

眼镜光学



天津
科学技术
出版社

眼镜光学

沈行健 主编

张 扬 周国辉 张 荣
王建秋 张 舒 董 坚 编
辛连起

天津科学技术出版社

责任编辑:张炳祥

眼镜光学

沈行健 主编

张 扬 周国辉 张 荣

王建秋 张 舒 董 坚 编

辛连起

*

天津科学技术出版社出版

天津市张自忠路 189 号 邮编 300020

天津新华印刷一厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.5 字数 338 000

1997 年 6 月第 1 版

1997 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5308-2185-7

G·89 定价:17.00 元

前 言

本书是一本有关眼镜基本光学理论的书籍。书中论述了人眼的生理光学及人眼各种视力障碍的眼镜矫正理论,用较多篇幅阐述了近用镜、远用镜、散光镜、多焦点镜、角膜接触镜及各种复合镜的光学理论和设计计算,详细介绍了各种验光仪器的光学原理及应用。

根据记载,早在公元前 11 世纪前后,阿拉伯人就有用于改进视力的透镜;到 13 世纪,我国也有老人戴眼镜阅读小字的记载。早期的眼镜用碧玉、水晶等天然晶体磨制而成,有的只是单镜片,或用手持。18 世纪初英国的富兰克林制成双光镜,19 世纪初英国的杨开始用柱镜矫正散光眼。早在 17 世纪末人们就开始研究眼镜两个表面的曲率,以尽可能消除像差、扩大视野。1904 年居住巴黎的丹麦医生西林发表了消除像散的西林椭圆表达式,成为近代眼镜设计的理论基础。与此同时,视力检查也有了很大进步,从 19 世纪末的视网膜镜、试镜箱等到现在的新型角膜曲率仪、电脑验光仪等。镜片材料也从无色的光学玻璃发展到有色、变色及光学塑料。镜架不再使用天然材料,除以多种塑料为原料外,还有镀金、包金、镀铬、镀钨、镀钛和电化铝等材料,使眼镜步入了多姿多彩的现代。

按其功能眼镜可分为矫正视力和防护两大类。矫正眼镜又分成远用镜和近用镜两类。远用镜用于矫正屈光不正,并非仅只视远;近用镜用于因年老或其他原因导致调节力不足的眼睛视近物。将远用镜与近用镜作成一片透镜,就是双焦点镜。正视眼的防护镜是平光的,屈光不正者的防护镜应同时具有矫正与防护的功能。

随着我国科技事业的发展,近距离工作者增多,屈光不正的发生率和检出率明显提高;加上人口的老齡化,具有各种功能的眼镜需

求量日益增加。据查,我国有三亿人戴眼镜,且三五年需更换一副眼镜。然而,我国眼镜行业的某些技术工作者缺乏医学及光学的基本知识,致使眼镜的不合格率高达80%以上。佩戴不合格的眼镜问题轻的使患者养成歪头之类的不良习惯,问题严重的可以破坏患者动眼肌的平衡,或造成头痛、眼酸、流泪、精神不集中,甚至神经衰弱及某些看来与眼无关的疾病。盲目地用验光仪给青少年验光配镜,还能造成仪器性近视,影响其一生的生活和工作。再有,未经医生指导配戴角膜接触镜引发角膜炎以致失明的也并非罕见。

目前,系统阐述有关眼镜光学理论的书籍在国内见之不多,为此我们编写了《眼镜光学》一书,希望能对大、中专院校眼镜专业的教师、学生,眼科医生、眼镜行业的技术工作人员及所有佩戴眼镜者有所帮助,以期达到保护和提高视力的目的。书中力求改变以往有关眼镜书籍中所使用各种术语和符号的不统一,采用现代国家标准,给读者以准确的概念。

本书由天津医科大学沈行健主编,辛连起编写第一、三、十二章,张扬编写第二、四、九章,周国辉编写第二、十二章,沈行健编写第四~八、十三章,张荣编写第三、十、十一章,王建秋编写第六、八、十章,张舒编写第九、十一章,董坚编写第十三章及附录。

本书承南开大学沈寿春教授亲自给予指导,还得到周国明、徐强和姚进的帮助,对上述各位及所有给本书提供支持的同仁,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,错误缺点在所难免,恳请读者给予指正。

编 者

1996年

目 录

前言

第一章 几何光学 (1)

第一节 几何光学的基本概念 (1)

第二节 符号规定 (2)

第三节 近轴光学理论 (4)

第四节 理想光组理论 (11)

第五节 光阑及其作用 (22)

第六节 像差概述 (27)

第二章 球面屈光不正和球镜——远用镜 I (40)

第一节 眼的结构 (40)

第二节 眼的光学特性 (48)

第三节 标准眼、模拟眼、简化眼和模型眼 (59)

第四节 眼的屈光和调节 (62)

第五节 球面屈光不正及其矫正 (65)

第六节 镜眼距对矫正效果的影响 (71)

第三章 散光和柱镜——远用镜 II (75)

第一节 柱镜 (75)

第二节 散光及其矫正 (88)

第三节 环曲面透镜 (94)

第四节 斜交柱镜 (98)

第五节 交叉柱镜 (105)

第六节	残余散光	(111)
第七节	透镜的判别	(118)
第四章	老视和近用镜	(122)
第一节	调节域和老视	(122)
第二节	老视眼的矫正	(127)
第三节	镜眼距对调节力的影响	(133)
第四节	镜眼距对增加度的影响	(136)
第五章	棱镜和透镜的棱镜效果	(140)
第一节	棱镜	(140)
第二节	透镜的棱镜效果	(150)
第三节	棱镜效果对视野和回转角的影响	(161)
第四节	集合与调节	(169)
第五节	偏心	(182)
第六节	近用镜移心	(189)
第六章	厚透镜	(200)
第一节	厚透镜的计算	(201)
第二节	远用厚透镜	(208)
第三节	近用厚透镜	(210)
第七章	眼镜的倍率	(217)
第一节	视像不等	(217)
第二节	眼镜的远用倍率	(218)
第三节	远用校像镜	(223)
第四节	近用镜倍率	(228)

第八章 眼镜的像差..... (231)

- 第一节 垂轴色差..... (231)
- 第二节 像散..... (232)
- 第三节 场曲..... (241)
- 第四节 散光镜的畸变..... (244)
- 第五节 无晶状体用非球面镜..... (250)

第九章 多焦点镜..... (253)

- 第一节 双焦点镜的分类和结构..... (253)
- 第二节 像跳现象..... (262)
- 第三节 胶合型双焦点镜..... (266)
- 第四节 整体型双焦点镜..... (279)
- 第五节 熔凝型双焦点镜..... (284)
- 第六节 双焦点镜近用部分像差..... (290)
- 第七节 三焦点镜..... (299)
- 第八节 渐变光焦度镜..... (307)

第十章 角膜接触镜..... (313)

- 第一节 概述..... (313)
- 第二节 接触镜光学系统..... (316)
- 第三节 矫正散光的接触镜..... (323)
- 第四节 双焦点接触镜..... (327)
- 第五节 角膜接触镜的特点..... (329)

第十一章 镜片材料..... (332)

- 第一节 光学玻璃镜片..... (332)
- 第二节 光学塑料镜片..... (335)
- 第三节 遮阳和防护用镜片..... (337)

第十二章 验光仪器	(342)
第一节 视网膜镜.....	(342)
第二节 焦度表.....	(347)
第三节 焦度仪.....	(350)
第四节 角膜曲率仪.....	(355)
第五节 光学验光仪.....	(362)
第六节 电子验光仪.....	(369)
第七节 激光散斑验光仪.....	(374)
第十三章 验光和配镜	(377)
第一节 视疲劳.....	(377)
第二节 主观验光法.....	(386)
第三节 客观验光法.....	(390)
第四节 验光和配镜程序.....	(393)
附录	(398)
附录 1 颈椎病、视疲劳和神经衰弱鉴别表	(398)
附录 2 正常人近点距和调节幅度	(399)
附录 3 散光轴线各轴位屈光度对照表	(400)
附录 4 各级屈光度的棱镜度所需中心移位	(402)
附录 5 各级屈光度中心移位所形成的棱镜度	(405)
附录 6 诊断视疲劳用配镜登记表	(409)
附录 7 国家标准 GB13511—92(摘要).....	(411)
附录 8 焦度表(镜度表、度表)测柱镜方法	(412)
附录 9 焦度仪(镜度仪、查片机)测柱镜方法	(412)
附录 10 一些国家眼镜行业情况	(413)
参考文献	(415)

第一章 几何光学

第一节 几何光学的基本概念

几何光学是撇开光的波动本性,仅以光的直线传播性质为基础研究光在透明介质中的传播的学科。几何光学基于以下几个基本定律:光的直线传播定律、光的独立传播定律、反射定律、折射定律和光路可逆原理。

物和像是几何光学的基本概念之一。我们将一个或几个光学元件的组合称为光组,最简单的光组是一个球面,其两边的介质折射率不同,称为单折射球面。物和像应相对光组而言,在图 1-1-1 中, B 是光组 I 的像,又是光组 II 的物。可见,不能离开光组来谈物像关系。

物和像是可以互换的。 B 是 A 关于光组 I 的像,如果将 B 看成物,根据光路可逆原理, A 一定是 B 关于光组 I 的像。因而称 A 和 B 关于光组 I 共轭。除了物像共轭,还有光线共轭、平面共轭等。

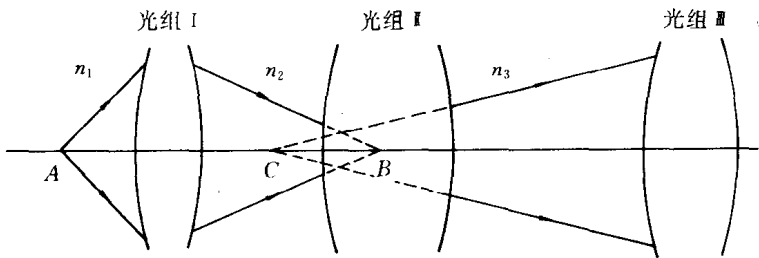


图 1-1-1

在几何光学中,物像用同心光束的心定义。所谓同心光束,即一组有关的、有公共交点的光线,光线的交点为同心光束的心。一束平行光也是同心光束,其心在无穷远。光组之入射同心光束的心的集合为物,相应的出射同心光束的心的集合为像。同心光束的心可以是光线真正相交的实点,也可以是将光线向某个方向延长相交的虚点。

物有虚实之分。入射的同心光束以发散的形式投射到光组界面上,该同心光束的心是实物点,如图 1-1-1 中的 A 、 C 分别为光组 I、II 的实物。入射的同心光束以会聚的形式投射到光组界面上,该同心光束的心为虚物点,如图 1-1-1 中的 B 为光组 II 的虚物。

像也有虚实之分。出射的同心光束以会聚的形式自光组的最后一个界面射出,该同心光束的心为实像点,如图 1-1-1 中的 B 为光组 I 的实像。出射的同心光束以发散的形式自光组的最后一个界面射出,该同心光束的心为虚像点,如图 1-1-1 中的 C 是光组 II 的虚像。

另一个基本概念是物方空间和像方空间。物方空间是实际入射光束所在的空间,不一定是物点所在的空间。在图 1-1-1 中,光组 II 的物方空间是折射率为 n_3 的空间,而不是 C 点所在的折射率为 n_2 的空间。像方空间是实际出射光束所在的空间,不一定是像点所在的空间。在图 1-1-1 中,光组 II 的像方空间是折射率为 n_3 的空间,而不是 C 所在的折射率为 n_2 的空间。物方空间可简称为物方或物空间,像方空间可简称为像方或像空间。

第二节 符号规定

几何光学中的线量、角量都是代数量,下面以单球面折射为例说明符号的规定(图 1-2-1)。

曲率中心在 C 点的球面将两种介质 n 和 n' 隔开,过曲率中心

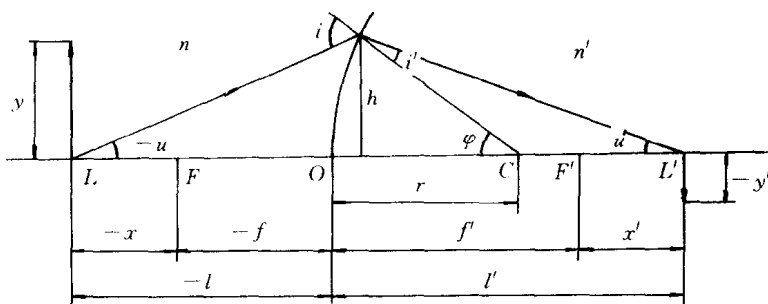


图 1-2-1

的轴线称为光轴,光轴与球面的交点 O 称为顶点。光线自左方射向右方称为正向光路,此时球面的左方是物方,右方是像方。物方光轴上无穷远点发出的平行光,经球面折射后会聚于 F' 点,该点称为像方焦点;物方光轴上某点 F 发出的光经球面折射后若成为平行光,该点称为物方焦点。

点用大写字母表示,如顶点 O 、曲率中心 C 、物点 L 和像点 L' 等。近轴线量和角度用小写字母表示,如曲率半径 r 、物距 l 、像距 l' 、倾斜角 u 、球心角 φ 等。远轴线量和角度用大写字母表示,如物方孔径角 $2U_{\max}$ 、像方孔径角 $2U'_{\max}$ 、轴向球差 $\delta L'$ 等。平面用花体字表示,如焦平面 \mathcal{F} 、 \mathcal{F}' 等。物空间和像空间的对应量(同名的或共轭的)用同一字母表示,像方量在字母的右上角加“'”。如物点与经折射面得到的像点共轭,称为共轭量,分别用 L 、 L' 表示;物方焦点与像方无穷远共轭,像方焦点与物方无穷远共轭,这一对焦点不是共轭量,而是同名量,分别用 F 、 F' 表示。

轴向量(平行于轴的量)以光线进行方向为正,采用光线自左向右的正向光路时,向右为正,向左为负。不同线量的原点不同,如焦距 f 和 f' 、物距 l 和像距 l' 、曲率半径 r 等均以球面顶点 O 为原点,焦物距 x 和焦像距 x' 分别以焦点 F 和 F' 为原点。垂轴量(垂直于轴的量)以轴上点为原点,向上为正,向下为负。角量以锐角计,从始边转向终边,顺时针为正,逆时针为负。光轴与光线或法线构

成角时,以光轴为始边;光线与法线构成角时,以光线为始边。

在图上标注线量和角量时,均标正值。如图 1-2-1 中的 $f=OF$ 是负值,在图上标“ $-f$ ”;物方倾斜角 u 由光轴逆时针转向光线, u 为负值,在图上标“ $-u$ ”;物高 y 为正值,像高 y' 为负值,在图上标“ $-y'$ ”,余类推。

第三节 近轴光学理论

除了平面反射镜,任何光组都不能将所有位置上的点物成点像。但如果限定近轴物以细光束成像,则可达到点物成点像的目的,研究近轴区成像规律的光学称为近轴光学。

一、成像公式

已知某光组物方及像方折射率分别为 n 和 n' ,物距为 l ,像距为 l' (图 1-2-1),由折射定律可得到如下近轴成像公式

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \Phi \quad (1-3-1)$$

对单折射球面

$$\Phi = \frac{n' - n}{r} \quad (1-3-2)$$

式中 r 是折射面的曲率半径,以米为单位。 Φ 称为光焦度,单位是屈光度(Diometer),记作 $D, D = \text{m}^{-1}$ 。

光焦度 Φ 与焦距 f 和 f' 有如下关系

$$\Phi = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} \quad (1-3-3)$$

光焦度 Φ 的正负表征光组对光束是会聚还是发散。在图 1-3-1a 中,设 $n' > n, r > 0$,则由(1-3-2)式可得 $\Phi > 0$,由(1-3-3)式可得 $f < 0, f' > 0$,即自左方平行于光轴入射的光束,经折射后,会聚于右方 F' 点,该光组为会聚光组,由于 $\Phi > 0$,又称为正光组。图 b 是另一种正光组,图 c、d 为两种负光组,平行光被发散,虚焦点在左方。

Φ 的绝对值大小表征光组对光束会聚或发散的能力。 $|\Phi|$ 若

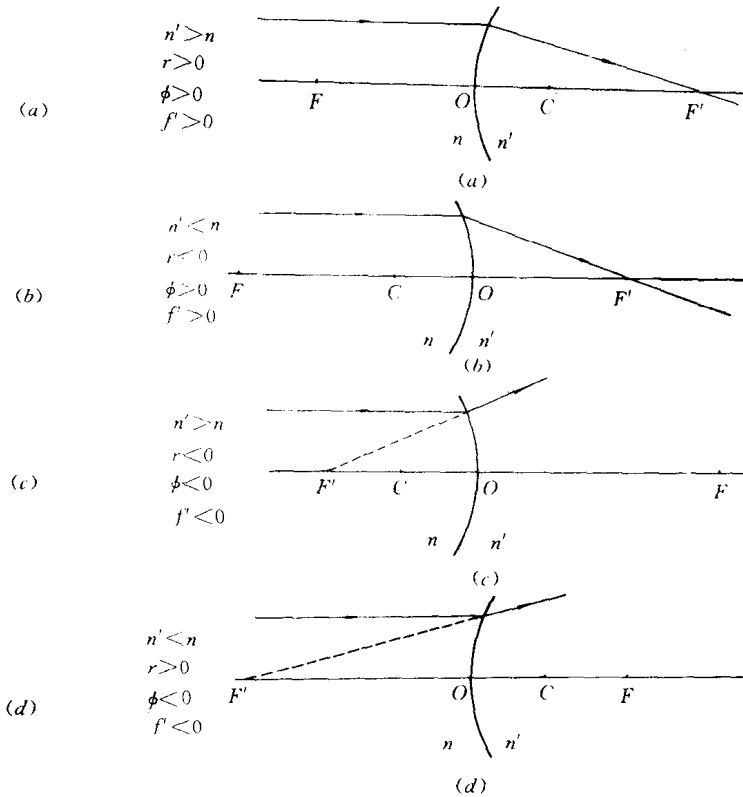


图 1-3-1

大, 则称 Φ 强, 表示光组会聚或发散光束的能力强。

由成像公式(1-3-1)还可导出另两个公式。将(1-3-3)式代入(1-3-1)式可得到高斯公式

$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1 \quad (1-3-4)$$

由图 1-2-1 可得

$$\left. \begin{aligned} l &= f + x \\ l' &= f' + x' \end{aligned} \right\} \quad (1-3-5)$$

式中 x 为物距, x' 为像距。将式(1-3-5)代入高斯公式, 得牛顿公式

$$xx' = ff' \quad (1-3-6)$$

二、放大率

1. 垂轴放大率 β 像高 y' 与物高 y 之比定义为垂轴放大率, 即

$$\beta = \frac{y'}{y} \quad (1-3-7)$$

利用成像公式和牛顿公式可导出 β 的计算公式

$$\beta = \frac{nl'}{n'l} \quad (1-3-8)$$

$$\beta = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'} \quad (1-3-9)$$

垂轴放大率的正负表征像与物的倒正关系。当物正立时, 负号表示像为倒立, 且实物成实像或虚物成虚像; 正号表示像为正立, 且实物成虚像或虚物成实像。 β 的绝对值大小表征像与物的大小关系。 $|\beta| > 1$ 表示得放大的像, $|\beta| < 1$ 表示得缩小的像, $|\beta| = 1$ 表示像与物同大。

2. 轴向放大率 α 轴向放大率用于表征沿光轴方向的共轭线段间的比例关系。若物沿光轴移动 dx , 像沿光轴移动 dx' , 则 $\frac{dx'}{dx}$ 为轴向放大率 α , 即

$$\alpha = \frac{dx'}{dx} = -\frac{x'}{x} \quad (1-3-10)$$

3. 角放大率 γ 共轭倾斜角正切之比定义为角放大率。即

$$\gamma = \frac{\text{tgu}'}{\text{tgu}} = \frac{l'}{l} \quad (1-3-11)$$

由图 1-2-1 很容易得到该结果。

4. 视放大率 Γ 很多仪器的像是用于眼睛观察的, 对这类目视仪器要用视放大率来描述所成的像。眼睛注视物体时, 在视网膜上成一倒立、缩小的实像(图 1-3-2)。该像的高度不可测量, 因此常用视网膜像对像方节点 J' 的张角(自节点向像两端引的两条直线的夹角) φ 来表示。由于过节点的光线不偏折, φ 角也是物对物方节点 J 的张角, 此角称为视角。节点 JJ' 在角膜后 7mm 处, 与物距相比很小, 所以一般以物对角膜顶点的张角为视角。

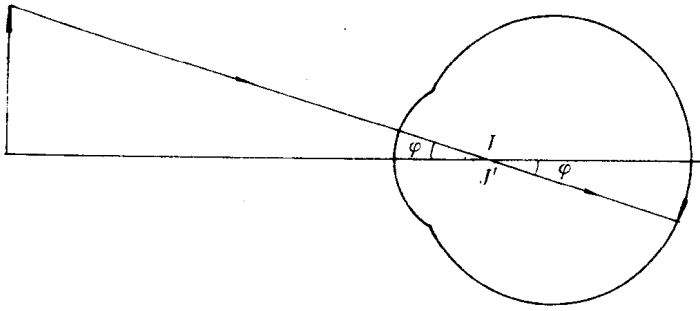


图 1-3-2

用眼观察某物体,用两个量来描述该物,一个是物高 y ,一个是物到眼的距离 l ,但是物经眼成像于视网膜以后,只剩下视角 φ 一个量。该三个量有如下关系

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{y}{l} \quad (1-3-12)$$

若用弧度表示 φ ,可近似为

$$\varphi = \frac{y}{l} \quad (1-3-13)$$

用一个量代替两个量,当然不太完善。较近较小的物可能与较远较大的物有同一视角,在观察不熟悉的物时常常由此引起错觉。

目视仪器所成的像,也可以用两个量来描述,一个是像高,一个是像到出瞳的距离。观察者的眼睛在出瞳处观察该像,就又只得到视角一个量。

视放大率 Γ 为物经光组所成像的视角 φ' 与物的视角 φ 的比值,即

$$\Gamma = \frac{\varphi'}{\varphi} \quad (1-3-14)$$

对于较远的物,如用望远镜或戴眼镜观察的远物, φ 为物的视角;对较小、需要用放大镜或显微镜观察的物, φ 为将物放在眼前 250mm 处的视角。

以放大镜为例说明视放大率的求法。放大镜为一凸透镜,物 y

放在物方焦点 F 以内, 得一放大虚像 y' 于 $-250\text{mm} \sim -\infty$ 之间。
 设眼置于放大镜像方焦点处(图 1-3-3)。

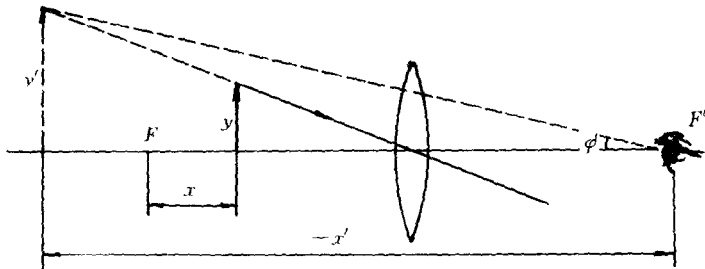


图 1-3-3

由图可以求出

$$\phi = \frac{y'}{-x'}, \quad \phi = \frac{y}{0.25}$$

$$\Gamma = \frac{\phi'}{\phi} = \frac{y'}{y} \cdot \frac{0.25}{-x'}$$

由于 $\frac{y'}{y} = -\frac{x'}{f'}$

所以 $\Gamma = \frac{0.25}{f'}$ (1 3 15)

式中 f' 以 m 代入。

三、近轴公式的应用

人的眼球可以看作曲率半径为 7.8mm 的单球面, 内容物是折射率为 1.33 的介质。如果经角膜看瞳孔, 瞳孔好像在角膜后 3.6mm 处, 直径为 4mm , 求瞳孔的实际位置及大小。

这是个单球面折射问题。瞳孔是物, 经单球面折射后所成的像在角膜后 3.6mm 处, 要求的是物距和物高。

先作正向光路图, 光线自左向右, 如图 1-3-4, L 为物点, L' 为像点。已知物方折射率 $n = 1.33$, 像方折射率 $n' = 1$, 像距 $l' = -3.6\text{mm}$, 像高 $y' = 2\text{mm}$, 曲率半径 $r = -7.8\text{mm}$ 。代入式 (1-3-2)、(1-3-1), 即