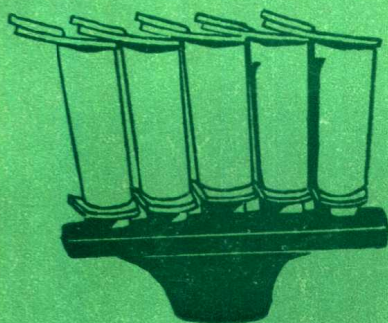




栗 祐 主编

无余量熔模精密铸造

廖 华 清 等编著



国防工业出版社

无余量熔模精密铸造

栗 枯 主编

廖华清 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

无余量熔模精密铸造是第二次世界大战后在航空工业和其他工业推广应用的一项新技术。本书系统地介绍了无余量精密铸造工艺的基础知识和实践经验,反映了国内外无余量精铸技术的现有水平。主要内容包括:无余量精铸的特点与要求;模具设计与制造;浇注系统的设计;可溶性型芯与陶瓷型芯;熔模制造及控制标准;制壳材料及工艺控制;熔炼与浇注的工艺过程等。

本书可供从事熔模铸造的工程技术人员、工人阅读,也可供大学、中专铸造专业师生参考。

无余量熔模精密铸造

机械制造实用新技术丛书之十三

栗 枯 主编

廖华清 等编著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张 5 1/2 143千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数: 0,001—7,000册

统一书号: 15034·2838 定价: 1.05元

科技新书目84-133

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造工业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造行业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗桔同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等高级工程师提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖冶、陈少中、任家耕和贾克琴、张

汉生等同志。

无余量熔模精密铸造是第二次世界大战后在航空和其他工业推广应用的一项新技术。

本书着重介绍了这种新技术的生产工艺，分析了原材料、环境、设备仪器和工艺因素对熔模、型壳、熔铸技术和铸件质量的影响，介绍了模具设计和制造的新技术。作者希望本书对促进我国无余量熔模精密铸造技术的发展有所帮助。

本书由廖华清编写，第六章的一、二、三部分由徐理福编写。郑宝湖、姜仁忠审校。栗祐终审定稿。

在本书编写过程中得到本厂魏瑞华、罗志海、刘秉武等同志的协助，提供了有关资料、数据和宝贵意见，谨对在本书编写和出版工作中给予我们支持和帮助的同志表示感谢。

作者于西安
国营红旗机械厂

目 录

第一章 绪论	1
第二章 模具设计与制造	5
一、无余量叶片铸件图的设计	5
(一)导向叶片铸件图的设计	5
(二)涡轮叶片铸件图的设计	12
二、模具设计与制造	15
(一)模具结构的设计	15
(二)型腔尺寸设计与计算	19
(三)模具的验证与定型	26
第三章 浇注系统的设计	27
一、铸件的补缩	27
(一)铸件的凝固收缩	27
(二)缩孔、疏松的类型与补缩	28
(三)铸件补缩距离	30
二、浇冒口模数计算	33
(一)凝固模数	33
(二)模数计算	35
(三)浇冒口尺寸的确定	42
三、浇注系统设计原则	43
四、浇注系统的种类和实例	46
(一)种类	46
(二)实例照片	51
第四章 型芯	55
一、可溶型芯	55
二、陶瓷型芯	59
(一)陶瓷型芯基体材料与矿化剂	60
(二)陶瓷型芯的压制工艺	67
(三)陶芯的烧结	71
(四)陶芯的强化	72
(五)陶芯检验及标准	73

(六)脱芯	75
第五章 熔模制造	77
一、无余量精铸常用的几种模料	77
二、模料的性能	79
三、模料的制备	82
(一)模料熔制的一般原理	82
(二)熔制工艺	83
(三)模料回收	84
四、熔模制造	85
(一)压制工艺	85
(二)空心零件熔模的压制	90
(三)制模设备	91
五、熔模组合与清洗	95
(一)组合方法	95
(二)自由端制作	96
六、熔模质量控制	97
第六章 铸型	104
一、对型壳性能的要求	104
二、耐火材料	108
(一)电熔刚玉	109
(二)熔融石英-石英玻璃	110
(三)锆英石	110
(四)莫来石基耐火材料	111
三、粘结剂	113
(一)硅酸乙酯	113
(二)硅溶胶	115
(三)酸性粘结剂存在的问题	118
(四)硅酸乙酯和硅溶胶粘结剂的质量控制	119
四、型壳制造	123
(一)制壳工艺方案	123
(二)料浆质量的控制	126
(三)涂料层干燥硬化的控制	129
(四)脱蜡及型壳质量控制	131
(五)制壳设备	133
第七章 熔炼与浇注	138
一、钢和合金的熔炼	138

(一)感应炉的熔炼	139
(二)感应炉中不锈钢的熔炼	146
(三)真空感应炉熔炼	148
(四)真空熔炼与浇注实践	156
二、重熔与铸造	159
(一)高频或中频翻转炉的铸造	159
(二)电弧炉熔铸	163
(三)真空感应炉的熔铸	165

第一章 绪 论

无余量熔模精密铸造是在失蜡铸造法的基础上运用现代技术发展起来的一门新的铸造技术。这种方法可以铸造出几何形状非常复杂的零件，而且，除装配面需经机械加工外，其他内外表面均不需加工，节约了大量的设备和人力。

熔模铸造其实是我国的一种古老传统工艺。早在两千四百多年前，我国就采用失蜡法铸造出精美的工艺品。如湖北随县出土的战国早期曾侯乙墓中的镂空青铜器樽和盘，造型端庄优美、玲珑剔透、纹饰细腻（图13-1）。经考证和鉴定，这种镂空附饰是用失蜡法由锡青铜铸造而成。这种传统工艺方法，目前在北京、山东、苏州、佛山等地还有留存。

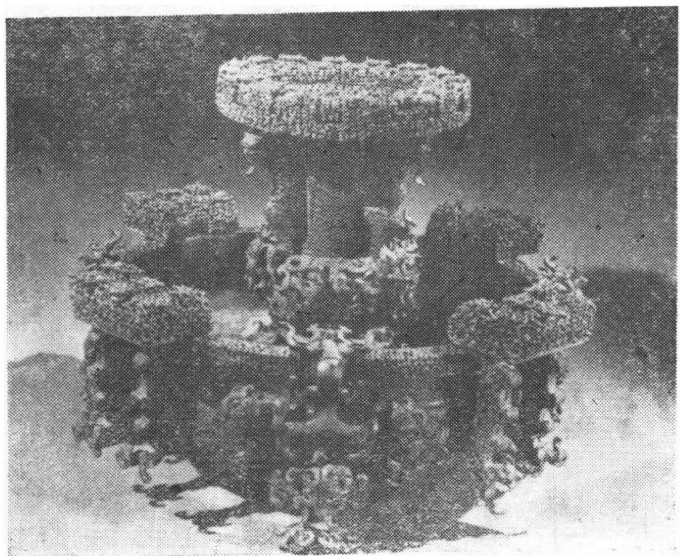


图13-1 战国早期曾侯乙墓中的青铜器樽和盘

五十年代初,我国已将熔模铸造用于机械制造,特别是航空涡轮发动机叶片的生产,到目前为止,已有相当的生产规模。但是,在技术水平方面和国外还有一定差距。

近来,国外精铸技术发展很快,在尺寸公差上已从有余量发展到无余量,在熔铸方法上发展了真空定向和单晶叶片铸造。铸造出来的零件精度高,光度好。例如,英国罗尔斯·罗伊斯(Rolls Royce)公司精铸的涡轮叶片其型面精度一般为 ± 0.127 毫米,局部精度为 ± 0.05 毫米。表面光洁度为 $\nabla 6 \sim \nabla 7$ 。美国密士可(Misco)公司的铸件尺寸在6.25毫米以下的,其公差为 ± 0.10 毫米。可见,采用精铸技术不仅减少了加工工作量、节约贵重金属材料,而且保留了完整的、晶粒细小的铸造表面致密组

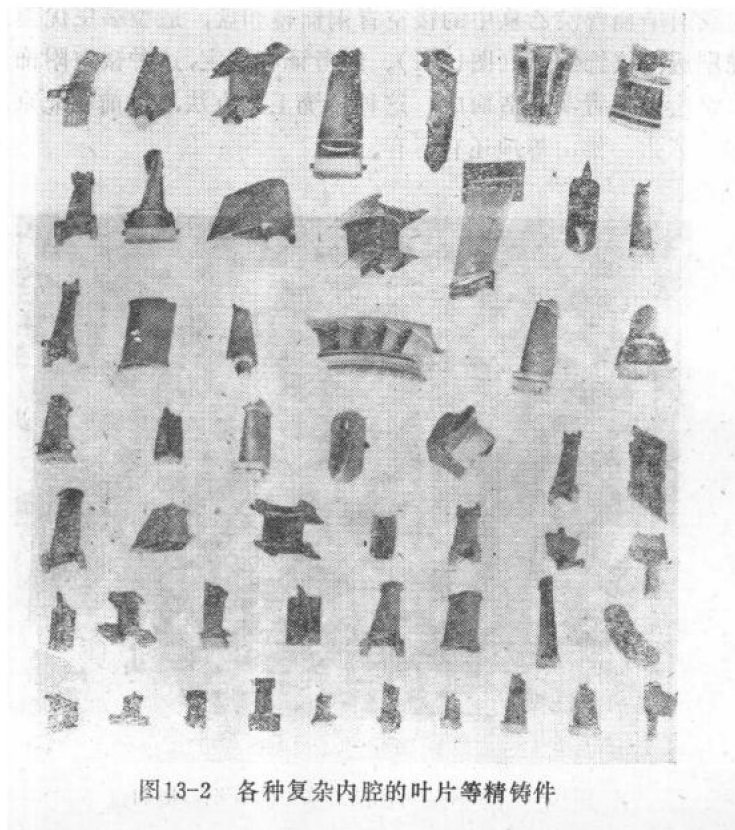


图13-2 各种复杂内腔的叶片等精铸件

织。这种光洁的铸造表面大大提高了高速叶片的抗热冲击性能和疲劳强度。

随着现代航空发动机涡轮前温度的不断提高, 涡轮叶片和导向叶片的冷却技术要求更加严格, 使精铸叶片的内腔越来越复杂, 各种多孔与异形孔叶片、复杂的内腔铸件(图13-2)以及整体铸造的涡轮、导向器和导风轮等(图13-3), 都是采用无余量精密铸造方法生产的。

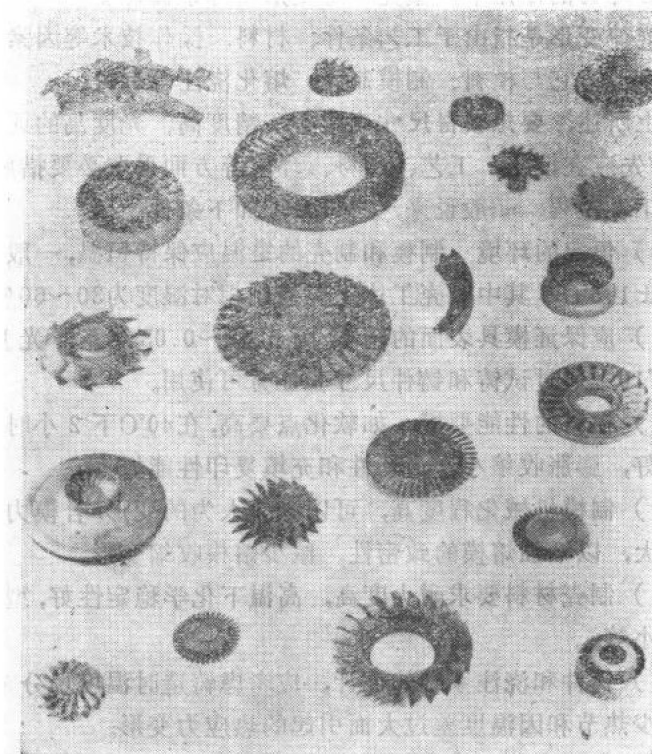


图13-3 整体铸造的涡轮、导向器和导风轮

从有余量铸造发展到无余量铸造, 存在的主要问题是铸件的变形。熔模精密铸造工艺影响铸件变形的因素较多。试验表明, 分为有规律变形和无规律变形两种。有规律变形指各工序在工艺正

常稳定的情况下铸件在铸造过程中所产生的变形，例如叶片浇铸后冷却凝固过程中的收缩变形。这种变形产生的原因有两个方面，其一是热应力引起的变形。热应力来源于铸件各部分的温度差，而温度差大都由于铸件厚薄不均、散热条件不一致所造成。从而铸件冷却凝固时各部分尺寸收缩也不一致，互相制约而产生热应力。其二是，型壳高温软化所引起的变形。铸件浇注后型壳内层温度高达1250℃以上，外部几层也有1000℃以上。在金属流动、静压力及型砂压力的作用下，型壳产生变形而导致铸件变形。

无规律变形是指由于工艺条件、材料、操作技术等因素改变引起的变形。它与模料、制模制壳、熔化浇注等有关。

综上所述，要想获得尺寸变形小、精度高、光度高的无余量铸件，首先应在设备、工艺、材料、环境等方面采取必要措施，严格控制工艺过程。一般说来，必须保证如下条件：

(1) 恒定的环境 制模和制壳的室温应保持恒温，一般控制在 $21.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$ ，其中制壳工序还应控制相对湿度为30~60%。

(2) 应保证模具表面的精度为0.02~0.03毫米，光度为 $\nabla 9 \sim \nabla 10$ 。通过试铸和铸件尺寸验证方可使用。

(3) 模料的性能要好，如软化点要高，在40℃下2小时的热稳定性好，膨胀收缩小，流动性和充填复印性能好等。

(4) 制模机械化程度高，可以减少人为的变形；合模力和注射压力大，以增强熔模的致密性，减少熔模收缩变形。

(5) 制壳材料要求耐火度高，高温下化学稳定性好，型壳线量变化小等。

(6) 铸件和浇注系统的设计，应考虑铸造时温度场分布均匀，减少热节和因温度差过大而引起的热应力变形。

(7) 实行严格的工艺控制，完善各种测试手段。确保必要的工艺试验和尺寸检验的仪器均应具备。

由于熔模精密铸造工艺过程复杂、工序多，影响铸件质量的工艺因素也多，还必须加强生产管理，严格控制质量，才能生产出优质无余量铸件。

第二章 模具设计与制造

模具（压型）是熔模铸造的主要工艺装备，其型腔尺寸精度和表面光度对熔模尺寸精度和表面光度影响很大。模具结构设计和制造质量是无余量铸造中很重要的问题。模具的结构由铸件的几何形状、设计特点和制造工艺所决定。铸件图中设计尺寸的精度要求愈高，几何形状愈复杂，需要机械加工的部位愈少，则模具结构、刚性、光度和制造精度要求愈高。由于无余量精铸件要求的提高，过去我们习惯采用的结构和方法已不能满足要求。本章简要介绍铸件图和模具图设计时应遵循的基本原则。

一、无余量叶片铸件图的设计

按照常规方法进行铸件图的设计时，首先要对产品设计图（零件图）进行审查，既要审查零件结构设计是否符合熔模精铸的特点，又要搞清零件的结构和技术要求，以便根据熔模精铸的生产特点进行工艺设计。工艺设计的内容包括：

- （1）分析工艺方案和工艺参数，确定铸造原则；
- （2）根据零件结构，设计和选择定位基准；
- （3）铸件结构设计和计算；
- （4）绘制铸件图和制订技术要求。

为了获得高质量、经济的铸件，工艺设计是很重要的。所谓高质量应包括尺寸精度和冶金质量两个方面。零件图的结构如果不合理，用现有工艺方法无法保证冶金质量时，就应要求产品设计部门更改设计。

（一）导向叶片铸件图的设计

无余量导向叶片铸件图设计时，应注意定位基准的选择和通道长度测量点的设计。

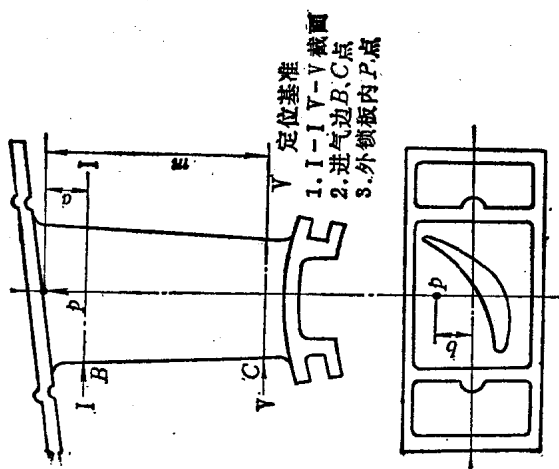


图13-4 某发动机 I 级导向叶片

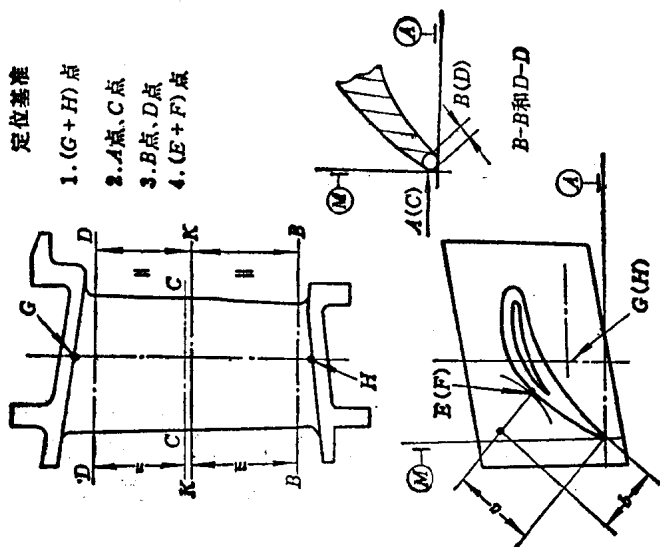


图13-5 新贝低压机 I 级导向叶片

1. 定位基准的选择

选择定位基准是无余量精铸叶片的关键。现用两个不同机型的导向叶片进行对比分析来说明这个问题。

图13-4所示为某发动机Ⅱ级导向叶片有余量精铸件所选择的定位基准。图13-5为斯贝发动机无余量低压Ⅰ级导向叶片选取的基准。两者根本区别在于：

(1) 选取无余量叶片基准时，应充分考虑叶片的工作状态，保证叶片装配后的排气面积符合设计要求。

(2) 无余量叶片基准的选择严格遵循点、线、面的原则，图13-4则违背了这一原则。由于采用叶盆两个截面定位，势必出现过定位，在机械加工过程中将直接影响零件的精度。

(3) 轴向定位点，无余量叶片设计采用叶片中间 $K-K$ 平面（见图13-5），而图13-4则采用端面定位点“ p ”。

为了便于理解，首先用图13-6解释几个无余量叶片常用的名词：喉道线、喉道当量、喉道尺寸、喉道点等。

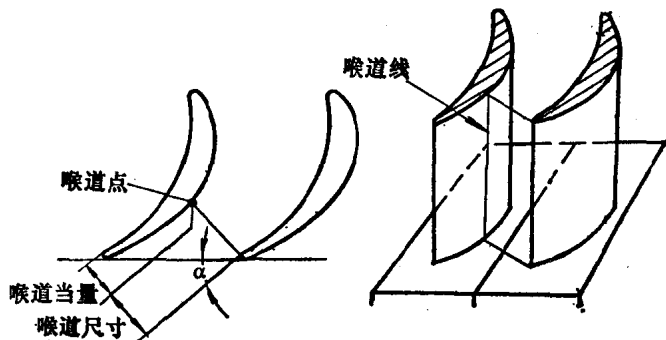


图13-6 无余量叶片喉道尺寸示意图

喉道面积是喷气式航空发动机和燃气轮机的导向叶片设计中的一个重要参数，正确控制喉道面积是对发动机性能的一个重要的技术要求。因此单个叶片应控制其喉道当量。

如果用三个平面来表示基准面时，则图13-4基准可以表示为：

$$\boxed{A} = (P)$$

$$\boxed{B} = (B) + (C)$$

$$\boxed{C} = (I_{\text{主}}) + (V_{\text{主}})。则为过定位，平面C可能有几个。$$

图13-5基准可以表示为：

$$\boxed{A} = [(AG) + (AH)] = \boxed{K} \quad \text{即 } G、H \text{ 点}$$

$$\boxed{B} = (BA) + (BC) = \boxed{A}$$

$$\boxed{C} = (CB) + (CD) + [(CE) + (CF)] = \boxed{AM}$$

对图13-5的基准 $\boxed{A}$ 和基准 $\boxed{C}$ 要加以说明，基准 A 看来是

两点，实际上只用其中点，通道尺寸都是以此为基准标出。

基准 C 中的 E 和 F 点也是两个浮动点，用来定位和反映叶片扭度。真正起作用的是两点的中点。在测量工具和夹具设计时，凡是和这两点接触的定位件，都固定在同一刚体上。刚体可以绕这两点中线上某一轴摆动。这时两定位点距离理论位置大小相等，方向相反。从理论上讲，这时中间截面上的喉道点处于理论位置。如果用图表示喉道线位置的理论状态，则如图13-7所示。生产中可以用测量中间截面上喉道点偏离理论位置的值来反映叶片的

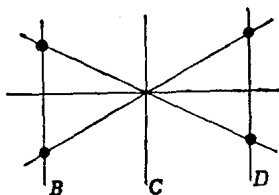


图13-7 喉道线理论位置图

弯曲度。因此控制弯曲和扭度实际上是控制喉道当量。

基准 B 比较直观，它是由线定位决定的。从理论上讲，此基准能保证叶片在装配后使排气边都处于一个平面内，有助于提高叶片性能。

对于通道尺寸较短的叶片，在夹具设计时无法放置浮动定位点。这时应将 E 点和 F 点合并为一点，即直线选用中间截面的喉

道点作为定位点。

要强调指出的是基准 A 的两点 G 和 H ，在使用时必须确立中间基准，也就是在测量通道长度时必须使其中的两对应点的指示值为零。否则，就变成端面定位，与所要求的基准不符。

根据叶片锁板结构的不同，中间基准 $K-K$ 的计算，分别给出下面两种情况供参考。其一，如图13-8所示：

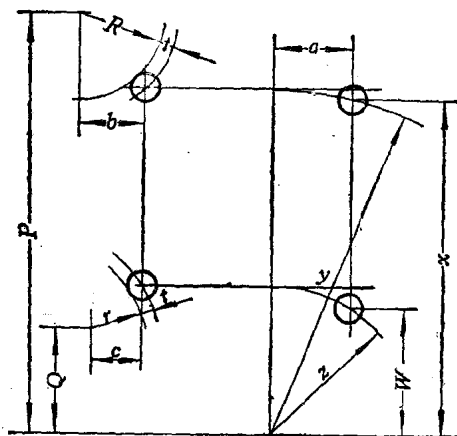


图13-8 叶片通道计算图(一)

$$y = P - \sqrt{(R+t)^2 - b^2}$$

$$x = \sqrt{y^2 - a^2}$$

$$z = Q + \sqrt{(r+t)^2 - c^2}$$

$$W = \sqrt{z^2 - a^2}$$

其二，如图13-9所示：

$$y = R - b \cdot \tan \theta - t \cdot \sec \theta$$

$$x = \sqrt{y^2 - a^2}$$

$$z = r + D \cdot \tan \phi + t \cdot \sec \phi$$

$$W = \sqrt{z^2 - a^2}$$