



# 电动模拟动态足球人墙训练装置的研制及应用

王 琨<sup>1</sup>, 孙建功<sup>2</sup>, 王新建<sup>1</sup>, 席海龙<sup>1</sup>, 李小生<sup>1</sup>, 杨 钢<sup>1</sup>, 吴钟权<sup>1</sup>

**摘 要:** 任意球是现代足球比赛中的重要进攻和得分手段, 其中人墙是最重要的攻防技战术训练手段, 包括人墙排列的位置、人数和位移动作等。结合比赛录像分析和运动生物力学测试, 获取人墙的动作变化规律和各项技术参数, 构建出人墙训练装置的指标体系; 研制完成了足球任意球教学训练的全新装备, 能够模拟出与真实足球比赛相一致的“人墙”垂直起跳和侧向起跳场景; 采用高速摄像和图像解析, 完成“人墙装置”的技术指标和可靠性测试。结果表明: 该训练装置能够较好地模拟真实人墙的动作效果, 能够为罚任意球营造符合实战的训练条件。

**关键词:** 足球任意球; 电动模拟动态人墙; 研制与应用; 可靠性测试

中图分类号: G808 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2020)06-0082-05

DOI: 10.12064/ssr.20200613

## Research on Development and Application of Electric Simulated Dynamic Soccer Human Wall Training Device

WANG Kun<sup>1</sup>, SUN Jiangong<sup>2</sup>, WANG Xinjian<sup>1</sup>, XI Hailong<sup>1</sup>, LI Xiaosheng<sup>1</sup>, YANG Gang<sup>1</sup>, WU Zhongquan<sup>1</sup>

(1. Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, China; 2. Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Free kick is an important means of attacking and scoring in the modern football match, and the human wall is the most important means of offensive and defensive tactics training, including the location of the human wall, the number of people and displacement. On the basis of the match video analysis and biomechanical test, the rules of change and technical parameters of the wall are obtained, and the index system of the wall training device is constructed. The new device for football free kick teaching and training is developed, which can simulate the vertical and lateral take-off scenes of "human wall" consistent with the real football game. High speed camera and image analysis are used to complete the technical index and reliability test of the "human wall device". The results showed that the training device is capable of simulating the action of the actual human wall, which can help create practical training conditions for free kick.

**Key Words:** football free kick; Electric simulated dynamic human wall; development and application; reliability test

任意球是现代足球比赛中的重要进攻和得分手段, 由任意球直接破门或发动进攻产生的进球数占进球总数的 1/3 左右<sup>[1-2]</sup>, 在实力相当的情况下, 任意球是制胜的主要方式之一。然而在任意球的防守中, 组建人墙是最重要和必须的防守手段, 包括人墙排列的位置、人数和位移动作等, 都已成为防守方干扰和影响主罚队员的行动方法。本研究依托 2007 年

“电动模拟动态人墙训练装置”实用新型专利技术的基础<sup>[3]</sup>, 实施样机实物研发和应用, 其研究目的是提供一种全新人墙辅助训练装置, 能够模拟出现代足球比赛任意球环节相匹配的条件与环境, 并进行实验测试印证模拟功能的效果。通过教练员或教师遥控可以使“人墙”上下和侧向跳动, 以提升“人墙”的动态功能, 改变目前“固定人墙”对罚任意球训练

收稿日期: 2020-04-05

基金项目: 2012 国家体育总局重点研究领域课题(2012B039)。

第一作者简介: 王琨, 男, 博士, 硕士研究生导师, 教授。主要研究方向: 运动生物力学、运动与健康促进。E-mail: 791369262@qq.com。

作者单位: 1. 西安体育学院, 陕西 西安 710068; 2. 陕西科技大学, 陕西 西安 710021。

产生不完整的影响效力,使训练更加符合任意球攻与防互为应对条件的效能,也使训练场景氛围和相关配合更加贴近比赛实际状况;建立能够提升罚任意球训练效率、质量和拓展战术配合等创新辅助手段;同时形成的原创训练装备和应用研究成果,致力于为转换新型产品和普及应用奠定基础,力求为促进中国足球运动竞技水平的提高,强化足球训练的科技支撑作用。

## 1 动态足球人墙训练装置研制

### 1.1 人墙训练装置的工作原理

电磁离合器断电,斜跳底座在扭簧的作用下旋转实现斜向跳跃;垂直起跳电机通过丝杠带动丝杠螺母、锁合状态的快速锁合脱离模块及弹簧压板向下运动,对压簧进行压缩,当碰触到压缩行程开关时,完成蓄能。快速锁合脱离模块,在压簧的和拉簧的共同作用下,带动固定在滑轨上的放大机构、模拟充气人安装板及模拟充气人,实现垂直方向的稳定跳跃<sup>[4]</sup>。

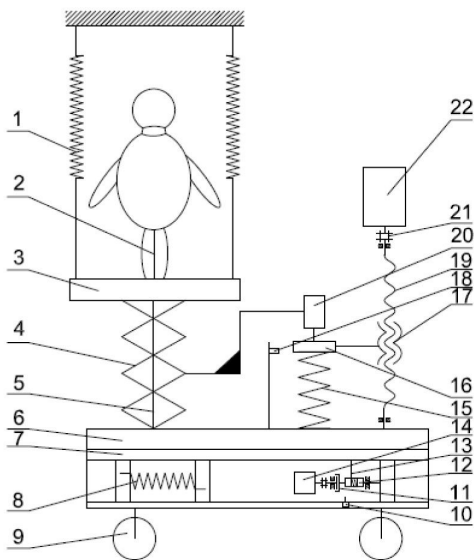


图1 人墙运动原理图

Figure1 Principle of Human Wall Movement

注:1为拉簧,2为充气人,3为充气人安装板,4为放大机构,5为滑轨,6为安装底座,7为侧上跳底座,8为扭簧,9为带刹车脚轮,10为侧上跳复位行程开关,11为电磁离合器,12为卷筒,13为钢丝,14为侧上跳电机,15为压簧,16为弹簧压板,17为丝杠螺母,18为压缩行程开关,19为丝杠,20为快速锁合脱离模块,21为联轴器,22为垂直起跳电机

考虑人墙跳跃的稳定性、跳跃高度以及抗足球击打等方面的因素,以图1所示的运动原理为基础,运用三维软件UG构建动态足球人墙训练装置的虚

拟建模及仿真,其虚拟样机效果如图2所示。通过仿真结果的分析,验证了人墙垂直和侧上跳跃工作原理的可行性。

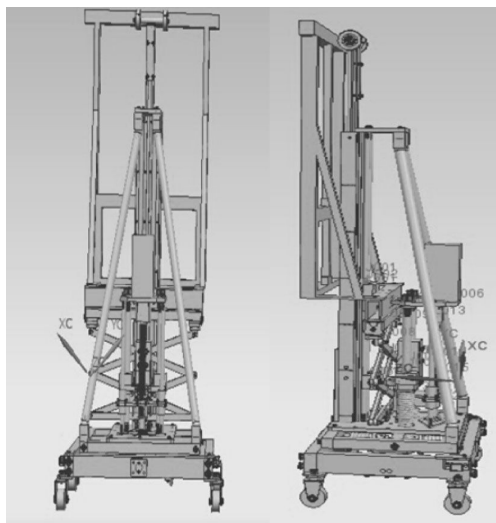


图2 虚拟样机三维效果图

Figure2 Virtual Prototype 3-D Effect

### 1.2 控制方案设计

采用模块化编程实现不同人墙跳跃组合,通过RS485接口和无线数传模块,实现操控触摸屏和下位总控系统PLC之间的无线通讯,触发的跳跃组态指令无线驱动PLC进行相应的模块化程序调用,实现不同组合的人墙动作遥控<sup>[5]</sup>。

### 1.3 人墙训练装置的制作

#### 1.3.1 零部件计算、加工、安装与测试

依据高速摄像机,结合比赛起跳录像分析给出的人墙分析和统计数据<sup>[6]</sup>,参考机械设计手册等,完成滚珠丝杠、压缩弹簧、垂直和斜向起跳电机、锁楔机构等关键零部件的设计及校核计算、零件图及装配图绘制。在满足抗足球击打能力所需的刚度和设计要求的前提下,本着轻量化、便携性、可靠性及安全性的原则,完成相应零件的选材,按照图纸的技术要求、编制的装配工艺及检测标准,完成相应的零件加工、单个人墙机械本体装配及测试。

#### 1.3.2 充气人的使用与安装

以我国足球运动员的平均身高、身体宽度、身体厚度等统计参数为充气人尺寸设计依据,以文献分析和视频分析结果获得的足球远动员射门速度、射门方向、爆发力量等统计参数<sup>[6]</sup>,为充气人的材质选择、内部支撑与内衬结构设计、额定充气压力和制作工艺及抗击打仿形效果的依据,模拟充气人如图3所示。



图3 训练中单独使用的充气人

Figure3 Inflators Used Alone in Training

仿形充气人通过充气将腿部下端嵌入底座,经由挂钩固定,可以在足球场上实现静态人墙的站立组合,也可以分布在不同区域站位来满足多样化的训练形式需求。此外,在充气人的肩胛部和臀部分别设置4处挂件,与单个人墙跳跃装置连接,通过快捷安装与拆卸,实现不同数目组合的人墙装置,整体人墙的效果如图4所示。



图4 充气人墙的整体效果

Figure4 The Integral Effect of the Inflators Wall

## 2 动态足球人墙应用研究

确定足球罚任意球真实人墙(True Wall, TW)与研制的电动模拟动态足球人墙(Simulation Wall, SW)训练装置的运动参数吻合程度,对SW的研制应用效果进行测试与评价。

### 2.1 测试对象与方法

#### 2.1.1 测试对象

选择男子足球一级队员6名,为TW,其基本情况为:身高(183.17±4.07)cm;体重(75.00±2.28)kg。研制的SW共6人组合(图4),每个SW高度180cm,躯干宽度50cm,厚度18cm。

#### 2.1.2 测试方法

分别对足球罚任意球过程中TW和SW的运动状态进行运动学测量。根据相关文献研究<sup>[6]</sup>,选择1个任意球罚球区域最多的一点为罚球点,并按照实战要求对TW和SW排列进行起跳实验测量。由任意球主罚队员踢罚各种弧线任意球,运用2台高速摄像机分别拍摄TW和SW的起跳过程(图5)。

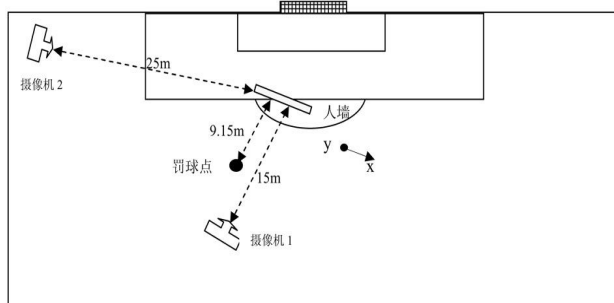


图5 拍摄现场示意图(俯视)

Figure5 Camera Scene(Bird's View)

摄像机1采用定机平面摄影,拍摄频率120fps,拍摄距离15m,机高(主光轴高)1.10m,主光轴与TW、SW排列平面垂直,在人墙位置拍摄比例尺,长度为1.50m,坐标方向:x与人墙平面平行,y与地面垂直,拍摄人墙起跳和腾空的全过程。摄像机2位于人墙正侧面,采用扫描摄影,拍摄频率120fps,拍摄距离25m,机高1.10m,跟踪扫描拍摄球从罚球点飞行到达人墙的全过程。TW和SW测量的起跳方式有两种,一是垂直起跳,二是侧向起跳,即人墙垂直起跳同时TW和SW最外侧1名向外侧上起跳。

从TW 17次和SW 39次测试中,分别选取1名人墙2次起跳作为研究样本,这样共得到TW和SW的样本量各为12次。依据对摄像机1、2高速录像结果观察,TW和SW测试样本选取标准为:罚球速度快,起跳速度快、跳得高(TW),起跳时机好,即球飞行到人墙时人墙刚好跳到最高点。

采用APAS图像解析软件对摄像机1捕获TW和SW图像进行解析(数字平滑采用低滤波法,截止频率8Hz)获得其相关运动学数据。摄像机2记录罚球队员从脚接触足球到人墙的时间等情况。

#### 2.1.3 主要数据指标

TW和SW跳起高度、起跳速度,侧上起跳角度、侧上跳起到最高点时头顶横向移动最大距离,球踢出后到达人墙的时间、速度,TW和SW动作反应时等。主要数据指标的定义与符号表示见表1。



表 1 数据指标定义与符号表示

Table1 Data Index Definitions and Symbolic Representations

数据指标	定义	符号	单位
跳起高度	人体重心腾起高度	H	cm
起跳速度	TW 脚离地瞬时或 SW 起跳时刻人体重心腾起垂直速度	VY	m/s
侧上跳角度	TW 脚离地瞬时或 SW 起跳时刻人体重心腾起速度方向与地面垂直方向的夹角	A	°
侧上跳位移	TW 或 SW 最外侧 1 人墙侧上跳起到最高点时头顶水平移动最大距离	DX	cm
球平均速度	任意球踢出后到达人墙的平均速度	VB	m/s(km/h)
球到墙时间	任意球踢出后到达人墙的时间	TB	s
蹬伸时间	TW 缓冲最大时刻至脚离地时刻或按下起跳遥控器至 SW 开始启动的时间	TR	s
腾空到最高点的时间	TW 脚离地至人体重心到达最高点或 SW 开始起跳至其到达最高点的时间	TF	s

2.1.4 数据处理

运用 Excel2007 对相关数据结果进行计算与常规统计学处理,运用 SPSS17.0 对 TW 与 SW 各项数据指标均值进行差异性检验 (TW 与 SW 组间比较采用独立样本 T 检验,SW 组内比较采用配对 T 检验),差异显著性水平为  $P < 0.05$ ,差异非常显著性水平为  $P < 0.01$ 。表内数据无特殊说明均以平均值±标准差表示。

2.2 结果与分析

2.2.1 TW 和 SW 垂直跳比较

从表 2 结果看到,SW 的跳起高度显著大于 TW ( $P < 0.01$ ),但 SW 的起跳速度却显著小于 TW ( $P < 0.01$ )。根据运动学原理,原地垂直跳中人体重心跳起高度大于 50 cm,其起跳速度至少应大于 3.00 m/s。而 SW 的起跳速度仅为  $(2.31 \pm 0.16)$  m/s,如果 SW 按照这一速度起跳,其腾起最大高度理论计算值不会超过 28 cm。SW 的动力主要来源于压缩弹簧释放的势能,在起跳初始阶段需克服摩擦阻力等因素,影响了起跳速度。为此,在每个 SW 上增加两条  $2.0 \text{ mm} \times 18 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  (簧丝直径×弹簧外径×弹簧长度)拉簧作为动力补充(图 1),以减小跳起后的速度损失,即 SW 腾空后 VY 为匀减速,动力补充的作用在于减小 VY 的下降,从而达到增加腾起高度的效果。经解析计算 SW 由动力补充增加的腾起高度为  $(24.02 \pm 1.44)$  cm,使 SW 的腾起高度不小于 50 cm,较好地解决了这一问题,达到了设计和使用要求。

表 2 TW 和 SW 垂直跳数据与比较 (N=12)

Table2 TW and SW Vertical Jump Data and Comparison(N=12)

人墙	H/cm	VY/(m·s <sup>-1</sup> )	SW 由动力补充增加的腾起高度 /cm
TW	38.36±4.63	2.74±0.17	24.02±1.44
SW	50.31±1.31**	2.31±0.16**	

注:\*\*表示 TW 与 SW 之间比较差异性检验水平  $P < 0.01$

2.2.2 TW 和 SW 侧上跳比较

在足球比赛中,为进一步扩大人墙防守范围,人墙两端球员会根据罚球来球线路向侧上跳起。本研究中的 SW 模拟这一动作。从表 3 结果看到,侧上跳中 TW 与 SW 侧上起跳角度和跳起到最高点时头顶水平移动最大距离均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),因此 SW 较好地模拟吻合了 TW 的实际状态。

表 3 TW 和 SW 侧上跳数据与比较 (N=12)

Table3 TW and SW Side Jump Data and Comparison(N=12)

人墙	A/°	DX/cm
TW	4.01±0.79	11.69±2.29
SW	3.50±2.38	10.97±7.44

在实际动作中,TW 两侧队员可能会根据罚球队员踢出球的速度预先判定球的线路,为进一步扩大防守面积,而提前向两侧跨步移动并向侧上跳起,这样侧上跳位移会有较大增加。本研究的 SW 还不能模拟这种情况,这需要对 SW 进一步改进增加该功能。

2.2.3 TW 和 SW 垂直跳反应时比较

从表 4 结果看到,TW 的蹬伸时间 TR 显著大于 SW ( $P < 0.01$ ) (经实际测量 SW 的 TR 最大不超过 150 ms,本研究取最大值),表明 SW 的启动反应速度快,SW 的设计运用效果优于 TW 的反应速度。

表 4 TW 和 SW 垂直跳反应时及相关数据与比较 (N=12)

Table4 TW and SW Vertical Jump Response Time and Relative Data(N=12)

人墙	TR/s	TF/s	TR+TF/s	TB/s	VB/(m·s <sup>-1</sup> ) (km·h <sup>-1</sup> )
TW	0.21±0.05	0.28±0.02	0.49±0.05**	0.41±0.03	22.68±1.99 (81.63±7.15)
SW	0.15±0.00**	0.33±0.01**	0.48±0.01 <sup>△△</sup>	0.39±0.03	23.38±1.93 (84.15±6.94)

注:\*表示 TW 与 SW 之间比较差异性检验水平  $P < 0.01$ ;#和△分别表示 TW 和 SW 的动作总时间(TR+TF)与球踢出后到达人墙的时间(TB)之间比较差异性检验水平  $P < 0.01$

TW 的腾空时间 TF 显著小于 SW ( $P < 0.01$ ),这是由于 SW 腾起高度显著大于 TW(表 2)。而在动作



总时间上(TR+TF),TW与SW的差别不具有显著性( $P>0.05$ )。由此看到,SW在这一指标上很好地模拟并吻合了所测试TW的状态。

从表4结果还看到,无论是TW还是SW它们的动作总时间(TR+TF)均大于罚球队员将球踢出后到达人墙的时间TB,并存在非常显著性差别( $P<0.01$ ),罚球队员踢出球的平均球速VB为81.63~84.15 km/h。而世界最优秀运动员踢球的最大平均速度可达120 km/h<sup>[7]</sup>,球踢出后到达人墙的时间为0.27 s左右,因此TW和SW都来不及在罚球队员踢出球后开始起跳,在到达最高点时封堵来球,必须根据罚球队员的罚球状态提前预判而产生动作,以期在跳起高度上达到封堵来球的最佳效果。在这一点上SW与TW的结果相吻合。

另外表4可见,罚球队员在面对SW状态下的VB大于TW状态下的VB,尽管其差别不具有显著性( $P>0.05$ ),但是从一定意义上讲,在任意球训练中罚球队员在面对SW时完全放下在面对TW时可能会伤及队友(人墙)的心理顾虑,即罚球队员在采用SW训练中敢于运用各种脚法“放开”用力踢球,更加接近比赛实际。在这一点上,SW的训练效果要优于TW。

#### 2.4 SW的稳定性与疲劳

为检测SW的稳定性,对SW进行96次连续起跳测试,分别选择最前5次和最后5次垂直跳的高度进行比较,以确定SW的稳定性与疲劳。最前5次与最后5次SW垂直跳的高度分别为(50.03±0.59) cm、(51.15±1.54) cm;经过统计学T检验均值差异无显著性( $P>0.05$ )。由此看到SW具有较好的稳定性和抗疲劳效果。

### 3 结论

本研究研制的电动模拟动态足球人墙训练装置,能够较好地模拟真实人墙罚任意球动作效果。“人墙训练装置”在跳起模式、高度等指标与真实人墙吻合度较好,具有良好的应用稳定性;在训练应用中能够消除罚球队员伤及队友的顾虑,为罚任意球训练营造符合实战的训练条件。同时该装置已获得国家发明专利<sup>[8]</sup>,为进一步研发与后续形成“人墙训练装置”产品奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] 王怀利.第13届欧洲足球锦标赛前场定位球攻守战术运用分析[D].山东:山东师范大学,2009.
- [2] 王健.2014年巴西世界杯决赛阶段定位球进球特征分析[D].武汉:华中师范大学,2015.
- [3] 杨钢.电动模拟动态足球人墙训练装置[P].中国专利,2007200310427,2007-01-12.
- [4] 闻邦椿.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2010:1-6.
- [5] 王建华.电气工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [6] 杨钢,王琨,席海龙,等.现代足球比赛中“人墙”排列及动态变化规律研究[J].西安体育学院学报,2013,30(4):496-501.
- [7] 网易体育,数据揭密C罗任意球103公里/小时仅逊卡洛斯[EB/OL][2020-04-05].<http://sports.163.com/09/0918/11/5JG8G01H00051C8V.html>.
- [8] 杨钢,孙建功,王琨,等.遥控模拟动态人墙训练装置[P].中国专利,ZL201510066589,2016-09-07.

(责任编辑:刘畅)