

基于最短路径与比赛密度的足球场尺寸及比赛时间的合理性分析

丁治强¹, 肖剑², 王旭东¹, 林望黎¹

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044;

2. 重庆大学数学与统计学院, 重庆 400044)

摘要: 在讨论足球场尺寸的设计时, 本文将球场尺寸问题转化为最小费用最大流问题。为了达到传球给前锋的次数最大, 且使球员的跑动距离最小的效果, 本文基于角度公式以及最小费用路算法, 提出了一种足球场尺寸设计模型, 该模型可以根据不同等级的球员能力和身体条件数据设计出合理的足球场的尺寸, 既使得比赛具有较高的精彩程度, 同时使球员体力消耗降到最低。对 2014 年巴西世界杯德国队的实际比赛数据进行预处理操作, 再利用该模型进行求解。将结果与实际足球场尺寸比较, 发现吻合程度较高, 表明该方法具有一定的可信度。对于比赛时间的分析, 本文建立了比赛密度评价与计算模型对足球比赛时间进行了评价, 认为当前比赛时间不合理, 并给出了参考时间。

关键词: 最小费用路算法; 最小费用最大流; 角度公式; 比赛密度

中图分类号: G843

Study on rationality of soccer field dimensions and match time based on the shortest path model and game load density

DING Zhiqiang¹, XIAO Jian², WANG Xudong¹, LIN Wangli¹

(1. Department of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044;

2. College of Mathematics and Statistics, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract: As far as size of soccer field (including length and width) is concerned, this article transformations it as a minimum-cost maximum-flow problem. In order to find an arrangement which helps increase the number of passes to the strikers but guarantees the shortest average distance of players, an algorithm called Successive shortest path and capacity scaling is applied together with Geometry formulas. And a specific method combining former two mathematic methods is structured in the article. The method is based on players' capability and physical condition data, and arrangement on soccer field size obtained by the method is reasonable, because the result makes the game exciting while meeting the minimum physical exertion of players. During experiment, German actual data for 2014 World Cup in Brazil is taken as an example. Then the data are preprocessed to meet the need of process for solving the problem. At last the result compares the actual soccer field size, and they have the high degree of agreement, indicating that the method has a certain credibility. For the analysis of game time, the paper established a race-density evaluation and calculation model for the football game time were evaluated, that the current game time is unreasonable, and gives the reference time.

Key words: successive shortest path and capacity scaling algorithm; minimum-cost maximum-flow problem; geometry formulas; game load density

0 引言

足球场的尺寸和比赛时间在正式比赛中都有统一规定。这些数据除了足球发展的历史原因, 也考虑了许多实际因素, 如运动员的体力、运动员的技术、运动员的力量、比赛的精彩程度等等, 但一直都未定量地给出一个明确的设计规则。当前国内对足球场尺寸和比赛时间

作者简介: 丁治强 (1992-), 男, 本科生, 自动化专业

通信联系人: 肖剑, 副教授, 主要研究方向: 经济系统建模、混沌系统控制、复杂系统建模与控制. E-mail: xj4448@sina.com

问题的研究并不深入,与之相关的文献非常少。本文要讨论的问题就是当前的足球场的尺寸和比赛的时间对于当今足坛的球员来说是否合理。在对球场尺寸的分析中,我们分别从球门尺寸、球场宽度、球场长度三方面展开讨论与研究。本文根据球员身体条件合理的推断了球门尺寸后,又进行了出球角度分析计算得到了球场的宽度,对于足球场长度设计的问题,本文将其划归为一个最小费用最大流的问题。其中问题的算法有消圈算法最小费用路算法。比赛时间的分析主要运用比赛密度的知识进行评价和计算,足球比赛密度体现了足球运动比赛负荷的时空特征,相关指标蕴藏着大量的比赛信息。

本文通过对球员专业比赛的数据进行分析,选取了合适的指标并通过问题的转化,建立合适了数学模型以设计足球场的尺寸和确定比赛时间,最后将结果与当前国际标准足球场尺寸大小和比赛时间进行比较,验证合理性。

1 球门尺寸模型

球门即足球比赛中运动员们的射球目标,其尺寸大小的设计原则为:一需保证守门员移动、跳跃、扑倒之后可触及球门的各个角落;二需保证球员有一定的概率可以进球。因此,我们认为判断球门高度是否合理的主要依据是运动员(主要是守门员)的平均身高水平。球门的高度应低于人起跳后手摸到的最大高度而稍高于站直时手臂伸直长度。这即保证了守门员能够较好的守住球门,又不至于让守门员整场比赛在不断的弹跳中度过。通过查阅文献[1]可得足球运动员的平均身高情况,当今足球运动员的平均身高在 $180\pm 2\text{cm}$ 左右,另外通过查阅文献[2],根据人体骨骼构造的特点可知,人体的身高与臂展的长度(臂展长度为两只手伸直时的间隔长度,包括肩膀宽度)比例关系大约为1.1:1的关系,而臂展长度与手臂长度大约为2.86:1的关系。

故计算可得,180cm的足球队员其单只手长度为57cm,足球队员在直立时直举手臂长度,总长约为2.37m,考虑到比赛中守门员为了更好的进行横向防守,往往采用屈膝的姿势,导致其头部离地面的距离小于其身高,通过周边身高为180cm左右的同学对守门员的动作加以模仿,在对其头部距离地面的距离测量过后,得出当守门员处于屈膝状态时,其高度约为158~172cm之间。假设守门员在跳起50cm过后即可接住在偏上方区域的大部分球,经过计算可得当球门高度为2.42m到2.65m范围内均合理。

球门横向宽度的尺寸设计的主要依据为:若当守门员处于球门的中线上时,其向两侧扑出的最大距离为 L_p ,球门宽度应略大于 $2L_p$,这样使得守门员有机会阻挡进攻球员的射门,同时也让对方前锋有机会将球射进。球门宽度过小则射门难度加大,球门宽度过大则防守难度升高。通过文献查阅及互联网检索[3]可知,运动员在起步冲刺时的步长约为1.2m左右,而守门员在扑球的开始阶段也就相当于冲刺,设定守门员向单侧扑出的最大距离为:

$$L_p = 1.2 + \text{height} + \text{arm} \quad (1)$$

其中height代表身高,arm代表手臂长度,取 $\text{height} = 1.8\text{m}$, $\text{arm} = 0.57\text{m}$,当守门员的冲刺步数为1步时可得: $L_p = 2.57\text{m}$ 则 $2 * L_p = 5.14\text{m}$;当守门员的冲刺步数为2步时可得: $L_p = 4.77\text{m}$ 则 $2 * L_p = 9.54\text{m}$ 。将守门员扑球时的步数限定在2步以内可得,当球门宽度在5.14m到9.54m的中间值7.34m附近时则可认定其较为合理。

综上所述:现在的标准足球场球门尺寸,其高度为2.44m,宽为7.32m,均在上述所分析的合理数据区间之内,且恰好落于均值附近,根据概率统计论中的3 Δ 原则,故认为当

前的球门尺寸是合理的。

2 球场宽度模型

85 2.1 球场宽度分析

首先，我们引入射门角度 α 和出球可选角度 β 的概念。射门角度 α 即指球员射门位置和远球门球柱的连线与球场底线的夹角，而出球可选角度 β 即指球员与两球门柱的夹角。如下图所示：

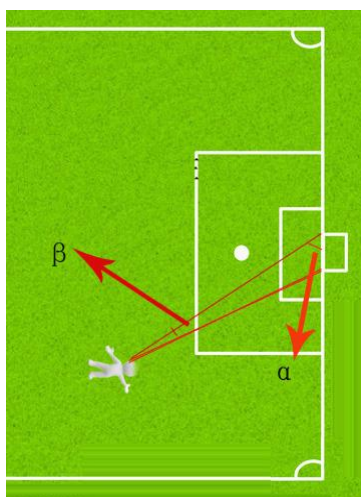


图 1 α 与 β 示意图
Fig.1 α and β schematic

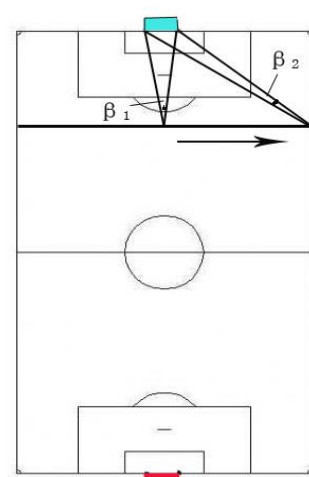


图 2 最小出球可选角度示意图
Fig.2 The minimum angle of the ball optional schematic

当出球可选角度为零时，即使无人防守，球员也无法完成射门。为此，我们想找出当出球可选角度为最小时的位置。分析易知，随着射门角度 α 的减小，出球可选角度 β 也随之减小，如图 2 所示，分析可知，当在球场的同一条水平线时，球员位于球场边线时，其出球可选角度小于位于球场中间时的出球可选角度。

因此，我们可以得出，当出球可选角度为最小时，其必定是处于边线。当处于边线时，若球员所处的位置越接近于球门，则其射门角度越小。随着射门角度的减小，出球可选角度也随之越来越小。

当球员的最迟出脚时为临界状态。设球员出脚之后再跑 1 步就将出球场底线。则可得临界状态即为球员与两球门柱的两条连线平行时的状态，这两条连线之间的距离为足球的直径大小，此时球员离底线只有 1 到 2 个步长的距离。故我们可得出在临界状态下的示意图：

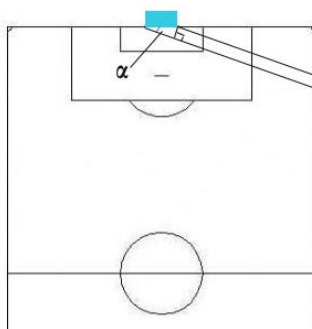


图 3 临界状态示意图
Fig.3 Schematic critical state

2.2 球场宽度计算

由于足球直径为固定值 22cm，球员 1 个步长的长度可通过查阅资料得出其大体的区间范围，故可将其简化为几何问题来进行求解。求解过程抽象成如图 4 所示：



图 4 模型求解示意图
Fig.4 Schematic model solution

如上图所示，AC 线段表示球门宽度，BC 线段表示足球的直径，DE 线段表示球员 1 步的步长长度，CD 的长度为球场宽度的一半。且 AB 平行于 CE，BC ⊥ CE，CD ⊥ DE。故由三角形相似定理可得：

$$CD = \frac{AB \cdot DE}{BC} \quad (2)$$

将 1 步的步长范围定为 [0.8, 1.3] 米，则可得足球场宽的所在区间为 [53.2, 86.5] 米。当今足球赛场的宽度为 68m，在该模型所求出的区间范围内，故我们认为现在的足球场宽度尺寸是合理的。

3 球场长度的分析

3.1 球场长度分析

对于一场足球比赛，从精彩程度角度来说，如果前场前锋球员拿到球的次数多，则比赛更加精彩；从运动员角度来说，希望比赛过程跑动距离较短，这样体能消耗少，同时比赛较为轻松。本文将运动员传球次数与跑动距离的组合问题，化归为网络优化问题并进行求解，最终使得传到前锋球员的球数较多，同时使场上球员的跑动距离总和最小。于是只要解决了最小费用最大流问题，足球场地尺寸的设计问题便迎刃而解了。

3.2 球场长度建模

3.2.1 建立网络图

把球场上的 11 名队员编号，每一名球员作为一个节点，球员 i 传给球员 j 的传球次数记为 V_{ij} ， V_{ij} 便是连接节点 i 与节点 j 的边上的容量。球员 i 传给球员 j 平均一次成功传球跑动距离记为 C_{ij} ， C_{ij} 便是连接节点 i 与节点 j 的边上的费用。并且设计一个虚拟汇点，标号为 12，则此问题可以转化为单源单汇的最小费用最大流问题。

假设后一级球员只能向前一级球员传球，并且向前一级球员传球机会均等则可以得到：

$$V_{ij} = p_i / n_j \quad (3)$$

其中 i 属于 R_i ， j 属于 R_j ，且 $R_j = R_i + 1$ ， R_i, R_j 属于 $\{G, D, M, F\}$ ；费用 C_{ij} 定义为球员 i 向球员 j 成功传球一次，球员 i 所需要跑动的距离：

$$C_{ij} = L_i' / p_i' \quad (4)$$

R_i 为第标号为 i 的球员的等级, 等级分为四类, 包括 G (goalkeeper) D (defender) M (midfield) F (forward); n_i 表示与球员 i 处于同一等级的球员的总数; p_i' 表示球员 i 在规定时间内成功传球次数, 规定分钟内球员跑动距离记为 L_i' ; C_{ij} 的大小反映了球员 i 的实力水平的高低, C 即球员 i 要传球一次, 需要向 j 靠近。 C_{ij} 越小说明球员 i 跑动较短的距离便可把球成功传给球员 j , 即球员 i 的传球能力很强, 因此“费用”较低。

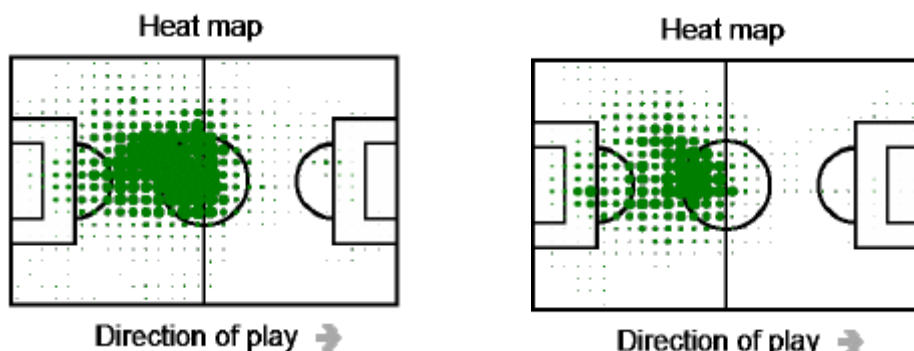
最终第 i 号球员理想跑动距离为 L_i'' 公式:

$$L_i'' = \sum x_{ij} c_{ij} \quad (5)$$

x_{ij} 为球员 i 实际传给球员 j 的传球数目, 即每条弧上理想流的大小。可由最小费用最大流算法得出。

3.2.2 跑动范围分析

通过查阅文献[4][5]以及分析国外足球运动员跑动路径热点图, 我们发现球员的运动范围大致可以认为是圆形, 并且由于球员位置相对固定, 使得球员路径轨迹非常密集, 且较为集中, 如图 5 所示:



胡梅尔斯 德国--阿根廷 路径热点图

胡梅尔斯 德国—法国 路径热点图

图 5 跑动路径热点图

Fig.5 Running path hotspots map

所以近似认为球员每一步所经过的路径为一片区域, 并且基于假设 3, 球员每次移动一小片区域于是便有:

$$dL'' \approx dS \quad (6)$$

可以得到跑动距离与跑动范围的关系:

$$L'' \approx S \quad (7)$$

3.2.3 球场长度公式

利用圆面积公式, 并结合跑动范围的具体数据可以求出每个球员的跑动半径:

$$r = \sqrt{S} \quad (8)$$

参考 2014 世界杯德国—巴西比赛德国球员热点图, 球员之间跑动范围重叠情况, 以及世界杯其他多场比赛时球员区域实际重叠情况, 认为等级 D 、等级 M 和等级 F 之间存在较

大覆盖区域。并且存在如下关系：

$$S(M) \in S(D) \cup S(F) \quad (9)$$

所以球场长度为：
$$length = 2 * [r(D) + r(F)] \quad (10)$$

3.3 球场长度计算

3.3.1 数据预处理

实际足球比赛中，由于球员在不同场次比赛的状态不同，引起传球数据的偏差。所以我们首先对数据进行了处理。以 2014 巴西世界杯的数据为例，我们从 600 人的传球数据中筛选，得到 2014 年世界杯德国队所有上场球员的传球数据。

由于上场时间不同，球员传球次数不同，时间越长则指标相应增大。于是我们利用单位时间传球数目将数据统一标准。首先计算出球员 N 场比赛单位时间传球数目，再计算每名球员在规定时间内 T_s 的传球数目：

$$p_i' = \frac{T_s * P_i}{T_i} \quad (11)$$

P_i 为第 i 号球员 N 场比赛总传球次数， t_i 为第 i 号球员 N 场比赛总上场时间。利用公式

(9) 计算，并进行取整运算，得到结果如表 1：

表 1 德国队传球数一览表
Tab.1 List of passing several German team

球员	上场总分钟数	传球成功数	单位时间传球数	全场传球数
诺伊尔	690	244	0.35	31.9
博阿腾	646	379	0.59	52.8
默特萨克	435	321	0.73	66.4
赫韦德斯	690	302	0.44	39.3
胡梅尔斯	509	281	0.55	49.6
穆斯塔菲	131	65	0.49	44.6
穆勒	682	221	0.32	29.1
格策	258	111	0.43	38.7
许尔勒	244	103	0.42	37.9
克洛泽	280	44	0.15	14.1
波多尔斯基	54	30	0.56	50.0
拉姆	690	562	0.81	73.3
克罗斯	690	537	0.77	70.0
施魏因施泰	505	412	0.81	73.4
厄齐尔	655	315	0.48	43.2
赫迪拉	376	203	0.53	48.5
德拉克斯勒	14	9	0.64	57.8
克拉默	43	19	0.44	39.7

同时上场时间也会限制跑动距离的长短，上场时间长则跑动距离较大。为了消除上场时间的影响，我们首先计算每一场比赛球员上场比赛的平均速度。球员可能因状态不同出现跑动距离的波动，为了减小随机扰动影响，再将 N 场比赛的平均速度取平均值即为最终球员速度，计算每名球员 T_s 时间的跑动距离：

$$vel_i = \sum (L_{ik} / t_{ik}) / N_i \quad (12)$$

$$L_i' = T_s * vel_i \quad (13)$$

t_{ik} 表示球员 i 第 k 场球赛上场时间; L_{ik} 表示球员 i 在第 k 场比赛实际跑动距离; L_i' 表示球员 i 在规定时间内 T_s 的跑动距离。利用 excel 软件计算平均速度与跑动距离结果如表 2:

195

表 2 德国队球员平均跑动速度 单位 (m/min)
Tab.2 German players average running speed unit (m / min)

球员	加纳	美国	阿尔及利亚	法国	巴西	阿根廷	平均
诺伊尔	53.4	50.7	43.1	56.1	62.8	52.6	53.3
博阿腾	110.6	110.3	86.7	100.8	115.7	101.3	104.4
默特萨克	102.2	101.3	84.2	0	110.7	95.4	97.3
赫韦德斯	116.3	113.9	97.6	107.9	122.8	109.0	110.9
胡梅尔斯	108.0	105.1	0	100.9	112.7	102.7	105.0
穆斯塔菲	119.5	0	94.3	115.	0	113.8	109.2
穆勒	128.6	116.4	97.3	29.1	122.8	127.9	118.1
格策	129.9	136.6	133.4	38.7	0	123.5	132.7
许尔勒	0	108.9	76.7	120.3	118.6	109.6	108.0
克洛泽	109.68	104.3	0	102.8	113.4	0	105.9
波多尔斯基	0	116.1	0	0	0	113.4	114.7
拉姆	123.7	123.0	97.0	100.3	115.6	118.5	112.1
克罗斯	122.6	116.3	93.8	109.9	125.8	124.4	114.8
施魏因施泰	134.8	125.2	100.6	112.0	135.7	0	121.2
厄齐尔	108.5	112.9	87.9	104.9	122.8	112.8	109.0
赫迪拉	115.3	0	117.4	111.0	130.3	119.7	118.8
德拉克斯勒	0	0	0	57.8	141.7	0	141.7
克拉默	0	0	140.6	39.7	0	0	135.1

3.3.2 路径矩阵计算

使用最小费用最大流计算实际流 x_{ij} 结果。

我们参照 2014 巴西世界杯半决赛德国对阵巴西时的首发阵容排布构建网络图，

200

对德国队球员编号，并由依据公式 (3) (4) 得到网络图如下：

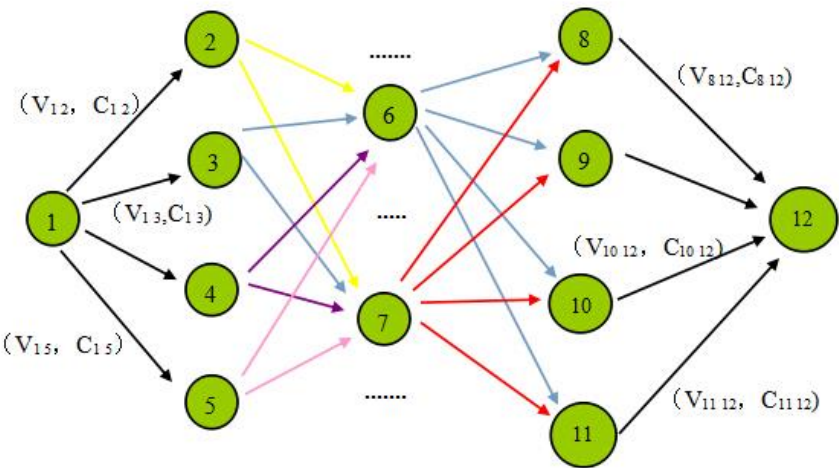


图 6 德国对战巴西网络图
Fig.6 Germany Brazil Versus network diagram

205

通过编写最小费用最大流的 Matlab 程序得到路径矩阵为

210

x =

0	7.75	7.75	7.75	7.75	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7.75	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7.75	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7.75	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7.75	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	18.25	0	0	12.75	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.75
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.3 结果分析与检验

所以球员 1 到球员 2、3、4、5 的传球数目都是 7.75 个；球员 2、3、4、5 到球员 6 的传球数目都是 7.75 个；球员 6 传给球员 8、10 的数目分别为 18.25 个和 12.75 个；球员 8、10 最终将球传给虚拟节点。

由结果可知，传球路径偏向德国队的左半场，即球员 6 得球数目较多，这是因为同处于中场位置的两名球员中，球员 6 实力比球员 7 的实力高。这一点可以从费用矩阵 c 中得出，本题目中单位流的费用表示球员成功传球一次所需要跑动的距离，如果球员能够跑动很短的距离便可以将就成功的传给下一名球员，则说明该球员水平较高。即 c 越小球员水平越高。反映到最小费用最大流问题中即为费用 C 越小，该球员实力越高。

根据公式（7）以及跑动距离，可以计算出跑动范围半径：

表 3 跑动半径一览表
Tab.3 Radius List running

编号	球员	跑动半径 r
2	赫韦德斯	25.1
3	胡梅尔斯	21.6
4	博阿滕	20.9
5	拉姆	18.5
6	施魏因斯泰格	25.3
7	赫迪拉	28.7
8	波多尔斯基	35.7
9	穆勒	0
10	克洛斯	0
11	厄齐尔	0

3.3.4 球场长度

由于存在不确定因素，所以给出球场长度的取值范围：

表 4 球场长度结果
Tab.4 Stadium length results

	最大值	最小值	平均值
球场长度值/m	121.6	106.4	114.45

当前足球比赛的场地长度为 105m，与计算结果十分接近，毕竟计算结果存在一定误差，

故认为当前的球场长度是合理的。

4 比赛时间合理性分析

运动员在常规训练或者比赛过程中,随着运动时间的增加,会产生疲劳感。在足球项目上,具体表现为运动员的运动能力下降,若是过长的比赛时间,则会严重影响运动员的体质健康。若是比赛时间过短,则影响观赏性。所以,适当比赛时间的确定尤为重要。足球比赛时间为 90min,在每半场比赛,因故损失的时间应扣除。所以一场足球比赛的时间往往超过 90 min。这样直接的结果是在实际比赛过程中比赛的净时间极大减少。

4.1 足球比赛密度

足球比赛密度是比赛中运动员活动的时间(比赛纯时间)与比赛总时间的百分比,它主要表示运动员在比赛场上的运动情况。比赛密度定义为净比赛时间与比赛实际总时间的比值。

通过对比赛密度的研究从而可以对足球比赛的进行状况进行评价,比赛密度可以反映比赛的精彩程度和比赛双方的对抗激烈程度,可以间接的知道足球运动员是如何分配运动时间的。

比赛密度过小时,即比赛净时间很小,那么比赛过程中因为其他因素损失的时间就过多了。足球比赛的连续性以及流畅性不佳,导致比赛精彩程度很低。所以我们采用比赛密度来评价比赛时间是否合理。我们将查得的数据结合比赛密度的定义,得出第 11 届欧洲杯,第 13、17、18 届世界杯的平均每场比赛的比赛密度。

从图 14 可以看出,第 18 届世界杯的平均比赛密度为 62%;第 17 届世界杯赛最少,为 57.05%;第 13 届世界杯赛的比赛密度为 68.07%;第 11 届欧洲杯的比赛密度最高,为 72.67%。

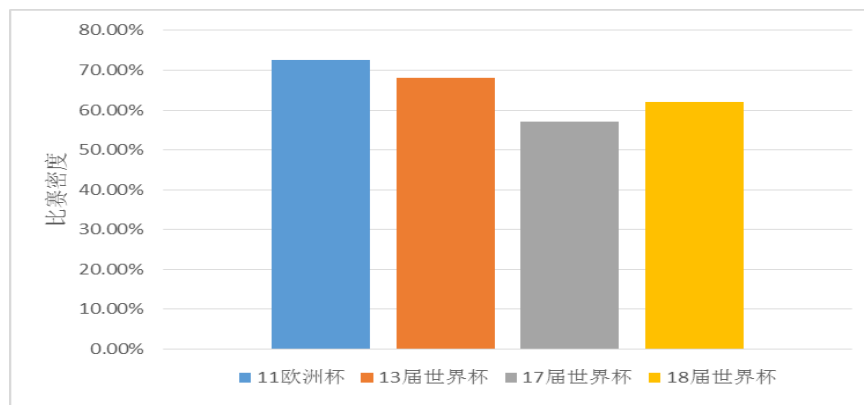


图 7 比赛密度柱状图
Fig.7 Competition density histograms

结果分析:观察图 7 可知,当今的足球比赛中,比赛密度大都在 55%-75%之间,也就是说,大约有三分之一的比赛时间都由于各方面的因素而损耗。因此,我们认为当前的比赛时间是不合理的。

4.2 比赛时间计算模型

据对世界杯比赛的统计,在每 45min(半场)的比赛中,平均中断 58 次,每次中断时间为 10-20s,(个别也有超过 60s 的),因中断积累的时间为 15-19min,而真正比赛的时间仅为 24-30min。

根据文献[6],得到运动员在每场比赛中各种运动形式平均所占比例:

表 5 运动形式统计表
Tab.5 Movement in the form of tables

运动形式	快跑	慢跑	行走
比例 (%)	24.3	49.2	26.5

通过中国足联官方网站的运动员测试数据,可以得到运动员的 50 米跑的测试数据和 1000 米的耐力跑的数据,50 米跑的测试平均时间为 6.8s,耐力跑的测试平均时间为 3min10s,本文以 50 米跑的测试平均速度作为快跑的速度,以耐力跑的测试平均速度作为慢跑速度。

根据国民体质监测中心的数据可以得到,成年人行走速度为 1.1m/s,50 米跑的速度是 V_1 ,耐力跑的速度为 V_2 ,行走速度为 V_3 。根据文献[7],世界杯八强队伍的运动员(不包括守门员)平均跑动距离 S 为 10210.5 米。

快跑距离 $S_1=S*24.3\%$,时间 $t_1= S_1/ V_1$ 慢跑距离 $S_2=S*49.2\%$,时间 $t_2= S_2/ V_2$ 行走距离 $S_3=S*26.5\%$,时间 $t_3= S_3/ V_3$ 。半场中断时间为 $t_4=19*60=1140s$, T 表示总时间。因此本文的比赛时间计算模型为:

$$T = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 * 2) / 60 \quad (14)$$

对模型 (14), 计算结果如下:

表 6 总时间 (平均跑动距离 $S=10210.5m$)
Tab.6 Total time (average running distance $S = 10210.5m$)

运动形式	快跑 (24.3%)	慢跑 (49.2%)	行走 (26.5%)
跑动距离 S_i (m)	2481.15	5023.57	2705.78
所用时间 t_i (s)	337.44	954.48	2459.8

考虑实际比赛中半场比赛时间为整数,本文对上述结果做了适当调整,比赛参考时间为:总的比赛时间为 101min,中场休息 15min,每半场比赛时间为 43min。

5 结论

本文中球门的高度和宽度设计主要依据了运动员身高臂长因素,然后依据数学中的角度知识以及球员射门临界状态设计了球场宽度;对于球场长度,本文将其转化成最小费用最大流优化问题,这样的结果可以达到前锋接到传球次数较大且跑动距离较小的效果。再分析数据库中球员轨迹热点图找到跑动半径与跑动距离的关系,计算出跑动半径后最后求出球场长度。

现在的标准足球场球门尺寸,其高度为 2.44m,宽为 7.32m,均在所分析的合理数据区间之内,且恰好落于均值 7.34m 附近,足球场宽的所在区间为米。当今足球赛场的宽度为 68m,球场长度合理取值范围为[106.4m, 121.6m],当前的足球场标准各项指标均处于计算得到的范围之内,因此当前的球场尺寸是合理的。通过比赛密度评价模型认为当前比赛因为损耗时间较多导致比赛净时间减少,因此认为现在的比赛时间不合理,本文给出的比赛参考时间为:总的比赛时间为 101min,中场休息 15min,每半场比赛时间为 43min。

[参考文献] (References)

- [1]邓飞, and 刘飞振. "现代足球运动员的身高, 体重, 年龄特征及我国现状." 西安体育学院学报 17.2 (2008): 38-40.
- [2] 田正朗杰, 《NBA 球星的胳膊长度有多长》, 意林, 2013 年 06 期
- [3] 高翔. 优秀男子短跑运动员步长, 步频与百米运动成绩的相关分析[J]. 体育师友, 2009 (5): 67-68.

- 305 [4] 艾康伟, 王新洛, 刘丹, 等. 足球运动员比赛条件下运动距离测量和运动速度分析[J]. 中国体育科技, 2005, 41(5): 81-84.
- [5] 周德铨, 史晓红. 足球运动员比赛跑动能力的进展研究[J]. 湖北体育科技, 2014, 33(2): 136-139.
- [6] 艾康伟, 王新洛, 刘丹, 等. 足球运动员比赛条件下运动距离测量和运动速度分析[J]. 中国体育科技, 2005, 41(5): 81-84.
- 310 [7] 瞿煜忠. 足球比赛中运动员体能特征的探索[J]. 体育科研, 1997, 18(3): 1-6.