

评价及估算 切口疲劳强度 的新方法

陈耀明 编著

PINGJIA JI GUSUAN
QIEKOU PILAO QIANGDU
DE XIN FANGFA

航空工业出版社

评价及估算切口疲劳 强度的新方法

陈耀明 编著

航空工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了将疲劳数据及其相关的应力集中系数的选取(外形尺寸的合理选取)用于可靠性设计和事故分析的新方法,并简略介绍了疲劳试验及数据处理方法,以及疲劳的一些特征。全书共分5章:第一章为绪论,第二章为应力集中,第三章为疲劳强度,第四章为试验数据图表及表达式,第五章为缺口疲劳强度估算新方法的工程价值。

图书在版编目(CIP)数据

评价及估算切口疲劳强度的新方法/陈耀明编著.

—北京:航空工业出版社,2006.1

ISBN 7-80183-697-9

I. 评... II. 陈... III. ①切口—疲劳强度—评价
②切口—疲劳强度—估算 IV. TG113.25

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第154696号

评价及估算切口疲劳强度的新方法

Pingjia ji Gusuan Qiekou Pilao Qiangdu de Xinfangfa

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话:010-64919539 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2006年1月第1版

2006年1月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:8.625

字数:215千字

印数:1—1500

定价:26.00元

前 言

人们用数学分析和在实验室用光弹性试验等方法试验研究发现,所有零构件的内外圆角边缘、转接圆角根部、焊缝熔合线附近和表面机械划伤等部位,都不同程度地存在着应力集中现象。经试验研究发现:零构件的应力集中部位,是引起疲劳破坏的疲劳源所在,即高应力集中区,将导致零构件过早地出现疲劳损伤。

在日益进展的大部分金属疲劳研究工作中,主要着重基本机理的基础性研究或者着重对某一些因素的评价上。因此,尽管有关的文献很多,而且正以惊人的速度不断增加,但是,至今对如何应用疲劳数据或相关参数用于构件的设计仍未受到足够的重视,以致对实际构件或整机进行疲劳试验仍然保持一种普遍的做法。

本方法是将疲劳数据及其相关的应力集中系数的选取(外形尺寸的合理选取)用于可靠性设计和事故分析。

由于该方法属于近年来的最新研究结果,它将随着研究工作的拓宽和深入,不断积累经验,作进一步的研究分析、完善和发展。

为了便于机械设计人员、疲劳研究技术人员和大中专学生学习,本方法还简略介绍了疲劳试验及数据处理方法,以及疲劳的一些特征。

在此说明一点,由于疲劳试验费用昂贵,为了避免不必要的重复试验,作者引用了一些资料和试验数据(作其他研究用的),来证实其方法的可靠性及广泛性。如高镇同主编的《航空材料疲劳性能手册》、钟群鹏主编的《金属材料基础知识及断口分析初步》、王仁智主编的《喷丸强化手册》,在此对提供数据的部门和同志们致以谢意。

我们的研究得到中科院院士师昌绪、高镇同,中国工程院院士钟群鹏,研究员王仁智、曹用涛、张朝纲、何晋瑞、王图成、罗广源和乔寿等教授、专家的热心指导和帮助,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,研究中存在的不当之处,敬请读者批评指出。本方法曾于1984年由作者进行GH132材料研究时首先发现,尔后通过多年的试验和引用证明后执笔编写成书。

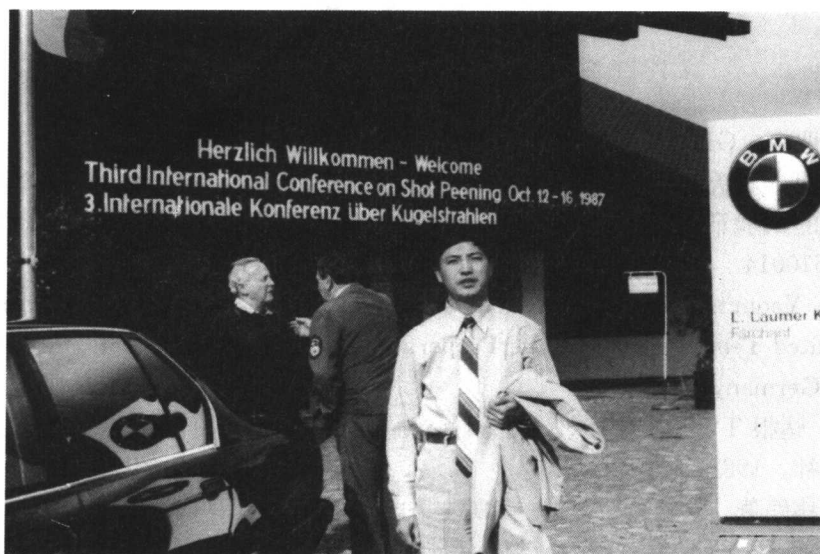
本书自1989年内部出版使用后,经15年的实践,现公开出版发行。

在此也感谢黄喜娥女士对本书的初稿进行了大量的抄正工作。

作 者

2005年11月

作者简介



陈耀明：研究员级高级工程师。男，1947年12月出生于江西省宜春市慈化镇，祖籍湖南浏阳市文家市镇。毕业于北京航空学院飞机疲劳试验研究专业。

在国家级及省部级刊物和学术会议上发表有关《评价及估算切口疲劳强度的新方法》等有价值的论文10余篇。

1987年10月在德国慕尼黑召开的第三界国际喷丸学术会议上发表论文《高温合金喷丸强化后的缺口疲劳性能》。独著和与人合作编著《应力集中下的疲劳强度》、《航空材料喷丸强化手册》等专著6种。与人合作编写的《叶片振动疲劳机的研制》和《喷丸强化手册》获航空工业部重大科技成果三等奖。与人合作研制的“双向导磁梁式振动疲劳试验机”获国家发明四等奖。参与过数种空空导弹和航空发动机的研制，并获立功奖。

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 应力集中	(2)
一、引言	(2)
二、应力集中效应	(2)
三、设计中的应力集中系数图	(3)
第三章 疲劳强度	(67)
一、符号和术语	(67)
二、高循环疲劳和低循环疲劳	(71)
三、疲劳裂纹的形成和发展	(73)
四、断裂机理	(74)
五、疲劳极限	(78)
六、疲劳破坏	(79)
七、疲劳试件图	(81)
八、升降法	(98)
九、异常数据的取舍——格拉布斯 (Grubbs) 方法	(102)
第四章 试验数据图表及表达式	(105)
一、GH132 铁基热强合金	(105)
二、GH37 镍基变形合金	(107)
三、K6 镍基铸造合金	(109)
四、30CrMnSiA 钢棒材	(111)
五、30CrMnSiNi2A 钢棒材	(112)
六、40CrNiMoA 钢棒材	(113)
七、LC4 高强度铝合金板材 (1)	(114)
八、LC4 高强度铝合金板材 (2)	(116)
九、LC4 高强度铝合金板材 (3)	(117)
十、LC4 高强度铝合金板材 (4)	(118)

十一、LC9 高强度铝合金过时效板材 (1)	(119)
十二、LC9 高强度铝合金过时效板材 (2)	(120)
十三、LC9 高强度铝合金过时效板材 (3)	(121)
十四、LY12B 铝合金预拉伸厚板 (1)	(122)
十五、LY12B 铝合金预拉伸厚板 (2)	(123)
十六、1Cr18Ni2W2MoVA	(124)
十七、同类型材料的 σ - K_t 曲线综合图	(126)
十八、试验值与计算公式计算值比较表	(128)
第五章 缺口疲劳强度估算新方法的工程价值	(129)
参考文献	(131)

第一章 绪 论

零件的损坏很少是由于材料的缺陷所致。实践证明，改进疲劳寿命常常是设计的修改。美国海军航空局发表的文章中曾说：“仅仅改变材料可对疲劳寿命有较小的改进，只有少数严重的疲劳问题曾经采用这种方法得到完善的解决，而大多数的问题常常是由于不正确的设计、制造及维护所造成的……。研究应力集中系数，可从抵抗反复载荷的观点产生出优秀的设计。”

目前对应力集中系数的研究已趋完善，并广泛应用于各种机械零件的设计中。随着对各种材料和零件应力集中系数与疲劳寿命的深入研究，人们开始认识到应力集中系数和疲劳强度对于各种零构件及整机的寿命设计、定寿和延寿工作越来越重要。围绕这些工作的展开，仅有应力集中系数或疲劳强度为机械设计提供依据，远不能满足设计者们的要求。目前，国内外尚未有完整的应力集中系数与疲劳强度关系方面的研究成果提供给设计者。本方法经对多种金属材料的试验研究，寻找出金属材料应力集中系数与疲劳强度二者估算方法之间的关系，它将给设计者们对机械产品定寿、延寿及故障分析提供重要的依据，进而从产品使用寿命的观点产生更为优秀的设计，以满足当今科学技术迅猛发展的需求。

第二章 应 力 集 中

一、引言

大多数设计构件截面上的几何尺寸都不可避免地有些变化（由尖角、孔、键槽、螺纹等引起的），而且这些变化引起的应力集中效应会产生高的局部应力。对于受到静载荷的韧性材料，材料不连续或应力增高的影响一般不重要，但当涉及波动载荷时影响则很重要。而对于承受交变载荷下的零件，应力集中而形成的高应力区（指拉应力），则是过早地导致疲劳损伤的重要原因，即疲劳源的始点。

二、应力集中效应

所谓“应力集中”，就是在零构件外形突然变化或材料不连续的地方所发生的应力局部增大的现象。从静力学角度来分析，把应力集中系数 K_t （有时称为理论的或几何的应力集中系数）定义为最大的局部弹性应力与名义的或平均的应力之比。因此，可以把这种关系写为

$$K_t = \frac{\text{最大的局部弹性应力}}{\text{名义的或平均的应力}} \quad (1-1)$$

图 2-1 示出了三个板件受拉时沿截面 $m-n$ 的应力分布情况。图 2-1 (a) 为带有中心圆孔的薄板，图 2-1 (b) 为半圆形边缘缺口的薄板，图 2-1 (c) 为板件截面发生改变。可以看到，当这些板受拉时，在缺口（包括圆孔、圆角等）处，存在有很大的局部应力 $\sigma_{\max}$ ，但稍微离开缺口处的 $m'-n'$ 截面处，应力基本上是均匀分布的。

在载荷作用下，根据材料力学方法，名义的或平均的应力可用按净截面积计算出的应力 σ_n 来表示，即名义的或平均的应力为

$$\sigma_n = \frac{P}{h\delta} \quad (1-2)$$

最大的局部应力不容易得到。对于一些基本的几何外形，它可利用弹性理论的数学方法加以确定，但是除了一些简单的情况以外这将是很复杂的，而且只有有限的一些理论数据可供应用。因而通常是借助于试验方法来确定。典型的方法有脆性涂漆、应变片、光弹性和光应力法。在这些方法中，光弹性法仍然是使用最普遍的一种。局部应力 $\sigma_{\max}$ 与名义或平均应力 σ_n 之比，即叫应力集中系数

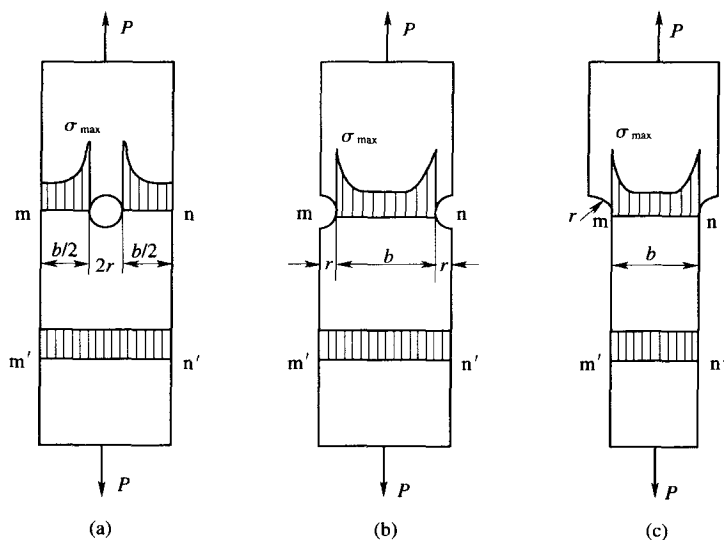


图 2-1 板件受拉时沿截面 m—n 的应力分布情况

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 所定义的应力集中系数是局限于不会发生屈服状态下来考虑的。一方面，就韧性材料而言，如果载荷是逐渐施加的而且作用次数很少，即使局部塑性在很少的程度上发生，应力集中效应一般也是不重要的，因为应力由于局部的屈服将发生重新分布。另一方面，对于均匀的脆性材料通常是不正确的，因为局部屈服不致于发生到任意大的程度，应该认为应力集中效应有一定的重要性。在截面突然发生改变的情况下，为了估计峰值应力，通常的方法是用理论应力集中系数乘以名义的或平均的应力。

当波动载荷作用在构件上时，应力集中效应既可对延性材料又可对脆性材料起明显的作用，结果使疲劳寿命大大降低。作为高循环疲劳时，考虑会发生应力增高的延性材料或切口承受波动载荷时会发生什么是有帮助的。在载荷第一次作用时，某些局部屈服将发生在应力集中处而且将发生应力的重新分布；有些应变硬化或应变软化一般将伴随这一应力重新分布而发生（与材料的类型有关），载荷的继续作用将进一步引起屈服以及循环应变硬化或软化。当载荷的作用次数增加时，发生应力重新分布变得更为困难，而且最终可能产生疲劳裂纹。

三、设计中的应力集中系数图

如何应用理论应力集中系数解决设计中的问题，彼德逊（Peterson）在《设计中的应力集中系数》一书和达根（T. V. Duggan）在《疲劳设计准则》一书中都进行了详尽的论述，在此不再赘述。

为了便于读者查找，现将各种几何形状构件在不同受载情况下的系列理论应力集中系数曲线图绘制如下，如图 2-2~图 2-64 所示。

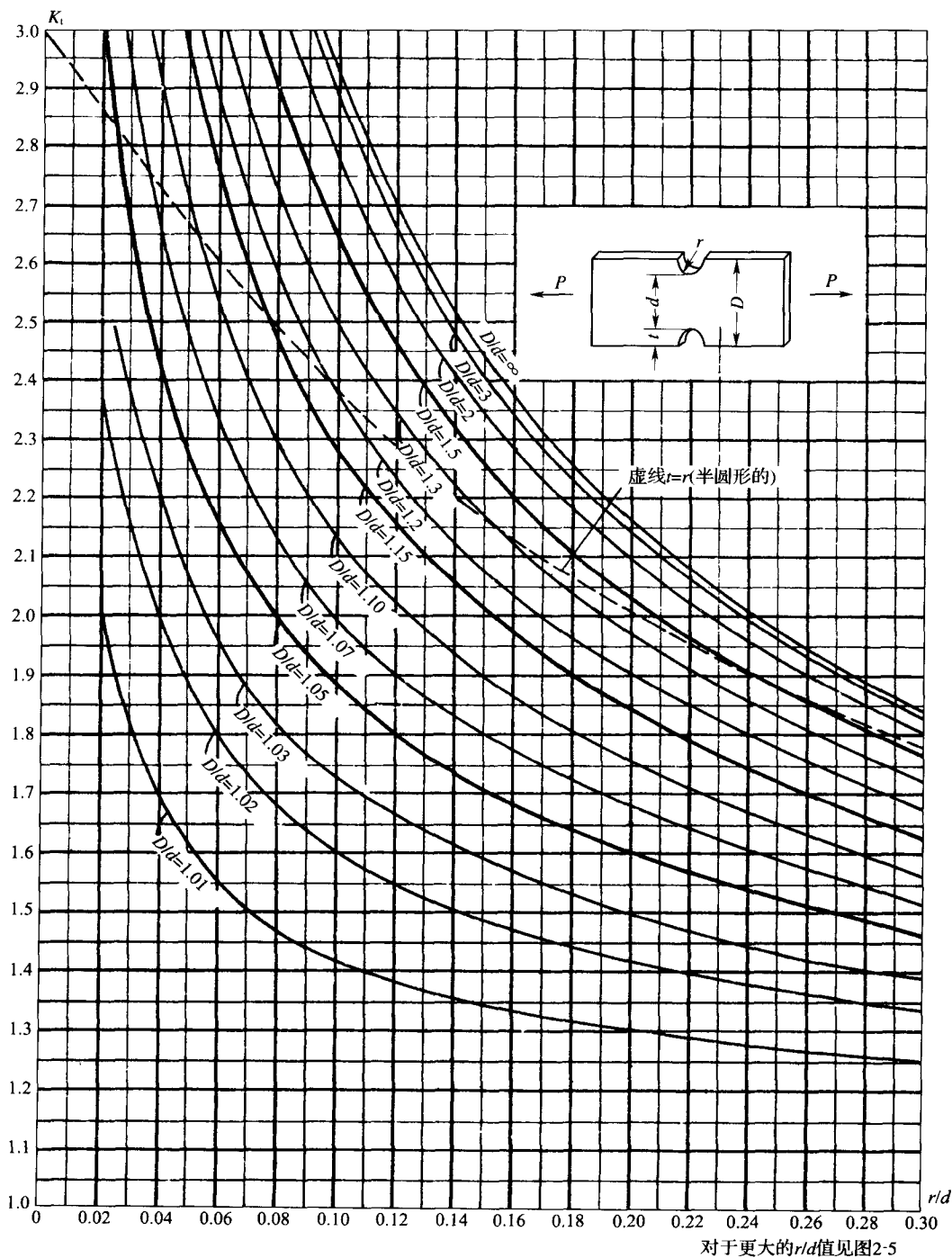


图 2-2 带缺口的扁杆在拉伸时的应力集中系数 K_t (根据诺伯理论得出的计算值)

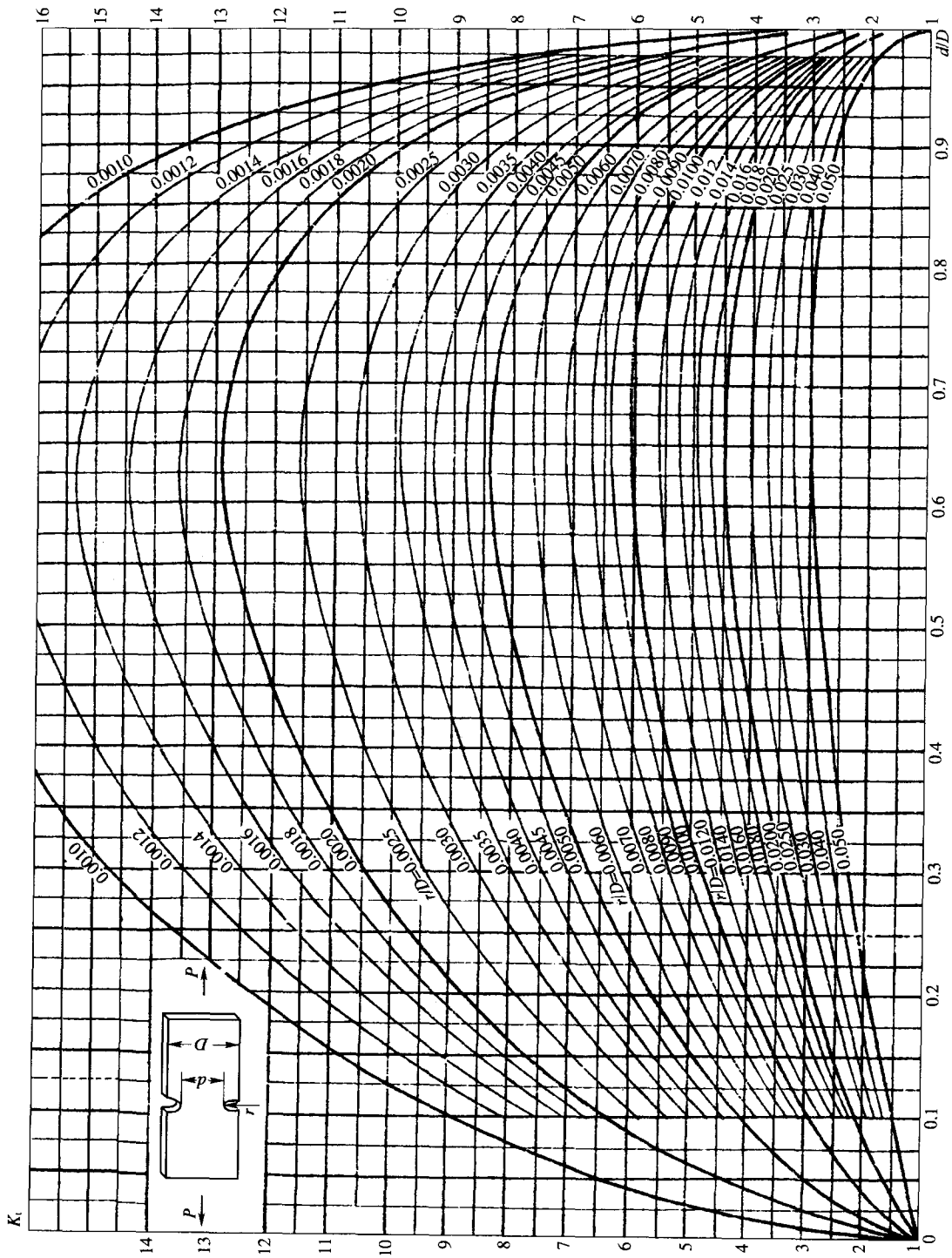
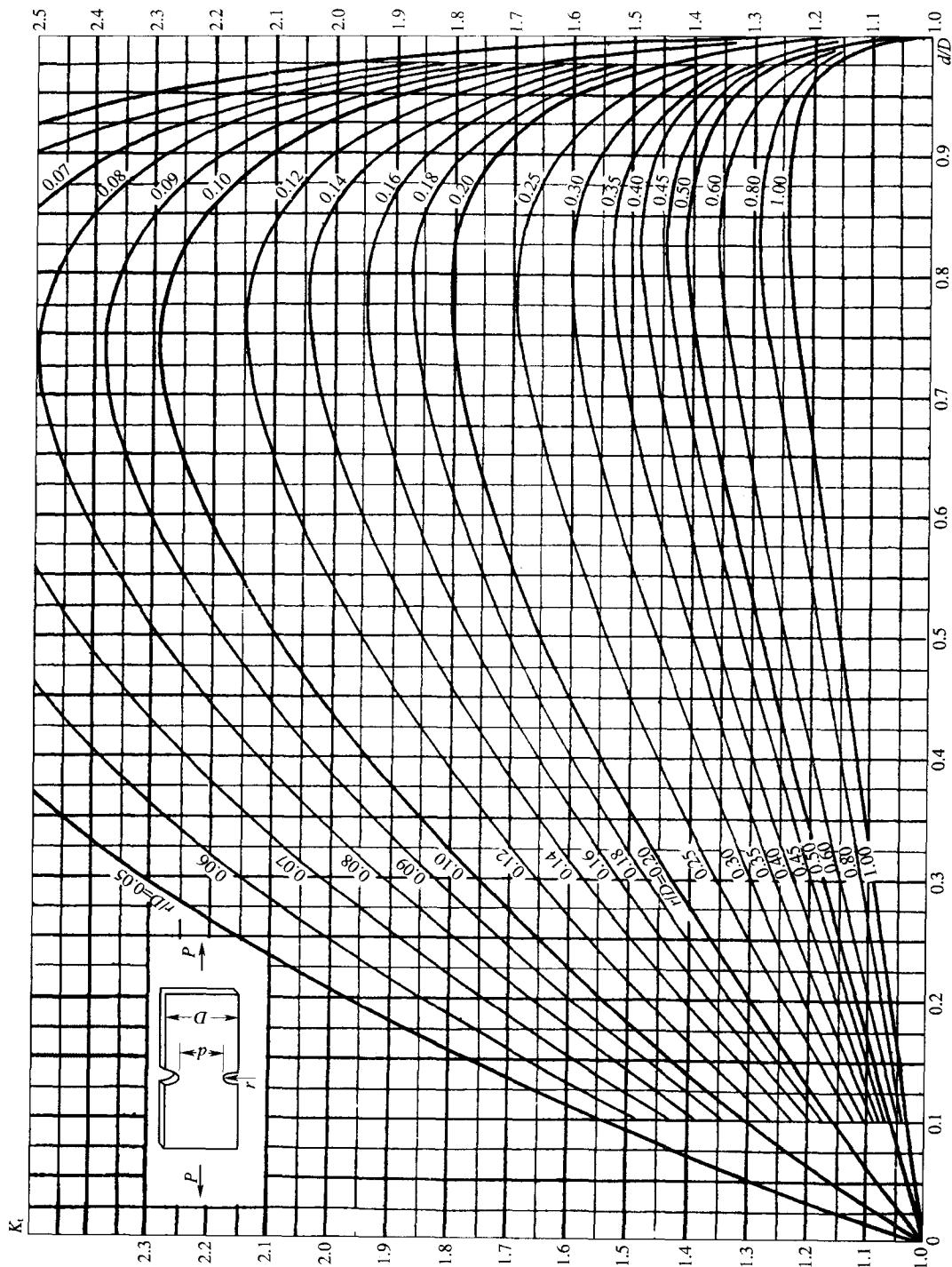
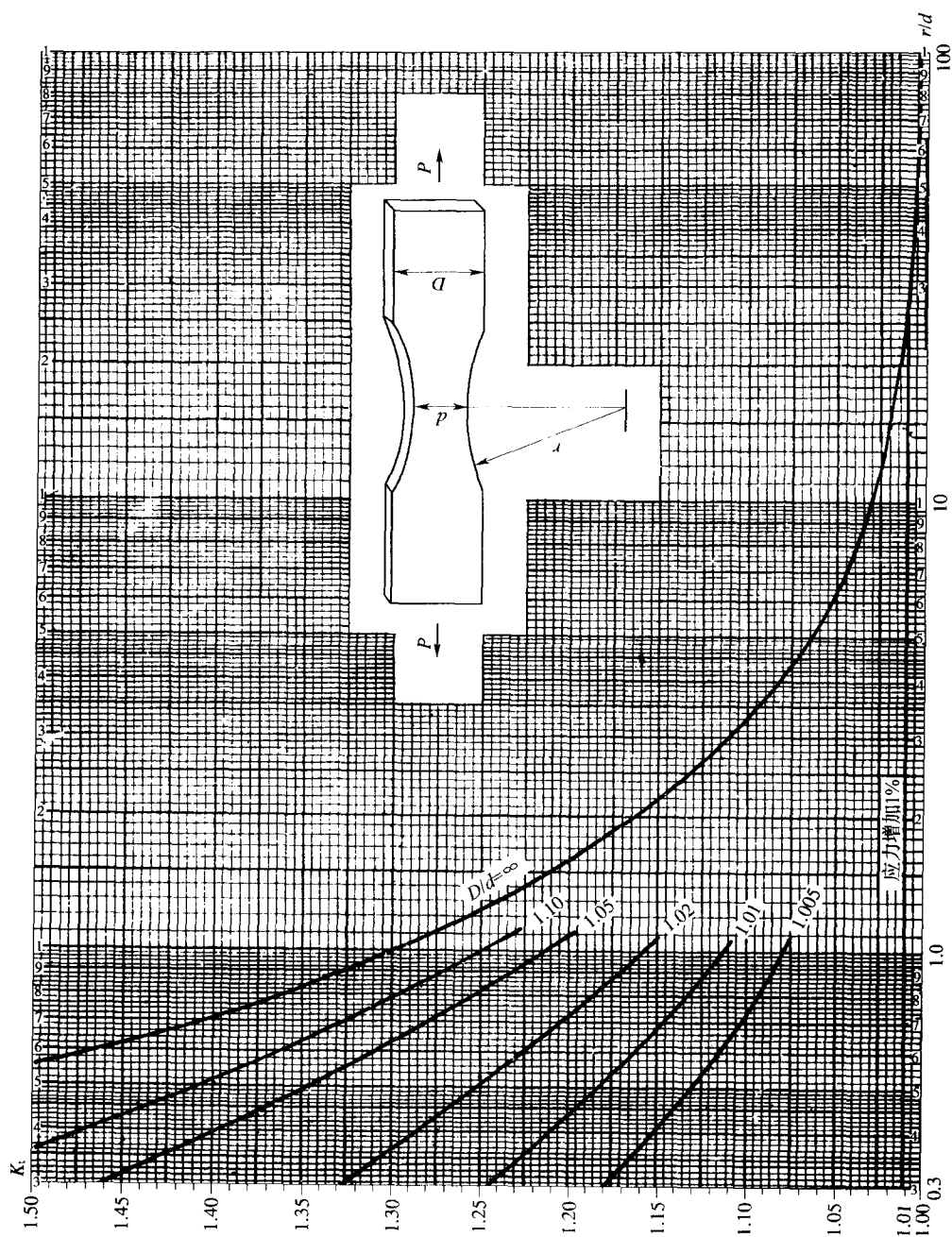


图 2-3 带缺口的扁杆在拉伸时的应力集中系数 $K_t(r/D$ 从 0.0010 到 0.050)

图 2-4 带缺口的扁杆在拉伸时的应力集中系数 $K_t(r/D$ 从 0.05 到 1.00)

图 2-5 扁平试件在拉伸时的应力集中系数 K_t (根据诺伯理论得出的计算值)

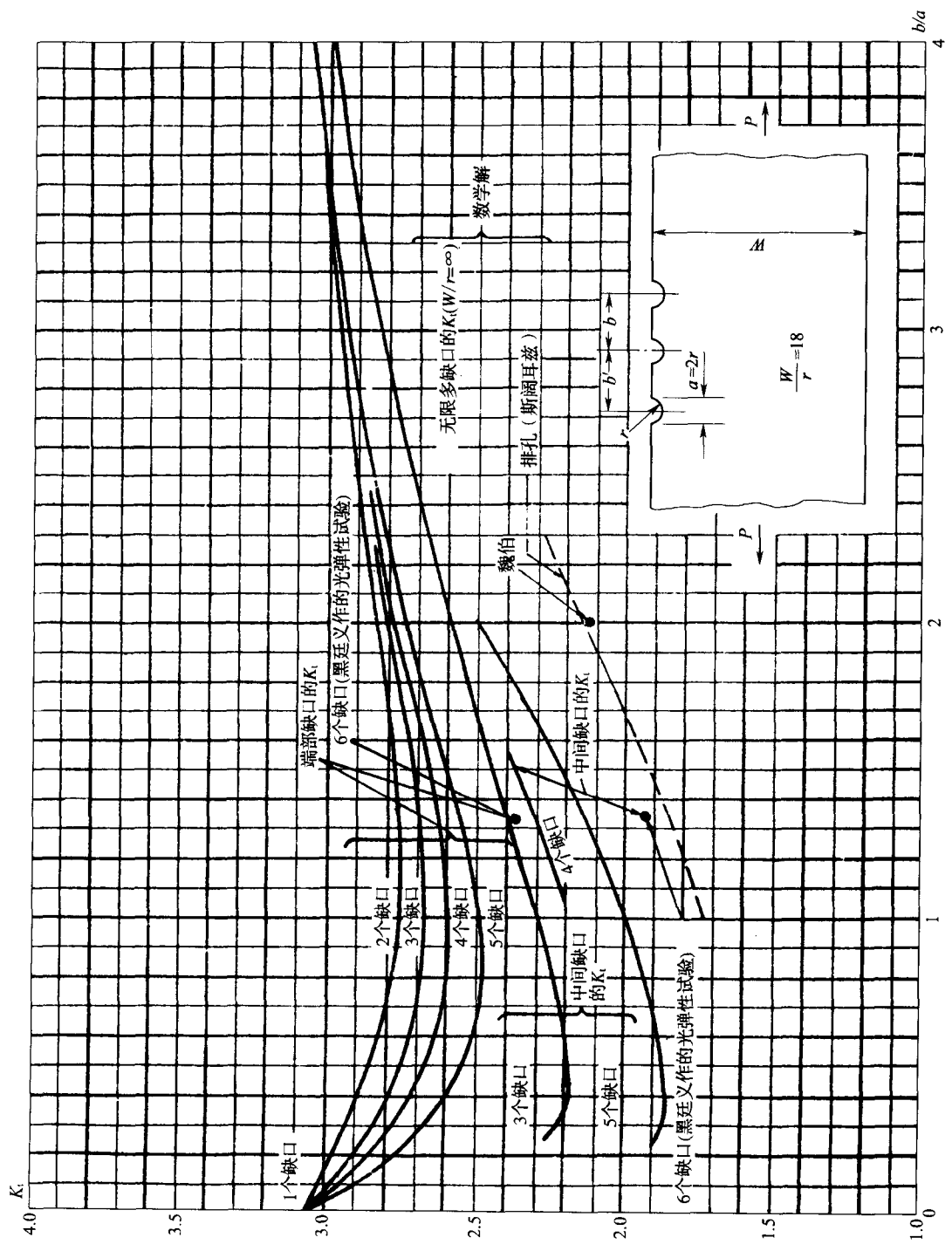
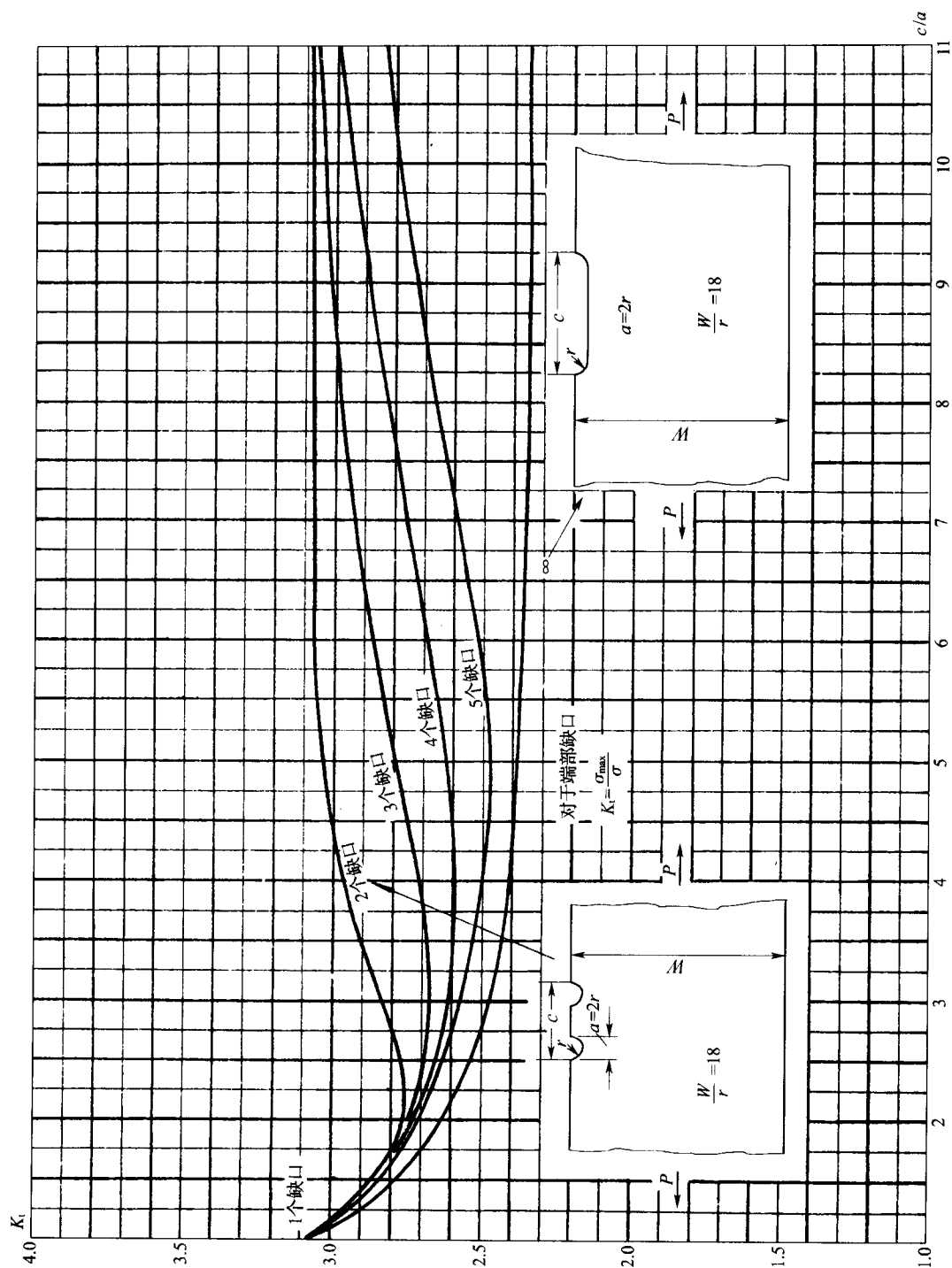


图 2-6 带半圆形缺口的扁杆($W/r=18$)在拉伸情况下的应力集中系数 K_t (根据杜雷利、雷克和菲利浦的光弹性试验得出)

图 2-7 带半圆形缺口的扁杆 ($W/r=18$) 在拉伸情况下的应力集中系数 K_t (根据杜雷利、雷克和菲利普的光弹性试验得出)

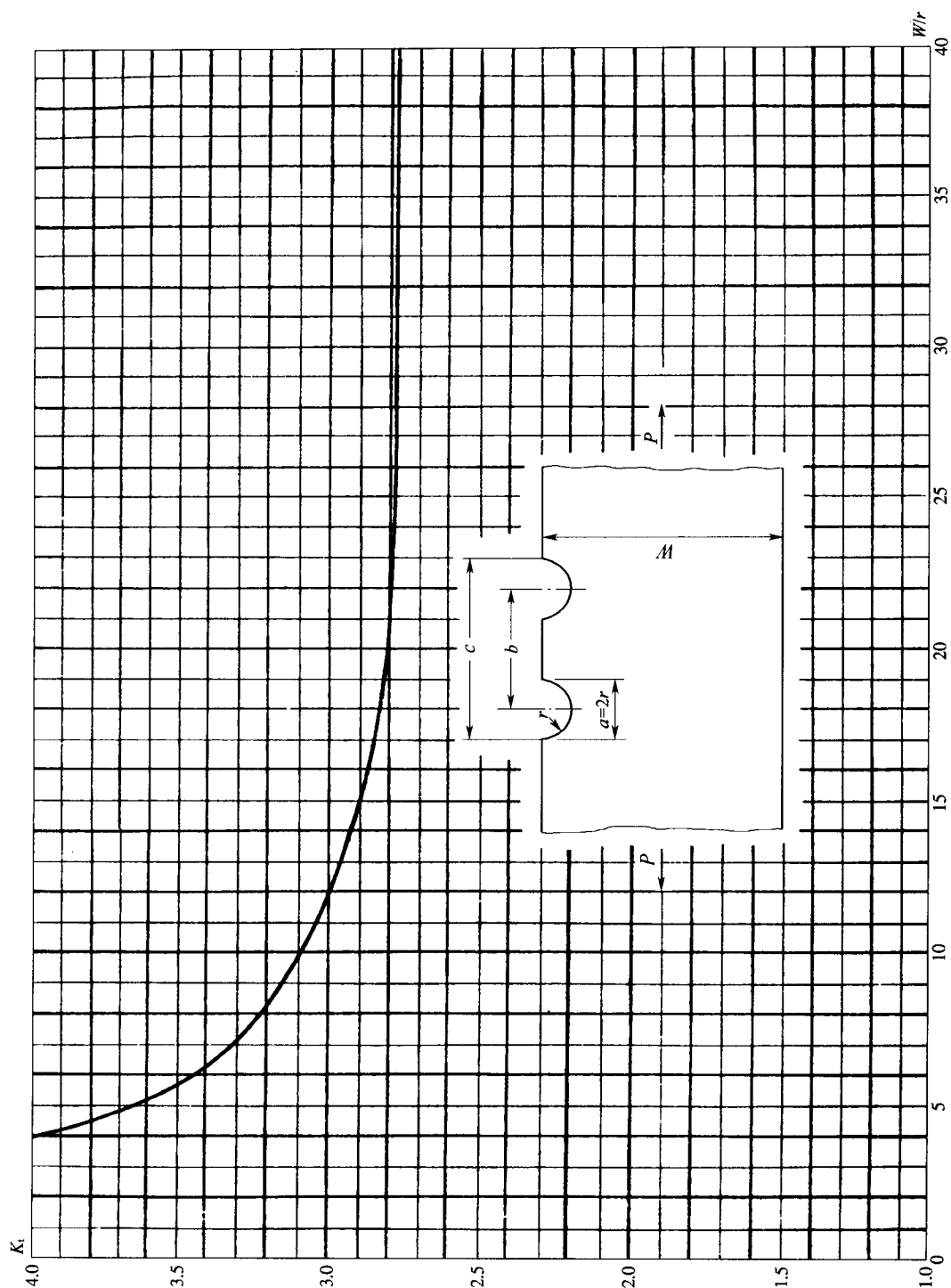


图 2-8 带两个半圆形缺口的扁杆($b/a=2, c/a=3$)在拉伸情况下的应力集中系数 K_t (根据杜雷利、雷克和菲利浦的光弹性试验得出)