



矩形沉箱外壁支座加强短筋伸出长度分析

李雪野¹, 陈际丰¹, 付超¹, 黄宗伟²

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 宁波中交水运设计研究有限公司, 浙江 宁波 315040)

摘要: 针对矩形沉箱外壁支座处加强短筋伸出长度的问题, 以某重力式沉箱码头项目为实例, 采用有限元软件计算沉箱构件实际受力情况, 分析支座短筋的伸出长度。计算结果显示, 对于部分情况, 支座加强短筋伸出支座外的长度大于板净跨的1/4。因此, 对于矩形沉箱外壁支座加强短筋的伸出长度, 不可简单地取规范规定的最小长度, 而应通过进一步计算确定。

关键词: 沉箱; 内力; 配筋

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0199-04

Extension length of short stiffener of rectangular caisson outer wall's support

LI Xue-ye¹, CHEN Ji-feng¹, FU Chao¹, HUANG Zong-wei²

(1.CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2.Ningbo China Communications Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315040, China)

Abstract: For the extension length of the short stiffener at the outer wall's support of the rectangular caisson, we take a gravity caisson pier project as an example and calculate the actual stress of the caisson members using the finite element software, according to which the extension length of the short stiffener of the support is analyzed. The calculation results show that, for some cases, the length of the short stiffener extending out of the support is greater than 1/4 of the clear span of the slab. Therefore, for the extension length of the short stiffener of the rectangular caisson outer wall's support, the minimum length specified in the code can not be simply taken. It should be determined by further calculation.

Keywords: caisson; internal force; reinforcement

重力式沉箱结构因施工简单、对荷载适应性强、整体性好等优点在国内外港口结构中得到广泛采用, 其中矩形沉箱结构较为常见。目前, 国内计算方沉箱构件内力和配筋主要依据 JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[1] 和 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》^[2], 也可利用有限元软件进行计算。从多年应用情况看, 规范中关于方沉箱构件构造配筋的规定具有一定的可靠度^[3]。

沉箱外墙包括前壁、侧壁和后壁, 考虑经济性及施工便捷性, 外壁与外壁、外壁与隔墙之间的支座处常采用通长钢筋和短筋共同受力模式, 其中短筋伸出支座的长度应通过计算确定。规范规定支座加强短筋伸出支座长度不应小于板净跨

的1/4, 具体外伸长度应通过计算确定。实际应用中, 很多工程设计人员并未精确计算, 而是直接采用规范规定的最小长度, 是不符合规范要求的。根据沉箱外壁的实际受力情况, 部分工程上述钢筋外伸长度仅采取板净跨的1/4是不能满足受力要求的。本文以实际项目为例, 对沉箱外墙支座配置短筋截断长度的合理性进行分析。

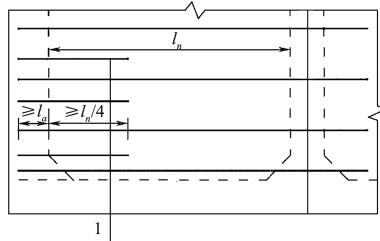
1 方沉箱内力计算和配筋规范规定

JTS 167—2018《码头结构设计规范》规定沉箱外壁计算图式可按下列规定确定:

1) 底板以上1.5倍内隔墙间距区段, 按三边固定、一边简支板计算;

2) 1.5 倍内隔墙间距以上区段, >2 跨时按两端固定的连续板计算; ≤ 2 跨时, 按框架或两端固定的单跨板计算。

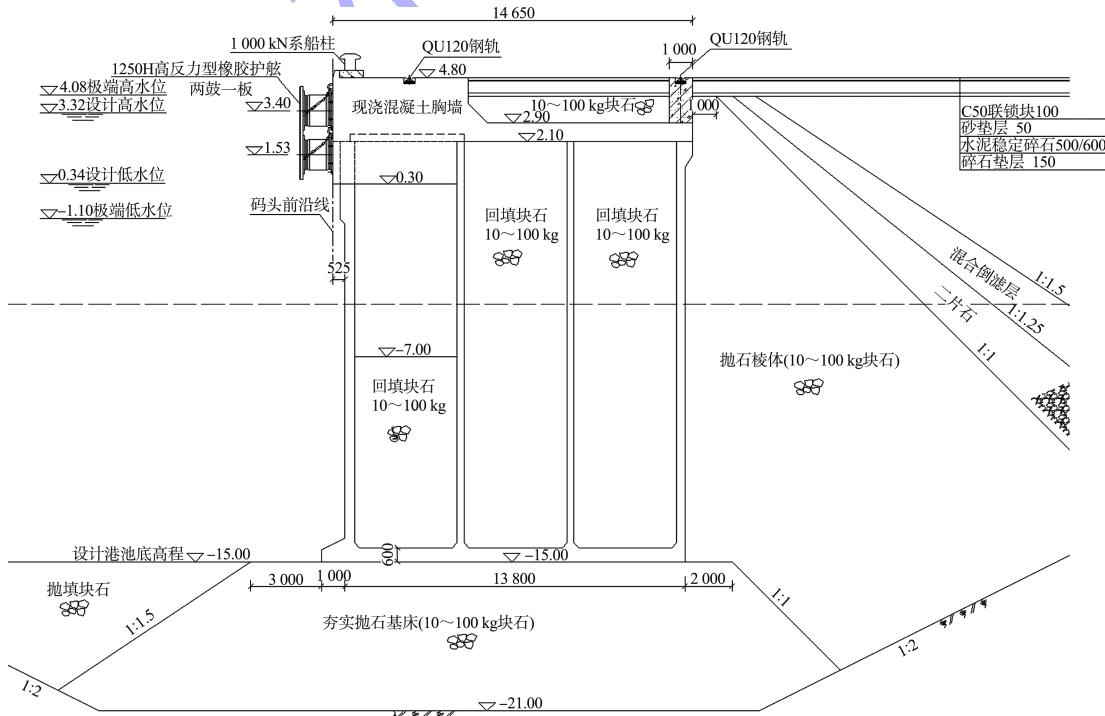
JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》规定，外墙支座配置的构造断筋伸出支座外的长度不应小于板净跨的 $1/4$ ，伸入支座内的长度不应小于锚固长度，见图 1。



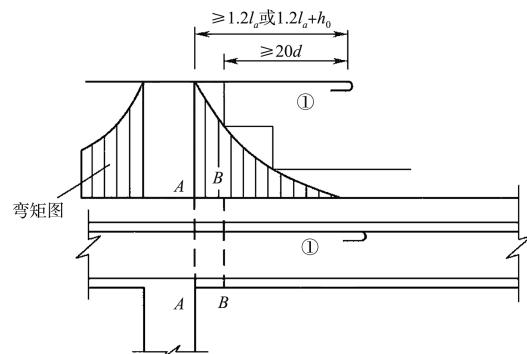
注：1 为支座短筋； l_n 为板的净跨； l_a 为锚固长度。

图 1 沉箱外墙支座构造短筋布置

规范第 7.3.6 条规定，纵向受拉钢筋不宜在受拉区截断。如需截断时，应延伸至按计算不需要该钢筋的截面以外，其延伸长度不应小于 20 倍钢筋直径；同时，当剪力设计值 $\geq 0.7f_t b h_0$ 时 (f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值, b 为矩形截面宽度, h_0 为截面有效高度)，纵向受拉钢筋应延伸至按计算不需要该钢筋的截面以外，其延伸长度应大于等于 $1.2l_n + h_0$ ；当剪力设计值 $< 0.7f_t b h_0$ 时，纵向受拉钢筋应延伸至按计算不需要该钢筋的截面以外，其延



伸长度应大于等于 1.2 倍受拉钢筋锚固长度。集中荷载较大或腹壁很薄的构件，纵向钢筋在受拉区截断时，尚应按斜截面受弯承载力进行计算，见图 2。



注: A-A 为钢筋①的强度充分利用截面; B-B 为按计算不需要钢筋①的截面。

图 2 纵向受拉钢筋截断时的延伸长度

2 工程实例

2.1 工程概况

某工程新建通用码头采用重力式方沉箱结构，水工结构按照靠泊 10 万吨级散货船设计，码头前沿设计底高程 -15.7 m，设计高水位 3.32 m，设计低水位 0.34 m，设计波高 $H_{1\%} = 2.75$ m，周期 $T_s = 5.8$ s， $L = 51.62$ m，沉箱仓格尺寸 $4.2\text{ m} \times 4.0\text{ m}$ ，混凝土强度等级 C35。码头结构断面见图 3，沉箱结构平面见图 4。

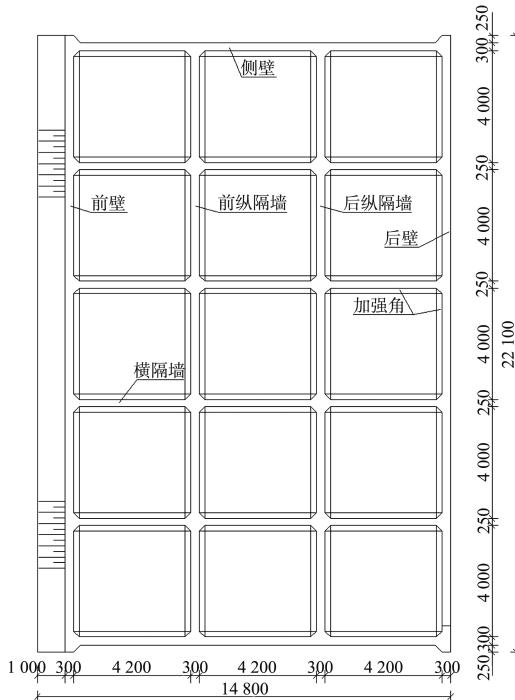


图 4 沉箱结构平面 (单位: mm)

2.2 沉箱外壁内力和配筋计算

为简单起见, 以沉箱前壁、侧壁、后壁为例, 分析 1.5 倍内隔墙间距以上区段外壁支座处的内力和配筋情况。选取前壁区段按照两边固定连续

板计算(单宽)。

2.2.1 前壁计算荷载组合

1) 施工期短暂状况的短暂组合, 此时外壁受弯方向为由外向内: 沉箱安放时内、外水压差+波浪力(波峰作用, 按照 1.5 m 波高考虑^[4]);

2) 使用期持久状况的持久组合, 此时外壁受弯方向为由内向外: 贮仓压力+波浪力(波谷作用)。

2.2.2 侧壁计算荷载组合

1) 施工期短暂状况的短暂组合, 此时外壁受弯方向为由外向内: 沉箱安放时内、外水压差+波浪力(波峰作用, 按照 1.5 m 波高考虑);

2) 使用期持久状况的持久组合, 此时外壁受弯方向为由内向外: 贮仓压力。

2.2.3 后壁计算荷载组合

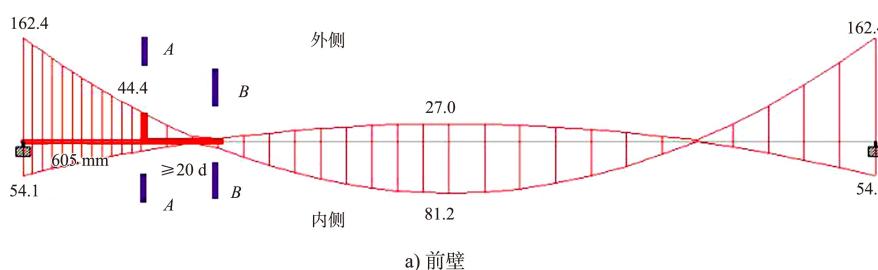
1) 施工期短暂状况的短暂组合, 此时后壁受弯方向为由外向内: 沉箱安放时内、外水压差+波浪力(波峰作用, 按照 1.5 m 波高考虑);

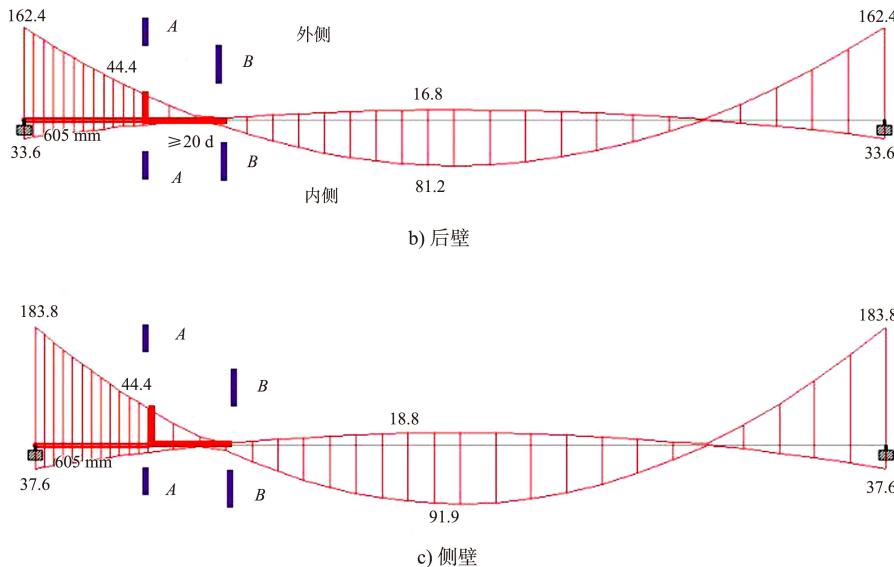
2) 施工期短暂状况的短暂组合, 此时后壁受弯方向为由内向外: 贮仓压力。

计算结果见表 1 和图 5。

表 1 沉箱外壁内力及配筋(1.5 倍内隔墙间距以上区段)

位置	组合	外侧支座弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)	外侧跨中弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)	内侧支座弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)	内侧跨中弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)	剪力/ (kN·m ⁻¹)
前壁	承载能力极限状态	162.4	27.0	54.1	81.2	226.6
	正常使用极限状态	26.1	10.8	21.6	13.0	-
	配筋情况	$\phi 12 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm + 支座 $\phi 22 \text{ mm}$ 短筋@ 200 mm		$\phi 16 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm		-
后壁	承载能力极限状态	162.4	16.8	33.6	81.2	226.6
	正常使用极限状态	39.6	0	0	19.8	-
	配筋情况	$\phi 12 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm + 支座 $\phi 22 \text{ mm}$ 短筋@ 200 mm		$\phi 16 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm		-
侧壁	承载能力极限状态	183.8	18.8	37.6	91.9	239.7
	正常使用极限状态	0	13.93	27.86	0	-
	配筋情况	$\phi 12 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm + 支座 $\phi 25 \text{ mm}$ 短筋@ 200 mm		$\phi 18 \text{ mm}$ 通长钢筋@ 200 mm		-





注: A-A 按计算不需要支座短筋的截面; B-B 为短筋截断位置。

图 5 承载能力弯矩包络图 (单位: kN·m/m)

2.3 加强短筋外伸长度计算结果

以前壁外侧支座配筋情况为例, 验算支座短筋长度。前壁外侧支座配筋为通长钢筋 $\phi 12 \text{ mm}$ +加强短筋 $\phi 22 \text{ mm}$ 。支座短筋的截断位置应根据《水运工程混凝土结构设计规范》第 7.3.6 条进行计算。

从弯矩角度: 直径 12 mm 通长钢筋截面承载能力为 $44.4 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$, 该位置距离支座 605 mm , 该处正常使用极限状态弯矩为 $7.2 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$, 计算裂缝为 0.10 mm (即因此处可变作用比例较大, 由强度配筋确定钢筋数量)。以此判定: 距离支座 605 mm 处即为计算不需要加强短筋的位置, 支座加强短筋应从距离支座 605 mm 处延伸不小于 $20 \times 22 \text{ mm} = 440 \text{ mm}$ 距离。即加强短筋伸出支座外长度应 $\geq 1045 \text{ mm}$ ($605 \text{ mm}+440 \text{ mm}$)。

从剪力角度: 剪力设计值 $226.6 \text{ kN}/\text{m} < 377 \text{ kN}/\text{m}(0.7f_ybh_0)$ 。其中: f_y 为混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2), b 为矩形截面宽度 (mm), h_0 为

截面有效高度 (mm)。根据规范要求, 加强短筋应延伸至该钢筋强度充分利用截面 (距离支座 605 mm 处) 以外不小于 1.2 倍受拉钢筋锚固长度, 锚固长度为 $\alpha df_y/f_y = 385 \text{ mm}$ (α 为钢筋的外形系数, d 为钢筋的公称直径, f_y 为钢筋抗拉强度设计值)。即加强短筋伸出支座外长度不应小于 1067 mm ($605 \text{ mm}+1.2 \times 385 \text{ mm}$)。

从构造角度: 外墙支座配置的构造断筋, 伸出支座外的长度不应小于板的净跨 $1/4$, 即加强短筋伸出支座外长度为 $l_n/4 = 4000/4 = 1000 \text{ mm}$ 。

综上可以判定, 加强短筋伸出支座外长度应不小于 1067 mm , 大于板净跨的 $1/4$ (1000 mm)。此例中仅按照板跨的 $1/4$ 考虑短筋伸出支座长度不能满足构件受力需求。

通过以上方法分析支座短筋外伸长度, 结果见表 2。可见, 本例中沉箱外壁支座加强短筋的长度均大于板净宽的 $1/4$ 。

表 2 沉箱外壁支座加强短筋外伸长度

位置	外伸长度/mm			结论
	从弯矩角度	从剪力角度	从构造角度	
前壁	$605+20 \times 22 = 1045$	$605+1.2 \alpha df_y/f_y = 1067$	$1/4 \times 4000 = 1000$	$1067 > l_n/4$
后壁	$605+20 \times 22 = 1045$	$605+1.2 \alpha df_y/f_y = 1067$	$1/4 \times 4000 = 1000$	$1067 > l_n/4$
侧壁	$605+20 \times 25 = 1105$	$605+1.2 \alpha df_y/f_y = 1067$	$1/4 \times 4200 = 1050$	$1105 > l_n/4$

(下转第 215 页)