

中国足球职业联赛的熵演化分析

金 康 阮洁雅 王晓辉

(西北大学物理学院, 陕西 西安 710127)

摘 要 熵是系统混乱度的量度。这一概念经过推广运用在不同的研究范畴, 可以衡量系统的复杂性, 无序度, 演化方向等特性。在本文中我们根据中国足球职业联赛的统计数据, 计算了相应的职业联赛的香农熵, 并以此作为职业足球竞争度的量度, 分析了 2009—2019 年中国足球职业联赛竞争度的发展趋势。作为比较, 我们根据近年日本足球职业联赛的数据计算了相应竞争度。结果显示: 中国足球联赛的竞争度随时间呈降低趋势, 强弱队伍层级分化现象加强, 中国职业联赛的竞争度低于日本联赛, 且竞争度的涨落高于日本联赛。

关键词 竞争度; 统计分析; 香农熵

ENTROPY EVOLUTION ANALYSIS OF CHINESE PROFESSIONAL FOOTBALL LEAGUE

JIN Kang RUAN Jieya WANG Xiaohui

(School of Physics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127)

Abstract Entropy is the measure of the chaotic degree of the system. This concept is popularized and applied in different research fields, which can measure the complexity, disorder degree, evolution direction and other characteristics of the system. In this paper, we calculate the Shannon entropy of Chinese Professional Football League according to the statistical data, and take it as a measure of the professional football competitiveness to analyze the development trend of the degree of competitiveness of Chinese Professional Football Leagues from 2009 to 2019. As a comparison, we calculated the corresponding competition degree based on the data of Japanese Professional Football League in recent years. The results show that the competitiveness of Chinese Football Leagues decreases with time, which arise from the enhancement of the differentiation between strong and weak teams. The competitiveness of Chinese Professional Leagues is lower than that of Japanese leagues, and the fluctuation of the competitiveness is higher than that of Japanese Leagues.

Key words competitiveness; statistical analysis; Shannon entropy

熵是系统混乱程度的量度, 玻耳兹曼公式 $S = k \ln \Omega$ 给出了熵值和系统混乱度的度量关系。在理想气体, 顺磁性固体, 固体晶格等物理模型中,

根据玻耳兹曼公式计算的系统熵值均正确反应了微观描述下系统单元的能量布居特征^[1,2]。熵作为混乱程度的度量, 被研究者应用于不同的研究

收稿日期: 2020-11-07; 修回日期: 2020-12-02

基金项目: 西北大学 2018 年度“本科教育质量提升计划”项目(批准号: JX18114)资助。

通讯作者: 金康, 男, 副教授, 主要从事大学物理教学和软凝聚态研究工作, jinkang@nwu.edu.cn。

引文格式: 金康, 阮洁雅, 王晓辉. 中国足球职业联赛的熵演化分析[J]. 物理与工程, 2022, 32(2): 151-154.

Cite this article: JIN K, RUAN J Y, WANG X H. Entropy evolution analysis of Chinese professional football league[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(2): 151-154. (in Chinese)

领域。例如在信息论中引入信息熵以衡量消除不确定性所需的信息量^[3],在复杂网络理论中定义结构熵反映网络结构特性^[4]等。这充分说明了熵作为系统无序度的量度这一概念的普适性。近年来对体育比赛进行统计物理分析成为了一个广受关注的研究领域。研究者对团队体育比赛中的竞争优先机制^[5],学习过程^[6],联赛进程熵演化^[7,8]等诸多问题进行了探讨。其中 SERGIO 等研究者根据职业足球联赛中参赛队的相对积分分布,通过计算香农熵来刻画职业足球联赛的竞争度^[8]。研究通过对 15 个国家不同规模的联赛数据进行统计,指出了竞争性和联赛规模的正相关性。然而对于一个规模固定的联赛,不同赛季的香农熵值是否体现了联赛的竞争性的变化,而竞争性变化的微观表现和宏观效应是什么? 这些问题都十分有趣并且对促进思考竞技体育发展规律具有一定的意义。

在本文中我们根据中国足球职业联赛的统计数据,以香农熵为度量分析了 2009—2019 年中国足球职业联赛竞争度的发展变化趋势。并与近年日本足球职业联赛的相应结果进行了比较。根据比较研究的结果我们给出了中国职业联赛竞争性发展趋势的说明。

1 竞争度分析

假设一个职业联赛一个赛季共有 N 支参赛队。令最终排名为 r 的球队取得的积分为 p_r , 定义

$$p_r^* = \frac{p_r}{\sum_{r=1}^N p_r}$$

其中 $\sum_{r=1}^N p_r$ 是所有球队获得积分总和。 p_r^* 是第 r 的球队积分占总积分的比例。

由于 p_r^* 满足

$$\sum_{r=1}^N p_r^* = 1$$

数列 $\{p_r^*\}$ 等效于一支球队获得 p_r^* 个积分的概率。引入香农熵,其定义为

$$H = - \sum_{r=1}^N p_r^* \ln p_r^*$$

香农熵定义了系统的无序度。在我们所研究的样

本足球职业联赛里,无序度可以等同于联赛的竞争程度。举例说明:如果在联赛(共 N 支球队)结束时每个球队拿到同样多的积分,即比赛的竞争程度最高。 $p_1^* = p_2^* = p_3^* \cdots = p_N^*$, 香农熵为最大 $H_{\max} = \ln N$ 。如果 N 支球队按照实力等分为两个集团,第一集团取得相同积分 $2x$,第二集团积分为 x 。可以算出 $H \approx \ln[0.94N] < H_{\max}$ 。因此香农熵的大小可以作为衡量联赛竞争激烈程度的参量。

2 中国联赛竞争度的演化

中国男子职业化足球联赛起始于 1994 年,迄今已超过 25 年。如果考查职业联赛对中国足球水平的提升作用,在这 25 年里,中国男子国家足球队在国际足联的官方排名是一个合适的参考。图 1 展示的是从 1993 年起到 2019 年国际足联网站(www. fifa. com)上公布的中国国家足球队在 12 月份的国际排名。可以看到中国男足的排名变化趋势是退步的。职业联赛对国家队竞技水平的影响如何并没有直接的关系可以参照。但总体来说,一个国家职业足球联赛开展的水平越高(包括规模、竞技水平、竞争程度等),相应国家足球的水平越高。图 1 展现的变化趋势表明中国国家足球队的水平在下降,那么在相同的时间段,中国职业足球联赛的发展又出现了什么样的趋势。我们将从联赛的竞争度方面给予分析。

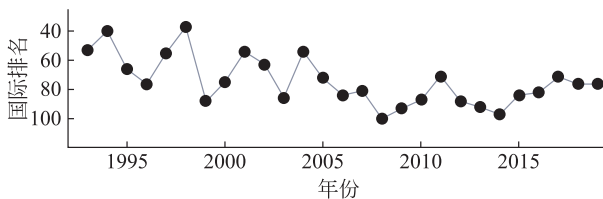


图 1 从 1993—2019 年每年的 12 月份, 中国男子足球队的国际排名

由于从 2009 年起始,中国超级联赛的参赛队伍数目保持为 16 支。因此,我们选择 2009 年的联赛数据为统计的起点。联赛比赛数据来自中国足协官网及搜狐体育网。在图 2 我们给出了从 2009 年至 2019 年联赛竞争度的发展曲线。可以看到,联赛竞争度随记录年份的发展呈现出波动性,但整体竞争度是随时间降低的。对具体数

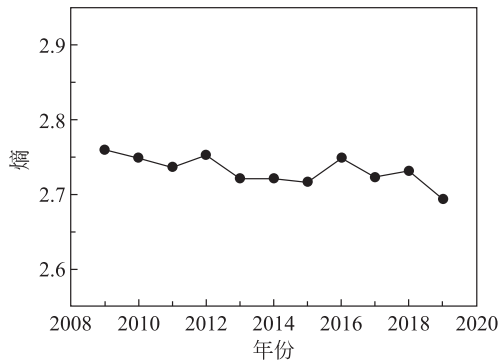


图2 从2009—2019赛季,中国男子足球职业联赛的香农熵。

据我们做如下说明:竞争度最弱的联赛出现在2019年(2.693),最强出现在2009年(2.760),相对值为0.976。在2009—2015年间,竞争度呈线性下降趋势,波动点出现在2012年。在2015—2019年(五个数据点),可以看到竞争度出现了两次振荡,但两次振荡峰的峰值数据和平滑区数据均呈现下降趋势。

对图2数据进行线性拟合,得到竞争度随记录年份的变化关系为: $y = 2.75712 - 0.0041x$ 。

积分的统计结果虽指出联赛竞争性的发展趋势,但从中无法看出联赛竞争性下降的内在原因。为此,我们采用划分子联赛的方式对联赛积分数据进行新的分析。方法如下:将联赛最终积分在1~5名和12~16名的队伍筛选出来,扣除这些队伍与6~11名队伍比赛获得积分,从而组成新的子联赛,计算相应的竞争度。我们选择2009—2019年每间隔1年的子联赛作为样本。图3给出了相应赛季子联赛的积分-排名示意图。图4给出了统计年份子联赛的竞争度示意图。可以看到子联赛竞争度的最高值为统计的起始年份2009年,而最低值是统计的终止年份2019年。2015赛季子联赛竞争程度高于前后两个统计年份的值,但整体的变化趋势呈现出衰减。对数据点线形拟合,得到的竞争度和统计年份排序($n = 1 \sim 6$)的函数关系为 $y = 2.272 - 0.015x$ 。考虑到子联赛球队的排名范围分属于联赛积分的第一集团和第三集团,竞争度下降根本原因可认为是参赛强队对弱队的竞争优势扩大。联赛具体比赛的数据统计也支持了这样的结论。在2009赛季,联赛前三名对后三名比赛获得的积分为35分,在2015年,2019年,该项数据分别为42分、45分。关于在有竞争性相互作用的复杂系统中,出现层级分

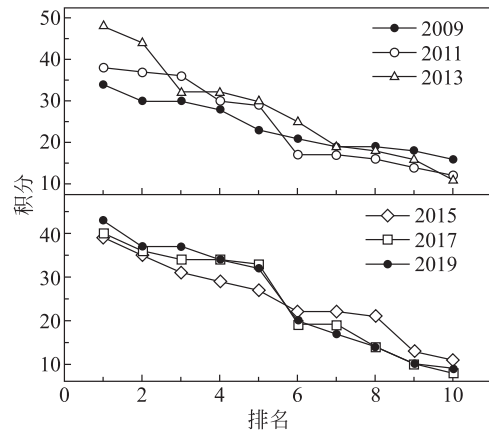


图3 2009,2011,2013,2015,2017,2019六个赛季,中国男子足球职业联赛积分第一集团和第三集团构成联赛的积分-排名图

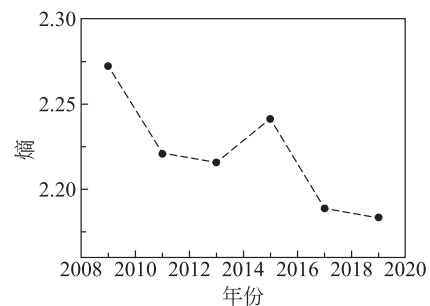


图4 从2009—2015赛季,以中国男子足球职业联赛积分第一集团和第三集团构成联赛的香农熵。

化的现象已有相应的报道^[9]。研究者证明不同物种的族群中,包括昆虫、灵长动物等,均存在以竞争为内因的层级关系。在足球联赛中,存在层级结构是充分竞争的结果,有其积极的意义。有研究指出,相互作用的群体中个体的流动会强化顶层的决策能力,进而降低顶层个体犯错误的概率^[10]。因而,竞争会造就顶层球队更好的成绩表现。但是,上述展示的结果指出,参加竞争个体出现强弱分化会降低整体联赛的竞争性。

一般意义上讲,联赛竞争性的降低会影响联赛整体的平衡性,进而影响职业联赛的竞技水平及国家足球队的表现。作为比较,我们分析了日本足球职业联赛的发展趋势(国际足联官方排名榜中,日本队长期处在亚洲的前三名)。以此为参照,比较中国和日本职业联赛发展趋势的异同,并就竞争性和国家足球队竞技水平正相关关系给出一个例证。由于2016,2017赛季日本足球联赛的赛制发生了改变(由传统的主客场循环赛

制改为分层次的两阶段赛制),而在 2018 年又恢复为全部参赛队循环赛制,我们对 2016 年,2017 年两个年份的数据没做处理。图 5 给出了 2003—2019 年日本联赛竞争性的演化曲线,可以看到联赛竞争性随时间的起伏较小,呈现出缓慢的衰减趋势。其中竞争性最低值在 2015 年,最高值出现在 2012 年,最低值和最高值之比为 0.980。运用线形拟合,竞争性随记录年份的函数为 $y=3.991-0.00017x$ 。日本联赛的竞争度最低最高值比高于中国联赛对应值,而竞争度变化率绝对值小于中国联赛,这说明日本职业联赛的竞争性较为稳定,强弱队伍层级分化趋势弱于中国联赛。为了进一步说明这点,我们把两国职业联赛的竞争性进行了比较。由于两国联赛参赛队伍数目不同(日本联赛 18 支职业队,中国联赛 16 支职业队),我们采用了如下方案:参考日本联赛每个赛季的排名,分别去掉前两名和最后两名,得到两个 16 支队伍的子联赛集团,统计子联赛参赛队的相互成绩得到子联赛竞争度,取平均值得到等效联赛竞争度。图 5 给出的是我们根据近 5 年(除去 2016 年,2017 年)联赛数据得到的竞争度数值。为方便比较,我们附上了相应年份中国联赛数据的统计结果。从图 5 可以看到:1)日本联赛的竞争性超过中国联赛。五个赛季日方的竞争度平均值为 2.745,中国联赛的竞争度平均值为 2.717。2)进行“约化”的日本联赛,竞争性随时间涨落较小,其中日本五年竞争度的涨落为 0.007(竞争度的均方根偏差/竞争度平均值^[11]),中国联赛涨落为 0.010。由于职业联赛是一个国家足球运动的主体,上述比较结果一定程度上反映出中国足球与亚洲高水平足球差距越拉越大的内在原因。

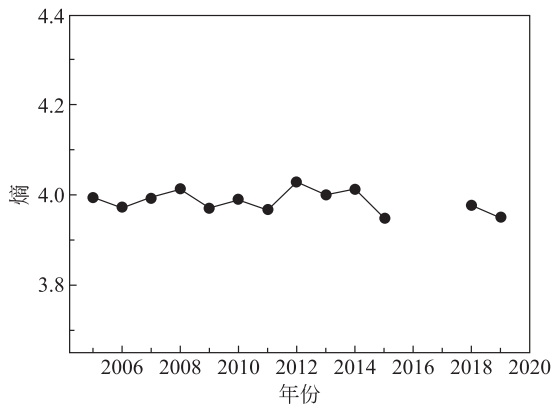


图 5 从 2005—2019 年(除去 2016 年和 2017 年),日本男子足球职业联赛的香农熵。

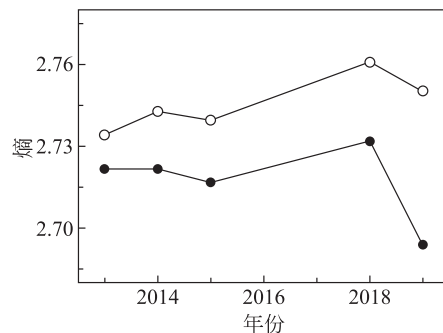


图 6 从 2013—2019 年(除去 2016 年和 2017 年),中国(圆盘)和日本(圆圈)男子足球职业子联赛的香农熵

3 结语

综上所述,我们运用香农熵对中国男子足球职业联赛的竞争度发展趋势进行了分析,并且将统计结果和日本足球联赛的相应数据进行了比较。根据分析我们得出两点结论:1)中国职业联赛的竞争性的总体趋势是随时间下降的。2)中国职业联赛的竞争性弱于日本职业联赛。而这两点结论一定程度上说明了中国国家队在国际足联官方排名整体下滑,在亚洲排名下降的原因。

参 考 文 献

- [1] 汪志诚. 热力学统计物理[M]. 北京:高等教育出版社, 2014.
- [2] GIORDANO N J, NAKANISHI H. 计算物理[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [3] 曹雪虹. 信息论与编码[M]. 北京:清华大学出版社, 2009.
- [4] YE C, WILSON R C, COMIN S H, et al. Approximate von Neumann entropy for directed graphs[J]. Phys. Rev. E, 2014, 89: 052804.
- [5] MERRITT S, CLAUSET A. Environmental structure and competitive scoring advantages in team competitions[J]. Sci. Rep., 2013, 3: 3067.
- [6] NEIMAN T, LOEWENSTEIN Y. Reinforcement learning in professional basketball players[J]. Nat. Commun., 2011, 2: 1.
- [7] LOPES A M, Tenreiro Machado JA. Entropy analysis of soccer dynamics[J]. Entropy, 2019, 21: 187.
- [8] SILVA S D, MATSUSHITA R, SILVEIRA E. Hidden power law patterns in the top European football leagues[J]. Physica A, 2013, 392: 5376-5386.
- [9] POSFAI M, DSOUZA R. Talent and experience shape competitive social hierarchies[J]. 2018, Phys. Rev. E, 98: 020302.
- [10] KENNEDY J. Handbook of Nature-Inspired and Innovative Computing[M]. Springer, Boston, 2006.
- [11] 秦允豪. 热学[M]. 北京:高等教育出版社, 2018.