

薄壳在水工建筑中的 应用

[苏]C.H.列瓦切夫 著

赵 诤 向可钦 王德林 译



人 民 交 通 出 版 社

薄壳在水工建筑中的应用

〔苏〕C.H.列瓦切夫 著

赵 诩 向可钦 王德林译

人 民 交 通 出 版 社

2034/1P

内 容 提 要

本书介绍了苏联和其他国家应用大直径薄壳的经验。为了应用，对比分析了现代水工结构的技术经济指标；研究了结构方案和发展方向；提出了计算理论和现场实验研究方法以及建筑物的施工方法。

本书可供水工设计单位、施工单位的工程技术人员和水工院校师生参考。

薄壳在水工建筑中的应用

〔苏〕C.H.列瓦切夫 著

赵 翎 向可钦 王德林译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

河北省宣化印刷厂印

开本：787×1092¹/₃₂ 印张：4.625 字数：96 千

1982年4月 第1版

1982年4月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,800 册 定价：0.78元

目 录

第一章 薄壳在水工建筑中应用的特点	1
一、水工建筑物中的薄壳.....	1
二、大直径薄壳建筑物的结构.....	8
三、薄壳结构的特点及施工工艺.....	12
第二章 大直径薄壳建筑物的设计和施工经验	17
一、国外的经验.....	17
二、在苏联大直径薄壳的试验应用.....	35
三、用工业化方法修建装配式钢筋混凝土 薄壳码头.....	43
四、薄壳港工建筑物的设计经验.....	52
第三章 对薄壳建筑物的研究	64
一、研究的主要问题.....	64
二、对薄壳结构的研究.....	69
三、现场研究方法的基本原则和测试仪器的选用.....	87
第四章 薄壳的计算	96
一、按极限状态计算的基本原理.....	96
二、确定计算荷载的特点.....	98
三、薄壳建筑物的稳定计算.....	111
四、薄壳应力状态的计算.....	116
五、变形计算.....	128
第五章 改进结构和计算方法的途径	140

第一章 薄壳在水工建筑中应用的特点

一、水工建筑物中的薄壳

在国民经济的许多领域中，采用了圆柱形钢筋混凝土薄壳，在水工建筑中也应用相当广泛。

直径为4~100米的圆柱薄壳构件，被用于水工建筑物中一些结构方案，列于图1中。这些远非水工建筑中采用薄壳的全部方案，也不是以此来限定薄壳建筑物的结构类型及尺寸的范围。

在港口水工建筑物建设中，应用薄壳最广泛的是在岸壁码头、突堤码头、系船柱、突堤、防波堤以及护岸中。

除斜坡式的结构物及墩台外，可以将这些建筑物的多种形式的结构方案，归纳为最常见的两类。

第一类：非锚固的薄壁和靠锚固装置并嵌固在地基土内，以保证稳定性的锚固薄壁。当地基土能打入承重板桩时，这是可采用的一种最经济的结构。

第二类：笼式、方块砌体、沉箱和扶壁等形式的重力式结构。这些结构一般造价比较高，通常用于打不进板桩和管桩的坚实地基。

管柱薄壳的通用结构处于这两大类的中间位置。小直径（0.6~0.8米）的管桩属于锚固桩台码头和桩基栈桥。直径1.2~1.6米的薄壳管，用于建设非锚固的和锚固的桩台码头、突堤码头、栈桥等。直径3~5米的薄壳用于半重力式

的码头和有时用于独立式支墩、系船柱。直径10~12米和更大的薄壳沉井能用于全重力式的码头或围护建筑物。显然，随着增大薄壳的直径，为降低其总高度及沉入地基土层深度提供了可能性。

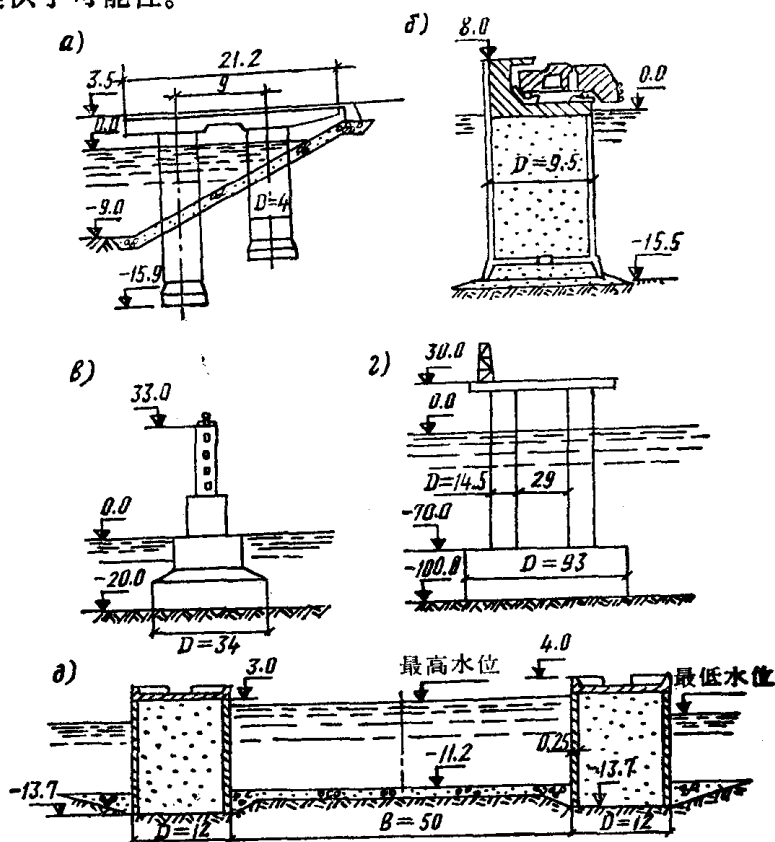


图1 大直径薄壳可能采用的方案

- a) 透空型岸壁码头；б) 带有重力式防冲设备的系船墩；
в) 灯塔；г) 用于海上采油平台的深水基础；д) 海上船闸

当用薄壳修建码头或围护建筑物时，每米建筑物的钢筋混凝土用量（在一定范围内）在给定的结构长度的情况下，与其直径大小无关。显然，用直径为 D 、壁厚为 t 的薄壳修

建单位长度的码头，消耗材料的体积等于： $V = \frac{\pi D t l}{D} = \pi t l$ 。当薄壳的直径在小于10米的范围内变化时，根据结构的要求，壁厚一般取不小于15~20厘米。因此，决定各种薄壳结构经济效果的主要因素是它本身的长度 l 。

重力式薄壳沉井在地基中的埋深最小，因此在修建连续的挡土墙或围护建筑物中，它是最经济的。上述情况可根据用薄壳修建的高度为7米的各種结构的码头技术经济指标的对比来证明（表1）。苏联的实践中，头一批这种类型的建筑物是由国立内河航运勘测设计院设计的。表1中所列的技术经济指标反映了薄壳重力式码头结构与沉箱和扶壁式结构对比的效果。尽管后两种结构已相当完善，但它存在着必需铺设块石基床的严重缺点。此外，水下抛石和整平基床的劳动量大，还要消耗大量的高强度石料。特别是在浑浊度高和河水流速较大的深水条件下，铺设基床的过程很难采用机械化，另外进行检查也需要大量繁重的潜水作业。

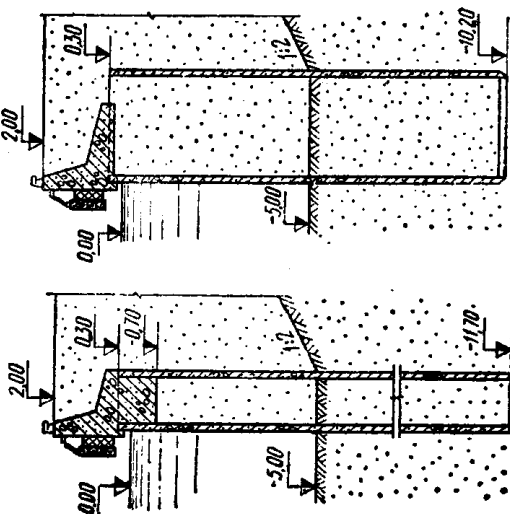
根据设计经验，块石基床的平均造价约为码头造价的15~20%。在基岩地基上采用薄壳沉井虽然还不能取消整平填石，但可以不用铺设基床。当码头或围护建筑物的高度增大时，采用大直径薄壳的效果将更好。因为这种结构单位长度的钢筋混凝土耗量主要取决于它的高度，而修建其它重力式建筑物时，主要建筑材料（钢筋混凝土和块石）的消耗量还要取决于它的宽度。在许多情况下，特别是当修建有效荷载大的高岸壁码头时，薄壳沉井结构能够与钢筋混凝土桩台结构竞争。

在任何水文条件下，用“干法”建造和“在水中”建造都能成功地采用薄壳，已证明了它的通用性。实际上除软淤泥和厚层流塑性粘土外，薄壳可应用于任何地基上。

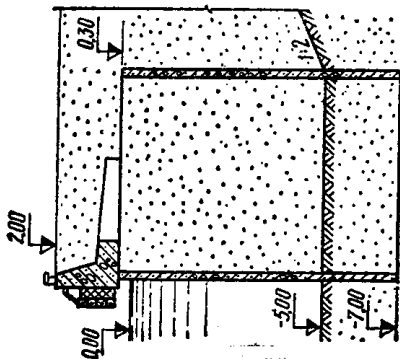
码头结构技术经济指标的对比

表 1

码 头 结 构	1 米码头结构物的材料消耗量				相对的造价 %
	钢筋混凝土 (米 ³)	金 属 (公斤)	钢 筋 (公斤)	石 块 (米 ³)	
直径 $D = 1.6$ 米的薄壳	8.83	1453	1150	—	228
直径 $D = 3$ 米的薄壳	5.77	1235	847	—	167

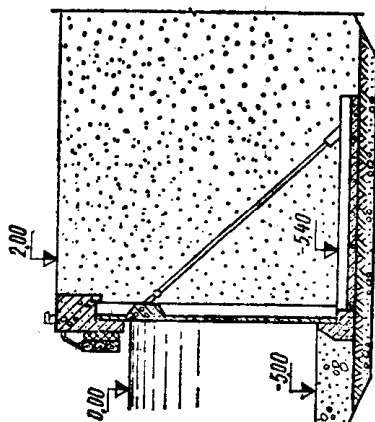


续上表

码头结构	1米码头结构物的材料消耗量					相对的造价 %
	钢筋混凝土 (米 ³)	金属 (公斤)	钢筋 (公斤)	石块 (米 ³)		
直径D = 5.5米的薄壳沉井 	4.78	695	562	—	100	

续上表

码头结构	1米码头结构物的材料消耗量				相对的造价 %
	钢筋混凝土 (米³)	金属 (公斤)	钢筋 (公斤)	石块 (米³)	
带斜拉杆的扶壁断面	4.3	1000	610	8.5	107



在港口工程中，最适合应用薄壳的条件是不需要排水，就在密实的地基上或在软基（厚度 3～4 米）下层为密实土上建造薄壳。一般在这种情况下，需要将坏土挖除换成分层夯实的其它土，这就显著地提高了造价和延长了施工期限。薄壳沉井能够在少消耗材料、劳动力和时间的情况下，穿过软弱夹层达到坚实的地基。

除上述优点以外，采用大直径薄壳也还存在一些困难，其中主要的是必须要使用起重量大的起重机。这点对于河港工程的施工尤为重要。此外，工艺方面的缺点是集中制作与整体结构运输的困难，以及当水位波动很大时，系泊的船舷直接靠在薄壳的曲面壁上是不方便的。但是，随着大直径薄壳水工建筑物结构的不断完善，在大规模工程实践的过程中，制定生产与安装工艺，发展技术基地和增加大起重设备的生产，能够使上述存在的缺点对先进结构技术经济指标的影响降到最低程度。

二、大直径薄壳建筑物的结构

由于重力式大直径薄壳沉井水工建筑物比其它结构具有明显的优越性，在本书的以下几章中将重点研究这种结构。为了简化，称其为“大直径薄壳”或“薄壳”。一般取外径与建筑物高度的比值在 0.7～0.9 范围之内。

按照与地基相互作用的条件，大直径薄壳建筑物可以分为两种类型：1—直接沉入土壤的；2—建在块石基床上的或整平垫层上的（图 2）。修筑人工地基降低了采用这种结构的效果，但是在土壤比较软弱的条件下，它被证明是有效的。在不平的岩石地基上，必须抛填块石整平。选择哪种建筑方案应当根据技术经济条件，并考虑当地特点和具有的建筑材料。

在薄壳的分类中，其制造方法和断面形状具有主要的意义。到目前为止，在海洋中当水位变化不大时，应用最普遍的是整体式钢筋混凝土圆柱薄壳带不高的整体式上部建筑—帽梁（图3a和图4a）。

但是，近年来由于运输船只的排水量急剧增大，港区和航道的深度也随之增大，因此薄壳的重量已增大到500吨。为了采用这样的薄壳，要求有专用的起重设备。目前研制了几种装配式的薄壳结构，如圆柱薄壳用水平缝分割为环状构件（图3б），以及由平板组成的正多边形薄壳（图4б）。根据结构的要求，圆柱薄壳的壁厚在0.2~0.4米的范围内，与薄壳直径和起重设备的起重量有关，装配环的高度由2.5米到8米。

对于内河中浮吊起重量不超过30~50吨的条件，设计了平板铰接的多边形装配式薄壳结构。这种平板在工厂中制作，用专门的固定架直接在施工现场沿码头线装配。也可以做成由共用板分隔为两个相邻薄壳的孔室结构（见图4в）。采用卸荷悬臂板和锚固卸荷板达到减轻构件自重和均匀地基

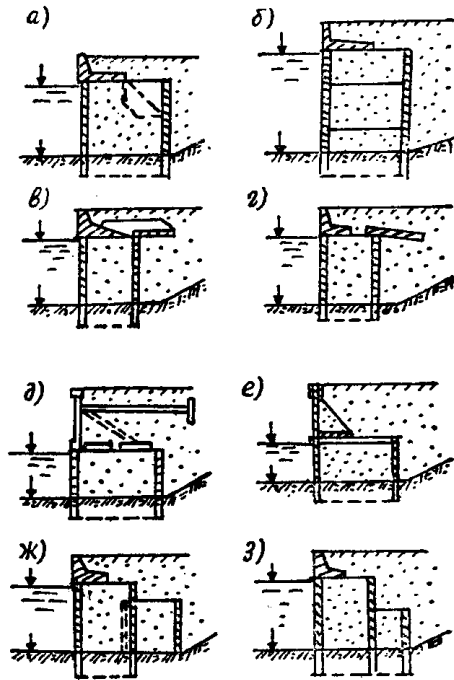


图3 薄壳码头结构方案

а)整体式的或预制板垂直装配式的(虚线表示可能的后墙轮廓); б)由环装配的; в)和г)带有卸荷结构的; д)和е)带有扶壁式上部建筑的; ж)和з)双薄壳组合式的

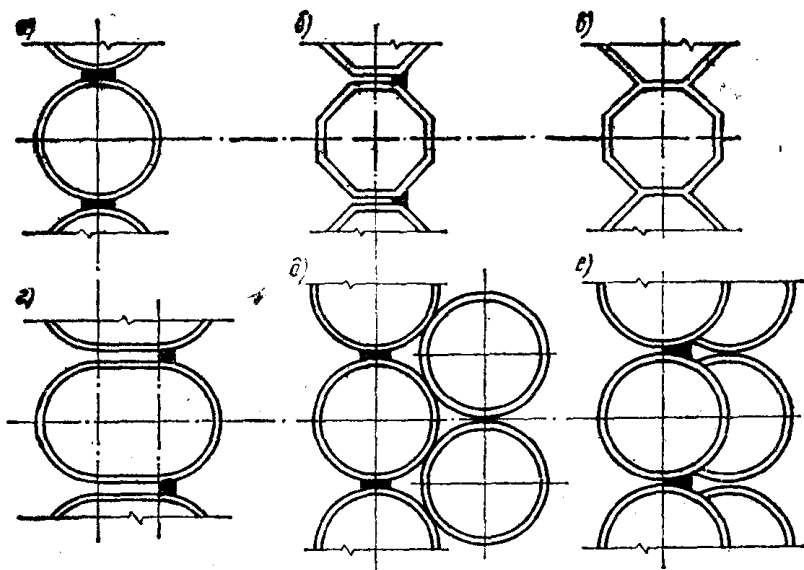


图4 薄壳建筑物横断面的结构类型

a)圆柱形；b)正多边形；c)具有共用壁的正多边形；
d)椭圆形；e)具有屏蔽的薄壳；f)组合薄壳

应力的目的（图3B、Г）。当航行水位波动较大时（大于3米），适合设计成装配式或整体式高大的上部建筑，其形式为带肋的，带水平拉杆或斜拉杆的扶壁（图3e、д）。采用这种结构除能降低码头工程的总造价外，还能减轻薄壳的重量，改善低水位时船舶系泊的使用条件。在薄壳上方的后部（如图3a中虚线所表示的）削角，实际上在不削弱结构稳定性的情况下，在整体式薄壳中能够节省钢筋混凝土。

在建造深水岸壁码头时，薄壳的直径不仅受其重量或组装构件重量的限制，而且还受上部建筑尺寸的限制。上部建筑的承载能力与长度的平方成反比，实际上是与相邻薄壳轴线间的距离成反比。如果考虑到上部建筑承受港口起重机、铁路和堆载的重量，则它的尺寸将对码头的总造价产生

显著的影响。在施工与设计经验的基础上，依据上部建筑的高度，薄壳直径最大增至9~12米为宜。

应用这种直径的薄壳，可以修建高达13~16米的岸壁码头。当高度再大时，除上述的卸荷板外，还可采用组合壳或双重薄壳（见图3ж、з和图4д、е），以及横断面为椭圆形的薄壳（见图4r）。结构后部薄壳的高度和壁厚一般要比主要薄壳小，在材料的消耗方面，与大直径圆柱薄壳相比增加不多。

上述这些意见首先适用于岸壁码头。围护建筑物的结构方案要简单得多，它是上部建筑为防浪墙的圆柱形薄壳。为了改善消浪的性能，可以在外墙上做成不同形式的槽口，内设消波室或在薄壳内部抛石（见图26）。大直径薄壳水工建筑物结构的全部类型，并不仅限于已列举的。根据施工、地区条件和使用的特点，以及施工单位的装备和技术水平，在各种具体情况下，都可能采用新的方案或更合理的结构组合。

三、薄壳结构的特点及施工工艺

在初步设计阶段，不带卸荷装置的薄壳的主要尺寸可以按图5确定。应当指出，在所指定的范围内，薄壳直径的变化主要取决于地基土壤的特性，而其壁的厚度则取决于内部填料和回填土的密度和特性。薄壳的高度取决于高出施工水位的最小高度（到0.5米）和无抛石基床时沉入地基的深度。与地基土的密度和底部冲刷的可能性有关，薄壳沉入的深度在 $(0.15 \sim 0.30)H_{CT}$ 范围内。

在冰或靠船力直接作用于薄壳壁的情况下，在水位变化的范围内，其正面的厚度要根据计算或按结构要求将厚度增大到0.5~1.0米。当在薄壳的下部可能有泥砂的磨损作用

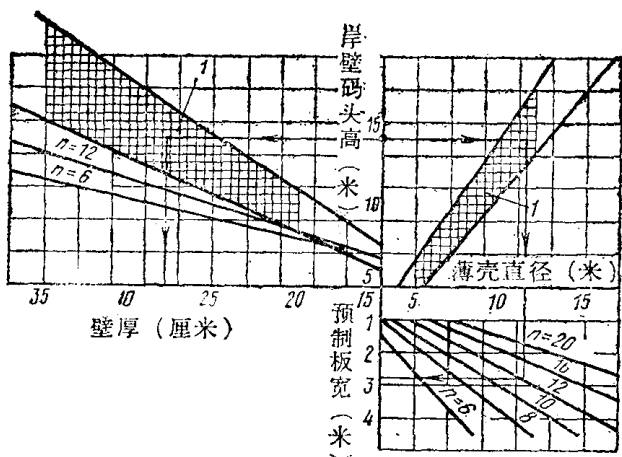


图5 用于预先确定薄壳主要尺寸的图表
 1-适合采用圆柱形薄壳的范围;
 n-正多边形薄壳平板的数量

时，其壁厚也可能增大。

正多边形薄壳的壁，根据板的宽度及其间连接点的刚度，一般具有较大的厚度。根据施工的条件，平板或曲面板组成的薄壳，板间可以是刚性连接或铰接。各种不同形式接头的典型方案表示在图 6 中。

刚性连接是最可靠和最耐久的。它通过焊接两相邻构件伸出的钢筋、吊鼻或预埋件，再用混凝土灌缝来实现。用起重重量不大的起重机直接在水中组装施工时，建议用铰接，用角钢板桩做锁口或用两钢管做锁口。当在侵蚀性的介质中施工时，刚性接头和铰接接头的外表面都应浇筑混凝土或使用专门防水涂层以防锈蚀。

采用压实柔性材料或焊接预埋件或沿接缝的内缘回填反滤层，来保证环形装配件间的水平接头不漏土（见图 6B）。放在抛石基床上的薄壳，在其下部底面上都要设置反滤层，以防止内部填土通过基床流失（见图 2）。在岸壁码头建设