

接管上外载荷在圆筒
形壳体中引起的局部应力
——WRC 通报第 107 号的补充

J.L.Mershon,K.Mokhtarian,G.V.Ranjan,E.C.Rodabaugh

化学工业部设备设计技术中心站

一九八六年九月

接管上外载荷在圆筒
形壳体中引起的局部应力
——WRC 通报第 107 号的补充

J.L.Mershon,K.Mokhtarian,G.V.Ranjan,E.C.Rodabaugh

江苏工业学院图书馆
藏书章

化学工业部设备设计技术中心站

一九八六年九月

接管上外载荷在圆筒形壳体 中引起的局部应力 ——WRC 通报第 107 号的补充

J. L. Mershon, K. Mokhtarian, G. V. Ranjan, E. C. Rodabaugh

内 容

前 言

1.0 绪 言

2.0 符号说明

3.0 应力计算

3.1 P 、 M_c 、 M_L 等接管载荷, 应力方程式

3.2 P 、 M_c 、 M_L 等接管载荷, 限制范围

3.3 M_t 、 V_c 、 V_L 等接管载荷

3.4 接管综合载荷引起的应力

4.0 载荷值确定

5.0 参考文献

图 3~60

附录 A —— 计算例题

附录 B —— 本通报结果与有限元解析结
果的比较

附录 C —— 本通报结果与 WRC 通报第 107
号曲线的比较

图 C—1~C—12

前 言

K. R. Wichman, A. G. Hopper 和 J. L. Mershon 的“外载荷在球形和圆筒形壳体中引起的局部应力”一文自 1965 年 8 月在 WRC 通报第 107 号上初次发表以来已获得设计分析人员的广泛应用。不管在分析方法和功能上的进展以及其后岁月中增添的实验数据而仍予以继续使用, 这就说明了对通报第 107 号形式的“烹饪书”的需要。这种需要的持续性就为准备通报第 297 号在这里所提供的本“补充”的一个主要推动因素, 本补充扩大了通报第 107 号的有效范围。

在本文件中, 给出处理两个正交的圆筒形壳体, 即圆筒形接管径向地连接在圆筒形容器(壳体)上的方法和数据, 可以求出接管和容器两者中的应力, 适用的容器直径——厚度比范围, 超过了通报第 107 号的范围。所采用的分析方法是 C. R. Steel 以薄壳理论为基础推导而得的。

.....
PVRC 设计部主席

W. L. Greenstreet

绪 言

本通报为焊接研究委员会(WRC)通报第 107 号^[2]的补充, 专用于圆筒形容器中的圆筒形接管。因此, 可以计算 WRC 通报第 107 号所没有的, 与容器连接的接管中的应力。本通报具有比 WRC 通报第 107 号范围为大的 D/T 比的数据, 对小的 d/D 值则提供更好的可读性, 并包括了接管颈厚度的效应。第 3 节列有计算连接处附近容器或接管中应力的步骤。

本通报列有来自壳体技术(Shelltech)报告 81—5^[3]适于设计工作之用形式的表格值(图 3~58)。还包括来自壳体技术报告 80—2^[4]和 1983 年 5 月 15 日的壳体技术进展报告关于接管柔性的数据如图 59 和 60。

壳体技术的数据是用于 P 、 M_c 和 M_L 等接管载荷的。经近似值的补充以用于 M_t 、 V_c 和 V_L 等接管载荷, 这和 WRC 通报第 107 号的近似方法相同。对 P 、 M_c 和 M_L 等接管载荷数据的使用限制则包括在第 3 节中。第 4 节中有

附录 A 用两个例题来表明如何使用第 3 节中的步骤, 并有关于计算应力意义的结论。附录 B 和 C 列有用有限元计算和 WRC 通报第 107 号方法(容器中应力)应力计算的方法比较。同时提醒读者, 对带有焊接接管, 并承受接管载荷的容器, 其整个结构中的应力计算是存在明显的误差。至今为止的验证表明, 本文件中报告的结果一般是保守的。

本文公式和方程式中的符号如下:

N_r 、 N_θ = 每单位壳壁长度的薄膜力
(见图 2)。

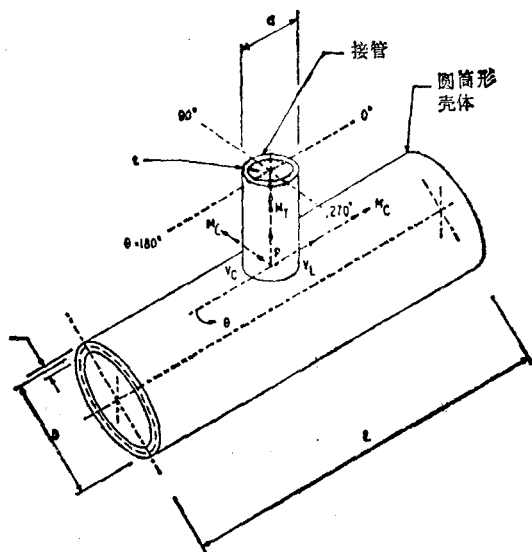
$$n_0 = N_0 T / P, \text{ 或 } N_0 T d / M_c \text{ 或 } N_0 T d / M_{L_0}.$$
 $\sigma_c =$ 接管中的周向应力,
$$L = \frac{8L_1L_2}{[(L_1)^{1/2} + (L_2)^{1/2}]^2}$$
$$A = L/(DT)^{1/2}$$


图1 圆形壳体中径向接管上的正方向外载荷及几何定义, V_L 、 V_o 、 P 、 M_o 、 M_L 和 M_T 等载荷作用在接管—壳体相交处, 并形成右手系统

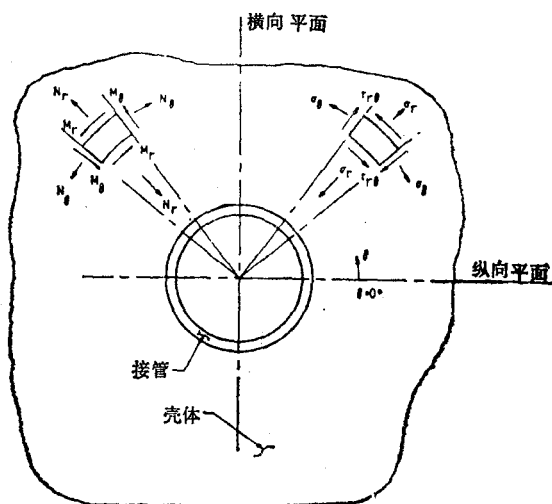


图2 壳体中正方向的应力,内薄膜力和内弯矩

3.1 P, M_c, M_L 等接管载荷, 应力方程式

接管连接处附近容器中的表面应力以下式计算之

$$\sigma_r = \frac{P}{T^2} (n_r \pm 6m_r) \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{P}{T^2} (n_\theta \pm 6m_\theta) \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{M_t}{T^2 d} (n_r \pm 6m_r) \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \frac{M_t}{T^2 d} (n_\theta \pm 6m_\theta) \quad (4)$$

接管——容器连接处接管的轴向表面应力以式(5)和(6)计算之。

表1——图3~58的索引,接管——容器相交处的应力组合

应力组合 a	d/t	图 号		
		P ^b	M _t ^b	M _L
m _r	10	3	23	41
	20	4		
	30	5	24	42
	50	6	25	43
	100	7	26	44
n _r	10	8	27	45
	20	9	28	46
	30	10	29	47
	50	11	30	48
	100	12	31	49
m _θ	10	13	32	50
	20	14		
	30	15	33	51
	50	16	34	52
	100	17	35	53
n _θ	10	18	36	54
	20	19	37	55
	30	20	38	56
	50	21	39	57
	100	22	40	58

a. 见第2节符号说明。

b. 在 $\theta=90^\circ-270^\circ$ 面(横向平面)上的应力组合。

在 $\theta=0^\circ-180^\circ$ 面上P载荷的应力组合一般小于横向平面(即 $90^\circ-270^\circ$ 面)上的值,在本报告中未予列出。为保守起见,则设它们与横向平面上的相同。

c. 在 $\theta=0^\circ-180^\circ$ 平面(纵向平面)上的应力组合。

引入含有 n_r 的项以修正作用在接管上的力矩,从连接处壳体侧的径向力矩减去 $N_r T/2$ 。

$$\sigma_a = \frac{P}{t^2} \left[\frac{t}{\pi d} \pm (6m_r - 3n_r) \right] \quad (5)$$

$$\sigma_a = \frac{M_t}{t^2 d} \left[\frac{4t}{\pi d} \pm (6m_r - 3n_r) \right] \quad (6)$$

在(5)式中,接管的截面积是计算为 $\pi d t$,式(6)中,接管的截面模数是计算为 $\pi d^2 t/4$ 。这些都是近似的表达式,适于较大 d/t 比的接管。对较小 d/t 比的接管,则应采用下列精确的表达式。截面积为

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_i^2)$$

截面模数为

$$S = \frac{\pi (d^4 - d_i^4)}{32 d}$$

式中 $d_i = d - 2t$ = 接管内径。

在本通报中,接管周向的薄膜应力是设等于接管——容器连接处容器壳体的周向(θ 向)薄膜应力。这个假设可由最大接管应力出现在壳体连接处,并在该位置上接管和壳体具有同一径向应变的这一事实证明是确当的。接管的周向弯曲应力在与薄膜应力相比时是可以忽略不计的。因此,接管的周向应力为

$$\sigma_c = \frac{P}{T^2} (n_\theta) \quad (7)$$

$$\sigma_c = \frac{M_t}{T^2 d} (n_\theta) \quad (8)$$

在式(3)、(4)、(6)和(8)中, $M_t = M_\theta$ 或 M_L 。正号用于容器或接管的外表面,负号用于内表面。

图3~58示出以 d/t , λ 和 T/t 等函数表示的 m_r , n_r , m_θ 和 n_θ 。表1为图3~58的索引。在使用这些图时。需要对一给定图的 T/t 线之间及在图之间对 d/t 进行插值。计算 P , M_θ 或 M_L 等载荷的应力的插值及其它情况可以附录A中的例题计算说明之。

从图3~58得的应力组合的符号是以外载

荷 P 、 M_c 和 M_L 为正的假设为依据的。外载荷的正向表明在图 1 中。表 2 示出 0° 、 90° 、 180° 和 270° 方位角处由正外载荷引致的薄膜和弯曲应力的符号,并设由图 3~58 读得的应力组合为正值。任一负的应力组合值或负的外载荷都将改变示在表 2 中的符号。正号指拉应力,负号指压应力。所列符号适用于容器壳体和接管两者,但接管中周向弯曲应力除外,因其不重要,是不包括在本通报中。方位角后的记号 (i) 指内表面。方位角后记号 (o) 指外表面。

表 2 用于正载荷和正应力组合的应力符号

应力	位置	载 荷		
		P	M_c	M_L
薄膜	$0^\circ(i), 0^\circ(o) +$			-
	$180^\circ(i), 180^\circ(o) +$			+
	$90^\circ(i), 90^\circ(o) +$		+	
	$270^\circ(i), 270^\circ(o) +$		-	
径向弯曲	$0^\circ(i) -$			+
	$0^\circ(o) +$			-
	$180^\circ(i) -$			-
	$180^\circ(o) +$			+
	$90^\circ(i) -$		+	
	$90^\circ(o) +$		+	
	$270^\circ(i) -$		+	
	$270^\circ(o) +$		-	
周向弯曲	$0^\circ(i) -$			+
	$0^\circ(o) +$			-
	$180^\circ(i) -$			-
	$180^\circ(o) +$			+
	$90^\circ(i) -$		-	
	$90^\circ(o) +$		+	
	$270^\circ(i) -$		+	
	$270^\circ(o) +$		-	

3.2 P 、 M_c 、 M_L 等接管载荷, 限制范围

Steele 的理论适用于其轴线法向于容器表面的接管, 且接管和容器两者都处理为薄壁圆筒形壳体。按照 Steele^[3], 为使薄壳理论有效, 应使 $d/t \geq 20$, $D/T \geq 20$ 及 $d/T \geq 5$ 。然而, 如接管厚度是厚的, 它近乎为一刚性的插入件, 则对任何的 d/t , 均可获得合理的容器应力结果。虽然, Steele^[3] 所用的浅壳解可以有效到 d/D 比为 0.5, 其应用的正确限值则取决于

D/T 的比。这由图 3~58 不同 T/t 和 d/t 值的曲线延伸向不同入值表明之。不推荐在用以标绘应力组合的值以外对曲线进行外插。

除上所述 Steele^[3] 的限制外, 还推荐 $d/T \leq 2500$ 这个值限。理由是理论是线弹性的, 不需要考虑非线性的效应或屈曲。 $D/T \leq 2500$ 的试验数据已有; 理论应用到 $D/T = 2500$ 时, 这些数据是可以给出合理保证的。

图 3~58 的使用范围限于 $d/t \leq 100$, 因为认为这基本上已包括了所有容器或管道中的接管。图上有 $d/t = 10$, 对任何更小的 d/t , 它们可以给出容器中应力的一个合理近似值。考虑到 $D/T \leq 2500$ 时, 图 3~58 的主要部分已“出了界”。取标有 $T/t = 0$ 的线以相应于 D/T 为无穷大的, 并用以代表刚性插入件, 以用于插值。在这种情况下, 大 d/t 比的接管甚至也可考虑为刚性插入件。

理论适用于“单独”的接管, 单独的意思是接管必须离开任何其它应力不连续点足够远, 使别的不连续性的影响在接管——壳体连接处附近可以忽略不计。理论上这个距离可能是非常之大, 但是离开连接处的距离, 在容器上如大于约 $2\sqrt{DT}$, 或在接管上如大于 $2\sqrt{dt}$, 就可认为理论将提供有合理的设计保证。

理论不适用于伸入容器内部的接管。如接管有一不同于所附支管的厚度, 则应有一不小于 $2\sqrt{dt}$ 的轴向长度。接管必须以全焊透焊缝与容器相接。

3.3 M_T 、 V_c 、 V_L 等接管载荷

接管处容器中的应力可以下式估计之

$$\tau = 2 M_T / (\pi d^2 t) \quad (9)$$

$$\tau = 2 V_c / (\pi d T) \quad (10)$$

容器处接管中的应力可以下式估计之

$$\tau = 2 M_T / (\pi d^2 t) \quad (11)$$

$$\tau = 2 V_c / (\pi d t) \quad (12)$$

在式(10)和(12)中, $V_c = V_c$ 或 V_L 。式(9)~(12)为名义的剪应力方程式。对 d/D 在 0.1 以下时, 认为方程式是相当精确的。而对更大的

d/D (譬如 $d/D=0.5$) 则方程式可能为非常地不精确。

3.4 接管综合载荷引起的应力

作为 θ 的一个函数的应力为

载荷	纵向平面 ($\theta = 0^\circ, 180^\circ$)	横向平面 ($\theta = 90^\circ, 270^\circ$)
P	≈最大	最大
M_c	可略而不计	最大
M_L	最大	可略而不计

对 λ , d/t 和 T/t 的一些组合, 其最大应力是出现在所示平面以外。图 3~58 表示出这些参数组合的平面外应力

由于 M_T , V_c 和 V_L 引起的应力, 作为 θ 的一个函数, 可以保守地设为不变的, 并等于最大计算值。但是, 这些载荷产生剪应力, 为与压力容器及配管规范中的许用应力相比较, 采用下列方程式以计算应力强度是合适的。

$S =$ 下列的最大绝对值:

$$1/2\{\sigma_r + \sigma_\theta + [(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau^2]^{1/2}\} \quad (13a)$$

$$1/2\{\sigma_r + \sigma_\theta - [(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau^2]^{1/2}\} \quad (13b)$$

$$[(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau^2]^{1/2} \quad (13c)$$

用于纵向平面

$$\sigma_j = \sigma_j(P) + \sigma_j(M_L) \quad (14)$$

用于横向平面

$$\sigma_j = \sigma_j(P) + \sigma_j(M_c) \quad (15)$$

式中 $j=r$ 或 θ , $\sigma_j(P)$ = 接管载荷 P 引起的应力, 同样适用于 $\sigma_j(M_L)$ 和 $\sigma_j(M_c)$ 。对两者平面

$$\tau = \tau(M_T) + \tau(V_c) + \tau(V_L) \quad (16)$$

式(13)~(16)直接适用于容器中的应力。对接管, 式(5)~(8)提供计算接管中轴向和周向应力的方法。从而, 将 σ_a 代入 σ_r , σ_c 代入 σ_θ , 式(13)~(16)可适用于接管。

式(16)是一保守的近似估计, 可以用在当剪应力与直接应力相比较为不重要时。但是, 如用于 V_c 和 V_L 引起的剪应力成为重要时, 则应认识到其最大值和 0 值是出现在相互呈 90° 的地方。因而, 式(16)应分为下列两式:

$$\tau_c = \tau(M_T) + \tau(V_c) \quad \text{用于 } V_c \quad (16a)$$

$$\tau_L = \tau(M_T) + \tau(V_L) \quad \text{用于 } V_L \quad (16b)$$

应将式(16a)或(16b)的较大剪应力用在(13a)(13b)式(13c)中。

4.0 载荷确定

接管上外载荷通常由连接接管的管系所附加的、载荷的大小由管系解析计算的。如管系的解析不精确, 则计算载荷得到的计算应力将分担其不精确性。对本通报所包括的大 D/T 比的容器来说尤其重要, 因为在这样容器中的接管是非常柔性的。如管系解析没有包括接管柔性, 则可能会使 P , M_c 和 M_L 估计过高达几个数量级。

参考文献[3]未提供容器中接管的柔性数据。但是, 参考文献[4]和 1983.5.15 的壳体技术进展报告则提供有一些柔性的数据。这些数据附在这里, 见图 59 和 60。读者应记住, 大 d/t 比的接管可能比列在这里的一些数据要更为柔性。对这方面的更多情报可见参考文献 6 和 7。

附录 A 附有由图 59 和 60 的数据变换到“柔性系数”的一个例子, 其管系上接管柔性的影响对管系设计人员是明显的。

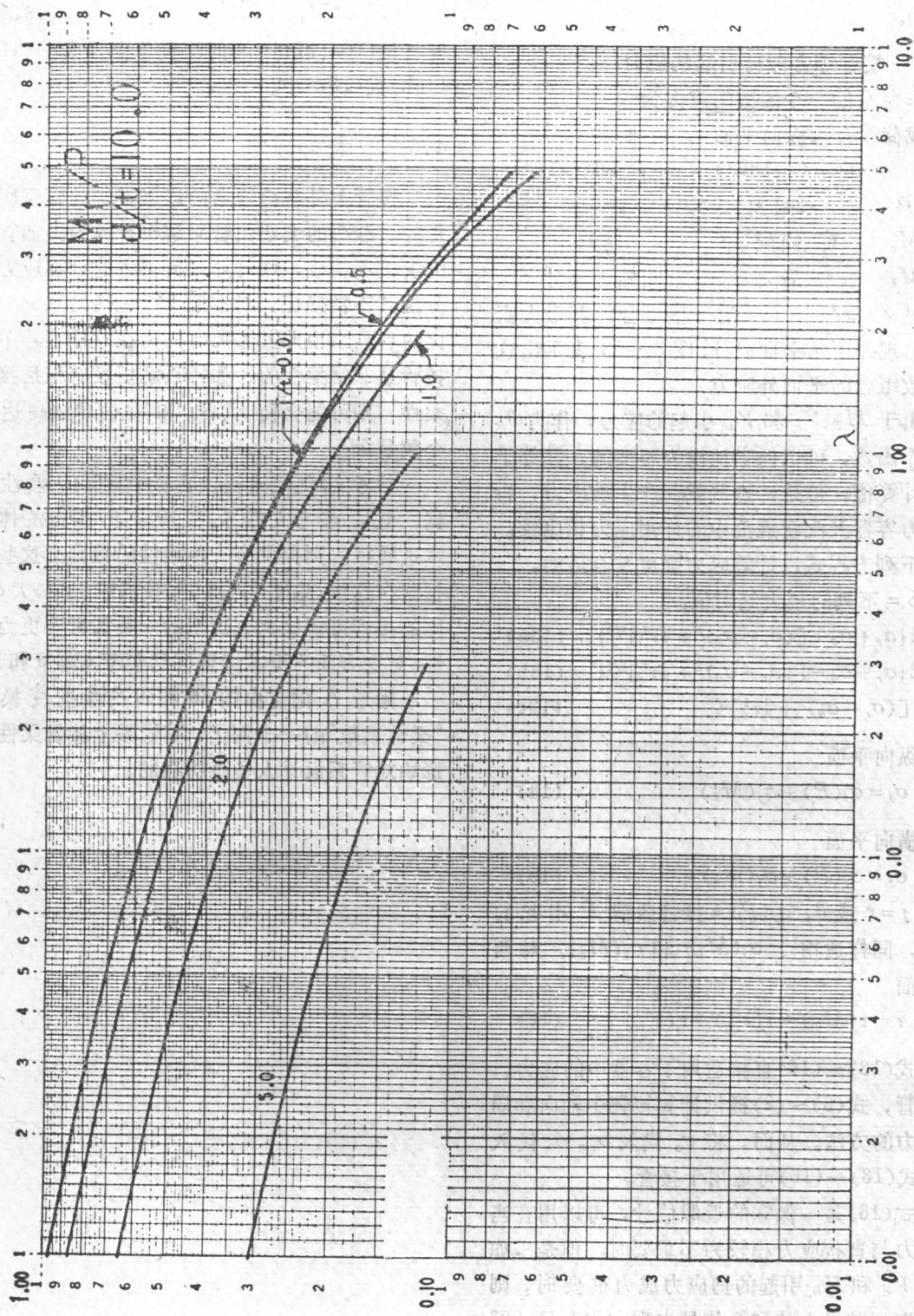


图3 由于荷载 P 引起的内力矩应力组合 m_r —($d/t=10.0$)

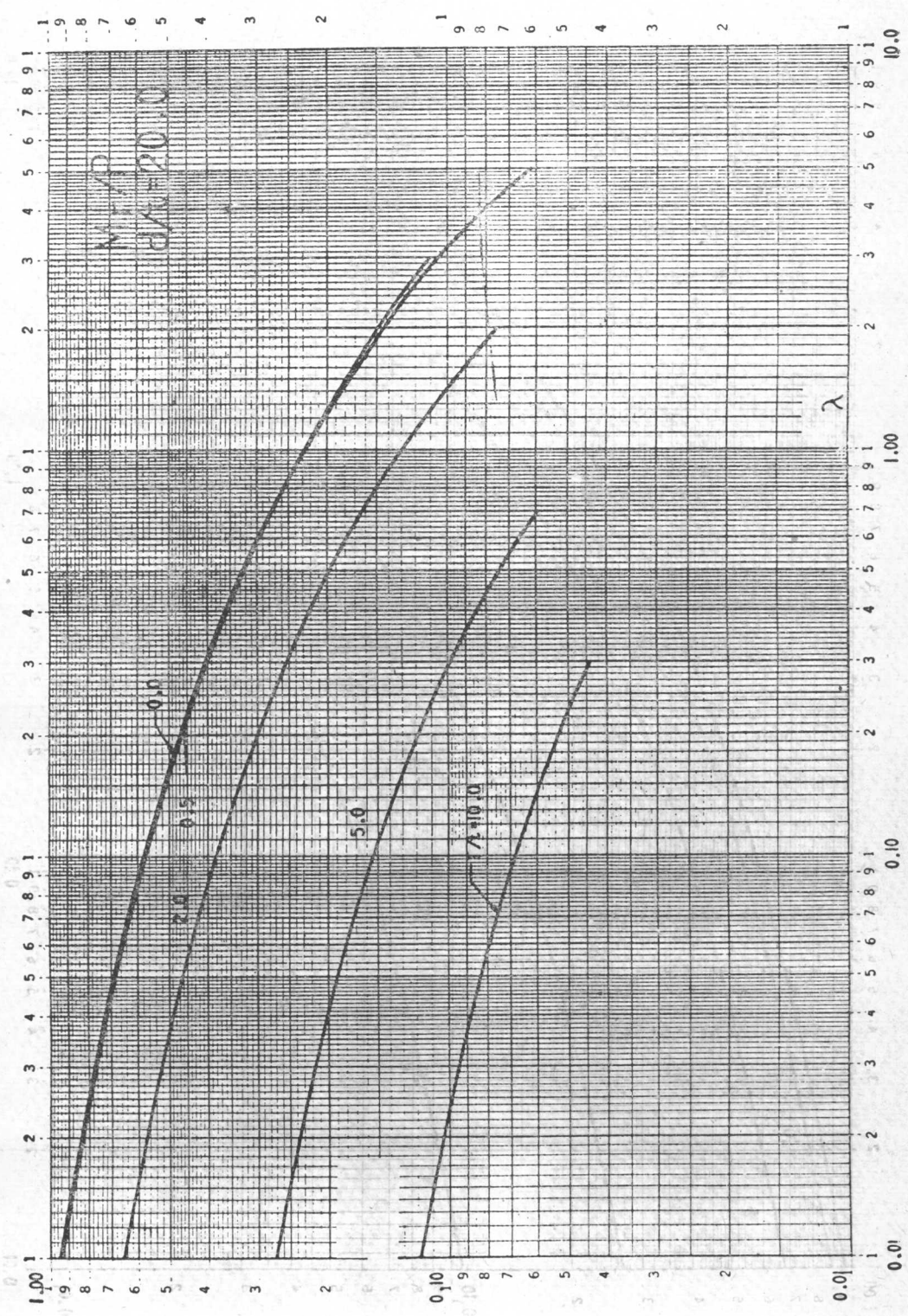


图4 由于载荷 P 引起的内力矩应力组合 m_r —($d/t=20.0$)

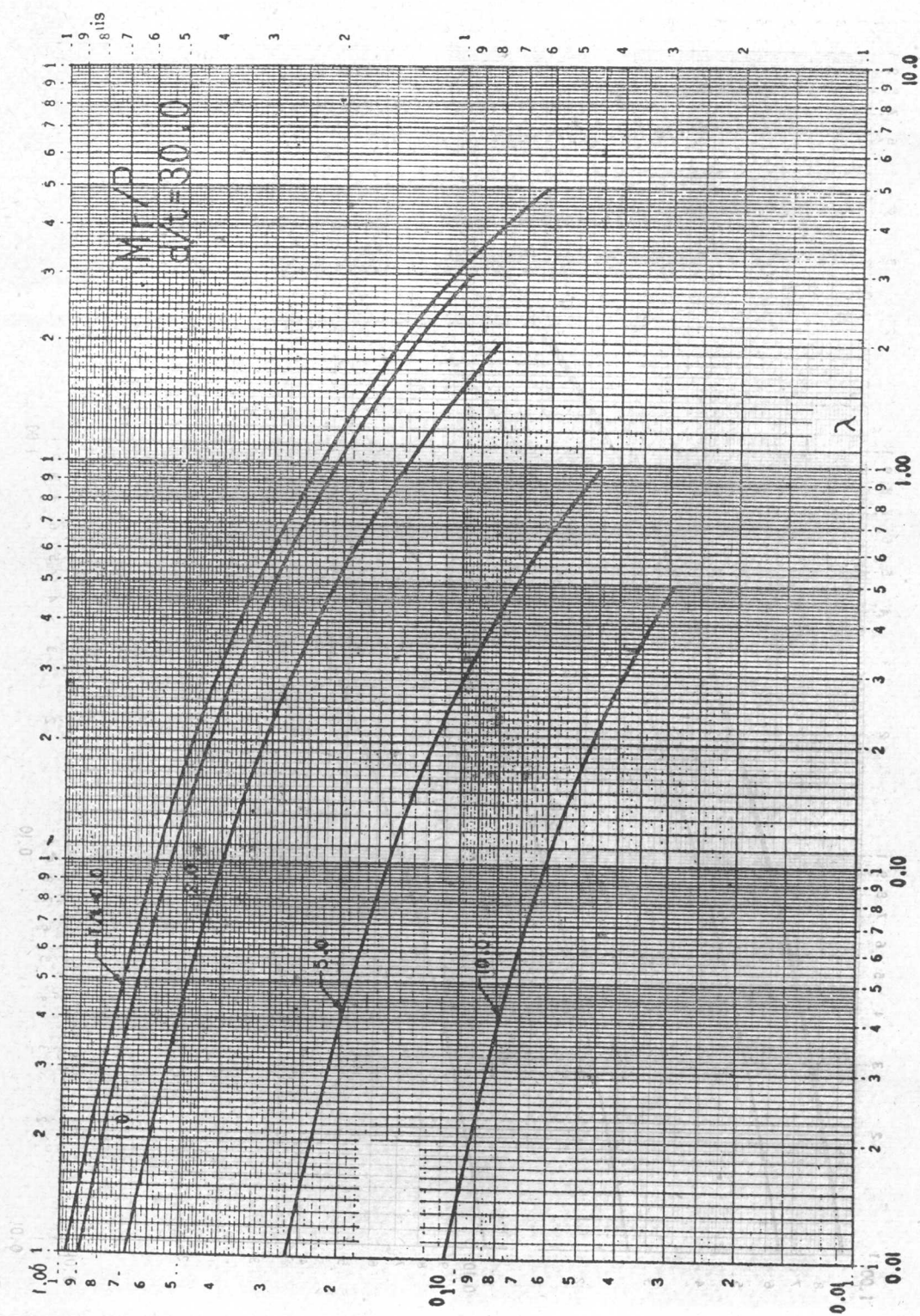


图5 由于载荷 P 引起的内力矩应力组合 m_r —($d/t=30.0$)

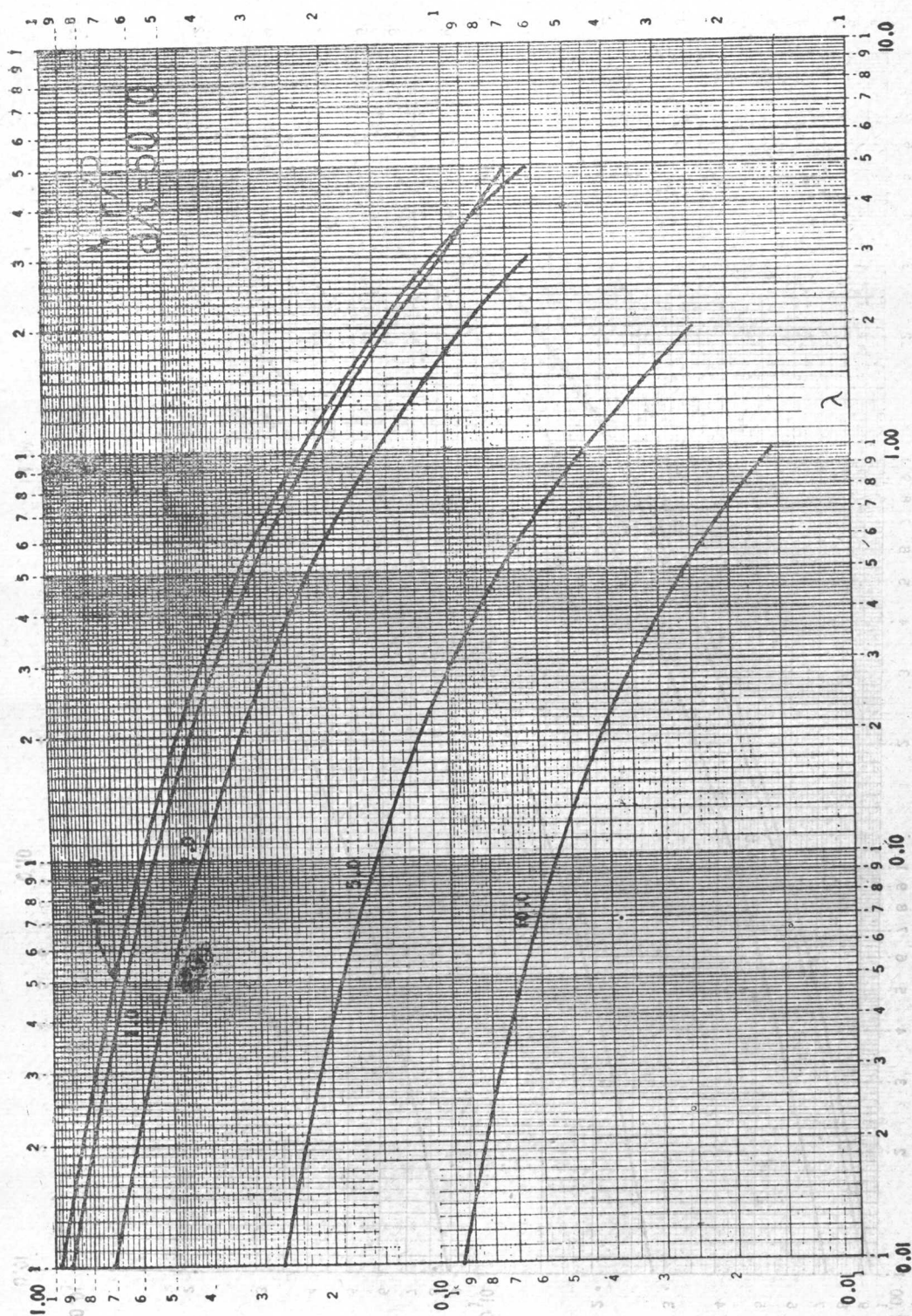


图6 由于载荷 P 引起的内力应力组合 m_r —($d/t=50.0$)

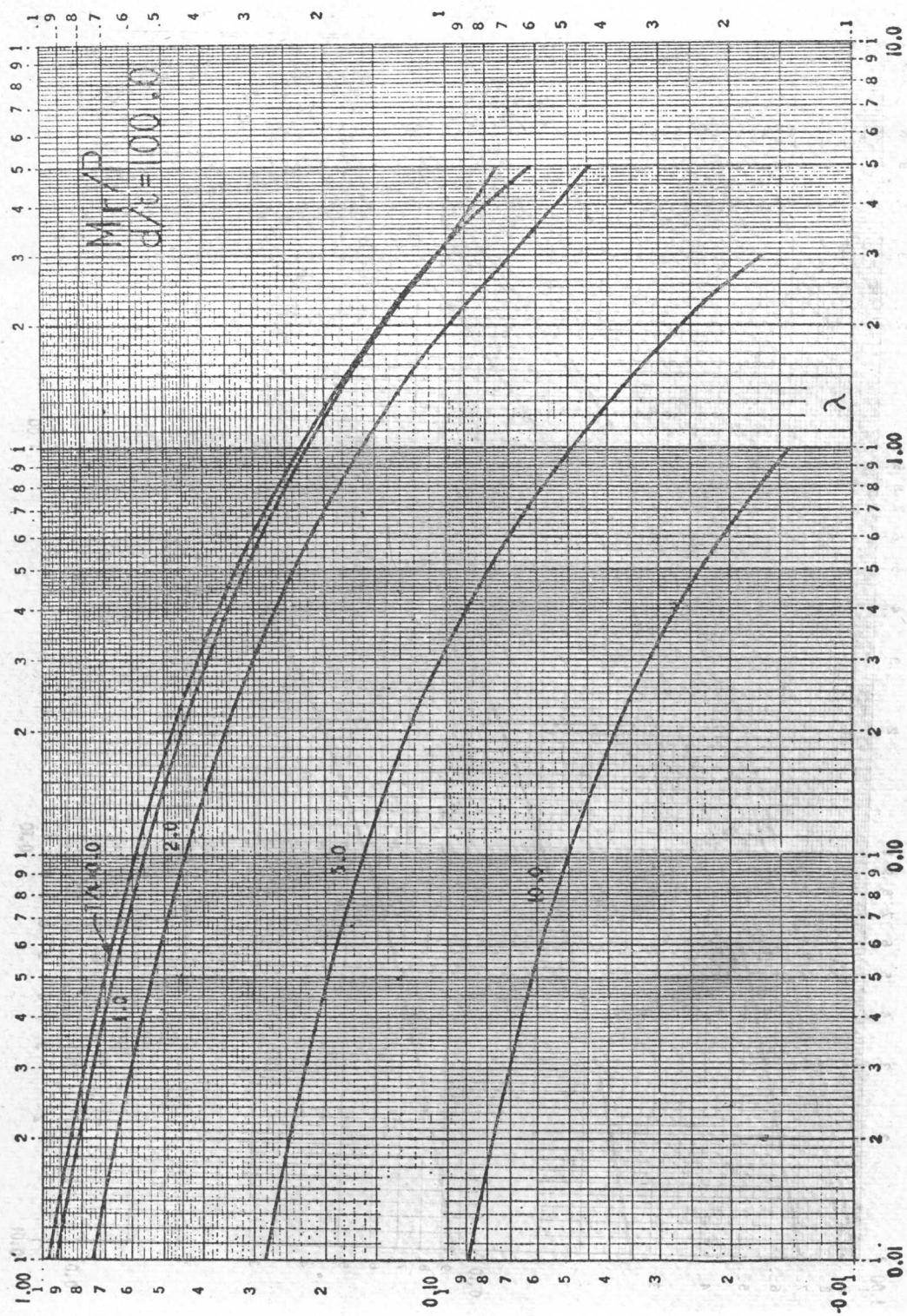


图7 由于载荷 P 引起的内力矩应力组合 m_r —($d/t=100.0$)

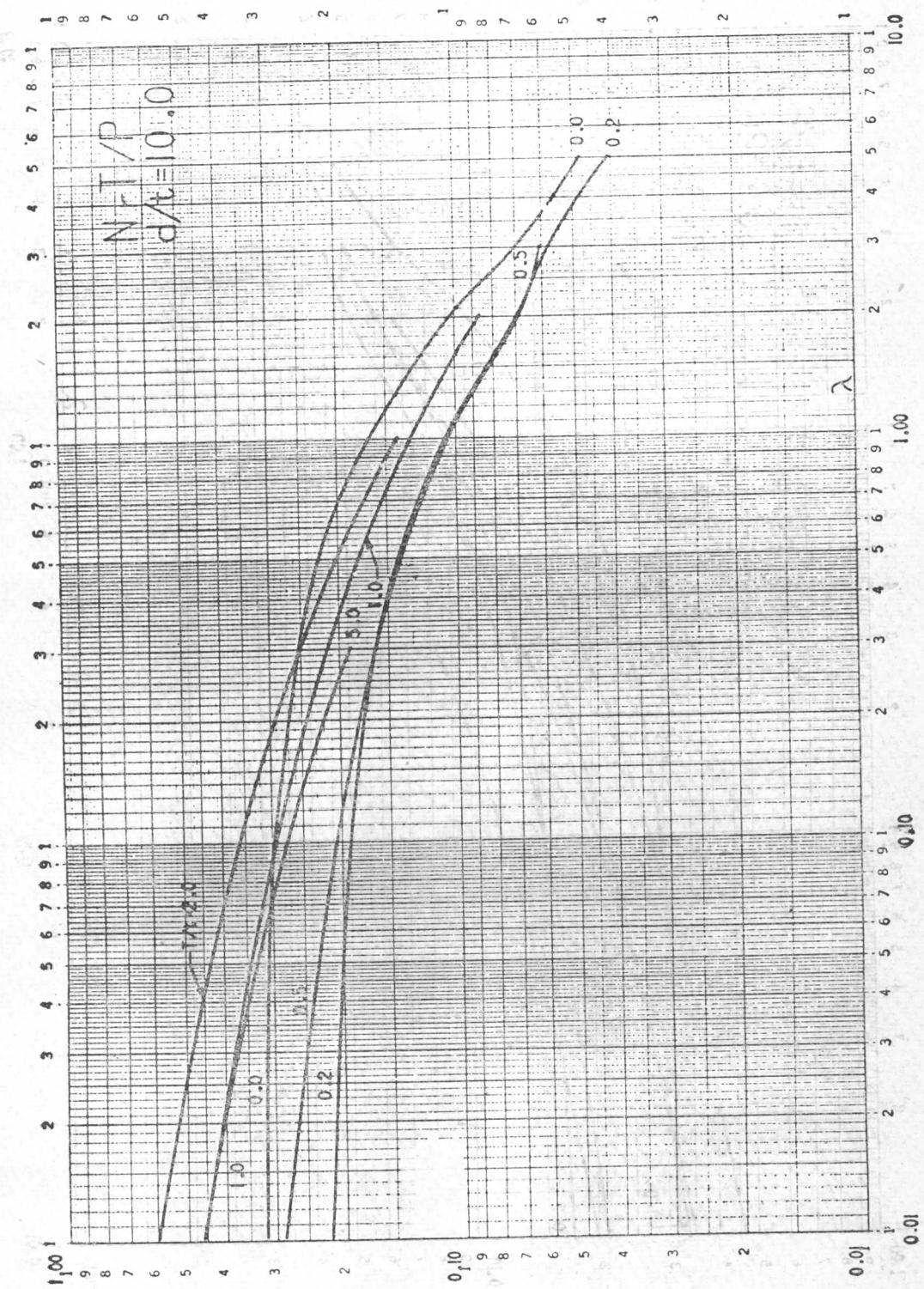


图8 由于载荷 P 引起的内力应力组合 n_r —($d/t=10.0$)

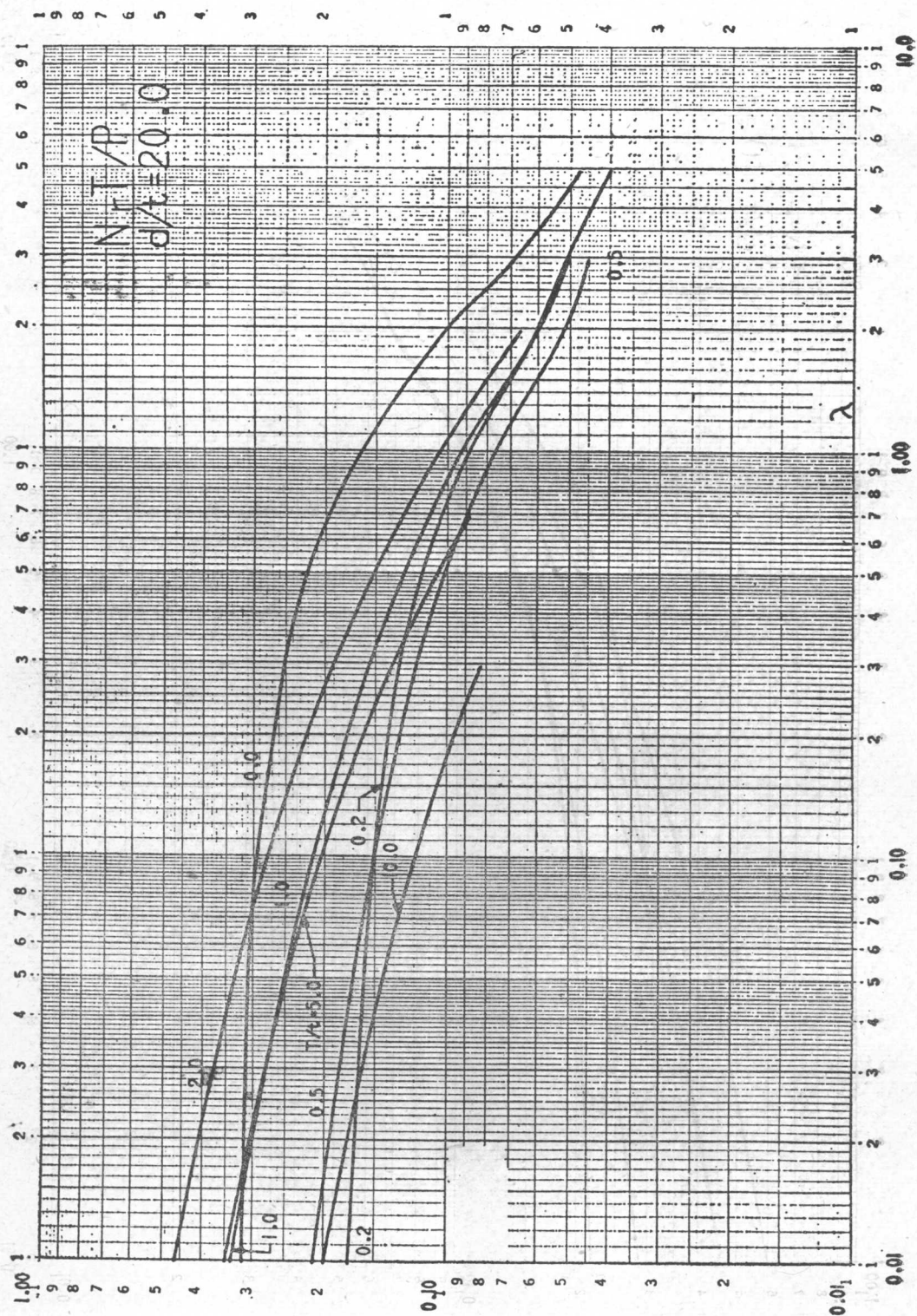


图9 由于载荷P引起的内力应力组合 n_r —($d/t=20.0$)

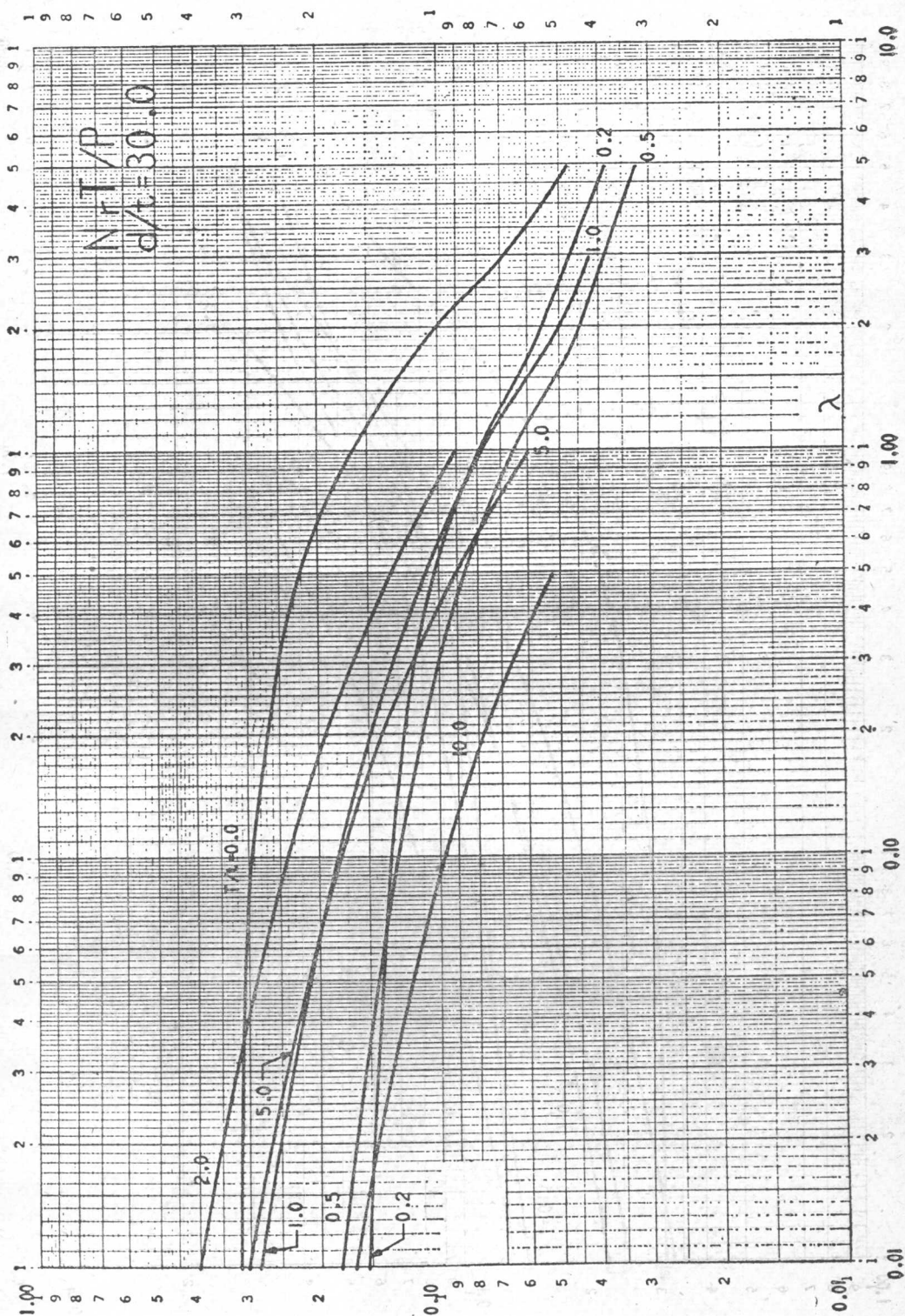


图 10 由于载荷 P 引起的内力应力组合 n_r —($d/t=30.0$)

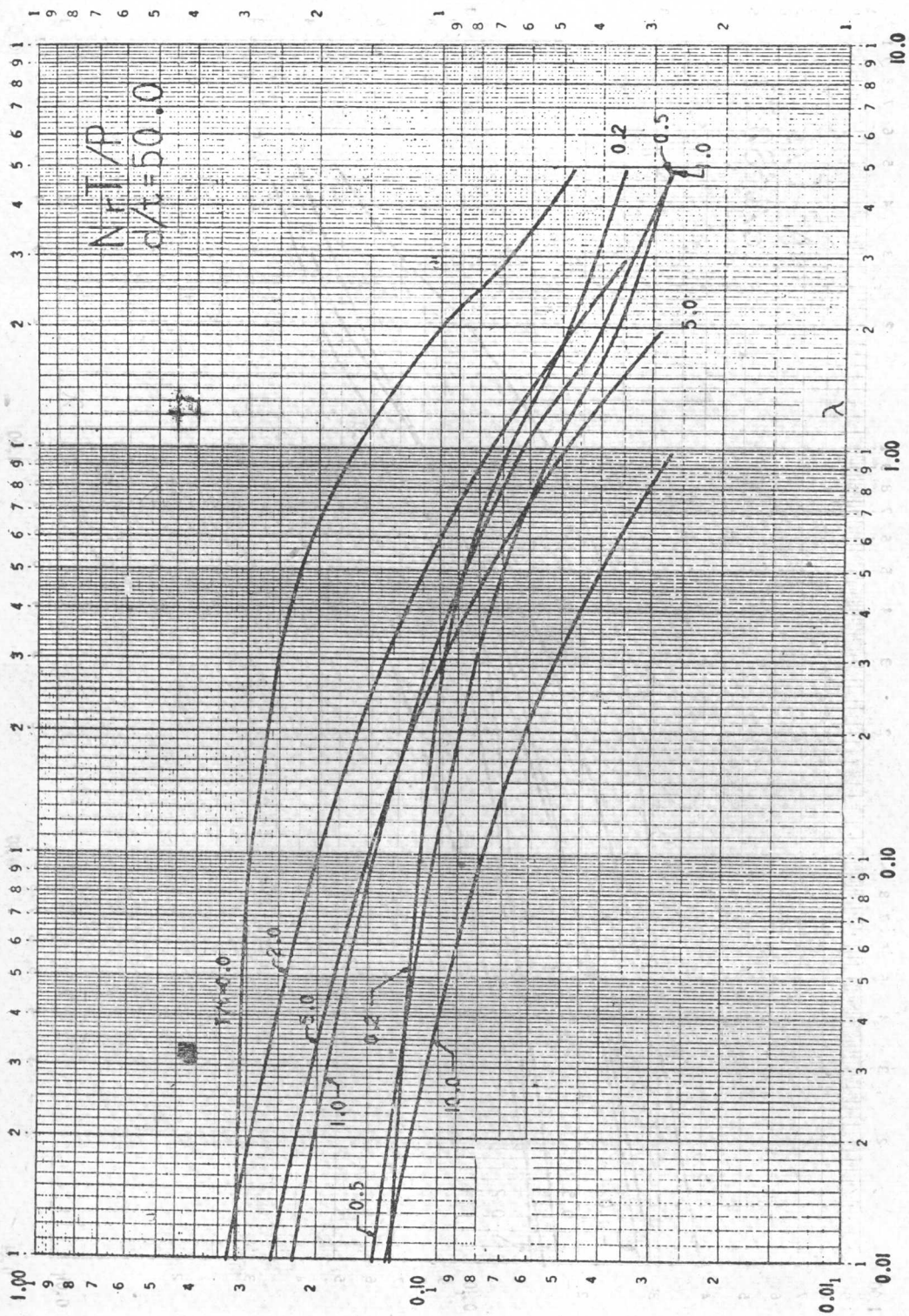


图 11 由于载荷 P 引起的内力应力组合 n_T - ($d/t=50.0$)

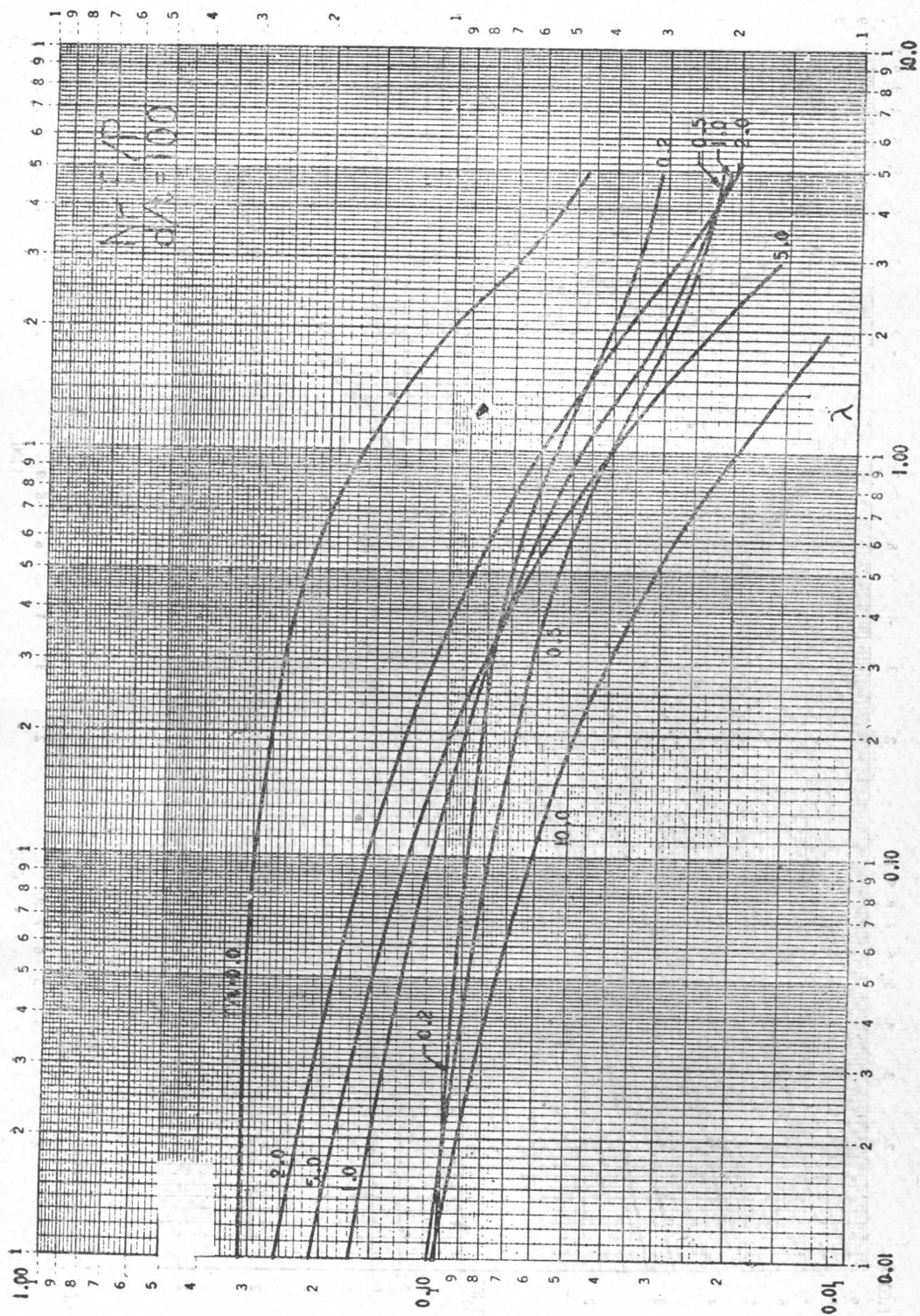


图 12 由于载荷 P 引起的内力应力组合 n_r - ($d/t=100$)