

王德拥 王丽娟 主编

锻造实用 速查手册

DUANZAO
SHIYONG
SUCHA SHOUCHE



化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

锻造实用速查手册/王德拥, 王丽娟主编. —北京:
化学工业出版社, 2012.1
ISBN 978-7-122-12995-6

I. 锻… II. ①王…②王… III. 锻造-技术手册
IV. TG31-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 258334 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 郑 直
装帧设计: 尹琳琳

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 22 字数 441 千字 2012 年 6 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

前 言

锻造工艺广泛应用于机械、汽车、五金制品等行业，一直以来对锻造的相关设计资料和设计数据的需求很大。本书是为适应新形势下在生产一线（车间和技术科室）工作的工程师、技师和高级锻工及与锻造生产有关的管理人员的需要而编写的。

本书是一本锻造数据速查手册，从实用角度出发介绍了锻造用原材料、锻前加热及锻后处理、自由锻造和模型锻造、高合金钢金属及有色金属的锻造和特种锻造、锻压设备等技术资料，提供了最新的锻造技术标准和技术条件、锻造安全生产技术与操作规程、常用金属材料性能等设计数据与资料，全书主要以图、表的形式展示，内容丰富，简明实用，利于读者快速查阅。本书可供生产一线的工程师、技师和高级锻工及与锻造生产有关的管理人员参考使用。

本书由河北科技大学材料科学与工程学院王德拥教授、王丽娟副教授主编。全书共分十一章，王德拥编写第6~10章，王丽娟编写第2、3、11章。参加编写的还有河北科技大学鲁素玲、高颖（第5章），毛浩恩（第4章），闫华军、代学蕊（第1章）。本书的编写得到了河北科技大学刘宗茂教授及冯捷副教授、中钢集团邢台机械轧辊公司孟焕紫高工、开滦机电制造集团邱云鹏高工、中国人民解放军6411厂杨银习高工、洛阳轴承集团公司顾凤建高工、中国人民解放军6410厂赵领煜高工等的热情帮助，在此表示衷心的感谢。

本书涉及众多的专业知识，受编者水平所限，书中难免有不足之处，敬请读者给予指正。

编者

目 录

引言——继承和发展中国锻工的传统和祖技	1
第1章 常用基础数据及知识	8
1.1 常用资料	8
1.1.1 钢铁硬度对照表	8
1.1.2 几种纯金属的性能和塑性变形温度	9
1.1.3 常用金属材料的线胀系数	10
1.1.4 常用材料和有色金属的密度	10
1.1.5 表面粗糙度（光洁度）对照	11
1.2 常用数学公式	12
1.2.1 常用数学符号表	12
1.2.2 常数	13
1.2.3 常用三角形计算公式表	13
1.2.4 30°、45°、60°特殊三角函数表	14
1.2.5 常用几何图形和几何体的计算公式表	15
1.3 机械制图的基本知识	21
1.3.1 图纸幅面及格式	21
1.3.2 图线型式及应用	22
1.3.3 剖面符号表	22
1.3.4 四种常见视图	23
1.3.5 剖视图	24
1.3.6 断面图	25
1.3.7 剖切面种类	25
1.3.8 局部放大图	26
1.3.9 螺纹的画法	26
第2章 锻造技术标准和技术条件	28
2.1 锤上钢质自由锻件机械加工余量与公差	28
2.1.1 使用范围	28
2.1.2 一般规定	28
2.1.3 名词术语	28
2.1.4 黑皮锻件	29
2.1.5 光轴类锻件	30
2.1.6 台阶轴类锻件	31

2.1.7	台阶和凹挡的锻出条件	32
2.1.8	法兰的最小锻出条件	34
2.1.9	盘、柱类锻件	35
2.1.10	带孔圆盘类锻件	37
2.1.11	圆环类锻件	37
2.1.12	套筒类锻件	37
2.1.13	单拐曲轴类锻件	45
2.2	锤上自由锻件形状的复杂程度分类标准	45
2.3	钢质模锻件公差及机械加工余量	48
2.3.1	适用范围	48
2.3.2	标准内容	49
2.3.3	公差等级	49
2.3.4	确定机械加工余量和公差的主要因素	49
2.3.5	长度、宽度和高度尺寸公差	51
2.3.6	孔径尺寸公差	51
2.3.7	厚度尺寸公差	51
2.3.8	顶料杆压痕公差	51
2.3.9	错差公差	56
2.3.10	横向残留飞边及切入锻件深度公差	56
2.3.11	公差表使用方法	56
2.3.12	壁厚公差	56
2.3.13	直线度和平面度公差	57
2.3.14	中心距公差	57
2.3.15	表面缺陷深度公差	57
2.3.16	内外圆角半径公差	59
2.3.17	模锻斜度公差	59
2.3.18	角度公差	59
2.3.19	纵向毛刺及冲孔变形公差	60
2.3.20	冲孔偏移公差	60
2.3.21	剪切端变形公差	61
2.3.22	局部变形公差	61
2.3.23	机械加工余量	61
2.4	钢质模锻件通用技术条件	63
2.4.1	适用范围	63
2.4.2	模锻斜度	63
2.4.3	圆角半径	63
2.4.4	尺寸公差	64
2.4.5	直线度	64

2.4.6	平面度	65
2.4.7	错差	65
2.4.8	残留飞边及纵向毛刺	65
2.4.9	表面缺陷深度	65
2.4.10	锻件表面清理	65
2.4.11	锻件材质	65
2.4.12	锻件热处理	66
2.4.13	锻件过烧	66
2.4.14	锻件质量检测	66
2.4.15	其他要求	66
2.5	锤上自由锻件通用技术条件	66
2.5.1	适用范围	66
2.5.2	订货条件	66
2.5.3	锻件用钢	67
2.5.4	化学成分	67
2.5.5	锻件的制造	67
2.5.6	锻件的热处理	67
2.5.7	锻件的试验分级	67
2.5.8	锻件外观质量	68
2.5.9	取样位置、取样数量和试样制备	68
2.5.10	标志和质量证明书	69
2.6	高速工具钢锻件技术条件	69
2.6.1	适用范围	69
2.6.2	技术要求	69
2.6.3	检验方法	70
2.6.4	检查规则	72
2.7	高速工具钢	72
2.7.1	适用范围	72
2.7.2	技术要求	72
2.8	初轧坯和钢坯技术条件	74
2.8.1	适用范围	74
2.8.2	技术要求	74
2.8.3	试验方法	75
2.8.4	检验规则、标志及质量证书	76
2.9	锻制用不锈钢坯技术要求	76
2.9.1	适用范围	76
2.9.2	技术要求	76
2.9.3	试验方法	76

2.9.4	检验规则	77
2.10	连铸钢坯技术条件	77
2.10.1	适用范围	77
2.10.2	技术条件	77
2.10.3	试验方法	78
2.10.4	检验原则及其他内容	78
2.11	锻造生产安全与环保通则	79
2.11.1	适用范围	79
2.11.2	锻造生产常见的有害因素	79
2.11.3	噪声和振动及其控制	80
2.11.4	废气及其控制	81
2.11.5	废水及其控制	82
2.11.6	废渣及其他污染控制	82
第3章	常用金属材料	83
3.1	金属材料的分类与牌号	83
3.1.1	黑色金属和有色金属	83
3.1.2	钢和铁	83
3.1.3	钢的分类	83
3.1.4	钢铁产品牌号	90
3.1.5	有色金属的分类	96
3.1.6	有色金属的牌号	96
3.2	金属材料的力学性能	100
3.2.1	金属力学性能名词	100
3.2.2	碳素结构钢	101
3.2.3	优质碳素结构钢	102
3.2.4	合金结构钢	104
3.2.5	碳素工具钢	107
3.2.6	合金工具钢	107
3.2.7	不锈钢棒	109
3.2.8	耐热钢棒	114
3.2.9	弹簧钢	117
3.2.10	低合金高强度结构钢	118
3.2.11	高速工具钢	120
3.3	锻造用原材料	121
3.3.1	轧制材料的品种和规格	121
3.3.2	锻制材料的品种和规格	126
3.3.3	钢锭的品种和规格	128
3.3.4	连铸钢坯的品种和规格	133

第4章 原材料的准备	134
4.1 算料	134
4.1.1 基本原理和基本公式	134
4.1.2 计算物体质量的公式	134
4.1.3 查表计算法	134
4.1.4 下料长度的计算	134
4.2 下料	135
4.2.1 下料方法及特点	135
4.2.2 锯切	135
4.2.3 片砂轮切割	136
4.2.4 剪切	136
4.2.5 剪刀片设计	140
4.2.6 精密剪切	142
4.2.7 气割下料	145
第5章 锻前加热及锻后处理	147
5.1 金属加热的基本理论知识	147
5.1.1 加热的目的	147
5.1.2 金属材料在加热过程中的变化	147
5.1.3 铁-碳合金状态图	148
5.1.4 过热	150
5.1.5 过烧	150
5.1.6 氧化	151
5.1.7 不同方法加热碳钢时的烧损率	151
5.1.8 脱碳	151
5.1.9 铜脆	152
5.1.10 加热裂纹	152
5.2 钢和有色金属的锻造温度	152
5.2.1 名词解释	152
5.2.2 各种钢的锻造温度范围	153
5.2.3 各种有色金属的锻造温度范围	153
5.2.4 加热速度和加热时间	154
5.2.5 保温时间	155
5.3 常用加热设备	156
5.3.1 加热设备的种类	156
5.3.2 常用燃油、煤气锻造加热炉的应用范围	156
5.3.3 毛坯加热炉的型号及性能	157
5.3.4 燃料及其特性	158
5.3.5 油炉	159

5.3.6	煤气炉	159
5.3.7	气(油)型隔焰加热炉	160
5.3.8	排烟装置	160
5.4	电加热	161
5.4.1	电加热的种类	161
5.4.2	常用箱式电阻炉的型号及性能	161
5.4.3	台车式电阻加热炉	162
5.4.4	接触电加热	162
5.4.5	感应加热	163
5.5	加热炉的砌筑	164
5.5.1	筑炉材料	164
5.5.2	砌炉用砖的形状和尺寸	165
5.5.3	拱形炉顶结构尺寸	167
5.5.4	各部砌体的寿命	168
5.6	加热温度的测量	168
5.6.1	目测温度	168
5.6.2	光学高温计	168
5.6.3	光电高温计	168
5.6.4	光电比色高温计	168
5.6.5	红外线测温计	169
5.6.6	热电偶测温计	170
5.6.7	数字显示温度计	170
5.7	锻件的冷却	170
5.7.1	冷却裂纹	170
5.7.2	白点	170
5.7.3	冷却规范	171
5.8	锻件的热处理	171
5.8.1	各种热处理方法的意义和目的	172
5.8.2	常用锻件热处理工艺	172
5.8.3	锻件截面尺寸对淬火后力学性能的影响	173
5.9	锻件的余热处理	173
5.9.1	正火	173
5.9.2	退火	173
5.9.3	淬火	173
5.10	锻件的清理	174
5.10.1	锻件清理工作的基本类型	174
5.10.2	局部表面缺陷清理	174
5.10.3	一般性表面清理	176

第 6 章 自由锻造	180
6.1 基本常识和名词解释	180
6.1.1 自由锻造及分类	180
6.1.2 自由锻造的基本工序	180
6.1.3 锻造比	180
6.1.4 镦粗长径比	182
6.1.5 金属纤维组织 (流线)	182
6.1.6 锻造比和锻造用原材料的关系	183
6.2 手工自由锻造	183
6.2.1 基本生产方式	183
6.2.2 主要生产工具	183
6.2.3 大锤的用法	185
6.3 锤上自由锻造	185
6.3.1 锻锤的锻造能力	185
6.3.2 常用工具	186
6.3.3 镦粗	188
6.3.4 拔长	188
6.3.5 芯轴拔长的工艺原则	192
6.3.6 冲孔的工艺规则	192
6.3.7 扩孔的工艺原则	192
6.3.8 滚圆的工艺原则	194
6.3.9 错移工序的要点	194
6.3.10 错移锻造的生产实例	194
6.3.11 制订锻造工艺过程的步骤	195
6.4 常用工具的自由锻造	196
6.4.1 锻工专用工具及其锻造成形	196
6.4.2 几种其他工具及其锻造成形	204
6.5 液压机上自由锻造	211
6.5.1 水压机的锻造能力	211
6.5.2 液压机能力及配套设备	212
6.5.3 自由锻造液压机所需基本工具的规格和数量	213
6.5.4 常用工具用途	215
6.5.5 算料基本原则和钢锭利用率	216
6.5.6 镦粗	217
6.5.7 拔长	217
6.5.8 中心压实法拔长 (JTS 法)	218
6.5.9 宽砧拔长 (FM 法)	218
6.5.10 错移	219

6.5.11 扩孔	219
6.5.12 切割	220
第7章 模型锻造	222
7.1 模型锻造的种类	222
7.2 胎模锻造	222
7.2.1 锻件分类	222
7.2.2 空气锤的胎模锻造能力	222
7.2.3 锻件的机械加工余量和公差	223
7.2.4 模锻斜度	223
7.2.5 圆角半径	224
7.2.6 冲孔连皮	224
7.2.7 摔模成形	224
7.2.8 垫模、套模成形	226
7.2.9 合模成形	229
7.2.10 扣模成形	233
7.2.11 漏模（冲切模）	234
7.2.12 反印法制造胎模	235
7.2.13 胎模的使用和维护	236
7.3 型砧锻造	237
7.3.1 生产特点	237
7.3.2 型砧结构举例	237
7.3.3 导向措施	238
7.3.4 型槽设计	238
7.4 锤上模锻	238
7.4.1 模锻件分类	239
7.4.2 锻造基本工步（模膛）分类	239
7.4.3 分模面的选择	241
7.4.4 钢质模锻件的公差及机械加工余量	242
7.4.5 模锻斜度及圆角半径	242
7.4.6 冲孔连皮	242
7.4.7 终锻模膛	242
7.4.8 预锻模膛	244
7.4.9 拔长模膛	245
7.4.10 滚挤模膛	247
7.4.11 弯曲模膛	248
7.4.12 镦粗台	248
7.4.13 压扁台	249
7.4.14 切断模膛	250

7.4.15	模膛的布置	251
7.4.16	模膛壁厚	251
7.4.17	模块尺寸的确定	251
7.4.18	切边冲孔模	252
7.4.19	使用锻模的技术要求	254
7.4.20	模锻锤和切边压力机的选定	255
7.5	曲柄压力机上模锻	255
7.5.1	模锻工艺特点	255
7.5.2	模膛设计	256
7.5.3	模锻曲柄压力机和切边压力机的选定	256
7.6	摩擦压力机上模锻	257
7.6.1	模锻工艺特点	257
7.6.2	模膛设计	257
7.6.3	摩擦压力机和配套锻锤的选定	259
7.7	热作模具材料和热处理	259
7.7.1	常用胎模材料	259
7.7.2	锤锻模用钢及其硬度	260
7.7.3	热模锻压力机锻模用钢及其硬度	260
7.7.4	螺旋压力机锻模用钢及其硬度	261
7.7.5	平锻模用钢及其硬度	261
7.7.6	高速锤锻模用钢及其硬度	262
7.7.7	切边模用钢及其硬度	262
第8章	高合金钢金属及有色金属的锻造	263
8.1	高速工具钢	263
8.1.1	基本组织、性能及用途	263
8.1.2	碳化物对高速钢性能的影响	263
8.1.3	碳化物均匀度	264
8.1.4	高速钢的锻造	264
8.1.5	加热和冷却	266
8.1.6	锻造注意事项	266
8.1.7	锻锤吨位的确定	266
8.1.8	常见锻造裂纹的产生原因和预防措施	267
8.2	Cr12 型工具钢	270
8.2.1	基本组织、性能及用途	270
8.2.2	碳化物均匀度	270
8.2.3	加热、冷却及锻造	271
8.3	1Cr18Ni9Ti 型不锈钢	271
8.3.1	基本组织、性能及用途	271

8.3.2	加热、冷却及锻造	271
8.4	3Cr13 型不锈钢	272
8.4.1	基本组织、性能及用途	272
8.4.2	加热、冷却及锻造	272
8.5	1Cr17 型不锈钢	272
8.5.1	基本组织、性能及用途	272
8.5.2	加热、冷却及锻造	273
8.6	铝及铝合金	273
8.6.1	基本分类及特点	273
8.6.2	锻造注意事项	274
8.6.3	锻造特点	274
8.6.4	常用铝合金锻造温度范围	275
8.7	铜及铜合金	275
8.7.1	基本分类及特点	275
8.7.2	锻造注意事项	276
8.7.3	锻造温度范围	276
8.8	镍及镍合金	277
8.8.1	基本分类	277
8.8.2	锻造注意事项	277
8.8.3	锻造温度范围	278
8.9	钛及钛合金	278
8.9.1	基本分类、性能及用途	278
8.9.2	锻造注意事项	278
8.9.3	锻造温度范围	278
8.10	其他有色金属	279
第9章	锻压设备	280
9.1	空气锤	280
9.1.1	主要技术参数	280
9.1.2	操作注意事项	280
9.1.3	常见故障及产生原因	281
9.2	自由锻锤	282
9.2.1	蒸汽两用自由锻锤	282
9.2.2	电液自由锻锤	283
9.3	自由锻造水压机	284
9.3.1	主要技术参数	284
9.3.2	常见故障及产生原因	286
9.4	常用模锻设备的工艺适应性	286
9.5	模锻锤	287

9.5.1	蒸汽-空气模锻锤	287
9.5.2	电液模锻锤	288
9.6	螺旋压力机	290
9.6.1	双盘摩擦螺旋压力机	290
9.6.2	离合器式螺旋压力机	291
9.6.3	液压螺旋压力机	292
9.6.4	电动螺旋压力机	293
9.7	热模锻曲柄压力机	293
9.7.1	主要技术参数	293
9.7.2	生产能力	294
9.7.3	常见故障及产生原因	294
9.8	切边曲柄压力机	295
9.8.1	主要技术参数	295
9.8.2	转键离合器的常见故障及产生原因	296
9.8.3	其他常见故障及产生原因	296
第10章	特种锻造	297
10.1	精密模锻	297
10.1.1	优点	297
10.1.2	工艺过程	297
10.1.3	主要技术措施	297
10.2	挤压	298
10.2.1	挤压的分类	298
10.2.2	挤压工艺优点	299
10.2.3	挤压模具	299
10.2.4	毛坯软化、表面处理及润滑	299
10.3	辊锻	302
10.3.1	辊锻的原理及特点	302
10.3.2	辊锻的分类与应用	303
10.3.3	辊锻机的类型及主要参数	304
10.3.4	辊锻机的选用	305
10.3.5	制坯辊锻工艺	306
10.3.6	成形辊锻	307
10.4	圆环扩孔	307
10.4.1	圆环扩孔的原理及特点	307
10.4.2	扩孔机类型及主要技术参数	307
10.4.3	扩孔工艺	309
10.5	径向锻造	310
10.5.1	径向锻造原理及优点	310

10.5.2 设备的工作原理及技术参数	310
10.6 楔横轧	311
10.6.1 楔横轧原理及特点	311
10.6.2 楔横轧分类及主要技术参数	311
10.7 摆动辗压	313
10.7.1 摆动辗压原理及特点	313
10.7.2 摆动辗压机主要技术参数	314
10.8 电热锻	315
10.8.1 电热锻的原理及特点	315
10.8.2 电热锻机主要技术参数	315
10.9 液态模锻	316
10.9.1 液态模锻的工艺流程及特点	316
10.9.2 液态模锻工艺方法分类及特点	316
10.9.3 液压模锻设备分类及特点	317
10.9.4 液态模锻生产操作规程及安全规程	318
第 11 章 锻造安全生产技术与操作规程	320
11.1 锻造生产安全与环保通则	320
11.1.1 锻造生产常见的危险因素	320
11.1.2 对锻造车间厂房建筑的要求	320
11.1.3 对锻造车间作业环境的要求	322
11.1.4 对锻造生产设备的要求	323
11.1.5 对锻造操作者的安全要求	325
11.2 锻造设备使用安全技术	326
11.2.1 自由锻锤使用安全技术	326
11.2.2 水压机使用安全技术	327
11.2.3 蒸汽-空气模锻锤使用安全技术	327
11.2.4 热模锻压力机使用安全技术	328
11.2.5 平锻机使用安全技术	328
11.2.6 螺旋压力机使用安全技术	328
11.2.7 锻造操作机使用安全技术	329
11.2.8 专用锻造设备使用安全技术	329
11.3 加热炉使用安全技术	329
11.3.1 煤气炉使用安全技术	329
11.3.2 油炉使用安全技术	330
11.3.3 电炉使用安全技术	330
参考文献	331

引言

——继承和发展中国锻工的传统和祖技

40年前，我作为一个锻压专业的大学生，走出校门，踏进工厂，起初在一家很小的人民公社企业中实习，后来被正式分配到一个大公司，参与当时的化学工业部建立部属机械制造厂锻造车间的具体工作。

我的专业起步是艰难的，在工厂里没有任何前期参加工作的同行可以依仗，当时接触最多的就是几十位从山东、河北、东北等地招募到的锻造工人，他们或出身于农村的铁匠世家，或来自德国人、日本人以前在中国开设的工厂，可以称得上是人材济济，藏龙卧虎。

后来我被下放劳动，许多永远值得怀念的老锻工为了让我掌握依靠体力劳动谋生的技能，把他们毕生积累起来的宝贵经验传授给我，为我进行了各种“绝活”的精彩示范操作。他们的感召和我自己付出的血汗使我很快成为了一个名副其实的锻工，能在三吨及以下各种自由锻锤上领班操作，长达三年零八个月之久。

锻造是金属塑性加工（金属压力加工）这一现代学科的母体和基石，更是我国历史悠久的、传统的技艺之一，具有十分丰富的内涵。我愿对其早期的历史进行回顾，希望这些真实、有趣的轶事不会像转瞬即逝的水波那样，湮没在流淌不息的长河里，被人遗忘。

一、锻工的祖师和赵州桥

在自由锻造中只有部分金属表面受到工具（上、下砧）的限制，其余大部分表面都是在自由状态下变化成形的。显然这种成形主要受控于人工操作技巧，古老、原始的锻造是这样，即使在使用了大型锻压设备的现代化工业生产中，自由锻造成形仍是以实践经验和工人的操作技能为基础的。因此，锻造属于“手艺活计”，掌握锻造技能的人就是“工匠”或“手艺人”。

和其他传统技艺一样，锻工技术自古以来就是以师傅带徒弟的方式一代一代传下来的。那么，推本溯源，锻工最早的师傅，即祖师爷是谁呢？

来自山东和河北的铁匠对这个问题有着完全不同的说法，山东的铁匠说祖师爷是老君，河北的铁匠则说是鲁班，他们往往争论不休，甚至让我裁定。当时年轻无知的我哪有能力做什么论断，但他们讲述学徒时要叩拜师傅和祖师，作坊里要有供奉祖师的灶龛等旧习俗，我都十分爱听，并引发过一些相应的思考。

山东铁匠所说的老君是指“太上老君”。据史料记载，这本是宋朝皇帝为我国古代伟大的哲学家和思想家、中国道家学派创始人李耳追加的封号，也就是人们常说的“老子”，他本一介书生，只是因为《西游记》、《封神榜》等神话故事的刻画

才成了执掌炼丹炉的热加工大师，当然不足为信。

鲁班也是历史上的真实人物。他本名公输般，为我国春秋时代的著名工匠，许多现代文艺作品都对他的才能和功绩做过介绍，应当说他是一位伟大的木工或土建专家，早已被木工、瓦工尊为祖师，锻工再来认祖归宗似嫌勉强。直到1998年我亲去赵州桥参观时，才知道河北铁匠的说法确有缘由。

赵州桥的主体由多组石拱砌体构成，为了提高它们相互间的连接强度，用许多横贯桥体宽度的“拉杆”铆接在一起，而这种“拉杆”又是由几块单独的金属制件搭接组成的。当我在陈列室中看到了赵州桥落架翻修时从桥体内取出的原始拉杆组件时，不禁大吃一惊。



图1 拉杆组件示意图

每块拉杆组件是如图1所示的锻件，宽约100mm，厚约70mm，长度近2000mm，估计质量70kg左右。按其最大截面尺寸及总重计算，即使在现代，也应以直径不小于95mm、长1200mm左右的圆钢为原材料，用落下部分质量

大于0.4t的自由锻锤才能生产出来，但它却是在1400多年前制造的，多么不可思议！

这个古老的锻件虽然历经千年风雨沧桑却并无严重的锈蚀，现仍保持着金属本色。那么它的化学成分如何？是哪一类钢铁呢？以我的金属学知识判断，如说它是含有铬、镍等高熔点合金元素的现代不锈钢大概过于夸张，但极可能是以铜、磷为主要合金成分的现代耐候钢（atmospheric corrosion-resistant steel）。

赵州桥的出土文物足以表明，曾有一位大师级的锻造工匠参与了这座世界古代名桥的建造。尽管立在桥头的唐代石碑上清清楚楚地铭刻着“桥为隋代工匠李春所造……”，但至今当地民谣仍然唱道：“大石桥啊鲁班修，张果老骑驴桥上走，韩湘子吹箫站桥头……”。

二、祖技之一——收火与熟火

锻工的很多操作技能需要师傅手把手地教给徒弟，而一些较难掌握的、抽象的、带有概念性的诀窍就成了祖传的技艺，“收火”与“熟火”即为其一。

把两块加热到临近熔化温度的钢铁搭在一起猛烈锤击，开始时会有耀眼的火花，随着锤击过程的进行，火花收敛消失、温度降低，两块金属也完全结合成一体，这就是“收火”，也被称为“锻接”。链环、铁锚和各种刀具从前都是这样锻造的。制造前文所述的赵州桥拉杆也应当是采用此种技艺，因为我国古代的炼钢方法与现代不同，不是先把生铁熔化为液态，而是在固态下用木炭对生铁或富铁矿石进行还原，再加反复锻打，即所谓的“百炼成钢”。显然，以这样的生产方式是不可能一次获得那么重、那么大的钢质材料的，整个锻件势必由许多单个小块“收火”拼接而成。

“熟火”的含义甚广，泛指各种锻造加热和锻工热处理的诀窍及对加热温度的判断技术，“熟”即“熟悉”的意思，也就是俗语说的“打铁要会看火候”，“收火”