前放电避雷针作为接闪装置,防坠装置作为辅助接闪措施。屋面天沟及天沟防坠结构示意图如图 3 所示。单元板块与索网结构连接示意图如图 4 所示。单元板块示意图如图 5 所示。



(a) 屋面天沟



(b) 天沟防坠结构

图 3 屋面天沟及天沟防坠结构示意图

Fig. 3 Roof gutter and gutter anti-falling structure

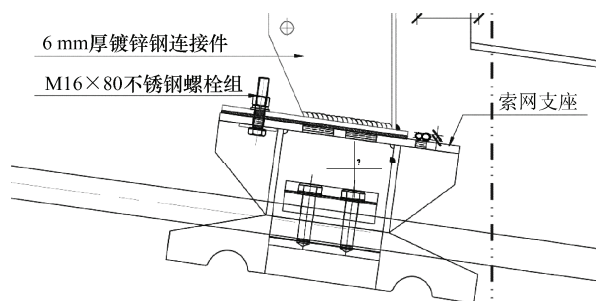


图 4 单元板块与索网结构连接示意图

Fig. 4 Connection between unit plate and cable net structure

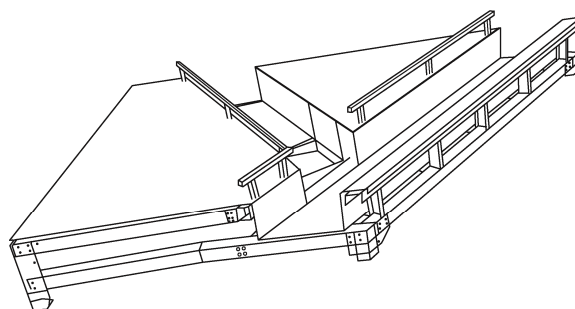


图 5 单元板块示意及板块跨接

Fig. 5 Unit plate and plate straddle

2.2 提前放电避雷针

避雷针防护范围示意图如图 6 所示。

提前放电避雷针设置位置标高为 33.8 m、24.3 m，对称分布。根据抢先放电距离和避雷针高

度，最大保护半径 96 m，可以满足建筑的防雷保护。对在屋面上安装的气象站、卫星天线和标准时钟等设置单独保护针，加强防护。避雷针安装图如图 7 所示。

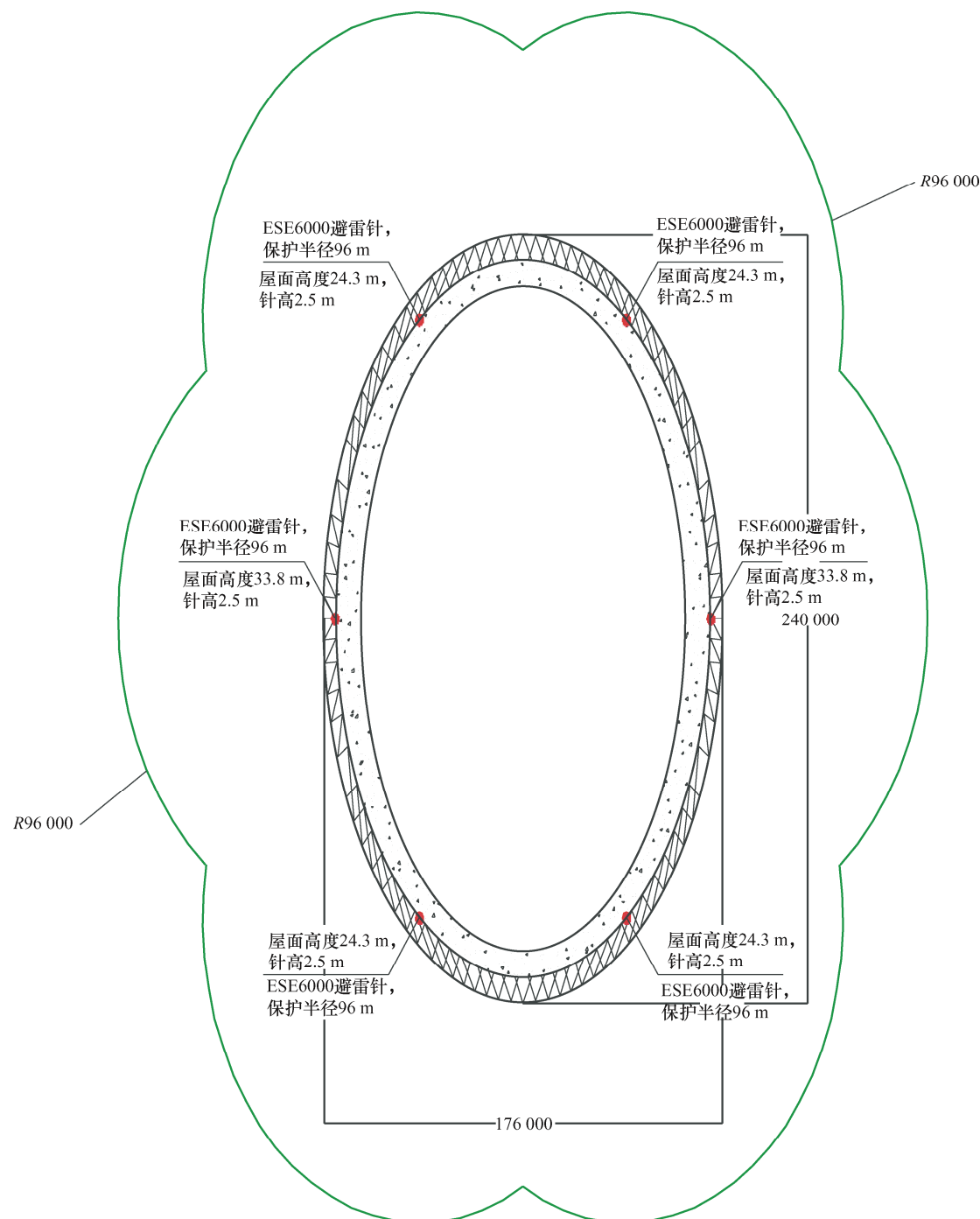
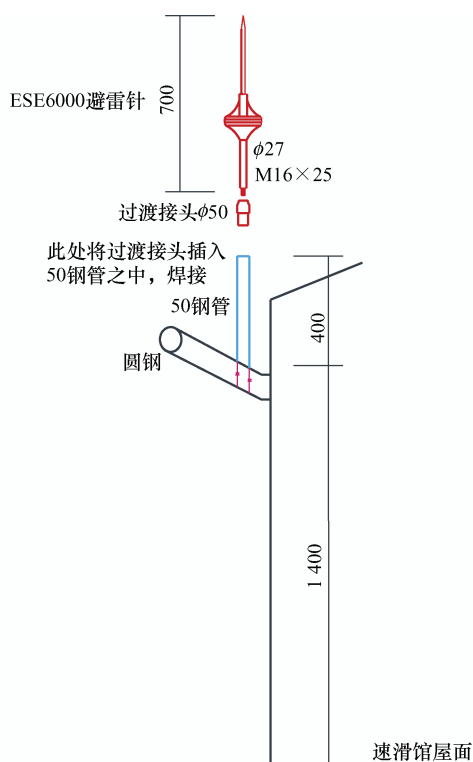


图 6 避雷针防护范围示意图
Fig. 6 Schematic diagram of lightning rod protection range



ESE6000避雷针安装示意图

图7 避雷针安装图

Fig. 7 Lightning rod installation drawing

保护半径计算公式为

$$R = \sqrt{(X + Y)^2 - (X - Z)^2}$$

式中, R 为保护半径; X 为滚球半径, $X \in \{20, 30, 45, 60, 100\}$; Y 为抢先击距, $Y \in \{25, 40, 50, 60\}$; Z 为针尖高度, $Z \in [0, X]$ 。

取二类滚球半径 45 m, 抢先击距 60 m, 速滑馆屋面 24.3 m, 避雷针总高为 2.5 m, 可得

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{(45 + 60)^2 - (45 - 2.5)^2} \\ &= \sqrt{11\,025 - 1\,806.25} \\ &= \sqrt{9\,218.75} \\ &\approx 96 \end{aligned}$$

经防雷检测单位现场测试均为 $0.01\, \Omega$ 。

3 索网及环桁架结构引下线

由于本工程采用提前放电避雷针及金属屋面防坠综合作为屋面防直接雷, 其引下线必须满足

防雷设计规范要求。屋面示意图如图 8 所示。



图8 屋面

Fig. 8 Roof

国家速滑馆采用国内最大跨度的单层双向正交马鞍形索网结构, 索网南北向最大跨度 198 m, 东西向最大跨度 124 m。屋面索网结构包括承重索和稳定索, 均为高钒封闭索, 首次采用国内加工制作技术, 完全自主研发生产。承重索和稳定索都采用双索结构, 承重索直径为 64 mm, 数量为 98 根; 稳定索直径为 74 mm, 数量为 60 根。另外, 在屋面环桁架周圈设置 120 根幕墙索, 对屋盖结构起到一个稳固作用。索网间距为 4 m, 满足《规范》引下线间距不大于 18 m 要求。索网示意图如图 9 所示。索网实景如图 10 所示。

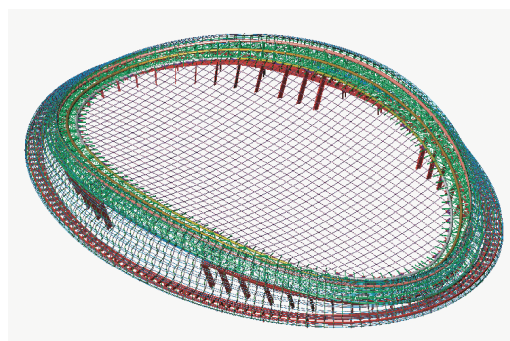


图9 索网示意图

Fig. 9 Cable net diagram

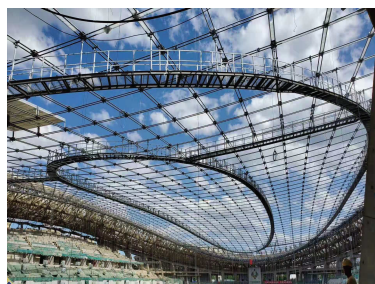


图10 索网实景

Fig. 10 Real scene of cable net

由于本工程建筑高度小于 45 m，并且为劲性和钢结构主体，在防雷引下线的布设均比较方便，外侧幕墙龙骨和钢结构均连接成一体，保证了现场防雷引下线的全结构体系的利用。示意图如图 11 所示。



图 11 外幕墙龙骨与环桁架示意图

Fig. 11 Schematic diagram of outer curtain wall structure and ring truss

4 智慧浪涌保护

本工程根据配电系统所在防护区域设置浪涌保护，逐级保护。

为解决马道等无人值守区的重要设备保护，马道区域设置了智慧浪涌保护巡查系统。

采用六类网线，相近配电柜可串联为一根信号线至采集主机。前端设备共计 52 台，两两串联线路共计 20 条线路、一对一线路为 12 条线路，各区内信号线为 8 条，总计 32 根线路。

雷电防护智能在线监控系统由设备层、传输层和管理应用层组成。

利用速滑馆内公用网络将速滑馆各区内智能采集主机连接至“公网交换机”，将各区内智能采集主机下所有电涌防护智能监测仪所采集的数据通过 TCP/IP 形式汇总至“公网交换机”，通过智能防雷监控系统统一管理、展示。智能采集服务器与电涌保护智能监测仪采用 RS 485 总线通信方式，智能采集服务器使用 TCP/IP 接入雷电防护智能在线监控系统。

系统具有可编辑总览图，支持展示、仿真仪表及多种报警功能，具有查询统计、资产管理、日志管理和权限管理增值服务。

系统具备 SPD 脱扣状态、SPD 接地状态、雷击计数统计和损坏告警等功能。智慧浪涌防护系统功能先进，适用于重要公共建筑的防雷防护，提高了防雷系统的技术水平。

5 防雷验收

从图 12 可以看到屋面人字天窗外侧金属屋面上覆盖太阳能光伏发电和金属铝板。屋面外沿钢管上部安装屋面激光射灯。提前放电避雷针高度高于灯具。



图 12 屋面太阳能光伏板及外沿射灯

Fig. 12 Roof solar photovoltaic panel and outer edge spotlight

根据《建筑物防雷设计规范》GB50057—2010 第 4.5.7 条，对第二类和第三类防雷建筑物，应符合下列规定。

没有得到接闪器保护的屋顶孤立金属物尺寸不超过下列数值时，可不要求附加保护措施：① 高出屋顶平面不超过 0.3 m；② 上层表面总面积不超过 1.0 m^2 ；③ 上层表面的长度不超过 2.0 m。

根据第 4.5.4 条规定，无金属外壳或保护网罩的用电设备应处在接闪器的保护范围内。

但在防雷验收过程中，检测单位对屋顶射灯和屋面光伏板的防雷保护提出完善建议：① 核实屋面射灯壁厚，是否可以作为接闪器；② 提供屋

面光伏设备作为接闪器的纸质文件。

根据上述要求和灯具设计院和厂家意见,灯具的外壳即使大于 2 mm,也不应作为接闪器,考虑到屋面射灯的安全性和场馆安全的重要性在射灯底座位置安装避雷短针。

对于光伏设备在图样深化过程中对防雷就有了着重的考虑,向防雷验收单位提供了图样并进行了现场实施情况验收。

6 结束语

本文以国家速滑馆防雷施工工程实例,以金属单元板块屋面、索网结构支撑体系、金属屋面、EPDM 屋面和智慧防雷检测保护等较为先进的施工技术为重点进行探讨和论述,对防雷检测验收单位的意见和完善方式进行了说明。国家速滑馆

防雷体系独特,技术先进,形式新颖,屋面结构形式为世界首例,通过防雷措施的多样化和技术创新应用使得国家速滑馆顺利投入使用。在施工过程中通过不断的深化和改进取得了良好的效果,希望为后续工程提供参考。**EA**

作者简介:



唐馨庭

唐馨庭(1976—),男,高级工程师,主要研究方向为建筑电气设计。

(收稿日期:2021-02-24)

(上接第 81 页)

并提出了问题解决方案,最终实现了机组的平稳运行。在此过程中,有以下几点收获。

1) 在兆瓦级风力发电机组中,变流器的工作机理导致系统中存在共模干扰。为降低干扰,机组配电回路的优化设计也是重要的手段。这涉及到变压器选型、接地系统设计及共模干扰抑制措施等,几个方面的设计人员需要密切配合,综合考虑,才能将对系统的干扰降到最低。这也说明在风电机组电气系统设计中,只有对其本身较深刻的认识并全面考虑,才能有效提高系统可靠性。

2) 验证了磁环在风电系统中抑制共模干扰的作用。尤其是对于干扰影响的控制系统回路设计,在实现基本功能的基础上,更需要综合考虑电气设计的可靠性。**EA**

参考文献

- [1] 米切尔·麦迪圭安. 电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 叶林, 赵燕峰. 双馈风电机组传动系统高频轴电压抑制技术开发及应用[J]. 风能, 2013(7): 70-75.

- [3] 姜艳姝, 刘宇, 徐殿国, 等. PWM 变频器输出共模电压及其抑制技术的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005(9): 47-53.
- [4] JAFAR ADABI, FIRUZ ZARE, ARINDAM GHOSH, et al. Analysis of shaft voltage in a doubly-fed induction generator[C]. Valencia: International Conference on Renewable Energies and Power Quality, 2009.
- [5] 赵燕峰, 曹国荣, 袁莹. 磁环在双馈风电变频器共模抑制中的应用[J]. 变频器世界, 2013(8): 47-54.
- [6] 杨德勇, 闵建军, 范祝霞, 等. 变流器传导干扰分析与磁环抑制作用研究[J]. 大功率变流技术, 2014(6): 33-39.

作者简介:



牟金善

牟金善(1984—),男,硕士,工程师,长期从事风力发电机组电气系统相关设计及评估工作。

(收稿日期:2021-02-28)