

# 齿轮热处理手册

CHILUN RECHULI SHOUCHE

金荣植 编著

齿轮热处理综合性技术手册  
丰富的齿轮热处理实践经验  
先进实用的齿轮热处理技术



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 齿轮热处理手册

金荣植 编著



机械工业出版社

本书是一本齿轮热处理综合性技术手册。其主要内容包括：齿轮材料及其热处理，齿轮热处理常用设备和工艺材料，齿轮的整体热处理技术，齿轮的调质热处理技术，齿轮的化学热处理技术，齿轮的表面淬火技术，先进的齿轮热处理技术，齿轮热处理质量控制与检验，齿轮热处理常见缺陷与对策，齿轮的热处理畸变、裂纹与控制技术，齿轮的失效分析与对策，提高齿轮性能与寿命的途径，典型齿轮热处理及其实例。本书内容全面系统，实用性强；图表丰富，便于读者查阅。

本书可供从事齿轮热处理的工程技术人员和工人阅读使用，对从事齿轮的设计、制造及使用的相关人员，以及相关专业的工科院校师生也有很好的参考价值。

## 图书在版编目（CIP）数据

齿轮热处理手册/金荣植编著. —北京：机械工业出版社，  
2015. 8

ISBN 978 - 7 - 111 - 50759 - 8

I. ①齿… II. ①金… III. ①齿轮 - 热处理 - 技术手册  
IV. ①TG162. 73 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 149926 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华 肖新军

版式设计：霍永明 责任校对：任秀丽 程俊巧

封面设计：马精明 责任印制：康朝琦

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 38.25 印张 · 2 插页 · 1045 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 50759 - 8

定价：129.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

策划编辑：010-88379734

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

# 前 言

齿轮工业是机械工业中技术最密集、资金最密集的产业之一，也是机械基础件中规模最大的行业之一。齿轮产品门类齐全，广泛应用于航空、船舶、兵器装备、汽车摩托、农机、机床、工程机械、轨道交通、建筑、起重运输、冶金、电力能源、石油化工和仪器等 20 多个领域。

齿轮质量的优劣直接影响到各种机械装备使用的可靠性、安全性和经济性。齿轮制造水平的高低，在一些方面直接反映了一个国家制造业水平的高低，而齿轮的热处理是决定齿轮制造水平高低的关键因素之一。高精度、低噪声、长寿命、超大型等一直是齿轮制造业的发展方向。最近国家出台的相关发展规划明确将超大型、长寿命齿轮和传动装置列在其中并作为开发重点，包括：功率 2MW 以上、噪声 95dB (A)、机械效率 97%、寿命 20 年的兆瓦级风力发电齿轮箱，军舰和船用大型齿轮传动装置，高精度、低噪声、长寿命大中型弧齿锥齿轮，汽车自动变速器及关键零部件等。

目前，我国齿轮行业已成为了年销售额以千亿元级为基数的中大型制造行业，居世界第二位。作为世界齿轮制造大国，我国的齿轮工业在最近 20 多年里已取得了很大的发展，在一定程度上，满足了装备制造业的需求。然而，高端齿轮产品在生产技术上与国外先进水平相比还有很大的差距，主要表现在使用寿命低、承载能力差和质量不稳定等方面，而且由于齿轮使用寿命偏低，导致钢材损失巨大，并且热处理耗能较大，成本较高。因此，急需尽快改进和提高。从热处理角度考虑，要提高齿轮的质量和使用寿命、降低生产成本，就是要根据齿轮材料及其结构和技术要求，合理地选用齿轮用钢，正确地制订齿轮热处理工艺，加强质量控制与检验，防止齿轮在热处理过程中出现的缺陷和工作中的损伤。本书针对以上问题，着重介绍了当前的典型齿轮材料及其热处理工艺、齿轮热处理常用设备和工艺材料、先进的齿轮热处理技术、齿轮热处理质量控制与检验技术、齿轮热处理畸变控制技术及提高齿轮性能与寿命的途径等。

本书主要内容包括：齿轮材料及其热处理，齿轮热处理常用设备和工艺材料，齿轮的整体热处理技术，齿轮的调质热处理技术，齿轮的化学热处理技术，齿轮的表面淬火技术，先进的齿轮热处理技术，齿轮热处理质量控制与检验，齿轮热处理常见缺陷与对策，齿轮的热处理畸变、裂纹与控制技术，齿轮的失效分析与对策，提高齿轮性能与寿命的途径，典型齿轮热处理及其实例。本书可供从事齿轮热处理的工程技术人员和工人阅读使用，对从事齿轮的设计、制造及使用的相关人员，以及相关专业的工科院校师生也有很好的参考价值。

本书是作者根据 30 多年从事齿轮热处理工作的实践经验和积累资料，并结合当前国内外实用的齿轮新材料、新工艺、新技术、新装备及新检测方法、新标准等编写而成的。书中内容采用了大量的图、表形式加以叙述，一目了然，便于读者阅读和查找。

在本书编写过程中，参阅并引用了一些有关齿轮热处理方面的专著及文章，在此谨向这些作者表示衷心感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者和专家批评指正。

# 目 录

## 前言

## 第1章 齿轮材料及其热处理 ..... 1

- 1.1 齿轮类别及其性能要求 ..... 1
  - 1.1.1 齿轮的类别 ..... 1
  - 1.1.2 齿轮（材料）的性能要求 ..... 2
- 1.2 齿轮材料及其热处理的选择 ..... 2
  - 1.2.1 齿轮用钢铁材料的选择 ..... 3
  - 1.2.2 常用齿轮钢材及其力学性能 ..... 5
  - 1.2.3 典型齿轮材料及其热处理 ..... 9
  - 1.2.4 铸铁齿轮材料及其热处理 ..... 22
  - 1.2.5 齿轮用铸钢及其热处理 ..... 27
  - 1.2.6 齿轮用非铁金属合金 ..... 30
  - 1.2.7 齿轮用粉末冶金材料及其热处理 ..... 35

## 第2章 齿轮热处理常用设备和工艺

### 材料 ..... 37

- 2.1 齿轮热处理常用设备 ..... 37
  - 2.1.1 齿轮热处理常用生产设备 ..... 38
  - 2.1.2 齿轮热处理检测设备及仪器 ..... 50
- 2.2 齿轮热处理用工艺材料 ..... 53
  - 2.2.1 热处理生产用材料及其分类 ..... 53
  - 2.2.2 金属热处理保护涂料及其分类 ..... 54
  - 2.2.3 齿轮热处理用淬火冷却介质 ..... 54
  - 2.2.4 齿轮淬火冷却用盐浴、碱浴的配方及使用温度 ..... 61

## 第3章 齿轮的整体热处理技术 ..... 63

- 3.1 齿轮的退火与正火技术 ..... 63
  - 3.1.1 齿轮的退火技术 ..... 64
  - 3.1.2 齿轮的正火技术 ..... 69
  - 3.1.3 齿轮毛坯的等温正火技术 ..... 74
  - 3.1.4 齿轮的锻造余热正火工艺 ..... 77
  - 3.1.5 齿轮的退火、正火热处理实例 ..... 77
- 3.2 齿轮的整体淬火、回火技术 ..... 78
  - 3.2.1 齿轮的淬火技术 ..... 79
  - 3.2.2 齿轮的回火工艺 ..... 86
  - 3.2.3 冷处理 ..... 89
  - 3.2.4 齿轮的整体淬火、回火技术应用实例 ..... 90

## 第4章 齿轮的调质热处理技术 ..... 91

- 4.1 常用调质齿轮钢材及其热处理 ..... 91
  - 4.1.1 调质钢的分类 ..... 91
  - 4.1.2 国内外调质钢材 ..... 91
  - 4.1.3 调质齿轮常用钢材与用途 ..... 92
  - 4.1.4 常用调质齿轮钢截面与力学性能 ..... 92
  - 4.1.5 调质齿轮的硬度选配 ..... 94
  - 4.1.6 齿轮钢材调质硬度与硬化层深度的确定 ..... 94
- 4.2 齿轮的调质热处理 ..... 98
  - 4.2.1 调质齿轮钢材的预备热处理 ..... 98
  - 4.2.2 齿轮的调质热处理工艺 ..... 99
- 4.3 球墨铸铁齿轮的调质处理工艺 ..... 104
- 4.4 大齿轮调质工艺设计 ..... 105
- 4.5 大模数齿轮的开齿调质工艺 ..... 108
- 4.6 焊接齿轮的调质处理工艺 ..... 108
- 4.7 齿轮调质热处理的实例 ..... 109

## 第5章 齿轮的化学热处理技术 ..... 112

- 5.1 齿轮的渗碳热处理技术 ..... 112
  - 5.1.1 齿轮渗碳工艺的分类与典型加工流程 ..... 112
  - 5.1.2 齿轮的渗碳热处理技术参数 ..... 113
  - 5.1.3 齿轮的渗碳工艺参数的选择与控制 ..... 116
  - 5.1.4 齿轮的气体渗碳工艺 ..... 117
  - 5.1.5 常用结构钢齿轮的渗碳淬火、回火热处理规范 ..... 131
  - 5.1.6 齿轮渗碳后常用热处理工艺、特点及适用范围 ..... 132
  - 5.1.7 齿轮经渗碳（碳氮共渗）后的热处理 ..... 133
  - 5.1.8 齿轮的固体渗碳技术 ..... 134
  - 5.1.9 齿轮的液体渗碳技术 ..... 138
  - 5.1.10 齿轮的高温渗碳技术 ..... 140
  - 5.1.11 大型齿轮的渗碳热处理技术 ..... 142
  - 5.1.12 大型焊接齿轮渗碳淬火技术 ..... 147
  - 5.1.13 齿轮的防渗技术及防渗涂料

|                                     |     |                                       |     |
|-------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 的清理方法 .....                         | 149 | 7.1.1 激光淬火及其特点和应用 .....               | 233 |
| 5.2 齿轮的碳氮共渗技术 .....                 | 153 | 7.1.2 齿轮激光淬火技术应用实例 .....              | 239 |
| 5.2.1 齿轮的气体碳氮共渗工艺 .....             | 153 | 7.2 齿轮的稀土化学热处理技术 .....                | 239 |
| 5.2.2 典型齿轮的碳氮共渗技术<br>应用实例 .....     | 159 | 7.2.1 生产现场化学热处理用稀土<br>催渗剂的配制 .....    | 240 |
| 5.2.3 碳氮共渗后的热处理方法 .....             | 161 | 7.2.2 稀土渗碳（碳氮共渗）工艺 .....              | 241 |
| 5.3 齿轮的渗氮及氮碳共渗技术 .....              | 162 | 7.2.3 齿轮的稀土渗碳（碳氮共渗）<br>技术应用实例 .....   | 242 |
| 5.3.1 齿轮的渗氮技术 .....                 | 162 | 7.2.4 稀土气体渗氮技术 .....                  | 243 |
| 5.3.2 齿轮的气体氮碳共渗技术 .....             | 176 | 7.2.5 齿轮的 BH 催渗技术 .....               | 245 |
| 5.3.3 齿轮的离子（气体）氮碳共<br>渗技术 .....     | 179 | 7.3 先进的齿轮感应热处理技术 .....                | 246 |
| 5.3.4 齿轮的盐浴氮碳共渗技术 .....             | 180 | 7.3.1 齿轮双频感应淬火技术 .....                | 246 |
| 5.3.5 齿轮的氮碳共渗技术应用<br>实例 .....       | 181 | 7.3.2 齿轮的同时双频感应淬火技术<br>（SDF 法） .....  | 248 |
| <b>第 6 章 齿轮的表面淬火技术</b> .....        | 183 | 7.3.3 单频整体冲击加热淬火技术 .....              | 249 |
| 6.1 表面淬火技术概述 .....                  | 183 | 7.3.4 低淬透性钢齿轮的感应淬火<br>技术 .....        | 250 |
| 6.2 齿轮的火焰淬火技术 .....                 | 184 | 7.3.5 齿轮渗碳后感应淬火、感应渗碳<br>及渗氮技术 .....   | 252 |
| 6.3 齿轮的感应淬火技术 .....                 | 189 | 7.3.6 先进的齿轮感应热处理技术应用<br>实例 .....      | 253 |
| 6.3.1 感应淬火方法的分类 .....               | 189 | 7.3.7 新的模压式感应淬火技术 .....               | 254 |
| 6.3.2 感应加热齿轮常用钢铁材料<br>与用途 .....     | 189 | 7.3.8 国外先进齿轮感应热处理技术与<br>应用 .....      | 256 |
| 6.3.3 感应加热设备的选择 .....               | 190 | 7.4 齿轮的真空热处理技术 .....                  | 257 |
| 6.3.4 齿轮的感应淬火工艺 .....               | 190 | 7.4.1 齿轮的真空淬火技术 .....                 | 257 |
| 6.3.5 齿轮的高频感应淬火技术 .....             | 206 | 7.4.2 齿轮的真空渗碳技术 .....                 | 259 |
| 6.3.6 齿轮的中频感应淬火技术 .....             | 209 | 7.4.3 齿轮真空渗碳技术应用实例 .....              | 263 |
| 6.3.7 齿轮的埋液感应淬火技术 .....             | 214 | 7.4.4 齿轮的离子渗碳技术 .....                 | 264 |
| 6.3.8 齿轮超高频脉冲和大功率脉冲<br>感应淬火工艺 ..... | 217 | 7.4.5 齿轮的真空热处理实例 .....                | 266 |
| 6.3.9 国内外大模数齿轮感应淬火<br>设备与工艺 .....   | 218 | 7.4.6 齿轮的低压真空渗碳与高压气<br>体淬火技术 .....    | 267 |
| 6.3.10 齿轮感应淬火的屏蔽技术 .....            | 218 | 7.4.7 齿轮的离子渗氮技术 .....                 | 269 |
| 6.3.11 齿轮的高、中频感应器及<br>喷水器 .....     | 219 | 7.4.8 齿轮离子渗氮技术应用实例 .....              | 276 |
| 6.3.12 感应淬火机床的基本参数<br>的选取 .....     | 228 | 7.4.9 活性屏离子渗氮技术 .....                 | 277 |
| 6.3.13 主动齿轮尾部螺纹的感应<br>软化处理技术 .....  | 229 | 7.4.10 齿轮的低真空变压快速化学<br>热处理技术 .....    | 279 |
| 6.3.14 齿轮感应淬火技术应用<br>实例 .....       | 230 | 7.5 齿轮的真空及超声波清洗技术 .....               | 280 |
| 6.3.15 齿条的高频感应电阻加热<br>表面淬火技术 .....  | 231 | 7.6 齿轮的先进计算机模拟与智能控制<br>和精密热处理技术 ..... | 281 |
| <b>第 7 章 先进的齿轮热处理技术</b> .....       | 233 | 7.7 齿轮的其他先进热处理技术 .....                | 285 |
| 7.1 齿轮的激光热处理技术 .....                | 233 | 7.7.1 一种全新的 HybridCarb 渗碳<br>方法 ..... | 285 |
|                                     |     | 7.7.2 齿轮的微波热处理技术 .....                | 286 |

## 第8章 齿轮热处理质量控制与

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 检验 .....                                   | 289 |
| 8.1 齿轮热处理质量控制要求 .....                      | 289 |
| 8.2 齿轮的材料热处理质量控制与疲劳<br>强度等级 .....          | 289 |
| 8.2.1 齿轮用钢冶金质量的检验项目<br>及技术要求 .....         | 289 |
| 8.2.2 齿轮材料热处理质量等级的<br>选择 .....             | 290 |
| 8.2.3 齿轮的材料热处理质量控制<br>和疲劳强度 .....          | 290 |
| 8.3 齿轮的一般热处理检验 .....                       | 301 |
| 8.3.1 齿轮脱碳、过热的检验 .....                     | 301 |
| 8.3.2 齿轮锻件的主要检验项目及<br>内容 .....             | 302 |
| 8.4 齿轮退火与正火的质量检验 .....                     | 302 |
| 8.5 齿轮整体淬火与回火的质量检验 .....                   | 303 |
| 8.6 齿轮调质处理的质量检验 .....                      | 304 |
| 8.7 齿轮渗碳热处理的质量检验 .....                     | 307 |
| 8.8 齿轮碳氮共渗的质量检验 .....                      | 312 |
| 8.9 齿轮气体渗氮、离子渗氮及氮碳<br>共渗的质量检验 .....        | 313 |
| 8.10 齿轮感应淬火的质量检验 .....                     | 318 |
| 8.11 齿轮火焰淬火的质量检验 .....                     | 323 |
| 8.12 齿轮热处理畸变与裂纹的检测 .....                   | 324 |
| 8.12.1 齿轮热处理畸变的检测 .....                    | 324 |
| 8.12.2 齿轮热处理裂纹的检测 .....                    | 324 |
| 8.13 齿轮的台架疲劳寿命试验 .....                     | 326 |
| 8.13.1 汽车弧齿锥齿轮技术要求及其<br>疲劳寿命试验要求 .....     | 326 |
| 8.13.2 载货汽车驱动桥总成试验机及<br>其技术参数、特点 .....     | 327 |
| 8.13.3 13t 载货汽车单级减速器驱动<br>桥总成疲劳试验 .....    | 328 |
| 8.13.4 齿轮弯曲疲劳试验 .....                      | 328 |
| 8.13.5 齿轮接触疲劳性能试验的<br>实例 .....             | 328 |
| 8.14 齿轮硬度检验 .....                          | 329 |
| 8.14.1 经不同工艺热处理后的零件表面<br>硬度测试方法及选用原则 ..... | 329 |
| 8.14.2 常用硬度测试方法的适用<br>范围 .....             | 329 |
| 8.14.3 不同硬化层深度和硬度测量方法                      |     |

|            |     |
|------------|-----|
| 选用原则 ..... | 330 |
|------------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 8.14.4 硬度符号与表示及举例说明 ..... | 330 |
|---------------------------|-----|

## 第9章 齿轮热处理常见缺陷与

|          |     |
|----------|-----|
| 对策 ..... | 332 |
|----------|-----|

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 9.1 齿轮热处理加热、冷却与力学性能<br>缺陷与对策 .....        | 332 |
| 9.1.1 齿轮热处理加热缺陷与对策 .....                  | 332 |
| 9.1.2 齿轮热处理冷却缺陷与对策 .....                  | 336 |
| 9.1.3 齿轮热处理力学性能缺陷与<br>对策 .....            | 337 |
| 9.1.4 防止齿轮热处理加热、冷却<br>缺陷的实例 .....         | 339 |
| 9.2 齿轮的整体热处理缺陷与对策 .....                   | 339 |
| 9.2.1 齿轮的退火、正火缺陷与<br>对策 .....             | 339 |
| 9.2.2 齿轮的整体淬火、回火缺<br>陷与对策 .....           | 342 |
| 9.2.3 中碳钢和中碳合金钢齿轮整体<br>淬火、回火硬度缺陷与对策 ..... | 344 |
| 9.2.4 中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火、<br>回火金相组织缺陷与对策 ..... | 346 |
| 9.2.5 中碳钢和中碳合金钢齿轮淬硬<br>层缺陷与对策 .....       | 348 |
| 9.2.6 中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火、<br>回火其他缺陷与对策 .....   | 348 |
| 9.2.7 中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火<br>畸变与对策 .....        | 348 |
| 9.2.8 中碳钢和中碳合金钢齿轮淬火<br>裂纹与对策 .....        | 349 |
| 9.3 齿轮调质处理缺陷与对策 .....                     | 350 |
| 9.3.1 齿轮调质处理常见缺陷与<br>对策 .....             | 350 |
| 9.3.2 防止齿轮调质处理缺陷的<br>实例 .....             | 352 |
| 9.4 齿轮的化学热处理缺陷与对策 .....                   | 353 |
| 9.4.1 齿轮的渗碳（碳氮共渗）热<br>处理缺陷与对策 .....       | 353 |
| 9.4.2 齿轮的渗氮（氮碳共渗）热<br>处理缺陷与对策 .....       | 376 |
| 9.4.3 齿轮的离子渗氮缺陷与对策 .....                  | 385 |
| 9.4.4 齿轮的气体氮碳共渗缺陷与<br>对策 .....            | 388 |
| 9.5 齿轮的感应热处理缺陷与对策 .....                   | 391 |

|                                         |            |                                        |            |
|-----------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|
| 9.5.1 齿轮的感应淬火硬度缺陷与<br>对策 .....          | 391        | 10.5.5 冷、热加工配合 .....                   | 459        |
| 9.5.2 感应淬火齿轮表面硬度过高或<br>过低原因与对策 .....    | 394        | 10.5.6 合理选择装炉及支撑方式 .....               | 463        |
| 9.5.3 齿轮的感应淬火表面硬度不均<br>原因与对策 .....      | 395        | 10.5.7 减小热应力 .....                     | 464        |
| 9.5.4 齿轮的感应淬火显微组织缺陷<br>与对策 .....        | 396        | 10.5.8 合理选择淬火冷却介质及淬火<br>方式 .....       | 468        |
| 9.5.5 齿轮的感应淬火硬化层缺陷与<br>对策 .....         | 396        | 10.5.9 改进热处理工艺与齿轮材料 .....              | 471        |
| 9.5.6 感应淬火齿轮其他热处理缺陷<br>与对策 .....        | 398        | 10.5.10 采用淬火压床淬火 .....                 | 474        |
| 9.5.7 齿轮感应热处理缺陷对策的<br>实例 .....          | 400        | 10.5.11 采用镶嵌补偿法 .....                  | 478        |
| <b>第10章 齿轮的热处理畸变、裂纹与<br/>控制技术 .....</b> | <b>402</b> | 10.5.12 采用先进的热处理工艺与<br>装备 .....        | 479        |
| 10.1 影响齿轮热处理畸变的因素 .....                 | 402        | 10.6 齿轮热处理畸变的校正技术 .....                | 482        |
| 10.2 齿轮的整体热处理畸变控制<br>技术 .....           | 404        | 10.6.1 齿轮热处理畸变的校正方法 .....              | 482        |
| 10.2.1 轴类齿轮的热处理畸变控制<br>技术 .....         | 404        | 10.6.2 轴类齿轮热处理畸变的矫直<br>技术 .....        | 483        |
| 10.2.2 环、套类齿轮的热处理畸变<br>控制技术 .....       | 406        | 10.6.3 环、套类齿轮热处理畸变的校正<br>技术 .....      | 485        |
| 10.3 齿轮的化学热处理畸变与控制<br>技术 .....          | 407        | 10.6.4 齿轮热处理畸变的校正技术应用<br>实例 .....      | 489        |
| 10.3.1 齿轮的渗碳(碳氮共渗)热处理<br>畸变与控制技术 .....  | 407        | 10.6.5 齿轮齿形畸变的校正技术 .....               | 492        |
| 10.3.2 齿轮的渗氮(氮碳共渗)热处理<br>畸变与控制技术 .....  | 433        | 10.7 齿轮的热处理裂纹与对策 .....                 | 494        |
| 10.4 齿轮的感应热处理畸变与控制<br>技术 .....          | 437        | 10.7.1 热处理裂纹的分类、类型与<br>特征 .....        | 494        |
| 10.4.1 减小与控制齿轮感应淬火畸变的<br>措施 .....       | 437        | 10.7.2 淬火裂纹的特点及其与非淬火<br>裂纹的区别 .....    | 496        |
| 10.4.2 齿轮的高频感应淬火畸变与控制<br>技术 .....       | 442        | 10.7.3 形成齿轮淬火裂纹的影响<br>因素 .....         | 497        |
| 10.4.3 齿轮的中频感应淬火畸变与控制<br>技术 .....       | 448        | 10.7.4 防止齿轮形成裂纹的方法<br>与措施 .....        | 498        |
| 10.5 减小与控制齿轮热处理畸变的方法与<br>措施 .....       | 450        | 10.7.5 防止齿轮形成裂纹的实例 .....               | 501        |
| 10.5.1 合理选材和正确设计 .....                  | 451        | 10.7.6 防止齿轮淬火裂纹的其他<br>方法 .....         | 502        |
| 10.5.2 优化锻造 .....                       | 455        | 10.7.7 调质齿轮淬火裂纹形成原<br>因与对策 .....       | 503        |
| 10.5.3 采用预备热处理 .....                    | 456        | 10.7.8 防止调质齿轮淬火裂纹的<br>实例 .....         | 504        |
| 10.5.4 消除机械加工残余应力 .....                 | 458        | 10.7.9 齿轮的感应淬火裂纹与<br>对策 .....          | 505        |
|                                         |            | 10.7.10 齿轮的化学热处理裂纹与<br>对策 .....        | 514        |
|                                         |            | 10.7.11 齿轮的喷丸(抛丸)处理裂纹<br>形成原因与对策 ..... | 519        |
|                                         |            | 10.7.12 齿轮的磨削裂纹与对策 .....               | 520        |
|                                         |            | <b>第11章 齿轮的失效分析与对策 .....</b>           | <b>525</b> |
|                                         |            | 11.1 齿轮的服役条件与失效形式 .....                | 525        |

|                                                      |            |                                            |            |
|------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|
| 11.1.1 齿轮的服役条件 .....                                 | 525        | 能与使用寿命 .....                               | 551        |
| 11.1.2 齿轮的失效形式 .....                                 | 525        | 12.2.7 选用合适的低温化学热处理工<br>艺提高齿轮的疲劳强度 .....   | 551        |
| 11.2 齿轮的接触及弯曲疲劳失效原因、<br>形式及其影响因素 .....               | 527        | 12.2.8 采用喷丸强化技术提高渗碳齿<br>轮疲劳强度 .....        | 552        |
| 11.3 齿面的失效与对策 .....                                  | 527        | 12.2.9 齿轮的其他延寿热处理<br>技术 .....              | 554        |
| 11.3.1 齿面磨损与对策 .....                                 | 528        | 12.2.10 感应淬火齿轮使用寿命低的<br>原因与对策 .....        | 556        |
| 11.3.2 齿面塑性变形与对策 .....                               | 529        | <b>第13章 典型齿轮热处理及其<br/>实例 .....</b>         | <b>558</b> |
| 11.3.3 齿面胶合与对策 .....                                 | 529        | 13.1 机床齿轮热处理及其实例 .....                     | 558        |
| 11.3.4 齿面点蚀与对策 .....                                 | 530        | 13.1.1 机床齿轮的热处理 .....                      | 558        |
| 11.3.5 齿轮硬化层剥落与对策 .....                              | 531        | 13.1.2 机床齿轮的热处理典型<br>实例 .....              | 559        |
| 11.4 齿轮断裂与对策 .....                                   | 532        | 13.2 车辆齿轮热处理及其实例 .....                     | 560        |
| 11.5 齿轮的其他失效与对策 .....                                | 533        | 13.2.1 车辆齿轮的热处理 .....                      | 560        |
| 11.5.1 齿轮轮齿崩齿与对策 .....                               | 533        | 13.2.2 车辆齿轮的热处理典型<br>实例 .....              | 561        |
| 11.5.2 齿轮轮齿的末端损坏与<br>对策 .....                        | 533        | 13.3 能源装备齿轮热处理及其实例 .....                   | 563        |
| 11.6 齿轮轮齿常见失效模式的特征、<br>原因及对策 .....                   | 534        | 13.3.1 风电齿轮热处理及其实例 .....                   | 563        |
| 11.7 防止齿轮早期失效的实例 .....                               | 536        | 13.3.2 火电及其他发电装备齿轮<br>热处理及其实例 .....        | 565        |
| 11.8 中重型载货汽车弧齿锥齿轮失效与<br>对策 .....                     | 538        | 13.4 航空齿轮热处理及其实例 .....                     | 566        |
| 11.8.1 因主、从动弧齿锥齿轮制造问<br>题造成失效的原因与对策 .....            | 538        | 13.4.1 航空齿轮的热处理 .....                      | 566        |
| 11.8.2 因主、从动弧齿锥齿轮装配及<br>使用问题造成失效的原因与<br>对策 .....     | 540        | 13.4.2 航空齿轮的热处理典型<br>实例 .....              | 567        |
| <b>第12章 提高齿轮性能与寿命的<br/>途径 .....</b>                  | <b>544</b> | 13.5 轨道交通装备齿轮热处理及<br>其实例 .....             | <b>568</b> |
| 12.1 齿轮的强度设计 .....                                   | 544        | 13.5.1 轨道交通装备齿轮的热<br>处理 .....              | 568        |
| 12.2 齿轮延寿与提高性能的途径 .....                              | 545        | 13.5.2 轨道交通装备齿轮的热处理<br>典型实例 .....          | 568        |
| 12.2.1 高精度长寿命渗碳齿轮对钢材<br>的要求 .....                    | 545        | 13.6 冶金、矿山、石油化工及建材设备<br>齿轮热处理及其实例 .....    | 569        |
| 12.2.2 采用新型钢材提高重型载货汽<br>车驱动桥弧齿锥齿轮性能与<br>寿命 .....     | 546        | 13.6.1 冶金、矿山、石油化工及建材<br>设备齿轮的热处理 .....     | 569        |
| 12.2.3 提高载货汽车变速器齿轮性能<br>与寿命的途径 .....                 | 547        | 13.6.2 冶金、矿山、石油化工及建材<br>设备齿轮的热处理典型实例 ..... | 569        |
| 12.2.4 提高重型载货汽车驱动桥弧齿<br>锥齿轮性能与疲劳寿命的<br>途径 .....      | 549        | 13.7 船舶与海洋工程装备齿轮热处理及<br>其实例 .....          | 573        |
| 12.2.5 通过增加渗层深度或提高心部<br>强度方法提高齿轮渗层接触疲<br>劳剥落抗力 ..... | 550        | 13.7.1 船舶与海洋工程装备齿轮的<br>热处理 .....           | 573        |
| 12.2.6 采用稀土渗碳技术提高齿轮性                                 |            |                                            |            |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 13.7.2 船舶与海洋工程装备齿轮的热<br>处理典型实例 ..... | 573 |
| 13.8 液压齿轮泵齿轮热处理及其<br>实例 .....        | 574 |
| 13.8.1 液压齿轮泵齿轮的热处理 .....             | 574 |
| 13.8.2 液压齿轮泵齿轮的热处理<br>典型实例 .....     | 574 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 附录 .....                                    | 576 |
| 附录 A 齿轮用钢热处理工艺参数 .....                      | 576 |
| 附录 B 齿轮渗碳钢末端淬透性 (CGMA001-<br>1; 2012) ..... | 583 |
| 附录 C 国内外常用结构钢对照表 .....                      | 584 |
| 附录 D 齿轮热处理相关标准目录 .....                      | 586 |
| 参考文献 .....                                  | 590 |

# 第 1 章 齿轮材料及其热处理

齿轮作为连续啮合传递运动和动力的机械零件，广泛应用于航空、船舶、兵器装备、汽车摩托、农机、机床、工程机械、轨道交通、水泥建筑、起重运输、矿山冶金、电力能源、石油化工和仪器等 20 多个领域。

齿轮材料及其热处理是影响齿轮承载能力和使用寿命的关键因素，也是影响齿轮生产质量和成本主要环节。

## 1.1 齿轮类别及其性能要求

### 1.1.1 齿轮的类别

齿轮常见的分类方法见表 1-1。

表 1-1 齿轮常见的分类方法

| 分类方式         | 内 容                                                                     |                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 按齿轮形状        | 圆柱齿轮、锥齿轮、齿条、蜗杆蜗轮                                                        | 按齿长方向的歪斜程度又可分为直齿轮（见图 1-1a）、斜齿轮（见图 1-1b）、圆弧齿轮（见图 1-1c） |
| 按齿轮轮齿的齿廓曲线   | 渐开线齿轮、摆线齿轮、准双曲面齿轮等                                                      |                                                       |
| 按齿轮在工作时的圆周速度 | 低速传动齿轮（<3m/s）、中速传动齿轮（3~15m/s）、高速传动齿轮（>15m/s）                            |                                                       |
| 按齿轮的制造精度     | 标准齿轮（3~5 级精度）、精密机床与仪器齿轮（5~6 级精度）、一般机床与机械齿轮（6~7 级精度）、汽车与拖拉机传动齿轮（7~8 级精度） |                                                       |
| 按齿轮工作时承受载荷   | 轻载荷、中载荷、重载荷和超重载荷，载荷主要包括齿面接触应力和冲击载荷                                      |                                                       |
| 按齿轮的服役条件     | 传递运动齿轮                                                                  | 一般用非铁金属或塑料等材料制造                                       |
|              | 传递动力齿轮                                                                  | 常用钢铁制造，重载服役条件工作。目前，在高参数硬齿面齿轮制造中，多采用渗碳淬火工艺             |
| 按热处理工艺       | 渗碳齿轮                                                                    | 因高的表面硬度和良好的心部韧性相结合，齿轮具有耐磨、耐疲劳和耐点蚀等良好的特性。目前，大多数齿轮属于此类  |
|              | 感应或火焰淬火齿轮                                                               |                                                       |
|              | 调质齿轮                                                                    | 适合于用作中小型、中等载荷和轻载荷齿轮                                   |
|              | 正火齿轮                                                                    | 主要用于船用大型低噪声齿轮，其重点是防止噪声                                |
| 按齿轮传动的工作条件   | 闭式传动齿轮、开式传动齿轮及半开式传动齿轮。单级的圆柱齿轮和锥齿轮只能实现小的传动比，较大的传动比需要多级传动，蜗杆传动具有较大的单级传动比  |                                                       |

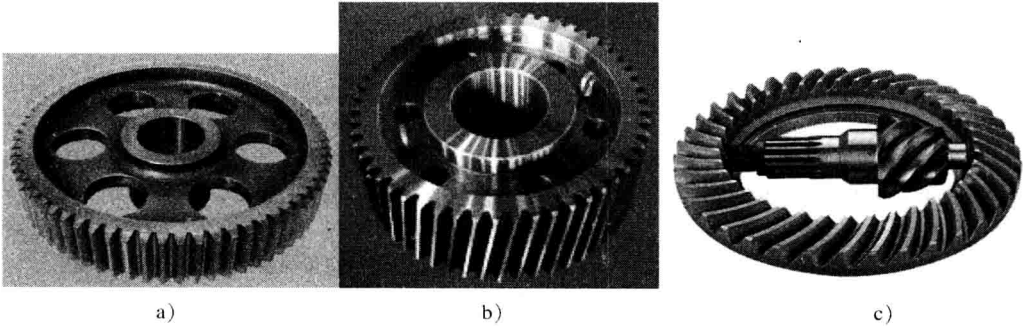


图 1-1 几种典型齿轮

a) 直齿轮 b) 斜齿轮 c) 圆弧齿轮

1.1.2 齿轮（材料）的性能要求

为了保证齿轮的正常工作，齿轮（材料）应具有表 1-2 所列的主要性能。

表 1-2 齿轮（材料）性能要求

| 序号 | 项目及要求         | 作 用                                                                      |
|----|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 高的弯曲疲劳强度      | 高的弯曲疲劳强度,特别是齿根处要有足够的强度,使齿轮运行时所产生的弯曲应力不至于造成疲劳断裂。除材料本身性能外,还可依靠齿轮的表面强化处理来实现 |
| 2  | 高的接触疲劳强度      | 齿面具有高的硬度和耐磨性,防止齿面损伤(如点蚀)。除材料本身性能外,还可依靠齿轮的表面强化处理来实现                       |
| 3  | 高的齿面硬度和耐磨性    | 以防止黏着磨损和磨粒磨损,主要依靠提高表面强度和降低摩擦因数来实现                                        |
| 4  | 足够高的心部强度和冲击韧性 | 以提高齿轮的承载能力,防止齿轮过载与冲击断裂                                                   |
| 5  | 良好的工艺性能       | 使齿轮易于切削加工,热处理性能好,淬火畸变要小,以获得较低的表面粗糙度值和较高的加工精度,使齿轮抗磨损能力提高,并获得低的噪声          |
| 6  | 高的原材料质量       | 原材料材质要纯净,断面经浸蚀后不得有目视可见的空隙、气泡、裂纹、非金属夹杂物及白点等缺陷,其疏松、偏析和非金属夹杂物等级应符合有关标准规定的要求 |
| 7  | 钢材价格低廉,来源充足   | 便于采购、运输,降低制造成本                                                           |

1.2 齿轮材料及其热处理的选择

选择齿轮材料及其热处理时，主要是根据齿轮的传动方式、载荷性质与大小、传动速度和精度要求等工作条件，同时还要考虑依据齿轮模数和截面尺寸所提出的钢材淬透性及齿面硬化要求、齿轮副的材料及硬度值的匹配等问题。

齿轮所用的材料各种各样，如各种铸铁、钢、粉末冶金材料、非铁合金（如铜合金）及非金属材料等。其中钢是使用最广泛的材料，包括各种低碳钢、中碳钢、高碳钢和合金钢等。

对钢铁材料齿轮进行适当热处理（如正火与退火、整体淬火回火、调质、渗碳、渗氮、表面淬火等），其目的是为了能够提高钢铁的使用性能，充分发挥材料的能力，同时也能够改善钢材的加工性能，提高齿轮加工质量，延长齿轮的使用寿命。

齿轮用各类钢铁材料和热处理的特点及适用条件见表 1-3。

表 1-3 齿轮用各类钢铁材料和热处理的特点及适用条件

| 材料  | 牌 号                                                                                       | 热 处 理 | 特 点                                                                                                                                                                                                          | 适用条件                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 调质钢 | 45、35SiMn、<br>42SiMn、<br>37SiMn2MoV、<br>40MnB、45MnB、<br>40Cr、45Cr、<br>35CrMo、<br>42CrMo 等 | 调质或正火 | 1) 经调质后具有较好的强度和韧性,常在 220~300HBW 的范围内使用<br>2) 当受刀具的限制而不能提高调质小齿轮的硬度时,为保持大小齿轮之间的硬度差,可使用正火处理的大齿轮,但强度较调质者差<br>3) 齿面的精切齿可在热处理后进行,以消除热处理畸变,保持齿轮精度<br>4) 不需要专门的热处理设备和齿面精加工设备,制造成本低<br>5) 齿面硬度较低,易于磨合,但是不能充分发挥材料的承载能力 | 广泛用于对强度和精度要求不太高的一般中低速齿轮,以及热处理和齿面精加工比较困难的大型齿轮 |

(续)

| 材料  | 牌 号                                                                                       | 热 处 理           | 特 点                                                                                                                                                                                  | 适 用 条 件                                  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 调质钢 | 45、35SiMn、<br>42SiMn、<br>37SiMn2MoV、<br>40MnB、45MnB、<br>40Cr、45Cr、<br>35CrMo、<br>42CrMo 等 | 表面淬火(感应淬火、火焰淬火) | 1) 齿面硬度高,具有较强的抗点蚀和耐磨损性能;心部具有较好的韧性,表面经硬化后产生残余应力,大大提高了齿根强度;通常的齿面硬度范围为:合金钢45~55HRC,碳素钢40~50HRC<br>2) 为进一步提高心部强度,往往在表面淬火前先进行调质处理<br>3) 感应淬火时间短<br>4) 表面硬化层深度和硬度沿齿面不等<br>5) 因急速加热和冷却,容易淬裂 | 广泛用于要求承载能力高、体积小的齿轮                       |
| 渗碳钢 | 20Cr、20CrMnTi、<br>20CrMnMo、<br>20CrMo、22CrMo、<br>20CrNiMo、<br>18Cr2Ni4W、<br>20Cr2Ni4A 等   | 渗碳淬火            | 1) 齿面硬度很高,具有很强的抗点蚀和耐磨损性能;心部具有很好的韧性,表面经硬化后产生的残余应力,大大提高了齿根强度;一般齿面硬度范围为56~63HRC<br>2) 加工性能较好<br>3) 热处理畸变较大,热处理后应磨齿,增加了加工时间和成本,但是可以获得高的精度                                                | 广泛用于要求承载能力高、抗冲击性能好、精度高、体积小的中型以下齿轮        |
| 渗氮钢 | 38CrMoAlA、<br>30CrMoSiA、<br>25Cr2MoV 等                                                    | 渗氮处理            | 1) 可获得很高的齿面硬度,具有较强的抗点蚀和耐磨损性能;心部具有较好的韧性,为提高心部强度,对低碳钢往往先进行调质处理<br>2) 由于加热温度低,故热处理畸变很小,渗氮处理后不需要磨齿<br>3) 硬化层很薄,故承载能力不及渗碳淬火齿轮,不宜用于有冲击载荷的场合<br>4) 渗氮处理周期长,加工成本较高                           | 适用于较大且较平稳的载荷下工作的齿轮,以及没有齿面精加工设备而又需要硬齿面的场合 |
| 铸钢  | ZG310-570、<br>ZG340-640、<br>ZG42SiMn、<br>ZG50SiMn、<br>ZG40Cr1、<br>ZG35CrMnSi 等            | 正火或调质,以及表面淬火    | 1) 可以制造复杂形状的大型齿轮<br>2) 其强度低于同种牌号和热处理后的调质钢<br>3) 容易产生铸造缺陷                                                                                                                             | 用于不能锻造的大型齿轮                              |
| 铸铁  | 各种灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁等                                                                          |                 | 1) 材料低廉<br>2) 耐磨性好<br>3) 可制造复杂形状的大型齿轮<br>4) 有较好的铸造和切削工艺性<br>5) 承载能力低                                                                                                                 | 灰铸铁和可锻铸铁用于低速、轻载、无冲击的齿轮;球墨铸铁可用于载荷和冲击较大的齿轮 |

1.2.1 齿轮用钢铁材料的选择

齿轮选用钢铁材料时,必须满足两个基本要求:一是加工和热处理要求,其中包括钢的机械

加工性能、铸造性能、锻造性能和热处理性能；二是使用性能要求，包括疲劳强度、热处理规范和其他性能指标。齿轮常用钢铁材料的选择、热处理及性能见表 1-4。调质及表面淬火齿轮用钢的选择见表 1-5。渗碳齿轮用钢的选择见表 1-6。渗氮齿轮用钢铁材料的选择见表 1-7。

表 1-4 齿轮常用钢铁材料的选择、热处理及性能

| 传动方式 | 工作条件 |              | 小齿轮                  |      |            | 大齿轮                      |             |            |
|------|------|--------------|----------------------|------|------------|--------------------------|-------------|------------|
|      | 速度   | 载荷           | 材料牌号                 | 热处理  | 硬度 HBW     | 材料牌号                     | 热处理         | 硬度 HBW     |
| 开式传动 | 低速   | 轻载、无冲击、非重要齿轮 | Q275                 | 正火   | 150 ~ 190  | HT200                    |             | 170 ~ 230  |
|      |      |              |                      |      |            | HT250                    |             | 170 ~ 240  |
|      |      | 轻载、小冲击       | 45                   | 正火   | 170 ~ 200  | QT500-5                  | 正火          | 170 ~ 207  |
|      |      |              |                      |      |            | QT600-3                  |             | 197 ~ 269  |
| 闭式传动 | 低速   | 中载           | 45                   | 正火   | 170 ~ 200  | 35                       | 正火          | 150 ~ 180  |
|      |      |              | ZG310-570            | 调质   | 200 ~ 250  | ZG270-500                | 调质          | 190 ~ 230  |
|      |      | 重载           | 45                   | 整体淬火 | 38 ~ 48HRC | ZG270-500                | 整体淬火        | 35 ~ 40HRC |
|      | 中速   | 中载           | 45                   | 调质   | 200 ~ 250  | 35                       | 调质          | 190 ~ 230  |
|      |      |              |                      | 整体淬火 | 38 ~ 48HRC |                          | 整体淬火        | 35 ~ 40HRC |
|      |      |              | 40Cr、40MnB、40MnVB    | 调质   | 230 ~ 280  | 45、50                    | 调质          | 220 ~ 250  |
|      |      |              |                      |      |            | ZG270-500                | 正火          | 180 ~ 230  |
|      |      | 重载           | 45                   | 整体淬火 | 38 ~ 48HRC | 35                       | 整体淬火        | 35 ~ 40HRC |
|      |      |              |                      | 表面淬火 | 45 ~ 52HRC | 45                       | 调质          | 220 ~ 250  |
|      |      | 中载、有冲击       | 20Cr、20CrMnTi、20CrMo | 渗碳淬火 | 58 ~ 63HRC | 20Cr、20CrMnTi            | 渗碳淬火        | 56 ~ 63HRC |
|      |      |              |                      |      |            | 35CrMo                   | 调质          | 255 ~ 302  |
|      | 高速   | 中载、无猛烈冲击     | 40Cr、40MnB、40MnVB    | 整体淬火 | 35 ~ 42HRC | 35、40                    | 整体淬火        | 35 ~ 40HRC |
|      |      |              |                      | 表面淬火 | 52 ~ 56HRC | 45、50                    | 表面淬火        | 45 ~ 50HRC |
|      |      | 重载、高精度、小冲击   | 38CrMoAl             | 渗氮   | > 850HV    | 35CrMo                   | 调质          | 255 ~ 302  |
|      |      |              |                      |      |            | 40Cr、42SiMn、35SiMn、45MnB | 调质 + 高频感应淬火 |            |

表 1-5 调质及表面淬火齿轮用钢的选择

| 齿 轮 种 类                                  | 选 择 牌 号                  | 备 注         |
|------------------------------------------|--------------------------|-------------|
| 汽车、拖拉机及机床中的不重要齿轮                         | 45                       | 调质          |
| 中速、中载车床变速箱、钻床变速箱次要齿轮，以及高速、中载磨床砂轮用齿轮      |                          | 调质 + 高频感应淬火 |
| 中速、中载较大截面机床齿轮                            | 40Cr、42SiMn、35SiMn、45MnB | 调质          |
| 中速、中载并带一定冲击的机床变速箱齿轮，以及高速、重载并要求齿面硬度高的机床齿轮 |                          | 调质 + 高频感应淬火 |

(续)

| 齿 轮 种 类                                             |                             | 选 择 牌 号 |                                                           | 备 注                                          |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 起重机械、运输机械、建筑机械、水泥机械、冶金机械、矿山机械、工程机械、石油机械等设备中的低速重载大齿轮 | 一般承受载荷不大,截面尺寸也不大,以及要求不太高的齿轮 | I       | 35、45、55                                                  | 1) 少数直径大、载荷小、转速不高的末级传动大齿轮可采用 SiMn 钢正火处理      |
|                                                     |                             | II      | 40Mn、50Mn、40Cr、35SiMn、42SiMn                              |                                              |
|                                                     | 截面尺寸较大,承受较大载荷,以及要求比较高的齿轮    | III     | 35CrMo、42CrMo、40CrMnMo、35CrMnSi、40CrNi、40CrNiMo、45CrNiMoV | 2) 根据齿轮截面尺寸大小及重要程度,分别选用各类钢材(从 I 到 V,淬透性逐渐提高) |
|                                                     | 截面尺寸很大,承受载荷大并要求有足够韧性的重要齿轮   | IV      | 35CrNi2Mo、40CrNi2Mo                                       | 3) 根据设计,要求表面硬度大于 40HRC 者应采用调质 + 表面淬火         |
|                                                     |                             | V       | 30CrNi3、34CrNi3Mo、37SiMn2MoV                              |                                              |

表 1-6 渗碳齿轮用钢的选择

| 齿 轮 种 类                                                                              | 选 择 牌 号                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 汽车变速器、分动箱、起动机及驱动桥的各类齿轮                                                               | 20CrMnTi、20CrMnMo、20CrMo、22CrMo                    |
| 拖拉机动力传动装置中的各类齿轮                                                                      |                                                    |
| 机床变速箱、龙门铣电动机及立车等机械中的高速、重载、承受冲击的齿轮                                                    | 12CrNi3、12Cr2Ni4、20CrNi3、20CrNi2Mo、17CrNiMo6       |
| 起重、运输、矿山、通用、化工、机车等机械的变速器中的小齿轮                                                        |                                                    |
| 化工、冶金、电站设备、铁路机车、航空、航天、海运等设备中的汽轮发动机、工业汽轮机、燃气轮机、高速鼓风机、透平压缩机等的高速齿轮,要求长周期、安全可靠地运行        |                                                    |
| 大型轧钢机减速器齿轮、人字齿轮、机座齿轮,大型带式输送机传动齿轮轴、大型锥齿轮、大型挖掘机传动箱主动齿轮、井下采煤机传动箱齿轮、坦克齿轮等低速重载、并承受载荷的传动齿轮 | 20CrNi2Mo、17Cr2Ni2Mo、20Cr2Ni4、18Cr2Ni4W、20Cr2Mn2Mo |

表 1-7 渗氮齿轮用钢铁材料的选择

| 齿 轮 种 类         | 性 能 要 求        | 选 择 牌 号                            |
|-----------------|----------------|------------------------------------|
| 一般用途齿轮          | 表面耐磨           | 45、40Cr、20CrMnTi、珠光体球墨铸铁           |
| 在冲击载荷下工作的齿轮     | 表面耐磨,心部韧性好     | 18CrNiWA、18Cr2Ni4WA、30CrNi3、35CrMo |
| 在重载荷下工作的齿轮      | 表面耐磨,心部强度高     | 40CrNiMo、35CrMoV、25Cr2MoV、42CrMo   |
| 在重载荷及冲击载荷下工作的齿轮 | 表面耐磨,心部强度高、韧性好 | 30CrNiMoA、40CrNiMoA、30CrNi2Mo      |
| 精密耐磨齿轮          | 表面高硬度、畸变小      | 38CrMoAlA、38CrMnAlA                |

1.2.2 常用齿轮钢材及其力学性能

常用齿轮钢材及其力学性能见表 1-8。

表 1-8 常用齿轮钢材及其力学性能

|  |
|--|
|  |
|--|

(续)

| 牌号         | 热处理<br>状态         | 截 面 尺 寸            |                    | 力 学 性 能                      |                               |                               |                 |                                               |                                |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|
|            |                   | 直径<br><i>D</i> /mm | 壁厚<br><i>S</i> /mm | <i>R<sub>m</sub></i><br>/MPa | <i>R<sub>el</sub></i><br>/MPa | <i>A</i><br>(%)               | <i>Z</i><br>(%) | <i>a<sub>k</sub></i><br>/(J/cm <sup>2</sup> ) | 硬度<br>HBW                      |
| 锻 钢        |                   |                    |                    |                              |                               |                               |                 |                                               |                                |
| 42Mn2      | 调质                | 50                 | 25                 | ≥794                         | ≥588                          | ≥17                           | ≥59             | ≥63.7                                         | —                              |
|            |                   | 100                | 50                 | ≥745                         | ≥510                          | ≥15.5                         | —               | ≥19.6                                         | —                              |
| 50Mn2      | 正火 + 高温<br>回火     | ≤100               | ≤50                | ≥735                         | ≥392                          | ≥14                           | ≥35             | —                                             | 187 ~ 241                      |
|            |                   | 100 ~ 300          | 50 ~ 150           | ≥716                         | ≥373                          | ≥13                           | ≥33             | —                                             | 187 ~ 241                      |
|            |                   | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | ≥686                         | ≥353                          | ≥12                           | ≥30             | —                                             | 187 ~ 241                      |
|            | 调质                | ≤80                | ≤40                | ≥932                         | ≥686                          | ≥9                            | ≥40             | —                                             | 255 ~ 302                      |
| 35SiMn     | 调质                | < 100              | < 50               | ≥735                         | ≥490                          | ≥15                           | 45              | 58.8                                          | ≥222                           |
|            |                   | 100 ~ 300          | 50 ~ 150           | ≥735                         | ≥441                          | ≥14                           | ≥35             | 49.0                                          | 217 ~ 269                      |
|            |                   | 300 ~ 400          | 150 ~ 200          | ≥686                         | ≥392                          | ≥13                           | ≥30             | 41.1                                          | 217 ~ 225                      |
|            |                   | 400 ~ 500          | 200 ~ 250          | ≥637                         | ≥373                          | ≥11                           | ≥28             | 39.2                                          | 196 ~ 255                      |
| 42SiMn     | 调质                | ≤100               | ≤50                | ≥784                         | ≥510                          | ≥15                           | ≥45             | ≥39.2                                         | 229 ~ 286                      |
|            |                   | 100 ~ 200          | 50 ~ 100           | ≥735                         | ≥461                          | ≥14                           | ≥42             | ≥29.2                                         | 217 ~ 269                      |
|            |                   | 200 ~ 300          | 100 ~ 150          | ≥686                         | ≥441                          | ≥13                           | ≥40             | ≥29.2                                         | 217 ~ 255                      |
|            |                   | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | ≥637                         | ≥373                          | ≥10                           | ≥40             | ≥24.5                                         | 196 ~ 255                      |
| 37SiMn2MoV | 调质                | 200 ~ 400          | 100 ~ 200          | ≥814                         | ≥637                          | ≥14                           | ≥40             | ≥39.2                                         | 241 ~ 286                      |
|            |                   | 400 ~ 600          | 200 ~ 300          | ≥765                         | ≥588                          | ≥14                           | ≥40             | ≥39.2                                         | 241 ~ 269                      |
|            |                   | 600 ~ 800          | 300 ~ 400          | ≥716                         | ≥539                          | ≥12                           | ≥35             | ≥34.3                                         | 229 ~ 241                      |
|            |                   | 1270               | 635                | 834/878                      | 677/726                       | 19.0/18.0                     | 45.0/40.0       | 28.4/22.6                                     | 241/248                        |
| 20MnTiB    | 淬火 + 低、<br>中温回火   | 25                 | 12.5               | ≥1451                        | —                             | <i>A<sub>11.3</sub></i> ≥ 7.5 | ≥56             | ≥98.1                                         | ≥47HRC                         |
|            |                   |                    |                    | ≥1402                        | —                             | <i>A<sub>11.3</sub></i> ≥ 7   | ≥53             | ≥98.1                                         | ≥47HRC                         |
|            |                   |                    |                    | ≥1275                        | —                             | <i>A<sub>11.3</sub></i> ≥ 8   | ≥59             | ≥98.1                                         | ≥42HRC                         |
| 20MnVB     | 渗碳 + 淬火 +<br>低温回火 | ≤120               | ≤60                | 1500                         | —                             | 11.5                          | 45              | 127.5                                         | 心部 398                         |
| 45MnB      | 调质                | 45                 | 22.5               | 824                          | 598                           | 14                            | 60              | 103                                           | 表面 241                         |
|            |                   |                    |                    | ≥834                         | 559                           | 16                            | 59              | —                                             | 表面 277                         |
| 30CrMnSi   | 调质                | < 100              | < 50               | ≥834                         | ≥588                          | ≥12                           | ≥35             | ≥58.8                                         | 240 ~ 292                      |
|            |                   | 100 ~ 200          | 50 ~ 100           | ≥706                         | ≥461                          | ≥16                           | ≥35             | ≥49.0                                         | 207 ~ 229                      |
| 50CrV      | 调质                | 40 ~ 100           | 20 ~ 50            | 981 ~ 1177                   | ≥785                          | ≥11                           | ≥45             | —                                             | —                              |
|            |                   | 100 ~ 250          | 50 ~ 125           | 785 ~ 981                    | ≥588                          | ≥13                           | ≥50             | —                                             | —                              |
| 20CrMnTi   | 渗碳 + 淬火<br>+ 低温回火 | 30                 | 15                 | ≥1079                        | ≥883                          | ≥8                            | ≥50             | ≥78.5                                         | 表面 56 ~ 62HRC、<br>心部 240 ~ 300 |
|            |                   | ≤80                | ≤40                | ≥981                         | ≥785                          | ≥9                            | ≥50             | ≥78.5                                         |                                |
|            |                   | 100                | 50                 | ≥883                         | 686                           | ≥10                           | ≥40             | ≥92.2                                         |                                |
| 20CrMo     | 淬火 + 低温<br>回火     | 30                 | 15                 | ≥775                         | ≥433                          | ≥21.2                         | ≥55             | ≥92.2                                         | ≥217                           |
| 35CrMo     | 调质                | 50 ~ 100           | 50 ~ 50            | 735 ~ 883                    | 539 ~ 686                     | 14 ~ 16                       | 45 ~ 50         | 68.6 ~ 88.3                                   | 217 ~ 255                      |
|            |                   | 100 ~ 240          | 50 ~ 120           | 686 ~ 834                    | > 441                         | > 15                          | ≥15             | ≥49.0                                         | 207 ~ 269                      |

(续)

| 牌号       | 热处理<br>状态         | 截 面 尺 寸            |                    | 力 学 性 能                      |                               |                 |                 |                                               |                                 |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
|          |                   | 直径<br><i>D</i> /mm | 壁厚<br><i>S</i> /mm | <i>R<sub>m</sub></i><br>/MPa | <i>R<sub>el</sub></i><br>/MPa | <i>A</i><br>(%) | <i>Z</i><br>(%) | <i>a<sub>k</sub></i><br>/(J/cm <sup>2</sup> ) | 硬度<br>HBW                       |
| 锻 钢      |                   |                    |                    |                              |                               |                 |                 |                                               |                                 |
| 35CrMo   | 调质                | 100 ~ 300          | 50 ~ 150           | ≥686                         | ≥490                          | ≥15             | ≥50             | ≥68.6                                         | —                               |
|          |                   | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | ≥637                         | ≥441                          | ≥15             | ≥35             | ≥39.2                                         | 207 ~ 269                       |
|          |                   | 500 ~ 800          | 250 ~ 400          | ≥588                         | ≥392                          | ≥12             | ≥30             | ≥29.4                                         | 207 ~ 269                       |
| 42CrMo   | 调质                | 40 ~ 100           | 20 ~ 50            | 883 ~ 1020                   | >686                          | ≥12             | ≥50             | 49.0 ~ 68.6                                   | —                               |
|          |                   | 100 ~ 250          | 50 ~ 125           | 735 ~ 883                    | >539                          | ≥14             | ≥55             | 49.0 ~ 78.5                                   | —                               |
|          |                   | 250 ~ 300          | 125 ~ 150          | 637                          | 490                           | ≥14             | 35              | 39.2                                          | 207 ~ 269                       |
|          |                   | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | 588                          | 441                           | ≥10             | 30              | 39.2                                          | 207 ~ 269                       |
| 20CrMnMo | 渗碳 + 淬火 +<br>低温回火 | 30                 | 15                 | ≥1079                        | ≥785                          | ≥7              | ≥40             | ≥39.2                                         | 表面 56 ~ 62HRC、<br>心部 28 ~ 33HRC |
|          |                   | ≤100               | ≤50                | ≥834                         | ≥490                          | ≥15             | ≥40             | ≥39.2                                         | 表面 56 ~ 62HRC、<br>心部 28 ~ 33HRC |
| 40CrMnMo | 调质                | 150                | 75                 | ≥778                         | ≥758                          | ≥14.8           | ≥56.4           | ≥83.4                                         | 288                             |
|          |                   | 300                | 150                | ≥811                         | ≥655                          | ≥16.8           | ≥52.2           | —                                             | 255                             |
|          |                   | 400                | 200                | ≥786                         | ≥532                          | ≥16.8           | ≥43.7           | ≥49.0                                         | 249                             |
|          |                   | 500                | 250                | ≥748                         | ≥484                          | ≥14.0           | ≥46.2           | ≥42.2                                         | 213                             |
| 25Cr2MoV | 调质                | 25                 | 12.5               | ≥932                         | ≥785                          | ≥14             | ≥55             | ≥78.5                                         | 247                             |
|          |                   | 150                | 75                 | ≥834                         | ≥735                          | ≥15             | ≥50             | ≥58.8                                         | 269 ~ 321                       |
|          |                   | ≤200               | ≤100               | ≥735                         | ≥588                          | ≥16             | ≥50             | ≥58.8                                         | 241 ~ 277                       |
| 35CrMoV  | 调质                | 120                | 60                 | ≥883                         | ≥785                          | ≥15             | ≥50             | ≥68.6                                         | —                               |
|          |                   | 240                | 120                | ≥834                         | ≤686                          | ≥12             | ≥45             | ≥58.8                                         | —                               |
|          |                   | 500                | 250                | 657                          | 490                           | 14              | 40              | 49.0                                          | 212 ~ 248                       |
| 38CrMoAl | 调质                | 40                 | 20                 | ≥941                         | ≥785                          | ≥18             | ≥58             | —                                             | —                               |
|          |                   | 80                 | 40                 | ≥922                         | ≥735                          | ≥16             | ≥56             | —                                             | —                               |
|          |                   | 100                | 50                 | ≥922                         | ≥706                          | ≥16             | ≥54             | —                                             | —                               |
|          |                   | 120                | 60                 | ≥912                         | ≥686                          | ≥15             | ≥52             | —                                             | —                               |
|          |                   | 160                | 80                 | ≥765                         | ≥588                          | ≥14             | ≥45             | ≥58.8                                         | 241 ~ 285                       |
| 20Cr     | 渗碳 + 淬火<br>+ 低温回火 | 60                 | 30                 | ≥637                         | ≥392                          | ≥13             | ≥40             | 49.0                                          | 心部 178                          |
|          |                   | 60                 | 30                 | 637 ~ 931                    | 392 ~ 686                     | 13 ~ 20         | 45 ~ 55         | 49.0 ~ 78.5                                   | 1/3 半径处 > 182                   |
| 40Cr     | 调质                | 100 ~ 300          | 50 ~ 150           | ≥686                         | ≥490                          | ≥14             | ≥45             | ≥392                                          | 241 ~ 286                       |
|          |                   | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | ≥637                         | ≥441                          | ≥10             | ≥35             | ≥29.4                                         | 229 ~ 269                       |
|          |                   | 500 ~ 800          | 250 ~ 400          | ≥588                         | ≥343                          | ≥8              | ≥30             | ≥19.2                                         | 217 ~ 255                       |
| 40Cr     | 碳氮共渗<br>淬火 + 回火   | <40                | <20                | 1373 ~<br>1569               | 1177 ~<br>1373                | 7               | 25              | —                                             | 43 ~ 53HRC                      |
| 40Cr     | 调质                | 100 ~ 300          | 50 ~ 150           | ≥785                         | ≥569                          | ≥9              | ≥38             | ≥49.0                                         | 225                             |
| 40CrNi   | 调质                | 300 ~ 500          | 150 ~ 250          | ≥735                         | ≥549                          | ≥8              | ≥36             | ≥44.1                                         | 255                             |
|          |                   | 500 ~ 700          | 250 ~ 350          | ≥686                         | ≥530                          | ≥8              | ≥35             | ≥44.1                                         | 255                             |