

# 某海外体育场安全疏散模拟研究

马英子 胡梦莹

中工武大设计集团有限公司 430000

【摘要】科特迪瓦非洲杯体育场作为2021年非洲国家杯赛事的主要场馆之一，体育场总座椅数达到20000座，那么面对这样的海外体育场馆，各种安全隐患问题相继到来，其中最突出的问题莫过于突发状况下人员的安全疏散。在项目初期规划阶段，BIM技术就已经作为辅助手段参与到本次项目中。本文主要介绍体育场运用BIM技术进行建模与Pathfinder疏散模拟软件相结合，高效地完成体育场人员疏散模拟工作，借此总结的经验可供类似项目应用参考。

【关键词】海外体育场；BIM；Pathfinder；疏散

## 引言

大型体育场具有空间大、人群高度集中、人流量大、灵活性高等特点。由于体育场看台独有的建筑特性，使得其对疏散方式的选择对比其他的建筑会有所不同，例如发生火灾或者其他灾难事件，看台整体空间结构尺度非常大，疏散的路径相对增长；并且密闭的台阶和座椅，很大程度的限制了人们的移动，造成踩踏事件，不仅造成财产的损失，更对人的生命有极大的威胁。

BIM技术作为建筑信息化的优秀手段，具有模拟性、可协调性、可视化、优化性、可出图性等特点，通过Revit软件强大的三维功能建立全面的建筑信息化模型，为建筑疏散模拟提供接近真实的模拟场景。

Pathfinder作为一款疏散模拟分析软件，可以提供可视化的操作界面，将建筑物进行区域分解，通过多角度进行人员疏散过程的观察。具有操作便捷，计算速度快的优点，但是在建模功能上面立体的表达效果不理想，难以实现较为复杂节点的建模工作，且耗时巨大。

本文以非洲科特迪瓦体育场作为疏散模拟研究对象，运用BIM技术强大的三维建模能力，结合Pathfinder软件优秀的疏散模拟分析能力，两个软件发挥各自所长，来完成本次疏散模拟分析工作。

## 1 Pathfinder软件仿真方法

Pathfinder是由美国Thunderhead Engineering公司开发的基于Agent技术的疏散模拟软件。软件中人员运动模式有两种：SFPE模式和Steering模式。SFPE模式以人员流量为基础，人员会自动转移到最近的出口，人员不会相互影响，但队列符合SFPE假设。Steering模式是依赖于路径规划、指导机制、碰撞处理等相结合来控制人员运动。如果人员间的距离或最近点的路径超过某一阈值，可以再生新的路径，以适应新的环境。一般而言，Steering模式更符合现实<sup>[1]</sup>。

Steering模式中，人员路径决策系统原理如下：

Step1 计算当前期望速度和加速度大小：

$$v = v_{\max} \times \frac{0.85 \times k}{1.19}$$

$$a_{\max} = \frac{v_{\max}}{t_{\text{accel}}}$$

式中， $k$ 为疏散速度常数； $v_{\max}$ 为最大步行速度； $t_{\text{accel}}$ 为加速时间。

Step2 计算每个方向的权重，最小权值的方向为实际运动的方向：

$$S_c = \frac{\theta_c}{2\pi}$$

式中， $S_c$ 为各方向上的权值； $\theta_c$ 为各方向与软件内置seek曲线在该点切线的夹角，Pathfinder中人员可能选择的方向如图1所示的180度范围。

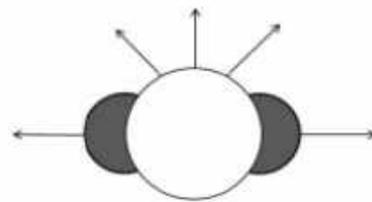


图1 人员运动方向

Step3 计算最小权重方向期望速度和加速度大小：

$$\vec{v}_{des} = |\vec{v}_{des}| \vec{d}_{des}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_{des} - \vec{v}_{curr}}{|\vec{v}_{des} - \vec{v}_{curr}|} a_{\max}$$

式中， $|\vec{v}_{des}|$ 为0或 $v_{\max}$ ，由系统根据人员当前位置判断得到； $\vec{d}_{des}$ 为最小权值方向向量； $a_{\max}$ 为当前路线上最大加速度； $\vec{v}_{curr}$ 为当前方向的速度大小。

Step4 更新位置：

$$\vec{v}_{next} = \vec{v}_{curr} + \vec{a} \Delta t$$

$$\vec{p}_{next} = \vec{p}_{curr} + \vec{v}_{next} \Delta t$$

式中， $\vec{v}_{next}$ 为下一时刻的速度； $\vec{p}_{next}$ 为下一时刻的位置； $\Delta t$ 为更新步长，由用户设定。

重复上述步骤，直至人员到达出口。

## 2数值建模

### 2.1 BIM模型的建立

科特迪瓦是非洲西部一个古老的国家，旧称“象牙海岸”。这里有良好的足球氛围，近几年国家队的发展惊人，孕育出了多位足球名将，更是获得了2021年非洲国家杯的举办权。本项目为此赛事的主要场馆之一。该赛事因为疫情的原因，延迟到了2023年。

体育场位于北部地区科霍戈，总建筑面积约3.4万方，体育场可以容纳20000人观看比赛，整体分为四个区域。其中A区主要服务VIP、VVIP、媒体、官员、运动员等人员，B、C、D区服务普通观众。

基于BIM技术，运用一款专门为BIM而开发的软件Revit，Revit可以建出高质量的建筑模型，并且Revit软件也是目前建筑行业中运用最为广泛的BIM技术软件之一。因此，我们采用Revit软件来进行体育场主体建筑结构模型的建立。

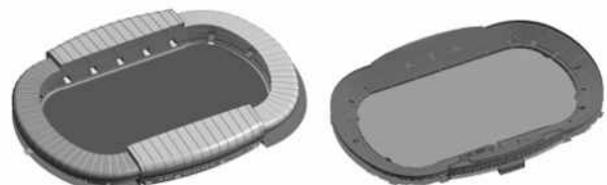


图2 体育场BIM模型

### 2.2 Pathfinder模型建立

基于 BIM 技术,运用 revit 软件建立与实际体育场几何信息一致的... 此时需要将 Revit 建立的三维信息模型导入到 Pathfinder 软件中去...

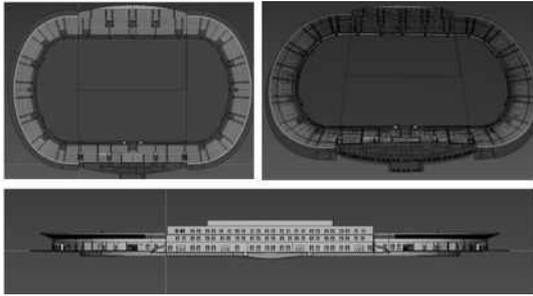


图3 Pathfinder 模型

A 区疏散路径主要为:看台/休息室→楼梯→安全出口→室外; B、C、D 区疏散路径主要为:看台→安全出口→室外;层各房间疏散路径为:房间→室外。

依据体育场馆楼梯布置、安全出口设置,疏散场景主要划分为四个部分,分别整理模型如下:

场景一: A 区,包含共四层的功能房间以及主看台。一层设置有 7 处安全出口,并且设置有 3 部楼梯,其中 1 部电梯从一层至四层,另外 2 部电梯从一层至 3 层。看台通过平台、楼梯等与一层、二层、三层相连接。

场景二: B 区,包含有上部看台以及下部平台空间。上部看台与下部平台空间通过 6 处坡道及 1 处楼梯相连。

场景三: C 区,包含有上部看台以及下部平台空间。上部看台与下部平台空间通过 4 处坡道以及 3 处楼梯相连。

场景四: D 区 包含有上部看台以及下部平台空间。上部看台与下部平台空间通过 6 处坡道及 1 处楼梯相连。

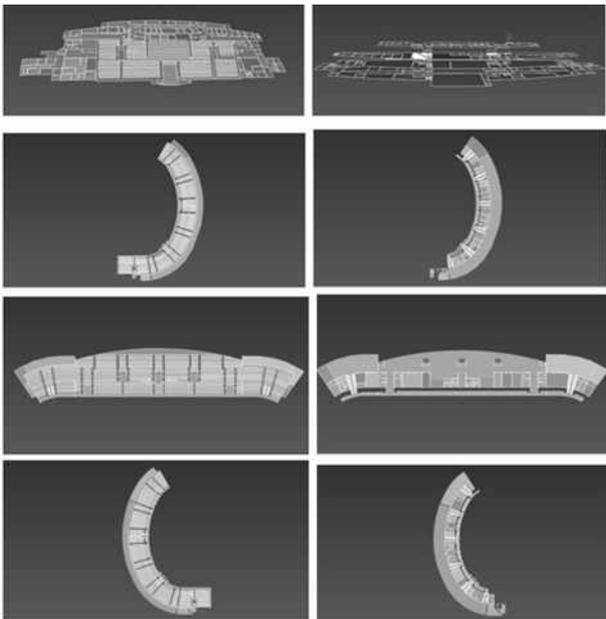


图4 分区模型透视图

3 疏散模拟分析

3.1 各区域人数分配

依据体育场规划设计情况,体育场设计可容纳人数为 20000 人,其中 A 区 1424 人, B 区 5785 人, C 区 7033 人, D 区 5758 人。因此,在各区域看台分别设置相应人数的观众,观众随机分布,如下图所示。

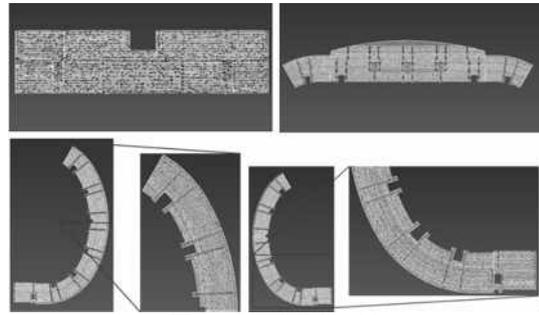


图5 各区人员分布图

3.2 各区域疏散用时

根据软件模拟分析后得出 A 区疏散时间为 6 分 46 秒; B 区疏散时间为 6 分 16 秒; C 区疏散时间为 6 分 32 秒; D 区的疏散时间为 6 分 35 秒。整体而言,疏散时间都在 6 分 30 秒左右,差别不大,说明体育场疏散功能设计较为均衡。

3.3 各区域人数-疏散时间关系变化曲线

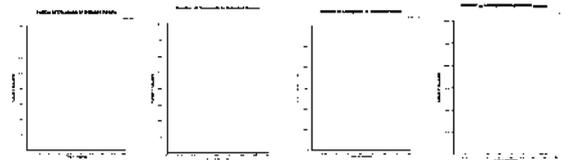


图6 各区人员-疏散时间变化关系曲线

从人员-疏散时间变化关系曲线中,不难看出,各个区域的人数-时间曲线均表现出“稳定-急速下降-缓慢下降”的情况,说明在疏散的过程中存在一定的瓶颈效应。

3.4 各区域人员疏散路径及密度变化

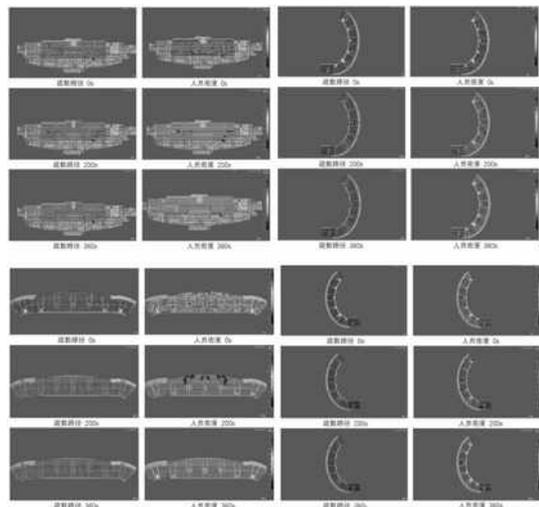


图7 分区各个时刻人员疏散路径及密度

根据以上疏散路径图和人员密度图可以看出,无论是哪一区域,都在看台台阶、坡道转弯处存在不同程度的堵塞情况。

4 结论

科特迪瓦体育场人流疏散模拟分析采用 BIM 技术与 Pathfinder 软件结合的方式,介绍了体育场馆看台与传统建筑不同的疏散重难点,进行分区疏散时间的测算,对疏散模拟的结果通过截图进行展示。

根据疏散模拟结果分析,虽然体育场设计可容纳人数多达 20000 人,不可避免的存在一定的瓶颈效应,在看台、坡道转弯处存在不同程度的堵塞,但是总体具备较好的人员疏散功能,各个区域疏散用时基本一致,均保证在 7 分钟以内,满足本项目体育场疏散时间要求。

参考文献

[1]李勃衡,曹荣. 基于 BIM 与 Pathfinder 的高校教学楼疏散模拟[J]. 华北科技学院学报, 2019, 016 (001): 88-94