

优化骑行动力

经过

亚历山大·D·斯普林格

提交给

机械工程系部分满足学位要求

机械工程理学士

在

麻省理工学院

2016 年 6 月

© 2016 亚历山大·D·斯普林格。版权所有。

作者特此授予 MIT 许可,以现在已知或以后创建的任何媒体复制和公开分发本论文文件的全部或部分纸质和电子副本。

作者签名:

机械工程系

2016 年 5 月 6 日

认证:

安妮特细井

机械工程教授

论文导师

被接受:

安妮特细井

机械工程教授

本科生

优化骑行动力

经过

亚历山大·D·斯普林格

提交给机械工程系
于 2016 年 5 月 6 日在部分履行
学位要求

机械工程理学士

抽象的

在这项研究中,我们确定了一个可行的生物能量模型,用于自行车比赛中的功率分配。已经提出了各种模型来解决比赛中的功率分配问题,其中有两种模型脱颖而出:Morton-Margaria 三坦克模型和 Skiba 能量平衡模型。能量平衡模型在 MATLAB 中实现,并与黄金进行比较。

Golden Cheetah 中的标准实施,用于模拟运动员在骑行过程中的能量消耗。2014 年环法自行车赛一名自行车手的骑行数据验证了该模型的实施是成功的。此外,该模型还使用样本功率曲线进行了进一步测试,以了解骑行过程中的能量消耗。

调查得出了两个关键发现。首先,我们需要在能量平衡模型中更好地考虑耗尽,这可以通过将低于临界功率的时间与高于临界功率的时间加权来实现。这是因为骑自行车的人变得

与低于临界功率的恢复相比,更高功率输出的努力更加疲惫。

其次,能量平衡模型应该使用可变的时间常数,因为骑行和比赛在低于临界功率的恢复期变化很大,这会影响运动员重建能量的能力。使用可变时间常数也可以解决在第一个发现中确定的低于临界功率的努力权重。

论文导师:Anette Hosoi
瓷砖:机械工程教授

致谢

作者要感谢以下贡献者。

- Anette Hosoi 教授,论文导师,感谢她不断的指导和建议。
- Ernesto Martinez,以表彰他的项目愿景和有关有用研究的行业反馈应用程序。
- Emma Steinhardt,感谢她为本论文收集资源和数据的基础工作。
- 克里斯蒂娜·蔡斯 (Christina Chase),以表彰她对自行车运动的洞察力和商业化经验成功。
- Mark Liversedge ,用于创建 Golden Cheetah,使其开源,并提供有关自行车数据分析的资源。
- Fabrizio L. ,用于回答有关W'ball的细微差别和复杂性的问题
原始 Skiba 等人中未解决的方程式。纸。

目录

抽象的.....	3
致谢.....	5
目录.....	7
数字清单	8
1. 简介	9
2. 制定最佳起搏策略.....	10
2.1 临界功率曲线.....	10
2.2 人体生物能量模型.....	13
莫顿- Margaria 三缸模型.....	14
储能模型.....	17
3. 为最佳起搏策略建模.....	19
4. 讨论.....	24
4.1 加权恢复时间	24
限制能量平衡模型	24
5. 结论	26
6. 参考文献	29

数字清单

图 2-1:临界功率曲线示例	11
图 2-2:典型行驶功率数据和临界功率	14
图 2-3: Morton-Margaria 三缸模型	16
图 3-1: 2014 年环法自行车赛的W'bal	21
图 3-2: Golden Cheetah 生产的W'bal图表	22
图 3-3:各种功率配置文件的W'bal图表	23

一、简介

运动员越来越多地寻求递减的利润来优化以区分

自己在他们的纪律。当讲台位置相隔几秒甚至更短时，

在从几百米到几百英里的比赛中,任何可以提供帮助的东西

运动员越线越快可以带来巨大的好处。在自行车运动中，

性能优化可以在运动员之间产生巨大的差异。在 2009 年环法自行车赛中

法国队以 31 秒的成绩将第三名的列维·莱普海默 (Levi Leipheimer) 与获胜的阿尔贝托·康塔多 (Alberto Contador) 分开

91 小时 26 秒的艰苦赛段比赛 (McGann Publishing LLC) 。时间

领奖台完赛者之间的差异占总比赛时间的 0.009%。确实，

优化比赛表现时,每一点都很重要。

骑自行车的人在比赛时有一个单一的目标;率先越过终点线。虽然目标是

很简单,实现它需要更多的细微差别。像许多现代运动一样,骑自行车是受管制的

通过数字和指标。对于大多数指标,感兴趣的主要单位是瓦特或能量超过

时间。瓦特是骑自行车者投入自行车的功率的量度,取决于

骑自行车的人在比赛期间分配他们的能量。骑自行车的人可以选择产生很多

短时间耗电,或长时间耗电少。骑自行车的人如何

选择使用他们的能量为自行车发电是一个关键的差异化因素

将第一名与中间名次分开。

本论文的目标是确定一个数学模型和一组参数

优化自行车运动员在竞技自行车比赛中的功率分配。该模型将采取

考虑到骑自行车者的个人功率输出、赛道的地理位置、

运动员的恢复时间和其他参数,以提供个人建议

骑自行车者的最佳功率输出。一些理论模型,例如 3-Tank、Exertion

已提出曲线和 Skiba 模型来分配功率,但尚未得到验证与实验数据。使用这些模型,预测的循环功率输出将与使用来自精英自行车手的训练骑行数据的实际功率输出和恢复时间环法自行车赛的专业自行车比赛。将提出最佳建议使用真实种族数据和特定生理学验证的数学功率模型参数占。该建议将用于为骑自行车的人开发一个模型在具有最佳功率输出的比赛中测量实时功率输出。这种骑自行车者的模型将极大地提高了当前的实时功率输出,并将数据转化为可操作的数据,提供关于何时攻击、何时放松以及剩余能量的信息运动员最后冲刺的油箱。

2. 制定最佳起搏策略

2.1 临界功率曲线

临界功率 (CP) 是骑自行车者可以承受的最大功率水平,以瓦特为单位给定的时间长度。骑自行车的人可以保持给定功率开始的最长时间全能量构成临界功率曲线上的单个数据点。对于每个瓦特值,骑自行车的人可以在有限的时间内拥有一定的力量。这些数据点中的每一个形成临界功率曲线 (CPC)。通常,图形的形状遵循双曲线其中时间沿 x 轴,功率沿 y 轴。这表明骑自行车的人可以保持在短时间内(例如:在冲刺中)保持极高的功率水平相对较低的功率水平持续时间更长(例如:在计时赛中)。幸运的是,骑自行车者常用的现代软件套件,例如 Golden Cheetah 和 Strava,根据来自功率的汇总行驶数据自动计算临界功率曲线

米1。这些程序识别出与高功率输出和低功率相对应的游乐设施部分
功率输出以及保持该功率的持续时间并形成
相应的临界功率曲线。图 2-1 显示了使用数据的示例临界功率曲线
由Golden Cheetah 软件编译。

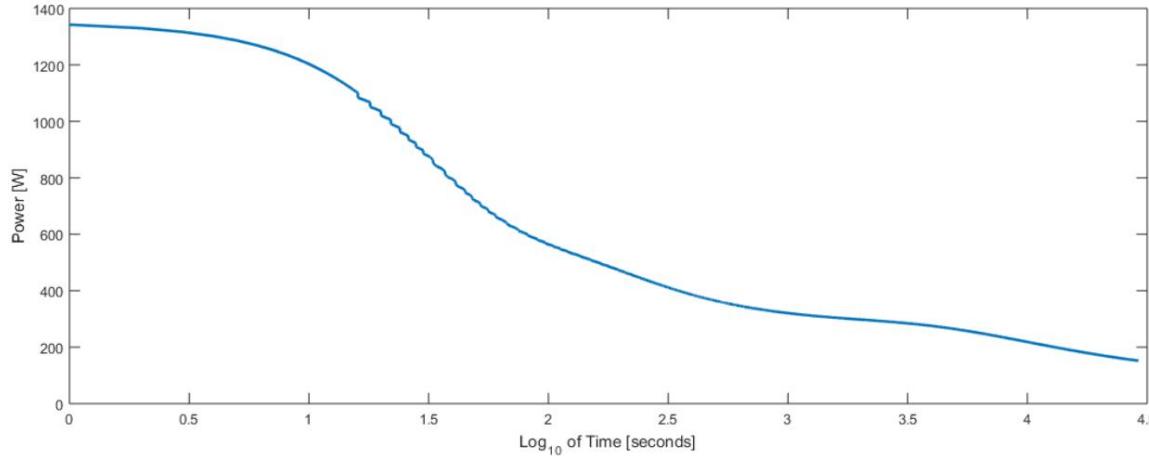


图 2-1:在对数时间尺度上绘制的示例临界功率曲线显示功率随时间的增加而衰减。 $\text{Log10}(0.5)$ 等于 3.2 秒, $\text{Log10}(4)$ 等于 2.8 小时。

与临界功率曲线一起,骑自行车者使用的另一个常用术语是
功能阈值功率 (FTP)。功能阈值功率是平均最大功率
一个骑车人可以维持一小时的输出。当骑自行车的人谈论他们的关键力量时,FTP 是
通常用一个值而不是常用的曲线来描述它们的临界功率
给出完整的图片。

对许多运动员来说,测试 FTP 很困难,因为最大努力地踱步一小时是
从这种努力中恢复所需的时间既困难又昂贵。作为一个
结果,许多运动员在计时赛类型中完成了 20 分钟的平均最大功率测试
在直线平坦的路线上进行时尚,以获得 20 分钟间隔的临界功率读数。

¹ 功率计是骑自行车者常用的工具,根据动力系统的品牌,它可以通过曲柄臂、飞轮或踏板主轴实时测量他们的功率。常见的系统是 CycleOps PowerTap、Stages Power 和 Quarq 系统。

然后,可以通过 20 分钟测试的平均功率的 95% 来计算 FTP
(瓦特自行车)。与临界功率曲线一起,FTP 提供了骑车人的部分图片

通过他们在自行车上产生最大动力的能力来提高健身水平。此外,这些工具还提供了一个比较点,可以客观地比较骑自行车者的原始功率输出。然而,更公平地比较骑自行车者之间的力量会按重量归一化因为较重的骑自行车的人必须产生更多的动力才能以相同的距离和速度行驶较轻的自行车手。因此,标准化的功率指标,如 FTP 和 CP 曲线,以每瓦特为单位公斤在自行车运动中也很常见。

由于临界功率曲线构成了运动员的最大平均功率在给定的时间长度内,运动员可能会超过或低于这个功率值。比赛路线。因为临界功率值是一个平均值,这意味着任何偏差高于该值与低于临界功率值的偏差相等。然而,种族数据表明情况并非如此 (Skiba、Chidnok 和 Vahatalo)。超过临界功率给定的时间在生理上是昂贵的,并且需要更多的时间低于临界功率恢复比简单地平均到临界功率值的时间量。结果,它

建议优化起搏以尽可能接近最佳临界功率不超过它。此外,研究还表明,上述偏差越大临界功率阈值;运动员筋疲力尽或必须采取的速度越快恢复时间更长 (德卢卡斯、德索萨和科斯塔)。换句话说,超过临界功率少量持续适度的时间通常比超过在很短的时间内大量的临界功率。运动员经常会给轶事短间隔冲刺的感知努力和恢复时间增加的证据锻炼与更长的阈值以上间隔。根据这些结果,线性平均

高于和低于临界功率的努力在生理上是不相关的。相反，任何努力
高于临界功率的权重必须更大，因为它们在生理上更多
代价高昂，运动员必须花费更长的时间才能恢复。在确定最佳起搏策略时，
骑自行车的人在考虑超过他们的临界力量时必须考虑这种现象
带着背包上山，或者在决定是否发起冲刺攻击。

2.2 人体生物能量模型

一旦骑车人确定了他们的临界功率曲线，就有一个简单的一阶计算
可以执行该操作以找到给定种族的最佳功率分配。这可以通过
计算完成比赛所需的总能量，然后除以临界功率值
确定在给定功率下完成比赛所需的时间。如果时间完成
等于骑自行车的人可以保持该功率输出的时间，那么这就是最佳功率
那次骑行的分配。然而，由于步速和力量的变化，这种方法在实际比赛中失败了
要求。

首先，计算完成一场比赛所需的总能量是很困难的，因为
作用于骑车人的可变力。有一个摩擦力，根据不同的
路面。引力将相对简单地计算
课程的拓扑结构考虑并考虑了整个长度上的所有海拔变化
课程。还有一个阻力会根据骑车人的速度、风向而变化
和速度、湿度、海拔、骑自行车的人是否在另一个骑手后面骑车，等等
因素。可靠地考虑所有这些因素并提前预测它们以计算
比赛中预期的能量消耗不是确定最快方式的可靠方法
赢得自行车比赛。

由于这个问题,需要一个模型来解释功率的实时输出和考虑运动员在比赛中的生理反应。典型骑行的功率数据是绘制在图 2-2 以及关键电源线的特定持续时间的骑行运动员。该图显示了高于和低于临界功率的高可变性给骑。考虑到临界功率以下的恢复时间以及以上的消耗临界功率需要一个先进的功率分配模型,该模型考虑了生理因素以及自然地理和课程条件。已经有各种型号建议考虑生理因素,每个因素都有略微不同的方法执行。两个领先的型号包括 Morton-Margaria 3-Tank 型号和 Skiba 能量存储模型。

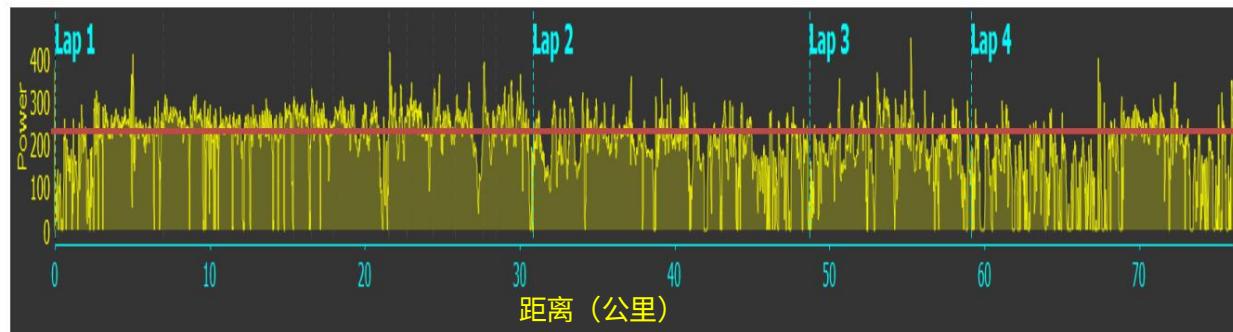


图 2-2:典型骑行的功率数据与骑行者在该骑行长度下的 223 W 关键电力线一起绘制。功率数据在高于和低于临界功率阈值的不同时间间隔内变化很大。开发一个模型来解释低于临界功率的恢复时间和高于临界功率的运动对于在自行车比赛中优化分配功率是必要的。

2.2.1 Morton-Margaria 三罐模型

Morton-Margaria 三缸模型将人体概念化为一系列在确定功输出时遵循流体流动定律的容器（莫顿）。按照与模型的名称一样,构成生物能学模型的三个罐和对应人体产生能量的三种方式。三罐模型如图所示

图 2-3。 Tank P 代表磷原系统并连接到工作输出 W

通过水龙头 T,它调节高于静止的所有净能量消耗的流动。磷酸原系统通过使用以最快的方式促进三磷酸腺苷 (ATP) 的产生储存磷酸肌酸分子,可以厌氧运行,也就是说,没有氧气 (卡普)。虽然磷原系统在能源生产方面效率最高,但它快速消耗,因为身体不储存大量磷酸肌酸,实际上只有用于长达 10 秒的极端努力 (Karp)。

O 罐由于其无限容量而仅部分显示,因为它代表氧化,也称为好氧,来源。O 罐通过连接到 P 罐 R1 管。与磷酸原系统相比,有氧系统的 ATP 率非常低生产,但其容量是无限的 (卡普)。无限容量让人们做有氧运动活动,例如步行看似无穷无尽的时间。

最后一个罐,L 罐,代表糖酵解厌氧能量生产系统。这 L 水箱的上层设置在 O 水箱底部以上但低于最高液位,这意味着 L 罐仅在 O 罐部分充满时才开始填充 P 罐清空。从生理上讲,这意味着运动员在高于休息但低于无氧阈值的某个点。一旦运动员超过糖酵解生产率,他们在能源生产方面所剩下的只是少量的人体快速利用的磷酸肌酸。一旦耗尽,运动员必须休息并恢复以让他们的能量罐重新充满。L 油箱通过单向管连接到 P R2 和 P 通过另一个单向管 R3 连接回 L。R2 比管子粗得多 R3 这意味着 L 可以比 P 重新填充快得多。顺便说一下,当运动员耗尽所有气罐并且必须休息时,能量回流来自气罐 O 氧气被用来产生更多的 ATP,ATP 被用作体内的能源来产生

用于磷酸原和糖酵解生产系统的其他分子。

实际上,这意味着重新填充通过管道R1和R3 从油箱 O 到油箱 P 到油箱 L,

分别。

糖酵解生产系统用于持续约 30 分钟的高强度运动

秒到 2 分钟,并以比磷酸原系统 (Karp) 更快的速度产生 ATP。这

糖酵解系统中的无氧能量产生负责乳酸的积累

在肌肉 (卡普)。乳酸的积累在体内有很多作用,包括

抑制肌肉收缩并干扰发送到肌肉的电荷 (卡普)。

因此,车身实际上在这个生产系统中内置了一个紧急停止机制

当运动员排空时,这会迫使肌肉停止收缩并让运动员休息

他们的坦克并超出了他们厌氧产生能量的能力。

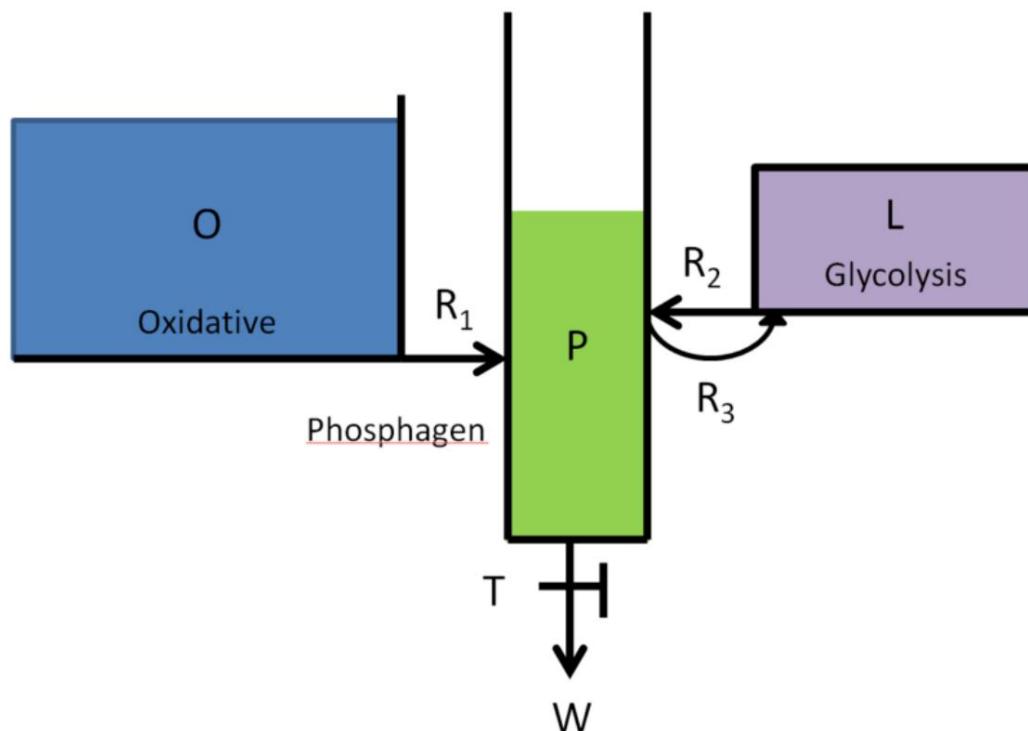


图 2-3: Morton-Margaria 三缸生物能量学模型。该模型代表了人体的三个能量产生系统;氧化、磷原和糖酵解;作为输入功输出的液压油箱,W 表示任何能量消耗。

而三罐模型提供了通过能量流的准确概念化

身体,Morton 和 Margaria 没有量化决定模型的流速。它是

已知磷酸原和糖酵解无氧能量的产生是有时间限制的,并且每个

系统的容量小于氧化系统。运动员的恢复率也普遍

以摄氧量和心率为证。从这些信息中,再填充时间

理论上可以确定坦克。然而,要找出R1、 R2的相对流量,

和R3,人们必须想出一种新的测试方案,这可能会扩展

液压系统隐喻的适用性。或者,可以对

将液压流体流动方程输入计算机并将参数与工作输出数据相匹配

尝试尽可能接近地拟合工作曲线。最后一种方法似乎是最好的可能性

量化这个模型,直到意识到这个模型没有考虑到一个标准

疲惫。换句话说,一个运动员在运动中最终会因运动而筋疲力尽

排空三个罐,不会根据曲线提出的流速执行

匹配算法。三缸模型,虽然其直观性很吸引人,但不借

本身非常适合骑自行车者的工作输出和配速优化的定量模型。

2.2.2 Skiba 储能模型

Skiba Energy Store 模型与三罐模型一样,将人体概念化

以直观的方式,这次将身体视为能量储存的储气罐。在里面

Skiba 模型,主要感兴趣的参数是 W' ,即上面的有限工作能力

临界功率 (Skiba、Chidnok 和 Vahatalo) 。对于给定时间的任何骑行,骑自行车的人

可以在整个持续时间内保持功输出小于或等于其临界功率

骑车,但是一旦骑自行车的人超过了临界功率阈值,他们就会开始使用有限的

他们的油箱中的气体量, W' 。像 W' 这样的参数比三缸更合适

为比赛中的最佳配速策略建模的理论,因为它允许考虑超 CP 努力,例如在自行车比赛中经常发生的冲刺或攻击,被考虑在内 考虑。此外,使用现代自行车功率计,可以测量功率输出 在骑行过程中,从而允许实时计算W'以准确 在比赛中对 CP 的变化和偏差做出反应。

W'的计算依赖于功率、CP和时间之间的双曲线关系。它 在 2010 年的一篇论文中首次以目前公认的状态进行数学公式化 运动耐量和最大摄氧量 (Jones、Vanhatalo 和 Burnley) 。 P等于功率输出,并且 t等于在该功率输出下耗尽的时间 (Jones、Vanhatalo 和 Burnley) 。

$$= \left(\frac{P}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

能量存储模型依赖于三个假设来计算能量平衡 运动期间。这些假设是： 1) W'的支出开始于 运动员超过 CP,2) 当运动员低于 CP 时能量平衡再次开始增加 CP ,和 3) W'的重构遵循指数时间恢复路径,其权重 最近的努力比更早的努力 (Skiba、Chidnok 和 Vahatalo)更重要。

鉴于这些假设,可以制定一个方程来描述W' (W'bal)的平衡 其中消耗了一些W' (W'exp)：

$$W' = W' - \int_0^t \exp\left(-\frac{P}{\tau}\right) dt \quad [2]$$

其中W'由等式 [1] 计算得出, (t - u) 是运动之间的时间,以秒为单位 CP 以上的段, $\tau W'$ 是重构W' 的时间常数。这个公式取

考虑到在 CP 以下恢复期间W'的记忆衰退,其中最近的努力是比特定锻炼的遥远过去发生的努力更重要。

在对七名受试者进行三种不同的运动测试以确定恢复情况后率,回收常数方程确定如下:

$$' = 546 -0.01 + 316 \quad [3]$$

其中DCP是在执行的测试中恢复功率和 CP 之间的差异 (Skiba, 奇德诺克和瓦哈塔洛)。为了确定这个方程,数据最适合指数与r密切相关的回归 $r^2 = 0.77$,特别是考虑到测试对象数量较少 (斯基巴、奇德诺克和瓦哈塔洛)。该等式表明,对于一个最小的恢复时间运动员排空后W'的完全重建是 316 秒,略多于 5 秒分钟,随着恢复时间的增加,这取决于工作期间的工作输出休息间隔(DCP)。

上面的方程组合在一起,构成了一个简单而实际的实时应用程序竞技比赛中运动员的能量监测。现代自行车功率计可以集成数据到这些方程中,并以W'的形式提供可操作的数据,通知运动员何时需要恢复或鉴于工作历史允许攻击运动员在比赛中的输出。

3. 为最佳起搏策略建模

有了基本方程,最佳起搏策略可以在计算机软件。最终目标是为骑车人创建实时能量水平指示在参加比赛时。这可以使用方程式 [2] 和 [3] 结合来自的数据来完成骑自行车者的功率计。或者,对于跑步、游泳和其他运动,力量可以是

用速度代替,临界功率可以用临界速度代替,时间可以用距离。使用上面的方程,可以构建一个类似的能量罐模型。

该模型是使用 2014 年各车手在线发布的数据构建的环法自行车赛 (TrainingPeaks)。根据这些数据,在整个过程中收集了时间和功率的比赛。储能方程的实现是在 MATLAB 中完成的,选择因为它的易用性和处理大型数据集的能力。每一个功率数据点第二次骑行,考虑到骑行持续几个小时,可能会有成千上万单次骑行的数据点,每个数据点必须单独集成,计算昂贵的过程。MATLAB 是一个非常适合处理此类任务的程序。

下面的图 3-1 显示了在同一时间段内绘制的骑自行车者的 W' 计算作为该骑行的相应功率。当功率超过临界功率阈值时,由蓝色虚线表示,当骑手从他们的能量储存。然而,当骑车人跌落到临界电力线以下时, W'bal 再次开始增加,尽管速度很慢。恢复坡度和坡度的差异 W'bal 的耗尽具有直观意义;骑自行车的人必须花更长的时间才能恢复比他们花费超过临界功率的时间。此外,越接近临界功率,运动员恢复时,恢复所需的时间越长。同样,这具有直观意义,因为间隔后以非常容易的低功率输出恢复可以比完成快得多在比赛中恢复接近临界功率。这两个发现表明,变化 W'bal 取决于运动员是否高于或低于临界功率以及偏离临界功率的幅度。

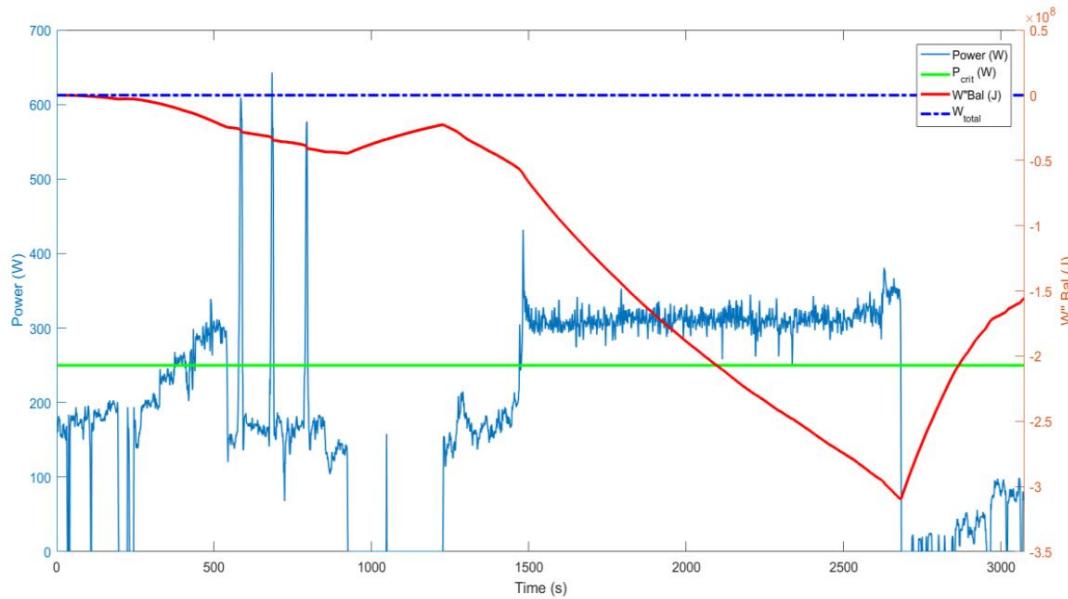


图 3-1:根据功率输出绘制的环法自行车赛车手在比赛中的W'bal模型。当骑自行车的人超过他们的临界功率时,如蓝色虚线所示, W'bal急剧下降。当骑自行车的人通过低于其临界功率骑行进入恢复状态时, W'bal缓慢上升直到完全恢复。

图 3-2 显示了使用 Golden Cheetah 软件绘制的相同行程。黄金

Cheetah 实施W'bal被认为是忠实于

Skiba (Mantica) 对方程的原始概念。因此,与

Golden Cheetah W'bal 方程将被认为是

能量平衡模型。

如图所示,Golden Cheetah 软件显示了类似的能量平衡曲线

与 MATLAB 实现相比。相同的参数; $\tau_{W'}$,临界

每个示例中都使用了功率和 W' ,这进一步验证了

MATLAB 中的W'bal方程。

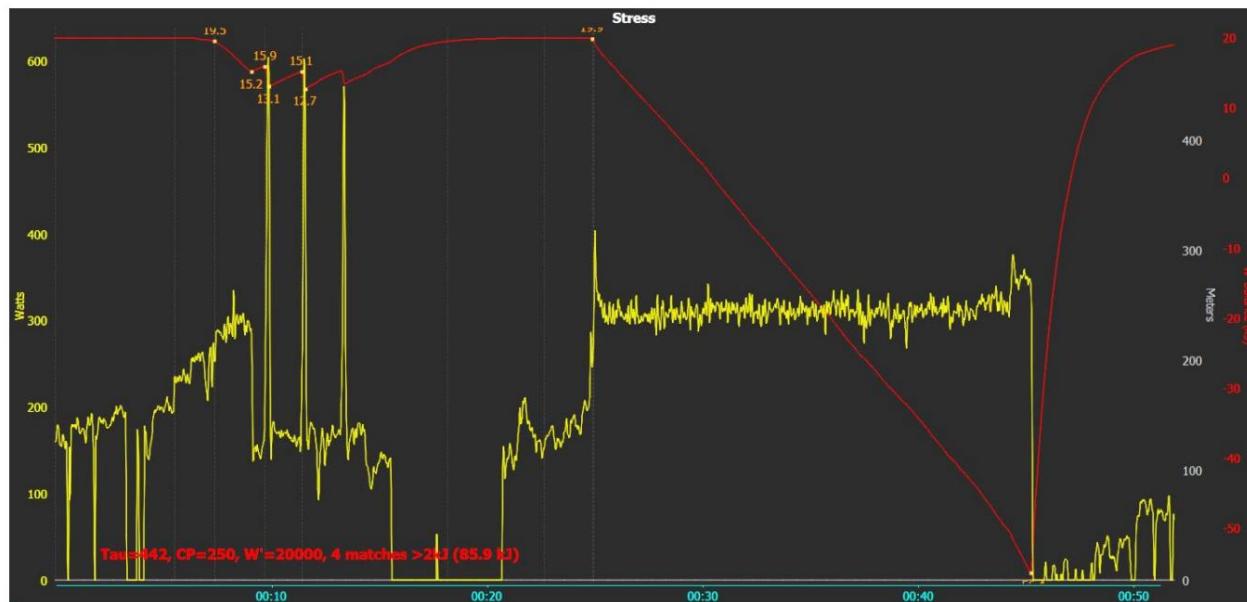


图 3-2：Golden Cheetah 在 MATLAB 实现中使用相同的 $\tau W'$ 、临界功率和 W' 参数制作了 $W'bal$ 图，突出了创建的能量平衡模型的相似性和可重复性。

为了进一步测试和改进模型，我们创建了示例功率曲线以确定模型表现如预期。这些测试用例包括高于和低于临界功率的区间时间长度和在临界功率上下偏差的大小不同。数字图 3-3 显示了四个单独的图表，由不同的功率曲线和相应的 $W'bal$ 组成轮廓。第一个曲线将功率显示为一个阶跃函数，从低于临界功率到高于临界功率。第二个轮廓将功率显示为随时间增加的线性函数。虽然这不是一个真实的骑行模型，但它仍然准确地显示了响应 $W'bal$ 函数随着接近和超过临界功率阈值而减小，并且此外，随着越来越超过临界功率，下降得更快。第三个简介由高于临界功率的恒定功率函数组成。这个模型也超出了生理可能性的领域，因为 $W'bal$ 的最小值为 0，表示完全疲惫。然而，如果运动员无限期地持续超过临界功率，他们的 $W'bal$ 函数将继续减少并变为负数，如第三张图所示。最后，

第四个轮廓显示了一个平方函数,在上下相等周期之间交替

临界功率输出。尽管与临界功率的偏差是相同的瓦数

任一侧, W'_{bal} 函数逐渐减小。这是因为 W'_{bal} 占

在超过临界功率的活动后需要增加恢复,因为身体需要更长的时间才能恢复

剧烈运动后的恢复时间比运动的持续时间要长。因为 W'_{bal}

功能紧跟 Golden Cheetah 程序中的实现,它充分

处理四个描述的测试用例,并且符合生理直觉。

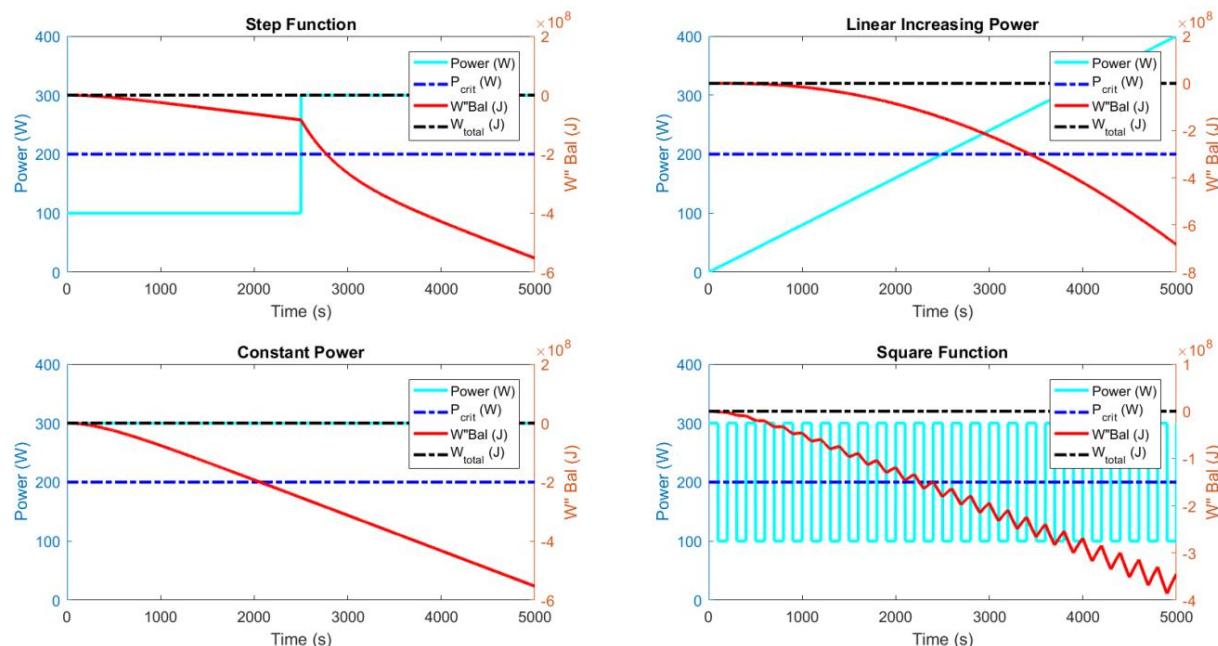


图 3-3: W'_{bal} 函数的四个测试用例绘制在与功率曲线相同的轴上。（从左顺时针方向）1) 从时间t开始,从低于临界功率到高于临界功率的阶跃函数。2) 线性功率输出在整个采样时间内单调增加。3) 高于临界功率阈值的恒定功率输出。4) 平方函数在临界功率上下均匀交替,并显示 W'_{bal} 预测的恢复率和耗尽率的差异。

4.讨论

4.1 加权恢复时间

在对骑车人的能量罐储备进行建模后,必须提出一个关键发现。那是,

直觉上,超过临界功率的努力的恢复时间应该比

高于临界功率的相应时间间隔。例如,一个冲刺五秒钟的自行车手

应该无法在五秒钟内从努力中恢复过来。然而,目前

Skiba 模型的制定不考虑任何类型的恢复权重因子

超过临界功率后的间隔。在最简单的加权实现中,

恢复常数 $\alpha(W' \exp(t))$ 可以插入等式 [2] 并仅在以下情况下实现

当前功率低于临界功率。由于低于临界功率的恢复时间间隔

努力应该更长, α 应该小于或等于1。

$$\begin{aligned} & \quad = \quad \quad \quad - (+) \\ & - (\exp()) \int \quad \quad \quad () \\ & \quad \quad \quad \leq \quad \quad \quad \leq \\ & \quad \quad \quad 1 = 1 \quad \quad \quad \geq \end{aligned} \quad [4]$$

α 值将是另一个骑手参数,可以从骑行数据或

方程可以根据骑手拟合到它,类似于方程 [3] 中的变量 $\tau W'$ 。

4.2 能量平衡模型的局限性

该模型的第一个限制是来自环法自行车赛的数据,而且确实是一次骑行

来自任何运动员,并不意味着骑手会清空他们的坦克。由于 W' 是根据

在以前的游乐设施中,这是一个必须经常重新计算和更改的值

取决于健康状况以及骑自行车的人推动自己的努力程度。这是因为 W'_{bal} 应该

永远不会低于零,这将表明负能量平衡。如果使用了不准确的 W'

并且运动员投入了特别艰苦的努力,他们的W'bal可能成为
如果W'未正确校准,则为负值。幸运的是,负W'bal对W'bal没有影响
整体概况,只有W'bal的具体数值。如果W'bal显示在自行车码表上,它
可能会导致用户混淆,但不会破坏实际数据。

为骑自行车的人找到W'bal上限的一个好方法是查看W'bal
在纪念碑比赛期间的精英自行车手。纪念碑比赛是一天举行的舞台比赛
整个春季和夏季都在欧洲进行,并且正在进行六个多小时的比赛,其中
车手们尽可能地努力争取胜利。纪念碑比赛,而不是舞台比赛或
其他形式的骑行是理想的,因为骑手不会有意识地节省任何能量。
骑行路线,因此从像纪念碑这样的全面比赛中计算出的W'将是
出色地显示了运动员的总能量平衡。

最后,在计算W'bal时所做的一个主要假设是一个常数 $\tau W'$ 。如所见
等式 [3], $\tau W'$ 是基于低于临界功率的恢复差异而变化的。然而,一个
骑手在骑行过程中恢复时几乎不会始终保持恒定的功率,并且
在大多数情况下,功率数据非常嘈杂,方差约为 5%。这意味着 $\tau W'$
必须在骑行的每一秒重新计算一次,这在计算上是非常昂贵的。的
当然,在这些计算中, $\tau W'$ 的变化相对较小,因为即使有偏差
5% 的功率会以相对相似的幅度影响 $\tau W'$,具体取决于临界
骑手的力量和恢复力量输出。

遵循 Skiba 等人提出的做法。在论文中, $\tau W'$ 是通过取
在骑行过程中低于临界功率的平均功率并使用该值来计算
DCP。对于一阶近似,这个假设产生了令人惊讶的准确结果,尽管
考虑变量 $\tau W'$ 会产生更准确的结果。此外,这个假设

在进行恢复期相似的间歇训练时效果相对较好

在工作期间之后;但是,在考虑比赛数据时它会崩溃。因为

在比赛过程中,由于攻击导致的赛道高度和速度变化很大,偏差

低于临界功率可能很重要,例如当骑手在下坡时滑行或他们

可能是次要的,例如当骑手坐在大部队的吃水口时。在这种情况下,

由于所施加功率的高度可变性,整个骑行的统一 $\tau W'$ 假设失败

在亚临界功率期间。

实现一个变量 $\tau W'$ 也可以解释两者之间必要的加权因子

在关键权力之上和之下的努力。例如,一名运动员的恢复能力明显低于他们

临界力量将比运动员在临界点附近恢复的速度更快

力量。因此,在较低功率输出下恢复的运动员的DCP会高得多,

这将导致恢复时间常数较低,从而导致更快的恢复。这样,

可变DCP可以考虑不同功率输出下的恢复工作,以影响

骑自行车的人在超过临界功率后恢复精力的速度。

5. 结论

重申一下,本论文的目标是建立在现有的人类生物能量模型和

为运动员在比赛中的最佳力量分配提供建议。后

评估许多模型,考虑的两个最有前途的模型是 Morton

Margaria 三缸模型和 Skiba 能量平衡模型。然而,莫顿

Margaria 模型由于缺乏对耗尽因素的考虑以及

缺乏用于确定运动员能量罐之间流量参数的数据。

因此,能量平衡模型是在 MATLAB 中使用来自骑自行车的人的数据建模的

谁参加了 2014 年环法自行车赛,以测试模型在预测中的有效性

运动员的能量容量和疲惫。派生模型对

Golden Cheetah 软件套件中模型的黄金标准实现。此外,

还在模型上测试了特征功率曲线,以了解它如何解释

功率的变化,并根据对生理反应的直觉进行验证

用力。

这项调查产生了两个新的发现。一、能量平衡模型

必须考虑低于临界功率的恢复与高于临界功率所用时间的权重。这

当前模型对高于和低于临界功率的时间使用相同的权重,当

重组能量。但是,必须考虑运动员的疲惫

与同等数量的运动员相比,运动员在超过临界力量的运动中变得更加疲惫

骑在临界功率以下的时间。其次,假设一个恒定的回收率

τ_W' 用于 Skiba 等人。纸张无效,因为从

骑自行车的人在骑行过程中,尤其是在比赛中。展望未来,实施

W'_{bal} 应该包括一个可变的恢复率,取决于低于临界功率的偏差

恢复间隔。考虑到这一点,实施可变回收率可以解决

通过评估进一步低于临界功率的恢复间隔,第一个发现提出的问题

较低的时间常数表示运动员将比恢复更快地恢复能量

周期性接近临界功率阈值。考虑到这一点,实现一个变量

回收率应该是性能优化模型未来迭代的重中之重。

除了可变的恢复率,未来在人类生物能量学模型领域的工作

可以检查其他运动中的建模,例如跑步和游泳。虽然

在这两种情况下,实施都会将临界功率切换为临界速度,将时间切换为距离,

个别运动员的参数和方程式很可能是特定于运动的，并且会
需要使用运动员的额外测试重新制定。构建未来的生物能源模型
更准确地说，可以将运动员的表现优化提升到一个新的水平
确定他们的身体在关键时刻需要多少能量来指导他们的决定
比赛。用各种运动仪器测量的数据制定这些模型，将数据转化为
不仅仅是一个数字；它成为决策的指南。简而言之，生物能
模型可以将数据从数字转化为行动。

6. 参考文献

- 德卢卡斯, RD, 等。 “训练有素的自行车手达到或超过临界功率的疲惫时间：
重度和重度强度域之间的关系。”科学与体育 (2013) :e9-e14.
- 琼斯、安德鲁 M 等人。 “关键力量:确定 VO2 Max 和运动耐受性的意义。” Med Sci Sports Exerc (2010):
1876-1890。
- 卡普,杰森。三个代谢能量系统。2009 年 2 月 1 日。2016 年 4 月 19 日。
<http://www.ideafit.com/fitness-library/the-three-metabolic-energy-systems>。
- 曼蒂卡,斯特凡诺。 “可穿戴设备上的人体性能建模”。研究门
(2015 年)。在线的。<https://www.researchgate.net/publication/281934699>。
- 麦甘出版有限责任公司。环法自行车赛冠军,领奖台,时代。2015 年。2016 年 4 月 18 日。
<http://bikeraceinfo.com/tdf/tdfindex.html>。
- 莫顿,R.休。 “临界功率和相关的全身生物能量模型。”欧洲的
应用生理学杂志 (2006) :339-354。
- 斯基巴、菲利普 F 等人。 “模拟上述工作能力的支出和重组
关键力量。”美国运动医学学院 (2012) :1526-1532。
- 训练高峰。2014 年环法自行车赛第 1 周功率分析。2014 年 7 月 5 日。2016 年 4 月 20 日。
<http://home.trainingpeaks.com/blog/article/2014-tour-de-france-power-analysis-week-1>。
- 瓦特自行车。功能阈值功率。nd 2016 年 4 月 19 日。<https://wattbike.com/us/functional-threshold-power>。