

体育经济学与体育量化分析的若干新近发展及展望

厦门大学王亚南经济研究院 范青亮 周祎玮*

1. 引言

体育赛事因其刺激性、实时性、普及性高、关注度高等特点,在世界上许多国家和地区已成为第三产业的一个重要组成部分。随着经济全球化,体育赛事吸引了越来越多的参与者与观众,很多比赛的影响力已经远远超越了本地本国的界限,成为全球性关注的焦点。例如,2008年北京奥运会的现场和电视观众估计达到了47亿人次;2014年的巴西足球世界杯大约共有32亿人观看。一些大型的体育赛事,如奥运会、世界杯等,可以吸引数千万的观众,从而对经济和社会都产生巨大影响(Zimbalist, 2015; Baade 和 Matheson, 2016)。一方面,职业体育产业创造了众多的就业机会,已经成为新经济增长的一个重要引擎。欧美等发达国家的体育联赛,例如美职篮(NBA)、英格兰足球超级联赛(EPL)等,具有很强的观赏性和广泛的当地群众基础。另一方面,体育比赛的影响力不仅仅在于比赛本身。借助大众传媒的报道,体育比赛可以提升国民自豪感(Kavetsos 和 Szymanski, 2010),弘扬奥林匹克精神,以及推动民权运动的发展。

随着体育事业的发展、国家战略的引导、人民生活水平的提高及消费观念的改变,大众运动健身行业也在迅速发展。据统计,2015年,我国居民经常参加运动健身的人数达3.6亿,而运动健身休闲产业总计达8千亿元。国务院在2014-2016年间下达了一系列关于发展全民运动健身的文件,包括《全民健身计划(2016-2020年)》和《关于加快发展健身休闲产业的指导意见》,提倡以全民运动健身来提高国民健康水平。在政府的大力倡导与推动下,到2025年,我国居民经常参加运动健身的人数预计达到3.6亿,而运动健身休闲的产业规模将增长三倍,达到3万亿元。2014年10月20日下发的《国务院关于加快发展体育产业促进体育消费的若干意见》提出了由计划体制向市场化转变,初步尝试体育竞赛与经营活动结合,鼓励企业加盟,实现产业社会化的号召。随着市场化的发展,体育运动包括全民体育健身所带来的商业活动,包括电视转播、旅游、广告、服务产业、体育用品,如球队文化产品、体育运动器材和相关健身设备,在我国整体经济中将会占到很大的份额。

体育经济学研究的内容比较广泛,涉及到与体育相关的所有问题,例如:美职篮(NBA)裁判的种族歧视问题(Price 和 Wolfers, 2010);超级球星对电视收视率的影响(Hausman 和 Leonard, 1997);体育比赛中的心理激励效应(Berger 和 Pope, 2011),体育比赛的结果对金融市场

* 范青亮获美国北卡州立大学经济学博士学位,现为厦门大学王亚南经济研究院与经济学院副教授;电子邮箱:michaelqfan@xmu.edu.cn。周祎玮现为厦门大学王亚南经济研究院硕士研究生,电子邮箱:ywzhou.wise@foxmail.com。作者感谢洪永森教授对本文的建设性意见,也感谢WISE体育经济学大数据学习小组的成员们。作者感谢福建省高校杰出青年科研人才培育计划资助。

的影响(Edmans 等,2007; Fan 等,2017)。Fort(2003)从经济学的角度研究体育的需求和供给以及市场分析。目前国内对体育经济的研究相对较少,范青亮和洪永森(2017)研究我国一、二线城市马拉松比赛对赛事举办地当地经济的影响。Fu 和 Guo(2017)研究空气质量对马拉松选手成绩的影响。魏下海等(2017)用中国职业足球运动员的微观证据研究雾霾对个体生产率的影响。由于篇幅所限,本文的综述难免以偏概全,作者希望抛砖引玉,试图提出更多的问题,引起读者对体育经济、数据科学以及相关领域的重视和兴趣。在后文中,作者只强调基本思想,对技术分析部分感兴趣的读者可以自行阅读相关文献。

2. 体育比赛量化分析的若干最新发展

大众对体育的热爱早已引起了统计学者的关注。例如,棒球作为全美国最流行的娱乐活动之一,具有非常详细的官方比赛记录。对棒球比赛的研究最早可以追溯到 Mosteller(1952),他对世界职业棒球联赛(MLB)中球队获胜的概率进行了统计分析。正如后来 Mosteller(1997)所讲的那样,他将学到的无偏估计的方法应用到体育运动中,“如果你学习了一些统计推断方法,那么你很有可能会在体育统计论文中使用它们。”一方面,体育比赛的结果是随机的,丰富的比赛数据为比赛过程和结果的随机建模提供了可能性。另一方面,尽管体育数据日益丰富,但许多教练只将其纯粹地用作现场比赛环境中的描述性总结,在历史数据分析的基础上给予运动员指导。其实,现场比赛的数据可以用来帮助教练做决策,从而有可能在防守能力等方面给球队带来帮助。当然,为了得到精确的分析结果,我们需要建立一个包含重要协变量和比赛重要特征的统计模型。

从经济学的角度来看,体育比赛具有明确的规则,因此与经济代理人在约束条件下的最优化问题相类似。Romer(2006)收集了美国职业橄榄球大联盟(美职橄,NFL)第一节 700 多场的的数据,估计出每次控球中首攻(first down)和四档(fourth down)进攻的价值以及弃踢(punt)的价值,用动态规划的方法模拟出了美式橄榄球比赛中四档进攻的决策,发现大多数球队在选择四档进攻时过于保守,并没有做到对胜率的最大化。这篇文章影响了许多教练的实际决策,例如新英格兰爱国者队的总教练贝利切克(Bill Belichick)曾经在赛后新闻发布会上引用过这篇文章来解释自己在场上所做的决策。2009 年新英格兰爱国者队对印第安纳波利斯小马队的比赛中,在比赛只剩下 2 分 8 秒的时候,贝利切克做出在本方半场进行四档进攻的大胆决定,成为 NFL 比赛中的经典一幕。Goldman 和 Rao(2017)研究了进攻计时时间管理问题,根据序贯搜索问题(sequential search problem)来建模,该模型假设拥有球权的一方会最大化每次控球的期望值,在每一秒控球的队伍都会决定是否投篮。假设控球剩余 t 秒时得分的期望值是一个累计分布函数为 F_t 的随机变量,在 t 到 0 的每一秒($t \leq 24s$),当期望值大于保留价值 c_t 时,拥有球权的队伍将会选择投篮。作者收集了美国职业篮球联赛(NBA)的比赛记录数据,如 2 分球、3 分球命中次数,失误次数,投篮犯规次数,2 分球、3 分球不进次数,用了一个结构停止模型(structural stopping model)来检验预测结果。

每个体育比赛有不同的规则,所以可以用不同的方法来进行建模。例如,篮球比赛在单位时间内得分的频率相对较高,即使比赛是回合制的,两队在任何时间段都有非零的得分概率。Stern(1994)运用布朗运动过程来研究体育比赛中的分数差异。假设两队的分数差异 $X(t)$ 服从正态分布 $N(\mu t, \sigma^2 t)$,其中 μ 为单位时间的漂移, σ^2 为单位时间的方差。在这个假设下,分数差异增量 $X(s) - X(t)$, $s > t$ 将独立于分数差异 $X(t)$ 。主队获胜的概率 $P(X(1) > 0)$ 为

$\Phi(\mu/\sigma)$ 其中参数 μ 和 σ 可以用 probit 回归模型来估计。这个方法适用于美国职业篮球联赛(NBA)和美国职业棒球大联盟(MLB)。在连续时间模型中,Chen 和 Fan(2018)运用函数型数据分析(FDA)对 NBA 常规赛季中 8000 多个主客队的分数差进行统计建模。在这篇文章中,分数差异被认为是连续型变量得分“能力”的离散数据实现。结合分别对运动员和队伍进行分析的“自下而上”和“自上而下”的方法,Xin 等(2016)提出了一种连续时间的随机块模型,它将运动员按照他们的打球风格和表现进行分组。该模型提供了对运动员在得分、篮板、抢断等方面的效率的特定群组估计,还捕获了群组内部和群组之间的运动员互动模式。在团队运动中,队伍的“化学反应”是非常重要的因素,但是队员之间的心理反应很难量化,更不用说用它来预测比赛结果了。这可能也是未来研究的方向之一。

由于体育比赛考验的是运动员的身体素质和心理素质,体育比赛的量化分析需要关注运动员的情绪、在压力下的身体状况、以及观众的支持或嘲笑等因素,这些因素对比赛结果有着直接的影响。比如体育比赛存在的“手热效应”(hot hand effect)(Tversky 和 Kahneman,1974;Tversky 和 Gilovich,1989),即某一支队伍火力全开的势头一直保持下去的现象。Attali(2013)分析了 NBA 的投篮数据,发现一个刚刚得分的球员更有可能为队伍进行下一次投篮,而且会在更远的地方投出(这反映出运动员的自信心),然而也更有可能会失手,同时教练更换这名运动员的可能性将降低。在 Chen 和 Fan(2018)的论文里,作者用了一个可测的方法来定义队伍的势头(momentum):在时间 t 到 $t+s$ 内,如果一支队伍领先 h 分,那么在给定时间 s 内,将这支队伍的势头大小定义为 h 。这篇文章并没有就体育比赛中是否存在“手热效应”做出讨论(有大量关于这个问题的文献,比如 Camerer,1989;Wardrop,1995),也没有探讨热手效应对运动员的心理以及比赛结果的影响,而是基于观察到的客观指标以及一支球队的得分比比赛平均速度快得多的事实,来给出了势头的定义。可以发现以这种方式定义的势头对比赛的结果有很大的影响,并且在体育比赛的最后时刻起着决定性的作用,比如在篮球比赛最后两分钟出现平局时,球队的势头显得尤为重要。队伍在系列比赛中的势头关系同样被学者所关注,Kniffin 和 Mihalek(2014)分析了 458 场 NCAA 一级冰球两场系列赛,发现如果一队在第一场以很大的优势胜出,那么第二场中将没有必要保持势头。此外,作者提出还应该考虑获胜球队的损失厌恶程度。

考虑信号处理技术,例如 STATS 公司的 SportVU 系统利用安装在篮球场上空的六个摄像头,每秒抓拍 25 张图片,来追踪球员和篮球的实时位置。这类数据可以给出了篮球运动轨迹的更多细节,并且可以利用比赛的高分辨率特性来进行建模,从而为实时分析提供帮助。Cervone 等(2016)使用多分辨率随机过程模型(multi-resolution stochastic process model)来(实时)预测每次球权的得分。使用能够精确追踪球场上每个球员的二维位置(以及球的三维位置)的光学数据,可以分析出球员的移动路径来制定对策,从而在投球、犯规等发生之前来估计预期球权得分(EVP)。除了罚球之外,每次球权的结果都是 $X(\omega) \in \{0, 2, 3\}$,其中 $\omega \in \Omega$ 是球权路径的样本空间。该方法涉及不同层次的分辨率、球员的移动以及篮球的运动的组合,并且以贝叶斯方式来估计分层模型。我们还可以分析投篮的图表数据。Reich 等(2006)基于投篮的图表数据改进了层次空间模型(hierarchical spatial model),这些模型允许在两个空间维度(即到篮筐的距离和连接两个篮筐的线的角度)上的拟合表面有不同的平滑度。这个方法适用于明尼苏达森林狼后卫卡塞尔(Sam Cassell)在 2003-2004 年 NBA 投篮的图表数据。高分辨率数据和投篮图表数据的可获得应该引起我们对体育比赛量化分析的更多关注,尤其是对一些不寻常的事件的研究,例如进攻犯规和“手热”现象。我们有理由相信,如果能获得更详

细的高分辨率的数据 相关的研究也将会找到新的研究途径。

考虑到比赛的特性和模型拟合的不同,各个体育运动的随机建模将会非常不同。例如 Glickman 和 Stern(1994) 建立了一个状态空间模型(state-space model) 来预测美国职业橄榄球联盟的比赛结果,这个模型充分考虑到了队伍实力和主场优势,同时假设比赛结果服从正态分布。还有一个分析棒球数据的传统方法,通过平均击球数和失分数等分析击球和投球的效率,称为棒球计量学(Sabermetrics)。Casella 和 Berger(1994) 发现使用伯努利过程会夸大棒球击球手的表现(平均击球数),并提出解决方法:基于 EM 算法或者 Gibbs 样本来构造最大似然函数。Bukiet 等(1997) 在考虑到球队的球员能力各异的情况下,引入了马尔可夫链方法。这个方法可以用来找出最佳的击球次序,每半场和每场比赛的得分分布,以及球队预期获胜次数。Thomas 等(2013) 从进攻/防守的效率和得分率两方面来评估冰球运动员的整体能力。考虑到冰球比赛的性质(例如与篮球相比,冰球比赛场上替换次数更多,得分机会更少),使用半马尔可夫过程对得分率进行建模,每一局(攻击和防守)的危险函数取决于考虑到比赛状态和对手优劣势的运动员,使用惩罚似然法和分层贝叶斯方法估计模型参数。Angelini 和 De Angelis 用泊松自回归模型预测足球比赛的胜负,并引入了多个外生变量来加强模型的预测效果。另外还有研究田径、高尔夫等其他运动的文章,比如 Tibshirani(1997) 使用三次样条曲线拟合(cubic spline curve fitting)、参数自举 bootstrap 方法和 Keller 的跑步模型,分析谁是世界上最快的人(当然,当时很难预测出 Usain Bolt 的世界纪录为 9.45s)。

还有很多其他与体育比赛相关的问题,比如赛程的编制。Bender 和 Westphal(2016) 同时考虑了流动联赛问题(TTP) 和流动裁判问题(TUP),设计出一个双循环赛的赛程。在流动联赛问题最优时,没有两个队连续相互竞争,同时队伍移动的总距离最短。在流动裁判问题最优时,每个裁判员在每支队伍的主场至少担任一次裁判,同时裁判移动的距离最短。作者使用了一个近似算法来解决这个问题,保障了近似最优。Nemhauser 和 Trick(1998) 研究了大西洋海岸联盟(ACC) 的赛程编制问题,他们提出一个整数规划和枚举技术的组合方法,能够很快地产生合理的赛程表,这一方法被美国全国大学体育协会(NCAA) 大西洋海岸联盟在 1997-1998 年赛季中采用。

在体育比赛中,裁判的判决是比赛的一个组成部分,通常直接决定比赛结果。由于比赛的快节奏和人为失误,以及其他影响判罚的因素,裁判有时会作出错误的决定,这些判决之后会受到裁判委员会的复审。Babatunde 等(2010) 研究了受主场球迷影响造成的裁判员的误判。Abrevaya 和 McCulloch(2014) 分析了北美职业冰球联赛(NHL) 的判罚,发现存在“反向判决”的倾向,即如果上一次的判罚是对某一支球队,那么下一次的判罚更有可能是对另外一支球队。作者使用机器学习方法,利用二元决策树、贝叶斯加法回归树(BART) 以及 logistic 回归来研究参数。考虑裁判判决的综合分析,将是体育比赛量化分析未来的方向。

3. 展望

随着体育大数据挖掘的不断深化,计算能力的不断提高以及现场直播技术的改进,体育运动的量化分析正在进入大数据新时代。运动队、数据分析师、专业运动员、培训师、教练、电视广播员以及球迷,都迫切需要从数据以及数据分析中获益。通过对体育比赛的大量数据、描述了运动员关系的网络模型、以及运动员身体状况的实时监控的分析,教练可以更好地制定训练计划,及时调整策略。曾经无法测量的化学反应、热情和努力等将不再是阻碍,会成为今后跨

学科研究的主要课题。另外,对体育比赛的量化分析将会提高比赛本身的质量,并且可以给观众带来更好的观看体验。如今,越来越多的女性运动员和女性观众参与到体育比赛中,体育运动的参与和普及程度与人力资本的积累,是未来体育经济学较为关注的问题(Gneezy等,2003)。作者认为,体育比赛的量化分析不仅仅是对数字的统计,而应该是在一定的社会背景下对人们行为的分析。

参考文献:

- Abrevaya, J., Mcculloch, R., 2014, Reversal of fortune: a statistical analysis of penalty calls in the national hockey league, *Journal of Quantitative Analysis in Sports* 10, 207-224.
- Angelini, G., De Angelis, L., 2017, PARX model for football match predictions, *Journal of Forecasting* 36: 795-807.
- Attali, Y., 2013, Perceived hotness affects behavior of basketball players and coaches, *Psychological Science* 24, 1151-1156.
- Baade, R., Matheson, V. A., 2016, Going for the gold: the economics of the Olympics, *Journal of Economic Perspectives* 30, 201-218.
- Babatunde B., Forrest, D., Simmons, R., 2010, The 12th man?: Refereeing bias in English and German soccer, *Journal of the Royal Statistical Society: Series A* 173, 431-449.
- Bender, M., Westphal, S., 2016, A combined approximation for the traveling tournament problem and the traveling umpire problem, *Journal of Quantitative Analysis in Sports* 12, 139-149.
- Berger, J., Pope, D., 2011, Can losing lead to winning? *Management Science* 57, 817-827.
- Bukiet, B., Harold, E. R., Palacios, J. L., 1997, A Markov chain approach to baseball, *Operations Research* 45, 14-23.
- Camerer, C. F., 1989, Does the basketball market believe in the hot hand? *American Economic Review* 79, 1257-1261.
- Casella, G., Berger, R. L., 1994, Estimation with selected binomial information or do you really believe that Dave Winfield is batting .471? *Journal of the American Statistical Association* 89, 1080-1090.
- Cervone, D., D'Amour, A., Bornn, L., Goldsberry, K., 2016, A multiresolution stochastic process model for predicting basketball possession outcomes, *Journal of the American Statistical Association* 111, 585-599.
- Chen, T., Fan, Q., 2018, A functional data approach to model score difference process in professional basketball games, *Journal of Applied Statistics* 45, 1-16.
- Edmans, A., García, D., Norli, Ø., 2007, Sports sentiment and stock returns, *Journal of Finance* 62, 1967-1998.
- Fan, Q., Lei, W., Zhang, X-P., 2017, The impact of sports sentiment on stock returns: a case study from professional sports leagues, 2017 IEEE Global Conference on Signal & Information Processing (GlobalSIP 2017), 918-922, IEEE.
- Fort, R., 2003, *Sports Economics*, Prentice Hall, New Jersey.
- Fu, S., Guo, M., 2016, Running with a mask? The effect of air pollution on marathon runners' performance, available online at <https://ssrn.com/abstract=2978302>.
- Glickman, M., Stern, H. S., 1994, A state-space model for National Football League scores, *Journal of the American Statistical Association* 89, 1066-1074.
- Gneezy, U., Niederle, M., Rustichini, A., 2003, Performance in competitive environments: gender differences, *Quarterly Journal of Economics* 118, 1049-1074.
- Goldman, M., Rao, J., 2017, Optimal stopping in the NBA: sequential search and the shot clock, *Journal of Economic Behavior & Organization* 136, 107-124.
- Hausman, J. A., Leonard, G., 1997, Superstars in the National Basketball Association: economic value and policy, *Journal of Labor Economics* 15, 586-624.

- Kavetsos, G., Szymanski, S., 2010, National well-being and international sports events. *Journal of Economic Psychology* 31, 158-171.
- Kniffin, K. M., Mihalek, V., 2014, Within-series momentum in hockey: no returns for running up the score, *Economics Letters* 122, 400-402.
- Mosteller, F., 1952, The world series competition, *Journal of the American Statistical Association* 47, 355-380.
- Nemhauser, G. L., Trick, M. A., 1998, Scheduling a major college basketball conference, *Operations Research* 46, 1-8.
- Price, J., Wolfers, J., 2010, Racial discrimination among NBA referees, *Quarterly Journal of Economics* 125, 1859-1887.
- Reich, B., Hodges, J. S., Carlin, B., Reich, A. M., 2006, A spatial analysis of basketball shot chart data, *The American Statistician* 60, 3-12.
- Romer, D., 2006, Do firms maximize? Evidence from professional football, *Journal of Political Economy* 114, 340-365.
- Stern, H., 1994, A Brownian motion model for the progress of sports scores, *Journal of the American Statistical Association* 89, 1128-1134.
- Thomas, A. C., Ventura, S. L., Jensen, S. T., Ma, S., 2013, Competing process hazard function models for player ratings in ice hockey, *Annals of Applied Statistics* 7, 1497-1524.
- Tibshirani, R., 1997, Who is the fastest man in the world? *The American Statistician* 51, 106-111.
- Tversky, A., Gilovich, T., 2004, The "hot hand": statistical reality or cognitive illusion? *Chance* 2, 31-34.
- Tversky, A., Kahneman, D., 1974, Judgment under uncertainty: heuristics and biases, *Science* 185, 1124-31.
- Wardrop, R., 1995, Simpson's paradox and the hot hand in basketball, *The American Statistician* 49, 24-28.
- Xin, L., Zhu, M., Chipman, H., 2016, A continuous-time stochastic block model for basketball networks, *preprint*, Available at arXiv: 1507.01816.
- Zimbalist, A., 2015, Circus maximus: The economic gamble behind hosting the Olympics and the World Cup, *Brookings Institution Press*.
- 范青亮、洪永淼 2017 举办大型体育赛事对当地经济的影响——以国际马拉松比赛为例 工作论文。
- 魏下海、林涛、张宁、刘鸿优 2017 无法呼吸的痛: 雾霾对个体生产率的影响——来自中国职业足球运动员的微观证据,《财经研究》,第 7 期。