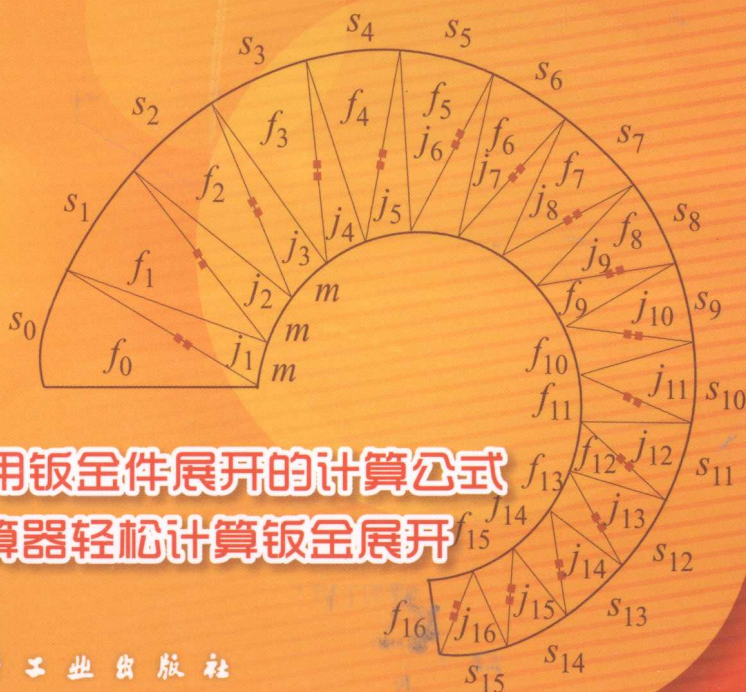
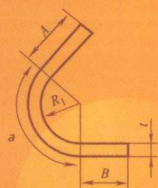


董庆华 编著

钣金展开算法 及应用实例

BANJIN ZHANKAI JISUANFA
JI YINGYONG SHILI



汇集常用钣金件展开的计算公式
用计算器轻松计算钣金展开



化学工业出版社

TG936
D722

编著

钣金展开算法 及应用实例

BANJIIN ZHANKAI JISUANFA
JI YINGYONG SHILI



化学工业出版社

· 北京 ·

利用计算器和计算公式完成钣金展开，是本书的主要特色。

主要内容包括钣金展开计算基础，弯头展开计算，三通管展开计算，锥管及其组合件展开计算，台、罩及圆方过渡接头展开计算，型钢构件展开计算，钢梯展开计算，不可展曲面构件的近似展开计算，封头的近似展开计算等。介绍了 140 多种常用典型钣金构件的展开原理和计算方法，所举实例代表性强，实例按构件种类分类相对集中，便于查阅。书中使用的名词术语、标准、单位等均贯彻了国家最新标准。

本书可供从事钣金作业的工程技术人员、技术工人使用，也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

钣金展开计算法及应用实例/董庆华编著. —北京:
化学工业出版社, 2010.1

ISBN 978-7-122-06933-7

I. 钣… II. 董… III. 钣金工-计算方法 IV. TG936

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 195048 号

责任编辑: 张兴辉

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 顾淑云

装帧设计: 史利平

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 装: 北京白帆印务有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 317 千字

2010 年 2 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

钣金构件和制品在机械、石油、化工、冶金、轻工等行业应用非常广泛，其中钣金展开是钣金构件和制品生产中的一个重要环节。掌握钣金展开原理和计算方法是准确、快速地作出展开图的前提，是提高产品质量、降低材料消耗、提高工作效率的关键。

全书共分 9 章，分别是钣金展开计算基础，弯头展开计算，三通管展开计算，锥管及其组合件展开计算，台、罩及圆方过渡接头展开计算，型钢构件展开计算，钢梯展开计算，不可展曲面构件的近似展开计算，封头的近似展开计算。

本书的编写特点：

(1) 书中使用的名词术语、标准、单位等均贯彻了国家最新标准。

(2) 书中分类介绍了 140 多种常用典型钣金构件的展开原理和计算方法，所举实例代表性强，能举一反三，实例按构件种类分类相对集中，便于查阅。

(3) 对于大部分构件，都附有立体图、投影图、计算原理图和展开图，便于读者认识、学习和使用。为了使读者能够更准确地理解和应用计算公式，书中大都附有实际计算例题。

(4) 书中所给计算公式准确可靠，简单易懂。

书中除特殊注明外，长度均以毫米 (mm) 为单位。

由于时间仓促和编者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 钣金展开计算基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 算法展开	1
1.1.2 图解法展开	2
1.2 算法常用坐标系	3
1.2.1 平面直角坐标系	3
1.2.2 平面极坐标系	3
1.2.3 平面直角坐标与极坐标的转换	3
1.2.4 空间直角坐标系	4
1.3 直线实长的计算	4
1.4 圆的计算	5
1.5 椭圆的计算	5
1.5.1 椭圆弧长的近似计算	6
1.5.2 椭圆周长的精确计算	6
1.5.3 椭圆周长的近似计算	7
1.6 常用几何图形作图法	7
1.6.1 直线的作法	7
1.6.2 垂线的作法	7
1.6.3 平行线的作法	9
1.6.4 圆弧线的作法	9
1.6.5 线段的等分	11
1.6.6 角的任意等分	12
1.6.7 圆的等分	12
1.6.8 直角作法	14
1.6.9 任意角度的计算作法	14
1.6.10 求一段圆弧的圆心	15

1.6.11	用已知半径的圆弧光滑连接两直线	15
1.6.12	用已知半径的圆弧光滑连接直线和圆弧	16
1.6.13	用已知半径的圆弧光滑连接两圆弧	17
1.6.14	两圆外公切线的作法	17
1.6.15	两圆内公切线的作法	18
1.6.16	正三角形作法	19
1.6.17	正四边形作法	19
1.6.18	正五边形作法	20
1.6.19	正多边形的内切圆和外接圆的作法	20
1.6.20	椭圆的作法	20
1.6.21	渐开螺旋线的作法	21
1.6.22	等距螺旋线的作法	22
1.7	板材展开长度计算	23
1.7.1	圆角弯曲展开长度计算	23
1.7.2	折弯角展开长度计算	24
1.8	板厚处理	25
1.8.1	板材弯曲中性层位置的确定	25
1.8.2	单件的板厚处理	26
1.8.3	相贯形体的板厚处理	28
1.9	薄板制件的咬缝和卷边	31
1.9.1	薄板制件的咬缝	31
1.9.2	薄板制件的卷边	31

第2章 弯头展开计算 34

2.1	两节等径直角弯头展开计算	34
2.2	两节等径任意角弯头展开计算	36
2.3	多节等径直角弯头展开计算	38
2.4	多节等径任意角弯头展开计算	40
2.5	两节直角矩形弯头展开计算	43
2.6	两节直角方弯头展开计算	44
2.7	90°蛇形管展开计算	45
2.8	双扭 90°蛇形管展开计算	47

2.9	后倾蛇形管展开计算	49
2.10	矩形直角曲面弯头展开计算	52
2.11	90°换向矩形管弯头展开计算	53

第3章 三通管展开计算 59

3.1	等径直交三通管展开计算	59
3.2	等径直交补料三通管展开计算	61
3.3	等径斜交三通管展开计算	63
3.4	等径Y形管展开计算	65
3.5	等径补料Y形管展开计算	69
3.6	等径裤形管展开计算	73
3.7	人字形三通管展开计算	76
3.8	异径直交三通管展开计算	78
3.9	异径斜交三通管展开计算	80
3.10	异径错心直交三通管展开计算	85
3.11	方口三通管展开计算	88
3.12	方管矩形管直交三通管展开计算	89
3.13	方管矩形管斜交三通管展开计算	89
3.14	方管圆管直交三通管展开计算	91
3.15	圆管方管直交三通管展开计算	93
3.16	矩形管圆管斜交三通管展开计算	95
3.17	矩形断面裤形三通管展开计算	97
3.18	方口曲面三通管展开计算	99

第4章 锥管及其组合件展开计算 101

4.1	正三棱锥展开计算	101
4.2	正四棱锥展开计算	102
4.3	斜四棱锥展开计算	103
4.4	锥形长方台展开计算	104
4.5	上口扭成45°角的方棱锥台展开计算	105
4.6	矩形换向台展开计算	107
4.7	正六棱锥展开计算	108
4.8	正六棱锥台展开计算	109

4.9	斜截方棱锥台展开计算	110
4.10	正心圆锥管展开计算 (薄板)	112
4.11	正心圆锥管展开计算 (厚板)	113
4.12	渐缩率较小的正圆锥管展开计算	115
4.13	斜截圆锥管展开计算	116
4.14	斜圆锥展开计算	119
4.15	斜圆锥管展开计算	120
4.16	椭圆锥展开计算	123
4.17	圆顶椭圆底台展开计算	125
4.18	圆管圆锥管直角弯头展开计算	127
4.19	圆管圆锥管任意角度弯头展开计算	132
4.20	圆锥管两节任意角度弯头展开计算	138
4.21	三节渐进直角弯头展开计算	143
4.22	四节渐进直角弯头展开计算	148
4.23	两节任意角度渐缩方弯头展开计算	151
4.24	直角换向三节矩形弯头展开计算	154
4.25	曲面方锥台展开计算	157
4.26	方口裤形三通管展开计算	158
4.27	方管平交四棱锥管展开计算	163
4.28	四棱锥直交圆管展开计算	165
4.29	圆管直交四棱锥管展开计算	168
4.30	圆管平交四棱锥管展开计算	170
4.31	圆管侧交四棱锥管展开计算	173
4.32	圆管斜交四棱锥管展开计算	176
4.33	裤形圆管圆锥管展开计算	179
4.34	异径裤形三通管展开计算	184
4.35	斜圆锥裤形三通管展开计算	188
4.36	放射状四通管展开计算	193
4.37	圆管平交圆锥管展开计算	196
4.38	圆管垂直侧交圆锥管展开计算	199
4.39	圆管圆锥管直交三通管展开计算	202
4.40	圆管斜交圆锥管展开计算	206

4.41	方管直交圆锥管展开计算	212
4.42	方管斜交圆锥管展开计算	214

第5章 台、罩及圆方过渡接头展开计算 **220**

5.1	长圆台展开计算	220
5.2	带轮罩展开计算	221
5.3	圆顶长圆底罩展开计算	222
5.4	圆顶细长圆底台展开计算	223
5.5	90°长圆换向台展开计算	225
5.6	斜马蹄展开计算	227
5.7	90°换向异径过渡接头展开计算	229
5.8	天圆地方接头展开计算	231
5.9	底口倾斜圆方过渡接头展开计算	232
5.10	顶圆底长方台展开计算	236
5.11	方顶圆底漏斗展开计算	239
5.12	方顶U形底漏斗展开计算	243
5.13	圆顶长方底偏心过渡接头展开计算	246
5.14	圆方过渡90°换向接头展开计算	248
5.15	圆长方过渡90°换向接头展开计算	251
5.16	顶圆底长方斜扭过渡接头展开计算	254
5.17	方裤形三通管展开计算	263
5.18	方圆裤形三通管展开计算	265
5.19	圆腰长方腿裤形三通管展开计算	268
5.20	直角换向Y形管展开计算	270
5.21	方五通管展开计算	273
5.22	圆方过渡四通管展开计算	274
5.23	方圆过渡五通管展开计算	277
5.24	异径五通管展开计算	279

第6章 型钢构件展开计算 **283**

6.1	各种型钢圈展开计算	283
6.1.1	角钢圈	283
6.1.2	槽钢圈	285

6.1.3	工字钢圈	286
6.2	各种型钢的切角和弯曲展开计算	287
6.2.1	角钢的切角	287
6.2.2	角钢折角内弯 90°	287
6.2.3	角钢外弯直角	288
6.2.4	角钢内弯矩形框	290
6.2.5	角钢内弯 90° 圆角	290
6.2.6	角钢外弯 90° 圆角	291
6.2.7	角钢内弯圆角矩形框	291
6.2.8	角钢折角内弯任意角度	292
6.2.9	角钢拼接矩形框	293
6.2.10	槽钢折角大面弯折 90°	293
6.2.11	槽钢大面弯折 90° 圆角	294
6.2.12	槽钢折角大面弯折任意角度	295
6.2.13	槽钢大面双弯折角	296
6.2.14	槽钢立面内弯组对矩形框	296
6.2.15	工字钢的切角	296

第7章 钢梯展开计算 299

7.1	直斜钢梯展开计算	299
7.2	单双折弯钢梯展开计算	301
7.3	来回弯钢梯展开计算	304
7.4	拱顶罐圆柱螺旋盘梯展开计算	307
7.5	球罐一次圆柱螺旋盘梯展开计算	310

第8章 不可展曲面构件的近似展开计算 322

8.1	螺旋面构件的近似展开计算	322
8.1.1	圆柱螺旋输送机的回转叶片展开计算	323
8.1.2	方形螺旋管展开计算	324
8.1.3	方-矩形迂回 180° 螺旋管展开计算	326
8.1.4	锥绞龙叶片渐缩展开计算	328
8.1.5	锥绞龙叶片展开计算	335
8.2	回转曲面构件的近似展开计算	342

8.2.1	拱顶罐分瓣搭接顶板展开计算	342
8.2.2	球面分瓣展开计算	344
8.2.3	球面分带展开计算	345
8.2.4	平顶圆角封头展开计算	348
第9章	封头的近似展开计算	350
9.1	整体成形封头坯料直径的近似计算	350
9.1.1	标准椭圆形封头坯料直径计算	350
9.1.2	抹边锥形封头坯料直径计算	351
9.1.3	半球封头坯料直径计算	352
9.1.4	半球平边封头坯料直径计算	352
9.1.5	半球直边封头坯料直径计算	353
9.1.6	球缺封头坯料直径计算	353
9.1.7	球缺平边封头坯料直径计算	354
9.1.8	球缺直边封头坯料直径计算	354
9.1.9	蝶形封头坯料直径计算	355
9.2	需组拼成形坯料的近似展开	356
9.2.1	球缺分片成形的展开	356
9.2.2	标准椭圆形封头的分瓣展开	358
9.2.3	拱顶储罐对接顶板的展开	360
9.2.4	环形圆弧带的分瓣展开	361
参考文献		363

第1章 钣金展开计算基础

1.1 概述

加工制造工业、石油化工、冶金、交通、造船、国防工业、航天航空、民用建筑等行业，在基本建设施工或加工制作中，许多产品或半成品是由不同材质（如钢板、镀锌钢板、合金钢板、塑料板等）、不同厚度的板材或型材加工而成的，如输送空气的通风系统管道，一般是由直管和各种管件连接而成的，通风管道常用厚度 $\delta=1.5$ 的薄钢板、镀锌钢板、合金钢板及 $\delta>2$ 的塑料板制作。

这些产品或半成品形状各异，在加工制作时，必须预先在金属或非金属板上画出它们的轮廓或部分平面展开图，然后才能加工制作。这种在金属或非金属板材上画出产品或半成品真实形状和大小的作图方法叫做展开放样。如果展开放样正确，则既能确保制作件的精度、产品或半成品的质量，又可以提高工作效率、节省工料、降低成本。

常用的钣金展开方法有计算法和图解法。

1.1.1 计算法展开

计算法指通过理论计算确定相关展开图的坐标值，画出展开图的方法。

计算法展开的步骤如下。

① 画制件的主视图、俯视图或其他需要的视图（可不按尺寸徒手画）。

② 如为圆管,则将其分成若干等份,如16等份或24等份等。小制件可分得少些,大制件要分得多些。等分点愈多展开图精度愈高,但相应的计算愈繁琐。

③ 由各等分点向主视图或相关视图引素线至结合线。如果制件为相贯体,则相贯线可徒手画出。

④ 按圆周等分数绘出展开放样草图,并标注相关代号。

⑤ 将圆周上各等分点折算成角度。

⑥ 依次计算。计算完后应进行校核,确保计算准确无误。

⑦ 根据计算结果作展开图。

1.1.2 图解法展开

图解法指根据投影原理画出制件的相关视图,在视图中画辅助线,并求出一般位置直线、平面的实长或实形,以及相贯体的相贯线等,画出展开图的方法。

图解法展开的步骤如下。

① 熟悉图纸、分析形体。在弄清制件形体的基础上进行形体分析,把复杂的几何图形分解成简单的几何图形。

② 求倾斜线的实长。求倾斜线的实长是图解法作展开图的关键问题。

③ 求一般平面的实形。求一般平面的实形是图解法作展开图的基本问题。

④ 求相贯线。如果两物体相交则应求其相贯线,相贯线指两物体相交时表面的交线。

⑤ 画展开图。按图纸要求,根据制件的特征,选用图解法中的平行线法、放射线法或三角形法画出所需的展开图。

⑥ 检查校核。画出展开图后,应进行检查校核,确保展开图准确无误。

图解展开方法虽然简单,容易掌握、操作直观,但它存在作图误差较大、工作效率低、大型构件受场地限制等缺点。在钣金展开中,随着计算技术的不断提高,用计算方法代替图解方法在生产中

应用的越来越多。计算展开方法通用性强、数据准确，效率高。

1.2 算法常用坐标系

在运用算法展开时，常常需要把计算对象或计算结果定位于相应的坐标系中。对于计算对象，一般采用三维空间直角坐标系，而对于计算结果，由于是平面图形，一般采用二维平面坐标系。

1.2.1 平面直角坐标系

图 1.1 (a) 为平面直角坐标系，相互垂直的横轴 Ox 和纵轴 Oy 将平面分为 I、II、III、IV 四个象限，它们分别对应右上、左上、左下、右下四个区域，平面中一点 M 的位置可用 x 和 y 两个坐标来确定。柱面构件的计算展开常用到平面直角坐标系。

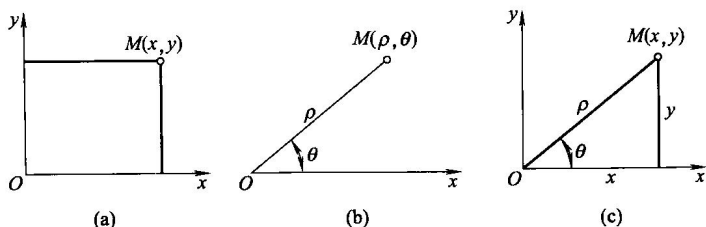


图 1.1 平面坐标系

1.2.2 平面极坐标系

图 1.1 (b) 为平面极坐标系， O 为极点， Ox 为极轴，平面中一点 M 的位置用极角 θ 和极径 ρ 来确定。锥面构件的计算展开常用到极坐标系，使用时应注意，极角 θ 从极轴开始，逆时针转动为正，顺时针转动为负。

1.2.3 平面直角坐标与极坐标的转换

图 1.1 (c) 表示了平面直角坐标与极坐标的转换关系，具体转换公式如下

$$\begin{cases} x = \rho \cos \theta \\ y = \rho \sin \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \begin{cases} \arctan(y/x) & (x > 0) \\ \pi + \arctan(y/x) & (x < 0) \end{cases} \end{cases}$$

在进行较复杂构件的展开计算和建立一类构件通用的计算数学模型时,有时会遇到极坐标的变换。

1.2.4 空间直角坐标系

图 1.2 所示为空间直角坐标系,三根坐标轴 Ox 、 Oy 和 Oz 两两相互垂直,每两根坐标轴形成一个坐标面,即 xOy 、 yOz 和 xOz 坐标面,三个坐标面把空间划分为八个区域。空间中一点 M 的位置可用其三个坐标 x 、 y 和 z 来确定。

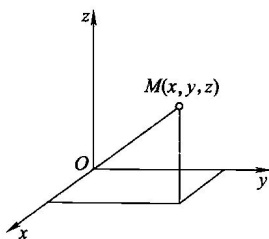


图 1.2 空间直角坐标系

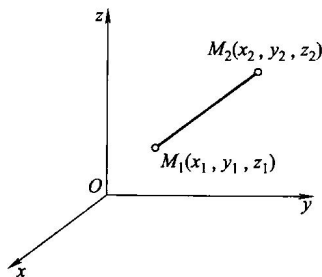


图 1.3 计算直线的实长

1.3 直线实长的计算

直线实长的计算在计算法展开时有着广泛的应用。如图 1.3 所示,空间一般位置直线 M_1M_2 的空间位置由两端点的直角坐标 $M_1(x_1, y_1, z_1)$ 和 $M_2(x_2, y_2, z_2)$ 确定,其实长 L 的计算公式为

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

1.4 圆的计算

圆的计算是展开时最常用的计算之一。如图 1.4 所示，圆 O 的中心与直角坐标系的原点重合，半径为 R 。

圆的方程为

$$x^2 + y^2 = R^2$$

圆的参数方程为

$$\begin{cases} x = R \cos \alpha \\ y = R \sin \alpha \end{cases}$$

圆的周长 L 为

$$L = 2\pi R$$

圆心角 α 所对圆弧的长度 A 为

$$A = \frac{\alpha \pi R}{180^\circ}$$

式中 α ——圆心角，($^\circ$)。

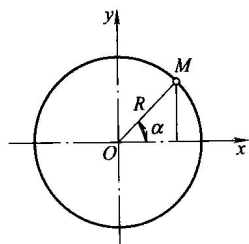


图 1.4 圆的计算

1.5 椭圆的计算

如图 1.5 所示，椭圆 O 的中心与直角坐标系的原点重合，其长轴为 $2a$ 、短轴为 $2b$ ，长短轴方向分别与坐标系的 x 轴和 y 轴重合。

椭圆的方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

椭圆的参数方程为

$$\begin{cases} x = a \cos \alpha \\ y = b \sin \alpha \end{cases}$$

要计算椭圆上点的坐标，可直接利用它的参数方程，如图中 M_i 点的坐标为： $x_i = a \cos \alpha_i$ ， $y_i = b \sin \alpha_i$ 。

椭圆周长和弧长的计算比较复杂，工程中常采用近似计算的方

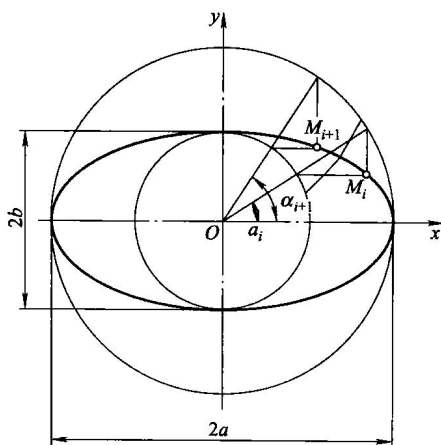


图 1.5 椭圆的计算

法。下面是计算椭圆周长和弧长的几种常用方法。

1.5.1 椭圆弧长的近似计算

采用以弦长代替弧长的计算方法，在图 1.5 中设点 M_i 的坐标为： $x_i = a \cos \alpha_i$ ， $y_i = b \sin \alpha_i$ ，点 M_{i+1} 的坐标为： $x_{i+1} = a \cos \alpha_{i+1}$ ， $y_{i+1} = b \sin \alpha_{i+1}$ ，在 M_i 和 M_{i+1} 两点间的椭圆弧长 L 可近似计算为

$$L = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

$$= \sqrt{a^2 (\cos \alpha_{i+1} - \cos \alpha_i)^2 + b^2 (\sin \alpha_{i+1} - \sin \alpha_i)^2}$$

1.5.2 椭圆周长的精确计算

设椭圆周长为 s ，则

$$s = 4a \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \alpha} d\alpha = 4aE\left(e, \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{式中 } E\left(e, \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\pi}{2} \left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 e^2 - \left(\frac{1 \times 3}{2 \times 4}\right)^2 \frac{e^4}{3} - \left(\frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6}\right)^2 \frac{e^6}{5} - \dots \right]$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$