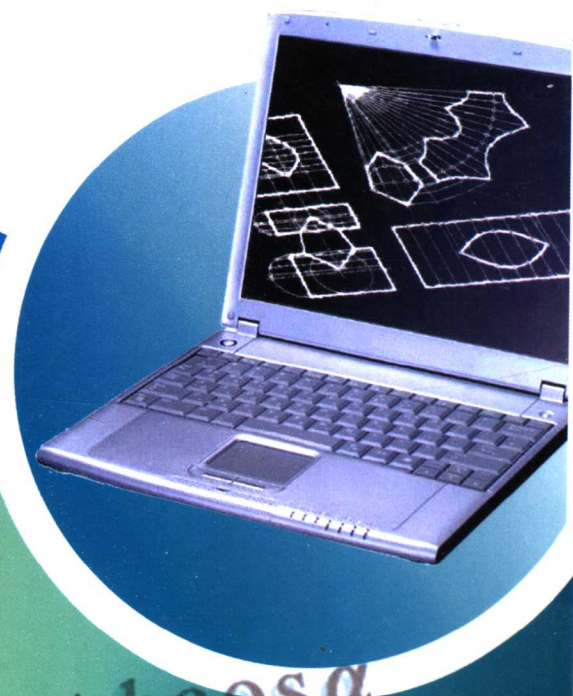
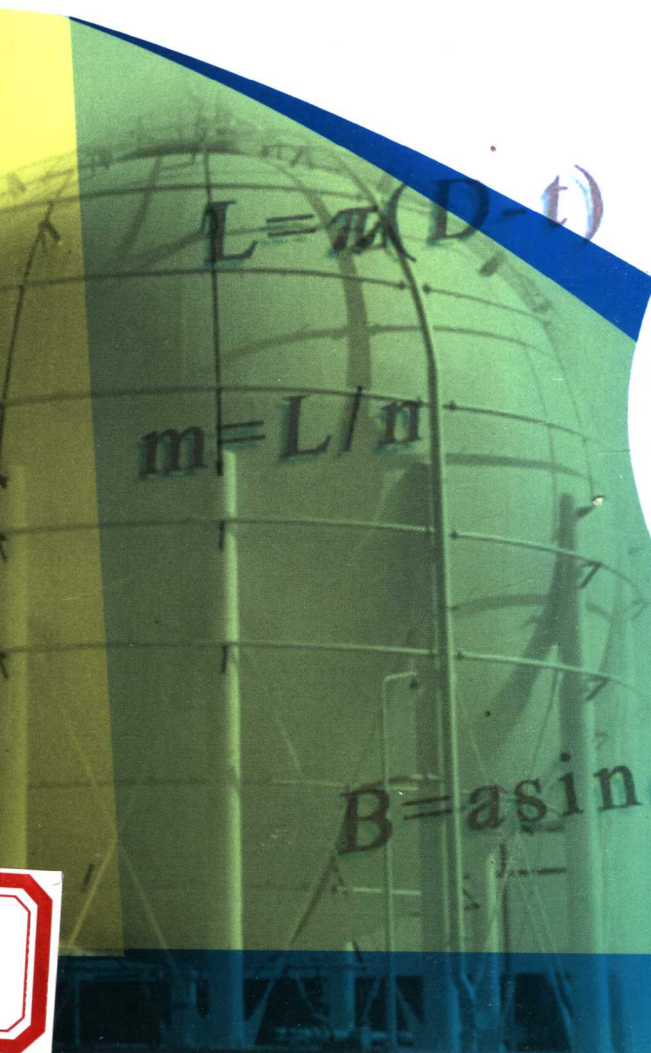


# 钣金展开技术与应用实例

毛昕 李晓桥 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 钣金展开技术与 应用实例

毛 昕 李晓桥 主编



机械工业出版社

本书全面介绍了钣金展开的应用技术,并给出大量的应用实例。全书共5章,第1章为钣金展开的基础知识,包括几何作图、投影原理、常用曲线曲面、构件表面的结合线和钣金展开的工艺处理。第2章至第5章分别介绍图解展开方法、计算展开方法、不可展曲面近似展开方法和计算机辅助展开方法的原理和应用实例。在全书大量的展开实例中,包括了平板构件、柱面管构件、锥面管构件、平面与曲面板组合构件、异形口连接管构件、球面封头构件、螺旋面构件和型钢制件的展开。

本书适于从事钣金、冷作、安装及金属结构设计与加工的工人和工程技术人员使用,也可供相关专业的院校师生参阅。

## 图书在版编目(CIP)数据

钣金展开技术与应用实例/毛昕等主编. —北京:机械工业出版社, 2007.4

ISBN 978-7-111-21181-5

I. 钣… II. 毛… III. 钣加工 IV. TG936

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 037000 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:李万宇

责任编辑:白刚 版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·10.5 印张·405 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21181-5

定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

钣金构件和制品以其工艺简单、生产效率高、成本低等优点,在机械、化工、冶金、轻工等行业的生产中得到越来越广泛的应用,其中钣金展开是生产中的一个重要环节。随着科学技术的进步和生产的发展,钣金展开经历了图解、计算和计算机辅助等主要方法,在技术上,也由传统的尺规作图向解析计算和数字化生成等现代化方向不断改进。

为满足广大读者对掌握钣金展开技术的需求,本书全面、系统地介绍了钣金展开的基础知识、图解展开方法、计算展开方法、不可展曲面近似展开方法和计算机辅助展开方法的原理及近 150 个应用实例。编写时力求文字简明易懂,适用对象广泛,插图精美准确,便于读者自学,使读者通过阅读本书,在钣金展开的基础理论知识和现代技术方法方面都能够有较大的提高。

本书有下面几个主要特点:

(1) 系统性强,适用面广。既适合钣金展开的初学者系统学习,又适合具有一定技术基础的工作人员参阅。书中基础知识深入全面,方法原理阐述清楚,同时又精选了大量的展开实例。实例按展开方法编排,利于巩固理论知识和在应用中举一反三,同时又按构件种类相对集中,便于查阅。

(2) 为使读者能够更好地从原理和方法上掌握钣金展开技术,并早日做到融会贯通,在相关内容的编写中注重了合理归纳和分类。比如图解展开中注意抽象出不同方法的展开规律;计算展开中根据不同的应用情况分为实长计算法、坐标计算法、参数化方法等,这样使内容条理清楚,便于掌握。

(3) 适应钣金展开技术的不断发展,书中增强了现代钣金展开技术及其应用内容的介绍,比如钣金展开的参数化计算方法、钣金展开的计算机绘图和编程、钣金展开的计算机辅助系统等。尽管由于篇幅所限,有些内容只能作简要介绍,但仍期望能够引起读者的关注和兴趣,通过提高技术水平,增强自身的持续发展能力。

本书由毛昕、李晓桥主编。参加本书编写的有黄英、陈述平、肖平阳、那履弘、杨广衍、邓永胜、马明旭、毛普元、王坤、范功伟。全书由毛昕(第 3、4、5 章)和李晓桥(第 1、2 章)负责统稿。

在编写过程中曾参阅了一些文献资料,对有关著作者深表感谢。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不当之处,恳请读者提出宝贵意见。作者电子邮箱: [ddmx54@sina.com](mailto:ddmx54@sina.com)。

# 目 录

## 前言

## 第1章 钣金展开的基础知识 ..... 1

### 1.1 几何作图 ..... 1

#### 1.1.1 等分直线段 ..... 1

#### 1.1.2 按比例分割直线段 ..... 1

#### 1.1.3 直角的三等分 ..... 1

#### 1.1.4 角的任意等分 ..... 2

#### 1.1.5 圆的三、六、十二等分 ..... 2

#### 1.1.6 圆的五等分 ..... 3

#### 1.1.7 用弦长系数表等分圆周 ..... 3

#### 1.1.8 由等腰三角形的周长和高作三角形 ..... 4

#### 1.1.9 由周长、高和顶角作三角形 ..... 5

#### 1.1.10 已知边长作正多边形 ..... 5

#### 1.1.11 用同心圆法作椭圆 ..... 6

#### 1.1.12 用四心圆法作椭圆 ..... 6

#### 1.1.13 弓形及其几何关系 ..... 7

#### 1.1.14 由弦长和弓高作大半径圆弧 ..... 7

#### 1.1.15 作圆的切线 ..... 9

#### 1.1.16 作两圆的外公切线 ..... 9

#### 1.1.17 作两圆的内公切线 ..... 9

#### 1.1.18 用已知半径的圆弧光滑连接两直线 ..... 10

#### 1.1.19 用已知半径的圆弧光滑连接直线和圆弧 ..... 11

#### 1.1.20 用已知半径的圆弧光滑连接两圆弧 ..... 11

#### 1.1.21 作正多边形的内切圆和外接圆 ..... 12

#### 1.1.22 作圆的展开直线 ..... 12

#### 1.1.23 作半圆的展开直线 ..... 12

#### 1.1.24 作四分之一圆弧的展开直线 ..... 13

#### 1.1.25 作大于四分之一圆弧的展开直线 ..... 14

#### 1.1.26 作小于四分之一圆弧的展开直线 ..... 14

#### 1.1.27 作平面曲线的展开直线 ..... 14

### 1.2 投影原理 ..... 15

#### 1.2.1 正投影及其基本性质 ..... 15

#### 1.2.2 点、直线和平面的投影规律 ..... 17

#### 1.2.3 求直线的实长和两平面间的夹角 ..... 25

### 1.3 常用曲线曲面 ..... 33

#### 1.3.1 曲线的形成与分类 ..... 33

#### 1.3.2 圆的投影 ..... 33

#### 1.3.3 螺旋线 ..... 34

#### 1.3.4 空间曲线的展开 ..... 37

#### 1.3.5 曲面的形成与分类 ..... 38

#### 1.3.6 单曲面 ..... 39

#### 1.3.7 扭曲面 ..... 42

#### 1.3.8 曲线面 ..... 44

### 1.4 构件表面的结合线 ..... 46

#### 1.4.1 常见表面上取点 ..... 46

#### 1.4.2 平面与曲面间的结合线 ..... 48

#### 1.4.3 用表面取点法作结合线 ..... 51

#### 例 1-1 求作平面与圆锥面的结合线 ..... 52

#### 例 1-2 求作两圆柱面

|                           |    |                       |     |
|---------------------------|----|-----------------------|-----|
| 的结合线·····                 | 53 | 弯管·····               | 93  |
| 1.4.4 用辅助面法作结合线·····      | 54 | 例 2-16 三节直角等径圆柱       |     |
| 例 1-3 求作圆锥与圆球表面           |    | 弯管·····               | 94  |
| 的结合线·····                 | 55 | 例 2-17 四节直角等径圆柱       |     |
| 例 1-4 求作斜交两圆柱             |    | 弯管·····               | 95  |
| 的结合线·····                 | 56 | 例 2-18 三节平行口等径圆柱      |     |
| 1.4.5 结合线的特殊情况·····       | 58 | 弯管·····               | 96  |
| 1.5 钣金展开的工艺处理·····        | 61 | 例 2-19 等径正交圆柱三通管····· | 98  |
| 1.5.1 构件表面的分析与设置·····     | 62 | 例 2-20 等径斜交圆柱三通管····· | 99  |
| 1.5.2 钣金展开时的板厚处理·····     | 70 | 例 2-21 等径Y形圆柱三通管····· | 100 |
| 1.5.3 薄板制件的咬缝和卷边·····     | 78 | 例 2-22 支管斜插等径圆柱       |     |
| <b>第 2 章 图解展开方法</b> ····· | 80 | 弯管·····               | 100 |
| 2.1 平行线法的作图原理·····        | 80 | 例 2-23 等径裤形圆柱三通管····· | 102 |
| 例 2-1 斜截五棱柱管的展开·····      | 81 | 例 2-24 五节等径圆柱四通管····· | 102 |
| 例 2-2 四棱柱管的展开·····        | 81 | 例 2-25 带补料两节等径圆柱      |     |
| 例 2-3 斜截圆柱管的展开·····       | 83 | 弯管·····               | 104 |
| 例 2-4 两端斜截圆柱管             |    | 例 2-26 带补料直角等径圆柱      |     |
| 的展开·····                  | 83 | 弯管·····               | 105 |
| 例 2-5 两端斜截椭圆柱             |    | 例 2-27 带补料等径圆柱        |     |
| 管的展开·····                 | 84 | 三通管·····              | 106 |
| 2.2 放射线法的作图原理·····        | 85 | 例 2-28 带补料等径直角圆柱      |     |
| 例 2-6 正六棱锥的展开·····        | 86 | 三通管·····              | 107 |
| 例 2-7 直角四棱锥管的展开·····      | 87 | 例 2-29 带补料等径圆柱        |     |
| 例 2-8 斜截圆锥管的展开·····       | 87 | 四通管·····              | 108 |
| 例 2-9 椭圆锥的展开·····         | 88 | 例 2-30 裤形长圆柱三通管·····  | 109 |
| 例 2-10 远锥顶圆锥面的展开·····     | 88 | 例 2-31 两节拱形弯管·····    | 110 |
| 2.3 三角线法的作图原理·····        | 90 | 例 2-32 两节横拱形弯管·····   | 111 |
| 例 2-11 方口连接管的展开·····      | 90 | 例 2-33 方底拱形侧口三通管····· | 113 |
| 例 2-12 矩形顶圆底平行口连接         |    | 例 2-34 三节等径圆柱蛇形管····· | 114 |
| 管的展开·····                 | 91 | 例 2-35 三节双直角圆柱弯管····· | 115 |
| 例 2-13 等径圆形口直角接头          |    | 例 2-36 五节双直角圆柱弯管····· | 115 |
| 的展开·····                  | 92 | 2.4.2 放射线法展开实例·····   | 116 |
| 2.4 图解展开方法应用              |    | 例 2-37 圆锥管·····       | 116 |
| 实例·····                   | 93 | 例 2-38 椭圆锥管·····      | 118 |
| 2.4.1 平行线法展开实例·····       | 93 | 例 2-39 料斗·····        | 118 |
| 例 2-14 斜截圆柱管·····         | 93 | 例 2-40 叉形椭圆锥三通管·····  | 120 |
| 例 2-15 两节等径直角圆柱           |    | 例 2-41 三节任意角圆锥弯管····· | 121 |
|                           |    | 例 2-42 四节直角圆锥弯管·····  | 123 |

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
| 例 2-43 | 斜交两圆锥三通管        | 123 |
| 例 2-44 | 两椭圆锥斜交圆锥<br>四通管 | 126 |
| 例 2-45 | 五节直角圆锥三通管       | 126 |
| 2.4.3  | 三角线法展开实例        | 129 |
| 例 2-46 | 圆顶矩形底接头         | 129 |
| 例 2-47 | 圆顶带圆角方底接头       | 130 |
| 例 2-48 | 圆顶矩形底偏心接头       | 131 |
| 例 2-49 | 方顶椭圆底扭转接头       | 132 |
| 例 2-50 | 圆顶斜矩形底接头        | 132 |
| 例 2-51 | 圆顶矩形侧口直角<br>接头  | 134 |
| 例 2-52 | 圆侧口斜矩形顶接头       | 135 |
| 例 2-53 | 长圆侧口斜矩形<br>顶接头  | 137 |
| 例 2-54 | 圆顶椭圆底接头         | 138 |
| 例 2-55 | 椭圆口换向接头         | 139 |
| 例 2-56 | 长圆顶圆底错心接头       | 140 |
| 例 2-57 | 长圆口错心换向接头       | 141 |
| 例 2-58 | 斜圆顶圆底接头         | 143 |
| 例 2-59 | 圆顶斜椭圆底接头        | 144 |
| 例 2-60 | 圆侧口圆底直角接头       | 145 |
| 例 2-61 | 炉嘴              | 146 |
| 例 2-62 | 圆顶长圆鞍形底接头       | 147 |
| 例 2-63 | 圆顶四半圆拱形底<br>接头  | 148 |
| 例 2-64 | 圆顶两半圆鞍形底<br>接头  | 150 |
| 2.4.4  | 复合形面构件的展开<br>实例 | 150 |
| 例 2-65 | 两节圆柱圆锥直角<br>弯管  | 151 |
| 例 2-66 | 圆锥圆柱漏斗          | 153 |
| 例 2-67 | 三节平行口圆柱圆锥<br>弯管 | 153 |
| 例 2-68 | 三节直角圆柱圆锥<br>弯管  | 156 |
| 例 2-69 | 三节直角圆-长圆        |     |

|        |                 |     |
|--------|-----------------|-----|
|        | 口弯管 .....       | 156 |
| 例 2-70 | 三节直角长圆-圆        |     |
|        | 口弯管 .....       | 158 |
| 例 2-71 | 等分角圆柱圆锥         |     |
|        | 三通管 .....       | 159 |
| 例 2-72 | 圆柱圆锥Y形三通管 ..... | 159 |
| 例 2-73 | 椭圆柱椭圆锥三         |     |
|        | 通管 .....        | 161 |
| 例 2-74 | 圆柱圆锥裤形三         |     |
|        | 通管 .....        | 163 |
| 例 2-75 | 三节双向圆柱圆锥        |     |
|        | 三通管 .....       | 163 |
| 例 2-76 | 偏心圆柱圆锥三通管 ..... | 164 |
| 例 2-77 | 工字形圆柱圆锥         |     |
|        | 四通管 .....       | 167 |
| 例 2-78 | 圆柱主管三锥支管        |     |
|        | 四通管 .....       | 167 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第3章 计算展开方法 .....               | 170 |
| 3.1 计算展开基础 .....               | 170 |
| 3.1.1 常用坐标系 .....              | 170 |
| 3.1.2 直线实长和两平面间<br>夹角的计算 ..... | 171 |
| 3.1.3 圆的计算 .....               | 173 |
| 3.1.4 椭圆的计算 .....              | 174 |
| 3.2 实长计算法展开原理 .....            | 175 |
| 例 3-1 斜上口方锥管 .....             | 175 |
| 例 3-2 三节矩形口直角<br>换向弯管 .....    | 176 |
| 例 3-3 圆斜顶圆底连接管 .....           | 178 |
| 例 3-4 两圆锥面截断正<br>螺旋面 .....     | 181 |
| 3.3 坐标计算法展开原理 .....            | 182 |
| 例 3-5 斜截圆柱管 .....              | 183 |
| 例 3-6 圆柱面截断圆柱管 .....           | 184 |
| 例 3-7 斜截圆锥管 .....              | 186 |
| 例 3-8 圆锥正交圆柱管 .....            | 188 |
| 3.4 参数化方法展开原理 .....            | 191 |

|                                 |     |                                  |     |
|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 例 3-9 多节任意角圆锥弯管 .....           | 192 | 例 3-31 方柱正交圆柱三通管 .....           | 239 |
| 例 3-10 异径偏斜交圆柱<br>三通管 .....     | 194 | 例 3-32 扭转 45°方柱正交圆<br>柱三通管 ..... | 240 |
| 3.5 钣金展开的数表方法 .....             | 199 | 例 3-33 圆柱正交四棱锥管 .....            | 241 |
| 例 3-11 多节任意角圆柱弯管 .....          | 199 | 例 3-34 圆柱正交四棱柱管 .....            | 242 |
| 3.6 计算展开方法应用                    |     | 例 3-35 圆柱交矩形弯管<br>三通管 .....      | 244 |
| 举例 .....                        | 208 | 例 3-36 矩形管横交圆锥<br>四通管 .....      | 245 |
| 3.6.1 平板构件计算展开<br>实例 .....      | 208 | 例 3-37 倒棱锥正交圆柱<br>三通管 .....      | 246 |
| 例 3-12 平行口方锥管 .....             | 208 | 例 3-38 四棱柱斜交圆柱<br>三通管 .....      | 248 |
| 例 3-13 矩形口斜漏斗 .....             | 209 | 3.6.4 型钢构件计算展<br>开实例 .....       | 250 |
| 例 3-14 斜下口方锥管 .....             | 211 | 例 3-39 角钢折角内弯 90° .....          | 251 |
| 例 3-15 直角方口连接管 .....            | 213 | 例 3-40 角钢折角内弯钝角 .....            | 251 |
| 例 3-16 斜下口棱锥管 .....             | 214 | 例 3-41 角钢折角内弯锐角 .....            | 251 |
| 例 3-17 三节平行口矩形弯管 .....          | 216 | 例 3-42 角钢圆角内弯 90° .....          | 252 |
| 例 3-18 上口扭转 45°的<br>连接管 .....   | 217 | 例 3-43 角钢圆角内弯任意角 .....           | 252 |
| 例 3-19 矩形口直漏斗 .....             | 218 | 例 3-44 角钢内弯 90° .....            | 252 |
| 例 3-20 方口裤形三通管 .....            | 219 | 例 3-45 角钢内弯任意角 .....             | 253 |
| 例 3-21 换向矩形口裤形<br>三通管 .....     | 221 | 例 3-46 角钢外弯 90° .....            | 253 |
| 例 3-22 三节直角换向矩形<br>口弯管 .....    | 223 | 例 3-47 角钢外弯任意角 .....             | 254 |
| 例 3-23 三节直角连接管 .....            | 224 | 例 3-48 角钢圈 .....                 | 254 |
| 3.6.2 柱面和锥面构件计算<br>展开实例 .....   | 227 | 例 3-49 槽钢折角立弯 90° .....          | 255 |
| 例 3-24 带补料等径圆柱<br>三通管 .....     | 227 | 例 3-50 槽钢折角立弯任意角 .....           | 256 |
| 例 3-25 等径正交带补料圆<br>柱三通管 .....   | 228 | 例 3-51 槽钢圆角立弯 90° .....          | 256 |
| 例 3-26 圆角方锥管 .....              | 229 | 例 3-52 槽钢圆角立弯任意角 .....           | 256 |
| 例 3-27 三节直角拱形弯管 .....           | 231 | 例 3-53 槽钢立弯 90° .....            | 257 |
| 例 3-28 三节直角横拱形<br>弯管 .....      | 232 | 例 3-54 槽钢内弯任意角 .....             | 257 |
| 例 3-29 任意角圆柱圆锥弯管 .....          | 233 | 例 3-55 槽钢外弯任意角 .....             | 258 |
| 例 3-30 任意角圆锥圆柱弯管 .....          | 236 | 例 3-56 槽钢圈 .....                 | 258 |
| 3.6.3 平面与曲面相交构件计算<br>展开实例 ..... | 239 | 例 3-57 工字钢圈 .....                | 258 |
|                                 |     | 第 4 章 不可展曲面近似展<br>开方法 .....      | 260 |
|                                 |     | 4.1 概述 .....                     | 260 |

|                              |     |                              |     |
|------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 4.2 不可展曲面构件的近似展开实例 .....     | 260 | 4.3.2 不可展曲面近似展开的一般方法 .....   | 285 |
| 4.2.1 回转曲面构件的近似展开 .....      | 260 | 4.3.3 不可展曲面近似展开的误差分析 .....   | 286 |
| 例 4-1 半球封头 .....             | 260 | 4.3.4 复杂边界不可展曲面的展开 .....     | 291 |
| 例 4-2 平顶环形封头 .....           | 267 |                              |     |
| 例 4-3 球罐 .....               | 269 | <b>第 5 章 计算机辅助展开方法</b> ..... | 293 |
| 例 4-4 封头构件的整体展开 .....        | 271 | 5.1 概述 .....                 | 293 |
| 4.2.2 螺旋面构件的近似展开 .....       | 273 | 5.2 用计算机绘制展开图 .....          | 293 |
| 例 4-5 同轴两圆柱面截断的正螺旋面 .....    | 273 | 5.2.1 AutoCAD 绘图软件简介 .....   | 294 |
| 例 4-6 同轴两圆柱面截断的斜螺旋面 .....    | 275 | 5.2.2 用 AutoCAD 绘制展开图 .....  | 309 |
| 例 4-7 同轴圆柱面和圆锥面截断的正螺旋面 ..... | 276 | 5.3 编制计算机展开程序 .....          | 314 |
| 例 4-8 矩形等截面 180°螺旋管 .....    | 279 | 5.3.1 编程计算展开数据 .....         | 315 |
| 例 4-9 矩形变截面 180°螺旋管 .....    | 281 | 5.3.2 编程绘制展开图 .....          | 317 |
| 4.3 不可展曲面近似展开的相关技术 .....     | 284 | 5.4 计算机钣金展开系统 .....          | 320 |
| 4.3.1 不可展曲面的类型和表达 .....      | 284 | <b>参考文献</b> .....            | 325 |

# 第 1 章 钣金展开的基础知识

## 1.1 几何作图

在钣金展开过程中,无论是采用图解方法,还是计算方法,都需要通过几何图形的绘制,最终得到构件的展开图。下面介绍常用的几何作图方法。

### 1.1.1 等分直线段

如图 1-1 所示,已知直线段  $AG$ , 将其作  $N$  等分, 方法如下:

1) 过直线段端点  $A$  作辅助线  $AN$ ;

2) 从  $A$  点开始, 用相同距离在直线  $AN$  上取  $N$  个等分点  $1, 2, \dots, N$ ;

3) 用直线连接  $GN$ , 并过各等分点分别作  $GN$  的平行线, 交  $AG$  线段于  $B, C, \dots, F$ , 完成直线段  $AG$  的  $N$  等分。

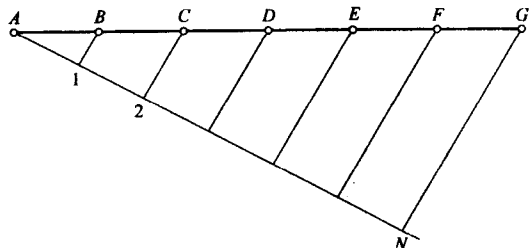


图 1-1 等分直线段

### 1.1.2 按比例分割直线段

如图 1-2 所示, 已知直线段  $AD$ , 要求按比例  $1:2:3$  将其分割, 求分点  $B$  和  $C$  的位置。

1) 过直线段端点  $A$  任作一辅助直线  $AE$ 。

2) 以  $A$  点开始, 用相同距离在直线  $AE$  上取六个等分点, 其中  $B', C'$  和  $D'$  使  $AB': B'C': C'D' = 1:2:3$ 。

3) 用直线连接  $DD'$ , 并过  $B', C'$  分别作  $DD'$  的平行线, 交  $AD$  线段于点  $B, C$ , 则  $AB: BC: CD = 1:2:3$ 。

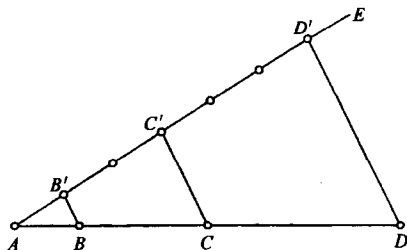


图 1-2 按比例  
分割直线段

### 1.1.3 直角的三等分

如图 1-3 所示, 已知直角  $AOB$ , 作其三等分的方法如下:

1) 以  $O$  点为圆心, 适当大小  $R$  为半

径画圆弧交直角边  $OA$  和  $OB$  于点  $C$  和  $D$ 。

2) 分别以点  $C$  和  $D$  为圆心, 以  $R$  为半径画圆弧交  $C$ 、 $D$  间的圆弧于点  $E$  和  $F$ 。

3) 连接点  $OE$  和  $OF$ , 即完成直角的三等分。

#### 1.1.4 角的任意等分

角的任意等分只能采用近似方法作出, 下面以  $\angle AOF$  的五等分为例说明作图步骤 (图 1-4)。

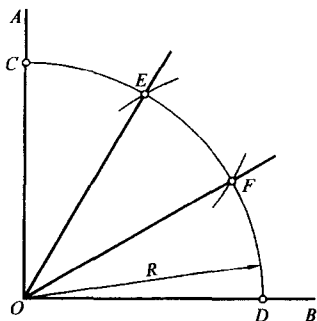


图 1-3 直角的三等分

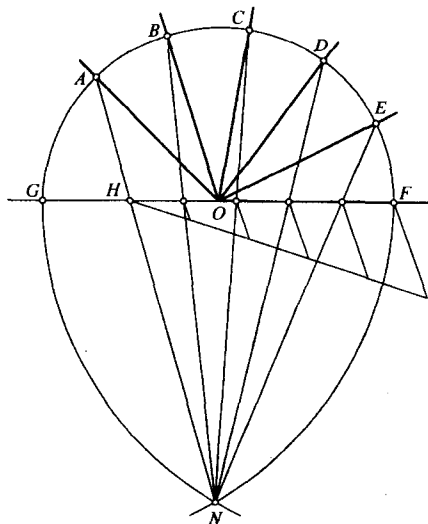


图 1-4 角的任意等分

1) 以  $O$  点为圆心, 适当长度为半径作圆弧  $FA$ , 并交于  $FO$  的延长线于点  $G$ 。

2) 分别以  $F$ 、 $G$  为圆心, 以  $FG$  间的距离为半径画圆弧, 两圆弧相交于点  $N$ 。

3) 用直线连接  $AN$ , 与  $GF$  交于点  $H$ 。将线段  $HF$  五等分, 过点  $N$  与各分点连直线分别与半圆弧交于点  $B$ 、 $C$ 、 $D$  和  $E$ 。

4) 连接  $OB$ 、 $OC$ 、 $OD$  和  $OE$ , 即完成角的五等分。

#### 1.1.5 圆的三、六、十二等分

已知圆  $O$ , 其半径为  $R$ , 作其三、六、十二等分的方法如图 1-5 所示。

1) 在图 1-5a 中, 互相垂直两直径的端点分别为  $AG$  和  $DJ$ 。以点  $G$  为圆心, 以  $R$  为半径作圆弧交圆  $O$  于点  $E$  和  $I$ , 则点  $A$ 、 $E$  和  $I$  将圆  $O$  三等分。

2) 在图 1-5b 中, 再以点  $A$  为圆心, 以  $R$  为半径作圆弧交圆  $O$  于点  $C$  和  $K$ ,

则点  $A$ 、 $C$ 、 $E$ 、 $G$ 、 $I$ 、 $K$  将圆  $O$  六等分。

3) 在图 1-5c 中, 再分别以  $D$ 、 $J$  为圆心, 以  $R$  为半径作圆弧交圆  $O$  于  $B$ 、 $F$  和  $H$ 、 $L$ , 则点  $A$ 、 $B$ 、 $\cdots$ 、 $L$  将圆  $O$  十二等分。

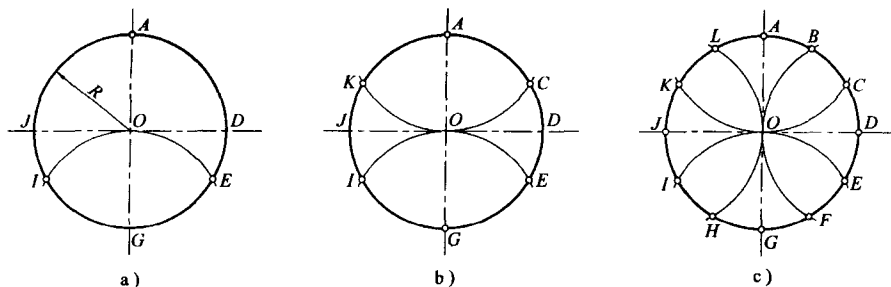


图 1-5 圆的三、六、十二等分

a) 圆的三等分 b) 圆的六等分 c) 圆的十二等分

### 1.1.6 圆的五等分

如图 1-6 所示, 已知圆  $O$ , 作其五等分。

- 1) 圆  $O$  中互相垂直的直径为  $AB$  和  $CD$ , 先求出  $OD$  的中点  $E$ 。
- 2) 以点  $E$  为圆心,  $EA$  为半径作圆弧交  $OC$  于点  $F$ 。
- 3) 以线段  $AF$  为弦长, 在圆  $O$  上依次截取点  $G$ 、 $H$ 、 $I$  和  $J$ , 点  $A$ 、 $G$ 、 $H$ 、 $I$ 、 $J$  将圆  $O$  五等分。

### 1.1.7 用弦长系数表等分圆周

在等分圆周时, 可以利用圆周弦长系数表 (表 1-1) 查取相应的弦长系数  $K$ ,  $K$  乘上圆直径  $D$ , 便得到每份圆周所对应的弦长  $S$ 。图 1-7 是圆  $O$  九等分的例子, 其直径  $D = 100\text{mm}$ 。查表 1-1, 当等分数  $n = 9$  时,  $K = 0.34202$ ,  $S = D \times K = 100 \times 0.34202\text{mm} = 34.202\text{mm}$ 。

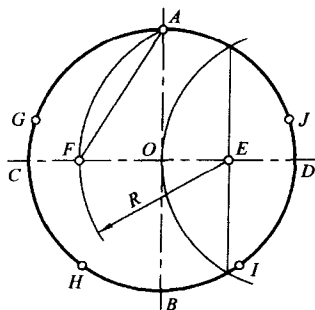


图 1-6 圆的五等分

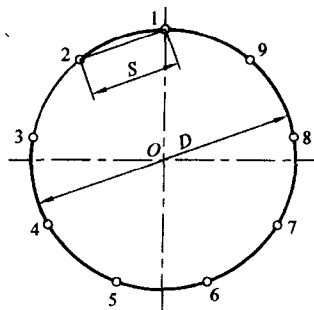


图 1-7 圆的九等分

## 4 钣金展开技术与应用实例

表 1-1 圆周弧长系数表

| $n$ | $K$     | $n$ | $K$     | $n$ | $K$     | $n$ | $K$     | $n$ | $K$     |
|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
| 1   | 0.00000 | 21  | 0.14904 | 41  | 0.07655 | 61  | 0.05148 | 81  | 0.03878 |
| 2   | 1.00000 | 22  | 0.14231 | 42  | 0.07473 | 62  | 0.05065 | 82  | 0.03830 |
| 3   | 0.86603 | 23  | 0.13617 | 43  | 0.07300 | 63  | 0.04985 | 83  | 0.03784 |
| 4   | 0.70711 | 24  | 0.13053 | 44  | 0.07134 | 64  | 0.04907 | 84  | 0.03739 |
| 5   | 0.58779 | 25  | 0.12533 | 45  | 0.06976 | 65  | 0.04831 | 85  | 0.03695 |
| 6   | 0.50000 | 26  | 0.12054 | 46  | 0.06824 | 66  | 0.04758 | 86  | 0.03652 |
| 7   | 0.43388 | 27  | 0.11609 | 47  | 0.06679 | 67  | 0.04687 | 87  | 0.03610 |
| 8   | 0.38268 | 28  | 0.11196 | 48  | 0.06540 | 68  | 0.01618 | 88  | 0.03569 |
| 9   | 0.34202 | 29  | 0.10812 | 49  | 0.06407 | 69  | 0.04552 | 89  | 0.03529 |
| 10  | 0.30902 | 30  | 0.10453 | 50  | 0.06279 | 70  | 0.04486 | 90  | 0.03490 |
| 11  | 0.28173 | 31  | 0.10117 | 51  | 0.06156 | 71  | 0.04423 | 91  | 0.03452 |
| 12  | 0.25882 | 32  | 0.09802 | 52  | 0.06038 | 72  | 0.04362 | 92  | 0.03414 |
| 13  | 0.23932 | 33  | 0.09506 | 53  | 0.05924 | 73  | 0.04302 | 93  | 0.03377 |
| 14  | 0.22252 | 34  | 0.09227 | 54  | 0.05814 | 74  | 0.04244 | 94  | 0.03341 |
| 15  | 0.20791 | 35  | 0.08964 | 55  | 0.05709 | 75  | 0.04188 | 95  | 0.03306 |
| 16  | 0.19509 | 36  | 0.08716 | 56  | 0.05607 | 76  | 0.04132 | 96  | 0.03272 |
| 17  | 0.18375 | 37  | 0.08481 | 57  | 0.05509 | 77  | 0.04079 | 97  | 0.03238 |
| 18  | 0.17365 | 38  | 0.08258 | 58  | 0.05414 | 78  | 0.04027 | 98  | 0.03205 |
| 19  | 0.16459 | 39  | 0.08047 | 59  | 0.05322 | 79  | 0.03976 | 99  | 0.03173 |
| 20  | 0.15643 | 40  | 0.07846 | 60  | 0.05234 | 80  | 0.03926 | 100 | 0.03141 |

### 1.1.8 由等腰三角形的周长和高作三角形

如图 1-8 所示, 已知等腰三角形的周长为  $L$ , 高为  $H$ , 作三角形的步骤为:

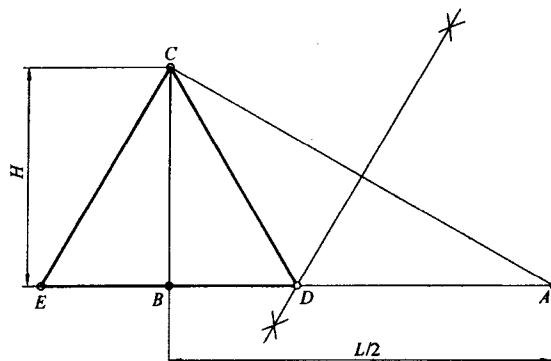


图 1-8 由等腰三角形的周长和高作三角形

1) 作直线段  $AB$ , 长为  $L/2$ , 过点  $B$  作  $AB$  线段的垂线, 并在其上取点  $C$ , 使  $BC = H$ 。

2) 用直线连接  $AC$ , 作  $AC$  的垂直平分线, 并与  $AB$  交于点  $D$ 。

3) 在  $DB$  延长线上取点  $E$ , 使  $BE = DB$ , 三角形  $CDE$  即为所求。

### 1.1.9 由周长、高和顶角作三角形

图 1-9 中, 已知三角形的周长为  $L$ , 高为  $H$ , 顶角为  $\theta$ , 其作图步骤为:

1) 作  $\angle DAE = \theta$ , 并使  $AD = AE = L/2$ 。

2) 过  $D$ 、 $E$  两点分别作  $DA$  和  $EA$  的垂线并相交于  $O$  点, 以  $O$  点为圆心、 $OD$  为半径作圆。

3) 以  $A$  点为圆心、 $H$  为半径作圆弧, 然后作圆弧和圆的公切线交  $AD$  于点  $C$ 、交  $AE$  于点  $B$ , 三角形  $ABC$  即为所求。

### 1.1.10 已知边长作正多边形

已知正多边形的边长为  $AB$ , 求作正多边形的方法如图 1-10 所示。

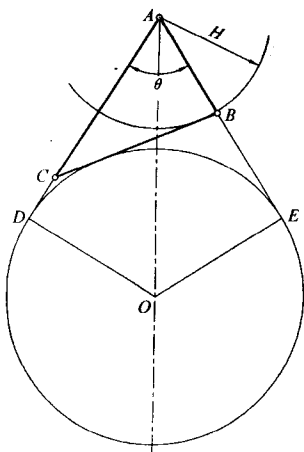


图 1-9 由周长、高和顶角作三角形

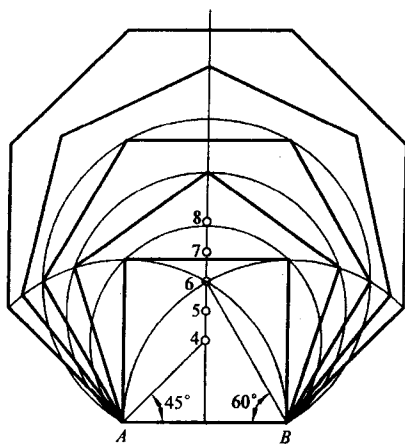


图 1-10 由边长作正多边形

1) 先作线段  $AB$  的垂直平分线, 然后过  $A$  点和  $B$  点分别作与  $AB$  成  $45^\circ$  和  $60^\circ$  的斜线, 并与垂直平分线分别交于点 4 和点 6。

2) 取点 4 和点 6 的中点 5, 则点 4、5、6 分别为以  $AB$  为边长的正四边、正五边和正六边形外接圆的中心。

3) 以点 4 和点 5 间的距离为长度, 在  $AB$  的垂直平分线上可以逐次截取点 7、8、9……, 它们分别为以  $AB$  为边长的正七边形、正八边形、正九边形……

的外接圆的中心。

4) 最后作出所求正多边形的外接圆, 并以  $AB$  为弦长划分圆周, 用直线顺序连接各相邻分点即为所求。

### 1.1.11 用同心圆法作椭圆

已知椭圆的长轴为  $AB$ , 短轴为  $CD$  (图 1-11a)。

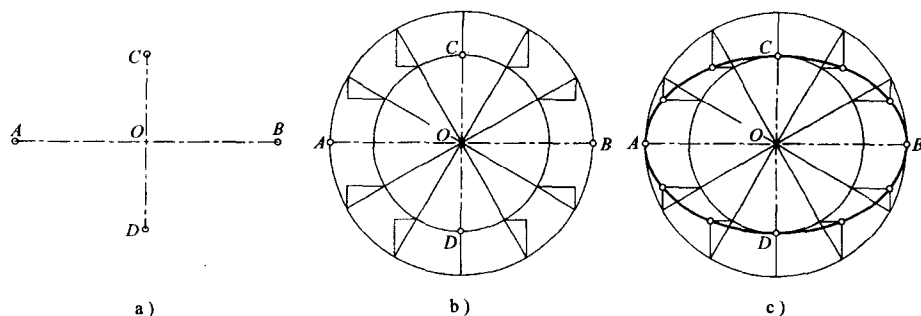


图 1-11 用同心圆法作椭圆

1) 首先以椭圆中心  $O$  为圆心, 分别以  $OA$  和  $OC$  为半径作同心圆, 并作若干直径线与两圆相交 (图 1-11b)。

2) 过小圆上各交点分别作  $AB$  的平行线, 过大圆上各交点分别作  $CD$  的平行线, 相应平行线的交点是所作椭圆上的点 (图 1-11b)。

3) 用光滑曲线顺次连接各点即为所求 (图 1-11c)。

同心圆法理论上是椭圆的精确作图方法。作图时, 直径线的数量越多, 椭圆越准确。

### 1.1.12 用四心圆法作椭圆

四心圆法是椭圆的一种近似作图方法, 它把椭圆近似分解为四段圆弧。椭圆的长轴为  $AB$ , 短轴为  $CD$  (图 1-12a)。

1) 先用直线连接  $AC$  两点。再以  $O$  点为圆心, 以  $OA$  为半径画弧交短轴延长线于点  $E$ , 以  $C$  点为圆心, 以  $CE$  为半径画弧交  $AC$  直线于点  $F$  (图 1-12b)。

2) 作  $AF$  的垂直平分线, 其与长轴交于点 1, 与短轴延长线交于点 2。点 1 和点 2 关于椭圆中心  $O$  的对称点分别为点 3 和点 4 (图 1-12b)。

3) 分别用直线连接点 1 和 2、2 和 3、3 和 4 以及 4 和 1, 这些直线确定出四段圆弧的分界点 (图 1-12c)。

4) 最后分别以点 1、3 和 2、4 为圆心, 以  $1A$  和  $2C$  为半径画出四段圆弧, 即完成椭圆的作图 (图 1-12c)。

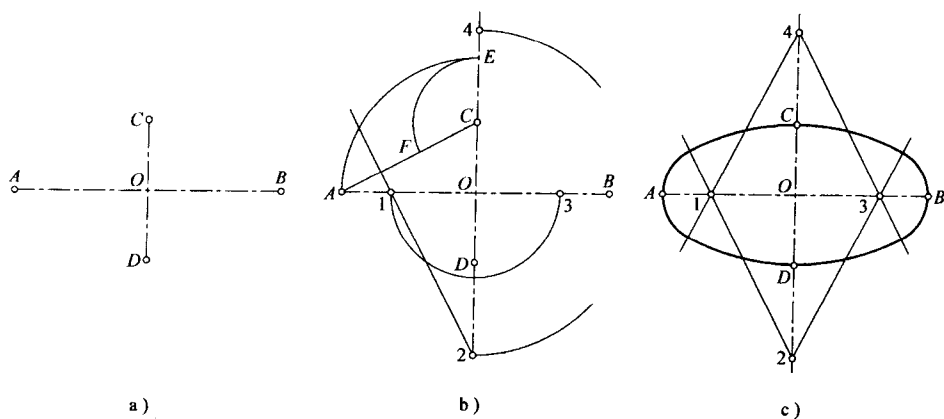


图 1-12 用四心圆法作椭圆

### 1.1.13 弓形及其几何关系

如图 1-13 所示, 弓形是圆周的弦与其所对圆弧所组成的图形。图中  $b$  为弦  $AB$  的长,  $\theta$  为圆心角,  $R$  为圆周的半径,  $h$  为弓高, 弓形中各几何参数间的关系可用下面的公式来表达。

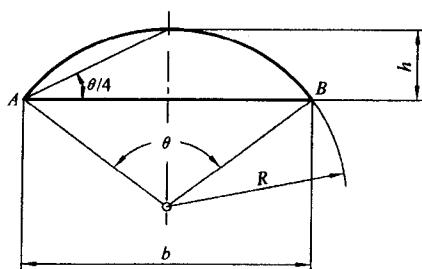


图 1-13 弓形及其几何关系

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| 弦长  | $b = 2R\sin(\theta/2)$                       |
| 半径  | $R = (b^2 + 4h^2)/(8h)$                      |
| 圆心角 | $\theta = 4\arctan(2h/b)$                    |
| 弓高  | $h = 2R\sin^2(\theta/4) = b/2\tan(\theta/4)$ |

### 1.1.14 由弦长和弓高作大半径圆弧

对于大半径圆弧, 由于中心相距较远, 不易用圆规作图, 下面介绍两种在已知大半径圆弧的弦长 ( $L$ ) 和弓高 ( $h$ ) 条件下的作图方法 (图 1-14a)。

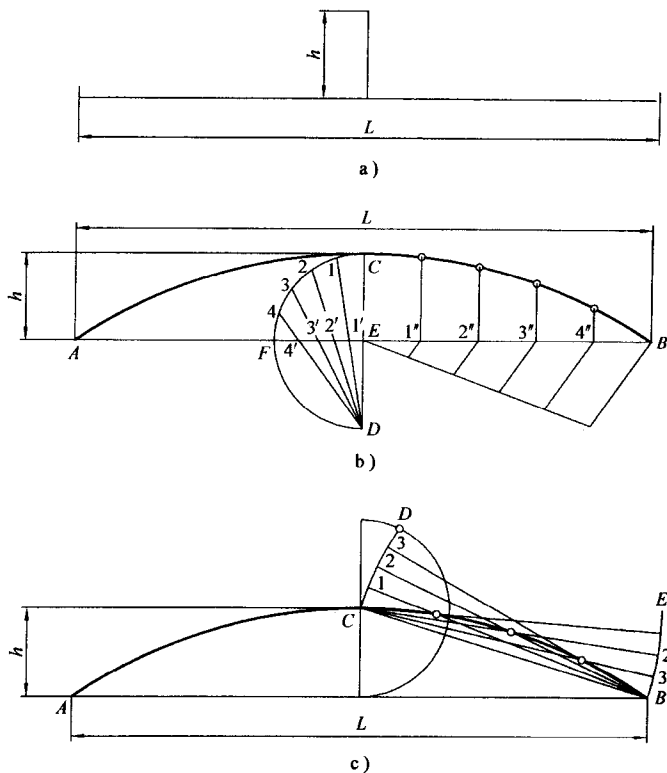


图 1-14 作大半径圆弧

作图方法一 (图 1-14b)

1) 过弦  $AB$  的中点  $E$  作弦的垂线, 在其上取点  $C$ , 使  $EC = h$ 。以  $E$  点为圆心,  $EC$  为半径画半圆交  $CE$  的延长线于点  $D$ , 交  $AB$  于点  $F$ 。

2) 将圆弧  $CF$  作若干等分, 图中以五等分为例, 等分数越多, 作图越精确。把各等分点 1、2、3、4 与点  $D$  连直线, 分别与  $EF$  交于点  $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ 。

3) 将  $EB$  线段作同样等分, 过各等分点  $1''$ 、 $2''$ 、 $3''$ 、 $4''$  分别作  $AB$  的垂线, 取各垂线的长度分别等于点  $11'$ 、 $22'$ 、 $33'$ 、 $44'$  间的距离, 得到各垂线的上端点。

4) 把这些点光滑连接起来便得到所求圆弧的一半, 另一半可通过对称图形的方法作出。

作图方法二 (图 1-14c)

1) 过弦  $AB$  的中点作弦的垂线, 在其上取点  $C$ , 使  $C$  到弦的距离为  $h$ 。以点  $C$  为圆心,  $h$  为半径作半圆。