

BJZ

8/115

BJ4

帶有阻抗联接變壓器的 軌道電路

Н·Ф·賓 金 著

人民鐵道出版社

本書敘述了交流軌道電路的參數及計算方法、阻抗聯接變壓器在電碼軌道電路的運用、阻抗聯接器和阻抗聯接變壓器的原理、計算方法等。

本書供鐵路、礦山信號工程技術人員及信號專業學校師生參考之用。

帶有阻抗聯接變壓器的軌道電路

РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРАМИ

蘇聯 Н.Ф. ПЕНКИН 著

蘇聯國家鐵路運輸出版社（1953年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ Москва 1953

胡同光 合譯
司徒鎮國

責任編輯 周士鎮

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

（北京市建國門外七聖廟）

書號：931 開本 850×1168 $\frac{1}{2}$ 印張 4 $\frac{1}{2}$ 字數 119 千

1958年4月第1版

1958年4月第1版第1次印刷

印數 0001—900 冊定價（10）0.80元

目 录

序言.....	1
---------	---

Ⅰ、引 言

Ⅱ、軌道电路及其参数

1. 概論.....	6
2. 軌道电路的第一参数.....	7
3. 軌道电路的第二参数.....	23

Ⅲ、軌道电路作为复杂的四端網絡

1. 軌道电路的基本电路圖.....	28
2. 增量法.....	32
3. 用阻抗联接变压器的軌道电路的特征.....	36

Ⅳ、用二元軌道繼电器的軌道电路的相位关系

1. 二元繼电器的特征.....	41
2. 保証相位关系接近於理想情况的方法.....	45
3. 軌道电路的綜合線路圖.....	58

Ⅴ、軌道电路的分流感度和断軌保障

1. 軌道电路的分流感度.....	61
2. 断軌保障.....	69
3. 断軌时, 等效軌道电路的总綫路圖.....	83

VI、用二元軌道繼电器的軌道电路

1. 概論	85
2. 用电容限流器的軌道电路参数的选择	86
3. 軌道繼电器及其特性	90
4. 非機車自动信号区段上的軌道电路	91
5. 機車自动信号区段上的軌道电路	93
6. 軌道电路动作稳定性	98
7. 用标准型电容器組的軌道电路	104
8. 用电阻限流器或电感限流器的軌道电路	110
9. 阻抗联接变压器的运用	114

VII、阻抗联接变压器在电碼軌道电路中的运用

1. 电碼軌道电路的特征	117
2. 在电碼軌道电路繼电器端採用阻抗联接变压器	118
3. 在軌道电路电源端採用阻抗联接变压器	120
4. 軌道电路电源端利用 0.2 欧阻抗的阻抗联接变压器的可能性	122

VIII、軌道阻抗联接器和阻抗联接变压器的計算

1. 磁系統的計算	126
2. 阻抗联接器的热状态的計算	137
3. 阻抗联接变压器的構成	143

附 录

序 言

共产党和苏维埃政府一贯地以新技术来装备铁路，其中也包括提高列车运行安全和增加铁路通过能力的信号集中闭塞装置。

在党第19次代表大会关于1955年的苏联国民经济发展的第五个五年计划的指示中，规定了要大大地增加铁路上的信号集中闭塞装置。到1959年，装设自动闭塞区段的长度要比1950年增加约80%，而装设自动停车区段的长度则要增加1.5倍以上。装设电气集中的道岔数量约增加1.3倍。

所有最新式信号集中闭塞装置工作的可靠性和稳定性，要依赖于铁路自动化基本元件——轨道电路的动作。轨道电路不但检查出线路区段上有无列车，还用来把信号从线路上传到机车中去（自动机车信号），构成相邻闭塞分区的色灯信号机之间的联系（电码自动闭塞）。所以在发展现代信号集中闭塞装置的同时，应该改进轨道电路，使它更经济、保证容易调整和在任何运用情况下都能稳定的动作。

由于这个原因，在最近几年中苏联中央铁道科学研究所（ЦНИИ）的通信和信号集中闭塞室完成了一系列的工作来改进交流轨道电路。改进交流轨道电路的最有希望的方向之一是在轨道电路中广泛地采用电容元件，用来补偿轨道电路中电感元件所消耗的无效功率，也可以用来减小轨道电路所消耗的功率；同时，电容元件还可以改善用二元轨道继电器的轨道电路的相位关系。用阻抗联接变压器的轨道电路中，就可以用上述的电容元件了。阻抗联接变压器有两个线圈，其中一个是用来通过牵引电流的，而另一个是用来联接轨道电路设备的。用阻抗联接变压器和

补偿無效功率的軌道电路是由技术科学碩士 Н·Ф·賽金 所研究、試制和試驗的。現在，这种軌道电路已开始在鉄路上广泛地使用。阻抗联接变压器的試制和生产是在工厂里进行的。

这本书里叙述了在交流軌道电路（連續供电式和电碼式）中採用阻抗联接变压器的可能性以及用阻抗联接变压器的交流軌道电路和阻抗联接变压器本身的主要原理和計算方法。書中也有几章是屬於理論方面的。其中叙述了作者在交流軌道电路理論工作方面的結果，这對於計算和研究是有实际意义的。本書适用於現場和設計部門的工程技术工作人員。

院長 Н·А·依万諾夫

通信和信号集中閉塞室主任 В·В·維霍采夫

I. 引 言

在电气牵引区段上，有阻抗联接器的交流轨道电路是最复杂的轨道电路型式之一。

有了阻抗联接器，就增加功率的消耗而使整个轨道电路非常不经济，这是这种型式轨道电路的主要缺点。当用二元轨道继电器时，由于不容易得到理想相位关系，所耗功率就增大得更多。

用二元轨道继电器和阻抗联接器的交流轨道电路的主要改进方向是保证相位关系接近于理想情况和减少轨道电路电源的功率消耗。这就要求能有一个可以同时解决两个问题的技术措施。

用二元轨道继电器的轨道电路中引用电容元件就在根本上改进了电路的工作。这种措施使轨道电路所消耗的功率减少了，因为轨道电路电感元件——钢轨、阻抗联接器、继电器、以及感抗限流器等，所用的无效功率可以得到补偿。在一般的轨道电路中，所有无效功率是由电源供给，这就不仅增加了在高压馈线、变压器等等上的消耗，还增加了轨道电路本身元件上的消耗；例如，继电器端阻抗联接器的电抗电流要增加电源端的电压，而电源端的阻抗联接器电流就会使限流器上有很大的电压降。但是，假如在电源端阻抗联接器上即使只并联个阻抗大小与其相等的电容器，限流器上的电流就会减少到 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{3}$ ；这就不必在节约轨道电路所耗功率的观点上再来讨论这措施是怎样地有效了。

从轨道电路要得到理想相位关系的观点来看，引用电容元件也是有益处的。单单用电感元件和电阻元件时，轨道电路中任何相位的调整，都要接入增加功率消耗的辅助元件。所以没有採用

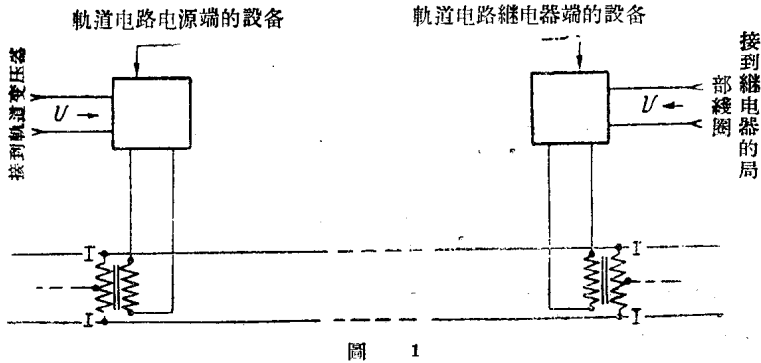
電感性或電阻性的輔助元件。相反地，引用了輔助電容元件便不但能任意的移相，還能節省功率，因為軌道電路其他元件上的無效功率被補償了。

在原則上，採用交流脈沖和電碼的軌道電路有可能減少功率，因為其中採用了小功率的極性脈沖軌道繼電器，但實際上，只當電碼軌道電路用在不裝設機車信號的區段上時，功率才能減少。有機車信號時，在所有情況下都得保證軌道電路駛入端的電流要足以使機車裝置動作；這樣，電碼和脈沖軌道電路與用二元軌道繼電器的軌道電路在功率消耗方面相較是不相上下的。使用有整流附件的小功率脈沖繼電器的電碼軌道電路中，在繼電器端採用電容元件對動作不會有任何改進，但是，長電碼軌道電路的電源端必須採用電容元件。這時所用的電路，在節省功率的同時還要能保證減少電碼繼電器接點所斷開的功率，並且要能消除火花。

軌道電路中採用電容元件有實際困難，因為電容器很不容易做得又輕便又便宜。要求電容元件的阻抗（50週時）和一般軌道電路元件的低阻抗相當時，必須用大電容的電容器。固然，經過升壓變壓器來聯接小電容的電容器可以免除這種困難。但是升壓變壓器要增加基本投資和維修費用，因而這種方法沒有好處。在軌道電路的現成設備上添加輔助繞圈是比較方便的。運用這種原則的最簡單的設備是ДСР—1型電容軌道繼電器，這種繼電器用在有阻抗聯接器的軌道電路上，也用在沒有阻抗聯接器的軌道電路上。

用阻抗聯接器的軌道電路中，在阻抗聯接器上安置輔助繞圈是非常方便的（圖1），這樣就可以用高阻器材，其動作電壓比一般軌道電路的高得很多，而動作電流又小得很多。在這種情況下，軌道電路器材里引用电容元件就沒有困難了。

用阻抗聯接變壓器（那就是，用有輔助繞圈的阻抗聯接器）的軌道電路的實際優點在於：



- a. 減少引接綫損失，因为輔助綫圈电路的电流很小；
- б. 消除了由於引接綫电阻不同而引起的軌道电路局部特殊性，这种特殊性使軌道电路的調整和維修都复杂了；
- в. 可以將器材放置在离軌道电路很远的地方；
- г. 軌道电路的鋼軌和器材間不再是直接联接，而这种直接联接会使牵引电流对繼电器箱中的設備和接綫引起損害性的影响。

軌道电路中採用阻抗联接變壓器提供了很多的和各种各样的方便条件。例如，可以把阻抗联接變壓器的阻抗、尺寸大小、重量和价格減得比一般阻抗联接器的小。本書也說明了利用这些方便条件中的問題。叙述用阻抗联接變壓器的軌道电路之前，先闡明交流軌道电路的一些理論，而闡明时所用的形式，使考虑軌道电路採用阻抗联接變壓器时發生的那些实际問題可以簡單些。

II. 軌道电路及其参数

1. 概 論

軌道电路是一种电气回路，用来檢查在規定的鉄路区段上車輛是否出清。

軌道电路元件为：

a、被檢查的鉄路軌道区段，以軌端絕緣与其相鄰区段分开；

б、电源，在被檢查区段的一端与鋼軌联接；

в、軌道繼电器，在軌道电路另一端与鋼軌联接；

г、限流器，就是接在电源和鋼軌之間的阻抗。

电气牵引区段上，除开这些基本元件外，軌道电路中還裝置阻抗联接器，用来使牵引电流可以繞开軌端絕緣而在兩股鋼軌上通过。

自动閉塞裝置中採用着的軌道电路，它在被檢查区段处於空閒状态时使軌道繼电器銜鉄吸起或扇翼升起；当該区段上有車輛时或鋼軌折断时，使繼电器綫圈中通过电流減少，其銜鉄或扇翼落下。

鉄路自动化裝置中，軌道电路使得在鉄路綫路上行駛着的車輛与控制信号和道岔的自动裝置間有了联系。

裝了軌道电路和接了电源和电能接收器的軌道区間是种特殊的联系綫路，在鉄路自动化中，它和架空綫路及电纜綫路在一起用来檢查鉄路綫路的空間，控制自动閉塞信号和道口信号裝置（电碼自动閉塞）也用来在鉄路綫路上將信号轉送到机車上去（机車自动信号裝置）。軌道电路是鋼軌联系綫路和接在軌道电

路兩端的器材的总和。

2. 軌道电路的第一参数

在电气性能方面，鋼軌和大地間很低的絕緣电阻对軌道电路有很大的影响，使軌道电路有个漏洩电导形式的附加負載，該負載实际上和週率無關。對於軌道电路，最大的漏洩电导值規定为 $g=1$ 姆/公里。个别的区段內，漏洩电导要大得多，这是由於經過接触电綫網支柱基础的附加漏洩，因支柱是和鋼軌之一联接着，或者由於道碴的特殊性。对軌道电路动作而言，軌間电容实际上沒有影响，計算时不予以考虑。

确定鋼軌阻抗的大小是最复杂了。当分析有电容元件的軌道电路的动作时，若頻率变化則要考虑到鋼軌阻抗的变化。

採用直流时，鋼軌里的功率損失与鋼軌和軌端接續綫的溫度有关並由其直流电阻确定。交流时，电导損失中还要有由於渦流和磁滯所引起的鉄損。这些損耗形成了軌道电路中的附加电阻。此外，电路中还有附加电抗，这是由鋼軌的磁場，鋼軌間的电感耦合（外部电感）和鋼軌內有了磁力綫（內部电感）所引起的。通过交流时，軌端接續綫的阻抗也会有附加的电阻部分和电抗部分。

直流軌道电路里，每一公里的兩股鋼軌的电阻应加上接續綫电阻。

交流軌道电路里，每一公里的兩股鋼軌和接續綫的阻抗等於

$$Z = r_0 + r_h + r_s + r_c + j\omega(L_i + L_e + L_c), \quad (1)$$

式中 r_h ——电阻，等效於磁滯損失；

r_0 ——鋼軌的直流电阻；

r_s ——渦損电阻；

r_c ——接續綫电阻；

L_i ——鋼軌的內电感；

L_e ——鋼軌的外电感；

I_c ——接續綫電感。

一些著者們的研究說明了磁滯損失比其他成分的損失小得多，所以往往不予以考慮。鋼軌里的渦流也產生有效損耗，但有效損耗却主要為鋼軌阻抗的電阻部分所決定。

確定鋼軌阻抗時，必須考慮到鋼軌內部和鋼軌外部的磁場性質。但是，鋼軌是個複雜形狀的導體，並且在鐵磁物體內集膚效應又是特別明顯，也就是說，渦流的遮蔽作用把磁力綫排擠到導體表面去，所以問題就複雜了。此外，鐵磁物體里的導磁率也不是個常數，與磁場強度有關，亦即是，與鋼的工作狀態有關。所有這些都使鋼軌阻抗不容易由分析法來確定。

根據許多試驗和測量的結果，可以知道在一公里長的使用銲接式接續綫和 P38 型鋼軌的軌道電路中，當頻率為 50 週時，其阻抗為

$$z = 0.8e^{j65^\circ} = 0.338 + j0.725 \text{ 歐/公里。}$$

到目前為止，還是以經驗公式或半經驗公式作為確定鋼軌阻抗的基礎。其中比較好的是 П. П. 聶孟所提出的公式：

$$\begin{aligned} r &= \frac{l}{P} \sqrt{\frac{\mu \omega}{\gamma}}, \\ x_i &= 0.6 \frac{l}{P} \sqrt{\frac{\mu \omega}{\gamma}} = 0.6r, \end{aligned} \quad (2)$$

式中 r ——鋼軌電阻 (歐)；
 l ——鋼軌長度 (公尺)；
 P ——鋼軌周長 (公尺)；
 μ ——鋼的導磁率；
 ω ——角頻率；
 γ ——鋼的電導系數；
 x_i ——鋼軌電抗，由內電感形成 (歐)。

聶孟建議以磁場強度

$$H = \frac{I}{P} \text{ 安/公尺,}$$

在靜态磁化曲綫上求出导磁率，而式中

I ——鋼軌內交流的有效值；

P ——鋼軌周長。

將这些公式运用在鋼軌上时，若信号电流相当小則所得的內电感值太小，而渦損值則又太大；在很低的頻率(低于25週)时，則这些式子將有很大的誤差，不能予以採用。

М·И·鮑新提出了另外几个式子：

$$\left. \begin{aligned} r_{\theta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{l}{P} \sqrt{\frac{\mu_{00}}{\gamma}} \\ x_i = r_{\theta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{l}{P} \sqrt{\frac{\mu_{00}}{\gamma}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

但是鮑新認為电阻 r_{θ} 是个附加电阻，仅由渦流作用所形成，並將鋼軌的电阻这样来表示：

$$r = r_o + r_{\theta},$$

式中 r_o ——鋼軌直流电阻。

这个說明沒有严密的論証，只能作为假定。М·И·鮑新工作有个很重要的結論——証明了当鋼軌中的电流为 20—25 安以下时，式子(3)中的 μ 值实际上与电流無關。所以М·И·鮑新建議在該式中用初比导磁率 $\mu_r = 80 \sim 100$ 。

在式(2)和(3)中应以下值代入：

$$\mu = \mu_o \mu_r \text{ 欧} \cdot \text{秒/公尺,}$$

式中 $\mu_o = 4\pi 10^{-7} \text{ 欧} \cdot \text{秒/公尺}；$

μ_r ——無因次的比导磁率。

鋼的电导等于

$$\gamma = 4.75 \cdot 10^6 \text{ 姆/公尺。}$$

与它相应的电阻系数值为：

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = 0.21 \cdot 10^{-8} \text{ 欧} \cdot \text{公尺}。$$

但是式 (3) 所得的由于集肤效应作用而形成的电阻太小。仅当假设有接續綫的鋼軌的直流电阻不少于 0.15—0.18 欧时，亦即，比一公里純粹鋼軌的迴綫的电阻高一倍时該式才会完全沒有錯誤。但是，『接地金屬建築物防止迷流侵蝕規則』要求軌端的附加电阻不得使鋼軌电阻增加 20 % 以上。这要求与实际相符，当接續綫維護良好时就办得到。另一方面，公式 (3) 是自微分方程式的确解得来。因此，若要得到鋼軌阻抗的电阻部分和电抗部分的有效值則要在微分方程式的确解中加进修正系数。这些修正系数也要用在式 (2) 里。很可能所得的值不是十分准确的因为这些式子的形式是为了使它們可以有很广泛的应用范围。

考虑到这一点，本書作者就用等效長方形导体代替鋼軌的方法来組成微分方程式，从它的解就导出含有必要修正系数的計算公式来得到为实际所驗證的結果。

等效長方形的二边是在鋼軌截面积和周長不变的条件下求出，所用的計算式为

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - S} \\ b &= \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - S} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 P ——鋼軌周長；

S ——鋼軌截面积。

表 1 中为 $P38$ 型和 $P43$ 型钢軌的数据。圖 2, a 表明了長方形导体的横截面，而圖 2, b 为 xoz 面上的截面。

根据表 1 的数据可以認為， a 比 b 大得多，而这就能忽略掉靠近导体上限面和下限面的邊緣效应了。

截面上任何一点的磁感应和电流密度由以下的微分方程式来計算。

表 1

P38型和P43型钢軌的数据

鋼軌型式	S (立方公尺)	P (公尺)	a (公尺)	b (公尺)	一公里單股鋼軌的电阻 (欧/公里)
P 38	$49.1 \cdot 10^{-4}$	0.55	0.255	$1.9 \cdot 10^{-2}$	0.0426
P 43	$55.7 \cdot 10^{-4}$	0.57	0.264	$2.15 \cdot 10^{-2}$	0.0378

对于横截面上二个画有細斜綫的單元 (圖 2, a), 等式

$$\oint B dl = \mu \int_s \delta ds, \quad (5)$$

是成立的, 其中

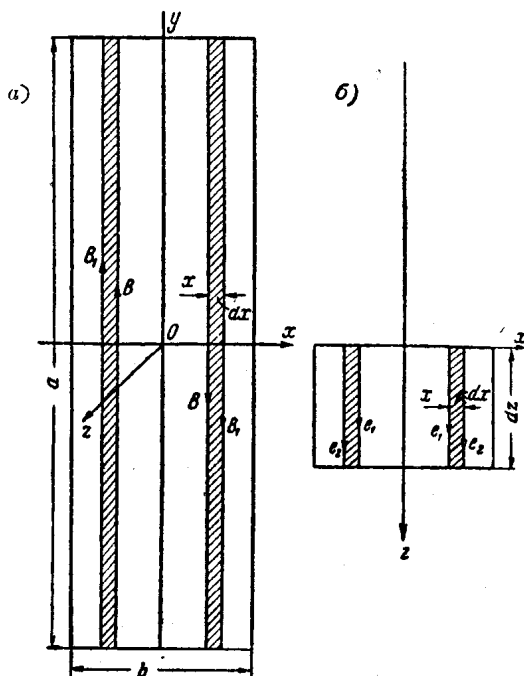


圖 2

B ——环綫上的磁感应;

δ ——环綫内的电流密度;

S ——环綫所包含的面积。

左边的积分可以表示为:

$$\oint B dl = 2a (B_1 - B) = 2a \left(B + \frac{\partial B}{\partial x} dx - B \right);$$

而右边的则为

$$\mu \int \delta ds = 2a \mu \delta dx_0$$

把这二个表示式比較一下, 得出微分方程式

$$\frac{\partial B}{\partial x} = \mu \delta. \quad (6)$$

这里各量的因次为:

$[B] = \text{伏} \cdot \text{秒} / \text{平方公尺}; [\mu] = \text{欧} \cdot \text{秒} / \text{公尺}; [\delta] = \text{安} / \text{平方公尺}.$

切割磁感应为 B 的磁力綫的 xoz 面上有二个画着細斜綫的截面單元, 对于这二个單元, 等式

$$e_1 - e_2 = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} = - dz dx \frac{\partial B}{\partial t}, \quad (7)$$

是成立的, 式中, 等式左边可以表示为:

$$e_1 - e_2 = \delta \rho - \left(\delta^2 + \rho \frac{\partial \delta}{\partial x} dx \right) = - \rho \frac{\partial \delta}{\partial x} dx.$$

若在表示式 (7) 中以导体的單位长度代替 dz , 則得公式

$$\gamma \frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\partial \delta}{\partial x}, \quad (8)$$

式中的 ρ 以其倒数 γ 来代替。

微分式 (6) 並以其結果代入式 (8) 則得到 B 的公式

$$\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \gamma \mu \frac{\partial B}{\partial t}, \quad (9)$$

对于正弦磁感应可得:

$$\begin{aligned}
 B &= B_m e^{j\omega t}; \quad \frac{\partial B}{\partial t} = j\omega B_m e^{j\omega t}, \\
 \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 B_m}{\partial x^2} e^{j\omega t}, \\
 \frac{\partial^2 B_m}{\partial x^2} &= j\omega \mu \gamma B_m
 \end{aligned} \tag{10}$$

微分方程式 (10) 的通解表示如下:

$$B_m = C_1 e^{\alpha x} + C_2 e^{-\alpha x}, \tag{11}$$

式中

$$\alpha = \sqrt{j\omega \mu \gamma}.$$

积分常数 C_1 和 C_2 由以下的条件来确定:

1. 当 $x = 0$ 和 $B_m = 0$, 自式 (11) 得

$$C_1 + C_2 = 0. \tag{12}$$

2. 当 $x = \frac{b}{2}$, $2a B_m = \mu I$, 式中 I ——导体中通过的总电流; 自式 (11) 得

$$C_1 e^{\frac{1}{2} b \alpha} + C_2 e^{-\frac{1}{2} b \alpha} = \frac{1}{2a} \mu I. \tag{13}$$

从式 (12) 和 (13) 中解 C_1 和 C_2 , 则得:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{\mu I}{2a} \cdot \frac{1}{e^{\frac{1}{2} b \alpha} - e^{-\frac{1}{2} b \alpha}}; \\
 C_2 &= -\frac{\mu I}{2a} \cdot \frac{1}{e^{\frac{1}{2} b \alpha} - e^{-\frac{1}{2} b \alpha}}.
 \end{aligned}$$

以所得的 C_1 和 C_2 值代入式 (11) 则得以下的 B_m 的式子:

$$B_m = \frac{\mu I}{2a} \cdot \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \frac{1}{2} b \alpha}. \tag{14}$$

电流密度的式子可以根据式 (6) 求得:

$$\delta = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dB_m}{dx} = \frac{1}{2} b \alpha \frac{I}{ab} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{sh} \frac{1}{2} b \alpha}. \tag{15}$$