功率计在自行车运动中的应用

摘要

功率计目前在自行车运动中越发普及。在2016赛季中，18支World Tour级别车队悉数装备了功率计。而随着SRM功率计的专利在2006年到期，每年都有功率计新品牌问世，从而拉低了售价，使得功率计在自行车业余爱好者人群中也得到了普及。本文将对自行车功率计分类进行梳理，并对使用功率计来指导自行车训练的意义及方法进行探讨，同时结合当今的大数据技术在自行车训练中的应用进行展望。

关键词：功率计，功率训练，自行车运动，运动大数据

自行车运动是一项器材权重较大的耐力运动，随着材料科学、空气动力学和电子技术的发展，自行车器材装备也不断更新换代，自行车运动员也受惠于装备的进步，不断刷新着赛场上的成绩。回顾最近30年自行车装备的发展，除了碳纤维复合材料在车架、车轮等零部件上的广泛应用，最具革命性的当属功率计在自行车训练及竞赛中的广泛使用——它使得自行车运动员的训练更易被量化、被监控，同时对于比赛中战术的变化也产生了较大影响。

1. 自行车功率计的分类

世界上第一款可以安装在自行车上进行实时测量、记录车手骑行输出功率的功率计是由德国人Uli Schoberer在1986年发明的，而其第一款商品化的功率训练系统（功率计 + 数据记录码表）于1988年问世。以他名字命名的SRM（Schoberer Rad Messtechnik）功率计至今都是自行车赛场上功率测量的金标准。

尽管功率计可以实时监测自行车运动员的功率输出，但事实上车手的骑行输出功率并不是直接被测量得到的，而是通过“计算”得出。功率计的原理是通过其中的应变计测得车手施加的力矩，及力矩方向上的速度，将两者相乘后得到功率。因此，根据应变计安装及力矩测量位置的不同，功率计也有不同的分类，它们各有千秋。

1.1 牙盘盘爪功率计

SRM的应变计位于自行车牙盘的盘爪（Spider）上，因此它测得的是自行车手向牙盘的齿盘施加的力矩，再乘以骑行的踏频（Cadence），便得到了骑行的功率。得益于SRM的专利保护，其在2006年专利到期之前都没有类似产品问世，SRM的功率计产品在这20年中更新迭代，在性能的稳定性上和功率的测量的精度上也不断改进，最终成为自行车功率计的金标准；但另一方面，SRM的售价高居不下，给功率计的普及推广带来了障碍。

2006年SRM专利到期后，美国南达科他州的工程师Jim Meyer根据SRM的原理，推出了Quarq功率计。Quarq从一开始便瞄准了业余自行车爱好者市场，针对SRM功率计更换电池需要寄回德国原厂操作的不便，及骑行中应变计因温度变化发生信号漂移的问题进行了改进。Quarq使用常见的CR2032纽扣电池，用户可以拧开电池舱盖自行进行更换；并且Quarq允许用户在骑行过程中向后倒踩牙盘4周进行功率计归零（Zero）标定操作，一定程度上提高了功率测量的准确性。

在Quarq面世后不久，德国的Power2Max功率计也推向了业余骑行爱好者市场，且通过互联网直销的方式进一步拉低了功率计的价格门槛。测量原理上，Power2Max与SRM及Quarq一样，都是通过牙盘盘爪上的应变计测量力矩，乘以骑行的踏频，得到功率值。

牙盘盘爪功率计是目前应用最为广泛，也是技术最为成熟的一种自行车功率计。像SRM和Quarq等品牌的功率计在顶级职业车群中使用甚广，经过了实战的检验，可靠性较好。

* 1. 花鼓功率计

花鼓是自行车轮的轮轴“Hub”的音译。花鼓功率计是通过测量链条带动后轮轴产生的力矩，乘以后轮转速得到功率值。美国威斯康辛州的Saris集团下属PowerTap品牌是最主要的花鼓功率计制造商。PowerTap花鼓功率计于1998年由一名麻省理工学院的工程师发明，目的是为自行车运动的功率测量提供一个有别于SRM的，更为廉价的解决方案。PowerTap花鼓功率计在功率测量的准确性和一致性上，被认为比肩于行业金标准SRM (Bertucci, Duc, Villerius, Pernin, & Grappe, 2005)。PowerTap花鼓功率计和SRM牙盘盘爪功率计是目前已经商业量产功率计中历史最为悠久的两个产品。PowerTap花鼓功率计除了可以测量功率，同时还可以测量速度和踏频，从而无需在自行车上安装其它传感器。但是，花鼓功率计的局限性在于，功率计所处的位置是后轮轮轴，因此限制了车轮的选择

1.3 牙盘曲柄功率计

牙盘曲柄功率计是最近年较新的一类功率计，其应变计安装于曲柄上，通过曲柄的形变测得踩踏的力矩，乘以踏频等到功率值。由于安装位置的关系，曲柄功率计通过单独测量施加在左曲柄和右曲柄上的力矩，相加后获得总功率，因此可以提供比一般功率计更多的信息，例如：左右脚平衡、踩踏矢量等。目前生产曲柄功率计的主要品牌有西班牙的Rotor、日本的先锋（Pioneer），其中后者除了生产自有品牌的功率计外，还与自行车传动变速系统制造商禧玛诺（Shimano）合作并提供核心技术，预计在2017年下半年上市的禧玛诺功率计将会采用先锋的功率测量技术和算法。牙盘曲柄功率计由于业余自行车爱好者市场对于价格的敏感，衍生出单边功率计——即只测量非驱动侧（左侧曲柄）的功率，然后乘以2获得总功率的近似值。这类单边曲柄功率计的代表为美国的Stage和4iiii。然而由于自行车手双腿功率输出的不对称性会随着运动疲劳的发生而改变 (Jamar, De Vries, & Hesselink, 2015)，因此这类单边曲柄功率计的准确性和一致性值得商榷。

1.4 脚踏功率计

自行车脚踏作为车手踩踏驱动自行车前进的第一个接触点，自然不会为功率计制造商所错过。然而脚踏功率计从诞生到上市这一过程却异常坎坷。早在2009年，位于硅谷的MetriGear便在美国Interbike车展上发布了基于Speedplay脚踏的功率计原型产品Vector。2010年，全球最大的GPS设备制造商佳明公司（Garmin）宣布收购MetriGear，并接过了Vector研发的接力棒。之后Vector的上市时间一再延期，直到2012年终于揭开面纱，推向了市场。究其原因，尽管脚踏是车手向自行车施加踩踏力的第一个环节，这个位置的受力却非常的复杂，因此要做到良好的准确性和一致性并不简单。另外，脚踏所处的位置也使得脚踏功率计比较容易损坏——在摔车等事故中，脚踏通常会撞击地面，巨大的冲击力很有可能损坏功率计内敏感的应变计及其它电子器件。除Garmin Vector以外，PowerTap P1及Polar-Look也有脚踏功率计产品。

1.5 其它类型功率计

上述4类为目前较为常见和常用的功率计。此外还有置于卡式飞轮（cassettes）内的飞轮功率计，利用反作用力的i-Newton功率计及置于自行车锁鞋与锁片（cleats）之间的锁片功率计。由于这些类型的功率计，或面世不久，或信效度未能得到检验，本文就不再赘述。

1. 使用功率计指导自行车训练的意义及方法

运动员的训练是一个机体对训练负荷的适应过程，适宜的训练负荷可以提高运动员的运动能力，而不足或过大的训练负荷都会降低运动员的运动能力(陈小平, 2017)。因此对训练负荷的有效监控和量化是教练员工作中很重要的一环。在自行车功率计面世前，教练通过速度、心率、RPE等指标监控自行车运动员训练的强度。当自行车骑行在平路上时，空气阻力占到全部阻力的80-90%(Bouillod, Pinot, Froncioni, & Grappe, 2015)，因此风向、气压、气温等外界因素都会影响到骑行的速度，故在户外骑行时，速度无法被用来准确衡量训练负荷。心率是人体对外界刺激的反应，在使用心率做为指导训练负荷的指标时，运动中的心率既包含了运动给人体带来的刺激，也包含了其它可能的影响因素：前一晚的睡眠质量、情绪、饮食、气温等，因此需要排除这些“噪音”才能准确评价训练负荷；另一方面，在无氧阈以下强度时，心率与训练负荷有较好的线性对应关系(Francis, McClatchey, Sumsion, & Hansen, 1989)，当训练强度超过无氧阈时，则心率无法准确反映训练负荷。在长时间训练，受高温或海拔影响发生的“心率漂移”，以及心率反应的滞后性，都给其在自行车训练中的使用带来局限性(Jeukendrup & Diemen, 1998)。

2.1 使用功率计指导自行车训练的意义

首先，自行车上的功率计可以实时测定训练负荷。功率计所测得的是自行车运动员为驱动自行车前进所做的机械功，是对运动负荷最为直接的测定。

其次，通过“功能阈值功率（FTP: Functional Threshold Power）”测试，可以准确了解自行车运动员的运动能力基准，从而对个体施以有针对性的训练负荷。

第三，“功率体重比（watt/kg）”即运动员的FTP除以其体重，通常作为公路自行车运动，尤其是爬坡赛段运动表现的重要指标——例如在环法赛中，车队中的主将通常都要在关键赛段中达到6W/kg的功率体重比以获得在比赛中的优势地位(Faria, Parker, & Faria, 2005)。

第四，通过功率计算得到的一些指标可以量化训练量，如“训练压力指数（TSS: Training Stress Score）”即训练强度指数（IF: Intensity Factor）的平方乘以时间，而IF = NP/FTP，NP为“标准化功率（Normalized Power）”，其算法为30秒平均功率取四次方做平均再开四次根号(Allen & Coggan, 2012)。

第五，通过功率计提供的功率数据，结合心率或RPE，可以帮助运动员和教练建立运动刺激与身体反应之间的联系——例如通过功率和心率趋势的“非耦合度（decoupling）”来发现运动员的疲劳发生节点(Ericsson, 2010)

第六，功率计实时测得的运动员骑行时的功率输出，为比赛战术安排提供极有价值的参考。WorldTour顶级车队：英国天空车队（Team Sky）在环法赛中极大地发挥了功率计的作用(Santalla, Earnest, Marroyo, & Lucia, 2012)。他们经常在重要爬坡赛段由车队众副将们为主将开起“山地火车”，一来为主将设定稳定的爬坡节奏；二来利用精确的功率输出控制赛场上的局面，充分利用团队平均实力较强的优势来化解对手的进攻。天空车队近年来多次拿下环法总冠军，与其充分利用功率计指导训练和安排战术密不可分。

第七，由于功率计可以测定运动员所做的机械功，因此也可以用来估算运动员在训练或竞赛中的能量消耗(Haakonssen, Martin, Burke, & Jenkins, 2013)，从而制定相应的营养补给策略，无论对于训练后能量物质的补充、加快恢复，还是安排比赛的战术，都有积极的意义。

第八，除了量化训练量以外，某些型号的功率计（如日本先锋的曲柄功率计和佳明Vector脚踏功率计）可以实时测量运动员踩踏的矢量，即施加在曲柄或脚踏上的力的大小和方向，从而可以量化运动员的踩踏机械效率(Kitawaki, Tokuyasu, & Oka, 2014)。这为运动员的运动表现从运动技巧方面打开一扇门，使得教练员和运动员有机会量化和跟踪技巧练习对于运动表现提高的帮助程度。

第九，利用现在的GPS自行车码表（如佳明Edge 520），可以同时采集功率、心率、踏频、速度、距离、海拔等信息，从而做到训练信息完全数字化。教练员的工作不再受地理因素的局限，使得训练的安排更具弹性，同时仍然可以有效监测和跟踪运动员的训练执行情况(Kraal, Peek, van den Akker-Van, & Kemps, 2013)。运动员可以通过网络与教练员分享自己的训练数据，教练员可以在云端的App程序上对运动员的训练数据进行分析。这都为远程教练教学提供了极大的便利和可操作性。

最后，上述的训练数据可以被保存在本地硬盘上，或是云端服务器上，形成运动员自己的训练历史记录和大数据，方便教练员回顾其运动历史并作纵向比较，以期从过往的训练中总结出每个运动员个体的规律，以便更好地安排之后的训练和比赛。

* 1. 利用功率计指导自行车训练的方法

自行车功率训练方法在具体操作上，分为微观的和宏观的。前者类似传统上以心率指导训练的方法，即先测定运动员的能力基准，针对其定制个性化的训练强度区间，然后在训练中以功率为主要的强度指标，辅以心率或RPE为参考。此外，有了功率数据的帮助，教练员在安排训练课时，可以对目标赛事做到更具针对性。例如，在类似的功率输出下进行骑行时，平路段和爬坡段由于自行车齿比的限制，导致骑行时踏频的不同，从而带给骨骼肌和神经肌肉的负荷不同，由此引发疲劳的机制也不一样(Lepers, Hausswirth, Maffiuletti, Brisswalter, & Van Hoecke, 2000; Sarre, Lepers, Maffiuletti, Millet, & Martin, 2003)。利用功率数据中的力矩和踏频可以绘出四象限图，可具体分析关键赛段对于骨骼肌和神经肌肉的负荷，并制定有针对性的训练来模拟比赛中的负荷情况。

如果说功率计使得训练在微观上更加细化，那么其对于训练在宏观上的帮助更是有过之而无不及。

使用前面所述的量化训练量的指标TSS，可以建立起训练的“疲劳-适应模型”——最近7天TSS的平均值为“急性训练负荷（ATL: Acute Training Load）”，即训练带来的疲劳；而最近42天的TSS平均值为“长期训练负荷（CTL: Chronic Training Load）”，即运动能力；CTL减去ATL得到“训练压力平衡值（TSB: Training Stress Balance）”，即比赛状态，或可理解为身体的“新鲜度”(Allen & Coggan, 2012)。有了这些量化指标，教练员就可以结合经典训练分期理论或板块分期理论，合理安排运动员在整个赛季的训练、比赛和恢复。教练员可以更为精确地针对目标赛事，调整运动员的比赛状态，以期在正确的时间点上让运动员发挥出最大的运动能力。全年的训练在宏观上的计划与执行，皆可依靠功率计在运动员训练比赛中测得的功率数据及经计算后得出的相关指标生成可视化的数据图表，帮助教练员更为直观地把握运动员训练和提高的整个过程。这一点是目前其它自行车训练实时监测手段所无法代替的，也正是利用功率计指导自行车训练的最大价值所在——它在教练员已有的经验和对训练学方法的认识基础上，提供了更多量化训练的工具和参考依据，帮助教练员减少执教过程中的猜测和估计，减少不确定性，从而提高运动员的训练效果和效率。

1. 对运动大数据的展望

大数据是当下很火的一个词，各行各业都在谈论大数据、使用大数据。事实上，大数据在商业和金融业中的使用已经非常成熟了，而其在体育训练中的价值也逐渐开始体现(Fister, Ljubič, Suganthan, & Perc, 2015)。从20年前，IBM的“深蓝”战胜国际象棋大师，到前几个月谷歌AlphaGo的升级版Master创下60战全胜的惊人纪录，完胜全世界的围棋大师，这都是基于大数据的人工智能。在里约奥运会中，郎平执教的中国女排最终夺魁，过程中也得到了大数据的助力——根据实时分析对手的失误位置和概率，有针对性地进攻对手的薄弱环节。

对于自行车运动这样一个耐力型项目，运动员的训练和提高是一个经年累月的过程，期间要经历无数次训练和比赛，因此也有机会获取无数的相关运动数据。这些海量的数据，如果只依靠人脑来分析而试图找出其中所有的规律，恐怕会很困难。但如果结合最先进的人工神经网络算法，则有机会从中挖掘出大量宝贵但隐藏的规律。不过这有一个前提，即任何人工神经网络算法都需要有一个被证明科学可靠的训练模型作为基础，再喂以大量的数据，方能得到所需的信息。拿AlphaGo为例，它的训练模型和数据便是海量的开局、残局棋谱、半残局棋谱、轻残局棋谱等(刘伟 & 王目宣, 2016)，AlphaGo不仅战胜了人类围棋大师，还时不时会棋出怪招，打得对手猝不及防。

因此，想要在运动训练中使用大数据和人工智能来辅助教练员，就对于训练的研究提出了更高的要求——要更多地采用自然科学的研究方法，讲究数据的量化，讲究严谨的实验论证，从而使得模型的建立更为真实可信，方能应用于体育训练的大数据之中。

我们正处在科技大进步和信息大爆炸的年代，充分利用好高科技的工具可以达到事半功倍的效果。自行车功率计在欧美自行车运动中的使用已经非常普及，在顶级的自行车赛事中更是达到了100%车队全覆盖，其在自行车训练和比赛中的价值已为教练员和运动员所认识和认可，并在实战中发挥了其优势。希望本文可以起到抛砖引玉的作用，将目前世界上较为先进的自行车训练方法介绍给国内的自行车教练员与运动员。

参考文献

Allen, H., & Coggan, A. (2012). *Training and racing with a power meter*: VeloPress.

Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J.-N., & Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International journal of sports medicine, 26*(10), 868-873.

Bouillod, A., Pinot, J., Froncioni, A., & Grappe, F. (2015). Validity of Track Aero System to assess aerodynamic drag in professional cyclists. *Journal of Science and Cycling, 4*(2).

Ericsson, F. (2010). Current methods, concepts and theories regarding mobile power meters in cycling: A critical review of the physiological and pedagogical implications for training, racing and performance testing.

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: factors affecting performance--Part 2. *Sports medicine, 35*(4), 313-338.

Fister, I., Ljubič, K., Suganthan, P. N., & Perc, M. (2015). Computational intelligence in sports: challenges and opportunities within a new research domain. *Applied Mathematics and Computation, 262*, 178-186.

Francis, K., McClatchey, P., Sumsion, J., & Hansen, D. (1989). The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 59*(4), 273-277.

Haakonssen, E. C., Martin, D. T., Burke, L. M., & Jenkins, D. G. (2013). Energy expenditure of constant-and variable-intensity cycling: power meter estimates. *Med Sci Sports Exerc, 45*(9), 1833-1840.

Jamar, A., De Vries, S., & Hesselink, M. (2015). Pedaling Patterns of Professional Cyclists during a Grand Tour. *Journal of Science and Cycling, 4*(2).

Jeukendrup, A., & Diemen, A. V. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences, 16*(sup1), 91-99.

Kitawaki, T., Tokuyasu, T., & Oka, H. (2014). Efficiency index of a pedaling monitor system depend on load power, cadence and body weight. *Journal of Science and Cycling, 3*(2), 25.

Kraal, J. J., Peek, N., van den Akker-Van, M. E., & Kemps, H. M. (2013). Effects and costs of home-based training with telemonitoring guidance in low to moderate risk patients entering cardiac rehabilitation: The FIT@ Home study. *BMC cardiovascular disorders, 13*(1), 82.

Lepers, R., Hausswirth, C., Maffiuletti, N., Brisswalter, J., & Van Hoecke, J. (2000). Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Medicine and science in sports and exercise, 32*(11), 1880-1886.

Santalla, A., Earnest, C. P., Marroyo, J. A., & Lucia, A. (2012). The Tour de France: an updated physiological review. *International journal of sports physiology and performance, 7*(3), 200-209.

Sarre, G., Lepers, R., Maffiuletti, N., Millet, G., & Martin, A. (2003). Influence of cycling cadence on neuromuscular activity of the knee extensors in humans. *European journal of applied physiology, 88*(4), 476-479.

刘伟, & 王目宣. (2016). 浅谈人工智能与游戏思维. *科学与社会, 6*(3), 86-103.

陈小平 (2017). 运动训练生物学基础模型的演变——从超量恢复学说到运动适应理论. *体育科学.*