

团 体 标 准

T/CSNAME 172—2025

35kV 光电滑环系统设计要求

Design requirements for 35kV optoelectronic slip ring system

2025 - 09 - 05 发布

2025 - 12 - 04 实施

中国造船工程学会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计准则 2

 4.1 功能 2

 4.2 外观 2

 4.3 性能 2

 4.4 环境适应性 2

 4.5 可靠性 3

5 设计内容 3

 5.1 设计步骤 3

 5.2 系统组成 3

 5.3 回转轴系 4

 5.4 高压滑环组件 4

 5.5 光纤滑环组件 6

 5.6 适应性设计 7

 5.7 仿真分析 7

6 设计验证 8

 6.1 验证项目 8

 6.2 检测方法 8

 6.3 试验项目要求与方法 11

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：中船九江海洋装备（集团）有限公司、中船九江精达科技股份有限公司、天津海洋石油工程股份研究院。

本文件主要起草人：王能慧、叶佳钰、帅高鹏、吴海红、吴梦兰、薄夫森、孙纲文、朱韵伊、吴海燕、王传锋、刘晓华、丁德甫、周曾炜、罗彭、吕斌、文先刚、董恒、丁小光、刘学强、黄君。



35kV 光电滑环系统设计要求

1 范围

本文件规定了单点系泊系统用35kV光电滑环系统（以下简称光电滑环系统）的设计要求。
本文件适用于光电滑环系统的设计、制造和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 311.1-2012 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则
GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h循环）
GB/T 2423.16 环境试验 第2部分：试验方法 试验J和导则：长霉
GB/T 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
GB/T 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
GB/T 2423.101 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：倾斜和摇摆
GB/T 3048.8-2007 电线电缆电性能试验方法 第8部分：交流电压试验
GB/T 3906-2020 3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备
GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）
GB/T 5585.1-2018 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分：铜和铜合金母线
GB/T 6113.101-2021 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-1部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备
GB/T 6113.202-2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第2-2 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 骚扰功率测量
GB/T 7251.1-2023 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
GB/T 10250 船舶电气与电子设备的电磁兼容性
GB/T 11022-2020 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求
GB/T 12706.3-2020 额定电压1kV（Um=1.2 kV）到35kV（Um=40.5 kV）挤包绝缘电力电缆及附件 第3部分：额定电压35kV（Um=40.5kV）电缆
GB/T 16927.1-2011 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求
GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.3-2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
GB/T 17626.6-2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
GB/T 17626.16-2007 电磁兼容 试验和测量技术 0Hz~150kHz共模传导骚扰抗扰度试验
GB/T 25840-2010 规定电气设备部件（特别是接线端子）允许温升的导则
GB/T 26218.2-2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子

3 术语和定义

GB/T 11022-2020、GB/T 3906-2020、GB/T 7251.1-2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光电滑环 optoelectronic slip ring
集成光信号与电信号传输功能的旋转连接装置。

4 设计准则

4.1 功能

4.1.1 转动功能

光电滑环系统应实现360° 无限制自由旋转，转动应顺畅，无抱死、卡滞现象。

4.1.2 传输功能

光电滑环系统应具备电功率、光纤信号传输功能。

4.2 外观

光电滑环系统外观应满足下列要求：

- a) 外观应整洁，表面不应有凹坑、划伤、变形、毛刺及其他缺陷，金属不得有锈蚀、机械损伤，灌胶物不得外溢；
- b) 标牌应包含生产厂家、型号、生产编号、生产日期，标牌字迹清晰，附着牢固。

4.3 性能

光电滑环系统性能指标应符合表1要求。

表1 光电滑环系统性能

项目		技术指标
高压滑环组件	环路数	≥4环
	转速	≥2 r/min
	传输电压	≥35 kV
	单路传输电功率	≥20MVA
	通路接触电阻值	≤0.4m Ω
	通路接触电阻变化量	≤0.3 m Ω；
	绝缘阻值	≥99G Ω /5000V/DC
	电气间隙	≥300 mm
	爬电距离	≥560 mm
光纤滑环组件	通路数	≥1路
	通路损耗	≤10 dB
	光传输速率	≥10 Gbps
	误码率	≤1×10 ⁻⁷

4.4 环境适应性

4.4.1 高温

光电滑环系统应具有在55 ℃±2 ℃高温环境中，正常工作的能力。应具有在运输、贮存过程中耐高温的能力。

4.4.2 低温

光电滑环系统应具有在-30 ℃±2 ℃低温环境中，正常工作的能力。应具有在运输、贮存过程中耐低温的能力。

4.4.3 湿度

光电滑环系统应具有在相对湿度45%～95%环境中，正常工作的能力。

4.4.4 盐雾

光电滑环系统应具有在盐雾环境中，正常工作的能力。

4.4.5 霉菌

光电滑环系统应具有在霉菌环境中，正常工作的能力。

4.4.6 倾斜摇摆

光电滑环系统应具有在倾斜、摇摆情况时，正常工作的能力。

4.4.7 防护等级

光电滑环系统外壳防护等级应满足GB/T 4208-2017中IP66要求。

4.5 可靠性

光电滑环系统平均故障间隔时间应不小于2000 h。

5 设计内容

5.1 设计步骤

光电滑环系统设计步骤如图1所示。

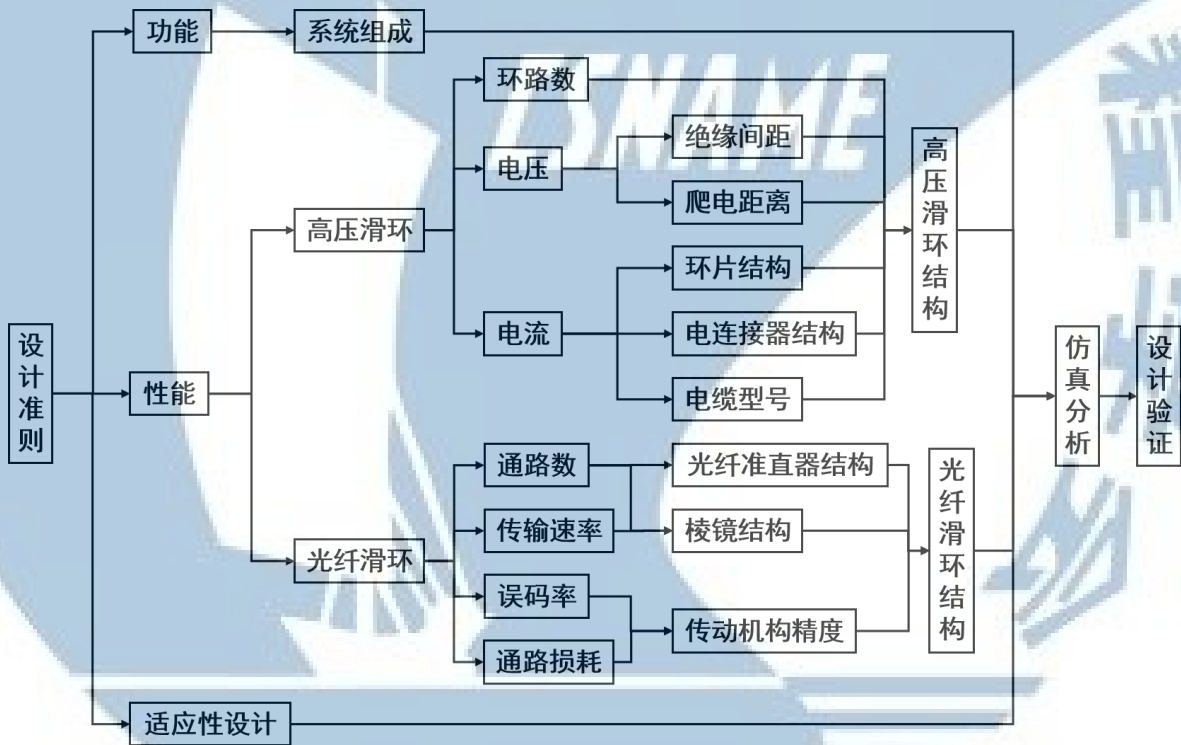


图1 光电滑环系统设计步骤

5.2 系统组成

光电滑环系统应满足正转、反转、正转-反转-正转等工况下不同速度的运动模式，其系统组成为光纤滑环组件、高压滑环组件、回转轴系及主体框架，其工作原理如图2所示，其结构示例如图3所示。

光纤滑环组件实现光信号稳定传输，高压滑环组件实现电信号稳定传输，回转轴系保证信号旋转传输功能，主体框架是光电滑环系统安装、吊装、倾斜摇摆等载荷传递的主要支撑结构。

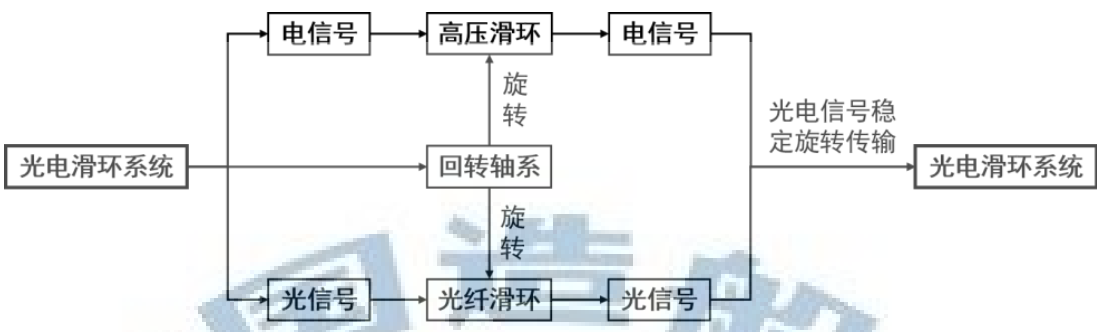
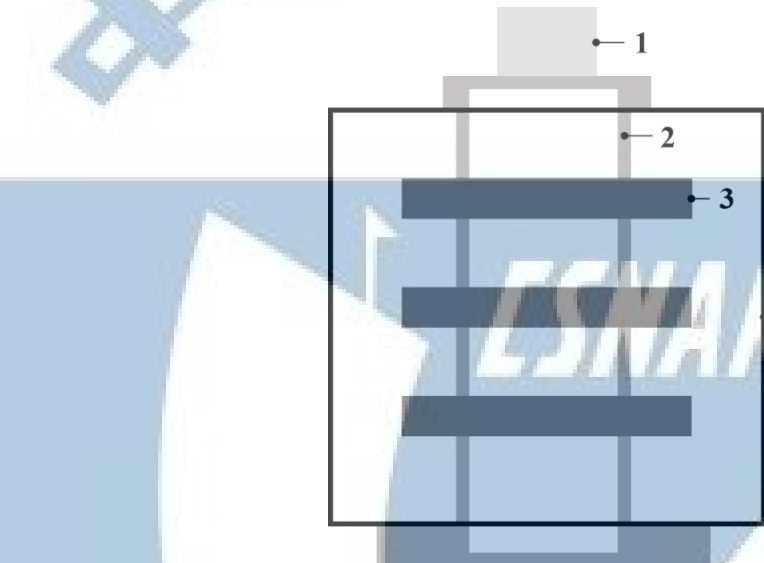


图2 光电滑环系统工作原理图



标引序号说明：
1——光纤滑环组件；
2——回转轴系；
3——高压滑环组件；
4——主体框架。

图3 光电滑环系统结构示例图

5.3 回转轴系

回转轴系是保证高压电滑环内部轴系稳定回转的主要结构，应由主轴、主支撑轴承和辅助回转轴承组成。

主轴应采用精密加工保证回转轴系与环片组件的同心度与同轴度，可采用空心结构减少不均匀热膨胀现象。主支撑轴承及辅助回转轴承的选型应满足承载能力、动态性能和环境适应性等要求。

5.4 高压滑环组件

5.4.1 工作原理

光电滑环系统中高压滑环组件的作用为旋转传输电信号，其工作原理如图4所示。

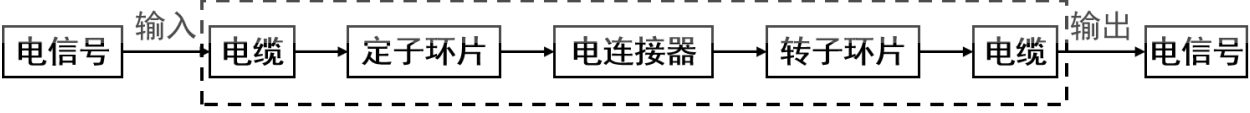


图4 高压滑环组件工作原理图

5.4.2 结构

高压滑环组件主要由定子环片、转子环片、电连接器、绝缘子、电缆等组成，其单环路结构示例图如图5所示，图中箭头为电信号传输方向。转子环片可采用绝缘子堆叠式安装于回转主轴上，转子环片通过电连接器与定子环片相连，定子环片可通过绝缘子与外壳连接固定，定子环片与转子环片应采用电连接器连接并实现功率信号的稳定传输。

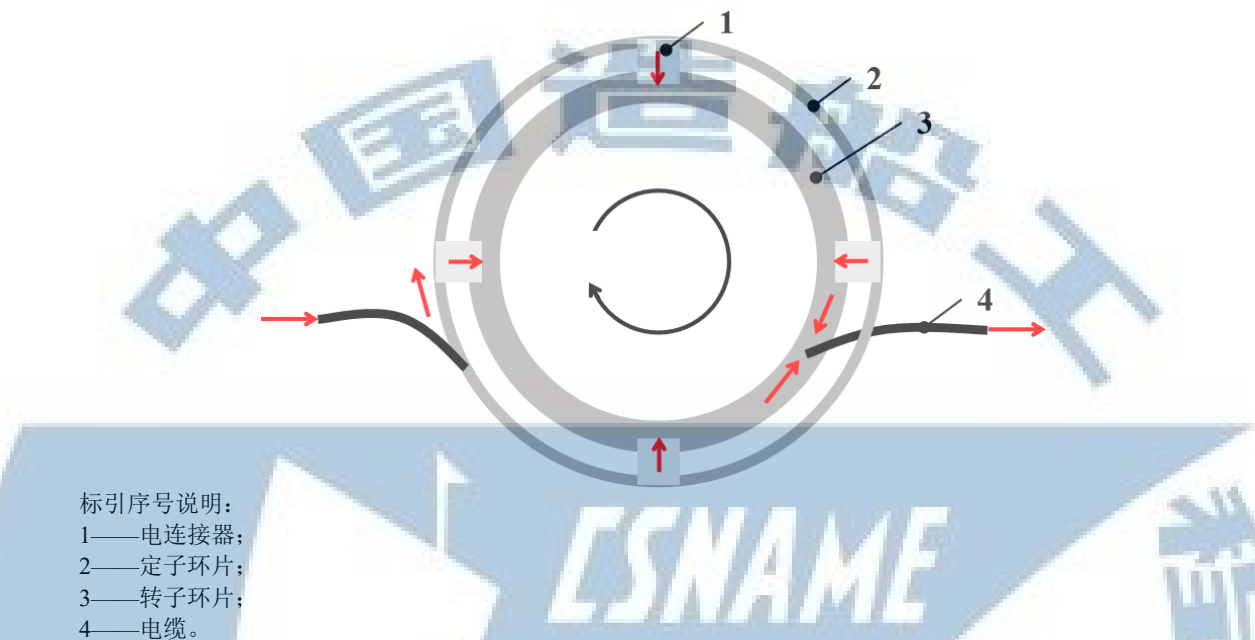


图5 高压滑环单环路结构示例图

5.4.3 零件尺寸及选型

零件尺寸及选型应符合下列要求：

- 1) 定子环片、转子环片及电连接器应满足传输额定电流的能力，定子环片与转子环片尺寸设计按照GB/T 5585.1-2018规定；
- 2) 绝缘子尺寸应满足电气间隙及爬电距离的要求，绝缘子选型按照GB/T 26218.2-2010规定；
- 3) 电缆的选型按照GB/T 12706.3-2020规定。

5.4.4 绝缘距离

- 1) 按照GB/T 311.1-2012规定确定最小绝缘距离；
- 2) 光电滑环系统的绝缘间距需保障额定电压载荷条件下，不会发生击穿现象，以采用空气绝缘为例，即环-环以及环-壳之间的电场强度需小于空气极限场强（10kV/cm），环-环以及环-壳之间的电场强度可以简化为两个平板之间电场强度以及两个同心圆之间的电场强度，分别按照公式（1）和公式（2）计算。

$$E_1 = U/d \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 E_1 ——两个平板之间的电场强度，单位为千伏每厘米（kV/cm）；
 U ——传输额定电压，单位为千伏（kV），宜取35kV；
 d ——绝缘间距，单位为厘米（cm）。

$$E_2 = eU/R \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 E_2 ——两个同心圆之间的电场强度，单位为千伏每厘米（kV/cm）；
 e ——同心圆内外圆半径比，常数；
 R ——同心圆外圆半径，单位为厘米（cm）。

5.5 光纤滑环组件

5.5.1 工作原理

光电滑环系统中光纤滑环组件的作用为旋转传输光信号，其工作原理如图6所示。

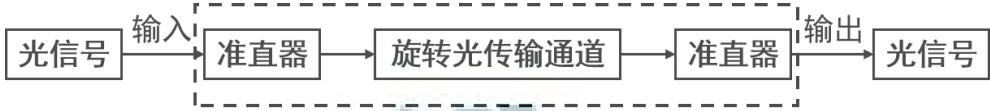
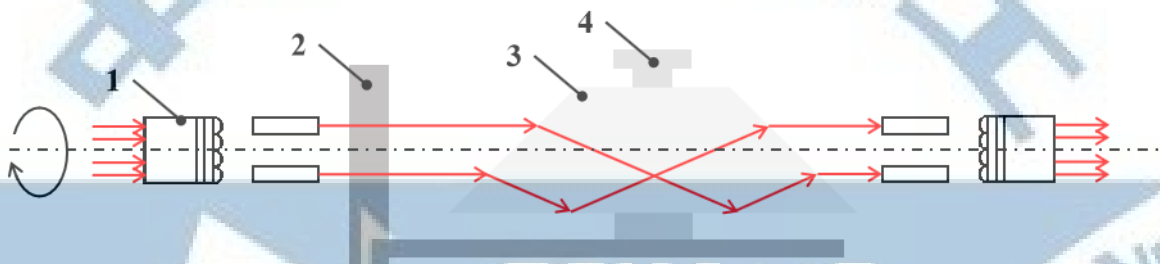


图6 光纤滑环组件工作原理图

5.5.2 结构

光纤滑环组件主要由光纤准直器、传动机构、棱镜及微调结构等组成，其结构示例如图7所示，图中箭头为光信号流向。

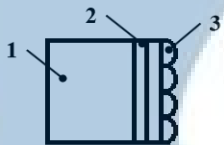


- 标引序号说明：
- 1——光纤准直器；
 - 2——传动机构；
 - 3——棱镜；
 - 4——微调结构。

图7 光纤滑环组件结构示例图

5.5.3 光纤准直器

光纤滑环组件应采用由光纤阵列、玻璃和透镜阵列组成的多路光纤准直器，其结构示例如图8所示。



- 标引序号说明：
- 1——光纤阵列；
 - 2——玻璃；
 - 3——透镜阵列。

图8 光纤准直器结构示例图

5.5.4 棱镜

光纤滑环组件应能使旋转输入的光信号能够稳定实时输出。

光纤滑环组件应采用Dove棱镜传输旋转光信号，并通过传动机构使Dove棱镜的转速为光电滑环系统转速的一半。

为减少光信号的反射，可在Dove棱镜的斜面镀覆增透膜。

5.5.5 传动机构

光纤滑环组件的传动机构设计时需满足：

- 1) 保证光纤滑环组件两端光纤阵列在旋转传输条件下稳定转动，即不产生角度上和位移上明显的跳动，对光信号传输产生明显扰动；

2) 保证Dove棱镜的转速为光电滑环系统转速的一半。

5.6 适应性设计

5.6.1 温度适应性设计

光电滑环系统温度适应性设计应采取以下措施：

- a) 选用工作温度 $-35^{\circ}\text{C}\sim+90^{\circ}\text{C}$ 的材料和器件，满足温度环境要求；
- b) 电流密度大的电接触材料采用冗余、柔性接触，保障环境适应性。

5.6.2 倾斜摇摆适应性设计

光电滑环系统倾斜摇摆适应性设计应采取以下措施：

- a) 用带弹片的组合螺钉固定结构，进行减振处理；
- b) 所有结构紧固螺纹件先点螺纹胶，再紧固。

5.6.3 湿度、盐雾和霉菌设计

光电滑环系统防潮、防盐雾、防霉菌设计应采取以下措施：

- a) 外表面采用喷漆处理，确保光电滑环系统具有防盐雾和防霉菌的特性；
- b) 外壳表面无凹陷式设计，不会出现积水，造成腐蚀；
- c) 内部采用密封结构，保障光电滑环系统的密封性能。

5.6.4 电磁兼容性设计

光电滑环系统电气部分应采取以下措施：

- a) 采用屏蔽电缆、双通套管和填料函，电缆屏蔽层与填料函 360° 完整搭接；
- b) 箱体与箱盖、填料函与箱体安装接触面使用导电密封条或导电密封垫；
- c) 所有可拆卸盖板与主体框架之间均使用接地线连接；
- d) 光电滑环系统不受外界电磁干扰，光可稳定传输。

5.7 仿真分析

5.7.1 高压绝缘

光电滑环系统高压绝缘仿真方案设计主要步骤如下：

- a) 建立仿真模型：对由环片组件、电缆通道与环及壳体之间的高压传输核心部分的电场分布建立仿真模型研究；
- b) 简化仿真模型：采用仿真软件进行仿真研究，参考实际结构模型以及电场传输方式，对样机模型进行适当的简化，针对仿真目的以减少仿真时间；
- c) 数值分析：通过初步数值分析，确定仿真的电场强度等数值结果。同时，基于样机模型，开展工作电压、短时工频耐压、雷击电压的高压绝缘电场仿真分析。

5.7.2 电磁热

光电滑环系统电磁热仿真方案设计主要步骤如下：

- a) 建立仿真模型：对铜基复合电刷块和环片等电流传输的核心部位进行电磁热仿真模型研究；
- b) 简化仿真模型：采用仿真软件进行仿真研究，对环片模型进行适当的简化；
- c) 数值分析：通过初步数值分析，确定仿真的温度场、电磁场等数值结果，判断高压滑环是否可以满足4.3技术指标要求。

5.7.3 抗倾斜摇摆

光电滑环系统抗倾斜摇摆仿真方案设计主要步骤如下：

- a) 建立仿真模型：
高压传输设备的核心部位（主体框架结构、轴承与环片组件）在不同倾斜角度下易出现应力与应变集中现象。需对整机模型开展多倾斜工况下的强度仿真分析。
- b) 简化仿真模型：

- 采用仿真软件进行仿真研究，对样机模型进行适当简化。
- c) 数值分析：
通过初步数值分析，确定仿真的结构强度等数值结果。基于样机模型，进行 0°、-15°、-30°的倾斜角度下整机的强度仿真分析，得到样机模型的最大位移，集中应力强度，判断光电滑环系统是否满足技术指标要求。

6 设计验证

6.1 验证项目

光电滑环系统检测及试验项目如表2 和表3 。

表2 检测项目

序号	项目类别	项目名称	要求章节	方法章节	验收	校准
1	功能要求	转动功能	4.1.1	6.2.1	√	-
2		电传输功能	4.1.2	6.2.2	√	√
3		外观	4.2	6.2.3	√	√
4	性能	合格环路	4.3	6.2.4	√	√
5		滑环转速	4.3	6.2.5	√	√
6		绝缘电阻	4.3	6.2.6	√	√
7		通路接触阻值	4.3	6.2.7	√	√
8		通路接触阻值变化量	4.3	6.2.8	√	√
9		电气间隙	4.3	6.2.9	√	-
10		爬电距离	4.3	6.2.10	√	-
11		合格通路	4.3	6.2.11	√	√
12		通路损耗	4.3	6.2.12	√	√
13		光传输速率	4.3	6.2.13	√	√
14		误码率	4.3	6.2.14	√	√

注：“√”为必须进行的项目，“-”为不必进行的项目。

表3 试验项目

序号	试验对象	项目名称	要求章节	方法章节	是否通电	是否转动
1	光电滑环系统	工频耐受电压试验	6.3.1.1	6.3.1.2	是	是
2		雷击试验	6.3.2.1	6.3.2.2	否	否
3		温升试验	6.3.3.1	6.3.3.2	是	否
4		交变湿热试验	6.3.4.1	6.3.4.2	是	是
5		耐冲击电压试验	6.3.5.1	6.3.5.2	是	是
6		高温试验	4.4.1/6.3.6.1	6.3.6.2	是	是
7		低温试验	4.4.2/6.3.7.1	6.3.7.2	是	是
8		盐雾试验	4.4.4/6.3.8.1	6.3.8.2	是	是
9		霉菌试验	4.4.5/6.3.9.1	6.3.9.2	是	是
10		倾斜摇摆试验	4.4.6/6.3.10.1	6.3.10.2	是	是
11		防护等级试验	4.4.7/6.3.11.1	6.3.11.2	是	是
12		可靠性试验	4.5/6.3.12.1	6.3.12.2	是	是
13		电磁兼容性试验	6.3.13.1	6.3.13.2	是	是

6.2 检测方法

6.2.1 转动功能

- 6.2.1.1 将光电滑环系统与专用转动工装台面进行安装固定，电机通过减速器带动转子环片旋转。
- 6.2.1.2 设置光电滑环系统转速为 2r/min，正转、反转时间均为 10min，期间观察产品转动状况。
- 6.2.1.3 光电滑环系统能实现 360° 无限制自由旋转，转动顺畅，无抱死、卡滞现象，则合格。

6.2.2 电传输功能

6.2.2.1 将光电滑环系统每一环进行首尾串联，在外环定子端第一环及最后一环引出导线用于接入直流稳压电源设备。测试串联电阻 R ，用于计算理论电压。

6.2.2.2 启动直流稳压电源，设置输出模式为恒流模式，将调节旋钮左旋，调节电流至 1A，关闭直流稳压电源。将光电滑环系统外环定子端第一环及最后一环引出的导线接入直流稳压电源的正负极（先进行低压滑环通电测试，后进行光电滑环系统通电测试）。

6.2.2.3 设置光电滑环系统转速为 2r/min，转动时间为 10min，期间观察产品转动状况。

6.2.2.4 开启直流稳压，调整电流为 1A（可根据实际情况调整），持续 10min，期间持续检测产品电压，记录电压值的最大值 V_{max} 和最小值 V_{min} 。

6.2.2.5 计算光电滑环系统理论电压 V 及光电滑环系统波动电压 $|V - V_{min}|$ 或 $|V - V_{max}|$ ，波动电压/理论电压不大于 5%，则合格。

6.2.3 外观

采用卷尺、游标卡尺等量具进行测量，并结合放大镜目视法，符合设计工艺图纸要求则合格。

6.2.4 合格环路

使用数字万用表“蜂鸣”档检测光电滑环系统各环路，将光电滑环系统任一环定子端、转子端电缆分别接入万用表正极、负极，万用表发出持续的“滴滴”声即环路导通。

6.2.5 滑环转速

6.2.5.1 将光电滑环系统的高压电滑环环路进行串联，形成回路。

6.2.5.2 将光电滑环系统装入专用转动平台。

6.2.5.3 启动直流稳压电源，设置输出模式为电流模式，调节电流至 1A，关闭直流稳压电源；将滑环装置的串联环路首、尾端分别接入直流稳压电源正、负极。

6.2.5.4 设定光电滑环系统转速为设计最高转速。

6.2.5.5 开启直流稳压，调节电流至 1A 电流；启动驱动电机。

6.2.5.6 持续运转 10min，期间持续观测光电滑环系统的转动情况；直流稳压电源电流跳动情况。

6.2.6 绝缘电阻

6.2.6.1 将光电滑环系统安装固定于检测平台上。

6.2.6.2 将光电滑环系统的内环引线通过导线全部连接在一起作为测试 A 端，将光电滑环系统的壳体作为测试 B 端，将光电滑环系统的 A 端和 B 端对应与 5000V 兆欧表正极、负极相连，摇动摇表读取摇表数据 M_1 并记录。

6.2.6.3 将光电滑环系统的内环引线通过导线全部焊接在一起作为测试 A 端，随后任意从 A 端焊接取下 1 环作为测试 B 端，将光电滑环系统的 A 端和 B 端对应与 5000V 兆欧表正极、负极相连，摇动摇表读取摇表数据；之后继续取下 A 端任意 1 环重新作为测试 B 端进行测量，直至 A 端引线剩下 1 根，记录检测过程绝缘电阻值 M_i 。

6.2.7 通路接触电阻值

6.2.7.1 将光电滑环系统安装固定于检测平台上。

6.2.7.2 开启微欧姆计，将微欧姆计调到自动挡，将测试端短接，显示电阻值为 $0m\Omega$ ，确认仪器正常后，开启电机控制光电滑环系统转动。

6.2.7.3 将微欧姆计的正、负极分别接入每一环路的定子端和转子端，读取微欧姆计读数，记录每环路通路接触电阻值。

6.2.7.4 关闭电源、微欧姆计，将各焊接串联导线断开。

6.2.8 通路接触阻值变化量

6.2.8.1 将光电滑环系统安装固定于检测平台上。

6.2.8.2 将光电滑环系统的定子端电缆和转子端导线均通过 1m 长度的导线进行焊接（测试记录导线的电阻 R_1 ）。

- 6.2.8.3 开启微欧姆计，将微欧姆计调到自动挡，将测试端短接，显示电阻值为 0mΩ，确认仪器正常后，开启电机控制光电滑环系统转动。
- 6.2.8.4 将微欧姆计的正、负极分别接入定子端和转子端的对应环路上。
- 6.2.8.5 控制光电滑环系统旋转至 0°、90°、180°、270°，分别读取 4 个测试点的“微欧姆计”的读数，取测试点的最大值 R_{max} 与最小值 R_{min} 之差 R，则 R 为该被测环路的通路接触阻值变化量。记录每串联环路通路接触阻值变化量。
- 6.2.8.6 关闭电源、微欧姆计，将各焊接串联导线断开。

6.2.9 电气间隙

- 6.2.9.1 内部两个高压导电环之间或其与设备保护接口之间的最短绝缘间隙通过设计保证，通过查看各型号的绝缘端子尺寸图纸，及零部件入司复检报告。
- 6.2.9.2 外部接口处绝缘间隙通过使用卷尺测量两个高压导电环之间或其与设备保护接口之间的最短距离。

6.2.10 爬电距离

沿绝缘表面测量的两个高压导电环之间或与设备保护接口之间的内部最短爬电距离通过设计保证，通过查看各型号的绝缘端子尺寸图，及零部件入司复检报告。

6.2.11 合格通路

在光纤滑环一端导入激光光源，在另一端观察是否有光闪，有光闪则合格。

6.2.12 通路损耗

- 6.2.12.1 打开光源，使其发出光信号。使用光功率计测量输出功率，记录结果作为参考值 P_i 。
- 6.2.12.2 将光源和光功率计连接在测试光纤两端，保证光纤跳线和适配器连接稳定可靠，打开光源，测量光功率 P_o 。
- 6.2.12.3 按照公式（3）计算光纤通路插入损耗。

$$IL = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 IL ——光纤通路插入损耗；
 P_o ——光功率；
 P_i ——输出功率。

- 6.2.12.4 如果 IL 不大于 10dB，则合格。

6.2.13 光传输速率

- 6.2.13.1 光传输速率测试原理图如图 9 所示。

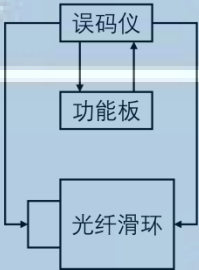


图9 光传输速率测试原理图

- 6.2.13.2 按照图 9 连接测试系统。
- 6.2.13.3 设置误码仪的数据率为设计最高速率，运行数据收发功能，接通电源后进行数据传输。
- 6.2.13.4 分析误码率数据，若误码率不超过 10^{-7} ，则光传输速率合格。

6.2.14 误码率

6.2.14.1 按照图 9 连接测试系统。

6.2.14.2 设置误码仪的数据率为 10Gbps，运行数据收发功能，接通电源后进行数据传输。

6.2.14.3 分析误码率数据，若误码率不超过 10^{-7} ，则误码率合格。

6.3 试验项目要求与方法

6.3.1 工频耐受电压试验

6.3.1.1 要求

6.3.1.1.1 试验电压及时间应按照 GB/T 16927.1-2011 中 6.3.1 规定。

6.3.1.1.2 试验过程中，光电滑环系统无击穿、闪络现象。

6.3.1.1.3 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.1.2 方法

6.3.1.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.1.2.2 按照 GB/T 16927.1-2011 进行工频耐受电压试验。

6.3.1.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.2 雷击试验

6.3.2.1 要求

6.3.2.1.1 光电滑环系统应能承受 GB/T 11022-2020 表 1 确定的额定雷电冲击耐受电压 U_p 峰值。

6.3.2.1.2 雷击试验电压按照 GB/T 16927.1-2011 中章节 7.2 规定。

6.3.2.1.3 试验过程中光电滑环系统无击穿、闪络现象。

6.3.2.1.4 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.2.2 方法

6.3.2.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.2.2.2 按照 GB/T 16927.1-2011 进行光电滑环系统雷击试验。

6.3.2.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.3 温升试验

6.3.3.1 要求

6.3.3.1.1 光电滑环系统仅对高压滑环组件作温升要求，应满足 GB/T 25840-2010 表 6 要求的温升及温度极限。

6.3.3.1.2 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.3.2 方法

6.3.3.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.3.2.2 按照 GB/T 2423.22 进行光电滑环系统温升试验。

6.3.3.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值，将其静止 1h 冷却。

6.3.4 交变湿热试验

6.3.4.1 要求

6.3.4.1.1 试验条件应满足 GB/T 2423.4 要求。

6.3.4.1.2 试验过程中光电滑环系统应能正常通电,转动无异常。

6.3.4.1.3 试验后,绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.4.2 方法

6.3.4.2.1 试验前,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.4.2.2 按照 GB/T 2423.4 进行光电滑环系统交变湿热试验。

6.3.4.2.3 试验后,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.5 耐冲击电压试验

6.3.5.1 要求

6.3.5.1.1 光电滑环系统应能承受 GB/T 11022-2020 表 1 确定的耐冲击电压 U_d 峰值。

6.3.5.1.2 试验过程中,光电滑环系统无击穿、闪络现象。

6.3.5.1.3 试验后,绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.5.2 方法

6.3.5.2.1 试验前,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.5.2.2 按照 GB/T 3048.8-2007 进行耐冲击电压试验。

6.3.5.2.3 试验后,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.6 高温试验

6.3.6.1 要求

6.3.6.1.1 试验条件应满足 GB/T 2423.2 要求。

6.3.6.1.2 试验过程中光电滑环系统应能正常通电,转动无异常。

6.3.6.1.3 试验后,绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.6.2 方法

6.3.6.2.1 试验前,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.6.2.2 按照 GB/T 2423.2 进行光电滑环系统高温试验。

6.3.6.2.3 试验后,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.7 低温试验

6.3.7.1 要求

6.3.7.1.1 试验条件应满足 GB/T 2423.1 要求。

6.3.7.1.2 试验过程中光电滑环系统应能正常通电,转动无异常。

6.3.7.1.3 试验后,绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.7.2 方法

6.3.7.2.1 试验前,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.7.2.2 按照 GB/T 2423.1 进行光电滑环系统低温试验。

6.3.7.2.3 试验后,按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.8 盐雾试验

6.3.8.1 要求

- 6.3.8.1.1 试验条件应满足 GB/T 2423.17 要求。
- 6.3.8.1.2 试验后，光电滑环系统表面应满足表 4 规定，且绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

表4 盐雾试验持续时间

底金属	镀层	试验持续时间/h	合格判据
碳钢	锌	48	主要表面无浅绿色腐蚀物
碳钢	最外层镀铬	48	主要表面无棕锈
铜及铜合金	镍铬	96	主要表面无浅绿色腐蚀物
铜及铜合金	镍	48	主要表面无浅绿色腐蚀物
铜及铜合金	银、金	24	主要表面无铜绿
铜及铜合金	锡	48	主要表面无灰黑色腐蚀物

6.3.8.2 方法

- 6.3.8.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.8.2.2 按照 GB/T 2423.17 进行光电滑环系统盐雾试验。
- 6.3.8.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值，检查被试设备外观。

6.3.9 霉菌试验

6.3.9.1 要求

- 6.3.9.1.1 试验条件应满足 GB/T 2423.16 要求，对光电滑环系统进行为期 56d 的霉菌试验。
- 6.3.9.1.2 试验后，光电滑环系统未出现物理损伤、通电正常、转动正常，且绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.9.2 方法

- 6.3.9.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.9.2.2 按照 GB/T 2423.16 进行光电滑环系统霉菌试验。
- 6.3.9.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值，检查被试设备外观。

6.3.10 倾斜和摇摆试验

6.3.10.1 要求

- 6.3.10.1.1 试验应按照 GB/T 2423.101 表 A.1 及表 A.2 确定试验等级。
- 6.3.10.1.2 试验过程中，光电滑环系统应能正常通电，转动无异常。
- 6.3.10.1.3 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.10.2 方法

- 6.3.10.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.10.2.2 按照 GB/T 2423.101 进行光电滑环系统倾斜和摇摆试验。
- 6.3.10.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.11 外壳防护试验

6.3.11.1 要求

- 6.3.11.1.1 试验条件及合格判据应按照 GB/T 4208-2017 中规定。
- 6.3.11.1.2 试验过程中，光电滑环系统应能正常通电，转动无异常。
- 6.3.11.1.3 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.11.2 方法

- 6.3.11.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.11.2.2 按照 GB/T 4208-2017 进行外壳防护试验。
- 6.3.11.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.12 可靠性试验

6.3.12.1 要求

- 6.3.12.1.1 试验过程中，光电滑环系统应能正常通电，转动无异常。
- 6.3.12.1.2 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.12.2 方法

- 6.3.12.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.12.2.2 设置光电滑环系统电压为额定电压、电流为额定电流、转速为额定转速，进行可靠性试验。
- 6.3.12.2.3 试验周期大于 7d，光电滑环系统正反转分别计算周期进行可靠性试验。
- 6.3.12.2.4 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

6.3.13 电磁兼容性试验

6.3.13.1 要求

- 6.3.13.1.1 试验项目列于表 5。

表5 电磁兼容性试验项目

序号	试验项目	试验要求
1	传导发射试验	GB/T 6113.101-2021
2	辐射发射试验	GB/T 6113.202-2018
3	静电放电抗扰度试验	GB/T 17626.2-2018
4	射频电磁场辐射抗扰度试验	GB/T 17626.3-2023
5	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	GB/T 17626.4-2018
6	浪涌（冲击）抗扰度试验	GB/T 17626.5-2019
7	射频场感应的传导骚扰抗扰度	GB/T 17626.6-2017
8	0Hz~150kHz共模传导骚扰抗扰度试验	GB/T 17626.16-2007

- 6.3.13.1.2 试验要求及合格判据应按照 GB/T 10250 中 5、6 和 7 的规定。
- 6.3.13.1.3 试验后，绝缘电阻、通路接触阻值变化量、光纤通路损耗值结果应满足 4.3 性能指标。

6.3.13.2 方法

- 6.3.13.2.1 试验前，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。
- 6.3.13.2.2 按照表 6 所列项目和标准进行电磁兼容性试验。

表6 电磁兼容性试验方法

序号	试验项目	试验方法参考标准
1	传导发射试验	GB/T 6113.101-2021
2	辐射发射试验	GB/T 6113.202-2018
3	静电放电抗扰度试验	GB/T 17626.2-2018
4	射频电磁场辐射抗扰度试验	GB/T 17626.3-2023
5	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	GB/T 17626.4-2018
6	浪涌（冲击）抗扰度试验	GB/T 17626.5-2019
7	射频场感应的传导骚扰抗扰度	GB/T 17626.6-2017
8	0Hz~150kHz共模传导骚扰抗扰度试验	GB/T 17626.16-2007

6.3.13.2.3 试验后，按 6.2.6、6.2.8 和 6.2.12 方法检测光电滑环系统高压滑环组件绝缘电阻、通路接触阻值变化量和光纤滑环组件通路损耗值。

