

钢管混凝土结构

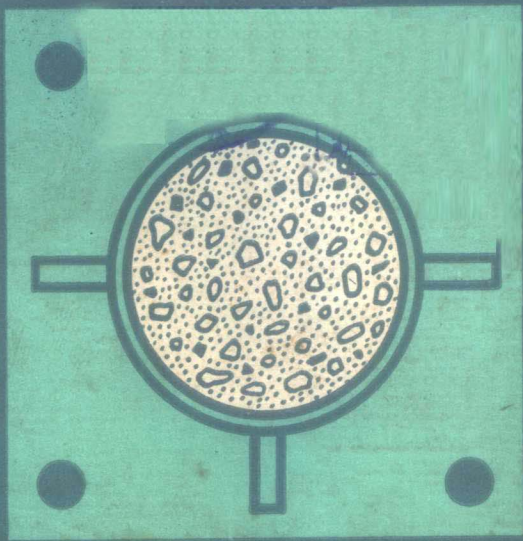
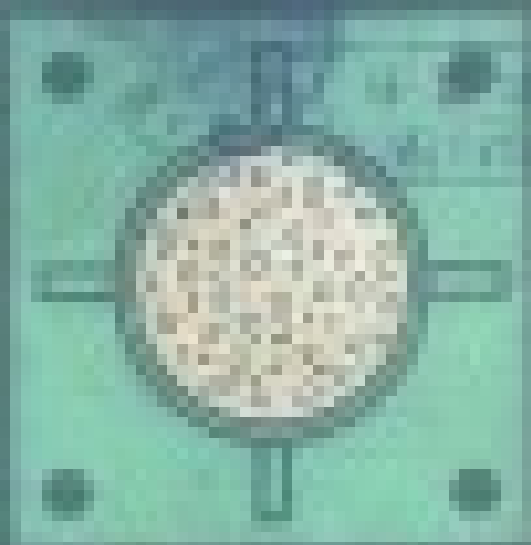


图 1-1-1
图 1-1-2



钢管混凝土结构



687812

5453

5653

5/4252

钢管混凝土结构

[苏联] Л.И. 斯托鲁任科 著

伯 群 东 奎 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书根据苏联Л.И.Стороженко著《Трубобетонные Конструкции》一书1978年版译出。

本书介绍钢管混凝土结构的计算和设计。用设计和建造的建筑物实例来阐明钢管混凝土的合理应用范围，对钢管混凝土的经济效果进行了研究。对钢管混凝土的物理力学性能以及在短期和长期荷载作用下，钢管混凝土承载能力及受压、受弯的变形性作了论述。

本书在译出时，对原书中的多处错误已作了订正。

本书适于工程设计人员和施工人员参考。

钢 管 混 凝 土 结 构

(苏联)Л.И.斯托鲁任科 著

伯 群 东 奎 译

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 3 字数 76 千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷

印数 00,001~9,100册

统一书号：15062·3893 定价0.41元

译 者 的 话

本书内容比较实用，既介绍了钢管混凝土结构的科研成果，也介绍了其计算方法，同时给出了各种计算例题，对科研和设计人员是一本有益的参考资料。

书中均以“公斤力”或“吨力”为力的单位，为适应目前我们的习惯均译成“公斤”或“吨”。

在翻译中发现原书有些错误，已尽所知做了改正，在改正的地方均加注，以便读者对照。

在这本书的翻译工作中承蒙北京钢铁设计研究总院副总工程师丁祖堪同志给以指导，在此深表谢意。

由于译者水平有限，难免有错误之处，请读者指正。

前 言

现代建筑的特点是增加建筑物高度和楼盖跨度，同时吊车荷载和工艺设备重量也随之增大。这些都要求采用截面小而承载能力却很高的受压杆件（如支杆、柱子、屋架压杆、拱等）。能满足这些要求的是钢管混凝土结构，即钢管内灌以混凝土。

钢管混凝土结构可以有效地利用材料的特殊性能，从而能大大节约钢材和水泥、减轻自重和减少运输费用。

钢管混凝土的钢管外壳，可以兼而起到纵向钢筋和横向钢筋的作用。它承受着各个方向、各种角度的内力。管壁的侧压力阻碍了管中混凝土微裂缝的迅速开展。由于是三向受压，因而能承受的应力远高于棱柱体的强度。同时，由于钢管中灌入了混凝土，使其局部和整体稳定性得到了很大的提高。

钢管混凝土结构在使用上非常可靠。例如在极限状态下，它不象钢筋混凝土那样迅速丧失承载能力，而仍能长时间承受荷载。B. A. 洛斯诺夫斯基 [16]、A. A. 多尔任科 [5]、本书作者以及其他研究人员 [2、10、11、12、13、17、18、19、20、21、22、25、26、27] 的许多试验表明：钢管混凝土构件在产生较大的变形时，仍能承受很大的荷载。

钢管混凝土结构具备了钢管结构的所有优点，并在建筑工程的实践中被广泛采用。当前，管状圆柱体截面被认为是最先进和合理的截面，因为它具有焊接工作量小和辅助构件少的优点。钢管混凝土的最大特点是有优越的外形，使尘污和水份不易滞留在其表面上，因而可提高其抗腐蚀性和耐久性。钢管混凝土结构容易清除尘污和涂刷油漆，这也增长了它的耐久性，从而提高了建筑物和构筑物的投资效果。钢管的内表面由于灌有混凝土而得到可靠的防腐蚀保护。

与钢筋混凝土结构相比，钢管混凝土结构更加便于工业化生

产和安装。这种结构自重轻，便于运输和堆放，并有良好的抵抗外来机械性损伤的能力，且外形美观，制作时不需要钢筋骨架、模板以及预埋件。

制作钢管混凝土结构，可以利用现有的混凝土预制构件厂，也可在施工现场灌制混凝土。向钢管内灌注混凝土不会增加施工程序上的困难。由于没有钢筋骨架，容易将混凝土震捣密实。钢管混凝土结构构件可用螺栓或焊接方法连接。用钢管混凝土杆件能很容易地组成各种形状的空间网格结构，连接节点处可不用节点板。

钢管混凝土的使用范围并不受生产工艺要求的限制，它可在有侵蚀性介质的条件下和复杂的温-湿度制度中良好地工作。也不受建筑物和构筑物跨度和大批量生产工艺的限制，如果采用钢筋混凝土结构是难以满足这些要求的。

当承受大荷载轴心受压和偏心受压时，钢管混凝土结构的优越性更为明显。

钢管混凝土的工作性能与钢结构及钢筋混凝土结构有很大的不同。这是因为在钢管混凝土条件下，钢管和混凝土处于复杂的应力状态。在钢管混凝土结构中，钢管和混凝土的工作特性，需要有相应的计算方法及构造处理。

本书中引用了B.И.马拉库扎、B.M.苏金、Б.И.哥洛包罗克、И.С.雅洛维、M.M.杰列扬克、H.B.米库拉、A.Φ.克瓦列夫等人的科研成果。

目 录

前言	1
第一章 钢管混凝土结构的材料	1
第一节 混凝土	1
第二节 钢管	2
第二章 在荷载短期作用下钢管混凝土结构的计算	6
第一节 钢管混凝土构件在荷载短期作用下的工作特性	6
第二节 钢管混凝土结构计算的基本原则	17
第三节 轴心受压构件	18
第四节 偏心受压构件	33
第五节 受弯构件	43
第三章 在长期荷载作用下钢管混凝土杆件的计算	48
第一节 钢管混凝土杆件在长期荷载作用下的工作特性	48
第二节 由于混凝土的收缩在钢管壳和混凝土核心中 引起的应力	52
第三节 轴心受压的钢管混凝土构件考虑徐变的计算	56
第四节 偏心受压和受弯构件考虑徐变的计算	60
第四章 钢管混凝土结构的设计	70
第一节 钢管混凝土结构设计的基本原则	70
第二节 钢管混凝土结构	71
第五章 钢管混凝土结构的应用范围	80
第一节 应用实例	80
第二节 采用钢管混凝土的技术经济效果	82
参考文献	86

第一章 钢管混凝土结构的材料

第一节 混 凝 土

钢管混凝土结构中所采用的混凝土抗压强度设计标号为150、200、250、300、400、500、600、700及800号的重混凝土。和普通钢筋混凝土结构一样，当采用250、350及450号的混凝土时，须有专门的技术经济依据来证实其必要性。

作为重混凝土的胶结料主要是采用水泥。克列伏洛斯基矿业学院（КГРИ）所做的试验表明：采用矿渣硅酸盐水泥作为胶结料，也有良好的效果。最好是采用膨胀水泥制作的混凝土，这样在钢管内将产生对结构性能有利的预应力。重混凝土中的粗、细骨料应为坚实的。钢管中混凝土的硬化，可以采用自然养护，也可采用蒸汽养护。

钢管混凝土结构也应符合СНиП II-21-75《混凝土和钢筋混凝土结构》中对一般结构的抗冻性要求。因钢管混凝土主要是用作受压构件，因此对混凝土的抗拉强度没有特殊要求。

由工厂生产的钢管混凝土结构，出厂时的混凝土强度不得低于设计标号的50%。

钢管混凝土结构的混凝土标号应由技术经济分析确定。在任何情况下都不宜采用低于150号的混凝土。应当记住，由于提高混凝土标号钢管对混凝土的“箍紧作用”将会降低，而且核芯强度的提高，相应地低于无管箍混凝土强度的提高，故在大多数情况下，采用高标号混凝土并不合理。在受压构件中采用300、400及500号混凝土最为适宜。

对需计算疲劳的结构，建议混凝土的设计标号不低于200号。对于承受大荷载的结构，不宜采用低于300号的混凝土。

混凝土的标准强度值按СНиП II-21-75规范取用。混凝土的

计算强度为其标准强度除以混凝土的安全系数，其值应按СНП II-21-75采用。根据钢管混凝土结构的特殊工作性能，在计算钢管混凝土结构时，混凝土的轴心抗压强度 R_{np} ，可乘以工作条件系数 $m_0 = 1.1$ 。考虑荷载的长期作用和混凝土后期强度的增长，在计算混凝土抗压强度时，必须引入工作条件系数 $m_{0.л.}$ ，用以反映荷载长期作用的影响。在所考虑的这些作用因素(荷载)中，即使只有一种荷载其总的作用时间较短，例如：风荷载、吊车荷载或者短期特殊荷载(偶然有这种情况)，则系数 $m_{0.л.} = 1.1 (N_1 \leq 0.77N)$ 。除前述作用时间较短的荷载外，计算恒载和活载时， $m_{0.л.} = 0.85 (N_1 \leq 0.85N)$ ，在其余情况下，均取 $m_{0.л.} = 1.0$ 。此处， N ——全部荷载， N_1 ——长期作用的荷载。

弹性模量值应由实验确定，或由СНП II 21-75的表中查得。混凝土横向变形的初始值采用0.15，当计算钢管混凝土构件强度时取用0.5。

应当指出：混凝土在钢管内的强度，远高于没有钢管箍着的混凝土强度，这是因为混凝土核芯处于三向受力状态。因此在计算混凝土抗压强度 R_{np} 时，要乘以混凝土在钢管中的强度提高系数 β ，它与混凝土标号、钢管壁厚及应力状态有关。系数 β 值的确定，见钢管混凝土构件强度计算的章节。

第二节 钢 管

在钢管混凝土结构中采用下列类型的钢管：

1. 直径为83~820毫米的热轧无缝钢管，壁厚3.5~18毫米，长度4~12.5米；
2. 直径为85~200毫米的冷拉无缝钢管，壁厚2.0~10.0毫米，长度1.5~9.0米；
3. 直径为83~1620毫米的电焊管，壁厚2.0~16.0毫米，长度4~18米；
4. 直径为426~1220毫米的螺旋焊管，壁厚4~12.0毫米，长度10~18.0米。

无缝和有缝钢管的区别是制造方法不同。无缝钢管采用轧制、冷拉-拔的方法制成。整体拉成的一是在炽热状态下用轧管机制成（整体拉成的），或者是先热轧再冷轧（冷拉的）。冷轧的目的是使钢管具有准确的公差和光洁的表面。

焊管（有缝）是用轧制的扁钢、钢板或带钢卷成管形后焊接的。

钢管混凝土结构中的钢管尺寸建议按表 1 采用。

表 1

名 称	外 径					壁 厚						
	(毫米)					(毫米)						
ГОСТ8732-70 热轧无缝钢管	83	89	95	102		3.5	4	4.5	5			
	108	114	121	127	133	4	4.5	5	5.5	6		
	140	146	152	159		4.5	5	5.5	7			
	168	180	194			5	5.5	6	7	8	9	
	203	219				6	7	8	9	10		
	245	273				7	8	9	10	11	12	
	299	325	351			8	9	10	11	12	14	16
	377	402	426	450		9	10	11	12	14	16	18
	480	500	530	560		9	10	11	12	14		
600	630	720	820		9	10	11	12	14			
ГОСТ10707-73 冷轧和冷拔无 缝钢管	85	90	95	100		2	2.2	2.5	2.8	3	3.2	
	110	120	125			3.5	4	4.5	5	5.5	6	
	130					2.5	2.8	3	3.2	3.5		
						4	4.5	5	5.5	6		
	140	150				3	3.2	3.5	4	4.5		
						5	5.5	6	6.5	7		
	160	170	180			3.5	4	4.5	5	5.5	6	
					6.5	7	7.5	8	8.5	9		
190	200				4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	
					7.5	8	8.5	9	9.5	10		
ГОСТ8696-74 螺旋焊缝的焊 接钢管	426	480				4	5	6	7	8		
	530					4	5	6	7	8	9	
	630					5	6	7	8	9	10	
	720	820				5	6	7	8	9	10	11

续表 1

名 称	外 径 (毫米)	壁 厚 (毫米)
ГОСТ8696 74 螺旋焊缝的焊 接钢管	920 1020	8 9 10 11 12
	1220	11 12
ГОСТ10704-63 焊接钢管	83 89 95 102	2 2.2 2.5 2.8 3 3.2 3.5 3.8 4 4.5 5 5.5
	108 114 121 127 133	2.5 2.8 3 3.5 3.8 4
	140 152 159	4.5 5 5.5
	168	3 3.2 3.5 3.8 4.5 5 5.5 6
	180 194	3.2 3.5 3.8 4 4.5 5 5.5 6
	203 219	3.5 3.8 4 4.5 5 5.5 6 7
	245 273 299 325	4 4.5 5 5.5 6 7 8
	351 377 402 426 480	4 4.5 5 5.5 6 7 8 9 10
	530	4 4.5 5 5.5 6 7 8 9 10 11 12
	630	5 5.5 6 7 8 9 10 11 12
	720	5 5.5 6 7 8 9 10 11 12 14 16
	820 920 1020	5.5 6 7 8 9 10 11 12 14 16
	1120 1220 1320 1420	10 11 12 14 16
	1520 1620	

承重的钢管混凝土结构可用普通碳素钢、碳素结构钢或低合金钢钢管，其材质需符合ГОСТ或技术条件中对流限比及硫、磷、碳的极限含量的要求。

应提供钢管混凝土结构中的钢管的机械性能，并辅以化学成分。在选择钢材型号时，应考虑到钢管要有良好的可焊性。对承受较大内力的钢管混凝土结构中的钢管，宜采用有较高机械性能

的低合金钢。

在钢管混凝土结构中可采用热轧和冷成形的型钢。用作连接件和紧固件的钢材，其规格和质量应满足 СНиП II-B, 3-72 的要求。用作节点板的材料，一般采用平炉或转炉沸腾钢，为 B 组焊接结构钢。连接件钢材应符合 ГОСТ380-71 对焊接碳素结构钢的要求。连接件用的钢板，无强度要求时，可用 3 号钢。

计算钢管混凝土结构时，钢材的弹性模量可取 $E_M = 2100000$ 公斤/厘米²。横向变形系数（钢材泊桑比）取 $\nu_M = 0.3$ 。所有型号的钢材和铸钢件的容重均取等于 7850 公斤/米³。

对钢管混凝土结构中构件的焊接，不论用自动焊或半自动焊，其金属焊条的焊药或其它附加剂，均需能保证接头处的焊接连接与母材等强。

第二章 在荷载短期作用下钢管 混凝土结构的计算

第一节 钢管混凝土构件在荷载短期作用 下的工作特性

几乎所有的钢管混凝土实验研究都是轴心受压试验[10、12、13、16、22]。根据积累的大量实验资料，可以断定：钢管混凝土的钢管外壳和混凝土核芯的工作特点，以及钢管混凝土构件之所以能有较高承载能力的原因，是因为混凝土处于三向应力状态。

钢管内混凝土强度的效率系数 $\eta = \frac{\sigma_6}{R_u}$ 主要与钢管的壁厚有关：当 $\delta/d=0.01$ 时，其值为1.74~1.88；当 $\delta/d=0.02$ 时， η 为2.02~2.34；当 $\delta/d=0.03$ 时， η 为2.34~2.72。混凝土强度效率系数 η 与管壁厚的关系列于图1。从图中可见， η 随混凝土强度（标号）的增加而减小。

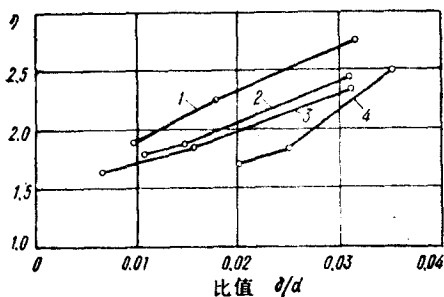


图1 混凝土的效率系数与管壁厚度的关系

对于曲线1 $d=125$ 毫米； $\delta=1.18; 2.13; 3.89$ ； $R_{np}=117$ 公斤/厘米²；
 对于曲线2 $R_{np}=170$ 公斤/厘米²；对于曲线3 $R_{np}=128$ 公斤/厘米²；
 对于曲线4 $d=100$ 毫米； $\delta=2.5; 3.0; 3.5$ ； $R_{np}=128$ 公斤/厘米²

钢管混凝土效率系数 $m_{r,c}$ ，等于钢管混凝土构件的承载能力 N 除以钢管和混凝土在各自的试验中得出的承载能力 N_s 和 N_c 之和。图 2 中示出系数 $m_{r,c}$ 与管壁厚及混凝土强度（标号）的关系。分析此图可以看出，钢管混凝土的效率随着管壁厚度的增加而减小，而只在很小程度上与混凝土强度（标号）有关。例如，当混凝土强度（标号）增加 62% 时，钢管混凝土承载能力仅提高 11~14%。系数 $m_{r,c}$ 在 1.35~1.68 之间波动。

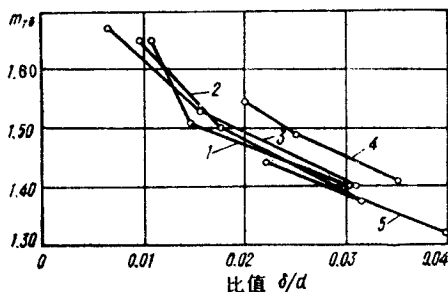


图 2 钢管混凝土的效率系数与管壁厚度的关系
 曲线 1, 2, 3 同图 1; 对于曲线 4 $d = 100$ 毫米; $R_{np} = 128$ 公斤/厘米²;
 对于曲线 5 $d = 106$ 毫米; $\delta = 3.2; 3.5; 4; R_{np} = 340$
 公斤/厘米²

对钢管混凝土与钢筋混凝土试件（具有相同的混凝土和钢材截面积）承载能力进行比较的结果说明，前者比后者高 1.8~2.5 倍。

图 3 所示为填有不同强度的混凝土的钢管试件，其纵向压缩变形 $\epsilon_{np,oa}$ 和横向拉伸变形 ϵ_{non} 与荷载的关系曲线。这些可以说明所有轴心受压钢管混凝土构件的典型图形。即使在较小的荷载作用下，纵向与横向变形均呈曲线变化，这一点可由混凝土变形的特点来加以说明。在较小的荷载作用下，横向变形不大；接近极限状态时，则急剧增长。这说明在钢管混凝土构件中，随着荷载的增加，在横向中产生较大的应力。

随混凝土强度（标号）之不同，钢管混凝土构件的变形特征

也有所不同。管中灌以普通标号混凝土时，当纵向变形 $\epsilon_{n\text{po}\pi}$ 值达到 $240\sim 300\times 10^{-5}$ 后，荷载稍有增加，变形就有急剧增长而出现

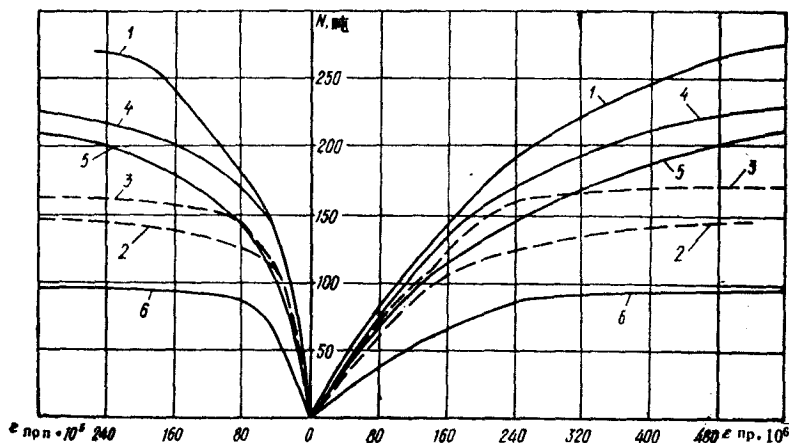


图 3 相对变形随荷载增加的变化 (全部 $D=152$ 毫米;
 $\delta=5.5$ 毫米)

1— $R_{np}=815$; 2— $R_{np}=192$; 3— $R_{np}=225$; 4— $R_{np}=530$; 5—
 $R_{np}=510$ 公斤/厘米²; 曲线6为空心管

流限过程。灌以高标号混凝土的试件中，荷载可大幅度增加，直至纵向变形值 $\epsilon_{n\text{po}\pi}=450\sim 500\times 10^{-5}$ 并不出现流限过程。

通过纵向和横向变形的增量 $\Delta\epsilon_{n\text{po}\pi}$ 和 $\Delta\epsilon_{\text{no}\pi}$ ，可求得钢管混凝土的横向变形系数 $\nu_{\text{тс}}$ 。分析此系数的变化规律可以证实：在钢管混凝土中，混凝土与钢管之间存在着侧压力，它可以阻止核芯混凝土中微裂缝的发展。当 $\epsilon_{n\text{po}\pi}=\epsilon_{\text{тск}}$ 时，横向变形系数值可达 $0.5\sim 0.6$ 。此时，体积增大，表明混凝土实体将产生崩裂和破坏。

随着流限的到达，钢管的纵向应力几乎停止增长。钢管的横向应力在加荷的开始阶段增长很慢。当纵向应力接近流限时，横向应力急剧增长；钢管混凝土达到极限状态时，其值可达 $0.75\sigma_{\text{тс}}$ 。

在开始阶段混凝土的横向受压并不显著,但随着荷载的增加,其压力可达到棱柱体强度。混凝土的纵向应力,从开始加荷直到试验结束都增长很快,最后,超过棱柱体强度。侧压力造成三向应力状态,阻止着混凝土的膨胀和微裂缝的开展。

这说明钢管混凝土有很多特点:提高承载能力和承受较大的变形。在钢管混凝土中,混凝土芯受荷复杂,由于侧压力的存在,不仅推迟断裂裂缝的发生而且阻碍其开展。由于侧压力的存在,在钢管混凝土中混凝土凝聚力未受破坏,使变形过程可以延续很长,变形值能大到这种程度,致使混凝土进入伪塑性状态。

钢管混凝土构件的承载能力和变形性能,取决于加荷方法。

荷载加于构件的整个截面上与仅加于混凝土上,两者的承载能力几乎相同。当将荷载仅加于钢管上时,其承载能力降低约36%。这说明,对于钢管混凝土结构,最重要的是正确地向它传递外荷载;因为在这些试件中^①,钢管丧失其承载能力,要比正常加荷的早,这是因为混凝土核芯在某一时刻(例如 $\epsilon_{\text{non}} = 170 \times 10^{-5}$ 时),由于钢管的过大横向变形^②,已从构件中退失工作,从而不再对管外壳的稳定发生作用。在这种情况下,钢管混凝土构件的承载能力比不填灌混凝土的钢管承载能力高不很多。

荷载的传递方法对钢管混凝土构件的变形性能也有影响。当荷载仅作用在构件的钢管上时,变形最大。当荷载仅作用在试件的混凝土上时,变形最小。

在短期荷载作用下,轴心受压的钢管混凝土试件,有三种可能的破坏情况。当钢管壁厚为 $\delta/d \geq 0.03$ 时,试件的破坏特点是压力大,使钢管纵向和横向变形很大,试件并未破坏。

用薄壁钢管(当 $\delta/d < 0.03$)制成的钢管混凝土构件,在钢管到达流限,同时产生很大的纵向变形($\epsilon_{\text{non}} = 600 \sim 700 \times 10^{-5}$)后钢管外壳的破裂,是因为混凝土核芯的裂缝全面开展,体积增

① 指荷载仅作用在钢管上的构件。——译者注

② 此时系指拉伸变形。——译者注