

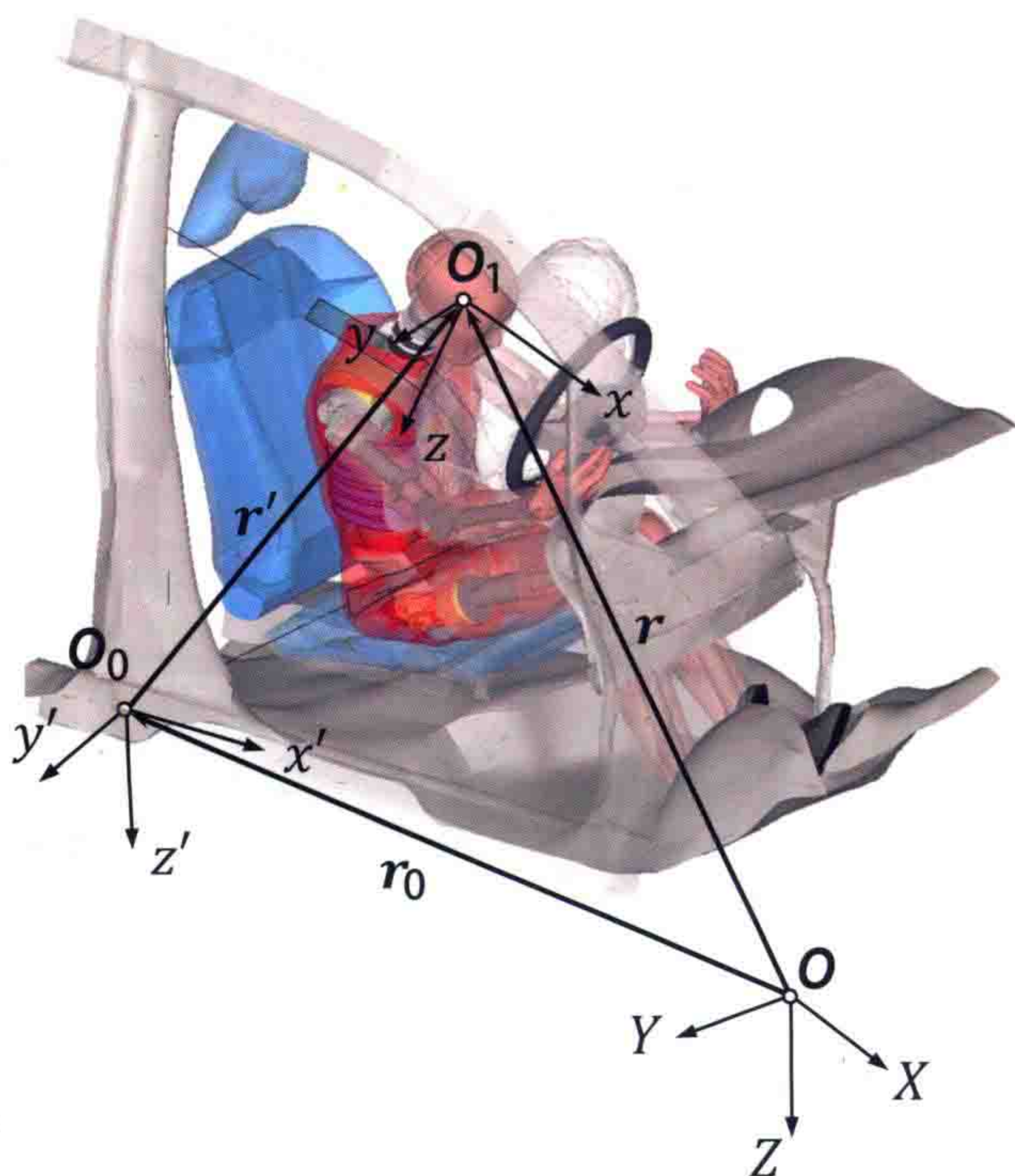
厦门理工学院学术出版基金资助

汽车碰撞安全

Crash Safety of Passenger Vehicles

水野幸治 [著]

韩 勇 陈一唯 [译]



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

汽车碰撞安全

(日) 水野幸治 著

韩 勇 译
陈一唯



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书由名古屋大学水野幸治教授所著,依据作者多年来在各类高等院校、汽车技术会、汽车制造厂以及零件制造厂讲座的经验总结,结合碰撞生物力学、生物医学、材料力学、汽车工程学、运动学等多个学科领域,以力学为中心对汽车碰撞安全进行了细致、详尽的介绍。

本书用于指导以大学生和研究生为主的学习汽车碰撞安全的研究者和设计者。

图书在版编目(CIP)数据

汽车碰撞安全/(日)水野幸治著;韩勇,陈一唯译.--北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.12
ISBN 978-7-114-13189-9

I. ①汽… II. ①水… ②韩… ③陈… III. ①汽车试验—碰撞试验 IV. ①U467.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 158726 号

著作权合同登记号 图字:01-2016-9539

Crash Safety of Passenger Vehicles

书 名:汽车碰撞安全

著译者:(日)水野幸治 著,韩 勇、陈一唯 译

责任编辑:姚 旭

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:22

字 数:390千

版 次:2016年12月 第1版

印 次:2016年12月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13189-9

印 数:0001-3200册

定 价:68.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

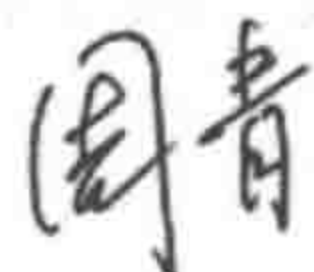
推荐序

水野幸治教授是汽车碰撞安全领域里的国际知名学者、日本汽车工程学会的资加会士和美国政府安全工程优秀奖的获得者。我与水野幸治教授是同行，每次我参加汽车碰撞安全和人体碰撞损伤防护方面的国际学术会议，往往能一如预期见到水野教授。近年来，随着中国汽车行业的发展壮大，我也常有机会在国内的汽车安全学术会议上见到水野教授。水野教授还经常访问中国的大学进行学术交流，并给学生开设课程和讲座。

《汽车碰撞安全》是水野幸治教授根据其在名古屋大学多年的教学经历和研究成果编著的一部教材。全书共有 12 章，涵盖了汽车碰撞安全和人体碰撞损伤防护的各个方面。该书体系完整，以碰撞生物力学开篇，介绍人体碰撞损伤机理，进而引入依据人体碰撞生物力学研究结果设计的碰撞假人及汽车碰撞安全性评价方法。该书以较大篇幅完整地介绍了在正面和侧面碰撞下汽车车身和乘员人体动态响应的基本原理、车身结构吸能特性以及乘员约束装置等知识。除此之外，本书还介绍了行人碰撞保护、儿童乘员保护、颈部挥鞭伤机理、评价和防护以及汽车碰撞事故再现等内容。

除了完整的内容体系以外，我认为水野教授的《汽车碰撞安全》还有另外两个显著的特点。一是对应不同的汽车碰撞工况，对人体各部位的解剖结构和损伤机理的描述都面向汽车碰撞安全设计方面的工程师和研究人员，恰到好处，具有很强的针对性。二是对车身碰撞响应以及人体不同部位的冲击与损伤响应，除进行概念介绍和力学分析以外，大多还给出了简化力学模型及力学控制方程，尽管有些方程并不能获得理论解，但这些力学分析和控制方程能帮助读者更深入地理解碰撞条件下复杂的车身结构变化情况和人体碰撞响应的机理。此外，有不少章节的内容结合了水野幸治教授及其团队针对汽车碰撞事故中人体损伤和防护等方面的研究成果，可以说，本书的讲解非常全面、详尽。

我也感谢《汽车碰撞安全》一书的译者，花费了很大的精力将全书翻译成中文。我相信水野幸治教授编著的《汽车碰撞安全》，不仅可以成为高校车辆工程专业里汽车碰撞安全课程的教材和相关科研的参考书，也对中国汽车企业中从事汽车碰撞安全设计的工程师具有很高的参考价值。此外，对其他涉及汽车行业和产品的人员的工作，包括企业管理、政策制定、汽车保险产品的风险和费用评估、汽车乘员和其他道路使用者的碰撞安全意识的提升等，也都会具有很强的指导意义。



2016 年 10 月 1 日于北京

译者序

水野幸治教授是我在名古屋大学联合培养博士期间的导师，2011年我回国之后一直和他保持良好的科研合作关系。在2013年我邀请水野教授来校进行学术交流时，我认真地阅读了他的专著《自動車の衝突安全》（原著的日文书名），认为该书对国内在汽车碰撞安全领域的学生、相关企业的工程师和研究人员都有很高的参考价值，便与水野教授商议在国内出版该书的译著作为教材使用，水野教授欣然同意并着手准备相关文稿。

怎么也没有想到，本书历时近4年才得以出版，原因在于水野教授在原著的基础上进行了大量文献研究和细致的改写，删除了有限元模型章节，将乘员保护章节拆分为两个章节，增加了挥鞭伤章节，同时加入了近3年本领域最新的研究成果。为了能够让书中内容通俗易懂，水野教授在译稿、校稿、甚至是出版前还在对文中的内容进行修改。实属难能可贵，也是工匠精神的体现。

全书共分12章节，涵盖了人体损伤生物力学及汽车碰撞和人体碰撞损伤防护各个方面的知识。本书最大的特点是著者从力学体系解释汽车碰撞安全现象，建立汽车碰撞涉及的基本力学方程，再从试验法的角度帮助读者理解汽车安全性设计的方法，为读者提供综合和全面的汽车碰撞安全知识。另一个显著的特点是全书以汽车碰撞中“人”的安全作为本书的理论逻辑顺序，从人员保护的角度对汽车安全性设计提供理论模型和实证方法。

本书得到了水野教授的中国留学生陈一唯，厦门理工学院日语系高年生王胤、沈美晴（现就读日本筑波大学）、王颖祺（现就读日本筑波大学）在部分章节初译及日语语法上的帮助。厦门理工学院王方博士、彭倩博士、广东省医学生物力学重点实验室（南方医科大学）钱蕾博士研究生为本书进行了部分校对工作。本书同时要感谢以下项目的资助：国家自然科学基金面上基金（51675454）、国家自然科学基金青年基金项目（31300784）、国家外专局高端团队项目（GDT20143600027）、福建省自然科学基金面上项目（2016J01748）、福建省外专局高端团队项目（闽人外专〔2014〕42号）、福建省外专局“外专百人计划”（闽人外专〔2016〕59号）、厦门市科技计划项目（3502Z20153023）、“福建省高校杰出青年科研人才培育计划”（闽教科〔2015〕54号）、厦门理工学院学术出版基金和教材出版基金。除此之外，本书还得到了北京全华科友文化发展有限公司和人民交通出版社股份有限公司的大力支持。在此表示衷心感谢！

为充分尊重原著，本书沿用了部分原著中的术语，部分图表也尊重了原著的绘制及排版方式。由于译者水平有限，本书有不足之处，恳请广大读者批评指正。

韩 勇

2016年10月9日于厦门

著者序

在以减少交通事故受害者数量为目标的政策实施、法规的制定及汽车的设计中，如何确保汽车发生碰撞时乘员的安全，这类“碰撞安全技术”的知识是不可或缺的。为了保护人体在汽车碰撞过程中的安全，必须对碰撞时汽车如何变形产生加速度、人体在受到加速度和撞击时如何响应、碰撞是否会导致乘员受伤等知识有深入的理解。因此，除了应用一般的力学知识外，汽车工程学、生物力学及医学知识都是不可缺少的。由于汽车的安全性评价是根据有关法规进行试验的，所以应对安全法规体系有一定的理解。另一方面，在关于事故分析、试验、计算机模拟等领域的研究中，也需要掌握碰撞安全的研究方法。因此，汽车碰撞安全是一个包含多学科的综合知识领域，需要学习很多知识。然而，由于汽车本身是一种全球化的商品，与汽车安全相关的研究和法规具有国际化的特点，因此，重要的文献大多为英语，加之没有合适的教材，所以在短时间内掌握该领域的知识并不是一件容易的事。

本书结合笔者在任职的名古屋大学以及在中国的湖南大学、厦门理工学院、汽车技术会、汽车制造厂以及零件制造厂的多次讲座经验，以力学为中心，对汽车碰撞安全进行了细致、详尽的总结。由于汽车碰撞安全与汽车的设计、开发相关，因此笔者对与汽车碰撞安全专业相关的内容进行了深入思考，认为将碰撞安全作为汽车工程学或机械工学的一个领域，从力学体系对碰撞安全进行理解比从技术方面理解更为合适。特别是针对大学生和研究生，相比从技术和试验法开始学习，从碰撞现象本身的力学特性来理解碰撞安全性更为有效。

我第一次访问中国是参加2000年在天津举办的汽车技术研讨会。从那之后，我出席了很多中国的汽车学术会议，也访问了许多大学和企业，对汽车安全性相关内容进行了有益的讨论。另外，我还与活跃在海外的中国研究者进行研究工作。汽车安全的不断提升需要相关研究者、设计者的不懈努力。如果本书能为学习汽车安全的中国学生、研究者和设计者提供帮助，对中国交通事故中受害者的防护起到一定作用，本人将不胜欣喜。

水野幸治

2016年5月

目 录

第 1 章 碰撞生物力学·····	1
1.1 损伤控制·····	1
1.2 碰撞生物力学·····	1
1.3 碰撞生物力学模型·····	1
1.3.1 志愿者·····	2
1.3.2 尸体·····	2
1.3.3 动物·····	2
1.3.4 碰撞假人·····	3
1.3.5 计算机模型·····	3
1.4 负载引起的损伤发生过程·····	4
1.5 损伤分级·····	5
1.6 损伤风险函数·····	6
1.7 解剖学用语·····	7
1.8 骨与韧带的特性·····	8
1.9 头部·····	9
1.9.1 解剖学·····	9
1.9.2 头部损伤·····	11
1.9.3 头部损伤机理·····	14
1.9.4 头部的损伤基准·····	15
1.10 颈部·····	20
1.10.1 解剖学·····	20
1.10.2 颈部损伤机理·····	22
1.10.3 冲击响应和损伤基准·····	24
1.11 胸部·····	27
1.11.1 解剖学·····	27
1.11.2 胸部损伤·····	28
1.11.3 冲击响应和损伤标准·····	30
1.12 骨盆和下肢·····	35
1.12.1 解剖学·····	35
1.12.2 下肢损伤·····	38
1.12.3 损伤准则·····	41
本章参考文献·····	44

第 2 章	碰撞假人	47
2.1	假人的规格	47
2.1.1	简易性	47
2.1.2	假人尺寸	48
2.1.3	生物逼真度	49
2.1.4	可重复性	49
2.1.5	再现性	50
2.2	假人坐标系	51
2.3	滤波器	53
2.4	碰撞假人	55
2.4.1	正面碰撞假人	55
2.4.2	侧面碰撞假人	60
	本章参考文献	66
第 3 章	汽车部件冲击能量的吸收特性	67
3.1	平板的压屈	67
3.2	有效宽度	69
3.3	轴向冲击压屈	70
3.4	弯曲变形	74
3.4.1	塑性铰	74
3.4.2	弹性压屈	76
3.4.3	前纵梁的弯曲模型	77
3.5	轴向力与弯矩的组合	77
	本章参考文献	82
第 4 章	正面碰撞	83
4.1	车辆运动学	84
4.1.1	车辆加速度	84
4.1.2	GS 曲线图	87
4.1.3	ES 曲线图	87
4.2	碰撞特性	89
4.2.1	车身刚度	89
4.2.2	结构的变形和车辆减速度	91
4.2.3	壁障载荷	98

4.3	正面碰撞试验	98
4.3.1	100% 重叠率刚性壁障正面碰撞试验	98
4.3.2	正面偏置碰撞试验	100
4.3.3	小重叠率正面偏置碰撞试验	104
4.3.4	斜向 MDB 正面碰撞试验	105
	本章参考文献	106
第 5 章 乘员运动		109
5.1	约束系统与乘员运动	109
5.2	车辆与乘员的运动	110
5.3	车体缓冲 (ride-down)	118
5.4	车辆减速度波形与乘员减速度	123
5.5	乘员载荷准则 (OLC: Occupant Load Criterion)	125
5.6	台车试验	127
5.7	基于卷积积分的乘员响应预测	131
5.7.1	卷积积分	131
5.7.2	弹簧 - 质量系的卷积积分	133
5.7.3	有限脉冲响应	135
5.8	车辆减速度波形的最优化	139
5.8.1	最速下降法	139
5.8.2	最优化波形	142
	本章参考文献	144
第 6 章 乘员保护 (正面碰撞)		145
6.1	乘员约束装置	145
6.1.1	安全带	145
6.1.2	安全气囊	150
6.1.3	安全带和安全气囊的约束	153
6.2	假人运动特性	154
6.2.1	假人在局部坐标系上的运动	154
6.2.2	车辆的旋转运动	160
6.2.3	从车室观察到的假人运动	163
6.2.4	速度履历和加速度位移特性	164

6.3	假人力学特性	165
6.3.1	假人的运动方程式	165
6.3.2	作用于假人各部位的力	166
6.4	人体有限元模型	171
	本章参考文献	171
第 7 章 侧面碰撞		173
7.1	侧面碰撞试验	173
7.2	车身结构	175
7.3	侧面碰撞模型	176
7.4	乘员保护	182
7.4.1	假人运动	182
7.4.2	降低假人损伤值的方法	184
7.5	安全气囊	187
7.6	弹簧 - 质量模型	189
7.7	台车试验	192
	本章参考文献	192
第 8 章 碰撞兼容性		195
8.1	车对车正面碰撞	195
8.2	影响碰撞兼容性的因素	196
8.2.1	车辆质量	197
8.2.2	结构耦合作用	198
8.2.3	刚度匹配	203
8.2.4	车室强度	204
8.3	碰撞兼容性评估试验	205
8.3.1	美国自主法规	206
8.3.2	100% 重叠率载荷分布测量试验	206
8.3.3	PDB 试验	213
8.3.4	ODB 试验	216
8.3.5	MDB 试验	217
8.3.6	SEAS 试验	219
	本章参考文献	219

第 9 章 行人保护..... 221

9.1 事故状况 221

9.2 行人的运动学响应 223

9.3 损伤机理和碰撞耐限值 226

9.3.1 头部 226

9.3.2 胸部 227

9.3.3 腰部 228

9.3.4 下肢 229

9.4 行人保护试验法..... 236

9.4.1 头部试验 237

9.4.2 大腿冲击试验 239

9.4.3 下肢冲击试验 240

9.4.4 大腿冲击器的保险杠试验 248

9.5 自行车骑车人的保护..... 248

9.5.1 自行车骑车人的运动 248

9.5.2 自行车专用头盔..... 250

本章参考文献 254

第 10 章 儿童乘员保护..... 257

10.1 交通事故中儿童的外伤特征 257

10.1.1 头部 258

10.1.2 颈部 258

10.1.3 胸腹部 259

10.1.4 骨盆 259

10.1.5 四肢 260

10.2 组织的材料特性 260

10.3 冲击响应与损伤标准值 261

10.3.1 比例缩放法 262

10.3.2 冲击响应与损伤指标 265

10.4 碰撞试验假人 269

10.5 儿童安全带 270

10.5.1 CRS 的种类 270

10.5.2 乘员运动学响应 273

10.5.3 侧面碰撞 276

10.5.4 认证试验 279

本章参考文献	282
第 11 章 挥鞭伤	285
11.1 解剖学	285
11.2 挥鞭伤的症状	287
11.3 挥鞭伤的机理及损伤值	288
11.3.1 影响挥鞭伤的因素	288
11.3.2 头颈部的运动	290
11.3.3 挥鞭伤的产生机理	292
11.3.4 损伤值	296
11.4 BioRID	301
11.5 试验法	303
11.5.1 头枕的几何形状	303
11.5.2 动态试验	304
11.6 座椅设计	306
本章参考文献	309
第 12 章 事故再现	313
12.1 一维碰撞	314
12.1.1 固定壁障碰撞	314
12.1.2 车对车碰撞	317
12.1.3 等效壁障速度	323
12.2 二维碰撞	325
12.2.1 动量守恒定律	325
12.2.2 变形能与 ΔV	328
12.3 车身变形能	331
12.3.1 车身变形模型	331
12.3.2 车身变形能的计算方法	334
本章参考文献	339

第 1 章

碰撞生物力学

1.1 损伤控制

很多方法可以减少交通事故中受伤的人数，降低其受伤程度。例如，暴露控制、主动安全、碰撞安全、教育和急救体系的配置等。碰撞安全的目的是防止碰撞时人体受到的损伤或降低其受伤程度。为此，有必要理解人体受到冲击时的响应以及损伤发生的过程，从统计学角度求得人体损伤发生的阈值，并基于此对碰撞中施加给人体的冲击力加以控制，设计出不超过损伤发生阈值的车辆和约束装置。

碰撞安全中针对汽车乘员的保护方法有以下 4 种：

- (1) 通过改变车辆周围的碰撞环境来控制事故条件，如改变护栏的设置方式等。
- (2) 通过车辆结构设计对车辆碰撞特性进行改善。
- (3) 碰撞时对乘员运动进行控制。
- (4) 控制人体与车内的冲击接触。

1.2 碰撞生物力学

人体会由于力学、化学、热以及电的负载等而受到损伤。碰撞生物力学领域特别着眼于力学的冲击载荷对人体损伤影响的研究。

碰撞生物力学又被称为损伤生物力学，属于生物力学研究领域的一个分支。碰撞生物力学以研究冲击时人体的响应和降低损伤风险为目的。它的研究领域包括损伤的定义、受伤机理的分析、人体冲击响应、损伤参数和损伤阈值的定量化、保护系统的开发以及冲击发生时与人体产生同样响应的碰撞假人和计算机模型的开发等。

1.3 碰撞生物力学模型

因为要分析事故发生时人体生物力学的响应、损伤机理以及人体的耐受性，所以需要使用志愿者、尸体、动物、碰撞假人和计算机模型等。以下将对他们的特征进行说明。

1.3.1 志愿者

志愿者实验是在不产生损伤和疼痛的低负荷条件下实施的，可以用来分析无损伤情况下人体的响应。志愿者实验的结果能在分析肌肉紧张对动态响应产生影响方面发挥作用，并且在开发碰撞假人和计算机模型时作为参考。需要注意的是，志愿者多为运动员等参加过训练的年轻人，并不能代表儿童、老年人和女性等弱势群体的特征。志愿者实验在实施之前需要向伦理审查委员会提交实验计划书并得到其认可。伦理审查委员会是根据赫尔辛基宣言（以人为对象的医学研究的伦理原则）的宗旨成立的机构，它会从严格的伦理角度考虑被实验者，例如进行知情同意书的签署等。

1.3.2 尸体

由于人类尸体或是剖检后的尸体在几何学形状上与活体相同，所以经常被用于针对碰撞时人体响应的实验中。例如，被用于针对车辆发生碰撞时乘员的运动特性和与车辆发生碰撞的步行者的运动特性等实验中。但是，由于尸体各器官组织的力学特征取决于尸体的保存技术和死后经过的时间，所以要注意使用死亡时间较短的尸体。尸体实验的结果会作为碰撞假人和计算机模型的开发基准，具有重要的作用。但尸体实验的问题在于尸体不具有肌肉紧张性和生理响应，因此，我们无法得知这两者对实验结果的影响。另外，由于尸体死亡时年龄普遍较高，而人体的耐受性能一般会随着年龄的升高而下降，所以尸体实验的结果并不一定能代表实际情况大多数人体所受的损伤程度。另外，实施尸体实验必须要得到伦理审查委员会的认可，并严格从伦理角度考虑捐献者的事前意愿以及家人的同意等。

1.3.3 动物

动物实验的进行是为了得知在承受足够对人体的脑、脊髓和内脏等重要部位产生损伤程度的荷重时活体的反应（图 1-1）。通过动物实验可以明确尸体与活体响应的不同，对解释尸体实验有帮助。由于动物和人体解剖学形状及大小具有差异，所以要使动物实验的结果适用于人体存在一定困难。而且，在实施动物实验时也需要得到伦理审查委员会的认可，并严格从伦理角度考虑动物的痛苦程度和处死方法等。

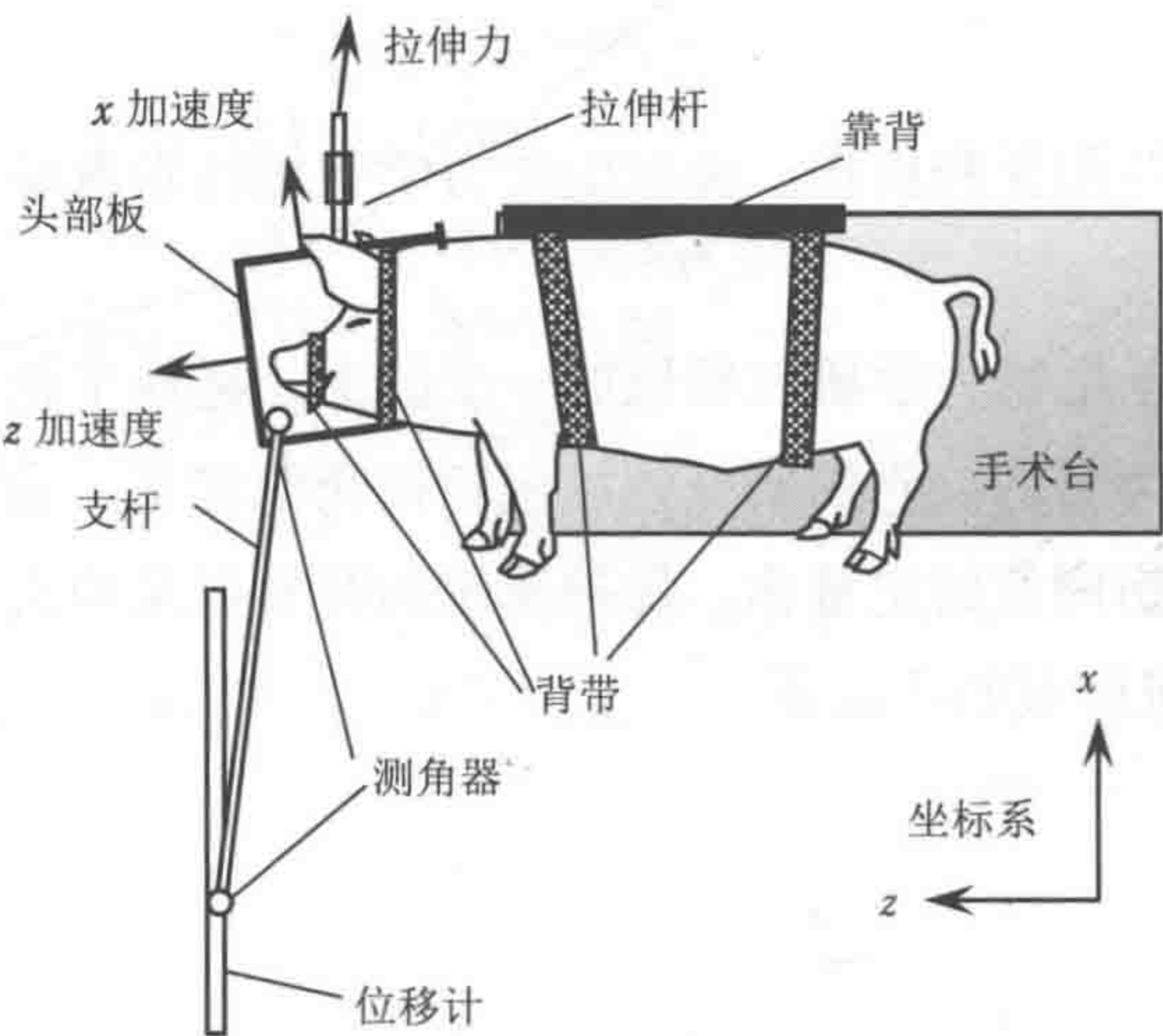


图 1-1 动物实验（为探明挥鞭伤机理，测量当头颈部受到后方负载时颈部脊椎管的压力）

1.3.4 碰撞假人

碰撞假人由金属或塑料制成的骨骼和模拟覆盖在骨骼表面的软组织的塑料或泡沫材料组成。在制作碰撞假人时应注重使其具有生物逼真度，即在形状、尺寸和质量分布方面与人体相同，且碰撞时的运动特性与人体相同。碰撞假人上安装有判断损伤所必需的测量加速度、力和挠度等数据的传感器。由于车辆的认证实验中要用到碰撞假人，因此碰撞假人必须要满足拥有在同一实验中能反馈相同的响应的反复性和再现性这一必要条件。

碰撞假人根据碰撞方向和体型的不同分为很多种类（图 1-2）。正面碰撞时使用正面碰撞假人 (Hybrid III, THOR)，侧面碰撞时使用侧面碰撞假人 (ES-2, WorldSID, SID IIs)。在针对安全气囊和车门的碰撞中，体格越小的乘员受到的损伤越大。因此，在 50% 标准体型的乘员 (AM50) 之外，还应进行以 5% 的女性 (AF05) 和儿童为对象的实验。在美国联邦机动车标准 (FMVSS 208) 的乘员保护（正面碰撞）中，使用到小体格女性假人 (Hybrid III AF05) 和儿童假人，在 FMVSS 214 侧面碰撞保护中使用侧面碰撞假人 SID IIs。



图 1-2 碰撞假人

1.3.5 计算机模型

碰撞生物力学的研究中要用到集中质量模型、多体模型和有限元模型等计算机模型。如图 1-3 所示，碰撞假人、人体被模型化，运用于事故再现、安全的车辆结构和安全装置的设计中。运用计算机模型可以获得实验中无法得到的相关力学参数信息，这些信息有助于理解人体响应和损伤发生的过程。另外作为车辆结构和安全装置的设计辅助工具也非常有效。计算机模型的精度对模型化的假定具有很强的依赖性，因此对模型的验证非常重要。

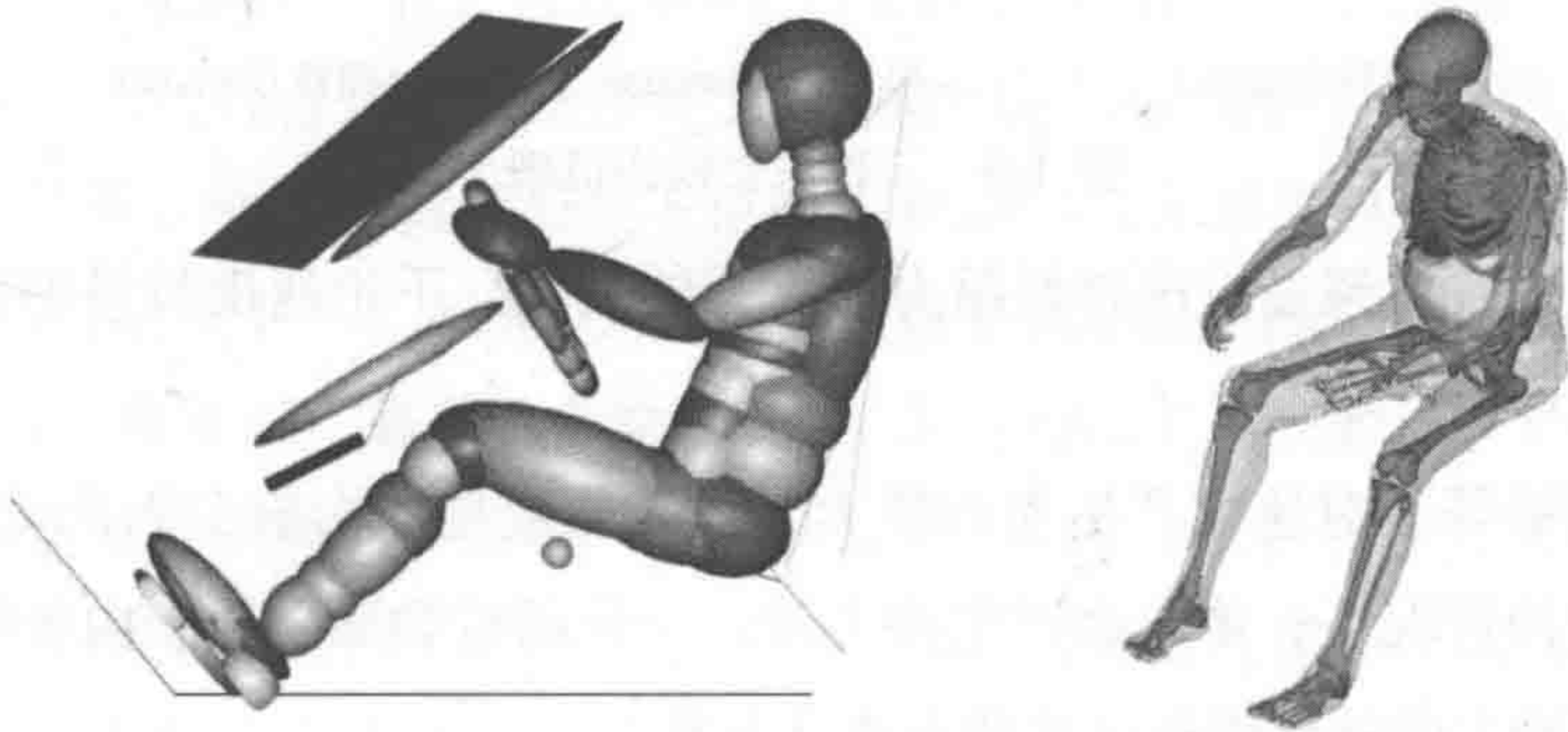


图 1-3 计算机模型（左图为多体模型，右图为有限元模型）

1.4 负载引起的损伤发生过程

事故中，人体在受到力学载荷时会产生相应的生物力学响应。活体的力学响应包括随时间变化的人体各部位位置、形状等力学变化，以及伴随其产生的生理学变化。例如，头部碰撞时脑的运动和变形属于力学变化，而引起的眩晕和头痛就属于生理学变化。图 1-4 所示为过载荷造成损伤的过程模型。

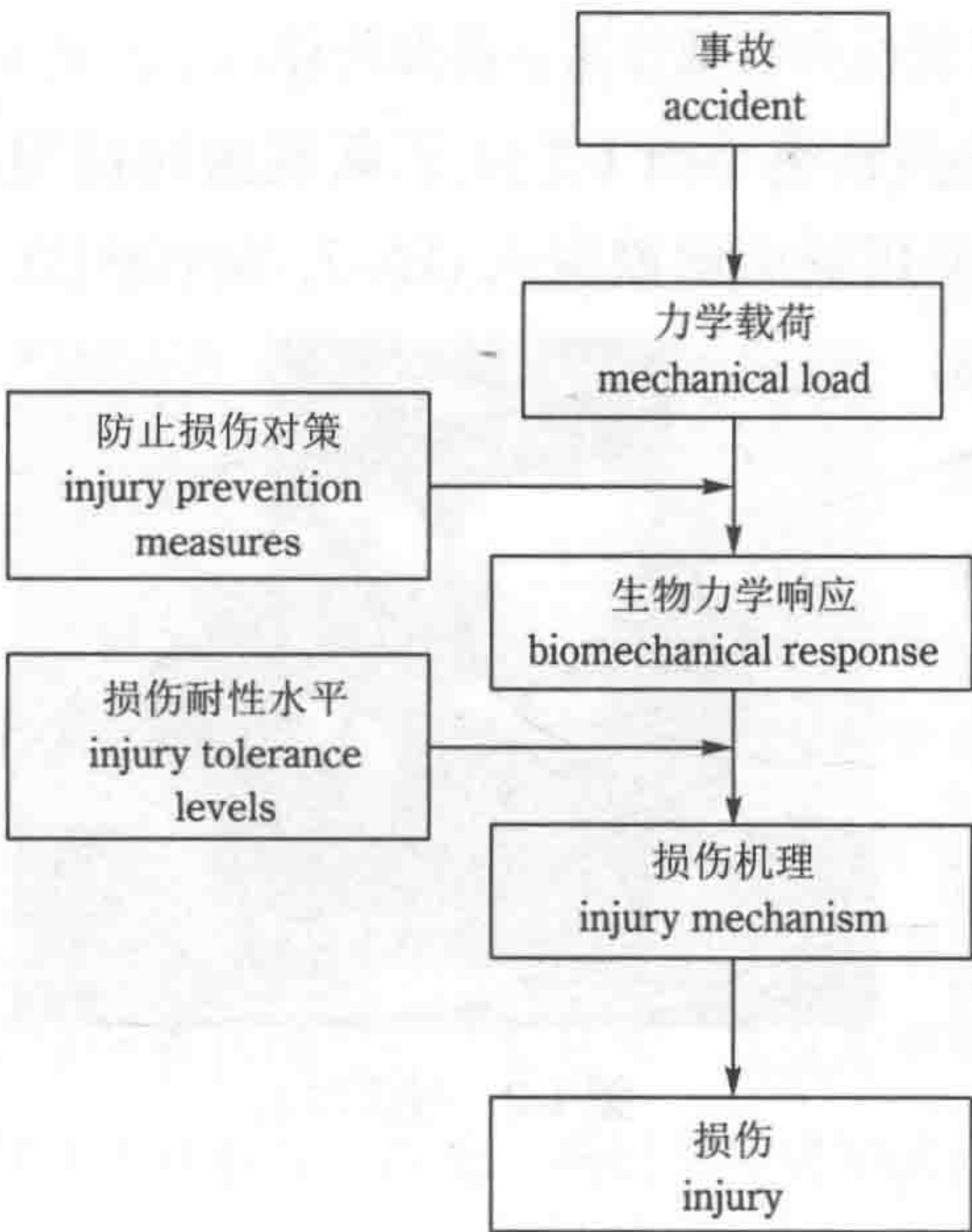


图 1-4 过载荷造成损伤的过程模型

损伤是指人体产生生物力学响应后，活体上发生无法恢复的变形，导致解剖学组织和结构受损，正常机能无法完成。损伤发生的机理被称为损伤机理。理解损伤机理是碰撞生物力学的中心课题之一。

损伤分为穿透伤 (penetrating injury) 和钝性伤 (blunt injury)。穿透伤是指活体被小刀之类的尖锐物体或者弹丸般的高速发射物贯穿所引起的损伤，其特征是造成损伤的力学能量都集中在局部区域。钝性伤是指活体与钝器接触，大面积受到载荷时产生的损伤。损伤机理十分复杂，人体各部分的惯性、弹性以及黏性性质都会对载荷分布与损伤的产生造成影响。以下三点被认为是损伤产生的原因 (图 1-5)：

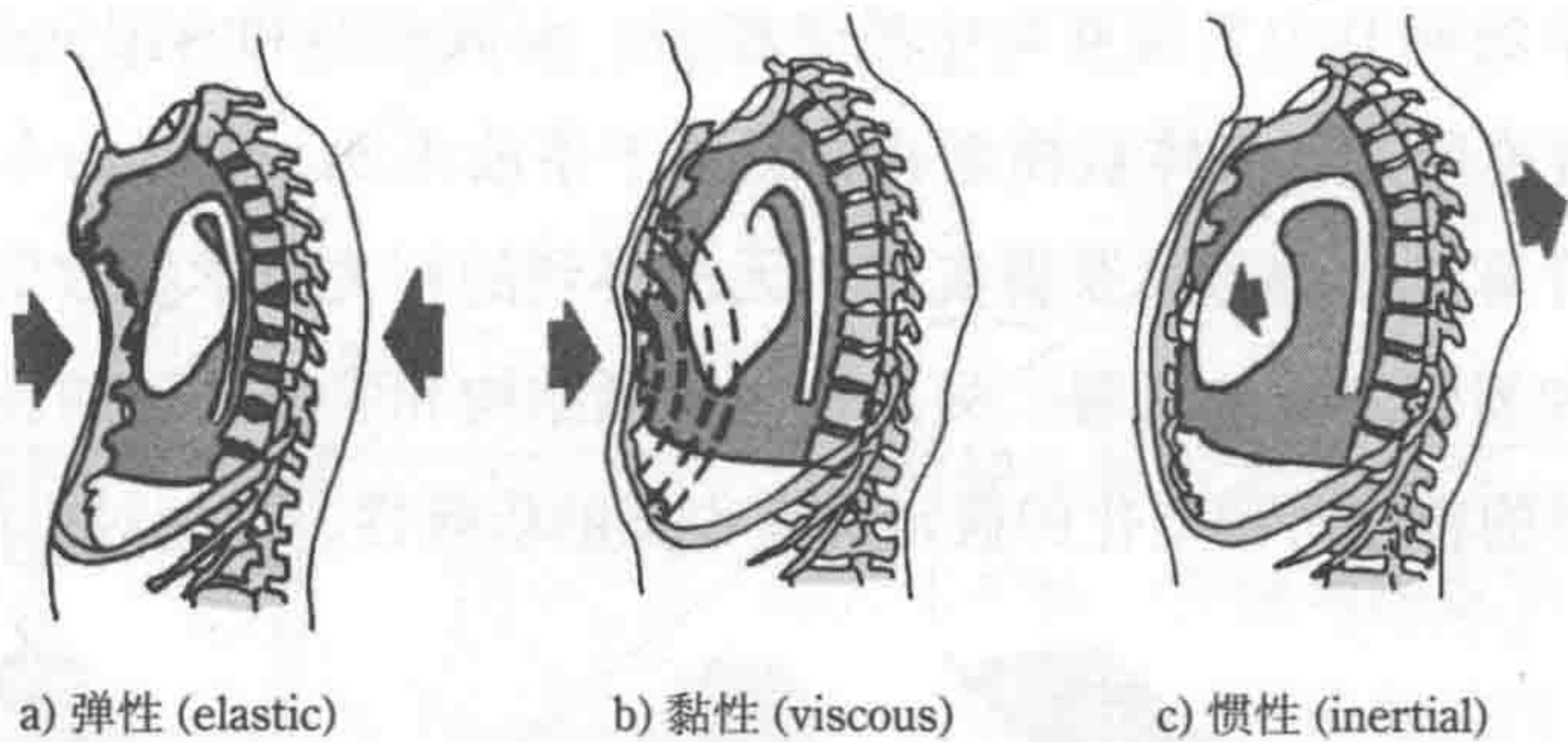


图 1-5 三种主要损伤机理 [2]

- (1) 因压迫导致力超过组织弹性阻力而引发的损伤。不论速度较慢的变形（压溃）或是高速的变形都可能引发。
- (2) 虽然内脏等会对速度产生黏性阻力，但是相应地，内脏会因此受到巨大的压力。在冲击速度较高的情况下，体内会产生冲击波，一旦超过黏滞阻力，内脏等部位就会产生损伤。即使没有较大的外部变形，这种损伤也会发生。
- (3) 因惯性力导致内部组织断裂。

损伤可通过损伤严重程度表示，与其相关的物理量或其函数被称为损伤准则或者损伤值。其中经常会用到一些物理量，它们可以通过使用碰撞假人等活体替代品进行实验来测定，如人体各部位的平移加速度、受力大小、力矩以及挠度等物理参数。当损伤准则超过阈值时，损伤将发生。此阈值被称为损伤耐限或损伤基准值 (Injury Assessment Reference Value, IARV)。由于损伤耐限在个体间存在很大差异，因此判断研究对象的损伤耐限时要用到统计学的分析方法。

通过碰撞假人和计算机模型也可得到生物力学响应并评估出损伤基准。将此损伤基准水平换算成人体的损伤是碰撞生物力学领域的重要课题。此时，碰撞假人和计算机模型是否能产生与人体相同的响应，即二者是否具有生物逼真度是非常关键的问题。生物逼真度是通过比较模型的响应与志愿者实验和尸体实验的结果来判定。

1.5 损伤分级

我们使用损伤分级将损伤的种类和严重程度通过数值的方式表达。损伤分级的分类方法大致分为三组：①解剖学分级；②生理学分级；③机能障碍 / 能力障碍 / 社会性受损分级。解剖学分级注重对损伤的解剖学部位、损伤内容和严重程度等损伤本身的特征进行评估，而不针对损伤结果，因而不涉及机能障碍和后遗症方面的内容。生理学分级用来评估受伤后人体生理学机能的变化。与解剖学分级中一种损伤只配有一个分数不同，生理学分级的特征是其分数会随着治疗期间人体生理学状态的变化而变化，因此常被用于临床实践中。而机能障碍 / 能力障碍 / 社会性受损分级评估的既不是损伤本身的特征，也不是人体受伤后生理学机能的变化，而是从长期预后和生活质量的角度对损伤进行经济价值方面的评估。例如损伤主导指标 (Injury Priority Rating, IPR)、危害概念和损伤成本分级 (Injury Cost Scale, ICS)。

碰撞生物力学中最常用到的是解剖学分级中的简明损伤准则 (Abbreviated Injury Scale, AIS)。为了提供可供人体损伤发生机理研究使用的数据，美国交通事故调查组于 20 世纪 60 年代开始着手该分级的制订工作，并在 1971 年发行了最初的 AIS。之后，汽车医学促进协会 (AAAM) 对其主体进行修订，最新版是 AIS 2005 Update 2008。在 AIS 中，一处损伤只配有单一的 AIS 代号，通过整数部分的 6 位数字和表示损伤程度的小数点后一位，共 7 位数来表示（见表 1-1，表 1-2）。AIS 代码的第一位数字表示损伤的分类，分别为 1：头部；2：面部；3：颈部；4：胸部；5：腹部及骨盆内脏器；6：脊椎；7：上肢；8：下肢；9：其他。第二位数字表示损伤部位的解剖学结构，基本分为 1：全域；2：血管；3：神经；4：内脏；5：骨骼；6：意识丧失。第三到四位数字表示解剖学部位或损伤种类，第五到六位数字对应各部位的损伤程度。小数点后的数值表示所有部位共同的损伤程度，AIS 分数分为 1~6，分别为 1：轻度创伤；2：中度创伤；3：重度创伤；4：严重创伤；5：危重创伤；6：当场死亡。