

取水箱涵气囊助浮出运、安装技术与研究

田建国 尚艳坤 雷翔宇

中交一航局第五工程有限公司

摘要：柬埔寨西哈努克港2×350MW燃煤电站项目码头工程取水箱涵全长2.4405km，海域段箱涵设计单节箱涵15m长，单节最重约448.5吨，采用陆上预制、气囊陆上移运、溜放下水、气囊助浮运安装的施工工艺。通过对气囊助浮出运安装关键技术措施的应用，确保工程顺利实施，为其他类似工程提供借鉴。

关键词：取水箱涵；气囊助浮；浮运安装；水下拉合
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.20.118

引言

随着我国水运工程领域的快速发展，海底采用装配式构件越来越多，取排水工程是燃煤电厂重要的组成部分，取水头多布置在远海处进行取水，取水箱涵多为预制安装构件。构件预制安装采用气囊移运、助浮安装的形式可以根据构件尺寸类型灵活配备一定数量的气囊，大大减少水上起重设备起重量，大幅提高施工效率。本文在目前气囊出运安装工艺基础上，针对柬埔寨西哈努克港2×350MW燃煤电站项目码头工程取水箱涵安装进行深入的研究，详细完善了气囊移运、溜放下水、浮运安装等工艺，对各项关键技术进行了研究和总结。

一、工程概况

柬埔寨西哈努克港2×350MW燃煤电站项目码头工程位于西哈努克港以北约15km。本工程设计高水位+0.8m，设计低水位-0.8m，极端高水位：+1.68m（重现期50年），极端低水位：-1.18m（重现期50年），施工水位+0.0m。取水箱涵总长度为2440.5m，其中海域段预制安装总长度为2131.7m，箱涵底标高从-12.0m（首部）过渡到-7.5m（末端）。双孔取水暗涵标准段长度为15m，断面尺寸B×H=2×3m×3m；海域段B型箱涵共计5段，单节重448.5t；C型箱涵共计135段，单节重391.5t。箱涵节段下游端部设置氯丁橡胶圈止水带。

二、工艺流程及施工方法

（一）工艺流程图（见图1）

（二）施工准备

1. 预制场布置

预制场长153m，宽101.8m，占地15575m²。预制场内南北两侧各布置5个预制台座，结构形式为20cm厚混凝土条形底胎，中间区域为箱涵存储区，预制场居中布置1处16m宽的箱涵纵移通道，纵移通道东端与箱涵溜放下水坡道顺接。预制场内共布置38个地锚，地锚为混凝土重力式结构，其中22t地锚用于固定箱涵平移的定滑轮，25t地锚用于固定箱涵下水的溜尾定滑轮，6t地锚用于固定箱涵平移的转向滑轮，8t地锚用于固定卷扬机。

2. 箱涵下水坡道

箱涵下水斜坡道位于箱涵纵移通道东侧末端，宽16m。下水斜坡道基础为1m厚块石垫层，水上部分采用

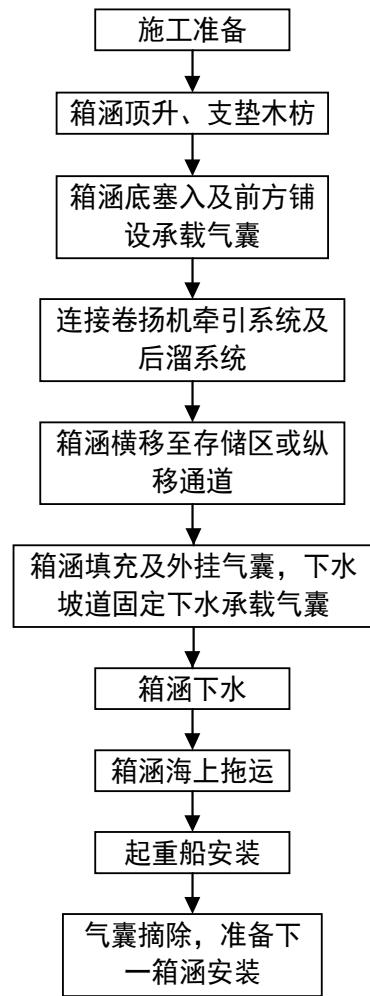


图1 箱涵出运安装工艺流程图

碎石垫层找平，浇筑20cm厚混凝土；水下部分采用二片石找平，预制安装20cm厚钢筋混凝土大板，底部抛填护底块石，防冲刷。水上段考虑卷扬机作业距离，坡度较缓，为1:10，水下段坡度为1:6，下水坡道末端设置起浮区，考虑1.5m的富余水深，开挖至-6.3m，起浮区长18m。

3. 箱涵浮运通道

箱涵浮运时，干弦高度0.8m，箱涵吃水3.2m，考虑低潮时至少富余0.8m水深，出运通道疏浚至-4.2m，航道宽度16m，顺接至水深满足要求海域。

4. 箱涵预埋吊环

为进行箱涵助浮气囊绑扎固定及吊装，在箱涵两侧底部以上250mm处埋设D=25mm圆钢作为气囊绑扎吊环，吊环间距1.5m，单侧共布置10个吊环。箱涵顶部距箱涵两边2.4m位置处埋设Φ45mm圆钢作为安装用吊环，箱涵尾部埋设55mm厚Q345钢板特制吊环用于溜放下水及箱涵

安装。

(三) 箱涵顶升

箱涵预制完成混凝土强度等级达到100%后，在4个顶升坑内分别放入200t油压千斤顶，将箱涵同步顶升25cm。顶升时缓慢匀速增加油压，安排4名人员分别注意观察千斤顶的顶升状态、起落高度，及时报送给操作油泵人员，保持四角同步，不允许不对称顶升或单边、单角顶升。顶升后沿箱涵四周支垫木枋，支垫木枋垂直箱涵布置，长边方向木枋间距5cm，塞入箱涵26cm，短边木枋完全塞入箱涵，每侧3根木枋，木枋需预留出气囊位置，如图2所示。

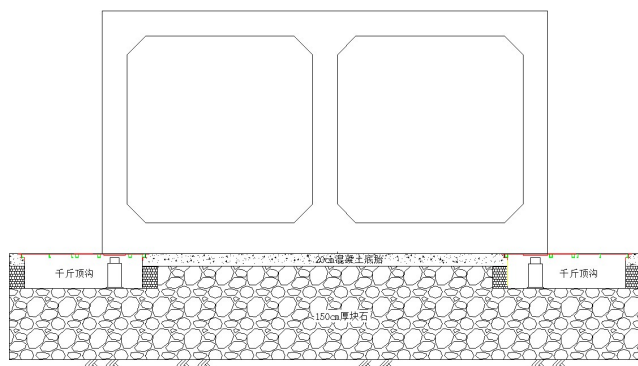
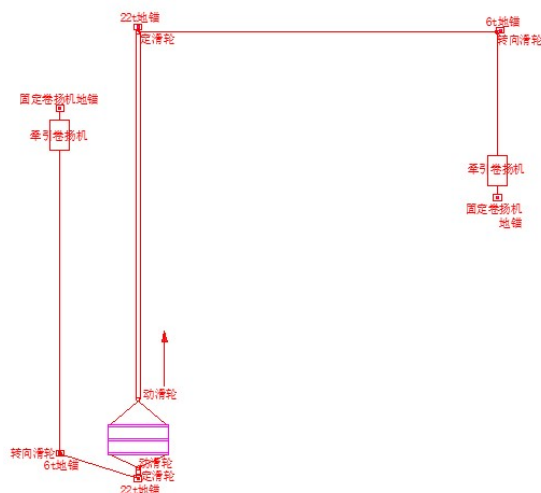


图2 箱涵顶升示意图

(四) 箱涵陆上横移

箱涵横移时，底塞入4条 $\phi 1.0 \times 16m$ 气囊，充气承载，在箱涵前方铺8条左右气囊，箱涵横移至气囊上方后，气囊充气承载，承载气囊压力控制在0.16MP以内，横移速度控制在3m/min内，箱涵通过前方卷扬机牵引系统横移至存储区或纵移通道，如图3所示。



(五) 箱涵陆上纵移

箱涵横移至纵移通道后，支垫木枋，撤出横移气囊，箱涵底部塞入7条 $\phi 1.0 \times 8.5m$ 纵移气囊，充气，撤出木枋，进行纵移。箱涵头部尾部分别接入牵引系统和制动系统，纵移通道箱涵前方铺承载气囊，箱涵纵移至气囊上方后，气囊充气承载，通过牵引系统及气囊放气充气逐渐纵移至下水坡道头部，使用木方支垫稳定。

(六) 溜放下水

箱涵横移至纵移至下水坡道端部后，支垫木枋，进行下水前的准备工作。C型箱涵每侧外挂2条 $\phi 1.6 \times 12m + 1$ 条 $\phi 1.0 \times 8.5m$ 气囊，B型箱涵每侧外挂3条 $\phi 1.6 \times 12m$ 气囊，单侧使用8t绑带捆绑固定，每个仓格内填塞4条 $\phi 1.6 \times 12m$ 气囊。沿着下水坡道每隔3.8m固定7条 $\phi 1.0 \times 8.5m$ 承载气囊。箱涵牵引至下水斜坡道前沿时，将溜尾卷扬机改至纵移通道两侧的25t地锚，2台卷扬机布置在纵移通道的东端两侧，钢丝绳与箱涵顶部吊环连接。当箱涵前端驶进坡道5~6m时，解除前方牵引系统，靠重力沿下水坡道的分力继续下滑入水。箱涵下水时，箱涵移动至预定气囊前方0.5m时，后方后溜卷扬机制动箱涵，潜水人员水下摸箱涵底口前沿距前方首个气囊的距离，确认相对位置关系，再准确下滑至气囊上方。当箱涵驶入水下固定气囊位置后，后方卷扬系统制动使箱涵停止，将气囊充满气，潜水员水下解除固定的绳索，继续下滑至下一个气囊，往复操作直至箱涵下水至起浮点。

(七) 箱涵浮运

箱涵海上运输采用气囊助浮、拖轮拖运。箱涵下水完全起浮后干弦高度约0.8m，将拖轮两根缆绳分别与箱涵顶部吊环连接，解除后方制动系统，沿浮运航道拖运至安装地点。浮运过程中，时刻关注箱涵干弦高度，发

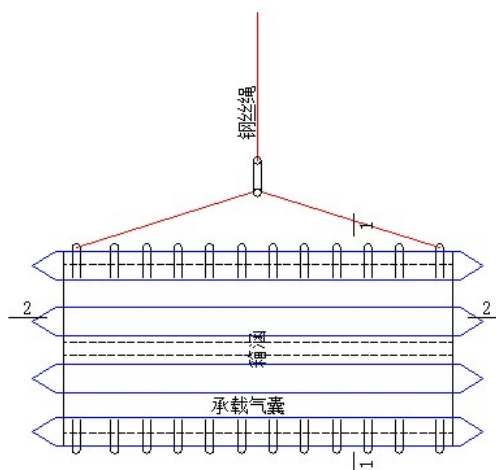


图3 箱涵横移示意图

现明显下沉时，及时补气，保证干弦不低于0.5m。

(八) 箱涵安装

箱涵拖带至安装位置时，采用气囊助浮、200t起重船沿箱涵轴线驻位安装。首先起重船吊起吊装架驻位

等待，辅助方驳平行于箱涵驻位，箱涵暂靠辅助方驳固定。起重船绞锚，靠近箱涵，连接吊环，采用4点吊装，非挤压端同一个吊环上连接2个吊环，用于调整挤压角度；起重船吊箱涵绞锚移至设计安装位置，准备沉

放箱涵安装。

通过气囊缓慢放气，使箱涵下沉，直至箱涵完全没水，停止放气，使箱涵缓慢继续下沉。箱涵入水后，缓慢下降并逐渐贴近已安装箱涵，待新安装箱涵底板距离抛石基床约10cm、端头贴近已安装箱涵橡胶圈时暂停下沉。潜水员水下将两套拉紧装置与箱涵吊点连接好，安装船上人员通过收放晃绳调整好新安装箱涵轴线方向后，船上人员开启拉紧装置、施加拉力，将新安装箱涵与已安装箱涵逐步拉紧、挤压橡胶圈，满足设计要求后落钩将箱涵缓慢下放至基床上，下放过程中箱涵自由端在重力下围绕拉紧端转动挤压箱涵下部橡胶圈，实现严密对接。采用水下基线法控制安装轴线，测量人员根据坐标，测放水下基线，潜水人员配合。安装时由潜水人员通过卡尺测量箱涵两端距基线的距离，确定箱涵的安装位置，并水下检查缝宽、错牙，安装完成的箱涵，测量人员吊线测量箱涵端部坐标，复测轴线，确认安装质量达到设计与规范要求后，潜水员解开连接吊装钢丝绳卡环及捆绑气囊的吊环，气囊放气，使用拖轮将气囊拖出水面，继续安装下一件箱涵，如图4所示。

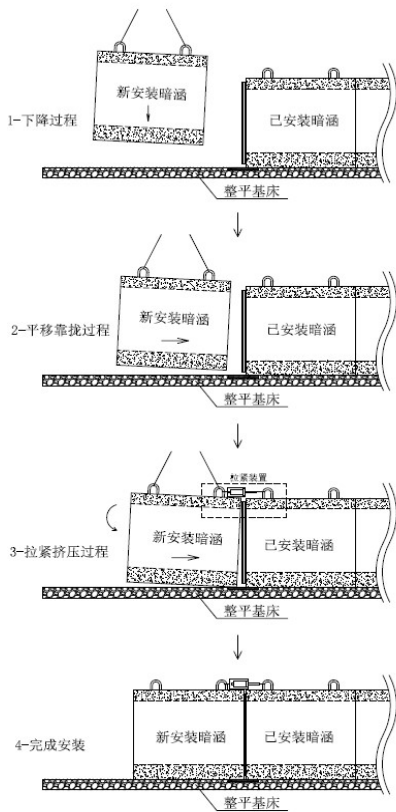


图4 箱涵对位安装过程示意图

拉紧装置位于箱涵顶端部两侧，由千斤顶、铁盒、拉杆及连接钢丝绳组成，油压穿心式千斤顶置于铁盒内，铁盒靠新安装箱涵一侧通过卡环、钢丝绳与新安装箱涵吊点连接，铁盒靠已安装箱涵一侧开孔穿入Φ32mm精轧螺纹钢，螺纹钢一端穿入千斤顶，另一端通过卡环、钢丝绳与已安装箱涵吊点连接，如图5所示。拉紧装置结构如下：

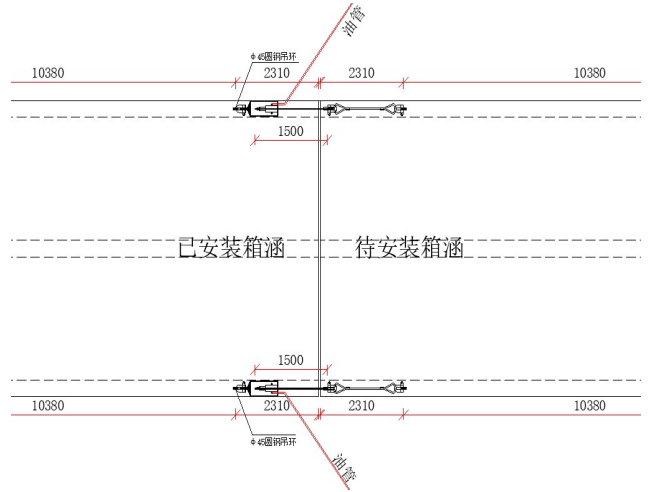


图5 拉紧装置安装平面示意图

三、施工技术要求及注意事项

(1) 箱涵四角必须缓慢同步顶升，顶升坑底部平整、支垫4cm钢板，保证基础均匀受力及承载力满足要求。

(2) 箱涵溜放下水时，两侧卷扬机必须同步收拉，钢丝绳受力均匀，保证箱涵平稳下水。

(3) 箱涵平移气囊压力不得大于0.16MPa，浮运气囊充气饱满，不得漏气，对称设置，绑扎固定牢固，浮运气囊绑扎固定不得超出箱涵顶部，保证平稳出运。

(4) 安装时，气囊对称放气，使箱涵平稳缓慢下滑，起重船吊力不得超过拉合千斤顶额定拉力的60%。

(5) 检查吊索具的状态，吊装用钢丝绳破损、断丝情况控制在允许使用范围内。

(6) 拉合液压千斤顶拉合理不得超过额定值的80%，箱涵完全落底后复测位置及缝隙，缝宽及安装精度要满足设计要求。

四、结论

本文以柬埔寨西哈努克港 2×350MW燃煤电站项目取水箱涵出运、安装施工为例，箱涵采用气囊助浮，通过气囊浮力减轻构件安装吊重，可优化增加箱涵分段长度，减少分段数量，从而减少水下接缝数量，解决了传统箱涵预制分段较多、起重量大的问题。该工艺较之传统工艺而言，具有专业化程度高、起重量低且可以灵活调节、出运安装工效高、安全及质量可靠等优势，实现利用较小起重设备完成超大构件安装的目的，降本增效作用明显。

参考文献

[1] 贾延财. 箱涵的气囊出运助浮及安装工艺探讨与应用[B]. 中国港湾建设, 2017, 第37卷第8期.
 [2] 章广斌, 大型沉箱气囊出运安装工艺研究与运用[D]. 山东大学, 2007.
 [3] 《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS151-2011) [S] 人民交通出版社, 2011年.
 [4] 港口工程施工手册(第二版); 人民交通出版社, 2015年.