

潮州华瀛液化天然气接收站项目

配套码头工程

施 工 图

第八册 取排水口工程

第一分册 沉井、顶管



中交第四航务工程勘察设计院有限公司

CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd

2022 年 11 月

项目主管总工程师： 宓宝勇 正高级工程师

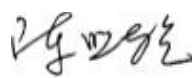
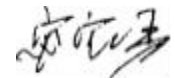
专业总工程师： 林佑高 教授级高工

专业设计负责人： 赖俊珊 工程师

参加本工程设计人员名单

专业	专业设计负责人		参加人员	
	姓名	职称	姓名	职称
岩土	赖俊珊	工程师	姜彦冰	工程师
			李建宇	教授级高工
			林佑高	教授级高工

文件编号： 21S027-SS-SSM-YT-0001

0	2022.11	施工版		
版本号	日期	出版状态	项目经理	主管总工

目录

第 1 章 设计依据	1
1.1 依据文件.....	1
1.2 依据资料.....	1
1.3 工程技术标准.....	1
第 2 章 设计范围	3
2.1 取水口工程.....	3
2.2 排水口工程.....	3
第 3 章 设计内容	4
3.1 设计条件.....	4
3.2 设计标准.....	4
3.3 设计方案.....	5
3.4 主要计算结果.....	6
3.5 耐久性设计.....	6
第 4 章 施工技术要求、材料要求及质量检验	8
4.1 施工工序.....	8
4.2 材料要求.....	11
4.3 施工技术要求.....	15
4.4 质量检测.....	23
4.5 安全措施.....	23
第 5 章 施工监测	25
5.1 一般规定.....	25
5.2 监测项目.....	25
5.3 测点布置.....	26
5.4 监测频率和报警值.....	26



第 6 章 重点部位和环节..... 27

6.1 重点部位和环节..... 27

6.2 项目实施风险识别表..... 27

6.3 其他..... 28



插图目录

图 4.1-1	取水泵房沉井施工工艺流程.....	9
图 4.1-2	顶管施工工艺流程.....	10
图 4.2-1	哈夫连接件组成示意图.....	13

表格目录

表 3.4-1	顶管主要计算结果.....	6
表 3.4-2	沉井主要计算结果.....	6
表 4.2-1	混凝土强度等级.....	11
表 4.2-2	混凝土坍落度.....	11
表 4.2-3	钢筋强度要求.....	12
表 4.2-4	弹性橡胶密封圈的主要物理性能.....	14
表 5.2-1	监测项目.....	25
表 5.4-1	顶管工程周边环境监测报警值和监测频率.....	26
表 6.2-1	项目实施风险识别表.....	27



第 1 章 设计依据

1.1 依据文件

详见第一册总体设计第 1.1 节。

1.2 依据资料

详见第一册总体设计第 1.2 节。

1.3 工程技术标准

- (1) 《给水排水工程顶管技术规程》（CECS 246 :2008）
- (2) 《顶管技术规程》（DBJ/T 15-106-2015）
- (3) 《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》（CECS 141 :2002）
- (4) 《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）
- (5) 《地下工程防水技术规范》（GB 50108-2008）
- (6) 《港口工程荷载规范》（JTS 144-1-2010）
- (7) 《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）（2015 年版）
- (8) 《水运工程混凝土结构设计规范》（JTS 151-2011）
- (9) 《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153-2015）
- (10) 《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）
- (11) 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》（CECS 137 :2015）
- (12) 《沉井与气压沉箱施工规范》（GB/T 51130-2016）
- (13) 《工业建筑防腐蚀设计规范》（GB 50046-2018）
- (14) 《水运工程结构防腐蚀施工规范》（JTS/T 209-2020）



- (15) 《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 年版）
- (16) 《油气输送管道线路工程抗震技术规范》（GB/T 50470-2017）
- (17) 《建筑基坑工程技术规程》（DBJ / T 15-20-2016）
- (18) 其他港口工程有关规范、规定及标准。



第 2 章 设计范围

2.1 取水口工程

本册设计内容为取水口工程，包含取海水泵房及引水管道设计，不包含取水头部，取水头部结构设计详见第八册取排水口工程第二分册。

2.2 排水口工程

本册设计内容为排水口工程，包含排水集水井及排水管道设计，不包含排水头部，排水头部结构设计详见第八册取排水口工程第二分册。



第 3 章 设计内容

3.1 设计条件

详见第一册总体设计第 4 章。

3.2 设计标准

- (1) 设计使用年限：50 年。
- (2) 结构重要性系数：1.0，安全等级二级。
- (3) 抗震设防类别：标准设防类。
- (4) 地基基础设计等级：乙级。
- (5) 防水设防等级：四级。
- (6) 抗浮安全系数：沉井考虑结构侧摩擦取 1.15，不考虑时取 1.0；管道抗浮稳定性系数为 1.1。
- (7) 矩形沉井计算模型：主要为水平闭合结构、连续梁、连续平板
- (8) 主要设计荷载包括：
 - 1) 恒荷载：结构自重、土压力、结构附加恒载、水压力及浮力、混凝土收缩和徐变的影响力。
 - 2) 活荷载：车辆荷载、管线管道及附件荷载、施工荷载。
 - 3) 偶然荷载：地震作用。

上述荷载应根据《建筑结构荷载规范》GB5009-2012、《港口工程荷载规范》（JTS 144-1-2010）及《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015 相关规定决定荷载数值，并综合施工和使用年限内发生的变化，判断可能出现的最不利情况，确定不同荷载组合时的组合系数进行计算。



3.3 设计方案

混凝土强度等级采用 C40，抗渗等级 P8，封底混凝土为 C25，钢筋采用 HRB400 及 HPB300，顶管采用 Q345 钢管。

3.3.1 取水工程设计方案

海水泵房顶部高程为+9.8m，底板面标高为-8.0m。海水泵房采用钢筋混凝土矩形沉井，不排水法施工。沉井平面尺寸为 44.75m×31.1m，井壁厚 1.2~1.8m，底板厚 1.0m，封底混凝土厚 2.5m。

沉井内设置多道隔墙、竖向框架及底梁。沉井井壁及部分隔墙可作为泵房基础外墙及隔墙使用，但由于沉井平面尺寸为矩形，前池部分稍大于泵房基础尺寸。当沉井下沉到位并封底后，需砌筑泵房前池外墙；当前池外墙强度达到 98%后，凿除前池内隔墙和其他竖向框架，以满足顶管施工空间，同时填筑泵房其他部位结构以满足泵房使用要求。顶管洞口位置设置 10 排 $\Phi 800@600$ 深 7m 的旋喷桩进行加固。

引水管道采用 2 根 $\Phi 2900\text{mm}$ 钢管，综合考虑后壁厚为 36mm，泥水平衡法顶管施工。取水顶管工作井利用泵房沉井进行顶进。每根顶管长度约为 570.8m，设置 4 个中继间，顶管间距不应小于一倍管外径，约为 4628mm。顶管完成后，需在水下挖出机头，顶管与水下沉管的取水头采用哈夫接头连接，取水头部做法详见第八册取排水口工程第二分册。

3.3.2 排水工程设计方案

集水井顶部高程为+8.744m，底板面标高为-3.0m。集水井同样采用钢筋混凝土矩形沉井，不排水法施工。沉井结构作为集水井结构，平面尺寸为 15m×13.2m，井壁厚 1.0m，底板厚 0.9m，封底混凝土厚 2.0m。顶管洞口位置设置 6 排 $\Phi 800@600$ 深 6m 的旋喷桩进行加固。

排水管道采用 2 根 $\Phi 2800\text{mm}$ 钢管，综合考虑后壁厚为 32mm，泥水平衡法顶管施工。排水顶管工作井利用集水井沉井进行顶进。每根顶管长度约为 342.0m，设置 2 个中继间，顶管间距不应小于一倍管外径，为 3000mm。顶管完成后，需在水下挖出机头，顶管与水下沉管的排水头采



用哈夫接头连接，排水头部做法详见第八册取排水口工程第二分册。

3.4 主要计算结果

表 3.4-1 顶管主要计算结果

项目	顶管					
	$\eta \sigma_{\theta}$ (MPa) 环向应力	σ (MPa) 纵向应力	F (KPa) 截面 内力	ω_d (mm) 竖向 变形	K_f 抗浮 系数	F_{db} (KN) 允许顶力设计值
Φ2900mm 钢管	259.77	225.69(降温时) 255.93(升温时)	0.401	0.09	1.52	24368
Φ2800mm 钢管	129.85	120.80(降温时) 147.89(升温时)	0.265	0.09	1.34	20893

表 3.4-2 沉井主要计算结果

项目	沉井					
	K_{st} 下沉 系数	$K_{st, s}$ 下沉稳定 系数	k_{fw} 抗浮系数 (封底)	k_{fw} 抗浮系数 (使用)	h_t (mm) 封底厚度	ω (mm) 裂缝
44.75mx31.1 m	1.78	0.70	1.40	1.90	2500	小于 0.2
15mx13.2m	1.05	0.86	1.65	1.88	2000	小于 0.2

3.5 耐久性设计

本工程取排水建筑物所处为海水环境，为增加结构耐久性，保证结构使用达到 50 年，须对其进行防腐设计。

3.5.1 钢管防腐

取排水管道首先选用耐海水腐蚀能力较强,强度较高的低合金钢 Q345B 钢材，为确保结构的耐久性，必须对钢管进行防腐处理，其主要措



施为预留腐蚀余量和涂层保护。

根据《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153-2015）第 6.1 条，钢管的预留腐蚀厚度取 2.5mm（管外）+3mm（管内），综合考虑后壁厚为 36mm 或 32mm。同时考虑到钢管在取排水结构中的重要性，管内增加环氧重型防腐涂料保护，通过上述措施可确保钢管使用年限不小于 50 年。

3.5.2 钢结构防腐

本册钢结构主要指相关预埋铁件，考虑采用除锈后涂刷防腐涂料的方式进行防腐。钢结构必须按照《水运工程钢结构设计规范》（JTS152-2012）及《水运工程结构防腐蚀施工规范》（JTS/T 209-2020）进行设计和施工。

3.5.3 混凝土防腐

海水环境中，混凝土防腐主要措施为提高混凝土标号，采用 C40 混凝土，保护层厚度 60mm、减小水灰比，提高混凝土的密实度，掺加减水剂，控制氯离子的掺入量，并且在混凝土中添加 CPA 纤维，在混凝土临水面涂刷硅烷防腐涂料等。通过以上措施使主体结构的设计基准期不小于 50 年。



第 4 章 施工技术要求、材料要求及质量检验

4.1 施工工序

取排水口工程施工顺序为：工作井（沉井）施工→顶管施工→挖除顶管机头→与取水、排水头部进行连接。

4.1.1 取水泵房

取水泵房的施工主要包括沉井结构制作与井体沉放两部分。沉井制作前需确定分节制作的次数及相应的结构高度，根据取水泵房地下结构的特点，按照沉井高度，建议分四次制作，第一节高度 5.0m，第二高度 5.3m，第三节高度 6.0m，第四节高度 5.0m，四次下沉，整个沉井施工工艺流程如下图所示。结合现场实际情况及工期要求等因素，施工单位可根据自身情况调整分节制作高度及下沉次数，同时应验算地基土极限承载力或增加注浆等措施加强地基土承载力，确保下沉过程中的稳定性。



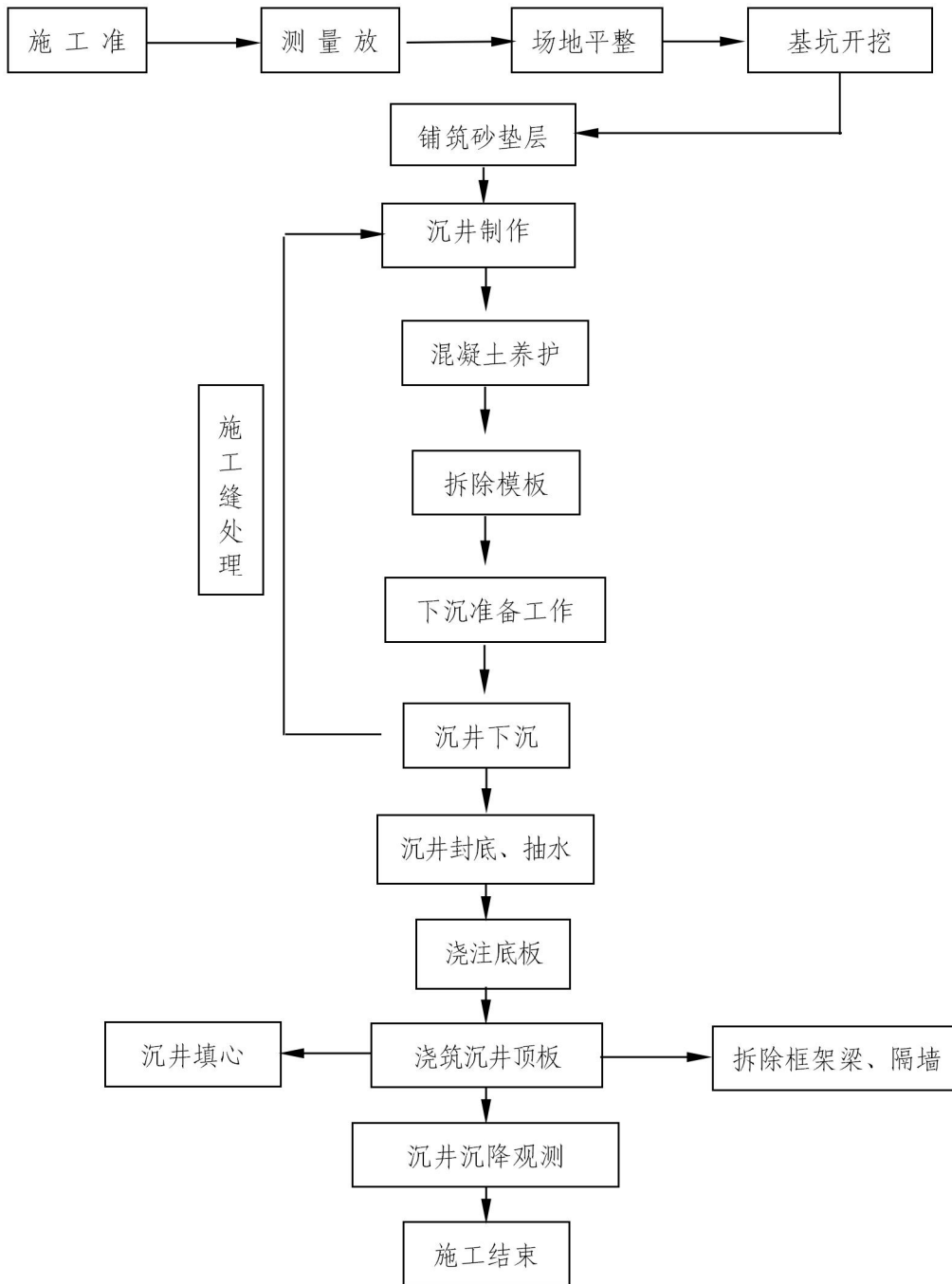


图 4.1-1 取水泵房沉井施工工艺流程

4.1.2 排水集水井

排水集水井施工主要包括沉井结构制作与井体沉放两部分。沉井制作前需确定分节制作的次数及相应的结构高度，根据集水井地下结构的特点，按照沉井高度，考虑到工期的因素，沉井分三次制作，第一节高度 6.0m，第二高度 4.0m、三节高度 4.7m，三次下沉，整个沉井施工工艺流程参考取水泵房施工。



4.1.3 顶管

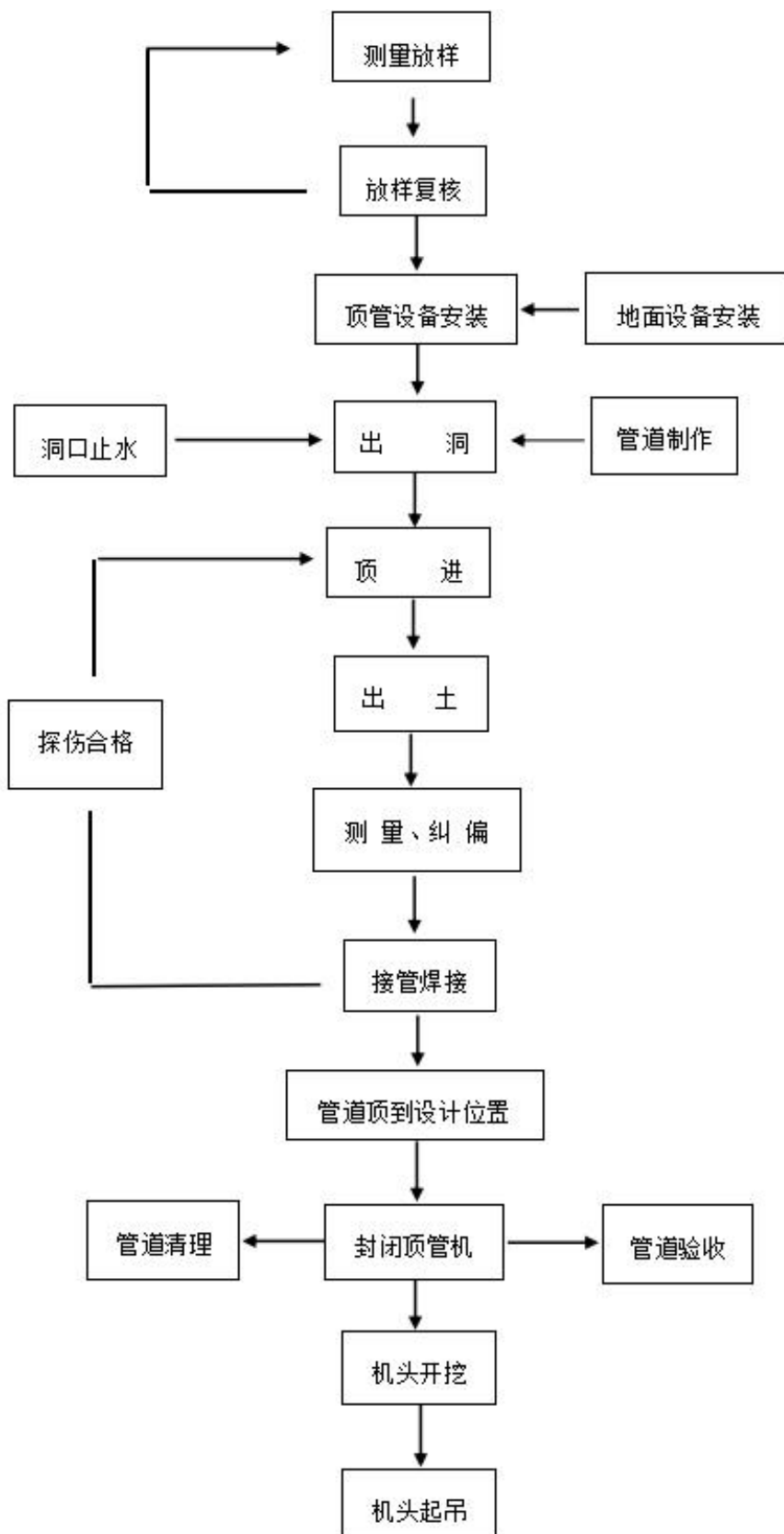


图 4.1-2 顶管施工工艺流程



4.2 材料要求

4.2.1 钢筋混凝土工程一般规定

(1) 混凝土强度等级是由 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 标准试块用标准方法养护至 28 天龄期后进行标准试验得出的抗压强度值，且强度低于该标准抗压强度的试块数量不超过总试块数量的 5%，各构件的混凝土强度等级如下：

表 4.2-1 混凝土强度等级

分类	构件	混凝土强度等级	备注
取、排水口	取水泵房	C40	抗渗等级 P8
	排水集水井	C40	抗渗等级 P8
	泵房填心	C40	抗渗等级 P8

(2) 选定配合比时，应注意拌合物的和易性，并应采取措施减少泌水性和离析。在浇筑时，其坍落度宜按下表选用：

表 4.2-2 混凝土坍落度

混凝土种类	坍落度 (mm)
素混凝土	10~40
配筋率不超过 1.5% 的钢筋混凝土	50~70
配筋率超过 1.5% 的钢筋混凝土	70~90

注：当采用泵送混凝土时，坍落度可按规范要求调整。

(3) 混凝土拌和物中氯离子占水泥重量的最大百分比：钢筋混凝土不超过 0.10%，素混凝土中不超过 1.3%。

(4) 混凝土保护层厚度应按批准的施工图执行。



4.2.2 钢筋混凝土工程材料

(1) 水泥

水泥采用矿渣硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥强度等级不得低于42.5。

(2) 细骨料、粗骨料

按《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）有关要求执行。

(3) 拌和用水

本工程禁止使用海水作为混凝土拌和用水，其余按《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）有关要求执行。

(4) 钢筋

本册使用到的钢筋有非预应力钢筋，施工单位应按批准的施工图购买钢筋。钢筋的名称、强度要求见下表，其余按《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）有关要求执行。

表 4.2-3 钢筋强度要求

名 称	强度标准值 (Mpa)
热扎 HPB300 钢筋	300
热扎 HRB400 钢筋	400
冷拉 HRB400 钢筋	500

4.2.3 钢管

钢材采用 Q345B，钢材的规格和性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的要求。钢管设计应同时符合顶力和正常使用抗腐蚀的要求，壁厚取两者的最大值。

焊条机械性能应与管材相同及匹配，其质量应符合现行国家标准《碳素焊条》GB/T 5117 和《低合金焊条》GB/T 5118 的规定；管节焊接前应先修边，焊接面不得有锈斑、水、油污和杂物，焊缝不应有裂缝、气孔、夹



渣、融合性飞溅等缺陷。钢管应按 II 级焊缝的标准进行无损检测。

管节两端头应有 100~200mm 长的管段暂不作防腐处理，在焊接完成并探伤合格后或整段组拼完成后进行防腐处理；顶管贯通后应进行防腐层检查和修补。

其他未注明要求应符合现行国家标准《顶管技术规程》DBJ/T15-106-2015 和《给水排水工程顶管技术规程》CECS 246:2008 执行。

4.2.4 哈夫接头

哈夫连接是采用机械紧固方法和橡胶密封件将相邻管端连成一体的连接方法，即将相邻管端用两半（或三段）外套筒包覆，并用螺栓紧固，在套筒和管外壁间用配套的橡胶密封圈密封。

哈夫连接所用的密封件、紧固件等配件，应由管材供应商配套供应。所用卡箍、螺栓等金属制品，其材质要求应符合国家现行有关标准的规定，并应作防腐、防锈处理。卡箍采用材料、防腐、除锈等要求宜与管材相同。哈夫节完全闭合时内径尺寸应与管道外径相同，允许误差控制在 $\pm 1.0\%$ ，宽度采用 800 mm，厚度与管道相同。

哈夫连接件组成如下图所示：其中 1 为卡箍，2 为弹性密封板，3 为管材。由于本项目管径较大，且在海上施工，建议采用二段式，二段式卡箍每个连接处采用 5 个螺栓紧固连接，螺栓、螺母采用优质碳素钢，螺栓采用 M20、8.8 级。

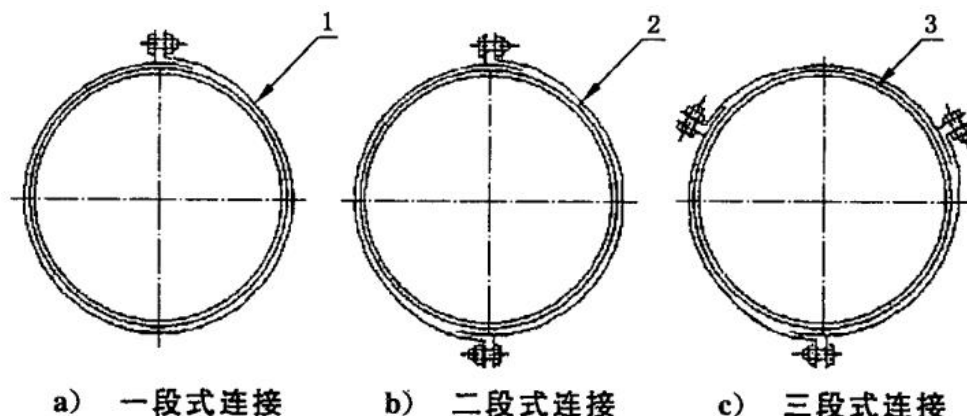


图 4.2-1 哈夫连接件组成示意图

弹性橡胶密封圈厚度不宜小于 6mm，主要物理性能见下表：

表 4.2-4 弹性橡胶密封圈的主要物理性能

序号	项目		指标	
			氯丁橡胶	三元乙丙橡胶
1	硬度(邵氏A, 度)		45 ± 5	55 ± 5
2	拉伸强度 (MPa) >		10.5	9.5
3	扯断伸长率 (%) >		350	330
4	热空气老化 (70℃ × 96h)	硬度变化值 (度) <	8	6
		扯伸强度 降低率 (%) <	20	15
		扯断伸长率 降低率 (%) <	30	30
5	压缩永久变形 (70℃ × 24h) (%) <		35	28
6	防霉等级		达到或优于2级	

注：1.以上指标均为成品切片测试的数据，若只能以胶料制成试样测试，则其伸长率、拉伸强度的性能数据应达到本规定的 120%。

2.试验方法应符合现行国家标准《高分子防水材料 第4部分 盾构法隧道管片用橡胶密封垫》GB/T 18173.4 的要求。

哈夫接头应由管材供应商配套供应，并根据要求进行深化设计，操作应符合下列规定：

- (1) 连接前应对待连接管材端口外壁进行清洁处理；
- (2) 待连接的两管端口应对正；
- (3) 应正确安装橡胶密封件；
- (4) 安装哈夫，并应紧固螺栓。



4.3 施工技术要求

4.3.1 测量放线

垫层施工前，应根据设计图纸坐标及甲方提供的基准点测量定位，同时在沉井周围，且在施工影响范围之外布置座标控制点和临时水准点，建立的控制点精度为 $\pm 1\text{mm}$ 。施工过程中控制点应加以保护，并应定期检查和复测。在沉井四周设置龙门桩，并用石灰粉划出。井中心轴线、基坑轮廓线，作为沉井制作和下沉定位的依据。

(1) 导线测量

导线应根据总平面图布设，所选点位应选择净空地带，并应考虑便于使用、安全和长期保存。

(2) 角度测设

角度观测采用全圆测回法进行，测回数及测量限差与方格网角度观测要求相同。

(3) 高程测量

本工程高程测量控制网采用三、四等水准测量方法建立。水准网的绝对高程应从业主提供的高级水准点引测并联系于网中一点，作为推算高程的依据。

(4) 标桩埋设

导线控制点和高程控制点均应远离沉井下陷区范围以外，保持安全距离，桩应深埋，并设置保护装置，定期检查和校核。

4.3.2 沉井砂垫层

沉井在制作前须先开挖基坑，铺筑砂垫层，以确保沉井在制作时的稳定。砂垫层厚度根据沉井制作的重量和地基承载力通过计算确定。施工前可根据现场实际情况调整支点数量、位置及砂垫层厚度。

(1) 基坑开挖



本工程沉井基坑开挖拟按 1:1 放坡, 砂垫层采取水密实的办法, 同设置排水沟及集水井, 以便抽排积水, 使砂垫层始终处于干燥密实态。

基坑开挖采用机械挖土和人工修整相结合, 挖土严格控制标高, 机械挖土采用反铲液压挖土机, 开挖至距坑底标高 20cm 左右时采用人工修坡、平底, 防止扰动基地土层, 坑底如遇淤泥或松软土质彻底清除并采用砂性土回填、整平夯实。施工时尽量减少基坑暴露时间, 挖出土方及时运走至指定的弃土区。

(2) 铺设砂垫层

砂垫层施工采用中粗砂、分段分层振实, 每回填 30cm 厚砂土振实一次, 用平板振捣器拖振, 振捣时要求重叠区域为 1/3, 并适当洒水, 使得砂层含水量达到 20% 左右, 密实度达到 92% 左右。现场砂垫层密实度可用钎探法普查, 即用长 196cm, $\Phi 16\text{mm}$ 圆钢, 在距砂面约 50cm 的垂直高度上自由下落, 钢钎头部沉入砂面层深度 $\leq 7\text{cm}$ 者为合格。

对底梁等底面高于砂垫层平面的, 采取两侧叠砂包, 中间填砂至梁(墙)底高程。

(3) 素混凝土垫层制作

素混凝土垫层宽度取井壁外 40cm, 砖胎模顶面宽 20cm, 素混凝土垫层厚 20cm, 垫层混凝土标号为 C25。根据有关规范要求立模、振捣、养护, 素混凝土地坪标高必须准确, 由测量找平、复测, 相对高差值不大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

4.3.3 沉井结构制作

(1) 脚手架施工

沉井制作首先需要搭设脚手架, 脚手架采用 $\Phi 48$ 钢管扣件结式结构, 外脚手架竖管须座落在井基础内的砂垫层之上, 竖管下端铺垫木板, 扩大在砂基础上的接触面积, 顶层底面走道板低于混凝土浇捣面约 0.5m, 并配有防护栏, 栏杆高度约 1m。脚手管间联接采用专用铸铁扣件, 螺丝扭力不小于 $5\text{Kg} \cdot \text{m}$ 。



为确保外脚手架整体稳定，在沿井壁 2m 左右长度内设置斜撑，脚手架上端用连杆与内脚手架牵牢，档距为 2 米。随着第二次沉井制作的加高，斜撑仍然需再设置，并对原有低层脚手架进行加固处理。

内脚手架搭设时将利用刃脚凸口增设钢平台，使内脚手架与地基脱离，防止浇注混凝土时因沉井沉降而破坏支架。脚手管水平层间距为 1.8 m~2.2m，剪刀撑密度为立杆的四分之一。脚手在转角处连接成整体，沉井外脚手与内脚手在最高处也连接成整体。内外脚手与井壁脱离，距离井壁约 30cm，外脚手用粗眼安全网封闭，内外脚手的作业层均铺竹笆。

(2) 模板施工

待砂垫层上素砼达到一定强度后，根据设计井位在素砼垫层上精确测放沉井平面位置，进行砖胎模施工，砌砖时应用低标号水泥砂浆，并确保刃脚斜面平整，用石灰和少量水泥拌和物粉刷砖砌胎模，砖砌胎模应预留沉井井壁模板拉杆螺丝的孔位。沉井制作采用大钢模与竹胶板模板组装而成，与扣件式脚手管配套使用，模板使用前需涂脱模剂两度。

第一次沉井制作的模板外侧支承在砼垫层上，内侧支承在砖胎模顶面，泵送混凝土产生的冲击力由斜撑及拉条螺栓承担。第二次和第三次沉井制作的模板自重均依靠老混凝土墙身上保留的 M16 拉条螺栓抗剪来支承上述荷载。钢模板所承受的施工荷载主要来源于振捣混凝土时产生荷载；新浇筑混凝土对模板侧面的压力；泵送混凝土具有较高的输送速度，浇筑时会对模板产生一定强度的冲击力。以上荷载对模板产生的应力，主要依靠设置在钢模板外侧的扣件式钢管组合成两根为一道梁肋，纵横交叉，在交叉点处布设 M16 拉条螺栓镶嵌“山”字头水平对拉，拉条螺栓间距为 0.6~1.2m，以此来抵御该荷载。拉条螺栓锚入混凝土中点处满焊 40×40×4 mm 钢板止水。

沉井支模先支井体内模，一次支到比施工缝略高 100mm 处，竖缝处用 90×90mm 方木支撑在内部脚手架上，外模亦一次支到施工缝略高 100mm 处，竖缝处用木方或脚手钢管杆和 $\Phi 16$ mm 拉条螺栓固定，间距 900mm。



在墙身交叉处阴阳角隅点有可能出现应力集中点，立模时加密连接点的数量，若有不足时，用电焊焊牢。特别是外墙阳角处的角隅连接一定要加强。刃脚与内框架交接处现配底模、加撑，并要求牢固可靠。若模板表面平整度较差，则模板间缝隙需括腻子，并且模板与已浇筑混凝土接触处垫 50mm 宽泡沫塑料带，防止漏浆。

浇筑混凝土之前对模板进行质量验收，检查时按图纸仔细核对控制尺寸和模板的垂直度和平整度，施工和设计布置的预埋件、预留孔安放位置需准确，固定可靠；对较大的孔洞底部增设助捣孔，便于捣实孔底混凝土。在混凝土施工缝面上可用木模设置凸榫、凸部高度取 10cm，宽度取 30~40cm。钢模板阴角接缝处用木条镶嵌过渡或采用密缝组合以防止漏浆。

一般在混凝土浇捣完成以后的第 7 天（视当时气温而定）后，放松沉井墙板的拉条螺栓，拆卸钢模板和扣件式钢管。操作顺序是自上而下，由内向外拆卸模板和扣件式钢管。注意拆除模板时，不用力敲打或将新浇筑的混凝土表面碰伤。模板拆除后及时在螺栓根部将混凝土表面凿半径 3cm、圆形深 3cm 的凹坑，然后割除拉条螺栓，用防水砂浆补坑，并涂防水材料两度。对于较大孔洞口悬空部分的混凝土底模按要求，当混凝土强度达到 100% 设计强度时，方可拆除。

拆除后的模板、钢管脚手、五金配件，及时清理、堆放整齐，对弯曲变形的模板及时处理。模板拆除后在井四角沿阳角边喷涂测量水准标志，在井上口中点处喷涂测量沉井位移标志。

（3）钢筋施工

沉井钢筋用吊车垂直吊装人工辅助就位，人工绑扎。竖筋一次绑好，水平筋分段绑扎，与前一节井壁连接处伸出的插筋采用搭接焊接连接方法，接头错开 1/4，以保证钢筋位置和保护层正确。

钢筋直径 $\leq \phi 25\text{mm}$ 时，采用绑扎接头：接头在受压区内按 50% 交叉点错开，在受拉区内接头按 25% 交叉点错开，错开距离不小于 35d 或 500mm。钢筋直径 $> \phi 25$ 者采用人工电弧焊：单边焊搭接长度 10d，双边焊搭接长度为 5d，电焊接头在受拉区按 50% 交叉点错开，即在同一断面



内接头不应超过 50%。钢筋焊接工艺和质量验收符合《钢筋焊接及验收规程》(JGJ18-96)的规定。内外钢筋之间要加设 $\Phi 14$ 钢筋隔铁。

用水泥砂浆垫块控制保护层，除特殊注明外，钢筋的混凝土保护层厚度均为 50mm。沉井内隔墙采取与井壁同时浇筑。现场绑扎外墙板钢筋先立好内模板后再进行，在沉井底板、洞口和后浇筑的区域留有插筋。

(施) 工缝按规范要求预留插筋，插入 40d，伸出长度不小于 42d，与底板钢筋的接头按规定错开。钢筋遇直径不大于 300mm 的孔洞时可绕过，遇直径大于 300mm 的孔洞时切断，同时配置加强钢筋。各板墙的拉筋在相邻层之间相互错开。

(4) 混凝土施工

砼浇筑时对称平衡进行，采用分层平铺法，分层厚度控制在 50cm 以内，振捣时防止漏振和过振现象，以确保砼的质量。每次浇筑砼前充分做好准备工作，及时测定砼坍落度，每次浇砼根据规范做好抗渗、抗压的试验工作。钢筋、模板及各类预埋件经隐蔽验收合格。砼开浇前全面检查准备工作情况并进行技术交底，明确各班组分工、分区情况，砼入仓前清除仓内各种垃圾并浇水湿润，合格后方可浇注砼。

施工中严格控制层差，杜绝冷缝出现，砼振捣时振捣器插入下层砼 10cm 左右，注意不漏振、过振，钢筋密集处加强振捣，分区分界交接处延伸振捣 1.5m 左右，确保砼外光内实，钢筋工、木工加强值班检查，发现问题及时处理，保证正常施工，交接班时交清情况后才能离岗。

混凝土输送泵沿沉井周围进行分布均匀浇灌，先浇灌沉井井壁部分，然后浇灌底梁和隔墙部分。沉井混凝土浇筑时对称、分层均匀施工，每层厚约 50cm，以免造成地基不均匀下沉或产生倾斜。

沉井每节混凝土一次连续浇灌完成，在前一节强度达到规定要求后，方可浇灌下一节。井壁及底板混凝土振捣密实，防止蜂窝麻面，混凝土浇筑后，及时养护。

为保证混凝土密切结合，在以下部位须对混凝土表面凿毛、按施工缝处理：与钢筋混凝土底板结合部位的榫口表面；施工缝结合处水平凸缝表



面及其它二次浇捣的混凝土结合面。施工缝处混凝土振捣密实，沉井分节施工缝浇成凸缝或预埋止水钢板，浇注第二次混凝土前清理施工缝，将表面松散浮离部分凿掉，并用压力水冲洗干净。

为确保混凝土浇筑顺利，施工时井上照明采用外井壁依靠高杆灯，暗区由脚手架上布设的碘钨灯补照，井内采用在内脚手架上布设碘钨灯照明。混凝土可采用自然养护，亦可根据现场实际情况，为加快拆模下沉，在混凝土中掺加早强剂，以适当减少养护时间。

4.3.4 沉井下沉

待沉井预制完成，第一节井壁混凝土强度达到 100%设计强度后，开始采用人工或机械挖土下沉，待沉井沉至地下水位附近后采用水力机械冲泥、吸泥机排出泥浆，同时向沉井中灌水，保证井内水位高于井外水位 1~2m，进行不排水下沉。沉井下沉使用的水力机械由水力冲泥机、水力吸泥机以及相应的高压供水管路和排泥管路组成。沉井的每个井孔(格)最好使用一套水力机械。水力机械在沉井内挖土时的操作方法，主要有几个要点。

(1) 取土顺序和泥浆平衡。

取土顺序为先中央后四周，并沿刃脚留土台，最后对称分层冲挖，不断冲空刃脚踏面下的土层。施工时，应使高压水枪冲入井底的泥浆量和渗入的水量与水力吸泥机吸出的泥浆量保持平衡。在使用高压水枪冲刷井内土层的作业中，应将各种土调制成为适宜的稠度，其泥浆密度的掌握指标为：砂土类为 1.08~1.18；粘性土为 1.09~1.20。

冲泥时,可先在水力吸泥机的吸泥龙头下方(一般均选在锅底中央),冲挖出一个直径约为 2.0~2.5m 的集泥坑.然后用水力冲泥机开拓各个方向通向集泥坑的水沟 2~4 条,沟的纵向坡度 3~5%。此后,即可向四周冲挖锅底,为了防止沉井突然下沉,引起很大的偏差,以及减少井外土的拢动、



坍塌等情况,可在沉井四周刃脚旁保留宽 0.5~1.0m 的土堤。待锅底开挖完毕后,再逐步均匀地冲挖土堤,第一步先冲除四角处的土堤,第二步再冲除四周土堤,最后冲除定位点处土堤,使沉井下沉。

对于多孔(格)沉井的施工,亦可参照上述顺序进行开挖,各井孔之间,在沉井偏斜不大时,应力争同时冲挖。如果沉井偏斜较大时,井孔之间的开挖情况应根据偏斜情况加以调整。

对于离集泥坑较远的井孔(格),当冲沉井四角和井壁处土堤时,泥浆从那里流到集泥坑有时是很困难的,为了不使集泥坑和集泥水沟之泥砂沉淀,经常用一个水力冲泥机反复冲刷和搅动。一方面用它将沉井最远处的泥砂冲至集泥坑;另一方面还可以把集泥坑冲深,搅动泥浆,并清除堵塞在吸泥龙头网罩上的杂物。

利用上述方法能够提高水力吸泥机的排泥量,尤其是在沉井的下沉初期,泥浆中常混杂着建筑垃圾、石块、碎木块等,采用上述措施亦属必要。水力吸泥机的吸泥龙头的网罩应低于泥浆面约 5~10cm,这样可吸入较多的泥浆。

当吸泥龙头的网罩或吸泥管内被杂物堵塞时,亦可用反冲法来清除吸泥管或吸泥龙头的堵塞物。其方法是关闭水力吸泥机的进水阀门,这时排泥管内的水体便倒流入井内,把吸泥龙头及吸泥管中的杂物冲出来,有时上述的方法尚需重复数次,始能将堵塞物清除干净。

4.3.5 沉井封底

沉井下沉至距离设计标高 0.5m 时,停止吸泥、取土,靠其自重下沉至设计标高或者接近设计标高,经 2~3 天观测下沉稳定,或经观测在 8h 内累计下沉量不大于 10mm;即可进行沉井水下混凝土封底,封底混凝土采用水下不分散混凝土,强度等级为 C25,水泥用量宜大于 280kg/m³ 且小



于 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，砂率为 45~50%，宜采用中、粗砂，水胶比不宜大于 0.50，骨料粒径以 5~40mm 为宜。

本工程采用不排水封底，井内水位不应低于井外的地下水位，潜水员应潜入井内水下，使用高压水枪按设计要求将井底面整理成锅底形，并将井底浮泥清除干净，新老混凝土接触面应用水冲刷干净（沉井下沉前，已经对封底及底板接缝部位进行凿毛处理），并铺碎石垫层，若沉井锅底较深，为了减少混凝土的用量，可以抛入块石，再在上面铺碎石垫层。封底混凝土采用垂直导管法浇筑，导管直径以 25~30cm 为宜。在浇筑施工时，最好由潜水员进行找平，新老混凝土接触面进行捣实，从浇筑完最后一格混凝土至井内开始抽水的时间，决定于水下混凝土的强度，为缩短工期，当混凝土强度达到 70%后，经验算方可开始抽水。抽水时，会产生渗流现象，或者上浮力较大情况，应由潜水员在水下设置好引导渗漏的导管。在沉井抽水后，应将水下混凝土表面疏松层凿去，方可浇筑钢筋混凝土底板。

封底混凝土的施工顺序为：施工准备→安放球塞→储料→开始浇筑→提升导管→浇筑工作结束→水下测量。

4.3.6 顶管

顶管出洞是顶管施工成功的第一步，本顶管出洞采取旋喷桩加固、砖墙、止水结构等安全保险措施，确保顶管成功出洞。在施工中，要按照顺序做好每步工作，缩短出洞时间。

正常顶进过程中，要控制好顶力，出土速度要与顶进速度达到一个平衡，出土的空间正好是顶进的空间，这样地面才不会沉降与隆起。同时要控制好管道，要勤纠偏少纠偏，钢管刚性连接，纠偏量不大，纠偏量过大，会产生应力致使管节焊缝破裂，产生事故。

顶管终点段内若覆盖土层较薄，小于顶管要求安全覆盖厚度，为保证



安全，防止管道上浮及控制顶管方向，可用袋装砂土进行覆盖加厚，但因涉及海洋环境应在覆盖前征得其他参建单位的同意。

4.4 质量检测

混凝土施工及质量控制按《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202-2011）有关要求执行。顶管质量检验按《顶管技术规程》DBJ/T 15-106-2015 第 11 节执行。

4.5 安全措施

严格执行国家颁布的有关安全生产制度和安全技术操作规程。认真进行安全技术教育和安全技术交底。施工过程中，对安全防范的关键部位进行重点检查，及时排除不安全因素和事故隐患。

做好地质详勘工作，查清沉井范围内的地质、水位情况，对存在的不良地质条件采取针对性的技术措施，防止沉井在下沉过程中发生不正常情况，以确保施工的安全。

落实沉井垫架拆除和土方开挖的安全防护措施，控制均匀挖土和刃脚处破土速度，防止沉井发生突然下沉和严重倾斜而导致人身伤亡事故。

做好沉井期间的排水与降水工作，并设置可靠电源，以保证沉井挖土过程中不出现大量涌水、涌泥或流砂现象，避免造成淹井事故。

沉井口周围须设置安全防护栏杆，并有防止坠物的措施。井下作业应戴安全帽，穿胶鞋。下井应设安全爬梯，并应有可靠的应急措施。

认真遵守用电安全操作规程，防止超负荷作业。电动工具、潜水泵等应装设漏电保护器。夜班作业时，沉井内外应有足够的照明。井内应采用 36V 低压电。

输电线路应架设在安全地点，并有可靠的绝缘装置。井下作业人员应



具有良好的安全防范意识，因为水有导电性，电流有可能通过水柱传导至人体而造成触电事故。

沉井内的作业人员应先经过医生的体格检查，凡患有心脏病、肺结核等疾病者均不得下井施工。



第 5 章 施工监测

5.1 一般规定

顶管施工过程中应进行监测。监测方案应包含监测对象、监测项目、测点布置、监测频率、报警值及应急监测要求等。

监测点应稳固、明显、结构合理，监测点的位置应避开障碍物，便于观测。监测点应避开管材堆载、余泥堆放和吊机等重大设备作业的区域，并加强对监测点的保护，必要时应设置监测点的保护装置或保护设施。

顶管监测宜由建设单位委托具有监测资质的单位执行。

5.2 监测项目

工作井（沉井）施工期间的监测应按《建筑基坑工程技术规程》DBJ/T 15-20 执行，应符合下表规定。

表 5.2-1 工作井（沉井）监测项目

序号	现场监测项目
1	支护结构（边坡）顶部水平位移
2	支护结构（边坡）顶部沉降
3	周边地表的沉降
4	地下水位
5	渗漏水状况

顶进施工期间，管道外边线两侧 2 倍埋深范围内仪器监测项目有：周围地下管线位移（如有）、管道应力、管道内气体及工作井后靠背变形。



5.3 测点布置

工作井（沉井）施工期间，监测点宜设置在基坑边坡坡顶上，每边监测点数目不应少于 1 个，按每边 3 个均匀布置。工作井及其周边环境、顶进管道上方地面发生明显变形时，监测点应适当加密。

地下管线的监测点应直线布设在管线上。长距离钢管顶管宜进行应力监测，从顶管机尾部 1 倍管径处起每 30 ~50m 设一个应力监测断面，每个断面至少布 4 个测点。

其他未注明的要求需按《顶管技术规程》DBJ/T 15-106-2015 执行。

5.4 监测频率和报警值

按《顶管技术规程》DBJ/T 15-106-2015 第 10.4 节执行。顶管机距监测点 5 倍管道直径后开始监测，离开监测点 5 倍管道直径后降低监测频率直至稳定，具体监测频率宜符合下表的规定。

表 5.4-1 顶管工程周边环境监测报警值和监测频率

序号	项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	监测频率
1	管线位移	25	4	1 次/d
2	地面沉降	30	5	1 次/d
3	后靠背变形	30	—	1 次/d
4	钢管应力	钢材强度	—	1 次/节
5	管内气体	—	—	人员进入前

注：1.根据目前已有测图，顶管管道线路周边未见建构筑物，顶进施工前需进一步对现场情况进行调查。

2.当有危险事故征兆时，应实时跟踪监测。



第 6 章 重点部位和环节

6.1 重点部位和环节

本工程重点部位和环节有顶管、基坑、模板、脚手架、水下作业等内容，需严格按照住房和城乡建设部第 37 号令《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》执行。

6.2 项目实施风险识别表

表 6.2-1 项目实施风险识别表

序号	识别风险名称	风险描述	对策措施
1	沉井突沉	沉井重量大、下沉遇软弱土层等情况下，易发生突沉	1.严格按照下沉挖土顺序，禁止同时同步大面积开挖刃脚或底梁部分土体；2.挖土过程中预判土层，并与地质资料对比分析，如遇局部软弱土层，提前进行注浆等加固措施。
2	沉井倾斜	当下沉过程中遇障碍物、挖土不均匀时，易发生倾斜现象	控制均匀挖土，小偏小纠
3	下沉过程中涌砂	下沉过程中涌砂	控制井内水位高于地下水位 1-2m
4	顶管偏移	顶管未能保持设计轴线前进，发生上下或左右偏移。	1.控制顶力，保持平稳增加；2.控制泥水平衡压力，防止压力过大或过小；3.调整千斤顶伸缩量的方法，加大对管道的测量频率，每节管测量一次，在纠偏时应适当加密测量次数，勤测量，多微调，使得轴线偏差值不断减少至与设计轴线相符；4.在工具管机头内采用压重纠扭的方法来纠偏管道偏差，在管道单边进行压重，使得管道朝一边扭转，直至恢复到设计轴线上。
5	顶力过大	在顶进过程中，顶力突然加大情况：1.管道周围地质情况突然变化，使阻力增大；2.减阻介质膨润泥浆配比突然变化或注浆管堵塞，减阻效果下降，使摩擦阻力骤然加大；3.管道弯曲变形，进而	1.做好护壁，随时用探头监测机头前障碍物情况，遇见大体积块石情况要先清障；2.根据不同地质条件严格控制膨润泥浆配比，并采取同步、及时、足量地注入泥浆；3.顶管顶进过程中，必须密切检测顶进轴线和高程，及时纠偏，使管道轴线被控制在合理范围以



		摩擦阻力增大；4.顶进设备油泵、油缸、油路或压力表等出现故障；5.顶进施工中因各种原因停顿时间过长，润滑泥浆失水失去减阻效果。	内；4.顶进施工前应派专人对顶进设备进行调试、保养、维修、检修完成后集中验收；5.顶进停止时间间隔不能过久，发生故障应及时快速排除。
6	土体平衡技术控制	1.泥水平衡压力过大时，地表隆起，泥浆流失，造成顶管偏移及污染海洋环境；2.泥水平衡压力过小时，机头易漏水漏砂，存在事故风险。	在水泥平衡顶管施工过程中，施工人员还应针对掘进设备前进方向及上方土层平衡状态的合理保持，避免因掘进施工破坏土层平衡而造成地面塌陷问题。要求施工人员能够对顶管层面的土层压力与地下水压力等进行准确计算，并以此为依据来对掘进设备前仓需要承载的土层压力与进水压力进行设置。与此同时，施工人员在作业过程中还应同时对地面情况与进水压力、出泥流量以及顶进速度等进行严格的监督与控制，确保顶进施工作业进度的合理性，避免对地面造成不良影响，最大限度的保证地面不受顶进施工的影响。
7	地质情况变化	实际地层与钻孔反映情况出现偏差	宜在施工前摸清沉井及顶管位置地质情况，如出现土层偏差或沉船、孤石等情况，应提出绕开或清障等相应的解决方案。

注：表中为沉井及顶管主要实施风险，未注明情况需按现场实际及相关要求进行，施工单位施工组织计划应进行风险识别并提出详细的风险处理预案。

6.3 其他

(1) 施工前需做好线路排障，尽量排除顶管线路中孤石等不确定性因素。

(2) 根据现有地勘资料，顶管覆土均满足 1.5 倍管外径或 4m 的要求，顶管施工前需摸查线路以确保覆土要求，如现场条件发生变化，覆土厚度不满足要求时，需通知各参建单位会同处理。

