

ICS 37.060.10

CCS N 42

# 团体标准

T/CEATEC XXX—2026

## 沉浸式球幕显示系统视觉舒适度 评价规范

Code for visual comfort evaluation of immersive spherical dome display  
system

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 评价要求 .....       | 2  |
| 4.1 一般评价要求 .....   | 2  |
| 4.2 评价体系框架 .....   | 2  |
| 4.3 评价人员要求 .....   | 2  |
| 5 评价指标 .....       | 2  |
| 5.1 主观评价指标 .....   | 2  |
| 5.2 客观评价指标 .....   | 3  |
| 6 试验方法 .....       | 5  |
| 6.1 试验条件 .....     | 5  |
| 6.2 主观评价试验 .....   | 5  |
| 6.3 亮度试验 .....     | 5  |
| 6.4 色度试验 .....     | 5  |
| 6.5 蓝光危害试验 .....   | 5  |
| 6.6 散斑对比度试验 .....  | 5  |
| 6.7 眩光试验 .....     | 5  |
| 6.8 色域与白点试验 .....  | 6  |
| 6.9 刷新率试验 .....    | 6  |
| 7 评分规则 .....       | 6  |
| 7.1 主观评价得分计算 ..... | 6  |
| 7.2 客观评价得分计算 ..... | 6  |
| 7.3 综合评价得分计算 ..... | 7  |
| 8 评价结果 .....       | 7  |
| 8.1 等级划分 .....     | 7  |
| 8.2 评价报告 .....     | 7  |
| 8.3 复评与有效期 .....   | 8  |

# 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

# 沉浸式球幕显示系统视觉舒适度评价规范

## 1 范围

本文件规定了沉浸式球幕显示系统视觉舒适度评价的评价要求、评价指标、试验方法、评分规则及评价结果。

本文件适用于采用数字投影或LED显示技术的沉浸式球幕显示系统的视觉舒适度评价。

## 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 20145 灯和灯系统的光生物安全性
- GB/T 34075 普通照明用 LED 产品光辐射安全测量方法
- GB/T 36617 数字影院质量 银幕亮度、色度和均匀度
- GB/T 43590.502 激光显示器件 第 5-2 部分：散斑对比度光学测量方法
- JB/T 14697 球幕放映系统

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**沉浸式球幕显示系统** immersive spherical dome display system

采用球幕或穹幕形态、覆盖观众视野大于等于180°、以数字投影或LED拼接方式呈现图像内容，使观众获得沉浸式观看体验的显示系统。

### 3.2

**视觉舒适度** visual comfort

观察者在特定光照和显示环境下，对所观测的视觉信息的主观感知舒适程度，是衡量显示系统视觉表现质量的重要指标。

### 3.3

**亮度均匀度** luminance uniformity

屏幕上指定测量区域内亮度最小值与平均值之比，用于表征屏幕亮度分布的均匀程度。

### 3.4

**中心亮度** central luminance

中心亮度 $L_c$ 按以下方式确定：采用9点法测量时，以球幕有效区域中心点的实测亮度值作为中心亮度；若采用中心区域多点平均法，则按公式（1）计算：

$$L_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $L_c$ ——中心亮度，单位为坎德拉每平方米（cd/m<sup>2</sup>）；
- $n$ ——中心区域测量点数量；

$L_i$ ——第*i*个测量点的亮度值，单位为坎德拉每平方米（ $\text{cd}/\text{m}^2$ ）。

### 3.5

**色度均匀度 chromaticity uniformity**

屏幕上指定测量区域内各测点色度坐标与中心点色度坐标之间偏差的最大值。

### 3.6

**蓝光危害加权辐亮度 blue light hazard weighted radiance**

在300nm~700nm波长范围内，按蓝光危害加权函数 $B(\lambda)$ 加权后的光谱辐亮度积分值，以 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 为单位，符号为LB。

### 3.7

**散斑对比度 speckle contrast**

激光投影显示中，由于激光相干性在屏幕上产生的亮暗颗粒状随机图案的对比度，以散斑图像亮度标准差与均值之比C表示。

### 3.8

**主客观综合评价 comprehensive subjective-objective evaluation**

将客观仪器测量的光学性能参数与经过训练的观察者主观视觉评价相结合，对显示系统视觉舒适度进行综合判定的评价方法。

### 3.9

**顺序对比度 sequential contrast**

在暗室条件下，屏幕中心全白场亮度与全黑场亮度之比。

## 4 评价要求

### 4.1 一般评价要求

#### 4.1.1 评价原则

沉浸式球幕显示系统的视觉舒适度评价应遵循科学性、客观性、可重复性和可比较性原则。

#### 4.1.2 资质要求

评价工作应由具备相关资质的第三方检测机构或经认证的实验室执行，评价人员应经过专业培训并具备视觉显示和光度学测量方面的专业知识。

### 4.2 评价体系框架

视觉舒适度评价采用主客观综合评价方法，两部分按加权计算得出综合评价结果：

- a) 主观评价通过观察者评分获取视觉感知舒适度数据；
- b) 客观评价通过仪器测量获取光学性能参数数据。

### 4.3 评价人员要求

4.3.1 主观评价观察者人数应不少于15人，年龄范围为20~55岁，视力表检查矫正视力不低于1.0，无色盲或色弱等视觉缺陷。

4.3.2 观察者应在评价前进行视觉舒适度评价培训，熟悉评价量表和评分规则。

4.3.3 主观评价应在暗适应时间不少于10min后进行，连续评价时长不超过60min，期间应安排不少于10min的休息。

## 5 评价指标

### 5.1 主观评价指标

主观评价采用五级量表评分法，观察者在标准观测位置对球幕显示系统的各项视觉舒适度指标进行独立评分，主观评价具体指标见表 1。

表1 主观评价指标及评分范围

| 评价维度                                                        | 评价内容                          | 评分范围  |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|
| 画面清晰度                                                       | 图像细节分辨能力、文字可读性、边缘锐利程度         | 1～5 分 |
| 色彩自然度                                                       | 色彩还原的真实性、肤色还原的准确性、色彩过渡的平滑性    | 1～5 分 |
| 亮度舒适度                                                       | 整体亮度水平的舒适程度、亮暗过渡的自然性、高亮区域的刺眼感 | 1～5 分 |
| 画面均匀性                                                       | 亮度分布的均匀程度、无明显亮暗区域、融合拼接的平滑性    | 1～5 分 |
| 视觉疲劳度                                                       | 连续观看后的眼部疲劳感、眩晕感、视觉不适感         | 1～5 分 |
| 注：视觉疲劳度指标评分方向为分值越高代表越舒适（5 分=无疲劳，1 分=严重疲劳），其余四项指标亦为分值越高表现越佳。 |                               |       |

5.2 客观评价指标

5.2.1 球幕中心亮度要求

球幕放映系统的中心亮度应满足 JB/T 14697 的要求，综合考虑视觉舒适度要求，具体中心亮度指标见表 2。

表2 球幕中心亮度等级要求

| 等级 | 2D 中心亮度/(cd/m²) | 3D 中心亮度/(cd/m²) | 说明                                            |
|----|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| 优  | ≥30             | ≥15             | 参考 GB/T 36617，数字影院 2D 标准≥48cd/m²，考虑球幕光学特性适当放宽 |
| 良  | 10～30（不含 30）    | 5～15（不含 15）     | 参考 JB/T 14697 基本要求                            |
| 合格 | 5～10（不含 10）     | 2.5～5（不含 5）     | 最低可接受亮度，不低于 JB/T 14697 基本要求                   |

5.2.2 亮度均匀度要求

球幕银幕亮度均匀度应满足 GB/T 36617 的要求，结合球幕曲面的光学特性，亮度均匀度以屏幕有效区域中心 9 点法测量，取最小亮度值与平均亮度值之比，具体要求见表 3。

表3 亮度均匀度等级要求

| 等级 | 亮度均匀度/%      | 说明              |
|----|--------------|-----------------|
| 优  | ≥80          | 画面亮度分布高度均匀      |
| 良  | 65～80（不含 80） | 存在可接受的轻微亮度差异    |
| 合格 | 50～65（不含 65） | 存在明显但不影响观看的亮度差异 |

5.2.3 顺序对比度要求

顺序对比度应满足 JB/T 14697 的要求，具体对比度等级见表 4。

表4 对比度等级要求

| 等级 | 顺序对比度                  | 说明              |
|----|------------------------|-----------------|
| 优  | ≥2000:1                | 画面层次丰富，暗部细节表现优秀 |
| 良  | 1200:1～2000:1（不含 2000） | 满足行业标准基本要求      |

|    |                       |          |
|----|-----------------------|----------|
| 合格 | 800:1~1200:1（不含 1200） | 最低可接受对比度 |
|----|-----------------------|----------|

5.2.4 色度均匀度要求

色度均匀度以色度坐标差值衡量，融合区色度坐标差值应满足 JB/T 14697 的要求，在球幕有效区域内选取中心点和不少于 8 个均匀分布的测量点，计算各点色度坐标与中心点色度坐标差值  $\Delta u' v'$ ，取最大值，具体见表 5。

表5 色度均匀度等级要求

| 等级 | $\Delta u' v'$ 最大值 | 说明               |
|----|--------------------|------------------|
| 优  | $\leq 0.010$       | 色差人眼不可分辨         |
| 良  | 0.011~0.020        | 轻微色差，对沉浸感影响极小    |
| 合格 | 0.021~0.030        | 可察觉色差，但不影响整体观看体验 |

5.2.5 蓝光危害要求

沉浸式球幕显示系统的蓝光危害等级设置应满足 GB/T 20145 的要求，在正常工作亮度下，按 GB/T 20145 规定的蓝光危害加权函数  $B(\lambda)$  计算加权辐亮度 LB，应满足  $LB \leq 100W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ，蓝光危害等级应为 RG0（无危险类）。

5.2.6 散斑对比度要求

散斑对比度要求具体见表 6。

表6 散斑对比度等级要求

| 等级 | 散斑对比度        | 说明            |
|----|--------------|---------------|
| 优  | $\leq 3\%$   | 人眼基本不可察觉散斑    |
| 良  | 3%~6%（不含 3）  | 轻微散斑，不影响整体观看  |
| 合格 | 6%~10%（不含 6） | 可察觉散斑，但画面仍可接受 |

5.2.7 眩光控制要求

具体要求如下：

- a) 屏幕表面不应产生镜面反射眩光，在标准观测位置，屏幕反射的环境光形成的眩光源亮度应不超过屏幕显示亮度的10%。
- b) 多投影机融合区域不应出现明显亮度叠加亮带，融合区的亮度差异应控制在相邻区域平均亮度的±15%以内。
- c) 在观众席任意位置，来自设备自身的直接光照射度不应大于0.5 lx，投影机或LED模组不应直接向观众位置发出可感知的直射光。

5.2.8 色域与白点要求

显示系统的色域覆盖率和白点色温是影响色彩还原准确性和视觉舒适度的重要指标，具体要求见表 7。

表7 色域与白点等级要求

| 等级 | 色域覆盖率（DCI-P3）/% | 白点色温/K    | 说明                |
|----|-----------------|-----------|-------------------|
| 优  | $\geq 90$       | 6500±500  | 色彩还原准确，白点接近标准 D65 |
| 良  | 80~90（不含 90）    | 6500±1000 | 轻微色偏，不影响整体观看体验    |
| 合格 | 70~80（不含 80）    | 6500±1500 | 可察觉色偏，但仍在可接受范围    |

5.2.9 刷新率要求

沉浸式球幕显示系统的刷新率具体要求见表 8。

表8 刷新率等级要求

| 等级 | 刷新率/Hz         | 说明                 |
|----|----------------|--------------------|
| 优  | $\geq 120$     | 无闪烁感，动态画面流畅，视觉舒适度高 |
| 良  | 60~120（不含 120） | 轻微闪烁，不影响整体观看体验     |
| 合格 | 30~60（不含 60）   | 可察觉闪烁，但画面仍可接受      |

6 试验方法

6.1 试验条件

- 除另有规定外，所有试验应在以下环境条件下进行：
- a) 环境温度：23℃±2℃；
  - b) 相对湿度：55%±10%；
  - c) 背景光照度：≤10 lx；
  - d) 暗室条件：墙壁和地面反射率≤0.05，无外部光源干扰；
  - e) 设备预热时间：≥30min。

6.2 主观评价试验

6.2.1 准备阶段

选择不少于 15 名符合要求的观察者，进行视觉舒适度评价培训和量表说明，所有观察者应在暗室中完成不少于 10min 的暗适应。

6.2.2 测试素材

使用标准测试图像序列，包括全白场、全黑场、色彩渐变图、自然风景图像、高对比度图像、动态视频片段（含快速运动场景）等，总时长不少于 20min。

6.2.3 评价流程

观察者在标准观测位置依次观看各测试素材，每个素材观看结束后立即在评分表上对五个评价维度进行独立评分，评价过程中禁止交流讨论。

6.2.4 数据处理

计算每个评价维度所有观察者评分的算术平均值和标准差，当标准差大于 1.5 时，应分析异常数据并决定是否剔除或重新评价，各维度平均得分按百分制换算：百分制得分=（平均得分-1）/4×100。

6.3 亮度试验

- 亮度试验采用精度不低于±5%的光度计，应按GB/T 36617的规定执行，具体步骤如下：
- a) 将球幕显示系统调整至全白场输出状态，等待亮度稳定；
  - b) 采用9点法在球幕有效区域内测量亮度值；
  - c) 使用全黑场输出状态，在中心点测量黑场亮度值；
  - d) 计算中心亮度、亮度均匀度、顺序对比度；
  - e) 重复测量3次，取平均值作为最终结果。

6.4 色度试验

色度试验采用经过校准的光谱辐射计或色度计，应按GB/T 36617的规定执行。

6.5 蓝光危害试验

蓝光危害试验应按照GB/T 34075的规定执行。

6.6 散斑对比度试验

散斑对比度试验应按GB/T 43590.502的规定执行。

6.7 眩光试验

眩光评价采用仪器测量与主观评价相结合的方法：

- a) 仪器测量使用亮度计在观众席典型位置（中心位置及左右各30° 偏移位置），测量屏幕的反射眩光亮度和投影设备直射光的照度；
- b) 主观评价在标准观测条件下，观察者对眩光的感知程度进行评分，评分纳入主观评价的视觉疲劳维度；
- c) 测量投影设备或LED模组直射观众席的照度，确认不大于0.5 lx；
- d) 在多投影机融合区域测量亮度差异，确认在相邻区域平均亮度的±15%以内。

6.8 色域与白点试验

- 色域与白点试验采用经过校准的光谱辐射计或色度计，具体步骤如下：
- a) 将球幕显示系统调整至标准白场输出状态，等待色度稳定；
  - b) 在球幕中心位置测量色度坐标（u' , v' ）和相关色温，记录白点色温值；
  - c) 使用标准色域测试图测量系统可显示的色域范围，计算DCI-P3色域覆盖率；
  - d) 重复测量3次，取平均值作为最终结果。

6.9 刷新率试验

- 刷新率试验采用经过校准的光电探测器或示波器，具体步骤如下：
- a) 将球幕显示系统调整至全白场输出状态；
  - b) 使用光电探测器测量屏幕亮度随时间的变化波形；
  - c) 通过示波器或频率分析仪计算刷新率；
  - d) 在球幕有效区域内选取不少于3个测量点进行测量，取最小值作为最终结果；
  - e) 对于支持可变刷新率的系统，应在最高和常用刷新率模式下分别测量。

7 评分规则

7.1 主观评价得分计算

主观评价权重占比为40%，各主观评价维度按6.2.4规定的方法换算百分制得分，再计算主观评价总分，主观评价总分*Score subj*按公式（2）计算：

$$Score\ subj = \frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5}{5} \dots\dots\dots (2)$$

- 式中：
- Score subj*——主观评价总分；
  - D1*——画面清晰度；
  - D2*——色彩自然度；
  - D3*——亮度舒适度；
  - D4*——画面均匀性；
  - D5*——视觉疲劳度。

7.2 客观评价得分计算

7.2.1 客观评价指标

客观评价权重占比为60%，应按照第5章规定的等级进行评分，优=100分，良=75分，合格=50分，不合格=0分，各客观评价指标的权重分配见表9。

表9 客观评价指标权重分配

| 客观评价指标 | 权重/% | 单项满分贡献/分 |
|--------|------|----------|
| 球幕中心亮度 | 18   | 18       |
| 亮度均匀度  | 14   | 14       |
| 顺序对比度  | 14   | 14       |

|       |    |    |
|-------|----|----|
| 色度均匀度 | 12 | 12 |
| 蓝光危害  | 14 | 14 |
| 散斑对比度 | 10 | 10 |
| 眩光控制  | 8  | 8  |
| 色域与白点 | 6  | 6  |
| 刷新率   | 4  | 4  |

注 1：蓝光危害满足第 5.2.5 条全部要求 ( $LB \leq 100W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$  且为 RG0 级) 时，得分为 100 分；不满足时，得分为 0 分。  
注 2：眩光控制满足第 5.2.7 条 a)、b)、c) 三项全部要求时，得分为 100 分；任意一项不满足时，得分为 0 分。

7.2.2 计算公式

客观评价总分*Score obj*按公式 (3) 计算：

$$Score\ obj = \sum (W_i \times S_i) \dots\dots\dots (3)$$

式中：  
*Score obj*——客观评价总分；  
*W<sub>i</sub>*——第*i*项指标的权重（以小数表示）；  
*S<sub>i</sub>*——第*i*项指标的得分（按等级转换为百分制得分）。

7.3 综合评价得分计算

综合评价得分为客观评价得分与主观评价得分的加权之和，当客观评价或主观评价任一单项得分低于 60 分时，综合评价得分应取按公式 (4) 计算所得加权之和与该单项得分两者中的较小值：

$$Score\ total = 0.6 \times Score\ obj + 0.4 \times Score\ subj \dots\dots\dots (4)$$

式中：  
*Score total*——综合评价得分。

8 评价结果

8.1 等级划分

根据综合评价得分，沉浸式球幕显示系统视觉舒适度评价结果划分为五个等级，具体见表 10。

表10 视觉舒适度评价等级划分

| 等级  | 综合得分范围/分 | 标志说明                       |
|-----|----------|----------------------------|
| 卓越级 | ≥90      | 综合评价得分达到卓越水平，整体视觉舒适度表现优异   |
| 优秀级 | 80~90    | 综合评价得分达到优秀水平，整体视觉舒适度表现良好   |
| 良好级 | 70~80    | 综合评价得分达到良好水平，整体视觉舒适度可接受    |
| 合格级 | 60~70    | 综合评价得分达到合格水平，整体视觉舒适度基本满足要求 |
| 不合格 | <60      | 综合评价得分低于合格线，建议针对低分项进行整改    |

8.2 评价报告

评价完成后，评价机构应出具正式的评价报告，报告应包含以下内容：

- a) 评价机构名称、评价日期和评价人员信息；
- b) 被评价系统的基本信息，包括系统类型、球幕直径、投影机数量或LED模组数量、光源类型、分辨率等；
- c) 测试环境条件记录，包括温度、湿度、背景光照度等；

- d) 各客观评价指标的测量数据、计算过程和单项得分；
- e) 各主观评价指标的观察者评分统计（平均值、标准差）和单项得分；
- f) 综合评价得分和等级；
- g) 评价结论和改进建议（如有）；
- h) 评价负责人签字和评价机构盖章。

### 8.3 复评与有效期

8.3.1 评价结果有效期为2年，在有效期内，当系统进行光源更换、投影机更换、银幕更换或系统升级等可能影响视觉舒适度的重大变更时，应重新进行评价；有效期届满后，如需继续使用评价结果，应申请复评，复评程序与初次评价相同。

8.3.2 对于评价结果为不合格的系统，整改完成后可申请重新评价；整改内容应针对不合格项制定具体的改进方案，并在重新评价时提供整改报告。

---