



TOURBILLON

# 陀飞轮揭秘

手表上的华尔兹

曹维峰 / 编著

机芯特征  
工作原理  
技术品鉴

解读复杂“陀飞轮”如何优雅回旋  
揭示百万名表之价值所在

陀飞轮的世界很精彩，永远有大师为推出结构非凡、  
律动优美的陀飞轮而殚精竭虑，也永远有表迷义无反顾地  
倾地为舞动在手腕上的华尔兹喝彩买单！——张淑生



化学工业出版社

# 陀飞轮揭秘

## 手表上的华尔兹

曹维峰 / 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

机械手表既是实用的计时工具，又是精密的工艺品。

陀飞轮是机械手表中最经典的技术，也是一种高精尖技术，可以最大程度地均衡地心引力与机芯相对位置和角度的改变对走时造成的影响，保证走时准确。陀飞轮代表了国际制表业最先进的技术实力和发展潜力。

陀飞轮同时还是名贵的象征，相同的表款，有陀飞轮装置的，价格可以高出数倍。

本书较为全面地介绍了陀飞轮的基础知识以及各大品牌的陀飞轮技术及产品。主要内容包括：陀飞轮基础知识、经典陀飞轮、飞行陀飞轮、卡罗素、双陀飞轮、行星陀飞轮、多轴陀飞轮。可供对手表感兴趣的一般读者和从事手表相关工作的人员学习参考。

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

陀飞轮揭秘：手表上的华尔兹 / 曹维峰编著. —北京：  
化学工业出版社，2016. 10  
ISBN 978-7-122-27999-6

I . ①陀… II . ①曹… III . ①机械手表-介绍-世界  
IV . ①TH714. 521

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第212447号

---

责任编辑：贾娜  
责任校对：边涛

装帧设计： 溢思视觉设计 / 宋绘昱  
E-mail: isstudio@126.com

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）  
印 装：北京缤索印刷有限公司  
710mm×1000mm 1/16 印张11½ 字数178千字 2017年7月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899  
网 址：<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：68.00元

版权所有 违者必究



# 序

## 与陀飞轮共舞

---

好友曹维峰曾是天津海鸥表业集团有限公司的技术新晋，专事陀飞轮多年，2016年自立门户成立了天津精诚拓飞科技有限公司，专注于机芯开发。曹先生读研期间写出了中国唯一的专研“陀飞轮”的硕士论文——《陀飞轮机械表的分析与改进》，我曾在网上断续拜读。就其涉及的广度和深度，已接近博士论文，因而显得高深晦涩。现在出版的《陀飞轮揭秘：手表上的华尔兹》一书，比他的论文写得更为通俗，深入浅出，我建议对机械手表有兴趣的非专业人士也不妨一读。针对陀飞轮能写出近七万字的“中篇小说”，就我所知，古今中外前无来者。曹先生入职海鸥时刚好赶上表坛上的陀飞轮热潮，与生俱来的使命感使他沉迷于将这项怀表技术复苏于中华大地。

陀飞轮是宝玑大师众多发明中最令人激赏又匪夷所思的一项，目的是避免万有引力对擒纵机构的干扰而造成怀表的走时误差。但进入手表年代，由于材料的改进和加工精度的提高，普通擒纵的准确性已大为提高，更重要的是，随着手腕的自由甩动，地心吸力对擒纵不同方位的影响已经模糊，陀飞轮在手表上的实用性逐渐受到质疑。因此在玩表的圈子里，陀飞轮一直是个颇有争议的话题，成为收藏两派的楚河汉界。河的这一边，是钟情于机芯优美的唯美派，特别迷恋擒纵上的华尔兹；而界的那一边，是注重效用和精准的实用派，拒绝上手陀飞轮。观点的分歧并不能证明谁的错对，这两派都有非常资深的收藏家。

世界上很多事物都是为了满足人的物质需求而产生或发明，但到后来却往往蜕变成只满足精神层面的装饰，这是人和动物的区别。比如西装或裙子，保暖的诉求已经微乎其微。

同样道理，陀飞轮为精准而生，却为美丽而活。过分根究她的实用功能其实是一种没有充分进化的动物思维。藏表里没有一块陀



飞轮，也真的有点没趣。

归根到底，拒绝陀飞轮的理由大概有两个：一是无用，二是太贵。但“贵而无用”从来都是奢侈品的特征。腕表是奢侈品，陀飞轮才是标签，要想炫，就是这一点。曹先生的这本书也无法改变陀飞轮“无用”的命运，却使陀飞轮变得更加“有趣”。

既然陀飞轮对精确无助，就只能向优美发展。曹先生在他的新书中将陀飞轮的舞动比喻为华尔兹，很传神，都是踏着优雅节奏的回旋。十几年前我在维也纳金色大厅欣赏过原汁原味的华尔兹，金碧辉煌的穹顶，尊贵华丽的服饰，急缓疾徐的舞步，维也纳爱乐乐团的现场伴奏，烘托出华尔兹的高贵和妙曼。但是，如果将这种皇家舞蹈搬到乡间的晒谷场，长裙席卷尘土，赤脚夹着泥巴，高音喇叭吵嚷着跑调的录音，会是怎样的图景？所以，也很难想像一个美轮美奂的陀飞轮放在没有打磨的机芯上舞动，这样不但不美，还会很丑。没有黑绒布的衬托，白珍珠的成色就会大打折扣。我曾打趣地跟曹先生说，国产的华尔兹使我想起晒谷场的土风舞。

怀表年代的陀飞轮存世几稀，能拍出天价，是囿于当时的手工条件而显出高超的制作难度。但进入 CNC 年代，却难不倒开车床的学徒。因此，当代陀飞轮的难点并不在制造，其价值集中体现在创意和设计，这其实也是“无用”派捂住钱包的另一个理由。但在一个靠创新推动的年代，我们理应不吝为想象力买单。如果想象力不值钱，硅谷早就改种葡萄了。

陀飞轮的世界其实很精彩，永远都有大师前仆后继、殚精竭虑地推出结构非凡、律动优美的陀飞轮，也永远有表迷义无反顾为“无用”的奢侈喝彩买单！我希望曹维峰先生能做出更多令表迷眼动和心动的陀飞轮，上演更美妙的华尔兹，为此，我愿终生等待！



# 前言

---

我从2003年开始从事陀飞轮技术的研发工作至今已经十年有余，恰逢陀飞轮技术飞速发展的十几年。国际上的新型复杂款陀飞轮层出不穷，如双陀飞轮、行星陀飞轮、立体旋转陀飞轮等。在这十几年中，我通过各种渠道积累了丰富的陀飞轮知识，并把自己解读出来的陀飞轮知识汇总出来写成技术文章，通过各种媒介分享给对陀飞轮痴迷而又充满迷惑的朋友们。这本书的内容包含了于我于2009~2015年写过的所有陀飞轮技术文章，从策划到整合完成历时两年多的时间。编写期间，我把书稿交给多位朋友阅读，获得了很多建设性的意见，并经过了多次修改，尽可能满足更多有需求的读者阅读学习，让读者更系统地了解陀飞轮的奥秘所在。

本书以陀飞轮的基础知识开篇，根据陀飞轮结构的不同，将其划分为六大类：经典陀飞轮、飞行陀飞轮、卡罗素、行星陀飞轮、双陀飞轮和多轴陀飞轮。陀飞轮的基础知识可以让读者了解到一些关于陀飞轮的常识。随后讲解每一种陀飞轮类型的章节都会先把此类型陀飞轮的基本特征交代清楚，再以知名品牌推出的本类型陀飞轮作为经典案例来讲解。这样可以让读者对陀飞轮先认识再认知，循序渐进地产生兴趣。为了能让没有机械表相关知识储备的读者不致一头雾水，书中特别安排了“知识链接”栏目。

在此，感谢刘连仲高级工程师和周文霞总工程师在这十余年里对我的培养，把我领进了陀飞轮技术的领域，才有了我如今取得的成绩。还要感谢靳世久博士生导师在我进入天津大学进行工程硕士深造期间给予的指导和帮助。最后，特别感谢在本书编写过程中给我提供很多

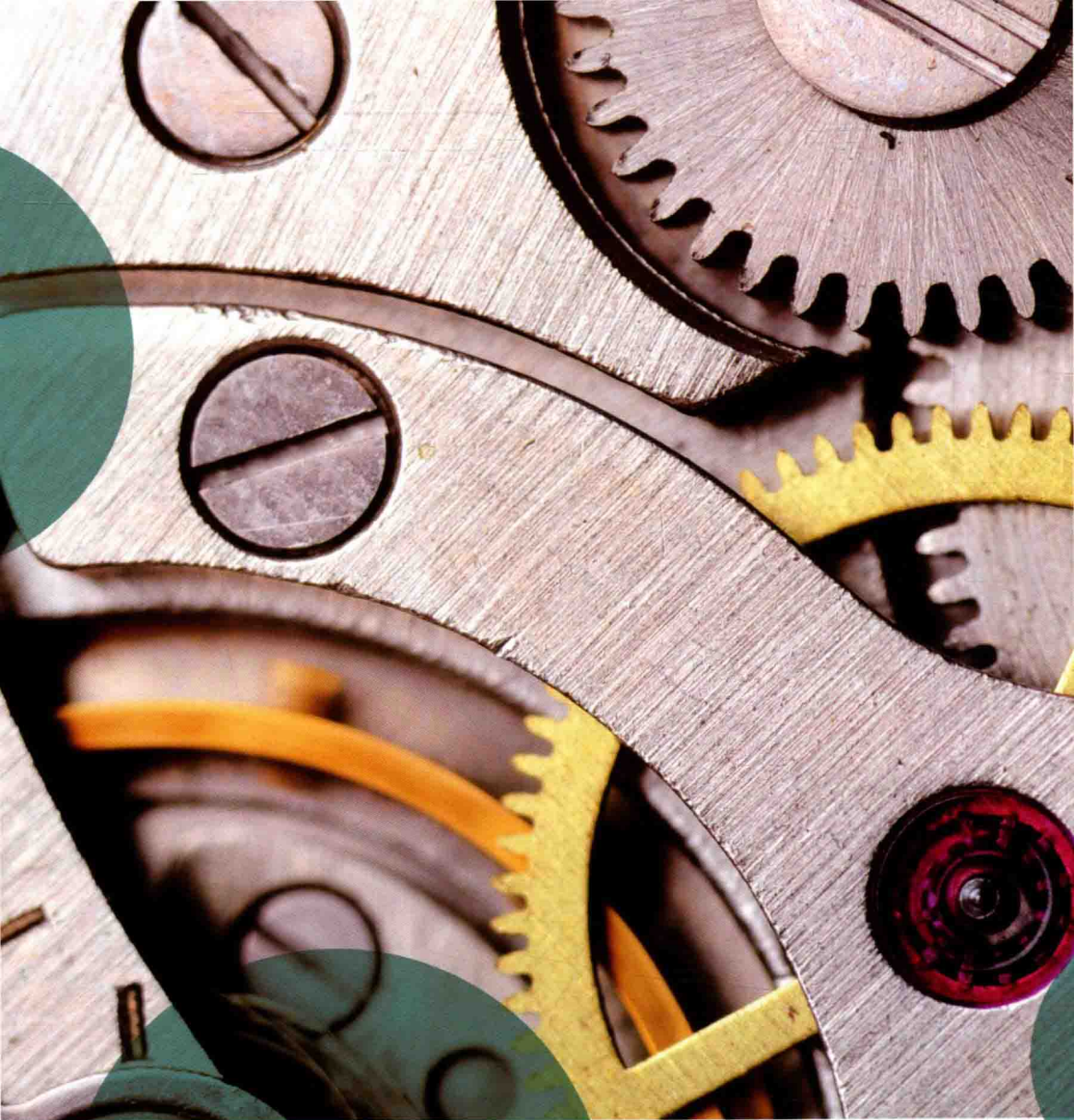


帮助与建议，并与我一起奋发图强、同甘共苦，创建“精诚拓飞”独立制表工作室的伙伴们：李健、王晨、张树玺、张颖、齐晓希、李峥、刘江、王鹏、渠峰岚、刘杰、田学堃、姚鹏、贾学伟、崔靖轩、李杨、杜宇、周鹏、白玉君、邹树林、尹春燕、赵保东。

希望喜欢陀飞轮的读者在阅读中可以收获知识，更加了解陀飞轮并热爱机械表的独特魅力。如果大家看过此书后有任何问题，可以与我联系。特别感谢资深表友陈麟琪帮助检查书稿。

赵保东





# 第1章





## 第1章 陀飞轮基础知识

1.1 什么是陀飞轮	002
1.1.1 诞生背景	002
1.1.2 宝玑大师	004
1.1.3 技术背景	006
1.1.4 理论基础	007
知识链接——擒纵机构和摆轮游丝系统	007
1.2 为什么被称为“表中之王”	015
1.2.1 基本概念	016
1.2.2 技术特征	018
1.2.3 工作原理	019

## 第2章 经典陀飞轮——旋转擒纵调速机构

知识链接——无卡度摆轮游丝系统	022
2.1 百达翡丽“最”经典陀飞轮	024
2.1.1 技术特征	025
2.1.2 技术品鉴	026

## 2.2 江诗丹顿“马耳他十字”经典陀飞轮····· 029

- 2.2.1 技术特征····· 029
- 2.2.2 技术品鉴····· 030
- 知识链接——机械表的传动系统····· 031

## 2.3 豪雅“皮带轮”经典陀飞轮····· 044

- 2.3.1 皮带轮····· 045
- 2.3.2 微型皮带轮····· 045
- 2.3.3 技术挑战····· 045
- 2.3.4 技术类型····· 046
- 2.3.5 创新传动系统····· 047
- 2.3.6 技术品鉴····· 050

## 2.4 宝玑“防震”经典陀飞轮····· 052

- 2.4.1 技术特征····· 053
- 2.4.2 防震机构····· 055
- 2.4.3 工作原理····· 055
- 2.4.4 技术品鉴····· 056

## 2.5 芝柏“三金桥”经典陀飞轮····· 058

- 2.5.1 “三金桥”发展史····· 058
- 2.5.2 “三金桥”专利····· 059
- 2.5.3 外观特征····· 060
- 2.5.4 技术特征····· 061
- 2.5.5 技术品鉴····· 062
- 知识链接——恒定动力系统····· 062

## 2.6 万国“恒定动力”经典陀飞轮····· 063

- 2.6.1 恒定动力系统····· 064
- 2.6.2 工作原理····· 065
- 2.6.3 技术品鉴····· 066
- 知识链接——游丝····· 066

## 2.7 万宝龙“双柱形游丝”经典陀飞轮····· 067

- 2.7.1 双柱形游丝····· 068
- 2.7.2 技术品鉴····· 068



## 第3章 飞行陀飞轮——无需支架 漂浮旋转

### 3.1 瑞宝“原创”飞行陀飞轮..... 072

3.1.1 技术特征 .....072

3.1.2 技术品鉴 .....073

### 3.2 宝珀“飞翔”飞行陀飞轮..... 073

3.2.1 同轴式PK 偏心式 .....074

3.2.2 技术特征 .....074

3.2.3 技术品鉴 .....077

### 3.3 伯爵“薄型”飞行陀飞轮..... 078

3.3.1 技术特征 .....078

3.3.2 技术品鉴 .....079

知识链接——超薄机械表.....080

### 3.4 宝格丽“超薄”飞行陀飞轮..... 081

3.4.1 技术特征 .....081

3.4.2 技术品鉴 .....083

知识链接——同轴擒纵机构.....084

### 3.5 欧米茄“中置”飞行陀飞轮..... 088

3.5.1 技术特征 .....089

3.5.2 技术品鉴 .....090

### 3.6 沛纳海“烤鸡”飞行陀飞轮..... 091

3.6.1 技术特征 .....092

3.6.2 技术品鉴 .....092

## 第4章 卡罗素——偏心旋转摆轮游丝

4.1 1894年 Bonniksen 卡罗素	096
4.1.1 技术特征	096
4.1.2 工作原理	097
4.1.3 卡罗素 PK 陀飞轮	098
4.2 宝珀秒针卡罗素	099
4.2.1 技术特征	099
4.2.2 PK Bonniksen 卡罗素	101
4.2.3 技术品鉴	101
知识链接——新材料“硅”与新技术“MEMS”	102
4.3 雅典“Freak”分针卡罗素	104
4.3.1 外观特征	105
4.3.2 技术特征	106
4.3.3 工作原理	107
4.3.4 技术品鉴	108
知识链接——双向擒纵机构	109

## 第5章 行星陀飞轮——犹如卫星一样运动

5.1 基本概念	118
5.2 Jean Dunand 分针式行星陀飞轮	119
5.2.1 技术特征	120
5.2.2 技术品鉴	121



5.3 伯爵分针行星陀飞轮	122
5.3.1 技术特征	122
5.3.2 技术品鉴	123
5.4 卡地亚神秘行星陀飞轮	124
5.4.1 技术特征	125
5.4.2 工作原理	126
5.4.3 技术品鉴	126
知识链接——神秘钟	127



## 第6章 双陀飞轮——两轮并设 协作计时

6.1 高珀富斯“最纠结”双陀飞轮	132
6.1.1 技术特征	132
知识链接——差动机构	134
6.1.2 技术品鉴	136
6.2 宝珀“卡加陀”双陀飞轮	136
6.2.1 技术特征	137
6.2.2 技术优势	138
6.2.3 技术品鉴	138
6.3 宝玑时针行星双陀飞轮	140
6.3.1 外观特征	140
6.3.2 技术特征	141
6.3.3 技术品鉴	144

# 第7章 多轴陀飞轮——立体旋转多维运动

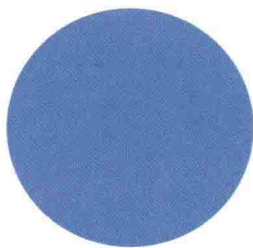
---

7.1 基本概念 .....	148
7.2 高珀富斯“倾斜”双轴陀飞轮 .....	149
7.2.1 技术特征 .....	149
7.2.2 技术品鉴 .....	150
7.3 芝柏“三金桥”多轴陀飞轮 .....	152
7.3.1 “三金桥”双轴陀飞轮 .....	152
7.3.2 “三金桥”三轴陀飞轮 .....	154
7.4 积家“球形”陀飞轮 .....	159
7.4.1 “球形”陀飞轮 1 号 .....	159
7.4.2 “球形”陀飞轮 2 号 .....	163
7.4.3 “球形”陀飞轮 3 号 .....	166

---

## 参考文献

170







# 陀飞轮基础知识

# 1.1 什么是陀飞轮

传奇的法国制表大师阿伯拉罕·路易·宝玑 (Abraham Louis Breguet) 打破了传统的计时原则，将原先固定不动的调速机构放置于可以旋转的框架内。这在当时以怀表为常用计时工具的年代是个非常伟大的发明：由于怀表长时间被竖向放置，其内部的走时核心——调速机构会受到地球引力的影响，导致手表位置误差，直接影响表的走时精度。宝玑先生利用他多年的制表经验，一针见血地把调速机构转动起来，这样不同方位的位置误差自相抵消，使得带有陀飞轮装置的表走得更精准。而陀飞轮翻译自法语 *Tourbillon*，为急速旋转之意，这个名字也从另一层面体现了宝玑大师发明它的真谛。

## 1.1.1 诞生背景

高精度是手表发展几百年以来制表师们永无止境追求的目标。18世纪海上强权主宰世界，航海钟对精准度苛求，这使得钟表制作开始了大步飞跃。这个时期的重要发明有极为精密的冲击式擒纵机构、被普遍使用的温度自补偿螺钉摆轮以及抗地心引力的陀飞轮装置等。其中，陀飞轮最负盛名，并且对表迷们有一股无法抗拒的吸引力。陀飞轮自1795年发明至今仍能经久不衰，甚至有声势地位逐年高涨的趋势，其原因就在于陀飞轮的发明人宝玑大师的辉煌成就、困难的手工制作、技术方面的垄断和

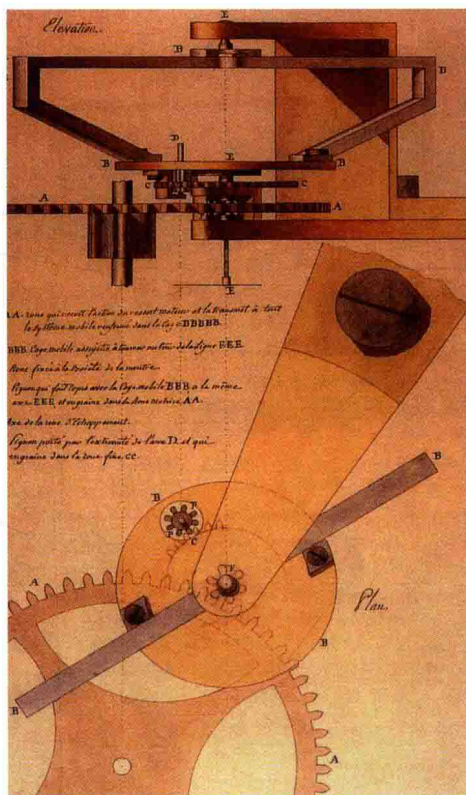


图 1-1 陀飞轮装置图





厂商炒作等因素。但是，更重要的原因是这二百多年以来，陀飞轮那被人津津乐道、充满了传奇色彩的发展历程。

1801年6月26日，宝玑大师从巴黎专利局获得一项为期十年的新型时计擒纵机构专利，这个新擒纵机构就是所谓的陀飞轮装置。不过根据专家研究，其实宝玑早在1795年便已经构思出这项发明，其后经过多年实际制作，并且以数月的时间准备了一份附有该装置水彩图的完整申请书，陀飞轮才得以正式问世。图1-1所示为宝玑于1801年申请专利时在申请书里所附的陀飞轮装置图。

这个为了抵消地心引力的影响从而提高手表精确度的新颖装置，光是构思出运转原理与机械结构，就足以说明宝玑先生傲人的制表天赋，不过陀飞轮的制作难度对他来说仍然极富挑战性，所以产量稀少。陀飞轮的制作难度，在当时高居各项手表功能之冠，这也使它生来便价值连城。宝玑的第一款陀飞轮表直到1805年才问世，距离其想法出现已经过了十年。而普通大众也直到1806年巴黎举行的全国商品展览会上，才得以一睹陀飞轮的庐山真面目。从1805年到1823年宝玑大师去世为止，总共售出35只陀飞轮表。正是由于宝玑大师的努力，陀飞轮才得以逐步发展，书写下手表史上最灿烂辉煌的一页！

19世纪初的陀飞轮表纯粹是功能取向，与宝玑创制陀飞轮的初衷一样，只为了让垂直放置在口袋里的怀表走得更加精准，因此在框架及夹板设计上并不是特别注重美观，也很少与其他复杂功能共同制作在同一只表中（报时、万年历等其他复杂功能经常会出现于超复杂功能表里）。图1-2为制作于1830年的一分钟陀飞轮怀表。那时仍在陀飞轮的启蒙阶段，能够制作此结构的制表师很有限，所以当时的陀飞轮产品相当罕见，能够流传到今天的更属凤毛麟角。



图1-2 制作于1830年的一分钟陀飞轮怀表