

体育场馆场地照明配电及控制系统分析

解读体育场馆场地照明配电设计的规范要求，重点介绍场地照明配电系统的设计思路 and 措施，对比各种配电方式的可靠性、经济性和合理性；分析场地照明灯具的特性及配电系统对其影响，分析电压偏差对场地照明的影响及相应解决方案，介绍场地照明配电系统设备的选择，介绍场地照明控制方式以及合理的方案。

徐中磊/北京市建筑设计研究院有限公司



徐中磊/工程师

体育场馆结构空间复杂，使用功能繁多，在电气照明设计方面相对一般建筑要复杂很多。其系统运行、配电方式和控制功能均有其独特的一面。

体育场馆照明灯光设计根据不同比赛功能要求，需要符合国家以及相关赛会标准，对场地照明的水平照度、垂直照度、均匀度、色温、显色指数和眩光指数等参数均需满足，而且有相对完善的检测标准，通过简单的照度计算是不能满足要求的，需要由专业的计算软件并结合具体的灯具参数进行分析计算。这个过程在工程设计中一般由专业的灯具厂家和灯光设计工作室精细化设计完成，不在本次讨论范围。

本文重点讨论比赛场馆照明的配电设计以及控制方式，从系统的安全性、可靠性、经济性和合理性逐一展开论述。

关键词/Keywords

场地照明 ·

电压损失 ·

UPS不间断电源 ·

智能控制 ·

电源及系统运行

1. 负荷等级

体育场馆场地照明负荷等级根据体育建筑的使用要求，区别对待，应符合表1中的要求。

2. 电源

场地照明的电源可分为电力系统电

表1 场地照明电源负荷等级分析

场地照明 负荷等级	负荷等级	供电要求	备注
特级 体育场馆	特别重要 负荷	双路电源 + 应急电源	应引入赛时 应急电源
甲级 体育场馆	一级负荷	双路电源	宜引入赛时 应急电源
乙级及以下 体育场馆	二级负荷	宜双回路 供电	根据条件适当增加 赛时应急电源

源和自备电源。

(1) 电力系统电源

电力系统电源除满足建筑供电负荷等级外，可根据赛时要求增设赛时电源。电源的引入需要协调当地供电部门解决，此电源必须能保证不间断运行，对于平时供电负荷可靠等级较低的用户可采取赛时引接更为可靠的供电电源。

(2) 自备电源

常用的自备电源主要为不间断电源系统（UPS）以及柴油发电机组电源。

柴油发电机组一般选择设置低压应急母线段，场地照明的用电可由该母线段供电，在重要比赛中柴油发电机组可作为主用电源来供电。

UPS不间断电源设施一般装设在配电箱末端，在最末一级设置备用电源，保证重大比赛的供电可靠性。备用电源的适用性分析如表2所示。

配电方式

由于场地照明的特殊性，场地照明的配电系统应为放射方式，与其他照明系统分开；避免因其他故障影响到场地照明系统。

采用双路电源末端切换的方式保证

表2 备用电源的适用性分析

电源类型	设置场所	适用场合	特点分析
电力系统	体育场馆配电室	平时供给的地区电网不稳定，赛时可设置	需要协调上级供电部门，整体供电的可靠性提高，但对于照明系统，
电源	高压或低压母线段	专线供电线路，并可服务于其他赛时负荷	由于高低压配电级数较多距离较长，还需要末端接入更可靠的自备电源
自备柴油	体育场馆配电室	对于有特级负荷要求以及重要的比赛用电	可靠性相对较高，重要负荷可共用发电机组，且可赛时作为主用电源
发电机组	低压应急母线段	要求的场所，场地照明负荷与其他重要负荷	使用，经济性好，但主备用电源切换时间无法满足照明金属卤化物灯光
		共用柴油发电机组	源的瞬时起动特性
自备UPS	体育场馆灯光配	对场地照明负荷要求更高的场所，可满足	可实现不间断供电，电源在最末端转换，可满足金属卤化物灯的瞬时
不间断	电箱末端出线段	不间断电源要求	起动要求，可靠性最高，经济性差，大容量UPS装置会产生谐波等电源
电源			污染

供电的可靠性是常用的方式，但应根据用电设备对电源的要求具体配置，因场地照明对供电切换时间的特殊性，仅靠双路互投的方式是不够的，必要时还需要增加不间断电源。

末端灯具的配电可采用双路电源交叉配电方

式，保证某一路电源失电，还能保证场地灯光有一半点亮，而且呈均匀状态，能保证比赛和应急转播的正常进行。

图1为场地照明典型配电系统分析，具体可根据场馆及赛事的重要程度分别配置。

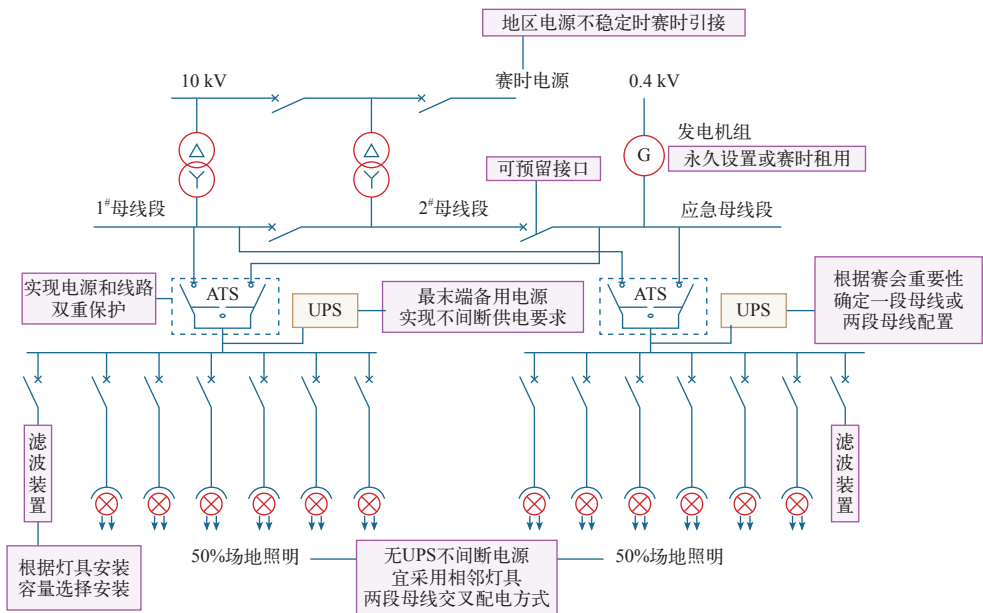


图1 场地照明配电系统分析

电压偏差对场地照明的影响

1. 电压偏差对照明的影响

体育场馆单体面积大，负荷分散，尤其体育场馆照明的灯具一般布置在罩棚和屋顶马道，从竖向距离到水平距离跨度都非常大，必须进行电压降计算，以满足最终使用要求。

电源电压偏移对金属卤化物灯的影响：灯具

的端电压不宜过高或过低，电压过高会影响光源寿命；电压低于额定值，会使光通量下降，照度降低。金属卤化物灯光通量随电压偏移变化如表3所示。金属卤化物灯的光电特性与电源电压关系如图2所示。

表3 金属卤化物灯光通量随电压偏移变化

电压偏移 (%)	-2.5	-5	-10	+5	+10
光通量变化 (%)	-8	-17	-32	+12	+30

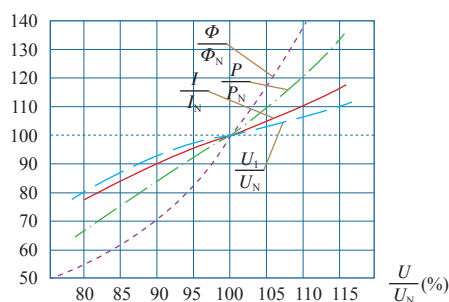


图2 金属卤化物灯的光电特性与电源电压关系

图2中, Φ 为光源光通量; P 为光源功率; I 为光源电流; U_l 为光源电压; U_N 为额定值。

以上分析可以看出, 电源电压的偏差对于金属卤化物灯的光通量损失影响很大, 灯具电压偏移过大, 会造成灯具的发光效率变化明显, 对于场地照明有转播要求的场所, 对照度值的影响也非常大, 因此一定要使灯具保持在额定电压下运行。按照规范要求, 照明电压偏差应该在 $\pm 5\%$ 范围以内, 金属卤化物灯的标称电压一般分为 220 V 和 380 V 两种, 对于不同的电压等级的灯具, 电压偏差影响的程度也不同, 因此需要通过计算加以分析。

图3是某体育场的灯光配电电压损失分析, 变压器至灯光配电间距离 200 m, 灯光配电间至罩棚上方最远端灯具 160 m。经过计算, 末端电压降 $\Delta U = 5.41\%$, 超出了电压偏差值范围, 无法满足设备的正常使用。需要通过增多配电电缆的方式或者减少供电距离的方式来保证设备运行。

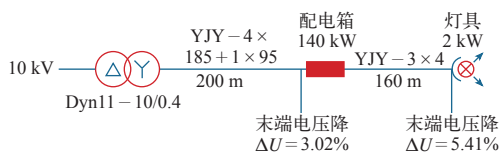


图3 常规灯光配电电压配电损失

2. 改善电压损失的方法

1) 方式1。通过增加电缆截面降低电压损失。具体情况如图4所示。

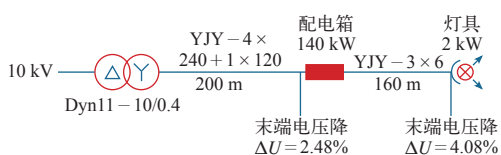


图4 通过增加电缆截面降低电压损失

2) 方式2。通过减少供电距离降低电压损失。具体情况如图5所示。

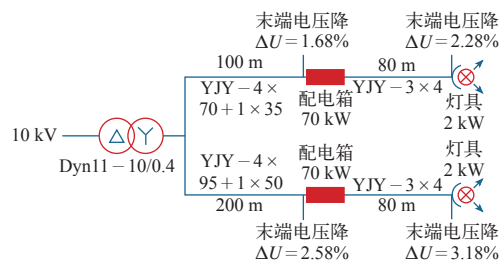


图5 通过减少供电距离降低电压损失

需要考虑的是放大电缆与减少供电距离的权衡, 减少供电距离势必会增加供电设备, 增加设备投资, 但是如果为了减少供电设备, 通过单纯增加电缆截面积的方式有些时候可能投资会更高, 但最终的目的是为了保证照明灯具的正常运行, 保证场地照明的照度要求, 如何确定这个临界值需要详细的分析比较才能得出。

配电设备的选择

1. ATS装置的应用

自动转换开关 (ATS) 在体育场馆中使用较为广泛, 它按照短路能力分为 PC 级、CB 级和 CC 级。ATS 的操作分为自投自复、自投不自复和手动操作等形式。其中自投不自复方式主要应用于电源转换瞬间失电造成不良后果的回路, 主要应用于场地照明的电源切换。

根据金属卤化物灯的特性, 单一采用 ATS 装置是不能满足场地照明连续性要求的, 它主要是保证电源的可靠性, 在时间特性上还需要 UPS 不间断电源装置来补充。

2. UPS 的应用

体育场馆的场地灯光一般采用金属卤化物光源灯具, 金属卤化物灯对电源的不间断性要求很高, 允许瞬间中断时间要求 ≤ 5 ms, 一般 PC 级 ATS 转换开关无法达到要求, 采用静态转换开关 (STS) 和不间断电源系统 (UPS) 才能满足照明的可靠性, 这其中 UPS 电源由于自身带有稳压装置、切换时间短, 有着其特有的优势, 是大型体育场馆比赛场地照明配电的必要配置。

重要场馆在末端增加在线式UPS电源柜起到了电源净化的作用,通过UPS内部的整流装置可以稳定输出电压,保证灯具设备的最佳运行。目前一些可快速切换的应急电源系统(EPS)也能达到灯具供电的不间断要求,设计时可根据具体情况选择。

由于UPS整流设备大量发热及相应产生的谐波,需要增加配套治理设备,如机房空调器、滤波装置等,而随着这些设备增加会增加初始投资和后期维护的费用,经济性较差,适合应用于甲级以上体育场馆及重要比赛项目的场馆。

3. 线缆及开关的选择

大量金属卤化物灯回路容易形成三相不平衡电流,以及灯具自身产生的谐波电流,电缆的中性线应满足这些要求,具体应按照《低压配电设计规范》来进行验证。

由于金属卤化物灯配套的触发器电压较高,因此由触发器至灯具光源的配线电缆标称电压不应小于1 000 V。

选择高质量、匹配性好的开关设备也能增加线路可靠性。

场馆照明控制

1. 智能照明控制系统

体育场馆场地照明的控制是一项功能性强、技术性高和难度较大的控制系统,要最大地满足

各种体育项目比赛要求,同时也要确保观众进场、出场和观看期间的安全问题。根据比赛的不同项目和级别,将各个场馆设置的基本控制模式为:比赛模式、电视转播模式、训练模式、观众入退场、清洁模式和应急照明模式。根据相关标准对场地照明控制的要求,对有转播要求的宜采用集中智能照明控制系统。

2. 智能照明控制系统的组成

场地照明控制系统由系统单元、输入单元和输出单元三部分组成。除电源设备外,每一单元设置唯一的单元地址,并用软件设定其功能。智能照明控制系统采用先进的电子电器和通信技术,可实现单点、双点、多点、区域、群组控制、场景设置、定时开关和现场实时监控。

体育场馆设置有专用的灯光控制室,需要设置监控系统后台,可以实时操作并检测场地照明的状态。小型的体育场馆可以利用智能控制面板来实现场景的操作。

图6为典型的智能照明控制系统结构。

3. 智能照明控制系统应用

场地照明的灯具一般采用大功率金属卤化物灯,由于灯具功率大,起动电流大,一般的控制元件无法满足其起动电流的特性,所以控制系统需要特别注意。照明接触器及控制器元件对灯具的耐受能力分析如表4所示。

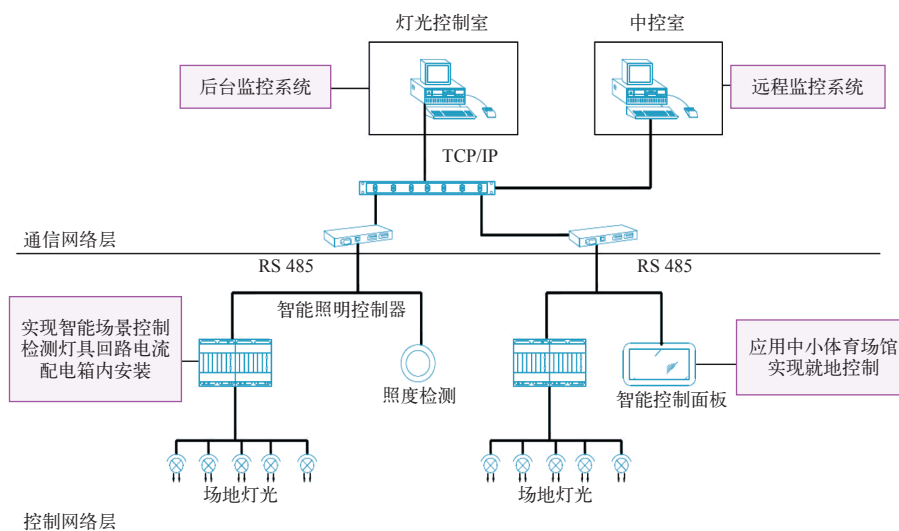


图6 典型的智能照明控制系统结构

表4 照明接触器及控制器元件对灯具的耐受能力分析

金属卤化物灯参数		每相允许灯的数量— 对于照明接触器、控制器				并联补偿 电容量 /μF
		20	24	40	63	
功率/W	I_n/A					
35	0.25	—	5	11	30	6
70	0.45	—	3	5	18	12
150	0.75	—	1	3	9	20
250	1.5	—	1	2	7	33
400	2.5	—	1	2	6	35
1 000	5.8	—	—	—	2	95
2 000	11.5	—	—	—	2	148
2 000 (400 V)	6.6	—	—	1	2	58

注：根据厂家实际测试结果得出。

通过表4分析以及以往工程经验，普通的照明接触器及控制器元件无法满足灯具起动电流特性的要求，而且由于起动及控制元件一体化容易造成元件发热，故障率增高，场馆照明控制方式宜采用以下几种控制方式来实现。

(1) 通过接触器方式控制

采用接触器方式控制灯具的开启，再利用系统控制元件控制接触器触头实现灯具的开关。此种方式功能灵活，可实现现场手动控制、异地控制和远程控制等。

(2) 专用金属卤化物灯照明继电器控制

采用专业的金属卤化物灯照明控制继电器直接控制灯具回路，能满足灯具起动电流的特性，控制箱系统简单，开关元器件少，大大减小开关柜尺寸，并节约造价。

(3) 智能控制器直接控制

对于非金属卤化物灯光源的小容量投光灯可采用智能控制器直接控制，如一些训练场地的应急照明灯具控制。

4. 智能照明控制系统主要实现功能

(1) 场景模式以及起动顺序

事先按照各种体育比赛的照度标准、照明质量的要求预先编好照明控制模式，实现对各个比赛场景模式的切换。

由于金属卤化物灯起动电流为工作电流的1.2~1.8倍，第一次起动时间一般为4~10 min，必须限制投入使用。通过智能照明控制系统控制在每种模式下需起动的每盏灯具，或每组灯具按顺

序起动，减少整个回路的起动电流。

(2) 对灯具回路电流的监测

显示全部比赛场地照明灯具的工作状态，对每个回路的工作电流进行实时监测。

统计记录所控制的每盏或每组灯具光源的使用时间，预计光源的使用寿命，并提前报告需要更换的即将到使用寿命期的光源。

(3) 照度检测功能

通过亮度传感器检测场地照度，记录并显示不同等级照明场景所需的照度是否满足需要，如达不到要求则报警并提示改变灯组的开关状态。

场地应急照明配电系统

由于体育场馆观众及比赛人员众多，对人员的要求也比较高，场地应急照明主要分为疏散照明和安全照明。这里着重提一下安全照明，安全照明是当正常照明突然因故中断时，为确保人员的安全而设置的照明，因此需要保证场地内的安全照明照度和切换时间要求。场地应急照明设置需求如表5所示。

表5 场地应急照明设置需求

应急照明	照度要求/lx	时间转换要求/s	灯具种类
场地疏散照明	≥0.5	≤5	卤钨灯、热启动灯具
场地安全照明	≥20	≤0.5	卤钨灯、热启动灯具

场地应急照明的电源属于消防电源，应与一般照明电源分开，双路电源末端切换，系统应设置相应消防接口，保证消防及事故时灯具能够及时点亮。灯具光源的选择应为能快速点亮的光源，能够满足瞬时点亮功能。

结束语

体育场馆由于建筑造型复杂，体型庞大，功能多样，场地照明配电及控制与一般照明系统有很大区别，需要多方面考虑。笔者从事建筑电气设计以来，经历了北京奥运会建设到后奥运时代各地方场馆的建设，针对大中型体育场馆的场地照明配电系统设计案例做了相应回顾总结，并将主要问题拿出来分析，希望能给大家一些参考。

(收稿日期：2015-02-05) EA