



GKN Automotive

万向节和传动轴

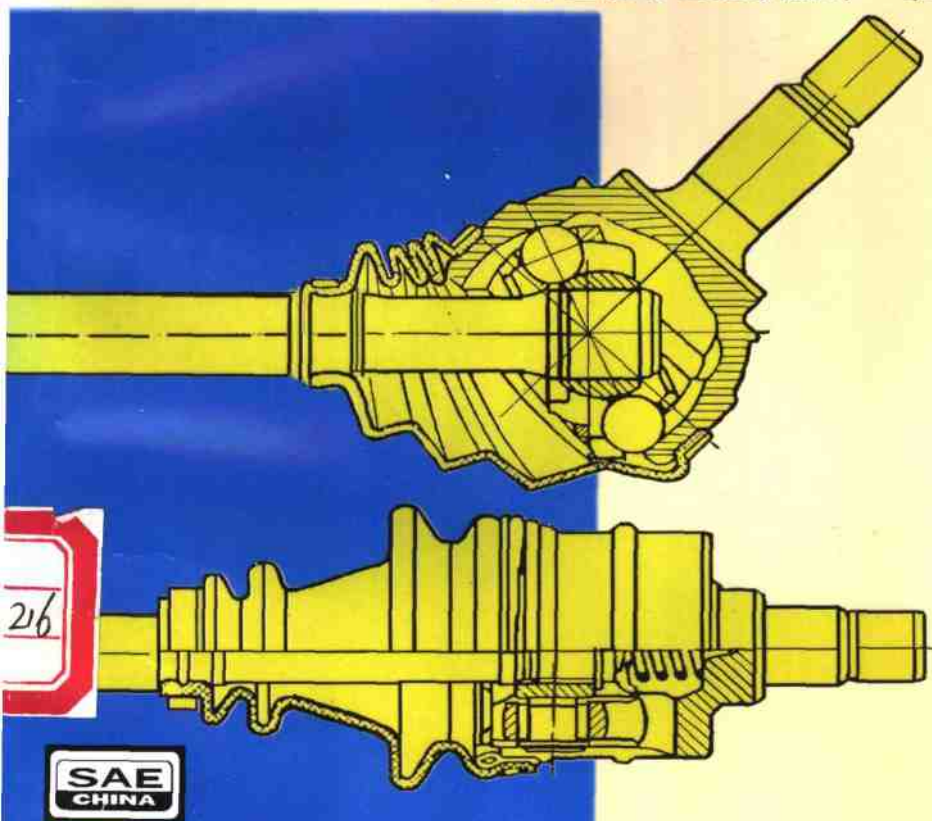
F.Schmelz

[德] Graf von H.-C. Seherr-Thoss 著

E.Aucktor

伍德荣 肖生发 陶健民 译

中国汽车工程学会组织翻译 审定



北京理工大学出版社

万向节和传动轴

分析·设计·应用

F. Schmelz

[德] Graf von H. - C. Seherr-Thoss 著

E. Aucktor

伍德荣 肖生发 陶健民 译

中国汽车工程学会组织翻译和审定

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书应用万向节传动的基本理论对该项技术的发展历史和结构演变进程,进行了系统而完整的描述。内容涉及到各种现代等速万向节的运动学、动力学分析、强度和耐久性设计以及应用方面的技术问题。

本书可供从事汽车设计和制造的工程技术人员参考,亦可作为工科院校相关专业师生的阅读参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

万向节和传动轴:分析·设计·应用/(德)切梅兹等编著;伍德荣等译. —北京:北京理工大学出版社,1998.4 重印

书名原文:Universal Joints and Driveshafts

ISBN 7-81045-241-X

I. 万… I. ①切… ②伍… II. ①汽车-万向节-概论②汽车-传动轴-概论 W. U463.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 01196 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字 01-97-0186

《Universal Joints and Driveshafts》by F. Schmelz, Graf von H.-C. Seherr-Thoss, and E. Aucktor

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992

All Rights Reserved

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话 (010) 68912824

各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 9.75 印张 244 千字

1997 年 12 月第 1 版 1998 年 4 月第 2 次印刷

印数:1 001—2 000 册 定价:19.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

德文版著者

Friedrich Schmelz

Ingolstadt 奥迪 NSU 汽车协会试验部前主管

Graf von Hans-Christoph Seherr-Thoss

慕尼黑德国汽车俱乐部图书馆前馆长

Erich Aucktor, 总工程师

Löhr & Bronkamp GmbH, Offenhach/main 设计与开发部前
主任

德文版编辑

工程博士 Gerhard Pahl 教授

Darmstadt 技术大学, 机械零件与设计

德译英

Stuart J. Hill, B. A. (Eng.) 荣誉哲学博士,

英国伦敦铁路管理局

Mrs. Jennifer A. Tipper

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工程技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书经中国汽车工程学会组织翻译和审定，由伍德荣、肖生发、陶健民翻译。

汽车工程图书出版专家委员会

中文版前言

国家汽车产业政策确定要大力发展经济型轿车及其关键零部件。现代经济型轿车大都采用前轮驱动的布置型式。等速万向节是其中的关键零部件之一。目前使用最多的球笼式等速万向节(Rzeppa型)因其加工制造精度高、难度大,需成套引进国外专用加工生产设备,且投资费用大,价钱贵,已成为实现国产化的关键之一。为此国家将等速万向节列为重点扶持的关键零部件项目之一。

过去国内很少生产轿车,有关轿车方面的技术资料也较少,而像等速万向节这类较特殊的重要部件,有关的专业技术资料更是十分少见。在国外,等速万向节大都由零部件专业厂商生产、制造。1984年全世界大约生产了二亿二千多万套等速万向节。关于等速万向节的技术理论已成为一个专门领域。

近年欧洲出版的《万向节和传动轴》一书,内容包含的时域悠长,涉及的技术理论区域宽广,应用的公式原理传统、经典,引用的数据图表源于可靠的科学实验。将如此丰富的内涵汇集到这本专著中,是十分难能可贵的,其广度和深度都突破了我国当前万向节设计研究的范围。对我国高等院校师生、汽车技术研究院所的科技人员以及万向节和传动轴的专业生产厂家的工程技术人员,无疑是不可多得的有价值的读物。

本书根据原著英文版由伍德荣教授和肖生发、陶健民两位副教授共同翻译,并经东风汽车公司传动轴厂前总工程师(东风汽车公司技术中心研究员级高工)汪琳主审。本书的翻译和出版,得到中国汽车工程学会何赐文同志和东风汽车公司老专家王汝漫同志的热情关怀和大力支持,以及湖北汽车工业学院汽车工程系王

保华、雷琼红、李莹等同志的积极支持和帮助，谨此一并表示感谢！由于时间仓促，疏漏失误之处在所难免，恳请批评、指正。

伍德荣 执笔

1997年5月

英文版前言

涉及万向节和等速万向节技术各个方面的出版物已经有许多了。

GKN 汽车有限公司很久以前就认识到需要一种从基本理论出发遍及产品设计和应用(包括现实的和潜在的应用)等内容并覆盖所有元件的综合性著作。

因此,我们欢迎并推荐出版本书,我们认为在汽车传动系技术的进一步发展和应用中,将会证明本书是一本很有价值的参考资料。

Trevor C. Bonner

GKN 公司汽车传动系经理

1991 年 9 月,于伯明翰

德文版序言

在本世纪初，虎克万向节和传动轴，以及后来的等速万向节和传动轴在机械工程和汽车工业的发展中起到了极其重要的作用。与此同时为满足日益增长的需求，首批专业制造厂家将他们的注意力转向这一领域。在质量方面，他们对效率、强度、耐久性和噪声性能方面的改进达到了这样的程度，使万向传动轴成为一种重要的工程部件。1950年以后，传动轴的产量达到数以百万计。1984年主要由于汽车工业的增长，生产了三千五百万套虎克万向节传动轴，一亿二千万套等速万向节传动轴，一亿套三枢轴式(tripod)万向节传动轴。一般认为：以金属万向节用作联轴节要比用橡胶和圆盘形编织物好。

为了准备1980年“前轮驱动轿车大量生产50周年”的纪念活动，我们产生了出版一套万向节和传动轴专题丛书的想法，把它列为“设计手册”系列的一部分。著者与在Ingolstadt的Audi NSU汽车协会进行了接触，他们是1931年第一家批量生产前轮驱动轿车的厂家，并以名称DKW投放市场。协会中的Dr Franz Behles对万向节课题很感兴趣，他与卡当万向节股份公司的Rainer Schaeferdiek一起成为零部件工业的典型代表。他们建议对该课题进行更加详尽的研究，随后著者们在1981年10月23日VDI会上发表了一篇论文：“用于前轮驱动的等速万向节的发展。”此举促使他们着手准备提出更加详尽的论述，这就导致了由Darmstadt技术大学Gerhard Pahl教授编辑，由Springer Verlag出版的工程系列丛书的诞生，该书观点得到工程界普遍认同，卡当万向节股份公司(现GKN汽车股份公司)促使其子公司Löhr和Bromkamp有限公司的设计与开发部前主任Erich Aucktor和

他的助手 Löhrl Bromkamp 成为本书的共同著者。

在机械工程和汽车工业经历了十分长久的历史之后，有了关于万向节和传动轴的完整描述，其中不仅涉及运动学方面的问题，而且也涉及强度和耐久性方面的设计过程。

我们诚挚地感谢下列各位先生和有关方面：Volker E Schueler, Dietrich Hanebuth 和 Rainer Schueler, 以及总设计师 Dietrich Heier, 数学家 Gerd Faulbecker, 后二者来自 GKN 集团的卡当技术分部和 Schweinfurt (Dr Hermann Renn); FAG Kugelfischer KGaA Schweinfurt (Dr Winfried Perseke, Karl-Heinz Loroesch); 以及本书的编辑、翻译和出版者, 由于他们所做的工作, 使得这一套“设计手册”获得成功。

F Schmelz

Graf von H. -C. Seherr-Thoss

E Aucktor

1988 年 4 月于慕尼黑

符 号 表

符 号	单 位	意 义
1. 坐标系		
o, x, y, z	mm	右手坐标系
o, x', y', z'	mm	由转换矩阵: $D_p = \begin{bmatrix} \sin\varphi & -\cos\varphi & 0 \\ \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
		产生的空间系统
o, x'', y'', z''	mm	由转换矩阵: $D_p = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}$
		产生的空间系统
o, r, φ	mm	在 Boussinesq 半空间里的极坐标系
$r = a + tu$	(°)	直线轨道的矢量关系式
$a = \begin{pmatrix} k \\ l \\ m \end{pmatrix}$		位置矢量和它的分量
$u = \begin{pmatrix} n \\ p \\ q \end{pmatrix}$		方向矢量和它的分量
下标 1		物体 1, 主动元件
下标 2		物体 2, 从动元件或中间物体
下标 3		物体 3, 从动元件或自由物体
$i = 1, 2, 3, \dots, n$		连续计数器

续表

符 号	单 位	意 义
2. 角度		
α	(°)	压力角
β	(°)	轴间夹角(或铰接角)
γ	(°)	轨道倾斜角
δ	(°)	分散角或张开角($\delta=2\epsilon$)
ϵ	(°)	轨道倾斜角
θ	(°)	α 的补角($\alpha=90^\circ-\theta$)
τ	(°)	Hertzian 辅角
$\cos\tau$		Hertzian 系数
φ	(°)	万向节的转动角
χ	(°)	轨道的交叉角
ψ	(°)	直母线的角度
3. 滚动物体数据		
A	mm ²	接触面积
$2a$	mm	接触椭圆的长轴
$2b$	mm	接触椭圆的短轴
$2c$	mm	双联式虎克万向节十字轴的间距
c	mm	偏置距(母线弧心的距离)
d	mm	滚柱直径
D	mm	轴颈直径
D_m	mm	滚动体摆动圆弧的直径
k	N/mm ²	比压力
l	mm	滚柱长度(来自产品目录)
l_w	mm	滚柱的有效长度
r	mm	滚动表面的曲率半径

续表

符 号	单 位	意 义
R	m	万向节的有效半径
S_w	mm	万向节伸缩量
ψ		轨道横截面的相互贴合性
K_Q		轨道横截面的贴合性
K_L		轨道纵截面的贴合性
$\rho=1/r$	1/mm	滚动表面的曲率
C_P	N/mm ²	贴合性系数
P_0	N/mm ²	Hertzian 压力
δ_0	mm	接触点的总弹性变形
δ_b	mm	塑性变形
μ, ν		Hertzian 椭圆系数
E	N/mm ²	弹性模量(钢的 $E=2.08 \times 10^{11}$)
m		材料的 Poisson 比 $\approx 3/10$
$\theta=4/E(1-m^2)$	mm ² /N	Hertzian 简略符号
4. 力		
p	N	等效动态压力
Q	N	Hertzian 压力
F	N	等效压力 p 的径向分量
A	N	等效压力 p 的轴向分量
Q_{total}	N	由 Hertzian 和 Stribeck 所用的滚柱轴承上的总径向力
5. 力矩		
M	N · m	总力矩
M_0	N · m	静态力矩

续表

符 号	单 位	意 义
M_d	N · m	动态力矩
M_N	N · m	额定力矩(来自产品目录)
M_b	N · m	弯曲力矩
M_B	N · m	设计力矩

6. 数学常数和系数

ϵ	前、后轴荷比 A_F/A_R
ϵ_F	前轴转矩百分比
ϵ_R	后轴转矩百分比
f_β	铰接系数
k_s	冲击或工作系数(由使用确定)
k_t	滚针或滚柱的承载因数
k_w	循环负荷的等效因数
S	Stribeck 的分布因数=5
S_0	虎克万向节摆动轴承的静态安全系数=0.8~1.0
u	传动系数
μ	道路摩擦系数

7. 其它指定符号

P_{eff}	kW	输出功率
v	km/h	驱动速度
ω	s^{-1}	角速度
m		有效传动元件数
n	r/min	转动速度(每分钟转数)
π		对称平面

这些符号在书中未作说明

万向节技术发展编年表

- 1352~1354 年 在 Strasbourg 大教堂时钟机构中的万向节传动轴。
- 1550 年 Geronimo Cardano 罗盘的圆环式平衡悬架(万向节雏形)。
- 1663 年 Robert Hook 万向节诞生,1683 年双联式虎克万向节诞生。
- 1824 年 由 Jean Victor Poncelet 利用球面三角和微分学帮助分析虎克万向节的运动和计算十字轴上受力。
- 1841 年 Robert Willis 对双联式虎克万向节作运动学分析,达到完整化、科学化。
- 1894 年 Carl Bach 作出十字轴表面应力计算。
- 1901~1902 年 Arthur Hardt 和 Robert Schwenke 的汽车万向节专利(DRP136605)(双联式虎克万向节用于汽车转向轮)。
- 1904 年 虎克万向节传动轴形成系列化产品。
- 1908 年 William A Whitney 第一个球式万向节诞生。
- 1918 年 匀速传动特殊条件,1930 年凸块式万向节匀速特性的几何证明。
- 1923 年 发现固定式球型万向节的转向中心,与其自身的转动中心(万向节中点)不重合。
- 1926 年 Pierre Fenaille 的“匀速”万向节。
- 1927 年 Alfred H Rzeppa 的六球固定式万向节铰接角 45° ,1934 年带有球的偏置控制。
- 1928 年 Clarence Winfred Spicer 第一个使用滚针轴承于虎克万向节的十字轴的轴颈。Richard Bussien 的“双足”关节。
- 1933 年 带偏置滚道的球式万向节(Bernard K Stuber)。
- 1938 年 Robert Suczek 采用偏置原理的伸缩球万向节。
- 1946 年 Birfield 椭圆滚道的球万向节,1959 年投入大量生产。
- 1960 年 Lōbro 圆形滚道固定式万向节由 Aucktor/Willimek 发明,Michel Orain 的三枢轴式万向节。
- 1961 年 Henri Faure 的带一对相交滚道的四球伸缩万向节。
- 1962 年 Lōbro 的具有相交滚道的 VL 万向节。
- 1965 年 Gaston Devos 的 DO-伸缩式万向节,由带平行滚道和偏置球笼的 Birfield 万向节发展得来的。

目 录

符号表	(1)
万向节技术发展编年表	
第一章 用于传输旋转运动的万向节传动轴	(1)
1.1 第一个有关万向节的早期报告	(1)
1.1.1 虎克(Hook)万向节	(4)
1.2 虎克万向节传输旋转运动的理论	(4)
1.2.1 虎克万向节的不均匀性(根据 Poncelet 分析)	(5)
1.2.2 双联式虎克万向节消除不均匀性	(7)
1.2.3 D' Ocagnes 对匀速条件的拓展	(11)
1.2.4 双联式虎克万向节的简化	(12)
1.2.4.1 Fenaille 凸块式万向节	(12)
1.2.4.2 几种进一步简化方案	(15)
1.2.4.3 三销式万向节(Bouchard's One-and-a-half times Universal Joint)	(16)
1.2.5 向可伸缩式万向节发展	(18)
1.3 材料强度科学首次应用于传动轴设计	(21)
1.3.1 按弯曲强度设计十字轴	(22)
1.3.2 按表面应力设计十字轴	(23)
1.3.3 按耐久性设计传动轴	(28)
本章参考文献	(30)
第二章 等速万向节理论	(32)
2.1 等速万向节的起源	(32)
2.2 球叉式(Weiss)和球笼式(Rzeppa)万向节	(37)
2.3 Metzner, 第一种(间接)方法证明匀速性	(42)
2.3.1 直线轨道的有效几何形状	(46)
2.3.2 圆弧轨道的有效几何形状	(49)

2.4 Orain, 第二种(直接)方法证明匀速性	(51)
2.4.1 多枢轴万向节(polypode joints)	(55)
2.4.2 自由三枢轴(Tripode)万向节	(60)
本章参考文献	(64)
第三章 Hertzian 理论及其应用范围	(65)
3.1 坐标系统	(66)
3.2 物体的表面方程	(67)
3.3 计算系数 $\cos \tau$	(70)
3.4 计算接触面的变形 δ	(73)
3.5 椭圆单独积分($J_1 - J_4$)的解	(78)
3.6 椭圆积分 K 和 E 的计算	(82)
3.7 点接触椭圆面半轴的计算	(83)
3.8 椭圆系数 μ 和 ν	(86)
3.9 线接触面矩形宽度的计算	(90)
3.10 接触面的表面应力和变形	(92)
3.10.1 点接触	(92)
3.10.2 线接触	(93)
本章参考文献	(94)
第四章 万向节和传动轴设计	(95)
4.1 设计原理	(95)
4.1.1 Franz Karas 于 1941 年对理论和实际所作的比较	(96)
4.1.2 静应力	(97)
4.1.3 动应力和耐久性	(98)
4.1.4 万向节通用转矩方程	(101)
4.2 虎克万向节和与之联接的传动轴	(103)
4.2.1 静态额定转矩 M_0	(104)
4.2.2 动态额定转矩 M_d	(107)
4.2.3 平均等效压力 p_m	(109)
4.2.4 平均等效压力 p_m 近似计算	(112)
4.2.5 动力传递参数 CR	(115)
4.2.5.1 虎克万向节传动轴计算实例	(117)
4.2.6 汽车传动轴	(119)