

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910012400.3

[43] 公开日 2009 年 12 月 23 日

[51] Int. Cl.

B21B 37/26 (2006.01)

G05B 19/04 (2006.01)

[22] 申请日 2009.7.7

[21] 申请号 200910012400.3

[71] 申请人 东北大学

地址 110004 辽宁省沈阳市和平区文化路 3  
号巷 11 号

[72] 发明人 刘相华 支 颖 张殿华 胡贤磊  
孙 涛 矫志杰 吴志强 李 旭  
孙 杰

[74] 专利代理机构 沈阳东大专利代理有限公司

代理人 梁 焱

[11] 公开号 CN 101607267A

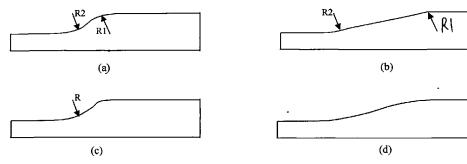
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 1 页

[54] 发明名称

周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲  
线过渡方法

[57] 摘要

一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法属于轧制技术领域，特别涉及一种利用轧制的方法直接生产出周期性纵向变厚度带材技术领域中的厚区与薄区之间的曲线过渡方法。本发明提供一种通过轧制能够把带材纵向二种不同的厚度区域连接起来，在连接点处光滑吻接、平缓过渡的周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法。该方法采用如下四种类型的过渡曲线进行厚区与薄区之间的曲线过渡：(1)由两段弧度小于 90 度的相切圆弧在相切处反向光滑连接而成的双弧主导型过渡曲线；(2)由一次曲线光滑连接而成的直线主导型过渡曲线；(3)由一段弧度小于 90 度的圆弧光滑连接而成的凹弧主导型过渡曲线；(4)由高次曲线光滑连接而成的曲线主导型过渡曲线。



1、一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，其特征在于，该方法采用如下四种类型的过渡曲线进行厚区与薄区之间的曲线过渡：

- (1) 由两段弧度小于 90 度的相切圆弧在相切处反向光滑连接而成的双弧主导型过渡曲线；
- (2) 由一次曲线光滑连接而成的直线主导型过渡曲线；
- (3) 由一段弧度小于 90 度的圆弧光滑连接而成的凹弧主导型过渡曲线；
- (4) 由高次曲线光滑连接而成的曲线主导型过渡曲线。

2、根据权利要求 1 所述的一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，其特征在于所述的双弧主导型过渡曲线依下式确定：

$$\text{当 } 0 \leq x \leq \frac{l}{2} \text{ 时, } y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2}$$

$$\text{当 } \frac{l}{2} \leq x \leq l \text{ 时, } y = \frac{1}{2}(h_b - h_a) - \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - (x-l)^2}$$

其中， $l$  为过渡区的长度， $h_a$  为带材薄区的厚度， $h_b$  为带材厚区的厚度。

3、根据权利要求 1 所述的一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，其特征在于所述的直线主导型过渡曲线依下式确定：

$$y = \frac{(h_b - h_a)}{2l} \cdot x$$

其中， $l$  为过渡区的长度， $h_a$  为带材薄区的厚度， $h_b$  为带材厚区的厚度。

4、根据权利要求 1 所述的一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，其特征在于所述的凹弧主导型过渡曲线依下式确定：

$$y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2}$$

其中， $l$  为过渡区的长度， $h_a$  为带材薄区的厚度， $h_b$  为带材厚区的厚度。

5、根据权利要求 1 所述的一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，其特征在于所述的曲线主导型过渡曲线采用三次幂函数曲线时，依下式确定：

$$y = \frac{3}{2} \frac{(h_b - h_a)}{l^2} x^2 - \frac{h_b - h_a}{l^3} x^3$$

其中， $l$  为过渡区的长度， $h_a$  为带材薄区的厚度， $h_b$  为带材厚区的厚度。

---

## 周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法

### 技术领域：

本发明属于轧制技术领域，特别涉及一种利用轧制的方法直接生产出周期性纵向变厚度带材技术领域中的厚区与薄区之间的曲线过渡方法。

### 背景技术：

在世界能源、资源日益紧张、可持续发展成为共识的新形势下，汽车减重受到人们的关注。激光拼焊板的出现，把厚度不同的钢板焊接在一起，实现用于车身的冲压板部件的减重；但是，激光拼焊板存在如下缺点，如图 1 所示：

- (1) 增加了一系列工序，因而增加了生产成本；
- (2) 多了一条（或几条）焊缝，影响冲压件的表面质量；
- (3) 只能在焊缝处实现厚度的突变，不能做到厚板与薄板的过渡连接。

针对这些问题，提出了利用轧制的方法直接生产出周期性纵向变厚度带材 (Periodic Longitude Profile Strip)，简称 PLP 带材，如图 2 所示，横切以后变为纵向变厚度板材 (DTS, Difference Thickness Sheet)，简称差厚板或 DTS 板，以提高质量、降低成本，用以取代激光拼焊板的差厚板。

利用轧制的方法直接生产差厚板需要在厚区与薄区之间有过渡区，过渡区的形状与尺寸对差厚板的成形和使用性能有重要的影响，而过渡区的形状与尺寸是由过渡曲线决定的。

### 发明内容：

针对现有激光拼焊板只能在焊缝处实现厚度突变的问题，本发明提供一种通过轧制能够把带材纵向二种不同的厚度区域连接起来，在连接点处光滑吻接、平缓过渡的周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案，一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法，该方法采用如下四种类型的过渡曲线进行厚区与薄区之间的曲线过渡：

- (1) 由两段弧度小于 90 度的相切圆弧在相切处反向光滑连接而成的双弧主导型过渡曲线；
- (2) 由一次曲线光滑连接而成的直线主导型过渡曲线；
- (3) 由一段弧度小于 90 度的圆弧光滑连接而成的凹弧主导型过渡曲线；
- (4) 由高次曲线光滑连接而成的曲线主导型过渡曲线。

所述的双弧主导型过渡曲线依下式确定：

$$\text{当 } 0 \leq x \leq \frac{l}{2} \text{ 时, } y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2}$$

$$\text{当 } \frac{l}{2} \leq x \leq l \text{ 时, } y = \frac{1}{2}(h_b - h_a) - \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - (x - l)^2}$$

其中,  $l$  为过渡区的长度,  $h_a$  为带材薄区的厚度,  $h_b$  为带材厚区的厚度。

所述的直线主导型过渡曲线依下式确定:

$$y = \frac{(h_b - h_a)}{2l} \cdot x$$

其中,  $l$  为过渡区的长度,  $h_a$  为带材薄区的厚度,  $h_b$  为带材厚区的厚度。

所述的凹弧主导型过渡曲线依下式确定:

$$y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2}$$

其中,  $l$  为过渡区的长度,  $h_a$  为带材薄区的厚度,  $h_b$  为带材厚区的厚度。

所述的曲线主导型过渡曲线采用三次幂函数曲线时, 依下式确定:

$$y = \frac{3}{2} \frac{(h_b - h_a)}{l^2} x^2 - \frac{h_b - h_a}{l^3} x^3$$

其中,  $l$  为过渡区的长度,  $h_a$  为带材薄区的厚度,  $h_b$  为带材厚区的厚度。

本发明的有益效果:

- 1) 通过本发明的曲线过渡方法生产的带材的过渡区的形状与尺寸可以根据部件的受力情况进行选择, 也可以根据用户的需要进行控制;
- 2) 通过本发明的曲线过渡方法生产的带材的过渡区在相交处连续、光滑, 容易通过轧制的方法获得;
- 3) 本发明的曲线过渡方法改变厚度控制容易, 可以方便地生产出二种以上厚度组合的板材;
- 4) 本发明的曲线过渡方法采用的四种类型的过渡曲线均有确切的数学模型, 适于实现模型控制。

附图说明:

图 1 是现有的激光拼焊板的结构示意图;

图 2 是采用本发明的曲线过渡方法加工的差厚板的结构示意图;

图 3 是过渡区采用四种类型的过渡曲线的差厚板的示意图;

- (a) 是过渡区采用双弧主导型过渡曲线的差厚板的示意图;
- (b) 是过渡区采用直线主导型过渡曲线的差厚板的示意图;
- (c) 是过渡区采用凹弧主导型过渡曲线的差厚板的示意图;
- (d) 是过渡区采用曲线主导型过渡曲线的差厚板的示意图;

图 4 是四种类型的过渡曲线在直角坐标系中的示意图;

- (a) 是双弧主导型过渡曲线在直角坐标系中的示意图;
- (b) 是直线主导型过渡曲线在直角坐标系中的示意图;
- (c) 是凹弧主导型过渡曲线在直角坐标系中的示意图;
- (d) 是曲线主导型过渡曲线在直角坐标系中的示意图;

其中, 图 1 中, 1—厚板, 2—焊缝, 3—薄板; 图 2 中, 4—厚区, 5—过渡区, 6—薄区。

具体实施方式:

一种周期性纵向变厚度带材厚区与薄区之间的曲线过渡方法, 该方法采用如下四种类型的过渡曲线进行厚区与薄区之间的曲线过渡:

- (1) 双弧主导型过渡曲线: 如图 3 (a) 所示, 由两段弧度小于 90 度的相切圆弧在相切处反向光滑连接而成, 两段圆弧与厚区及薄区相吻接;
- (2) 直线主导型过渡曲线: 如图 3 (b) 所示, 由一次曲线光滑连接而成, 直线相交处用圆弧吻接, 形状比较简单;
- (3) 凹弧主导型过渡曲线: 如图 3 (c) 所示, 由一段弧度小于 90 度的圆弧光滑连接而成, 这种过渡曲线比双弧主导型过渡曲线节省金属, 但实现的难度比较大;
- (4) 曲线主导型过渡曲线: 如图 3 (d) 所示, 由高次曲线光滑连接而成, 能够适应不同的形状要求, 比较典型的是取三次幂函数曲线。

以上四种类型的过渡曲线中, 双弧主导型过渡曲线和凹弧主导型过渡曲线适应于较短的过渡区, 直线主导型过渡曲线和曲线主导型过渡曲线适应于较长的过渡区。

下面结合附图对本发明所采用的四种类型的过渡曲线的数学模型的求取过程进行说明:

双弧主导型过渡曲线的数学模型的求取过程如下:

如图 4 (a) 所示, 选取半径 R 相等的两段圆弧在 b 点相切, 差厚板的薄区与过渡曲线在 a 点相连, 连接点光滑平缓, 差厚板的厚区与过渡曲线在 d 点相连, 连接点光滑平缓; c 点、e 点分别为两段圆弧的圆心。为处理方便, 坐标原点取在薄区与过渡曲线相连的 a 点, 其中,  $y_d$  为厚区与薄区的厚差之半。设过渡区的长度为 l, 薄区和厚区的厚度分别为  $h_a$  和  $h_b$ , 则有:

$$x_b = \frac{l}{2}, \quad y_b = \frac{1}{4}(h_b - h_a), \quad x_d = l, \quad y_d = \frac{1}{2}(h_b - h_a) \quad (1)$$

取两段圆弧曲线的一般形式为：

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2 \quad \text{当 } 0 \leq x \leq \frac{l}{2} \text{ 时} \quad (2)$$

$$(x - x_e)^2 + (y - y_e)^2 = R^2 \quad \text{当 } \frac{l}{2} \leq x \leq l \text{ 时} \quad (3)$$

在图4 (a) 所示的坐标系中可以得出：

$$x_c = 0, \quad y_c = R, \quad R^2 = \frac{1}{4}l^2 + (R - \frac{1}{4}(h_b - h_a))^2 \quad (4)$$

$$x_e = l, \quad y_e = y_d - R = \frac{1}{2}(h_b - h_a) - R \quad (5)$$

则 (2) 式可表示为：

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2 \quad (6)$$

则 (3) 式可表示为：

$$(x - l)^2 + (y - \frac{1}{2}(h_b - h_a) + R)^2 = R^2 \quad (7)$$

联立以上方程可得：

$$R = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} \quad (8)$$

由 (6) 式可得：

当  $0 \leq x \leq \frac{l}{2}$  时，  $y = R + \sqrt{R^2 - x^2}$ ， 将 (8) 式代入得：

$$y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2} \quad (9)$$

由 (7) 式可得：

当  $\frac{l}{2} \leq x \leq l$  时，  $y = \frac{1}{2}(h_b - h_a) - R + \sqrt{R^2 - (x - l)^2}$ ， 将 (8) 式代入得：

$$y = \frac{1}{2}(h_b - h_a) - \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{8(h_b - h_a)}\right)^2 - (x - l)^2} \quad (10)$$

(9)、(10)式即为双弧主导型过渡曲线的数学模型表达式。带入不同的参数，可以得到具体的表达式，如表1所示。按照这样的曲线连接厚区与薄区，能够保证连接点连续、光滑、平缓。

表1 不同参数下双弧主导型过渡曲线的数学模型的具体表达式

参数	过渡区长 l, mm	厚区厚度 h <sub>b</sub> , mm	薄区厚度 h <sub>a</sub> , mm	曲线方程

1	10	2	1	$y = \frac{401}{8} + \sqrt{\left(\frac{401}{8}\right)^2 - x^2}$ $y = -\frac{397}{8} + \sqrt{\left(\frac{401}{8}\right)^2 - (x-10)^2}$	$0 \leq x \leq \frac{l}{2}$ $\frac{l}{2} \leq x \leq l$
2	20	3	1	$y = \frac{401}{4} + \sqrt{\left(\frac{401}{4}\right)^2 - x^2}$ $y = -\frac{397}{4} + \sqrt{\left(\frac{401}{4}\right)^2 - (x-20)^2}$	$0 \leq x \leq \frac{l}{2}$ $\frac{l}{2} \leq x \leq l$
3	10	2	1.5	$y = \frac{1601}{16} + \sqrt{\left(\frac{1601}{16}\right)^2 - x^2}$ $y = -\frac{1597}{16} + \sqrt{\left(\frac{1601}{16}\right)^2 - (x-10)^2}$	$0 \leq x \leq \frac{l}{2}$ $\frac{l}{2} \leq x \leq l$

直线主导型过渡曲线的数学模型的求取过程如下：

如图4 (b) 所示，过渡曲线在 a 点与差厚板的薄区相连，在 b 点与差厚板的厚区相连。为处理方便，坐标原点取在过渡曲线与薄区相连的 a 点，其中， $y_b$  为厚区与薄区的厚差之半。设过渡区的长度为 l，薄区和厚区的厚度分别为  $h_a$  和  $h_b$ ，则有：

$$x_b = l, \quad y_b = \frac{1}{2}(h_b - h_a) \quad (11)$$

取直线的一般形式为：

$$y = c_0 + c_1 x \quad (12)$$

在图4 (b) 所示的坐标系中可以得出：

$$x_a = 0, \quad y_a = 0, \quad x_b = l, \quad y_b = \frac{1}{2}(h_b - h_a) \quad (13)$$

联立以上方程可得：

$$c_0 = 0 \quad c_1 = \frac{(h_b - h_a)}{2l} \quad (14)$$

将 (14) 式代入 (12) 式可得：

$$y = \frac{(h_b - h_a)}{2l} \cdot x \quad (15)$$

(15) 式即为直线主导型过渡曲线的数学模型表达式。带入不同的参数，可以得到具体的表达式，如表2所示。按照这样的直线连接厚区与薄区，能够保证连接点连续、光滑、平缓。

表2 不同参数下直线主导型过渡曲线的数学模型的具体表达式

参数	过渡区长 l, mm	厚区厚度 $h_b$ , mm	薄区厚度 $h_a$ , mm	直线方程
1	10	2	1	$y = \frac{1}{20}x$
2	50	3	1	$y = \frac{1}{50}x$
3	100	2	1.5	$y = \frac{1}{400}x$

凹弧主导型过渡曲线的数学模型的求取过程如下：

如图4(c)所示，差厚板的薄区与过渡曲线在a点相连，连接点光滑平缓，差厚板的厚区与过渡曲线在b点相连；c点为圆弧的圆心，R为圆弧的半径。为处理方便，坐标原点取在薄区与过渡曲线相连的a点，其中， $y_b$ 为厚区与薄区的厚差之半。设过渡区的长度为l，薄区和厚区的厚度分别为 $h_a$ 和 $h_b$ ，则有：

$$x_b = l, \quad y_b = \frac{1}{2}(h_b - h_a) \quad (16)$$

取圆弧曲线的一般形式为：

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2 \quad (17)$$

在图4(c)所示的坐标系中可以得出：

$$x_c = 0, \quad y_c = R, \quad R^2 = l^2 + (R - \frac{1}{2}(h_b - h_a))^2 \quad (18)$$

则(17)式可表示为：

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2 \quad (19)$$

联立以上方程可得：

$$R = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)} \quad (20)$$

将(20)式代入(19)式则有：

$$y = \frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)} + \sqrt{\left(\frac{4l^2 + (h_b - h_a)^2}{4(h_b - h_a)}\right)^2 - x^2} \quad (21)$$

(21)式即为凹弧主导型过渡曲线的数学模型表达式。带入不同的参数，可以得到具体的表达式，如表3所示。按照这样的曲线连接厚区与薄区，能够保证连接点连续、光滑、平缓。

表3 不同参数下凹弧主导型过渡曲线的数学模型的具体表达式

参数	过渡区长 l, mm	厚区厚度 h <sub>b</sub> , mm	薄区厚度 h <sub>a</sub> , mm	曲线方程
1	10	2	1	$y = \frac{401}{4} + \sqrt{\left(\frac{401}{4}\right)^2 - x^2}$
2	20	3	1	$y = \frac{401}{2} + \sqrt{\left(\frac{401}{2}\right)^2 - x^2}$
3	10	2	1.5	$y = \frac{1601}{8} + \sqrt{\left(\frac{1601}{8}\right)^2 - x^2}$

曲线主导型过渡曲线的数学模型的求取过程如下：

如图4(d)所示，选择三次幂函数曲线作为曲线主导型过渡曲线，差厚板的薄区与过渡曲线在a点相连，差厚板的厚区与过渡曲线在b点相连。为处理方便，坐标原点取在薄区与过渡曲线相连的a点；其中，y<sub>b</sub>为厚区与薄区的厚差之半。设过渡区的长度为l，薄区和厚区的厚度分别为h<sub>a</sub>和h<sub>b</sub>，则有：

$$x_b = l, \quad y_b = \frac{1}{2}(h_b - h_a) \quad (22)$$

取三次幂函数曲线的一般形式为：

$$y = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 \quad (23)$$

由图4(d)所示的坐标系以及连接点光滑平缓，一阶导数为零，可以得出：

$$y_{x=0} = 0, \quad y_{x=x_b} = y_b, \quad y'_{x=0} = 0, \quad y'_{x=x_b} = 0 \quad (24)$$

求取(23)式的一阶导数：

$$y' = c_1 + 2c_2 x + 3c_3 x^2 \quad (25)$$

联立以上方程可得：

$$c_0 = 0, \quad c_1 = 0, \quad c_2 = 3 \frac{y_b}{x_b^2}, \quad c_3 = -2 \frac{y_b}{x_b^3} \quad (26)$$

将(26)式代入(23)式则有：

$$y = 3 \frac{y_b}{x_b^2} x^2 - 2 \frac{y_b}{x_b^3} x^3 \quad (27)$$

将(22)式代入(27)式则有：

$$y = \frac{3}{2} \frac{(h_b - h_a)}{l^2} x^2 - \frac{h_b - h_a}{l^3} x^3 \quad (28)$$

(28)式即为曲线主导型过渡曲线采用三次幂函数曲线时的数学模型表达式。带入不同的参数，可以得到具体的表达式，如表4所示。按照这样的曲线连接厚区与薄区，能够保证连接点连续、光滑、平缓：

表4 不同参数下曲线主导型过渡曲线采用三次幂函数曲线时的数学模型的具体表达式

参数	过渡区长 l, mm	厚区厚度 h <sub>b</sub> , mm	薄区厚度 h <sub>a</sub> , mm	曲线方程
1	10	2	1	$y = \frac{3}{200} x^2 - \frac{1}{1000} x^3$
2	20	3	1	$y = \frac{3}{400} x^2 - \frac{1}{4000} x^3$
3	50	2	1.5	$y = \frac{3}{10000} x^2 - \frac{1}{250000} x^3$

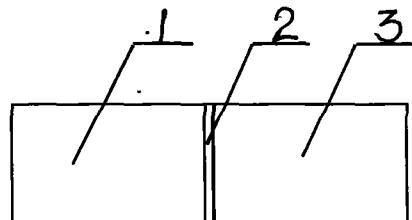


图 1

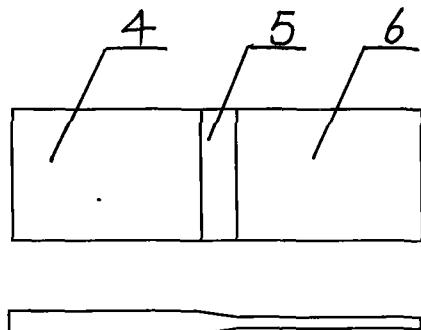
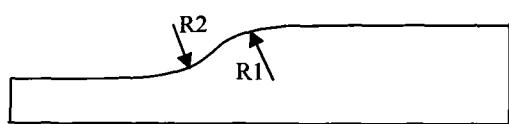


图 2



(a)



(b)

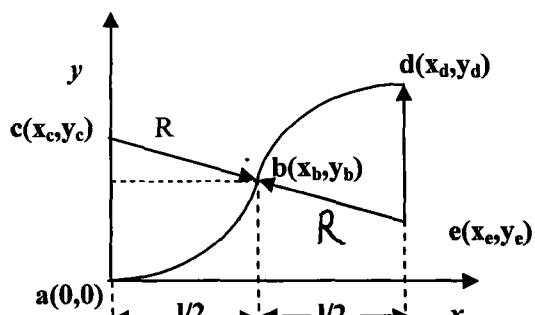


(c)

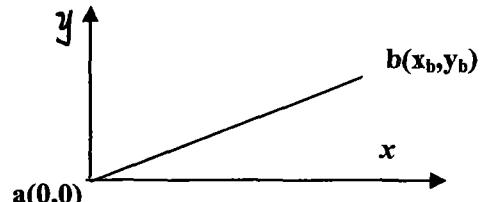


(d)

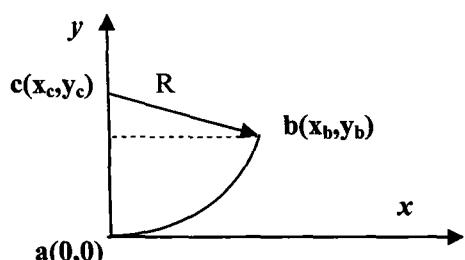
图 3



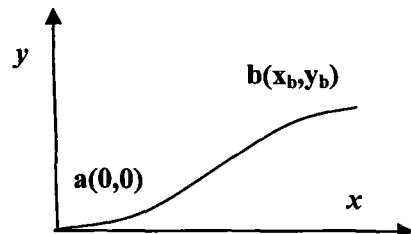
(a)



(b)



(c)



(d)

图 4