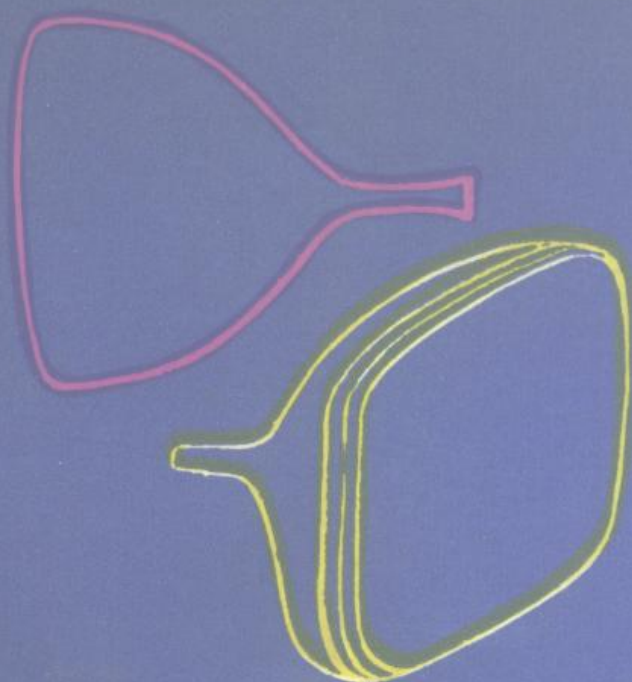




王 佩 纶 著

显象管玻壳强度 与防爆技术

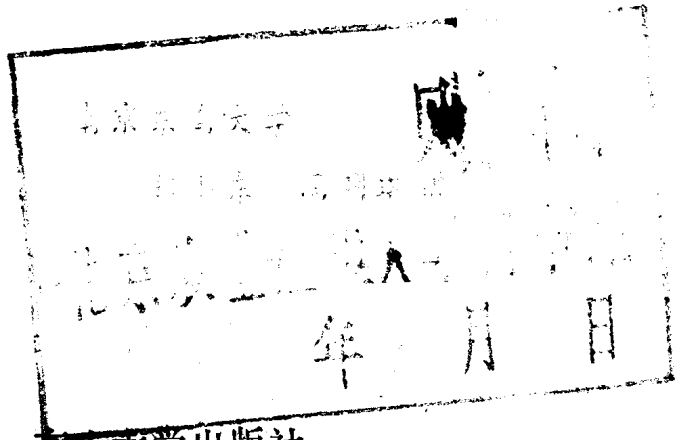
东南大学出版社

TN141 0394

1

显象管玻壳强度与防爆技术

王佩纶 著



东南大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍显象管玻壳强度与防爆技术。全书共分十章，内容包括：显象管玻壳强度的理论分析和有限元设计计算方法，玻壳应力实测和玻壳残余应力检验方法，显象管防爆原理、防爆技术和试验方法，最后对电真空玻璃机械性能测试作了讨论。

本书内容丰富，理论联系实际，是作者十多年来解决国内显象管玻壳厂、显象管厂及电视机厂提出的各种实际问题的方法与经验的总结，可供高等工业学校有关电真空玻璃和器件专业的本科生、研究生、教师及从事显象管玻壳设计、显象管及电视机厂等工程技术人员参考。

责任编辑：冉榴红

责任校对：杨 克

2620/67

显象管玻壳强度与防爆技术

王佩纶 著

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 江宁县印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张6.125 字数137千字

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数：1—1000册

ISBN 7—81023—158—8

TN·15

定价：1.95 元

序

1973年开始,作者根据国内电子工业的发展需要,对电子束管玻壳的设计、应力分析及防爆技术等课题进行了研究,内容包括以下几个方面:各类玻壳的强度测试方法;残余应力检验;玻壳结构应力理论分析;显象管防爆物理参数测定;防爆原理与技术以及有限元方法在玻壳设计中的应用等等。研究的玻壳类型有显象管、示波管、雷达指示管、投影管、扁平型显象管及等离子体显示板等等。

近年来,我们在玻壳强度及防爆分析等方面的工作,有了新进展。从一般的理论分析、应力测试发展到应用有限元方法辅助玻壳设计、应力和变形计算,在玻壳图纸设计阶段就能在计算机上得到所设计玻壳全部应力、位移的数据,大大缩短玻壳设计和成品之间的生产周期,提高了经济效益,同时也提高了玻壳的安全可靠性。

多年来,在玻壳强度和防爆方面所进行的工作得到了有关部门、工厂、研究所的支持,有关的研究成果曾得到部、省、市的奖励。鉴于目前国内外还没有现成的论述玻壳强度及防爆技术方面的专著,现将历年来发表在学报、专业刊物、会议上的论文及研究成果编写成书,以供广大玻壳设计人员参考和推广应用。本书引用的资料均已在参考文献中列出。对帮助做了某些实验和计算的高松坡、吕天吉等同志表示感谢。由于作者水平有限,书中一定会有不少错误和不妥之处,诚恳地欢迎读者批评指正。

王佩纶 于东南大学

1988年6月

目 录

第一章 显象管玻壳强度总论

§ 1-1 概 述	(1)
§ 1-2 显象管玻壳爆 炸 原因	(1)
§ 1-3 玻璃材料的机械 性 能	(3)
§ 1-4 玻壳结构 强 度	(5)
§ 1-5 玻壳的残余应力 问 题	(9)
§ 1-6 玻壳中气泡引起的应力集 中 问题	(10)
§ 1-7 显象管玻壳耐压 强 度	(12)
§ 1-8 断裂力学方法研究玻壳宏观 缺 陷	(14)
§ 1-9 显象管防爆 问 题	(17)
§ 1-10 总 结	(19)
参考文献	(22)

第二章 显象管玻壳应力分析的有限元方法

§ 2-1 概 述	(24)
§ 2-2 有限元方法分析显象管玻壳中的应力和位移	(24)
§ 2-3 玻壳有限元分析的若干 技 术 问题	(29)
§ 2-4 防爆质量位移检 测 法	(30)
参考文献	(33)

第三章 显象管玻壳应力测试技术

§ 3-1 概 述	(35)
-----------------	--------

§ 3-2	电测法基本原理	(35)
§ 3-3	应力的计算	(39)
§ 3-4	测试前准备工作	(41)
§ 3-5	玻壳上应变片粘贴技术	(42)
§ 3-6	真空器件测点布置	(44)
§ 3-7	真空器件加载问题	(45)
§ 3-8	真空器件内壁应力测试技术	(46)
§ 3-9	玻壳应力测试实例	(47)
	参考文献	(55)

第四章 显象管玻壳应力偏光检验方法

§ 4-1	概述	(56)
§ 4-2	偏光应力仪的工作原理	(57)
§ 4-3	偏光应力仪	(61)
§ 4-4	玻壳残余应力检验	(64)
	参考文献	(68)

第五章 有限元方法在航空显象管玻壳设计中应用

§ 5-1	概述	(69)
§ 5-2	玻壳几何外形计算公式	(70)
§ 5-3	航空显象管玻壳的应力和变形的有限元分析	(78)
§ 5-4	玻壳应力分布情况和防爆效果	(81)
	参考文献	(82)

第六章 扁平型显象管玻壳设计与应力分析

§ 6-1	概述	(84)
§ 6-2	应用有限元法辅助玻壳设计	(85)
§ 6-3	玻壳屏面曲面的形成及计算	(86)

§ 6-4 玻壳屏锥过渡曲面的形成及计算……………(89)

§ 6-5 用有限元法分析扁平型玻壳的应力和变形
……………(91)

§ 6-6 扁平型玻壳应力分布规律, 提高玻壳强度措施
……………(96)

参考文献……………(97)

第七章 投影管玻壳应力分析与计算

§ 7-1 概述……………(98)

§ 7-2 投影管玻壳结构应力分析与计算……………(98)

§ 7-3 投影管玻壳应力测试……………(103)

§ 7-4 有限元法分析投影管玻壳的应力和位移……………(105)

§ 7-5 温度应力计算……………(109)

§ 7-6 解决投影管玻壳炸裂问题的措施……………(113)

参考文献……………(115)

第八章 示波管玻壳、显示板应力及变形分析

§ 8-1 概述……………(116)

§ 8-2 一般电子束管玻壳应力计算……………(117)

§ 8-3 典型电子束管玻壳应力分析……………(123)

§ 8-4 宽带示波管屏组合件热应力有限元分析……………(128)

§ 8-5 等离子体显示玻璃板的变形及应力分析……………(141)

参考文献……………(149)

第九章 玻璃的机械性能

§ 9-1 玻璃的机械强度……………(150)

§ 9-2 玻璃的弹性常数……………(151)

§ 9-3 玻璃的抗拉强度测定……………(155)

§ 9-4 玻璃的抗压强度测定……………(157)

§ 9-5 玻璃的抗弯强度测定.....(53)

§ 9-6 玻璃的抗冲击强度测定.....(160)

参考文献.....(161)

第十章 显象管防爆原理与技术

§ 10-1 概要.....(162)

§ 10-2 显象管的各种防爆措施.....(163)

§ 10-3 带式防爆措施的基本原理.....(167)

§ 10-4 显象管防爆钢带预紧力的确定.....(173)

§ 10-5 防爆钢带的机械性能与要求.....(177)

§ 10-6 防爆试验.....(179)

附录 中华人民共和国国家标准——显象管防爆试验

方法.....(183)

参考文献.....(186)

第一章 显象管玻壳强度总论

§ 1-1 概 述

电视机显象管是一种高真空玻璃壳体器件，在真空状态下，玻壳表面每平方厘米受到 1.03kg 的大气压力。显象管尺寸越大，玻壳表面面积也就越大，因此玻壳表面受到大气压力而引起的壳体中内力素的数值也越大。这样就有可能导致壳体结构内的应力值过大，使壳体因强度不足而发生破裂，引起爆炸事故。

根据国内外资料报导，壳体器件具有自爆(存放期间自然爆炸)和触爆(运输，安装，意外碰撞，振动等)两种可能性，因此显象管设计和制造部门对于爆炸问题极为重视，尤其是大屏幕的显象管。为确保显象管和电视机生产、维修及使用过程中的安全，应该搞清玻壳中应力(包括残余应力及大气压力作用下玻壳中的结构应力)的大小及其分布情况，找出壳体中应力与结构形状间的一些规律及残余应力形成的规律，这样就可以采取相应的有效措施来提高壳体的强度，保证玻壳在压制过程和正常使用条件下不发生爆炸。

§ 1-2 显象管玻壳爆炸原因

显象管玻壳爆炸大致有两种类型：(1)自发爆炸(生产、使

用、修理、调试时发生)；(2)触震爆炸(运输、意外碰撞、振动情况下发生)。无论自发爆炸还是触震爆炸，都是属于壳体的内破裂(Implosion)。内破裂的同时，空气高速流动，这时就伴随玻壳的爆炸(Explosion)，于是玻壳碎片以相当大的速度向前方飞进，给人们带来危害。

关于显象管爆炸原因，还未见到有较深入论述的文献。F.de Boer 认为“玻壳可能是在玻壳表面损伤处玻璃的疲劳、伤痕导致自然炸裂”，“玻璃表面损伤，玻璃在湿度、温度变化下裂纹扩大引起疲劳”(国外一些文献，对“裂纹”常使用“Scratch”及“Crack”二词，但一般前者指“刮痕”，后者才是“裂纹”的含义)。住吉、西川认为爆炸是因玻壳表面有细微的伤痕而引起的。

玻壳表面情况对玻璃的强度会有很大的影响。表面有伤痕、裂缝，玻璃的强度就会急剧下降。制造过程中，应该避免在玻壳表面产生裂纹等缺陷。另一方面，应该重视玻壳在压制过程中存在的初应力(残余应力)。玻壳发生炸裂很大程度上决定于残余应力的大小，生产实践也证实了这一点。例如同一批材料制造的显象管，在相同的真空度、大气环境和室温条件下，玻壳表面都未受到损伤的显象管，有的发生爆炸，有的不发生爆炸。此外，同样一批显象管在进行引爆试验时，各管所表现的爆炸性状也不相同。可见显象管的爆炸与玻壳内总应力的(玻壳的残余应力及玻壳由于大气压力而引起的附加应力，即结构应力之和)有关。从断裂力学观点来看，玻璃材料是一种典型的脆性材料，普通玻璃在其自然状态下有许多内在的微裂纹，但只有当玻壳中的应力接近裂纹扩展时的临界应力时，裂纹才具有危险性，就是说裂纹的扩展与壳内的应力值

大小有密切的关系。因此，必须搞清楚玻壳中的应力情况，包括内应力及结构应力的分布规律，才能完整地认识玻壳结构的强度情况。实际玻壳的强度条件是：

$$\sigma_{\text{总}} = \sigma_{\text{残}} + \sigma_{\text{结}} \leq [\sigma]$$

总	残	结	许
应	余	构	用
力	应	应	应

应该注意，在许用应力中必须考虑负荷时间特性，只有当玻壳中的总应力小于玻壳材料的许用应力，玻壳结构的强度才是足够的。

§ 1-3 玻璃材料的机械性能

显象管的炸裂与玻壳材料的机械性能有密切的关系。玻璃是一种高硬度的非结晶固体，它是一种典型的脆性材料。在玻璃的机械性能中，抗拉强度比抗压强度低得多。Griffith 认为玻璃在外力作用下的脆性破坏通常是由于微裂纹的扩展，而微裂纹是由于材料中存在不同的杂质或者不均匀区而引起的。他从能量平衡角度对玻璃等脆性材料的断裂进行了研究。对于平面应力问题，Griffith 得出长为 l 的椭圆细裂纹（图1-1）开始扩张的临界应力为

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2ET}{\pi a}}$$

式中 E —玻璃的弹性模量，

T —玻璃的表面张力，

$2a$ —玻璃体内的微裂纹长度。

对于平面形变及三维问题也有相似的方程，只是数字系数的不同而已。

Griffith 理论曾被实验所证实，他指出硅酸盐玻璃本身含有微裂纹的数量级为 $1 \times 10^{-3} \text{mm}$ 。这些公式严格说来并不适用于厚度有限的薄片或其它形状的试件的一般破裂

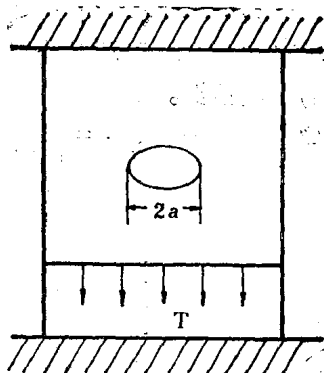


图1-1

情况，但是提出了各种不同因素对材料强度性质影响的概念。

根据对彩色显象管某种玻璃机械性能的测定(试件尺寸为 $125 \times 25 \times 10 \text{mm}$)，玻璃的抗弯极限为 $\sigma_B = 668.3 \text{kg/cm}^2$ ，抗压强度为 $\sigma_B' = 8225 \text{kg/cm}^2$ (试件尺寸为 $10 \times 10 \times 10 \text{mm}$) 可见玻璃的抗压强度为抗拉强度的十几倍。一般文献上提供的抗拉强度为 $\sigma_B = 300 \sim 900 \text{kg/cm}^2$ ，但须指出，这些数值的大小与试件的尺寸和试验条件有关。因此，有关部门必须制定抗拉、抗压试件的规范，这样才能对各种玻璃的机械性能进行比较。

国外有关玻璃强度分析资料认为“玻璃耐压强度的大小，主要决定于玻璃制品热处理后形成的应力和制品的形状、实际尺寸以及玻璃表面情况等因素”。其中玻璃形状对玻璃强度的影响比较如下：

玻璃强度理论值	1000kg/mm^2
纤维状玻璃	100kg/mm^2
磨板状玻璃	10kg/mm^2

瓶玻璃

$1\text{kg}/\text{mm}^2$

用来设计显象管玻壳的玻璃强度值为 $84.37\text{kg}/\text{cm}^2$ ，设计所能承受的应力应在这个数值内。制品表面情况对玻璃强度的影响很大，表面有伤痕裂缝，玻璃强度会急剧下降，可以从 $1\text{kg}/\text{mm}^2$ 下降到 $0.1\text{kg}/\text{mm}^2$ ，所以在制造过程中，应避免在玻璃表面产生裂伤，而这种裂伤往往是不易发现的。

设计显象管玻壳的玻璃许用应力值应取多大才合理？据苏联资料，电真空器件中最大许用应力值认为是 $1\text{kg}/\text{mm}^2$ ($100\text{kg}/\text{cm}^2$)的数量级，英美资料中有的认为对于电子玻璃制品是 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 的数值，但也有的认为可在 $35.16\sim 105.47\text{kg}/\text{cm}^2$ 范围内。有关部门应统一制定许用应力值。

§ 1-4 玻壳结构的强度

从玻壳设计的力学角度来说，壳体在一定载荷作用下应有足够的强度、刚度以及抵抗失稳的能力。在正常工作条件下(包括不甚激烈的振动)不允许发生炸裂现象，即使玻壳表面有轻微的擦伤或偶尔受到轻的碰撞，也不应发生爆炸。万一在某种情况下，意外碰到较大冲击力，应该使玻壳不发生激烈爆炸，而只是破裂，不致给人们带来危害。

显象管玻壳是一个变厚度组合壳体，整个壳体的形状比较复杂。按显象管的技术条件，管内真空度约为 10^{-6}P_0 ，这样玻壳内外壁的压力差为一个大气压。对于19英寸显象管玻壳来说，屏面受到的总压力为 1270kg 左右，12英寸显象管玻壳屏面上受到总压力为 610kg 左右。在外部载荷作用下，管内各部分就产生应力，玻壳的某些部分可能产生较大的应力，

尤其是大屏幕的显象管。因此为了研究玻壳结构的强度情况，应搞清玻壳在大气压力作用下，壳内各点的应力情况及分布规律。由于玻壳是一种组合变厚度壳体，用严格的古典板壳理论进行计算，目前尚有一定的困难。因为这种壳体形状复杂，各部分间的边界条件难以确定，但用有限元方法计算这类壳体是可行的。当然也可用电阻应变来测定玻壳中的应变，但在显象管壳体各点粘贴小标距应变计时应注意各应变计在玻壳上是否粘贴可靠，否则会影响测量结果。测量时可在玻壳的长、短轴的对称面上(图1-2)粘贴直角式应变花(由于对称面上的应力是主应力)，其它各点可用相夹 45° 的应变片。将测得的应变再通过计算公式求出各点的应力值，如果测点较多，可将计算应力公式编成程序，用计算机进行计算。

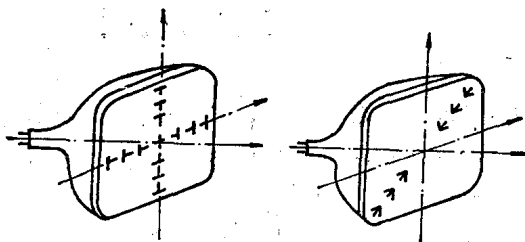


图1-2

国外有些国家测定显象管玻壳的强度情况，也用电阻应变计来测定玻壳中的应力和应变。例如，Philips测定过19英寸彩色显象管玻壳中的应力，日本测过19英寸黑白显象管玻壳的应变，其资料如表1-1所示，相应的测点如图1-3所示。我们曾对19英寸彩色显象管和黑白显象管玻壳进行过应力测定，测定结果是屏面四边转角的外表面为拉应力(危险区域)，屏面中心区外表面为压应力，内表面为拉应力(图1-4)。用有限元方法计

算玻壳所得应力分布规律与图1-4相一致。

表 1-1

布片位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
抽真空后应 变量(μ 应变)	-148	-130	67	77	-11	133	-10	73	-80	-68	67	78

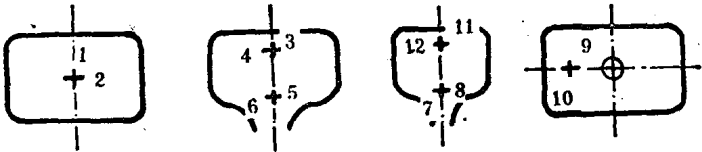


图1-3

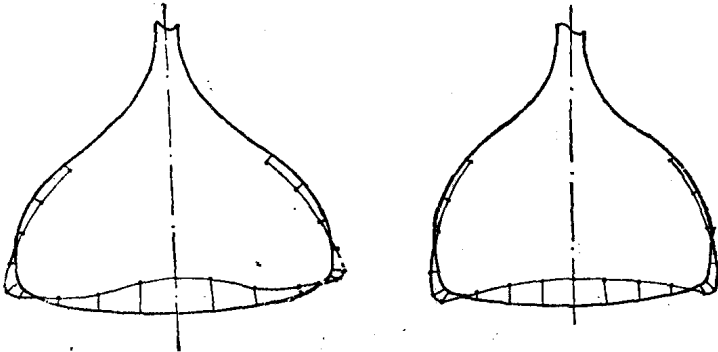


图1-4(a)

图1-4(b)

根据玻壳应力的实测及三维有限元法的计算，可知在玻壳的屏面与模圈转角部分有较大的应力值。屏面与模圈部分内、外壁的应力值与性质是不同的，这一区域的应力状态是薄膜应力与弯曲应力的复合状态，对于壳体结构来说，这种应力状态是很不理想的。根据板壳理论，玻壳的屏面部分实际上是一矩

形微弯板，中心稍薄，四边略厚，此板的边界为模圈部分。严格地说，屏面部分是一种具有弹性支承的很扁的扁壳，它的矢高与最小跨度之比为1:25，一般扁壳的矢高与最小跨度之比为1:5，故这种很扁的壳体其工作性能接近于很扁的扁壳，但整个屏面上遍及弯曲应力，故不能按扁壳的无矩理论进行计算。又由于屏面具有一定的曲率，因此尽管它的矢高与平面最小尺寸相比很小，也不能按一般的平板弯曲理论进行计算（因为壳体曲率及拱度说明它具有内力的空间重分布）。因为玻壳的屏面上存在弯曲应力与薄膜应力，这样屏面的曲率半径 R 就与屏面应力的有关，即应力大小与屏面曲率半径成正比，所以一般来说球面壳强度较好，柱面壳强度较差，平板形结构强度最差。显象管玻壳应力测定也证实了这个结论，由于屏面中存在弯曲应力，屏的厚度 H 就与应力的有很大的关系。一般薄膜应力与屏的厚度 H 的一次方成反比，而弯曲应力与 H 的二次方成反比，所以屏的厚度稍为增大一些就可降低屏面中的应力。但是，我们不能忽视残余应力问题，屏厚了，残余应力就有可能增大，只有在残余应力值能控制情况下，增加屏的厚度才是有利的。此外屏面尺寸的大小与屏面内弯矩的大小有关，屏面尺寸增大，屏面内应力就会增大，一般大屏面的显象管玻壳中应力比小屏面的玻壳中应力大。

根据弹性力学一般原则，在任何结构中截面尺寸剧烈变化处，凹角的尖锐内圆角处都会引起较大的应力，因此屏面与屏边转角曲率半径 r 内、屏面四角处的转角半径，在可能条件下以大一些为好。生产实践也证明了转角半径过小，玻壳常会发生炸裂，半径增大后就可消除这一现象。

以上所述是壳体结构形状、几何尺寸与强度的一些关系，

在设计玻壳时应考虑到这一点。

§ 1-5 玻壳的残余应力问题

玻壳的残余应力是玻壳制造中一个极为重要的问题，它直接影响玻壳的质量，严重时甚至影响显象管使用的安全性。

生产单位对玻壳结构的应力、玻璃材料成份、玻壳表面质量及防爆措施较为注意，但是，玻壳成型时的残余应力不能忽视，因为生产玻壳的薄弱环节往往发生在退火不好，残余应力过大。从我们对一系列玻壳(19英寸球面彩显管，19英寸柱面彩显管，20英寸球面彩显管，12英寸、16英寸和17英寸黑白管)的应力测定来看，玻壳结构的机械应力一般还不致引起玻壳炸裂。由玻壳的强度校核条件 $\sigma_{\text{总}} = \sigma_{\text{残}} + \sigma_{\text{结}} \leq [\sigma]$ 知，如果显象管发生炸裂，其潜在原因大多与残余应力的大小有关，因此必须引起足够重视。

当玻壳加工成型时，玻璃由熔融状态渐渐冷却，由于外面比内部冷却得快，收缩也较大，因此表面就有力作用于内部，内部也有力作用于表面。如外层硬化不能流动，这个力就无法消除，它有使玻璃竭力分开的趋势，其对应的应力如超过玻璃强度值，就会发生炸裂。如果成型时不炸裂，那末冷却到室温时这力依然存在，形成所谓残余应力。此外，玻壳的屏锥封接膨胀系数不匹配，升温、降温、保温不合理，也容易形成残余应力。从理论上说，部分残余应力可用渐热，渐冷方法进行退火而消除，但实际上对于形状复杂的玻壳，应力是不易彻底消除的，而且它的数值也是极不均匀的，这就使玻壳的结构强度有所降低。显象管的引爆试验也反映了这一点，往往相同结构