T/CECS XXX—2025

中国工程建设标准化协会标准

# 装配式机械法沉井工程技术标准

Technical standard for open caisson engineering using prefabricated mechanical method

（征求意见稿）

广州市市政集团有限公司

中国 XX 出版社

**中国工程建设标准化协会标准**

# 装配式机械法沉井工程技术标准

Technical standard for open caisson engineering using prefabricated mechanical method

**T/CECS XXX-202X**

主编单位：广 州 市 市 政 集 团 有 限 公 司

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

批准部门：中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会

施行日期：２０２Ｘ 年 ＸＸ 月 Ｘ 日

广州市市政集团有限公司

中国 **XX** 出版社

202X 北 京

# 前　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发《2023 年第二批协会标准制订、修订计划》的通知》(建标协字[2023]30 号)的要求进行编制，编制组经过深入调查研究，认真总结工程实践经验，与国内标准协调，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 11 章和 3 个附录，主要技术内容包括总则、术语与符号、基本规定、工程调查与勘察、工程设计、构件制作、机械设备、施工、监测、工程验收、安全与环境保护。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会贮藏构筑物专业委员会归口管理，由广州市市政集团有限公司负责具体技术内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请反馈至广州市市政集团有限公司（地址：广州市越秀区环市东路 338 号银政大厦 7 楼，邮政编码：510060）。

**主编单位：** 广州市市政集团有限公司

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

**参编单位：** 中铁山河工程装备股份有限公司

中国铁建重工集团股份有限公司

中铁工程装备集团有限公司

东南大学

同济大学

广州市第三市政工程有限公司

杭州未来之城地下空间规划设计研究院有限公司

广州市恒嘉建设有限公司

广州市市政公路协会

**主要起草人：** XXX　X　X　X　X

**主要审查人：** XXX　X　X　X　X

广州市市政集团有限公司

# 目　　次

**1　总则 ..... 1**

**2　术语与符号 ..... 2**

2.1　术语 ..... 2

2.2　符号 ..... 3

**3　基本规定 ..... 6**

**4　工程调查与勘察 ..... 7**

4.1　一般规定 ..... 7

4.2　工程调查 ..... 8

4.3　工程勘察 ..... 10

**5　工程设计 ..... 14**

5.1　一般规定 ..... 14

5.2　材料与耐久性 ..... 16

5.3　作用及组合 ..... 19

5.4　方案设计 ..... 24

5.5　稳定性计算 ..... 35

5.6　井体结构设计 ..... 44

5.7　封底设计 ..... 64

5.8　防水设计 ..... 65

5.9　辅助设计 ..... 68

**6　构件制作 ..... 79**

6.1　一般规定 ..... 79

6.2　构件生产 ..... 79

6.3　质量控制与检验 ..... 83

6.4　贮存及运输 ..... 86

**7　机械设备 ..... 87**

7.1 一般规定 ..... 87

7.2　设备技术要求 ..... 87

7.3　设备检验 ..... 92

7.4　设备标志、包装和运输 ..... 93

广州市市政集团有限公司

**8 施工 ..... 94**
8.1 一般规定 ..... 94
8.2 施工准备 ..... 94
8.3 设备安装 ..... 96
8.4 掘进作业 ..... 98
8.5 管片拼装 ..... 98
8.6 井环下沉 ..... 99
8.7 设备维护 ..... 101
8.8 设备回收 ..... 102
8.9 质量控制与检验 ..... 103
**9 监测 ..... 105**
9.1 一般规定 ..... 105
9.2 主体结构监测 ..... 107
9.3 设备系统监测 ..... 108
9.4 周边环境监测 ..... 109
9.5 成果资料 ..... 110
**10 工程验收 ..... 112**
**11 安全与环境保护 ..... 114**
11.1 一般规定 ..... 114
11.2 施工安全 ..... 115
11.3 环境保护 ..... 116
**附录 A 荷载与作用 ..... 117**
**附录 B 圆形沉井底板在均布荷载作用下的弯矩计算 ..... 130**
**附录 C 沉井施工记录表 ..... 132**
**本规程用词说明 ..... 138**
**引用标准名录 ..... 139**
**条文说明 ..... 141**

广州市市政集团有限公司

# Contents


**1 General provisions ..... 1**

**2 Terms and symbols ..... 2**

2.1 Terms ..... 2

2.2 Symbols ..... 3

**3 Basic requirements ..... 6**

**4 Investigation and Survey ..... 7**

4.1 General requirements ..... 8

4.2 Investigation ..... 8

4.3 Survey ..... 10

**5 Engineering design ..... 14**

5.1 General requirements ..... 14

5.2 Materials and duralability ..... 16

5.3 Actions and combinations ..... 19

5.4 Category selection ..... 24

5.5 Stability calculation ..... 35

5.6 Structural design of open caisson ..... 44

5.7 Auxliary structual design ..... 64

5.8 Design of water proof and grouting ..... 65

**6 Component fabrication ..... 68**

6.1 General requirements ..... 79

6.2 Component production ..... 79

6.3 Quality acceptance ..... 79

6.4 Storage and transportation ..... 83

**7 Mechanical equipments ..... 86**

7.1 General requirements ..... 87

7.2 Tecnical requirements ..... 87

7.3 Equipment inspection ..... 92

7.4 Marking, packaging and transportation of equipment ..... 93

**8 Construction ..... 94**

8.1 General requirements ..... 94

8.2 Construction preparation ..... 94

8.3 Equipment installation ..... 96


广州市市政集团有限公司

8.4 Excavation....98
8.5 Segment assembly....98
8.6 Segment ring sinking....99
8.7 Equipment mantainance....101
8.8 Equipment retrieval....102
8.9 Quality control and inspection....103
**9 Monitoring....105**
9.1 General requirements....105
9.2 Structure monitoring....107
9.3 Equipment monitoring....108
9.4 Environment monitoring....109
9.5 Documentation....110
**10 Project acceptance....112**
**11 Safety and environment protection....114**
11.1 General requirements....114
11.2 Safety in use and maintenance....115
11.3 Environment protection....116
**Appendix A Loads and actions....117**
**Appendix B Bending moment calculation of circular base slab under uniform load....130**
**Construction record sheet....132**
**Explanation of wording in this standard....138**
**List of quoted standards....139**
**Addition: Explanation of provisions....141**

广州市政集团有限公司

# 1 总则

**1.0.1** 为规范装配式机械法沉井的技术应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、保障质量、保护环境，制定本规程。

条文说明：装配式机械法沉井在全球的应用逐渐广泛，在我国各地特别是长三角地区已经有较多成功案例，其设备和工艺也在持续更新与发展中。根据设备和工艺类型，目前主要包括竖井掘进机法 VSM（Vertical Shaft Sinking Machine）、自动化沉井设备法 SOCS（Super Open Caisson System）和主动控制型装配式沉井法 ACPP（Active Control Precast Press-in Shaft）等。装配式机械法沉井在沉降控制方面具有显著优势，通常采用主动控制下沉技术，结合机械化助沉与水下精细开挖，并使用侧壁减阻泥浆套，能够主动控制下沉速度与深度，实现高精度、微扰动下沉。这种主动控制下沉方式有效避免了传统沉井施工中常见的突沉和超沉问题，提高了下沉的稳定性和精度。此外，预制的井体结构，确保了井身质量的均一性和可靠性。在环境影响方面，装配式机械法沉井同样表现出明显的优势。传统沉井施工通常需要大面积的施工场地，且施工过程中可能对周边环境产生不利影响。相比之下，装配式机械法沉井采用预制装配式施工，减少了现场钢筋加工、混凝土搅拌等环节，降低了施工场地需求，减少了对周边环境的扰动。同时，机械化、自动化程度的提高，使施工过程更加可控，减少了噪音和粉尘污染，有利于保护周边环境。然而，对于装配式机械法沉井工程的设计、机械设备和施工等方面，并未形成统一的技术要求，亟需制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于装配式机械法沉井工程的勘察、设计、施工和验收。

条文说明：装配式机械法沉井适用于建设空间受限、周边环境复杂、以及对地下水控制要求高的条件下进行深大竖井施工。装配式机械法沉井可用于大型桥梁基础、隧道工作井、矿山竖井、水工构筑物、海工构筑物、地下储能库、市政给排水构筑物、地下停车库、地下粮仓、地下油（气）库、救援井、导弹发射井等场景。其掘进设备主要包括自动化下沉掘进设备，掘进过程采用抓斗式、铣挖式或刀盘式设备，且整个下沉过程主要为不排水挖掘，如地下水含量少亦可采取排水开挖下沉。井壁结构采用装配式管片形式。综合考虑适用性和经济性，设计深度超过 25 米的沉井更适合使用装配式机械施工方法。

**1.0.3** 装配式机械法沉井工程除应符合本标准中的有关规定外，尚应符合国家现行有关标准和中国工程建设标准化协会现行有关标准的规定。

# 2 术语与符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 沉井 open caisson

地面上制作，通过取土下沉至地下预定高程的井筒结构。

**2.1.2** 装配式机械法沉井 caisson constructed by prefabricated mechanical method

井壁整体采用预制管片拼装，并采用机械化掘进至预定深度形成的沉井，可分为压入式、悬吊式、压吊复合式沉井。

**2.1.3** 压入式沉井 jacked caisson

自重下沉为主，通过压载或地锚反力装置压重，将井体沉至地下预定深度的沉井。

**2.1.4** 悬吊式沉井 suspended caisson

自重下沉为主，利用悬吊系统（如钢索、临时支撑架）调整悬吊力，控制下沉的沉井。

**2.1.5** 压吊复合式沉井 jacked-suspended combination caisson

结合压入和悬吊两种工法，利用井体自重、外加压入力与悬吊力共同作用，实现井体下沉至预定深度的沉井。

**2.1.6** 竖井掘进机 vertical shaft sinking machine(VSM)

以铣挖头切削土体或岩体，利用铣挖臂的摆动、旋转可以实现沉井开挖面土体或岩体切削的机械设备。

**2.1.7** 机械掘进悬吊拼装式沉井工法 suspended segmental shaft automatic mechanical method

基于竖井掘进机进行自动化开挖，以悬吊式控制下沉为主的装配式沉井施工方法，简称 SAM 工法。

**2.1.8** 自动化沉井工法 super open caisson system

由挖掘取土系统、下沉管理系统和主体结构组成，以压入式下沉为主，并采用自动化水下挖掘机挖掘刃脚处土体，电动液压抓斗对中央处土体进行取土的沉井施工工法，简称 SOCS 工法。

**2.1.9** 主动控制型装配式机械化沉井工法 active control precast press-in shaft

基于预制装配式井壁与智能控制系统，以压吊复合式下沉为主，通过液压推进、机器人取土、泥浆减摩等主动调控下沉过程竖井建造工法，简称 ACPP 工法。

广州市市政集团有限公司

**2.1.10** 预制衬砌管片 prefabricated segment

工厂预制，施工现场拼装，构成沉井井壁的基本单元。

**2.1.11** 刃脚 cutting edge

井壁最下端支承沉井的重量、切土下沉和挡土的刃状结构。

**2.1.12** 环梁 ring foundation

建造在沉井外围用于承担机械荷载及施工过程中的各种作用的钢筋混凝土结构或钢结构。

**2.1.13** 底梁 bottom beam

设在沉井内底部起到加固沉井底部和承受上部荷载的作用，提高底部结构整体稳定性和强度的支撑结构。

**2.1.14** 壁后减阻注浆 back-fill bentonite for resistance reduction

在井壁与地层之间空隙注入膨润土浆液，减少井壁摩阻力的措施。

**2.1.15** 壁后置换压浆 back-fill grouting replacement

采用专用浆液替换井壁与地层之间膨润土浆液的措施。

**2.1.16** 椭圆度 ovality

圆形沉井管片衬砌拼装成环后井体最大与最小直径的差值。

**2.1.17** 井环 segment ring

由预制装配式管片通过螺栓或榫卯连接拼装而成的环形井壁单元。

## 2.2 符号

**2.2.1** 作用、作用效应和抗力

$A_d$ ——偶然作用的设计值；

$A_{EK}$ ——水准地震作用标准值；

$c_g$ ——水泥加固土的粘聚力；

$E_a$ ——沉井外主动土压力合力标准值；

$E_{ep,k}$ ——沉井前方主动土压力合力标准值；

$E_J$ ——沉井外静止土压力合力标准值；

$E_p$ ——沉井外被动土压力合力标准值

$E_{pk}$ ——沉井后背墙后被动土压力合力标准值；

广州市市政集团有限公司

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值；

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_{ki}$ ——第 $i$ 层单位摩阻力标准值；

**2.2.2** 几何参数

$A_0$ ——每根垫木与砂垫层的接触面积；

$A_1$ ——刃脚踏面与垫木的接触面积。

$A_2$ ——垫木横截面面积；

$A_c'$ ——混凝土受压区的截面面积；

$A_f$ ——沉井受水流阻力的面积；

$A_w$ ——沉井露出水面部分迎风面的面积；

$b$ ——计算宽度；

$b_1$ ——刃脚两侧的安全宽度及施工需要的宽度；

$b_c$ ——刃脚踏面宽度；

$B$ ——矩形沉井的外轮廓宽度；

$B_g$ ——反力墙后背土体加固宽度；

$B_j$ ——反力墙宽度；

**2.2.3** 设计系数

$k$ ——挡水形状系数；

$k_c$ ——接高稳定性系数；

$k_f$ ——抗流土、管涌稳定性安全系数；

$k_{fw}$ ——沉井抗浮稳定系数；

$k_h$ ——抗突涌稳定性安全系数；

$k_j$ ——反力墙后背土体允许顶力计算系数；

$k_{ov}$ ——沉井抗倾覆系数；

$k_s$ ——沉井抗滑移系数；

$k_{st}$ ——下沉系数；

$\gamma_d$ ——素混凝土垫层的结构系数；

$\gamma_m$ ——截面抵抗矩的塑性系数；

广州市市政集团有限公司

$\gamma_0$ ——结构重要性系数；

$\gamma_{Gi}$ ——第 $i$ 个永久荷载的分项系数；

$\gamma_{Qj}$ ——第 $j$ 个可变荷载的分项系数；

$\gamma_P$ ——预应力作用的分项系数；

$\gamma_{Lj}$ ——第 $j$ 个考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；

$\gamma_I$ ——地震作用的重要性系数；

$\gamma_p$ ——顶管顶力分项系数；

$\eta$ ——被动土压力利用系数。

$\lambda$ ——折减系数；

$\mu$ ——气囊滚动摩擦系数；

$\mu_s$ ——风荷载体型系数；

$\mu_z$ ——风压高度变化系数；

$\xi$ ——顶管力与土压力合力作用点不一致时折减系数；

$\varphi_{cj}$ ——可变荷载的组合值系数。

$\phi'$ ——素混凝土垫层的稳定系数；

$\psi_{f1}$ ——第 1 个可变作用的频遇值系数；

$\psi_{q1}$ ——第 1 个可变作用的准永久值系数；

$\psi_{qj}$ ——第 $j$ 个可变作用的准永久值系数。

广州市市政集团有限公司

# 3　基本规定

**3.0.1**　装配式机械法沉井在工程设计前，应按基本建设程序进行工程勘察。

**3.0.2**　工程勘察宜结合主体工程布置及特点开展地质调绘、物探、钻探、测试、试验等勘察工作。

**3.0.3**　装配式机械法沉井工程总体布置应满足沉井的正常使用功能、施工工艺、运营管理与维护、防灾救援等要求。

**3.0.4**　装配式机械法沉井设计时，应根据地质和环境条件进行设备选型。

**3.0.5**　仪器和机械设备的选用应符合工程地质、水文地质和环境条件，并应满足线路条件、沉井结构设计和环境保护的要求，并应对所用的仪器、机械设备定期进行校验。

**3.0.6**　施工单位应具备相关资质，施工人员具有专业经验或应经过专业培训合格。施工项目质量控制应有相应的施工技术标准、质量管理体系、质量控制和检验制度。

**3.0.7**　装配式机械法沉井施工应编制相适应的技术方案或施工组织设计，并经审查批准。

条文说明：装配式机械法沉井施工为较新工艺，开挖深度通常超过常规基坑开挖深度，且机械化施工程度高，通常需编制专项施工方案并通过专家评审。

**3.0.8**　装配式机械法沉井工程建设宜建立数字化管理平台，提升工程设计、施工、监测和验收的管理水平。

广州市市政集团有限公司

# 4　工程调查与勘察

## 4.1　一般规定

**4.1.1**　装配式机械法沉井设计前应对沉井施工影响范围内的土地使用情况、水利设施、建(构)筑物、地下管线情况等进行调查，应符合下列规定：

**1**　应调查沉井周边不小于 2 倍开挖深度范围内建(构)筑物及设施的状况；

**2**　附近有轨道交通设施、隧道、防汛墙等重要建(构)筑物及设施时，应扩大调查范围。

条文说明：本条参考《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 关于基坑工程勘察宜在开挖深度 1-2 倍范围内布置勘探点的要求，国内关于装配式沉井下沉后地表沉降现状（翟之阳，聂东清，张毅，等.下沉式竖井掘进工法在软土地区的应用研究[J].地基处理，2024，6(02):201-207.、张振光，徐杰，汪盛，等.富水地层超深装配式竖井水下机械法掘进施工技术——以南京某沉井式停车设施建设项目为例[J].隧道建设(中英文)，2022，42(03):492-500.）表明，井后地表沉井的主要影响区域为 2 倍竖井下沉深度。因此本条规定，一般情况下环境调查的范围不小于 2 倍开挖深度。

**4.1.2**　装配式机械法沉井工程的勘察应满足沉井设计要求。场地和岩土条件特别复杂的大型沉井，以及直径或边长大于 10m、下沉深度超过 30m 的大型沉井，宜进行专项勘察。勘察成果应提供沉井设计和施工所需的工程地质和水文地质信息以及相关岩土参数和水文参数，并应在勘察报告中对沉井设计和施工给出评价和建议。

条文说明：本条主要参考《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011、《沉井技术规程》（广州市市政集团有限公司主编），当沉井作为某项主体工程的附属部分时，可与主体工程合并勘察。对于一些场地和岩土条件特别复杂的大型沉井，如位于富水砂层及地下岩溶强发育场地的大型沉井，以及直径或边长大于 10m、下沉深度超过 30m 的特大型沉井，施工难度大、风险高，对工程建设的成败和成本具有决定性作用，则需要采用多种勘察手段，开展专门性沉井工程地质勘察，确保建设的顺利、安全、可靠。

**4.1.3**　装配式沉井工程的岩土工程勘察应查明下列主要岩土条件：

**1**　查明沉井范围内地层的结构、成因、年代、各岩土层的物理力学性质，并对土层的均匀性和变形特性做出评价；水域沉井应查明河床表面平整度；

**2**　查明高灵敏度软土层、松散砂土层、高含水量的黏性土层、含承压水砂层、软硬不均地层的其分布范围、发展趋势、危害程度提出治理方案建议；并应分析评价其对

装配式沉井设计、施工的影响；

**3** 查明地下水类型、埋藏条件、补给及排泄条件、腐蚀性初见及稳定水位，提供季节变化幅度和各主要地层的渗透系数；

**4** 提出各岩土层的地基承载力特征值的建议值；

**5** 对场地的稳定性和地震效应进行评价；判定场地类别，评价场地地震液化特性；

**6** 可能阻碍沉井下沉的地下溶洞、土洞的分布、埋深和发育程度；

**7** 基岩地区应查明岩土分界面位置、岩石坚硬和风化程度、构造破碎带、岩面分布与特征，岩石质量指标(RQD 值、设计值、最大值)、饱和抗压强度、矿物成分、耐磨矿物成分及含量，并应评价其对沉井施工的影响。

条文说明：本条文参考《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438，位于基岩地区的沉井结构，沉井施工受岩土分界面位置、岩石坚硬和风化程度、构造破碎带、岩面分布的影响较大，地质勘察时需要重点查明，沉井设计时也要采取相应的工程措施。沉井选址设计时尽量避免以上地层，以利于下沉垂直轴线控制和正常掘进。查明水文地质条件是沉井工程勘察的重要方面，对保障工程的安全性具有重要作用。对于水文地质条件复杂的场地和存在泉水等地下水景观等情形，宜布置水文勘察孔和长期水文观测孔，分析潜水、承压水位的动态变化规律。

本标准列入的不良地质有活动断裂、地裂缝、岩溶、地面沉降区、有害气体和采空区，特殊地质有孤石和球形风化体。这些均为沉井工程建设中可能遇到的地质现象，在工程方案设计阶段，要根据地质调查和初步勘察资料，尽量规避并远离这些不良地质和特殊地质;当确实无法规避或远离时，要在详勘阶段针对性地开展不良地质和特殊地质专项勘察并提出地质评价和处理建议，为工程设计和施工提供基础资料。

活动断裂、岩溶、地面沉降区、采空区、孤石和球形风化体专项勘察按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 执行。

## 4.2 工程调查

**4.2.1** 陆域沉井工程调查应包括下列内容：

**1** 地上建(构)筑物应调查建筑层数、高度、结构形式、基础形式、基础埋深(标高)。对采用复合地基桩基的建(构)筑物，应包括地基基础的结构参数、施工工艺；

**2** 地下建(构)筑物及人防工程应调查工程的平面布置、外轮廓尺寸、顶板和底板

标高、施工方法、结构形式、变形缝设置、围护结构和抗浮措施。人防工程应调查防护等级、出入口位置；

**3** 路基结构应调查轨道交通或道路等级、路面材料、路面宽度、路堤高度、支挡结构形式及地基与基础结构，道路运行车辆载重情况；

**4** 桥梁结构应调查桥梁类型、结构布置、桥长、桥宽、跨度、墩柱基础形式、桩基或地基加固设计参数、运营年限；

**5** 市政地下管线应调查管线的类型、平面位置、理深(高程)、断面尺寸、敷设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、工作井及阀门位置、运营年限；

**6** 地下障碍物调查应包括影响沉井施工的地下空洞、古井、降水井、取水井、古墓葬、遗留桩基、锚杆(锚索)、抛石、沉船等。

条文说明：本条第 3 款参考《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438、《沉井技术规程》（广州市市政集团有限公司主编），其中的轨道交通包括城市轨道交通、铁路；道路包括城市道路和公路。第 6 款本条参考《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438、《沉井技术规程》（广州市市政集团有限公司主编），地下空洞调查也包括市政道路塌陷、管沟沉陷变形等的修复历史情况及成因等内容。

**4.2.2** 水域沉井工程调查应包括下列内容：

**1** 气象、水文、地质、水下地形和地貌等自然条件；

**2** 邻近建(构)筑物、堤防、水下管线和水下障碍物、施工水域与避风地锚等周边施工环境；

**3** 施工场地道路供水供电、可利用的预制场、船机设备、劳动功能、地材供应等周边施工配套资源；

**4** 调遣与构件运输条件。

条文说明：本条参考《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016、《沉井技术规程》（广州市市政集团有限公司主编），在水域环境施工沉井时，通常根据工程特点进行现场调查，相关的调查资料能符合工程的需要。水域沉井施工涉及沉井、结构、港工、疏浚、航道航运、机械、测量等多个专业领域，系统性强，需要全面掌握气象、水文地质、航道、通航等资料，深刻理解影响施工的各种制约因素，制定技术可靠、施工安全、经济合理、环境友好的施工方案。

广州市市政集团有限公司

## 4.3 工程勘察

**4.3.1** 装配式机械法沉井工程勘察应按不同设计阶段的技术要求开展相应工作。

**4.3.2** 装配式机械法沉井工程勘察应为下列工作提供相应勘察资料和参数：

**1** 装配式沉井稳定性验算；

**2** 沉井结构设计；

**3** 装配式沉井设备选型、设计制造和刀鼓设计；

**4** 装配式井壁及井壁背后注浆设计；

**5** 沉井附属结构及地层加固设计；

**6** 工程风险评估、工程周边环境保护及工程监测设计。

条文说明：本条参考《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T51130-2016、《盾构隧道工程设计标准》（GBT51438-2021），工程地质和水文地质条件与装配式沉井工程的各个方面息息相关，包括：装配式沉井位置的选定、掘进设备选型、下沉施工参数选定、井壁管片设计和附属工程加固设计，尽可能规避并远离不良地质和特殊地质，当确实无法规避或远离时，要在详细勘察针对性地开展不良地质和特殊地质专项勘察并提出地质评价和处理建议，通过科学勘察手段可以探明工程区域内土层分布特征，为后续工程设计提供基础资料。

**4.3.3** 装配式沉井施工前应进行勘察，勘探孔的布置和深度应符合下列规定：

**1** 面积不大于 100m$^2$ 的沉井，宜沿井的边缘均匀布置勘探孔，或井中心布置勘探孔的同时沿边缘布置勘探孔，不应少于 2 个勘探孔；

**2** 面积为 100m$^2$~500m$^2$ 的沉井，平面形状为圆形，在两条相互垂直的直径与井壁的交点应各布置一个勘探孔，不应少于 4 个勘探孔；

**3** 存在暗沟、暗塘、大漂石、岩溶、花岗岩球状风化体等地层结构突变的地层时，应适当加密勘探孔；

**4** 控制孔数量不小于沉井勘探孔总数的 1/3，取样孔和原位测试孔不小于沉井勘探孔总数的 1/2；

**5** 勘探孔深度应为沉井的深度加 0.5 倍~1.0 倍边长或直径，且不应小于刃脚以下 5.0m；

**6** 勘探孔宜以取土孔、静力触探孔为主，软土地层应采用静力触探的方式进行钻孔，勘探孔应穿透软弱土层或达到预计控制深度；

广州市政集团有限公司

**7** 勘察完成后应对勘探孔进行封孔处理，并应记录钻孔内遗留物。

条文说明：本条参考《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T51130-2016，勘探孔的布置宜根据沉井形状灵活布置，尽可能沿边缘均匀布置，尽量以相对少的勘察工作量更有效地查明地质条件。勘探孔一般以钻孔为主，必要的，也可布置一定量的静力触探测试孔或动力触探测试孔。《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 中第 3.2.3 条要求勘探点间距一般为 15m~30m。沉井对勘察精度要求一般高于普通基坑，因而勘探孔要求布置更密。根据既有经验，间距在 10m~20m 是恰当的。

**4.3.4** 陆域沉井工程地质勘察应分析评价下列内容:

**1** 分析评价填石、漂石、花岗岩球状风化体、风化凹槽、基岩凸起、岩脉、既有地下搅拌桩、旋喷桩、灌注桩等地下障碍物对沉井施工的影响，并提出处理措施建议；

**2** 分析评价岩溶、采空区等不良地质作用对沉井基底稳定性的影响，并提出治理措施建议；

**3** 分析评价场地土的工程特性，提供地基承载力、基床系数、沉井外壁与土体间的单位摩阻力和负摩阻力、土层渗透系数等指标，对软弱土、可液化土提出加固处理措施建议；

**4** 分析评价场地土对建筑材料的腐蚀性，提出沉井结构防腐措施建议。

条文说明：本条参考《沉井与气压沉箱施工规范》（GB/T51130-2016），孤石、岩溶采空区、漂石等都存在分布随机性强的特点，勘察期间难以全部摸查清楚。沉井施工过程中发现现场与勘察资料存在差异时，需根据具体情况进行补充勘察，以针对性调整施工工法或采取相应的工程措施。

**4.3.5** 水域沉井工程地质勘察应分析评价下列内容：

**1** 水域沉井应观测地表水体的水深、水位、水温、流速，收集最高洪水位数据，水下地形、河床的冲刷、淤积和变迁情况；

**2** 受潮汐影响的水域应收集相关水域的水文站常年观测数据并观测勘察期内每日涨潮、落潮的规律；海域尚应收集波浪和风暴潮的相关数据；

**3** 冬季结冰水体应收集水体冻融期、冻结深度、冰凌冲刷深度等数据；

**4** 分析评价地表水和地下水的水位变化对沉井施工的影响，提供设计抗浮水位提出地下水控制措施建议和结构抗浮措施建议；

**5** 分析评价各类水文现象对水域沉井施工的影响，提出施工期安排建议和灾害预防措施建议；

广州市市政集团有限公司

**6** 分析评价场地水对建筑材料的腐蚀性，提出沉井结构防腐措施建议；

**7** 分析评价承压水对沉井施工的影响，提出处理措施建议。

条文说明：本条参考《沉井与气压沉箱施工规范》（GB/T51130-2016），勘察应观测地表水体的水深、水位、流速及河床演变规律，潮汐影响区域需结合水文站数据解析涨落潮特征，海域工程应补充波浪与风暴潮参数。针对冬季结冰环境，需采集冻融周期、冰层厚度及冰凌冲刷深度数据。同时应分析地表水与地下水相互作用对沉井施工的浮力效应，提出抗浮水位设计依据及地下水控制方案，并评估承压水层对施工稳定性的潜在风险。需专项研究水文现象对施工周期的影响，优化施工时序安排并制定灾害防控预案。此外，应对场地水质的腐蚀性进行检测，明确防腐材料选用标准与结构防护措施，确保工程全生命周期安全性。

**4.3.6** 场地地震效应勘察与评价应符合下列规定：

**1** 应根据地震安全性评价报告、地震动参数区划和有关规范的规定，提出场地的抗震设防烈度、设计基本加速度和设计地震分组；

**2** 应确定场地类别；当位于抗震危险地段时，应提出专门研究的建议；

**3** 饱和砂土和饱和粉土的液化判别和地基处理，当抗震设防烈度为 6 度时，可不进行场地地震液化判别和处理，对重点设防类装配式机械法沉井可按 7 度的要求进行场地地震液化判别和处理；当抗震设防烈度为 7~9 度时，对重点设防类装配式机械法沉井可按本地区抗震设防烈度的要求或经主管部门批准的工程场地地震安全性评价的结果进行场地地震液化判别；

**4** 对重点设防类装配式沉井，宜对遭遇罕遇地震(E3)作用时的场地液化效应进行评价；

**5** 对于判定为可液化的场地，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定其液化指数和液化等级；

**6** 倾斜场地或液化层倾向水面或临空面时，应评价液化引起土体滑移的可能性。

条文说明：本条主要参考《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438-2021、《建筑抗震设计规范》GB 50011，主要依据液化场地的震害调查结果。许多资料表明，在 6 度区液化对沉井结构所造成的震害是比较轻的，因此本条规定除重点设防类沉井外，6 度区的沉井可以不进行液化判别。装配式沉井为预制拼装管片结构，属于柔性结构体系对液化沉陷较敏感。重点设防类沉井在 E3 地震作用下应达到性能要求II，即沉井结构不产生大的破坏，经修补可继续使用，故地质勘察时要对 E3 地震作用时的场地液化效应进行评

广州市市政集团有限公司

价，为沉井结构设计提供依据。

广州市市政集团有限公司

# 5 工程设计

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 装配式机械法沉井设计文件内容应符合各行业各阶段的设计及成果要求。

条文说明：施工图设计阶段至少包括计算书、工程量表、设计说明、总平面布置图、地质剖面图、沉井平面图、纵剖面图、横剖面图、构件大样图、构件钢筋图、沉井施工流程图及相关配套施工图纸。

**5.1.2** 装配式机械法沉井应进行施工阶段和使用阶段的承载能力极限状态和正常使用极限状态验算。

条文说明：铁路行业按行业现行规范进行结构计算。

**5.1.3** 装配式机械法沉井结构的安全等级、结构重要性系数、设计基准期及设计使用年限应符合国家现行标准的有关规定。

条文说明：现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015、《铁路工程结构可靠性设计统一标准》GB50216-2019、《工程结构通用规范》GB55001-2021、《地铁设计规范》GB 50157—2013、《水利水电工程结构可靠性设计统一标准》GB 50199-2013、《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838-2015、《城市深层排水隧道工程技术标准》T/CMEA 23-2021、湖北省地方标准《城市排水深隧工程技术规程》DB42/T 1922-2022 中的沉井结构安全等级及结构重要性系数如表 1 所示，设计基准期如表 2 所示，设计使用年限如表 3 所示。

**表 1 装配式机械法沉井结构安全等级及结构重要性系数**

| 安全等级 | 破坏后果 | 结构重要性系数 | 沉井结构的适用对象 |
|---|---|---|---|
| 一级 | 很严重 | 1.1 | 1. 跨越大江、大河、山区深谷，且技术复杂、修复困难的特殊结构桥梁或重要桥梁等；<br>2. 轨道交通主体结构；<br>3. 1 级水工建筑物<br>4. 地下停车场；<br>5. 综合管廊主体结构；<br>6. 城市深层排水隧道；<br>7. 特别重要的建筑结构； |
| 二级 | 严重 | 1.0 | 1、用作永久构筑物使用的集水井、水泵房等基础；<br>2、永久顶管井；<br>3、普通房屋和构筑物；<br>4、2 级~3 级水工建筑物。 |

广州市市政集团有限公司

| | | | |
|---|---|---|---|
| 三级 | 不严重 | 0.9 | 1、临时顶管井；<br>2、临时性建筑结构；<br>3、4 级~5 级水工建筑物。 |

注：1. 破坏后果“很严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响很大；破坏后果“严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响较大；破坏后果“不严重”指对人的生命、经济、社会或环境影响较小；

2.对于偶然设计状况和地震设计状况，结构重要性系数应取 1.0。

**表 2 装配式机械沉井结构设计基准期（年）**

| 设计基准期 | 沉井结构的适用对象 |
|---|---|
| 100 | 1、桥梁结构；<br>2、1 级~3 级水工建筑物结构。 |
| 50 | 1、轨道交通地下主体结构；<br>2、用作永久构筑物使用的集水井、泵房；<br>3、综合管廊主体结构；<br>4、城市深层排水隧道；<br>5、房屋建筑结构；<br>6、4 级~5 级水工建筑物结构。 |

**表 3 装配式机械沉井结构设计使用年限（年）**

| 设计使用年限 | 沉井结构的适用对象 |
|---|---|
| 100 | 1、特大桥、大桥；<br>2、轨道交通地下主体结构；<br>3、城市深层排水隧道；<br>4、综合管廊主体结构；<br>5、特别重要的建筑结构；<br>6、1 级~3 级水工建筑物结构。 |
| 50 | 1、用作永久构筑物使用的集水井、水泵房基础；<br>2、普通房屋和构筑物；<br>3、4 级~5 级水工建筑物结构。 |
| 5~15 | 1、用作临时性基坑支护用的顶管井、矿山竖井等，设计使用年限采用 5 年；<br>2、临时性建筑结构设计使用年限采用 5 年；<br>3、临时水工建筑物结构的设计使用年限应根据预定的使用年限和可能滞后的时间采用 5 年~15 年。 |

**5.1.4** 装配式机械沉井结构分析应符合下列规定：

**1** 应根据沉井的具体施工工艺和使用场景，进行制造、吊装、运输、施工、使用等阶段的结构分析计算；

**2** 结构分析中采用的基本假定、模型和边界条件、参数选择，应反映结构施工过程和使用中的实际受力状态，精度应满足结构设计要求。沉井可简化为平面体系进行结构分析，结构和边界条件复杂时应采用三维空间模型分析计算；

**3** 沉井结构受力分析可按线弹性理论进行，桥梁基础沉井几何非线性、材料非线性及接触非线性不能被忽略时，应计入非线性对结构受力的影响。

广州市政集团有限公司

**5.1.5** 装配式机械法沉井的计算内容包括施工阶段和使用阶段的稳定性计算、结构计算及地基计算，并应包括下列内容。

**1** 稳定性计算应包括下沉、接高、抗浮、抗渗流（抗流土、抗管涌、抗突涌）、抗滑移、抗倾覆等稳定性计算；

**2** 结构计算应包括井壁及刃脚、封底混凝土厚度、预制管片、管片连接、顶板、底板、锁口结构及助沉系统结构等计算；

**3** 地基计算应包括：垫层厚度、地基承载力、稳定与变形计算；

**4** 环境影响性分析：当沉井周边构筑物较多距离较近时应进行环境影响性分析。

**5.1.6** 装配式机械法沉井结构耐久性应根据沉井结构使用条件、环境类别、设计工作年限等因素确定。

条文说明：沉井结构的耐久性不仅受材料（如混凝土和钢筋混凝土）本身所含有害物质的影响，也受其所处位置的气、水、土等自然环境的影响。因此，沉井结构需按不同环境进行耐久性设计。同时，沉井结构的耐久性设计也要与其施工和使用条件相适应，贯彻适用、经济的原则。

**5.1.7** 装配式机械法沉井助沉系统应根据结构型式、水文、地质条件确定。

**5.1.8** 环梁和沉井地基承载力或变形不满足要求时，可采用砂桩、搅拌桩、高压旋喷桩、注浆等方法进行地基处理，并应按国家现行有关标准的规定执行。

条文说明：现行有关标准包括《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011、《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003-2021、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093-2017、《水运工程地基设计规范》JTS 147-2017 等。

## 5.2 材料与耐久性

**5.2.1** 装配式沉井结构的工程材料应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处的环境类别和环境作用等级，结合其可靠性、耐久性和经济性选用。环境类别和环境作用等级的确定应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和行业标准的有关规定。

**5.2.2** 沉井结构混凝土原材料的选用及配合比、最低强度等级、最大水胶比和单方混凝土的胶凝材料最小用量等，应符合国家和各行业现行耐久性标准的要求，并应满足抗裂、

广州市政集团有限公司

抗渗、抗冻和抗腐蚀的需求。一般环境条件下的混凝土设计强度等级不得低于表 5.2.2 的规定。

**表 5.2.2 一般环境条件下混凝土的最低设计强度等级**

| 工程部位 | 材料类型 | 强度等级 |
|---|---|---|
| 沉井主体结构 | 装配式钢筋混凝土管片或管节 | C50 |
| | 现浇钢筋混凝土管节 | C25 |
| 刃脚 | 钢壳混凝土组合结构内混凝土 | C30 |
| | 钢壳混凝土组合结构钢材 | Q235B |
| 封底混凝土 | 现浇混凝土结构 | C25 |
| 环梁 | 现浇钢筋混凝土结构 | C25 |
| 桩基 | 钢筋混凝土钻孔灌注桩 | C25 |
| | 钢筋混凝土预制桩 | C30 |

注：1 最冷月份平均气温低于-15℃的地区及受冻害影响的沉井结构，混凝土强度等级应适当提高。

2 当沉井纵向设计为预应力结构时，混凝土强度等级不应低于 C40。

3 沉井长期浸没水中，当设计工作年限为 100 年时，现浇混凝土管节强度等级不宜低于 C35。

条文说明：《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》（CECS 137）第 3.0.1 条，干式沉井主体结构的混凝土强度等级不低于 C25，湿式沉井主体结构的混凝土强度等级不低于 C20，《公路桥涵地基与基础设计规范》第 7.2.6 条，沉井井身不应低于 C25，因而对于现浇钢筋混凝土沉井主体结构最低设计强度按 C25 考虑。另外结合《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 4.3.3 条，长期浸没水中的地下结构构件，设计使用年限为 100 年时，混凝土强度等级不宜低于 C35。

**5.2.3** 沉井管片结构受力钢筋宜采用 HRB400 和 HRB500 钢筋，箍筋宜采用 HPB300、HRB400 钢筋。

**5.2.4** 沉井管片结构的混凝土、钢筋及预埋件的力学性能指标和设计参数应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和行业标准的有关规定。

条文说明：沉井结构混凝土、钢筋及预埋件的力学性能指标和设计参数除需符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 外，各行业工程尚需符合相应的行业规范规定，包括《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 和《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151 等。

**5.2.5** 管片连接螺栓的机械性能宜选用 6.8、8.8 或 10.9 级；管片连接螺栓应有较好的耐腐蚀性和抗冲击韧性，表面应进行防腐蚀处理。

**5.2.6** 型钢及螺栓的材料性能和设计参数应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。螺栓防腐蚀措施应满足行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T

广州市市政集团有限公司

251 的相关规定。

**5.2.7** 沉井壁后注浆材料应采用对地下环境无污染及后期收缩小的材料。

**5.2.8** 沉井井孔内应根据受力、稳定或使用要求确定是否填充及填充材料的类型。填料可采用混凝土、水、片石混凝土或片石注浆混凝土等；无冰冻地区可采用粗砂或砂砾填料。

**5.2.9** 钢筋混凝土管片最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应根据环境类别及设计工作年限确定。当沉井结构采用现浇钢筋混凝土时，其钢筋混凝土保护层厚度应满足《沉井技术规程》T/CECS xxx 相关要求。装配式预制管片沉井不应小于表 5.2.9 中规定的数值，受力钢筋保护层厚度不应小于钢筋的公称直径且不宜大于 50mm。

**表 5.2.9 最外层钢筋的混凝土保护层厚度**

| 设计工作年限 | 迎土侧 | 背土侧 |
|---|---|---|
| 100 年 | 35 | 25 |
| 50 年 | 30 | 20 |

条文说明：根据《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438 第 8.4.4 条，最外侧钢筋的混凝土保护层厚度应根据环境类别及设计使用年限确定，并给出了最小保护层厚度要求，本规范参考采用管片最外侧钢筋的保护层厚度要求。根据《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 第 8.2.3 当受力钢筋的混凝土保护层大于 50mm 时，宜对保护层采取有效的构造措施。当在保护层设置防裂、防剥落的钢筋网片时，网片钢筋的保护层厚度不应小于 25mm。

**5.2.10** 对于暴露在大气、海洋、土壤等环境中的外壁、吊环、紧固件、连接件等金属部件宜按现行行业标准《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209 的规定采取防护措施。

条文说明：根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 规定，当环境类别为 III、IV 时，金属构件伸入混凝土内 100mm 处起至露出混凝土外的所有表面均需进行防腐处理。环境类别详见《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 3.2.1 条规定执行。

**5.2.11** 当沉井管片处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层时，钢筋混凝土管片迎水面应涂抹外防腐蚀层，防腐蚀涂料层应具有防水性能，宜采用环氧或改性环氧类封闭性材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类材料。

**5.2.12** 沉井结构耐久性设计除应执行本标准的规定外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和行业标准的有关规定。

广州市市政集团有限公司

条文说明：沉井结构耐久性设计除需符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规范外，各行业工程尚需符合相应的行业规范规定，包括《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG T 3310、《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005、《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153 和海岸工程应满足《海岸工程混凝土结构耐久性技术标准》GB T 51464 等。

## 5.3 作用及组合

**5.3.1** 装配式机械沉井结构设计采用的作用应分为永久作用、可变作用、地震作用三类，其分类应符合表 5.3.1 的规定。各种作用应按本标准附录 A 取值。

**表 5.3.1 作用分类**

| 作用分类 | 作用名称 |
|---|---|
| 永久作用 | 结构重力 |
| | 附属设备和附属结构重力 |
| | 土压力 |
| | 混凝土收缩、徐变作用 |
| | 水压力① |
| | 浮力① |
| | 预加力 |
| | 地基不均匀变形 |
| 可变作用 | 摩阻力 |
| | 悬吊力 |
| | 下压力 |
| | 沉井顶板和平台活荷载 |
| | 地面活荷载 |
| | 顶管的顶力 |
| | 流水压力 |
| | 风荷载 |
| | 温度作用 |
| | 施工临时荷载 |
| 地震作用 | 地震作用 |

注①：应根据工程类别确定水压力和浮力的作用分类。

条文说明：表 5 及表 6 罗列出了不同规范对水压力及浮力的作用分类。

**表 5 不同规范对水压力及浮力的作用分类（1）**

| 规范 | 水压力 | 浮力 |
|---|---|---|
| 《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 | 永久作用 | 永久作用 |
| 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015 | 永久作用 | 永久作用 |
| 《铁路桥涵设计规范》TB 10002—2017 | 永久作用 | 永久作用 |

广州市市政集团有限公司

| | | |
|---|---|---|
| 《地铁设计规范》GB 50157—2013 | 永久作用 | 永久作用 |
| 《公路隧道设计规范》JTG 3370.1—2018 | 永久作用 | 永久作用 |
| 《港口工程荷载规范》JTS 144—1—2010 | 永久作用 | 永久作用 |
| 《水工建筑物荷载设计规范》DL 5077—1997 | 可变作用 | 可变作用 |

**表 6 不同规范对水压力及浮力的作用分类（2）**

| 规范 | 井内静水压力 | 水压力和浮力 |
|---|---|---|
| 《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069—2002 | 永久作用 | 可变作用 |
| 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS137:2015 | 永久作用 | 可变作用 |

**5.3.2** 沉井结构设计时，不同作用应按下列规定采用不同的代表值：

**1** 永久作用，应采用标准值作为代表值。

**2** 可变作用，应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为代表值。

**3** 偶然作用取其设计值作为代表值。

**4** 地震作用的代表值为其标准值。

**5.3.3** 作用的设计值应为作用的标准值或组合值乘以相应的作用分项系数。

**5.3.4** 沉井结构设计时应区分持久设计状况、短暂设计状况、偶然设计状况和地震设计状况，四种设计状况应按下列规定分别进行相应的极限状态设计：

**1** 规定的四种设计状况，应进行承载能力极限状态设计；

**2** 持久设计状况，应进行正常使用极限状态设计；

**3** 短暂设计状况，可根据需要进行正常使用极限状态设计；

**4** 偶然设计状况和地震设计状况，可不进行正常使用极限状态设计。

条文说明：承载能力极限状态是考验结构是否能完成其主要功能的能力，所有设计状况均需进行设计；至于正常使用极限状态设计是否需要进行，要视各类结构具体情况而定。

根据工程经验，地震状设计状况和偶然设计状况通常只按承载能力极限状态设计，不做正常使用极限状态设计。

**5.3.6** 承载能力极限状态设计时应按下列情况进行分析计算：

**1** 沉井结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承受荷载，或出现压屈、局部失稳；

**2** 沉井结构发生整体倾覆或滑动；

**3** 沉井底土体持力层因丧失承载能力而破坏；

**4** 沉井抗浮或抗沉失效；

广州市市政集团有限公司

**5** 地下水渗流引起的土体渗透破坏；

**6** 沉井管片自身、管片接头及管片螺栓手孔因丧失承载能力而破坏。

**5.3.7** 正常使用极限状态设计时应按下列情况进行分析计算：

**1** 沉井结构变形过大影响主体结构正常使用；

**2** 沉井结构裂缝宽度超过允许限值，出现影响正常使用或耐久性的局部破坏；

**3** 因地下水位下降、地下水渗流等因素而造成的土体变形引起周边建（构）筑物、地下管线、道路等不能正常使用；

**4** 沉井管片接缝张开量变形超过允许限值，沉井管片防水失效而出现影响正常使用或耐久性的局部破坏。

条文说明：根据国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 的规定并结合沉井结构自身的特殊性，本条对承载能力极限状态与正常使用极限状态在沉井结构中的具体表现形式进行了归类，目的是使工程技术人员能够对沉井结构的各种破坏形式有一个总体认识，设计时对各种破坏模式和影响正常使用的状态进行控制。

第 5.3.5 条给出了沉井底因地下水渗流引起的土体渗透破坏模式。由于在流塑淤泥地层中进行沉井施工时，容易发生突沉、涌水、涌泥等现象；沉井下沉过程中遇粉砂、细砂层时，容易产生流砂现象；均会导致沉井出现倾斜、周边土体坍塌等不利情况，严重时给施工人员安全及周边环境安全带来威胁。因此需要重视沉井基坑抗渗透破坏稳定性。

**5.3.8** 机械法沉井各类型结构构件均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态计算。

**5.3.9** 进行承载能力极限状态设计时采用的作用组合，应符合下列规定：

**1** 持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合；

**2** 偶然设计状况应采用作用的偶然组合；

**3** 地震设计状况应采用作用的地震组合；

**4** 作用组合应为可能同时出现的作用的组合。

**5** 每个作用组合中应包括一个主导可变作用或一个偶然作用或一个地震作用。

**6** 当静力平衡等极限状态设计对永久作用的位置和大小很敏感时，该永久作用的有利部分不利部分应作为单独作用分别考虑。

**7** 当一种作用产生的几种效应非完全相关时，应降低有利效应的分项系数取值。

**5.3.10** 沉井结构或构件按承载能力极限状态计算时，应符合下列规定：

**1** 结构或结构构件的破坏或过度变形的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_{\mathrm{d}} \le R_{\mathrm{d}} \qquad (5.3.10\text{-}1)$$

式中：$\gamma_0$——结构重要性系数，可按表 5.1.10 取值；

$S_{\mathrm{d}}$ ——作用效应组合的设计值；

$R_{\mathrm{d}}$ ——结构构件抗力的设计值，按相关行业标准的规定确定。

**2** 整个结构作为刚体失去静力平衡的承载能力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_{\mathrm{d,dst}} \le S_{\mathrm{d,stb}} \qquad (5.3.10\text{-}2)$$

式中：$S_{\mathrm{d,dst}}$ ——不平衡作用效应的设计值；

$S_{\mathrm{d,stb}}$ ——平衡作用效应的设计值，按相关行业标准的规定确定。

**5.3.11** 按承载能力极限状态进行强度计算时，作用效应的基本组合设计值应按下列规定确定：

**1** 作用效应基本组合设计值应按下式计算：

$$S_d = S\left(\sum_{i\ge 1}^{m}\gamma_{Gi}G_{ik} + \gamma_P P + \gamma_{Q1}\gamma_{L1}Q_{1k} + \sum_{j=2}^{n}\gamma_{Qj}\psi_{cj}\gamma_{Lj}Q_{jk}\right) \qquad (5.3.11\text{-}1)$$

式中：$\gamma_{Gi}$——第 $i$ 个永久荷载的分项系数；

$\gamma_{Q1}$，$\gamma_{Qj}$——分别为第 1 个和第 $j$ 个可变荷载的分项系数；

$P$——预应力作用的有关代表值；

$\gamma_P$ ——预应力作用的分项系数；

$\gamma_{L1}$，$\gamma_{Lj}$ ——分别为第 1 个和第 $j$ 个考虑结构设计工作年限的荷载调整系数；

$G_{ik}$ ——第 $i$ 个永久荷载标准值；

$Q_{1k}$ ——第 1 个可变荷载的标准值，取地表水或地下水作用作为第 1 个可变荷载；

$Q_{jk}$ ——第 $j$ 个可变荷载的标准值；

$\psi_{cj}$ ——可变荷载的组合值系数。

**2** 作用效应地震组合设计值应按下式计算：

$$S_d = S\left(\sum_{i\ge 1}^{m}G_{ik} + P + \gamma_I A_{Ek} + \sum_{j=2}^{n}\psi_{qj}Q_{jk}\right) \qquad (5.3.11\text{-}2)$$

式中：$\gamma_I$——地震作用的重要性系数，按相关行业抗震设计规范的规定采用；

$A_{EK}$ ——按相关行业规范确定的各水准地震作用标准值；

广州市市政集团有限公司

$\psi_{qj}$ ——第 $j$ 个可变作用的准永久值系数。

**3** 作用效应偶然组合设计值按下式计算：

$$S_d = S\left(\sum_{i\geq 1}^{m} G_{ik} + P + A_d + (\varphi_{f1}或\varphi_{q1})Q_{1k} + \sum_{j=2}^{n} \varphi_{qj} Q_{jk}\right) \qquad (5.3.11\text{-}3)$$

式中：$A_d$ ——偶然作用的设计值；

$\psi_{f1}$ ——第 1 个可变作用的频遇值系数；

$\psi_{q1}$ ——第 1 个可变作用的准永久值系数。

条文说明：本条规定了承载能力极限状态的各种不同的作用组合的要求。不同设计方法采用的作用组合也有所不同，但究其实质，都是考虑结构在设计工作年限内可能出现的不同类型、不同量值的荷载同时作用的各种情况。因此本条将各种作用组合进行统一规定，再配合不同的设计表达式和相关系数取值进行结构设计。作用组合中的符号“∑ ”和“+”均表示组合，即同时考虑、所有作用对结构的共同影响，不表示代数相加。

基本组合中起控制作用的可变作用一般需要轮次计算方能确定。基本组合与“极限状态的分项系数设计法”相对应，用于承载极限状态设计。

偶然组合是考虑偶然作用时的组合。

抗震设计的设计方法与作用组合较为特殊，需按抗震设计要求执行。

**5.3.12** 分项系数的取值应根据各行业规范取值确定。

**5.3.13** 沉井结构的偶然设计状况及地震设计状况承载能力计算应按相关行业标准的规定执行。

**5.3.14** 各类沉井结构构件的使用阶段均应按正常使用极限状态验算。进行正常使用极限状态设计时采用的作用组合，应符合下列规定：

**1** 标准组合，用于不可逆正常使用极限状态设计；

**2** 频遇组合，用于可逆正常使用极限状态设计；

**3** 准永久组合，用于长期效应是决定性因素的正常使用极限状态设计。

**5.3.15** 持久状况的正常使用极限状态，根据不同设计要求，可分别采用作用的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计。其效应设计值可按式 5.3.15-1~3 计算。

标准组合的设计值

$$S_d = S\left(\sum_{i=1}^{m} G_{ik} + Q_{1k} + \sum_{j>1}^{n} \psi_{cj} Q_{jk}\right) \qquad (5.3.15\text{-}1)$$

频遇组合的设计值

$$S_d = S\left(\sum_{i=1}^{m} G_{ik} + \varphi_{f1} Q_{1k} + \sum_{j>1}^{n} \psi_{qj} Q_{jk}\right) \quad (5.3.15\text{-}2)$$

准永久组合的设计值

$$S_d = S\left(\sum_{i=1}^{m} G_{ik} + \sum_{j=1}^{n} \psi_{qj} Q_{jk}\right) \quad (5.3.15\text{-}3)$$

**5.3.16** 机械法沉井结构构件应按相关行业标准的有关规定进行正常使用极限状态的应力、抗裂、裂缝宽度及变形的验算，并满足下列规定：

**1** 环梁及沉井结构构件应按荷载效应准永久组合进行裂缝宽度和变形计算；

**2** 混凝土管片及沉井其他构件的裂缝宽度不得大于 0.2mm，并不得贯通。混凝土环梁裂缝宽度不得大于 0.2mm（永久结构）或 0.3mm（临时结构）；

**3** 沉井管片收敛变形和接缝张开量限值应符合表 5.3.16 的规定。

**表 5.3.16 管片收敛变形和接缝张开量限值**

| 类别 | 限值 |
|---|---|
| 收敛变形 | ≤2‰$D_0$（错缝拼装），≤3‰$D_0$（通缝拼装），且≤50mm； |
| 接缝张开量 | ≤2mm（岩质地层或周边存在重要建构筑物）或≤4mm（大直径沉井直径大于 10m），且小于弹性密封垫的允许张开量。 |

注：1 表中的 $D_0$ 指沉井外径；

2 表中收敛变形和接缝张开量限值不含管片拼装误差造成的变形量。

条文说明：管片变形的限值主要考虑防水要求，参考《盾构隧道工程技术标准》GB/T51438 的盾构管片的收敛变形和接缝张开量限值。

**5.3.17** 当在沉井结构与土体间设置的超挖间隙中充填泥浆时，应考虑泥浆对井壁的水平压力作用。

## 5.4 方案设计

**5.4.1** 方案设计前，应具备下列资料：

**1** 沉井使用功能要求材料；

**2** 井位区域内的气象和水文资料；

**3** 岩土工程勘察报告；

**4** 拟建工程施工影响范围内的建（构）筑物、地下管线和障碍物等相关资料。

广州市市政集团有限公司

**5.4.2** 沉井工程应根据使用功能、工程地质、水文地质、水文气候条件、周边环境、工期及投资等因素进行装配式机械法沉井和常规工法沉井的技术经济综合比选、择优选择。

条文说明：表 1 中列出了中外装配式机械法沉井工程案例地质、功能及规模特征。

表 1　装配式机械法沉井工程案例表

| 序号 | 工程应用地点 | 直径/m | 下沉深度/m | 地质状况 | 功能 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 意大利那不勒斯 | 4.5 | 45 | 黏土、淤泥、砂、砂砾； | 通风井 |
| 2 | 西班牙赫罗纳 | 6~10 | 20 | 壤质粗粒黏土、砂质黏土、泥灰、漂石； | 通风井、入口井 |
| 3 | 德国多特蒙德 | 9 | 23 | 砂、淤泥、泥灰； | 顶管始发井 |
| 4 | 俄罗斯圣彼得堡 | 8.4 | 85 | 黏土、砂、漂石； | 排污井 |
| 5 | 俄罗斯莫斯科 | 6.4 | 30~73 | 软土地层(砂、石灰、黏土)； | 通风井 |
| 6 | 美国西雅图 | 9.8 | 45 | 黏土、淤泥、砂、砂砾； | 盾构始发井 |
| 7 | 科威特 | 8.8 | 15~27 | 砂、胶结石、黏砂土、灰岩； | 顶管始发井 |
| 8 | 夏威夷 | 10.8 | 36.2 | 珊瑚、强度为 80MPa 的玄武岩； | 始发井 |
| 9 | 沙特 Jeddah | 11 | 45 | 软土、黏砂土、砂、砂砾； | 污水竖井 |
| 10 | 英国 Woodsmith | | 115.2 | 岩石； | 矿井通道 |
| 11 | 新加坡 | 11.2 | 57 | 灰岩、砂岩、泥岩； | 污水竖井 |
| 12 | 南京沉井式地下车库 | 12.8 | 68.0 | 黏土、粉细砂、砂质岩； | 地下车库 |
| 13 | 东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库 | 12.3 | 20.0 | 粉质黏土、淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土； | 地下车库 |
| 14 | 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 22.8 | 50.5 | 填土、粉质粘土、淤泥质粘土、粉质黏土夹砂质粉土、粉砂、粉质黏土与黏质粉土互层； | 地下车库 |
| 15 | 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 14.0 | 27.0 | 人工填土、粉细砂、砾砂、粉质黏土、淤泥质土、砂质黏性土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩、微风化花岗岩； | 城市轨道交通盾构工作井 |

**5.4.3** 下列条件可选用机械装配式沉井：

**1** 桥梁基础、隧道工作井、矿山竖井、水工构筑物、海工构筑物、地下储能库、市政给排水构筑物、地下停车库、地下粮仓、地下油（气）库、救援井、导弹发射井等地下工程宜选用装配式机械法；

广州市政集团有限公司

**2** 位于粘性土、砂层、卵石层、软弱土层、复合土层、岩层（<80MPa）等地层的沉井，可选用装配式机械法；

**3** 沉井影响范围有建(构)筑物或地下管线时，宜采用装配式机械化沉井，并应采取相应的保护措施。

条文说明：2 根据调研成功案例，机械法可适用于 80MPa~120MPa 的岩层中；在富水岩溶、土洞、采空区及坚硬岩层区（>120MPa），不宜装配式机械法沉井。

3 本条说明装配式机械法沉井适用的一般条件，沉井施工一般来说对环境的影响较大，当影响范围内存在重要建（构）筑物及地下管线时，应根据重要性采取相应的保护措施方可施工。

**5.4.4** 当符合下列情况之一时，应对沉井管片设置二衬结构：

**1** 沉井为市政给排水和水利水电永久工程时，宜设置钢筋混凝土二衬结构。

**2** 沉井在使用阶段强度、刚度及耐久性不满足要求时，应设置二衬结构。

**5.4.5** 沉井直径较小时，可采用装配整环结构；当采用装配整环结构不满足吊装、运输及拼装要求时，可采用管片分块装配结构。

条文说明：管片装配整环结构可解决竖向接缝防水、环向荷载传递、环向变形协调等问题，可提高沉井环向刚度和井壁耐久性；管片分块装配结构是通过合理分块，满足吊装、运输及拼装施工要求，平衡施工效率与结构性能。

**5.4.6** 沉井规模大及工期要求高时，沉井结构可采用装配式管片；沉井为单个工程且耐久性要求高时，可采用整环现浇结构。

条文说明：装配式沉井管片适合规模大、可标准化、对工期要求高的工程，但需考虑接缝防水和变形协调问题；现浇沉井适合单个工程、耐久性要求高的工程，但工期长。

**5.4.7** 采用装配整环结构时，环缝连接可采用预应力刚性连接；采用分段整环现浇结构时，节段可采用钢筋机械连接、搭接连接或焊接连接的刚性连接；采用管片分块装配结构时，竖向连接、环向连接可采用柔性连接或相对刚性连接。

**5.4.8** 沉井位于复杂地层及硬岩层，下沉困难、易发生突沉、倾斜风险时可选用悬吊式沉井；深厚软弱土层时，可选用压入式沉井或压吊复合式沉井。

条文说明：目前装配式机械法沉井施工工艺主要有悬吊式如机械掘进悬吊拼装式 SAM（Suspended Segmental Shaft Automatic Mechanical）工法、压入式沉井如自动化沉井 SOCS（Super Open Caisson System）和压吊复合式沉井如 ACPP（Active Control Precast Press-in Shaft）工法等。

广州市政集团有限公司

（1）SAM 工法装配式机械法沉井工程由主体结构系统、垂直掘进 VSM（Vertical Shaft Sinking Machine）系统及临时结构系统组成。其中主体结构系统由井壁、底板及封底结构组成；VSM 机械部分由主机、供给卷扬塔、下沉单元、回收卷扬系统、泥水分离单元、控制室及壁后注浆系统等组成；临时结构系统主要有环梁及其基础。

SAM 工法采用在沉井井壁上安装垂直竖井掘进机，通过伸缩式挖掘臂进行水下挖掘，并伴随竖井的下沉，将竖井结构与掘进设备相融合，以实现掘进和拼装同时进行。

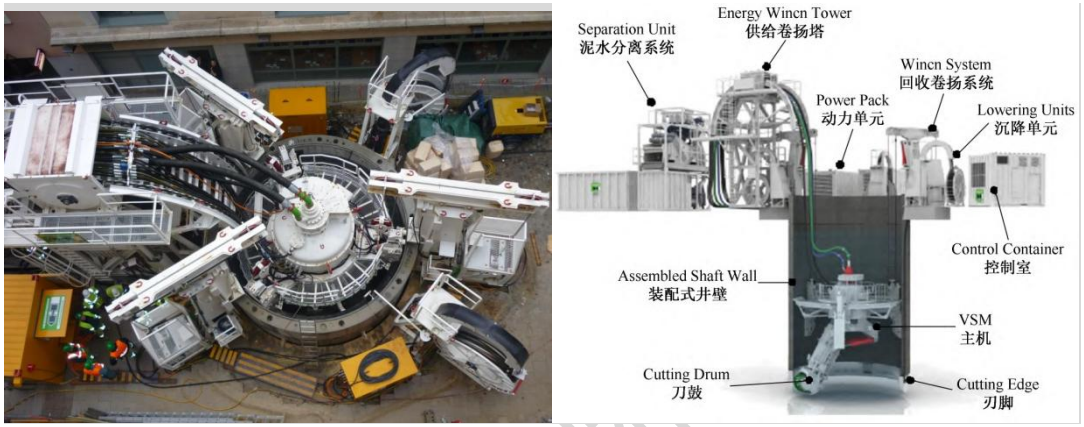



图 1 VSM 设备工作示意图

图 2 VSM 主机图

图 3 VSM 铣筒图

VSM 主机（Vertical Excavation Unit）：由伸缩式铣挖臂、VSM 主机支撑靴、泥浆泵和倾角计等组成。伸缩式铣挖臂可旋转 1900，伸缩量为 1m，以高速刀具切割和捣碎土壤，混合入泥水。VSM 主机支撑靴固定在沉井壁内，提供反力以支持铣筒的土体切削，同时可以与沉井同步下降。倾角计用于监测沉井的姿态。

图 4 VSM 供给卷扬塔图

供给卷扬塔（Energy Winch Tower）:供给卷扬塔在沉井下降过程中为主机提供电力，与地表动力单元共同组成电力控制系统。同时，主机的电缆管道通过卷扬塔有序下放，避免管线在施工中受到干扰。

图 5 VSM 下沉单元图

下沉单元(LoweringUnits)：下沉单元由支架、连续提升千斤顶、钢绞线及刃脚锚箱等组成。在刃脚环安装锚箱，钢绞线通过夹具穿过刃脚结构内部，沿管片外侧和土层间空隙延伸到地表穿心千斤顶，实现井筒下沉的高精度主动控制。

图 6 刃脚钢绞线锚固系统图

图 7 回收卷扬系统图

回收卷扬系统(Winch System)：回收卷扬系统用于VSM 主机的提升与下放，以便于维护和检修主机。还可通过在回收卷扬机上安装千斤顶推进系统，对沉井进行辅助压沉作业，有利于通过难以下降的地层。

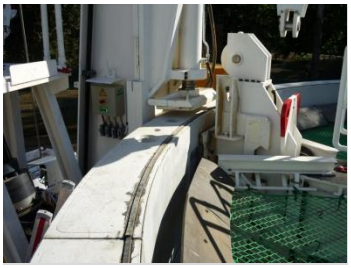


图 8 辅助压沉图

图 9 泥水分离单元图

泥水分离单元(Separation Unit)：井内的泥浆抽到地表后，通过三级旋流设备和离心机将不同粒径的泥土分离并排出，降低泥浆的密度。然后将经过分离的泥浆重新注入井内，以保持井内的液位平衡。

图 10 控制室图

控制室(Control Container)：控制室内配有操控系统以控制设备施工，控制开挖顺序和施工参数，确保沉井有序掘进下沉、调整姿态。

图 11 壁后注浆系统图

壁后注浆系统(Grouting System)：壁后注浆系统在下沉期间通过管片的注浆孔向井壁与外界土体的间隙中注入膨润土泥浆以起到护壁和润滑作用。当水下封底完成后，再用水泥砂浆置换膨润土泥浆。

市政集团有限公司

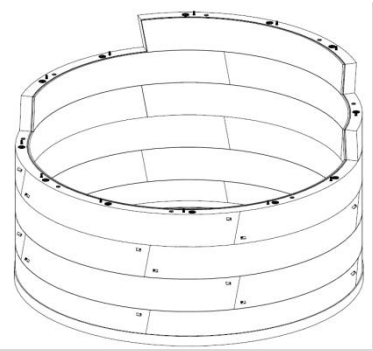


图 12 主体结构系统图

图 13 环向螺栓图

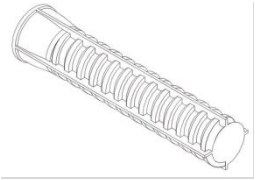


图 14 环向螺栓预埋件图

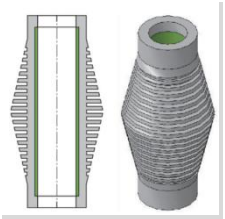


图 15 剪力销图

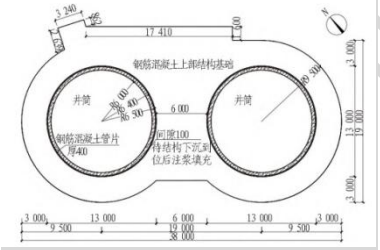



图 16 环梁及其基础图

主体结构系统：采用首节现浇钢壳混凝土组合结构，其余段可采用预制管片、竖向及环向连接接头构成的结构或现浇结构，底板结构及封底可采用混凝土结构。

环向连接：相邻两块管片的纵缝采用螺栓连接。

竖向连接：相邻两块管片的环缝可采用通长螺栓或预应力连接。

剪力销：用于管片拼装定位导向和结构抗剪。

目前已实施的 VSM 机械法装配式沉井可达到外径 φ4.5m～φ23.0m。

环梁及其基础：位于沉井顶板周边的环形基础结构，用于施工期承受主机、供给卷扬塔、下沉单元、回收卷扬系统、泥水分离单元及其它施工设备荷载的混凝土结构基础或钢结构基础。环梁基础可采用桩基础及地基处理。

（2）SOCS 工法装配式机械法沉井工程由主体结构系统、自动化沉井 SOCS（Super Open Caisson System）系统及临时结构系统组成。其中主体结构系统由井壁、底板及封底结构组成；SOCS 机械部分由挖掘取土系统、下沉管理系统等组成；临时结构系统主要有抗拔桩或锚索等组成。

广州市政集团有限公司

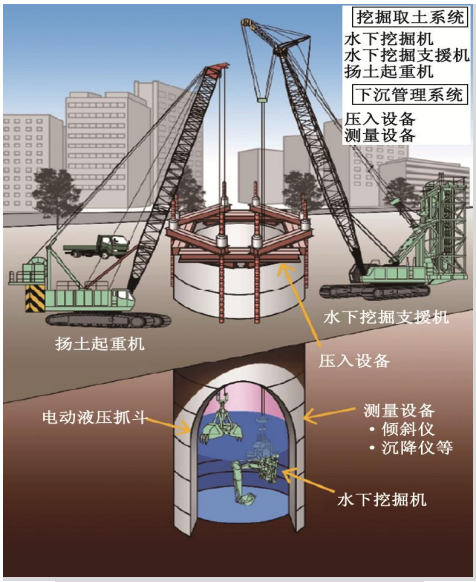



图 17　SOCS 设备工作示意图

图 18 SOCS 自动水下挖掘机图

挖掘取土系统：主要分成挖掘沉井刃脚处土体的无人驾驶的自动水下挖掘机，和挖掘沉井中央处并进行取土的抓斗。

图 19 SOCS 电动液压抓斗图

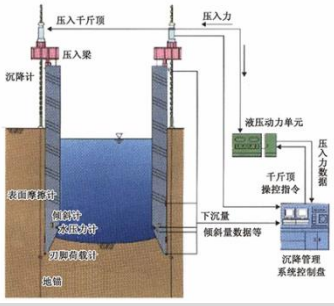



图 20 SOCS 下沉管理系统图

下沉管理系统：是通过设置在沉井主体上的各种测量设备(沉降仪、倾斜仪、表面摩擦计、水压力计、刃脚反力计等)自动管理数据，操控压入千斤顶进行压入下沉的系统。

市政集团有限公司

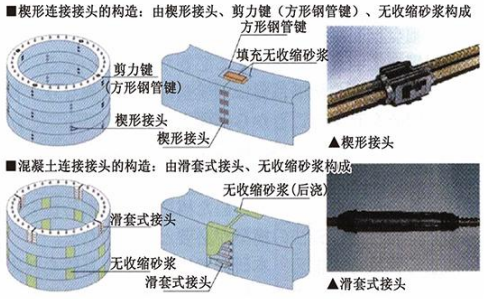



图 21 SOCS 主体结构系统图

主体结构系统：采用首节现浇钢壳混凝土组合结构，其余段采用现浇或预制管片、竖向及环向连接接头构成的结构。预制管片结构目前已实施的 SOCS 工法机械装配式沉井仅可达到外径φ6～12m。现浇结构目前可达外径 35m。底板结构及封底可采用混凝土结构。

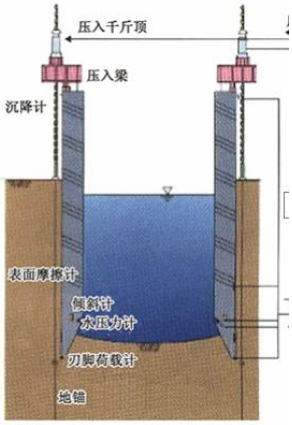



图 22 SOCS 锚索系统图

抗拔桩或锚索：用于沉井下沉压入的反力结构。

（3）垂直掘进 SAM 工法、自动化沉井 SOCS 工法和 ACPP 工法主要区别可参考下表。

表 2　VSM 施工工法、SOCS 施工工法和 ACPP 施工工法对比表

| 施工工法 | 垂直掘进 SAM 工法 | 自动化沉井 SOCS 工法 | ACPP 工法 |
|---|---|---|---|
| 工程规模 | 适用直径φ4.5m~φ23m 的圆形沉井；深度可达 85m。 | 适用直径φ5.6~φ35m 的圆形沉井；深度可达 120m。 | 主动控制型装配式沉井工法（ACPP）基于 VSM“井身预制，悬挂下沉”和 SOCS “水下开挖、压入下沉”的特点，借助顶管工艺“压注厚浆、孔口保压”技术进一步改进。其工程规模与适应性，可参考 SAM 工法和 SOCS 工法。 |
| 工程地质和水文地质适应性 | 可适应地下水位以上及以下的软弱土层、粘性土、砂层、复合土层、岩层（80~120Mpa）等地层。 | 可适应地下水位以上及以下的软弱土层、粘性土、砂层、卵石层等硬质地层。 | |
| 施工工艺成熟度 | 沉井竖向施工精度大致能保持在 1/1000～1/3000 左右；国外成熟、国内新引进的先进工法，已在南京、上海区域实施。 | 沉井竖向施工精度大致能保持在 1/500～1/2000 左右；日本成熟、国内尚无应用案例。 | 目前已在上海轨道交通 13 号线西延伸幸乐路逃生井工程实施，现场实施效果良好，土体深层最大水平位移均值为 5.10 mm，地表最大沉降均值为 4.81 mm。 |

中铁建设集团有限公司

| | | | |
|---|---|---|---|
| 周边环境影响 | 沉井管片始终被拉紧，周边地面沉降可受控，减小地面沉降风险。 | 沉井管片始终被压紧，周边地面沉降可受控，减小地面沉降风险。 | 沉井管片始终被拉紧，周边地面沉降可受控，减小地面沉降风险。 |
| 施工工期 | 沉井管片在地面施工，机械化智能控制程度高，开挖速度快（约2~5m/d），工期短。 | 沉井管片在地面施工，机械化智能控制程度高，开挖速度较快，工期较短。 | 沉井管片在地面施工，机械化智能控制程度高，开挖速度快，工期短。 |
| 施工风险源 | 软塑黏土及砂土地层中，刃脚下超挖施工时沉井周边易出现坍孔。<br>施工荷载作用在环梁上，直接传递给沉井周边软土地基，易出现地面沉降。 | 仅有压入系统，在软塑、可塑软弱土层中会发生突沉；<br>抗拔桩或锚索由于岩土的复杂性，存在失效风险。 | / |
| 工法优点 | 1、设置提吊系统，有效解决了突沉和下沉困难；<br>2、沉井管片始终被拉紧，周边地面沉降可受控，减小地面沉降风险；<br>3、可在狭窄场地内施工；<br>4、施工时采用泥水平衡原理，无需降低地下水，掘进机在水下开挖，施工速度快，安全可靠、效率高和费用较低；<br>5、下沉过程中通过多点提升智能控制和高精度测量装置，沉井结构沉降及倾斜可控，垂直精度高；<br>6、沉井管片采用预制拼装时，施工效率高、结构质量及表观质量较高；<br>7、同一台掘进机可适用于不同要求的沉井项目；掘进机属于一次投资，长期使用的设备。 | 1、掘土系统和压沉系统有效解决了下沉困难；<br>2、沉井管片始终被压紧，周边地面沉降可受控，减小地面沉降风险；<br>3、可在狭窄场地内施工；<br>4、施工时采用泥水平衡原理，无需降低地下水，掘进机在水下开挖，施工速度快，安全可靠、效率高和费用较低。<br>5、下沉过程中通过多点压沉智能控制和高精度测量装置，沉井结构沉降及倾斜可控，垂直精度较高；<br>6、沉井管片采用预制拼装时，施工效率高、结构质量及表观质量较高；<br>7、同一台掘进机可适用于不同要求的沉井；掘进机属于一次投资，长期使用的设备。 | 1、同时兼具 VSM“井身预制，悬挂下沉”和 SOCS “水下开挖、压入下沉”的工法优点。<br>2、顶部孔口设置密封保压装置，进一步提升壁后泥浆减摩效果。 |
| 工法缺点 | 1、暂无特大直径（>25m）的机械设备；<br>2、刃角部位土层需超挖，在软塑黏土及砂土地层中易出现坍孔。<br>3、施工荷载作用在环梁上，直接传递给沉井周边软土地基，易出现地面沉降。 | 1、沉井姿态主要受下压作用点主动力及刃脚下方岩土被动力支撑控制，易出现下沉偏移、突沉等情况；<br>2、抗拔桩及地锚系统会成为后期工程建设中障碍物。 | 环梁下桩基及地锚系统会成为后期工程建设中障碍物。 |

**5.4.9** 装配式机械法沉井总体结构设计应根据使用功能、周边环境、工程地质等因素综合确定平面形状、断面结构、管片分节、材料选择、接头形式、防水及防腐方案。

条文说明：根据已实施项目统计，部分装配式机械法沉井总体结构设计方案见表 3。

**表 3　部分装配式机械法沉井结构方案统计表**

| 工程名称 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 施工工法及管片分块 | 管片材质、连接及防水措施 | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|
| 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 68 | VSM 设备世界上首次与地下停车库工程的结合。竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为形式完全相同的 6 块管片，每块管片中心分块角度为 $60^0$，环宽 1.5m。 | 竖井采用装配式管片结构施工，管片混凝土设计强度等级为 C60/P12；管片环向、竖向均采用螺栓连接；管片接缝采用弹性橡胶密封垫(三元乙丙橡胶)作为止水措施。 | 《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库 | 外径⌀ 12.3<br>内径⌀ 11.3 | 20.0 | 采用 SAM 工法，竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为形式完全相同的 8 块，每块管片中心分块角度为 $45^0$，环宽 1.61m。 | 预制管片拼装而成，每环管片环向通过外侧手孔斜螺栓连接，环间管片竖向采用预应力连接。 | 《沉井式预制拼装结构壳－接头模型的三维数值模拟》隧道建设（中英文） |
| 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 外径⌀ 22.8<br>内径⌀ 21.0 | 50.5 | 垂直掘进（盾构）竖井（改进 VSM）工法。竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为两种相同形式(10 块管片)，每块管片中心分块角度为 $36^0$，环宽 2.0m。 | 竖井采用装配式管片结构施工，管片混凝土设计强度等级为 C60/P12；管片环向、竖向均采用螺栓连接；管片接缝采用弹性橡胶密封垫(三元乙丙橡胶)作为止水措施。 | 《装配式竖井掘进法应用案例与技术要点研究》中国市政工程 |
| 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径⌀ 14.0<br>内径⌀ 13.0 | 27.0 | 垂直掘进（盾构）竖井（改进 VSM）工法。竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为两种相同形式(6 块管片)，每块管片中心分块角度为 $60^0$，环宽 1.5m。 | 竖井采用装配式管片结构施工，管片混凝土设计强度等级为 C50/P12；管片环向(12 个/环)、竖向(24 个/环)均采用螺栓连接，剪力削 12 个/环；管片接缝采用弹性橡胶密封垫(三元乙丙橡胶)作为止水措施。 | 《花岗岩复合地层竖井垂直机械法施工技术研究与应用》广东土木与建筑 |
| 俄罗斯圣彼得堡排污井 | 外径⌀ 8.4<br>内径⌀ 7.7 | 85.0 | 采用 SAM 工法，竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为形式完全相同的 4 块，每块管片中心分块角度为 $90^0$，环宽 1.0m。 | 竖井采用装配式管片结构施工；管片环向采用 2 个 M20，竖向均 3 个纵向长螺栓连接。 | 《装配式竖井预制混凝土管片结构设计》隧道建设（中英文） |
| 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 33.44 | 采用 SAM 工法，竖井结构采用预制管片拼装而成，圆环分为形式完全相同的 6 块，每块管片中心分块角度为 $60^0$，环宽 1.5m | 竖井采用装配式管片结构施工；管片环向、竖向均采用螺栓连接；管片接缝采用弹性橡胶密封垫(三元乙丙橡胶)作为止水措施。 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |

广州市市政工程设计研究总院

**5.4.10** 装配式机械法沉井设计应根据功能要求、建设条件、受力特点、施工条件、周边环境等因素选择合理的平面形状。装配式机械法沉井宜采用圆形。

条文说明：横断面形状一般采用圆形，圆形结构具有形状简单、便于机械法拼装施工及管片预制、结构受力合理等优点，在工程中大量应用。目前工程案例中装配式机械法圆形沉井直径为 4.5~23m。

**5.4.11** 装配式机械法沉井应根据规模、地质条件、受力特点和施工工法等因素确定底节结构形式及与管片接头构造，底节宜采用带刃角钢壳混凝土结构；管片宜采用钢筋混凝土结构。

**5.4.12** 装配式机械法沉井方案设计应与其功能、制作、吊装、运输、施工等结合，明确制作、运输和施工方案。

**5.4.13** 应根据地层、水文地质、沉井规模及周边环境等因素，选择不排水或不排水下沉法施工方案。当采用不排水下沉方案时，应按泥水平衡原理控制井内泥浆水位和浓度。

条文说明：为减少周边地基沉降，按泥水平衡原理，井内水位通常高于周边地下水位。

## 5.5 稳定性计算

**5.5.1** 沉井下沉计算应符合下列规定：

**1** 悬吊式沉井采取掏刃脚下沉时，沉井下沉系数应按下列公式计算：

$$k_{st}=\frac{G_k+G_V+G_s-F_{W1}-T}{T_f} \tag{5.5.1-1}$$

$$F_{w1}=\gamma_{w1}V \tag{5.5.1-2}$$

$$T_f=U[(H-2.5)f] \tag{5.5.1-3}$$

$$T=G_{\mathrm{k}}+G_V+G_S-k_{\mathrm{st}}T_f-F_W\le T_{\mathrm{k}} \tag{5.5.1-4}$$

式中：$k_{st}$——下沉系数；

$T_f$——侧壁与沉井周边泥浆的总摩阻力的标准值（kN）；

$T$——提拉力或下压力标准值（kN），悬吊式沉井时提拉力取正值，压入式沉井时下压力取负值；

$T_k$——提拉系统的额定提拉力（kN）；

$G_k$——沉井自重标准值（kN）；

$G_V$——主机自重标准值（kN）；

广州市市政集团有限公司

$G_s$ ——沉井施工荷载等标准值、外加助沉重量等标准值（kN）；

$F_{w1}$ ——下沉过程中浆液浮力（kN），采取排水下沉时取 0；

$\gamma_{w1}$ ——浆液的重度（kN/m³），取 10kN/m³~12kN/m³；

$V$ ——沉井在地下水位以下的体积（m³）；

$f$ ——泥浆套单位摩阻力标准值（kPa），取 3kPa~5kPa 均匀分布进行计算，侧壁摩阻力正负交替（侧壁摩阻力向上为正，向下为负）；

$H$——沉井入土深度（m）；

$U$ ——井壁外围周长（m）。

**2** 压入式沉井或压吊复合式沉井采取刃脚留土下沉时，沉井下沉系数应按下列公式计算：

$$k_{st}=\frac{G_k+G_V+G_s-F_{W1}-T_k}{T_f+R_1} \tag{5.5.1-5}$$

$$R_1=U(b_c+\frac{n}{2})R_l \tag{5.5.1-6}$$

式中：$k_{st}$——下沉系数；

$b_c$ ——刃脚踏面宽度（m）；

$n$——刃脚斜面与土壤接触面的水平投影宽度（m）；

$R_l$ ——地基极限承载力（kPa）；

$R_1$——刃脚踏面及斜面下土的地基反力（kN）。

**3** 下沉系数宜按表 5.5.1-1 确定。

**表 5.5.1-1 下沉系数**

| 行业 | 市政、建筑工程 | 公路、铁路、水运工程 | 水电水利工程 |
|---|---|---|---|
| 下沉系数 | 1.05~1.25 | 1.15~1.25 | 1.0~1.25 |

注：市政城市桥梁工程同公路工程取值，市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明：根据现行《煤矿立井井筒及硐室设计规范》GB50384 第 6.4.21 节中泥浆的重力密度宜取 12kN/m3，沉井悬浮下沉初期宜取 10kN/m3。目前的 vsm 井内均不额外造浆，通过挖掘搅拌的泥浆当护壁，如果井的深度较深，井底和井顶面的重度差别很大，且一般无法满足造浆的技术性能要求(如 24 小时不离析，静切力等指标)，因此按最不利工况控制建议浆液重度取 10~12kN/m³；现行《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 规程中第 6.1.1 节中，泥浆套单位摩阻力标准值取 3kPa~5kPa。

关于下沉稳定系数的取值，不同规范、规程存在一定差别。一般来说当沉井选址及

广州市市政集团有限公司

下沉方法确定后，井壁摩阻力基本就确定了，此时下沉系数的大小主要与沉井自重及厚度有关，下沉系数太小，沉井无法下沉；下沉系数越大，虽然下沉越容易，下沉速度越快，但通常也需要更大自重，更厚的井壁，因此下沉系数取值过大，通常是不经济的，况且当地层中存在软弱土层时还可能发生超沉、突沉等情况，因此下沉系数应控制在一定范围。目前国内各行业标准下沉系数具体如下表 4。

**表 4 不同规范确定的下沉系数**

| 规范名称 | 《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 | 上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011 | 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 | 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093-2017 | 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015 | 《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 下沉系数 | 1.05~1.25 | 1.0~1.25 | 1.15~1.25 | 1.15~1.25 | ≥1.05 | 1.0~1.25 |

**5.5.2** 装配式机械法沉井在各个工况下提拉系统安全系数应按下式验算，且提拉系统安全系数不小于 1.1：

$$k_{\text{提拉}}=\frac{T_1}{G_k+G_{\text{V}}+G_s-F_{W1}-T_f} \tag{5.5.2-1}$$

$T_1$——提拉系统的额定提拉力（kN）。

条文说明：各工况主要包括无水、出渣最低水位、满水等工况。

**5.5.3** 当下沉系数较大或在下沉过程中遇有软弱土层时，应进行下沉稳定性验算。下沉稳定性系数 $k_{stw}$ 仍采用 5.5.1-5 计算，稳定性系数宜取 0.8~0.9。

条文说明：当下沉系数大于 1.5 或下沉过程遇到淤泥质土等软弱土层时，沉井可能会突然发生下沉。特别是在淤泥质土中，沉井在数十秒的沉降量可达 3m~5m。因此应对下沉稳定性进行验算，当稳定系数不满足要求时，宜进行地基加固处理，具体范围可根据计算确定，否则会造成严重的工程事故。当沉井下沉至井底设计标高时，由于沉井基础尚未施工，为了保证沉井稳定及后续施工的安全性，下沉稳定系数宜满足本条要求。

下沉稳定性系数各行业规范取值基本相当均为 0.8~0.9，具体如下表。

**表 5 不同规范确定的下沉稳定系数**

| 规范名称 | 《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 | 上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011 | 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019 | 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137-2015 | 《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014 |
|---|---|---|---|---|---|
| 下沉稳定系数 | 软弱土层 0.8~0.9 | 软弱土层 0.8~0.9 | 软弱土层 0.8~0.9 | 软弱土层 0.8~0.9 | 软弱土层 0.8~0.9 |

广州市市政集团有限公司

**5.5.4** 当沉井多次制作下沉时，应按下列公式进行接高稳定性验算，且接高下沉稳定性系数应小于 1.0：

$$k_c = \frac{G_{kc} + G_v + G_s - F_{w1} - T}{T_f + R_1} \tag{5.5.4-1}$$

式中：$k_c$——接高稳定性系数；

$G_{kc}$——每次接高后的井体总重量（kN）；

**5.5.5** 沉井抗浮应按施工封底和使用两个阶段，分别根据实际可能出现的最高水位及作用按下式进行验算：

$$k_{fw} = \frac{G_k + G_{tw} + \sum F_{pi}}{F_w} \tag{5.5.5-1}$$

式中：$k_{fw}$——沉井抗浮稳定系数，按表 5.5.5-1 确定；

$\sum F_{pi}$——沉井上部结构竖向恒载合力标准值（kN）；

$G_{tw}$——沉井外加助沉重量等标准值（kN）；

$F_w$——地下水的浮托力（kN），应根据不同阶段按最不利工况计算。

**表 5.5.5-1 不同行业的抗浮稳定系数（不考虑侧摩阻）**

| 行业 | | 市政、公路、铁路、水运、水利水电工程工程 | 建筑工程 |
|---|---|---|---|
| 抗浮稳定系数 | 施工阶段 | ≥1.0 | 一级：≥1.05<br>二级：≥1.0<br>三级：≥1.0 |
| | 使用阶段 | ≥1.05 | 一级：≥1.1<br>二级：≥1.05<br>三级：≥1.0 |

注：1. 当封底混凝土与底板间有拉结钢筋等可靠连接时，封底混凝土的自重可作为沉井抗浮重量的一部分，但宜结合具体工程适当确定稳定系数；

2 市政城市桥梁工程同公路工程取值，市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明：关于抗浮稳定系数针对结构工程取值一般在 1.0~1.15，不同规范、规程存在一定差别，具体如下表。

**表 6 不同规范确定的下沉系数**

| 规范名称 | 《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 | 上海市《沉井与气压沉箱施工技术规程》DG/TJ 08-2084-2011 | 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS137：2015 | 《水电水利工程沉井施工技术规程》DL/T 5702-2014 | 《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 | 《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 稳定 | ≥1.0；考虑侧摩 | ≥1.0；考虑侧摩阻≥1.15 | ≥1.0；考虑侧摩阻≥1.15 | ≥1.0；不考虑侧 | 丙级、乙级、甲级结构， | 施工期、使用期均 |

广州市市政集团有限公司

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 性系数 | 阻≥1.15 | | | 摩阻 | 不考虑侧摩阻，施工期：0.95、1.0、1.05；使用期：1.0、1.05、1.1 | ≥1.05，不考虑侧摩阻 |

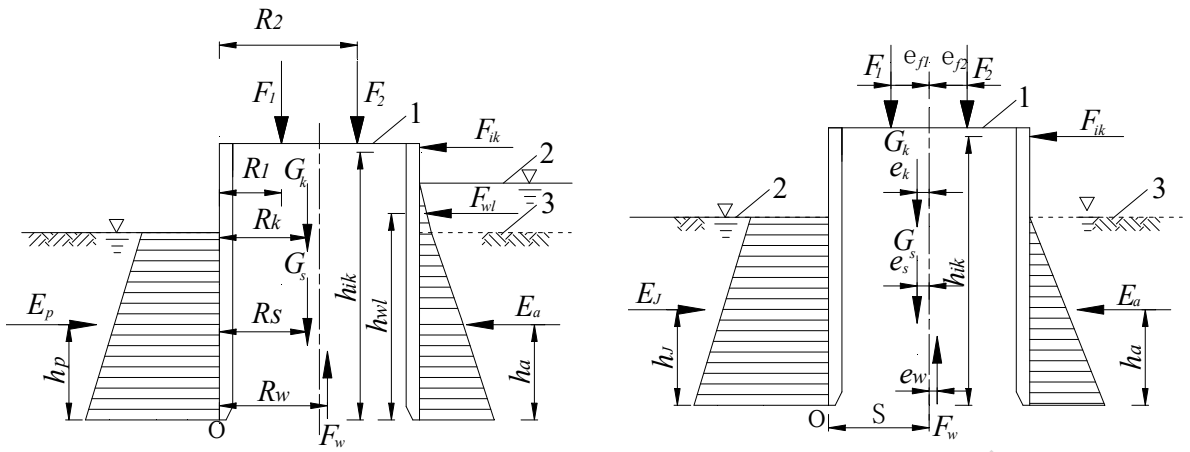
从上表可以看出，抗浮稳定系数在不考虑侧壁摩阻力的情况下，施工阶段系数取值范围为 0.9~1.05，其中又以 1.0 较为普遍，而考虑侧摩阻时则不宜小于 1.15。一般说来，针对沉井结构，侧壁摩阻力实际是存在的，但考虑到侧摩阻力大小较难确定，且在深度较浅的沉井内影响较小，因此本规程在计算抗浮稳定时未考虑侧摩阻的影响，把其作为安全储备，施工期抗浮稳定系数除房建工程外下限均取 1.0。除此以外应注意当井壁与土之间采用注浆措施时，亦应适当提高安全系数，此时可参照《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137：2015 取 1.05。如果沉井较深，可考虑摩阻力，此时考虑摩阻力后的抗浮系数，一般应取 1.15。

使用期抗浮稳定系数宜比施工期适当提高，因此对比了《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 要求后除房建工程外，其下限值取 1.05。

《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 要求针对甲、乙、丙级建筑分别按施工阶段和使用阶段，明确了具体抗浮安全系数要求，该标准 3.0.1 条抗浮工程设计设计等级是从工程地质及水文地质条件的复杂程度、地基基础设计等级、对正常使用的影响和危害程度三个方面确定的，对比本规程 5.1.11 条甲、乙、丙级可分别对应取一级、二级、三级。

另外若封底混凝土与结构有可靠连接，则可考虑封底混凝土对抗浮的有利作用，并把稳定系数适当提高，具体可参照《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 4.5.4 条规定。

**5.5.6** 当沉井前后两面水平作用不均衡时，沉井倾覆稳定应分别按施工阶段和使用阶段验算，并符合下列规定（图 5.5.6）。




（a）市政及其他工程　　（b）公路、铁路工程

1—沉井；2—计算水位；3—河床或地面；O—倾覆旋转点

**图 5.5.6 沉井抗倾覆稳定性验算示意图**

**1** 市政、水电水利、建筑工程倾覆稳定应按下列公式验算，抗倾覆系数不应小于1.5：

$$k_{ov}=\frac{\sum M_{aov,k}}{\sum M_{ov,k}} \tag{5.5.6-1}$$

$$\sum M_{aov,k}=G_kR_k+G_sR_s+E_ph_p+\sum F_iR_i \tag{5.5.6-2}$$

$$\sum M_{ov,k}=E_ah_a+F_{wl}h_{wl}+F_wR_w+\sum F_{ik}h_{ik} \tag{5.5.6-3}$$

式中：$k_{ov}$——沉井抗倾覆系数；

$\sum M_{aov,k}$——沉井抗倾覆弯矩标准值之和（kN·m）；

$\sum M_{ov,k}$——沉井倾覆弯矩标准值之和（kN·m）；

$E_a$——沉井外主动土压力合力标准值（kN）；

$E_p$——沉井外被动土压力合力标准值（kN），水域沉井被动土压力不计地面以下冲刷部分的土压力；

$F_{wl}$——沉井受到的静水压力合力标准值（kN）；

$F_i$——沉井上部结构作用的竖向荷载标准值（kN）；

$F_{ik}$——水平荷载标准值（kN）；

$h_a$——沉井结构底端与 $E_a$ 作用点的距离（m）；

$h_p$——沉井结构底端与 $E_p$ 作用点的距离（m）；

$h_{wl}$——沉井结构底端与 $F_{wl}$ 作用点的距离（m）；

$h_{ik}$——沉井结构底端与 $\sum F_{ik}$ 作用点的距离（m）；

广州市市政集团有限公司

$R_k$ ——自重合力作用点到沉井倾覆脚趾距离（m）；

$R_s$ ——$G_s$ 合力作用点到沉井倾覆脚趾距离（m）；

$R_i$ ——$F_i$ 作用点到沉井倾覆脚趾距离（m）；

$R_w$ ——浮力合力重心到沉井倾覆脚趾距离（m）。

**2** 公路、铁路工程倾覆稳定应按下列公式计算，抗倾覆系数应满足表 5.5.6-1 及表 5.5.6-2 的规定：

$$k_{ov}=\frac{S\sum P_i}{\sum P_i e_i+\sum H_i h_i} \tag{5.5.6-4}$$

$$\sum P_i=G_k+\sum F_i-F_w \tag{5.5.6-5}$$

$$\sum P_i e_i=G_k e_k+\sum F_i e_{fi}-F_w e_w \tag{5.5.6-6}$$

$$\sum H_i h_i=E_a h_a+\sum F_{ik} h_{ik}-E_J h_J \tag{5.5.6-7}$$

式中：$\sum P_i$ ——沉井竖向力标准值之和；

$\sum P_i e_i$——沉井竖向力矩标准值之和；

$\sum H_i h_i$——沉井水平力矩标准值之和；

$E_J$ ——沉井外静止土压力合力标准值（kN），水域沉井被动土压力不计地面以下冲刷部分的土压力。悬索桥锚定基础 $E_J$=0；

$S$ ——截面重心至合力作用点的延长线上，自截面重心至验算倾覆轴的距离（m）；

$e_i$ ——竖向力 $P_i$ 对验算截面重心的力臂（m）；

$e_{fi}$ ——$F_i$ 对验算截面重心的力臂（m）；

$e_k$ ——$G_k$ 对验算截面重心的力臂（m）；

$e_s$ ——$G_s$ 对验算截面重心的力臂（m）；

$e_w$ ——$F_w$ 对验算截面重心的力臂（m）；

$h_J$ ——沉井结构底端与 $E_J$ 作用点的距离（m）；

**表 5.5.6-1 公路工程抗倾覆系数表**

| | 阶段 | 组合工况一 | 组合工况二 |
|---|---|---|---|
| 公路工程抗倾覆系数 | 使用阶段 | ≥2.0（悬索桥锚碇永久作用、汽车、人群和温度的标准值效应组合）；<br>≥1.5（桥墩永久作用（不计混凝土收缩及徐变、浮力）和汽车、人群作用的标准值组合）； | ≥1.2（悬索桥锚碇永久作用、地震作用的标准值效应组合）；<br>≥1.3（桥墩各种作用的标准值组合）； |

广州市市政集团有限公司

| | | |
|---|---|---|
| | 施工阶段 | ≥1.2（除悬索桥外，其他桥梁桥墩，各种作用的标准值组合） |

注：市政城市桥梁工程同公路工程取值。

**表 5.5.6-2 铁路工程抗倾覆系数表**

| | | |
|---|---|---|
| 铁路工程抗倾覆系数 | 阶段 | 桥梁 |
| | 使用阶段 | ≥1.5（除拱桥外，各种作用的标准值组合）<br>≥1.2（拱桥，各种作用的标准值组合）<br>≥1.3（抗震验算组合） |
| | 施工阶段 | ≥1.2（各种作用的标准值组合） |

注：1.拱桥桥墩基础抗倾覆稳定应按施工过程中可能产生的单侧横推力进行计算；

2.市政轨道桥梁同铁路工程。

条文说明：市政、水利水电、建筑工程抗滑移稳定系数取值参考了国内相关规范取值，具体如下表所示。

**表 7 不同规范确定的抗倾覆系数**

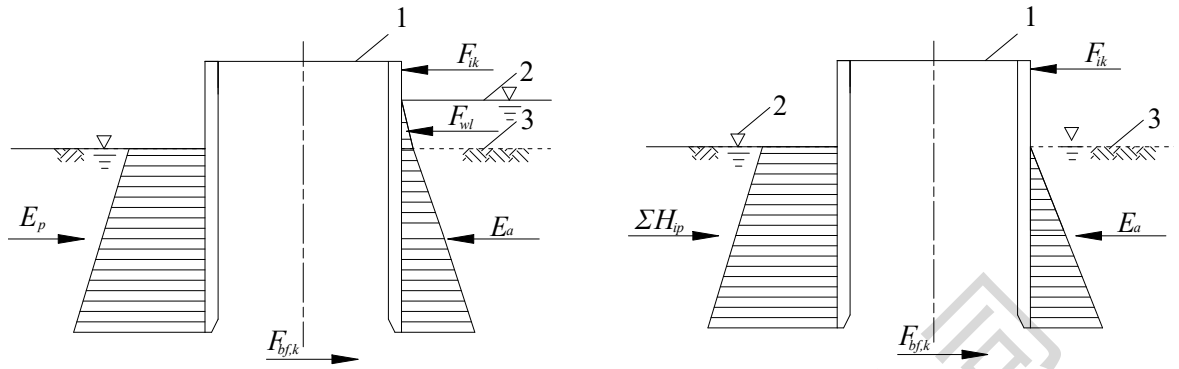
| 规范名称 | 《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 | 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137：2015 | 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013 | 《钢围堰工程技术标准》GB/T 51295-2018 |
|---|---|---|---|---|
| 稳定性系数 | ≥1.5 | ≥1.5 | 重力式挡土墙，1.6（不计被动土抗力） | 钢套箱，≥1.5 |

从上表可以看出，各规范抗倾覆系数取值为 1.2~1.6。虽然桥涵墩台施工阶段抗倾覆要求最低，但在使用阶段仅考虑永久荷载+汽车作用+人群作用时，其抗倾覆系数仍然要求达到 1.5，且其它沉井规范抗倾覆系数均要求不小于 1.5，因此综合各相关规范后，本规程市政、水利水电、房屋工程抗倾覆系数下限值，也采用 1.5。值得注意的时仅当荷载作用可明确作为抗倾覆力时方可计算其抗倾覆力矩，若该荷载无法确定作用方向时，优先考虑作为倾覆力。公式 5.5.6-2 及 5.5.6-3 中$\sum F_i R_i$和$\sum F_{ik} h_{ik}$均指多个相同方向的力矩之和。

公路、铁路沉井抗倾覆计算方法及倾覆系数，参照了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 5.4.1 条、《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65-05）8.4.1 条、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 中 3.1.1、3.1.3 条及《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 中 7.1.5 条拟定，值的注意的是公式 5.7.4-6 中竖向力对截面重心的力臂应包含符号，计算时应按把基础向同一倾覆方向统一。根据《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015 中 4.2.3 条第 1 款“桥梁墩、台、挡墙墙前侧地面一下不受冲刷部分的侧压力，可按静止土压力计算”及《铁路桥涵设计规范》TB 10002-2017 中 4.2.2 条第 4 款“在计算滑动稳定时，墩台前侧不受冲刷部分土的侧压力可按静止土压力计算”，故本条第

2 款 5.5.6-4 式按静止土压力计算沉井倾覆前侧土侧压力对倾覆稳定的有利作用。

**5.5.7** 当沉井前后两面水平作用不均衡时，沉井的滑移稳定应分别按施工阶段和使用阶段验算，并符合下列规定（图 5.5.7）。




（a）市政及其他工程　　（b）公路、铁路工程

1—沉井；2—计算水位；3—河床或地面

**图 5.5.7 沉井抗滑移稳定性验算示意图**

**1** 市政、水电水利、建筑工程滑移稳定应按下列公式验算，抗滑移系数不应小于 1.3：

$$k_s = \frac{\eta E_p + F_{bf,k}}{E_a + \sum F_{ik} + F_{wl}} \tag{5.5.7-1}$$

式中：$k_s$ ——沉井抗滑移系数；

$\eta$ ——被动土压力利用系数，无地区经验时施工阶段可取 0.80，使用阶段取 0.65；

$F_{bf,k}$ ——沉井底面有效摩阻力标准值（kN）；

2 公路工程滑移稳定应按下列公式计算，抗滑移系数应符合表 5.5.7-1 的规定：

$$k_s = \frac{\sum H_{ip} + F_{bf,k}}{\sum H_{ia}} \tag{5.5.7-2}$$

式中：$\sum H_{ip}$ —沉井前后侧抗滑水平力标准值之和（kN）；

$\sum H_{ia}$ ——沉井前后滑动水平力标准值之和（kN）。

**表 5.5.7-1 公路工程抗滑移稳定系数**

| | 阶段 | 组合工况一 | 组合工况二 |
|---|---|---|---|
| 公路工程抗滑移系数 | 使用阶段 | ≥2.0（悬索桥锚碇永久作用、汽车、人群和温度的标准值效应组合）；<br>≥1.3（桥墩永久作用（不计混凝土收缩及徐变、浮力）和汽车、人群作用的标准值组合）； | ≥1.2（除悬索桥外，其他桥梁桥墩各种作用的标准值组合） |
| | 施工阶段 | ≥1.6（悬索桥锚碇，各种作用的标准组合）；<br>≥1.2（桥墩，各种作用的标准组合） | |

广州市市政集团有限公司

注：市政城市桥梁工程同公路工程取值。

**3** 铁路工程滑移稳定应按下列公式计算，抗滑移系数应满足表 5.5.7-2：

$$k_s = \frac{F_{bf,k}}{\sum H_i} \tag{5.5.7-3}$$

$$\sum H_i = E_a + \sum F_{ik} - E_J \tag{5.5.7-4}$$

式中：$\sum H_i$ ——沉井前后侧水平力标准值之和（kN）；

**表 5.5.7-2 铁路工程抗滑移稳定系数**

| | | |
|---|---|---|
| 铁路工程抗滑移系数 | 阶段 | 桥梁 |
| | 使用阶段 | ≥1.3（除拱桥外，各种作用的标准值组合）<br>≥1.2（拱桥，各种作用的标准值组合）<br>≥1.1（抗震验算组合） |
| | 施工阶段 | ≥1.2（各种作用的标准值组合） |

注：1.拱桥桥墩基础抗滑移稳定应按施工过程中可能产生的单侧横推力进行计算；

2.市政轨道桥梁工程同铁路工程取值。

条文说明：计算抗滑移稳定性时主要把沉井结构当做整体结构进行计算，市政、水利水电、房屋工程抗滑移稳定系数参照《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137：2015 6.1.6 条拟定，考虑到沉井结构在水平方向除受主被动土压力外、基底摩擦外还有其他水平作用力，故在该公式的基础上，增加考虑水平作用力合力的影响。建议一般情况下沉井结构整体抗滑移系数不应低于 1.3。公式中被动土压力利用系数，引自《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016。

**表 8 不同规范确定的抗滑移系数**

| 规范名称 | 《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 | 《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137：2015 | 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013 | 《钢围堰工程技术标准》GB/T 51295-2018 |
|---|---|---|---|---|
| 稳定性系数 | ≥1.3 | ≥1.3 | 重力式挡土墙，≥1.3 | 钢套箱，≥1.3 |

公路、铁路沉井的抗滑移稳定系数，参照了《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 中 5.4.2 条、《公路悬索桥设计规范》JTG/T D65-05 中 8.4.1 条、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 中 3.1.2、3.1.3 条及《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 中 7.1.5 条拟定。

## 5.6 井体结构设计

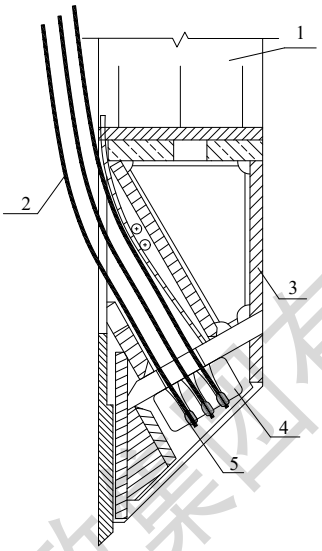
### I 底节设计

**5.6.1** 装配式机械法沉井底节（含刃脚）设计应满足现行协会标准《沉井技术规程》CECS****的相关要求。

**5.6.2** 装配式机械法沉井底节应采用钢壳混凝土与混凝土混合结构，刃脚部分应采用钢壳混凝土组合结构，并应满足相关行业的组合结构设计规范。

**5.6.3** 对刃脚进行向外弯曲承载能力验算时，尚应考虑刃脚处钢绞线的作用力。

**5.6.4** 应建立空间模型进行钢锚箱（图 5.6.1）局部有限元仿真分析，钢锚箱结构强度应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。




1—钢刃脚；2—钢绞线；3—锚固盒；4—锚板；5—夹片

**图 5.6.1 下沉单元与刃脚锚固连接示意图**

## II 管片设计

**5.6.5** 装配式机械法沉井管片构造应根据沉井类型、受力条件、施工工艺、机械设备等要求，以及经济性、可靠性、耐久性和便于制造、运输、安装等条件确定。

**5.6.6** 根据沉井结构抗渗、抗裂、防火等要求，可采用添加钢纤维、聚丙烯纤维等材料的复合纤维钢筋混凝土管片或设置二次衬砌。

**5.6.7** 装配式机械法沉井衬砌结构宜采用单层预制装配式衬砌形式。对需要采用进一步措施防止沉井渗水、减小管片衬砌腐蚀、修正沉井施工误差，或需要做内部装饰的沉井，可采用双层衬砌形式。

**5.6.8** 管片环向宜按等角度进行分块，其分块尺寸应根据管片制作、运输、拼装方式、结构受力与变形、防水要求等因素综合确定。

条文说明：根据相关案例，每块管片中心分块角度 36°~90°。表 9 中列出了中外装配式

广州市市政集团有限公司

机械法沉井管片分块情况。

表 9 中外装配式机械法沉井管片分块统计表

| 工程名称 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 管片分块详细情况 | 来源 |
|---|---|---|---|---|
| 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 68 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 6 块管片，每块管片中心分块角度为 $60^0$，质量约为 9.7t，环宽 1.5m。 | 《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库 | 外径⌀ 12.3<br>内径⌀ 11.3 | 20.0 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 8 块管片，每块管片中心分块角度为 $45^0$，质量约为 9.3t，环宽 1.61m。 | 《沉井式预制拼装结构壳－接头模型的三维数值模拟》隧道建设（中英文） |
| 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 外径⌀ 22.8<br>内径⌀ 21.0 | 50.5 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 10 块管片，每块管片中心分块角度为 $36^0$，质量约为 27.4t，环宽 2.0m。 | 《装配式竖井掘进法应用案例与技术要点研究》中国市政工程 |
| 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径⌀ 14.0<br>内径⌀ 13.0 | 27.0 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 6 块管片，每块管片中心分块角度为 $60^0$，质量约为 13.2t，环宽 1.5m。 | 《花岗岩复合地层竖井垂直机械法施工技术研究与应用》广东土木与建筑 |
| 俄罗斯圣彼得堡排污井 | 外径⌀ 8.4<br>内径⌀ 7.7 | 85.0 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 4 块管片，每块管片中心分块角度为 $90^0$，质量约为 5.3t，环宽 1.0m。 | 《装配式竖井预制混凝土管片结构设计》隧道建设（中英文） |
| 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 33.44 | 沉井结构采用预制管片拼装而成，每环分为 6 块管片，每块管片中心分块角度为 $60^0$，质量约为 9.8t，环宽 1.5m。 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |

**5.6.9** 管片分块竖缝倾斜角度应根据拼装方式、结构受力、变形及防水要求等因素综合确定。

条文说明：根据相关案例，管片分块竖缝倾斜角度约 70°~80°。

**5.6.10** 管片宽度应根据沉井直径、管片受力、管片制作、运输、主机吊装系统、助沉系统高度及刃角基坑开挖深度等因素综合确定，并宜采用较大的管片宽度。

**5.6.11** 钢筋混凝土管片厚度应根据沉井直径、深度、工程地质及水文地质条件、施工阶段和使用阶段的荷载等情况确定，管片厚度宜符合表 5.6.11 的规定，且最小厚度不宜小于 250mm。

**表 5.6.11 管片厚度**

| | |
|---|---|
| 沉井外径 $D$（m） | $D$≥8 |
| 管片厚度 $h$（m） | 0.03$D$~0.05$D$ |

条文说明：根据调研相关案例，管片厚度厚径比约 0.03$D$~0.05$D$，详细见表 10。

**表 10 装配式机械法沉井工程案例管片主要参数表**

| 工程名称 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 厚径比 | 来源 |
|---|---|---|---|---|
| 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 68 | 0.031 | 《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库 | 外径⌀ 12.3<br>内径⌀ 11.3 | 20.0 | 0.041 | 《沉井式预制拼装结构壳－接头模型的三维数值模拟》隧道建设（中英文） |
| 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 外径⌀ 22.8<br>内径⌀ 21.0 | 50.5 | 0.039 | 《装配式竖井掘进法应用案例与技术要点研究》中国市政工程 |
| 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径⌀ 14.0<br>内径⌀ 13.0 | 27.0 | 0.036 | |
| 俄罗斯圣彼得堡排污井 | 外径⌀ 8.4<br>内径⌀ 7.7 | 85.0 | 0.042 | 《装配式竖井预制混凝土管片结构设计》隧道建设（中英文） |
| 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 33.44 | 0.031 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |

**5.6.12** 管片拼装方式宜采用错缝拼装方式，应尽量减少管片构造形式。

**5.6.13** 钢筋混凝土管片接缝构造应满足受力、拼装定位、防水的要求，其尺寸和角度应有利于减少局部应力集中以及管片制造、运输、拼装过程中的碰撞破损，并应符合下列规定：

**1** 管片边缘应设倒角，倒角尺寸不应小于 5mm×5mm；

**2** 管片接缝内侧边缘处应预留嵌缝槽（图 5.6.13），嵌缝槽深宽比不应小于 2.5，槽宽不宜小于 10mm，槽深不宜小于 25mm；

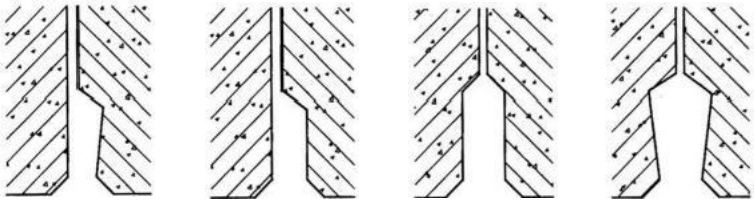


**图 5.6.13 管片内侧嵌缝槽断面构造形式**

**3** 当采用错缝拼装时，管片环缝应设置缓冲衬垫，衬垫可采用丁腈软木橡胶，并应满足现行规范《盾构法隧道管片用软木橡胶衬垫》GB/T 31061。

广州市市政集团有限公司

**5.6.14** 管片螺栓手孔、定位孔、起吊孔及注浆孔的位置与尺寸，应根据管片连接、起吊、拼装方式和结构受力等因素确定。

**5.6.15** 管片上宜预埋壁后注浆预埋件，注浆预埋件设计应有利于施工及运营阶段注浆孔外水压力的有效封堵。

条文说明：根据国内沉井与盾构隧道管片预埋注浆管设计情况，注浆管直径一般采用50mm。

表 11 预埋注浆管统计表

| 工程名称 | 注浆管参数 |
|---|---|
| 竹园白龙港污水联通管工程 | 外径 48mm |
| 深圳地铁盾构区间隧道 | 外径 50.1mm，壁厚 2mm |
| 广河高铁、深大城际等高速铁路盾构隧道 | 外径 50mm，壁厚 2mm |

**5.6.16** 装配式机械法沉井环向内力计算应分别选取沉井深度最深和最浅、地下水位最高和最低、存在超载或偏压、沉井穿越地层条件突变处等不利位置进行。

**5.6.17** 沉井管片环向内力计算模型宜采用匀质圆环模型、弹性铰模型、梁—弹簧模型或梁—接头模型。管片计算可根据下列原则选择计算模型：

**1** 采用错缝拼装时，宜采用匀质圆环模型；

**2** 采用通缝拼装时，宜采用弹性铰模型；

**3** 需计算沉井竖向内力、竖向变形、竖向螺栓内力时，可采用梁—弹簧模型模型；

**4** 考虑管片接头非线性时，可采用梁—接头模型模型。

条文说明：本标准推荐的等效匀质圆环模型，即管片全环采用直梁或曲梁单元模拟，梁单元采用相同的截面及整体刚度，考虑管片接头的存在对管片整体刚度进行适当折减。该模型适用于错缝拼装沉井，环间剪力传递作用通过弯矩传递系数进行模拟。

弹性铰模型用直梁或曲梁单元模拟管片，用具有一定刚度的弹性铰模拟管片接头，弹性铰的弯曲刚度与管片接头构造有关。该模型一般适用于管片采用通缝拼装方式的沉井。

梁-弹簧模型，是将两环或三环管片进行整体建模，每环管片采用弹性铰圆环模型，各环间采用剪切弹簧模拟纵向螺栓作用，是与管片结构实际情况较接近的计算模型，除可计算得到管片和纵缝的内力与变形外，还可得到纵向螺栓的内力及变形，即已自动计入了环间剪力传递作用。该模型是由卡式第二定理推导出来的，仅适用于线弹性问题。

梁-接头模型，是基于有限元法建立的，适用于非线性问题。其中，管片仍以梁单元模拟，接头采用接头单元模拟。如图 3 所示。

广州市政集团有限公司

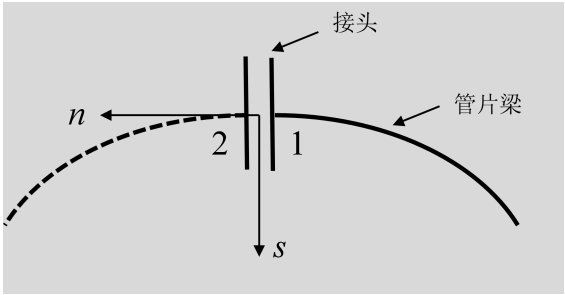



图 3 接头单元

以上计算模型均对管片结构进行了适当的简化，为确保管片结构计算的安全，一般宜取两种或两种以上模型的计算结果进行包络设计。

**5.6.18** 当采用匀质圆环模型（图 5.6.18-1）进行管片结构计算时，应符合下列规定：

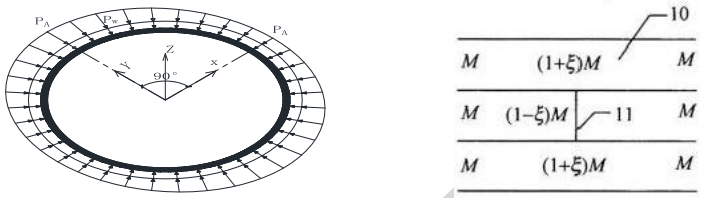



图 5.6.18-1 均值圆环模型

图中：$p_w$——水压力（kN/m²）；

$p_A$——内摩擦角设置差值后 A 点水平向土压力（kN/m²）；

$p_B$——内摩擦角设置差值后 B 点水平向土压力（kN/m²）；

**1** 装配式沉井内力计算应按不同深度截取闭合圆环计算，并假定在互成 90°的两点处土的内摩擦角差值为 4°~8°；

**2** 管片环整体刚度应折减 0.5~0.8；

**3** 错缝拼装管片环应根据环间剪力传递作用进行弯矩和轴力修正；

**4** 错缝拼装管片环在纵向接头处的接头弯矩和轴力应按下式计算：

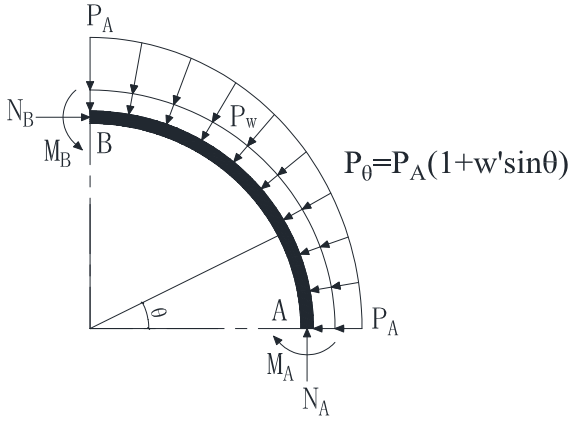



图 5.6.18-2 均值圆环管片计算

$$N_A = (P_A + P_w)\ r_c(1 + 0.7854\omega') \quad (5.6.18\text{-}1)$$

$$N_B = (P_B + P_w)\ r_c(1 + 0.5\omega') \quad (5.6.18\text{-}2)$$

$$M_A = -0.1488(P_A + P_w)\ r_c^2\omega' \quad (5.6.18\text{-}3)$$

$$M_B = -0.1366(P_B + P_w)\ r_c^2\omega' \quad (5.6.18\text{-}4)$$

$$\omega' = \frac{(P_B + P_w)}{(P_A + P_w)} - 1 \quad (5.6.18\text{-}5)$$

$$M_1 = (1 - \xi)(M_A \text{或} M_B) \quad (5.6.18\text{-}6)$$

式中：$N_A$——A 截面上的轴力（kN/m）；

$r_c$——管片的中心半径（m）；

$N_B$——B 截面上的轴力（kN/m）；

$M_A$——A 截面上的弯矩（kN·m）/m，以管片外侧受拉取负值；

$M_B$——B 截面上的弯矩（kN·m）/m；

$P_A$、$P_B$——管片外侧 A、B 点的水平向土压力（kN/m²）。

$\xi$——弯矩传递系数，可取 0.2~0.4；

$M$——匀质圆环模型的计算弯矩（kN·m）；

$M_1$——修正后的管片接头弯矩（kN·m）。

**5** 与纵向接头位置对应的相邻管片截面弯矩应按下式计算：

$$M_2 = (1 + \xi)(M_A \text{或} M_B) \quad (5.6.18\text{-}7)$$

式中：$M_2$——修正后的管片截面弯矩（kN·m）。

条文说明：根据管片拼装方式、接头数量及构造的不同，管片环整体刚度折减系数$\eta$和接头弯矩传递系数$\xi$也不同，$\eta$与$\xi$的建议值见表 12。

表 12 $\eta$与$\xi$的建议值

| 沉井外径(m) | 拼装方式 | $\eta$ | $\xi$ |
|---|---|---|---|
| 8～14 | 通缝 | 0.5～0.7 | 0.2～0.4 |
| | 错缝 | 0.6～0.8 | |
| >14 | 通缝 | 0.5～0.6 | 0.2～0.4 |
| | 错缝 | 0.6～0.7 | |

**5.6.19** 当采用弹性铰模型（图 5.6.19）进行管片计算时，应符合下列规定：

广州市市政集团有限公司

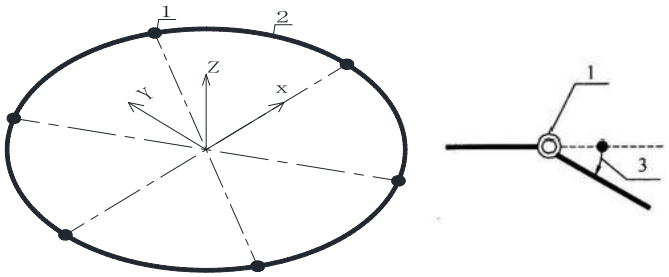



**图 5.6.19 弹性铰模型**

1 一环向接头回转弹簧；2—管片本体；3—环向接头转角

**1** 弹性铰圆环承受的荷载应与弹性匀质圆环模型相同；

**2** 管片接头应等效为可承担弯矩的弹性铰，弹性铰刚度宜由数值模拟配合经验确定，有条件时可采用试验确定；

**3** 弹性铰承受的弯矩应按下列公式计算：

$$\text{当 } M_\theta>0 \text{ 时，} \quad M_\theta=K_{\theta+}\theta_\theta \tag{5.6.19-1}$$

$$\text{当 } M_\theta<0 \text{ 时，} \quad M_\theta=K_{\theta-}\theta_\theta \tag{5.6.19-2}$$

式中：$M_\theta$——管片结构接头处所承受的弯矩（kN·m），以内侧受拉为正，外侧受拉为负；

$\theta_\theta$——接头转角（rad）；

$K_{\theta+}$、$K_{\theta-}$——接头的正弯矩回转弹簧刚度（kN·m/rad）负弯矩回转弹簧刚度（kN·m/rad）。

条文说明：弹性铰模型一般适用于管片采用通缝拼装方式的隧道，其计算简图除在管片结构纵缝位置设弹性铰外，其余均与匀质圆环模型计算简图相同。

**5.6.20** 当采用梁—弹簧模型（图 5.6.20）进行管片结构计算时，应符合下列规定：

**1** 管片环环向接头应采用回转弹簧模拟；

**2** 管片环纵向接头应采用剪切弹簧模拟；

**3** 剪切弹簧和回转弹簧的刚度可按试验或经验确定。

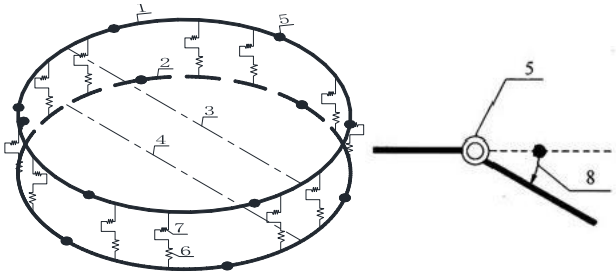



**图 5.6.20 梁-弹簧模型**

广州市市政集团有限公司

1—管片环 A 管片本体；2—相邻管片环 B 管片本体；3—管片环 A 水平轴；4—管片环 B 水平轴；5—环向接头回转弹簧；6—环间径向剪切弹簧；7—环间切向剪切弹簧；8—环向接头转角

条文说明：梁-弹簧模型建模时可沿隧道纵向取出相邻两个半环或一个整环+两个半环管片，每环管片采用弹性铰模型，将环向接头模拟为回转弹簧，环间接头模拟为剪切弹簧，是与管片结构实际情况较接近的计算模型，除可计算得到管片和纵缝的内力与变形外，还可得到纵向螺栓的内力及变形，即已自动计入了环间剪力传递作用。

接头刚度的大小直接影响管片的总体刚度，从而影响管片的内力响应。接头刚度可根据接头构造进行理论推导，或采用管片接头试验进行直接测定。一般来说，环向接头回转刚度 $K_\theta$的取值通常为 10000kN·m/rad～100000kN·m/rad，$K_\theta$增大时弯矩响应随之增大。回转弹簧的正弯矩回转刚度 $K_{\theta+}$与负弯矩回转刚度 $K_{\theta-}$宜取不同值。

根据北京地铁 5 号线的单线区间隧道盾构管片接头试验，当管片厚度为 300mm 且采用弯螺栓连接时，接头刚度的实测数据：$K_{\theta+}$=30000kN·m/rad；$K_{\theta-}$=15000kN·m/rad。

上海长江隧道进行了管片接头错缝夹片试验和直接头试验，得到环向接头转角刚度 $K$ 与所承受弯矩 $M$、轴力 $N$ 的关系式如下：

当 $M<0$ 时：
$$K_{\theta-}=\frac{M(40.15N+636809)}{M+0.008N+65} \tag{5.6.20-1}$$

当 $M>0$ 时：
$$K_{\theta+}=M\cdot e^{\frac{M-0.308N+251}{67-0.034N}} \tag{5.6.20-2}$$

式中：$M$——弯矩，以内弧面受拉为正(kN·m/环)；

$N$ ——轴力，以受压为正(kN/环)；

$K_{\theta+}$、$K_{\theta-}$——正弯矩回转刚度、负弯矩回转刚度(kN·m/rad/环)。

环间的径向、切向剪切刚度拟合计算公式如下：

径向剪切刚度：
$$\begin{cases} K_r=3243.616F-855980 & (\text{当}P_r\leqslant 1.311F+36\text{时}) \\ K_r=\dfrac{P_r(33.349F+10158)}{P_r-1.311F+36} & (\text{当}P_r>1.311F+36\text{时}) \end{cases} \tag{5.6.20-3}$$

切向剪切刚度：
$$\begin{cases} K_t=1512.487F-59638 & (\text{当}P_t\leqslant 1.362F-61\text{时}) \\ K_t=\dfrac{P_t(-10.713F+25400)}{P_t-1.362F+61} & (\text{当}P_t>1.362F-61\text{时}) \end{cases} \tag{5.6.20-4}$$

式中：$Kr$、$Kt$—环间的径向、切向剪切刚度（kN/m²）；

$Pr$、$Pt$—环缝的径向、切向剪切分布力（kN·m/环）；

$F$—环缝的纵向分布力（kN/m）。

接头回转弹簧刚度有线性模型、双线性模型及非线性模型等。

大量试验表明接头回转弹簧受到偏心距 $e$ 的影响，存在一个临界偏心距值 $e_0$(取为 $0.3h$，$h$ 为管片截面高度)，如果 $e \le e_0$则为小偏心受压条件；如果 $e > e_0$则为大偏心受压条件。建议当 $e \le e_0$时采用线性模型来描述接头弯矩-相对转角本构关系，当 $e > e_0$时采用双线性模型或非线性模型来描述接头弯矩-相对转角本构关系。

**5.6.21** 当采用梁—接头模型（图 5.6.21）进行管片结构计算时，应符合下列规定：

**1** 管片环应采用梁单元模拟；

**2** 环向及纵向接头应采用接头单元模拟。

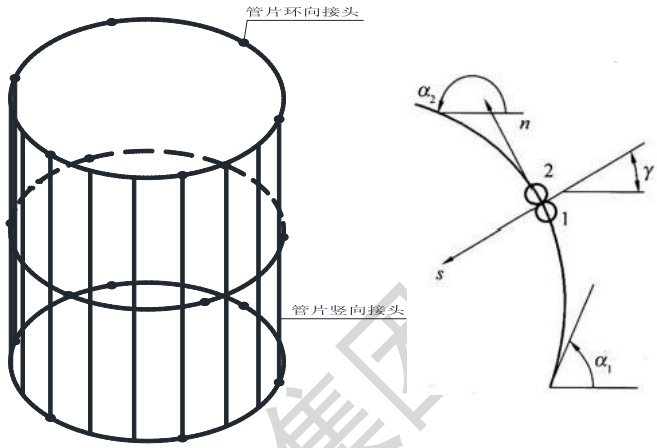



**图 5.6.21 梁—接头模型**

1—接头节点 1；2—接头节点 2

**5.6.22** 管片结构与地层间的相互作用（图 5.6.22）计算应符合下列规定：

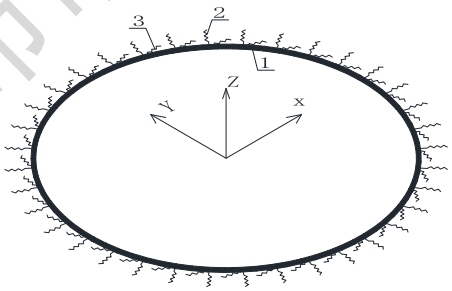



**图 5.6.22 管片结构与地层相互作用计算模型**

1—管片环；2—法向地基弹簧；3—切向地基弹簧

**1** 沉井计算模型采用地基弹簧模型；地基弹簧应基于局部变形理论和温克尔假定，并应采用法向受压地基弹簧和切向地基弹簧模拟；

**2** 地基弹簧刚度应按下列公式计算确定：

$$k = K_n B l \tag{5.6.22-1}$$

广州市设计集团有限公司

$$K_n = k_h \cos^2 a_s + k_v \sin^2 a_s \qquad (5.6.22\text{-}2)$$

式中： $k$——地基法向弹簧刚度 (kN/m)；

$K_n$——地层法向基床系数 (kN/m³)；

$B$——计算单元宽度 (m)；

$l$——相邻计算单元长度平均值 (m)；

$k_h$——地层平均水平基床系数 (kN/m³)；

$k_v$——地层平均垂直基床系数 (kN/m³)；

$a_s$——弹簧的作用中心线与水平线的夹角。

**3** 切向地基弹簧刚度可取为法向地基弹簧刚度的 1/3。

条文说明：地基弹簧模型是在沉井外周设置地基弹簧，地基弹簧不允许受拉，弹簧刚度依据隧道所穿越地层的基床系数计算确定。垂直基床系数参考值见表 13，水平基床系数可取垂直基床系数的 2 倍。

**表 13 地层垂直基床系数参考值**

| 地基土分类 | | $I_L$、$e$、$N$ 范围 | 地层垂直基床系数 $k_v$(MN/m³) |
|---|---|---|---|
| 黏性土 | 软塑 | $0.75<IL\leq1$ | 3～9 |
| | 可塑 | $0.25<IL\leq0.75$ | 9～15 |
| | 硬塑 | $0<IL\leq0.25$ | 15～30 |
| | 坚硬 | $IL\leq0$ | 30～45 |
| 黏质粉土 | 稍密 | $e>0.9$ | 3～12 |
| | 中密 | $0.75\leq e\leq0.90$ | 12～22 |
| | 密实 | $e<0.75$ | 22～35 |
| 砂质粉土砂土 | 松散 | $N\leq7$ | 3～10 |
| | 稍密 | $7<N\leq15$ | 10～20 |
| | 中密 | $15<N\leq30$ | 20～40 |
| | 密实 | $N>30$ | 40～55 |
| 砾石、碎石、砾砂 | 密实 | | 50～100 |
| 软岩、硬岩 | 强风化或中风化 | | 200～1000 |
| 硬岩 | 微风化 | | 1000～1500 |

注：$I_L$ 为土的液性指数；$e$ 为土的天然孔隙比；$N$ 为标准贯入试验锤击数实测值。

广州市政集团有限公司

**5.6.24** 当沉井井环节段采用现场浇筑施工或整环预制时，其设计应满足协会现行标准《沉井技术规程》T/CECS ***的相关要求。

**5.6.25** 当沉井结构采用双层衬砌时，二次衬砌设计应结合沉井使用功能，沉井直径、环境条件及衬砌受力等综合确定。二次衬砌可采用钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢内衬或钢板与混凝土复合结构等形式。

**5.6.26** 根据二次衬砌与管片衬砌结合方式的不同，衬砌可分为复合式和叠合式两种形式。当采用复合式衬砌时，应在二次衬砌和管片衬砌之间设置防水板或隔离层；当采用叠合式衬砌时，应对管片衬砌内表面基层进行表面处理。

**5.6.27** 当符合下列情况之一时，应对二次衬砌结构进行受力计算：

**1** 二次衬砌为结构主体，而管片衬砌为某一特定时期使用的临时结构；

**2** 二次衬砌与管片衬砌同时作为沉井主体结构协同受力；

**3** 二次衬砌用于对管片衬砌补强或加固作用。

**5.6.28** 当二次衬砌用于沉井防腐蚀、抗渗及内部装饰时，可不进行结构计算。

**5.6.29** 二次衬砌应根据与管片衬砌结合方式不同，分别按复合式衬砌和叠合式衬砌进行计算。

**5.6.30** 沉井内有楼板、隔墙等内部承载结构且与衬砌结构有连接时，应对沉井结构进行整体结构的稳定性和承载力计算，并应对连接位置局部节点结构强度进行验算。

### IV 连接设计

**5.6.31** 沉井管片连接构造应满足荷载作用下的强度、变形和防水要求。

条文说明：沉井管片连接构造形成具有一定刚度的柔性结构，同时应限制其在变形并满足受力和防水要求。

**5.6.32** 管片连接螺栓技术要求应满足现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 及《钢结构设计标准》GB 50017 中的相关规定。

**5.6.33** 管片接头构造应符合下列规定：

1 管片接头构造可根据沉井变形要求、接头张开量限值及现场施工水平等因素采用平板型、凹凸槽型等形式；

2 管片环缝、纵缝均宜设置凹凸榫抗剪措施；

3 管片环缝应设置剪力销抗剪措施；

4 管片纵缝接头可根据机械设备性能和沉井拼装精度要求决定是否采用定位棒辅

广州市市政集团有限公司

助拼装定位。

条文说明：凹凸榫槽的设置主要是增加管片的连接刚度，并有利于控制管片拼装的精度。增加榫槽从理论上分析应该说是有利的，但对管片拼装速度、错缝拼装情况下管片开裂的控制相对而言是不利的，需综合考虑确定。一般工况下，沉井管片纵缝在外部水平水土压力下接缝张开小，而管片环缝由于沉井深度变化或地质变化，接缝张开相比纵缝要大;另外，管片的错台主要集中在环缝。因此，榫槽宜设置在环缝面。

**5.6.34** 管片环缝及纵缝凹凸榫槽设计应符合下列规定：

**1** 凹凸榫槽宜设置于管片厚度方向的中部，其尺寸拟定时不应影响管片外侧的防水密封垫槽和内侧的嵌缝槽设置；

**2** 管片凹凸槽的形状应平顺，槽间隙尺寸应与管片制作误差、管片拼装进度相匹配；

**3** 凹凸榫槽应进行外力作用下的混凝土局部受压承载能力及抗剪承载能力验算。

条文说明：凹凸榫通常由凸榫（榫头）和凹榫（榫槽）组成，分别预制在相邻管片的接缝面上。凸榫为突出的矩形或圆端形结构，凹榫为对应的凹槽，两者通过高精度加工实现紧密配合。凹凸榫通过机械咬合限制管片间的相对位移，传递环向和纵向荷载。图4~图 5 为凹凸榫大样图。

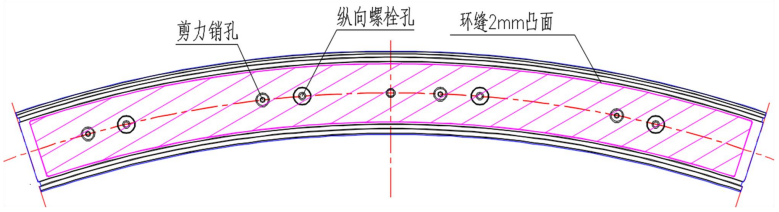



图 4 环缝凹凸榫大样图

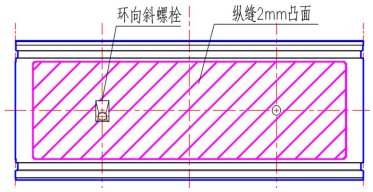



图 5 纵缝凹凸榫大样图

**5.6.35** 管片凹凸榫根部截面在标准值组合下的混凝土剪应力应按式 5.6.35-1 计算。

$$\tau_{ck}^{\ t}=\frac{1.5V_k^{\ t}}{\sum_i A_{ck,i}}\le 0.7f_{ck}'\sqrt{0.009+0.095\frac{\sigma^t_{pc,a}}{f_{ck}'}-0.104\left(\frac{\sigma^t_{pc,a}}{f_{ck}'}\right)^2} \qquad (5.6.35\text{-}1)$$

式中：$\tau_{ck}^{\ t}$——凹凸榫根部截面混凝土的剪应力（MPa）；

$V_k^t$ ——计入动力系数作用标准值组合在接缝截面产生的剪力（N）；

$i$ ——凹凸榫较薄弱侧键块的序号；

$A_{ck,\,i}$ ——第 $i$ 个凹凸榫根部的截面面积（$mm^2$）；

$f_{ck}^{'}$ ——混凝土的轴心抗压强度标准值（MPa），取接缝两侧强度较低者；

$\sigma_{pc,a}^t$ ——接缝全截面的平均压应力（MPa）。

**5.6.36** 管片环缝剪力销应考虑拼装定位功能、抗剪刚度及抗剪能力等因素进行设计。其构造应符合下列规定：

**1** 剪力销宜均匀设置于管片环缝端面，剪力销孔宜与纵向螺栓孔相对应（或兼纵向螺栓孔）设置，形成“销栓协同受力”体系；

**2** 剪力销应避开管片角部应力集中区，且需与密封垫沟槽保持一定距离，避免挤压密封垫；

**3** 剪力销宜设置在管片中性轴附近，尽量避免剪力销承受弯矩。

条文说明：剪力销孔和纵向螺栓孔尺寸可进行统一，管片环间采用错缝拼装时，相邻环间旋转一定角度，确保管片纵向螺栓孔和剪力销孔相互兼用。管片剪力销是环间抗剪的核心部件，设计需遵循“销栓协同、定位精准、构造加强”原则，管片环缝剪力销（如图 6）可采用外部 ABS 塑材呈镂空状，内部为钢制空心管，在保证抗剪刚度的同时，外部镂空材料具有一定的柔性，允许管片产生微量的变形进而释放应力，避免剪力销挤碎管片混凝土。剪力销在管片拼装过程中起到至关重要的导向作用，同时承担管片环间的错台剪力，并有效控制沉井结构环间的错台。表 14 中统计了中外装配式机械法沉井管片剪力销设置情况。

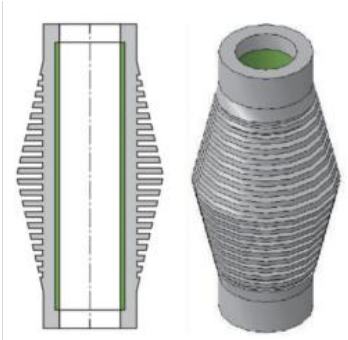


图 6 剪力销大样图

表 14 中外装配式机械法沉井管片剪力销设置统计表

| 工程名称 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 剪力销设置情况 | 来源 |
|---|---|---|---|---|

广州市城建开发有限公司

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 68 | 每块管片设置 6 个螺栓兼剪力销孔，设置 3 个纵向螺栓孔和 3 个剪力销孔，剪力销孔和纵向、螺栓孔可互换使用。 | 《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 外径⌀ 22.8<br>内径⌀ 21.0 | 50.5 | 每块管片设置 4 个纵向螺栓孔和 4 个剪力销孔，互不兼用。 | 《装配式竖井掘进法应用案例与技术要点研究》中国市政工程 |
| 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径⌀ 14.0<br>内径⌀ 13.0 | 27.0 | 每块管片设置 4 个纵向螺栓孔和 2 个剪力销孔，互不兼用。 | 《花岗岩复合地层竖井垂直机械法施工技术研究与应用》广东土木与建筑 |
| 俄罗斯圣彼得堡排污井 | 外径⌀ 8.4<br>内径⌀ 7.7 | 85.0 | 每块管片设置 3 个纵向螺栓孔和 3 个剪力销孔，互不兼用。 | 《装配式竖井预制混凝土管片结构设计》隧道建设（中英文） |
| 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 33.44 | 每块管片设置 4 个纵向螺栓孔和 2 个剪力销孔，互不兼用。 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |
| 竹园白龙港污水联通管工程 | 外径 φ 12.8<br>内径 φ 12.0 | 38.5 | 每块管片设置 6 个螺栓兼剪力销孔，设置 3 个螺栓和 3 个剪力销。 | 施工图 |

**5.6.37** 管片环向连接应采用螺栓连接方式，竖向连接采用通长螺栓或预应力连接。

**5.6.38** 管片竖向通长螺栓需对称均匀预留孔道，沿沉井高度方向通长贯穿整环预制管片。

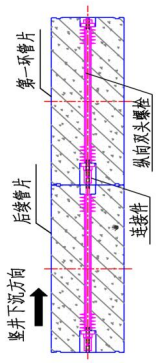



图 5.6.38 管片竖向通长螺栓连接图

**5.6.39** 管片竖向预应力连接方式应符合下列规定：

**1** 预应力连接宜采用预应力螺纹钢筋，并应符合各行业现行规范；

**2** 预应力连接孔道内径宜比预应力钢筋外径及需穿过孔道的连接器外径大 6mm~15mm，且孔道的截面积宜为预应力钢筋截面的 3.0~4.0 倍；

广州市市政集团有限公司

**3** 预应力连接器、锚垫板等应根据现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85的有关规定选用，并满足相应的质量要求。

条文说明：预应力连接套筒口可设计成导向楔形，降低预埋定位时对精度的要求，在既有管片拼装精度条件下，预应力螺栓能顺利诱导到位，并能旋拧到位。粗牙螺栓的套筒预埋在钢筋混凝土内，具有良好的锚固条件。螺栓和套筒的匹配度需满足一定的要求管片吊装时，相邻2块之间存在一定错台量，可通过环向螺栓连接拉紧。

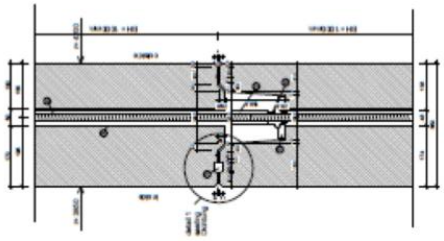


图 7 管片竖向预应力连接图

**5.6.40** 管片竖向预应力连接需预埋高密度聚乙烯（HDPE）套管或钢管，使用阶段预应力连接管道应采用水泥基灌浆料进行压浆处理，水泥基灌浆料性能指标应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408的有关规定。

条文说明：灌浆材料要具有高强、早强、和易性好、微膨胀等特性，灌浆料的具体指标参考现行《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408确定。

**5.6.41** 管片环向连接方式应符合下列规定：

**1** 根据管片形式、接头受力要求、拼装要求、接头止水要求等可采用斜螺栓连接、剪力销、承插式接头、楔形连接等连接方式，其中斜螺栓连接孔宜设置在管片外侧；

**2** 管片环向螺栓孔直径宜按表5.6.41选用，并应满足相关规范；

**表 5.6.41 管片螺栓孔直径 (mm)**

| 螺栓直径 | 20 | 24 | 27 | 30 | 36 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 螺栓孔最小处直径 | 23～26 | 27～30 | 30～33 | 33～36 | 39～42 | 43～46 |

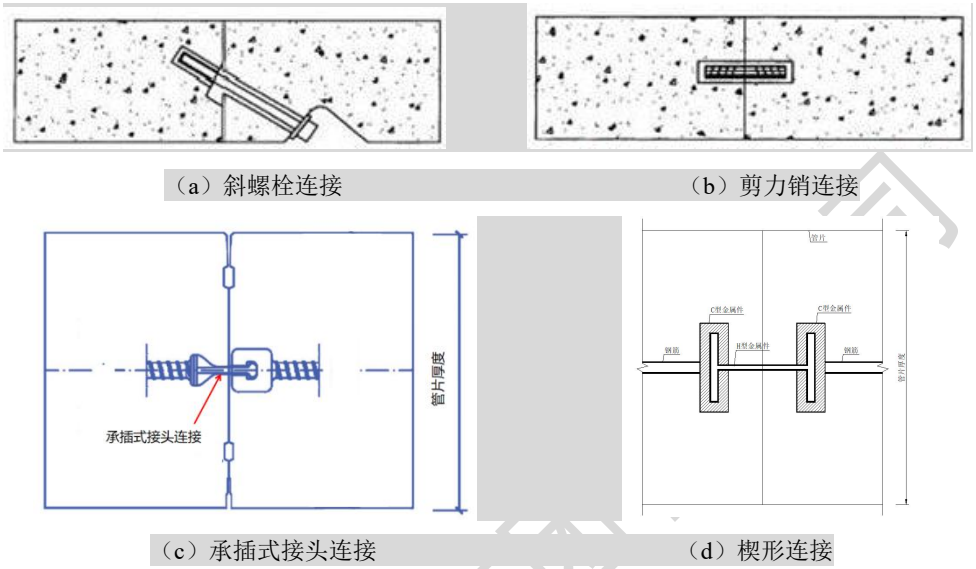
**3** 螺栓手孔设计应满足管片、螺栓受力及螺栓紧固操作要求。

条文说明：盾构隧道螺栓孔设置在管片内侧，而沉井螺栓孔的位置，一般设置于管片外侧。主要考虑沉井管片外侧具有施工平台，可以方便施工斜螺栓，而沉井内侧有机械挖掘设备，不便于人员在管片内侧施工螺栓。基于此，沉井螺栓孔均设置在管片外侧，且不会采用弯螺栓连接和直螺栓连接。

管片与管片之间以及管片环之间的连接方式可分为柔性连接和相对刚性连接。柔性

广州市政集团有限公司

连接一般采用单排螺栓连接形式，允许相邻管片间产生微小的转动和张开，使管片环能按内力分布状态产生相应的变形，以改善管片的受力状态；相对刚性连接则通过增加连接螺栓的数量或者接头构造，在构造上使接缝处的刚度尽量接近管片本身。目前较为通用的是柔性连接，常用的柔性管片螺栓连接形式有单排斜螺栓连接、剪力销连接等形式，见图 8。




（a）斜螺栓连接　　（b）剪力销连接

（c）承插式接头连接　　（d）楔形连接

**图 8 管片螺栓连接示意**

斜螺栓（图 a）连接采用直螺栓，以一定斜角从管片手孔插入贯穿管片预留螺栓孔，旋进相邻管片的预埋塑料螺栓套内，拧紧以连接管片。

剪力销连接（图 b）靠插销的锯齿状牙反扣两片相邻管片预埋塑料套内壁实现纵向连接。其连接强度较低，通常与其他连接方式结合使用。

采用承插式接头连接（图 c）的管片无需设置手孔，成型沉井外壁光滑。目前该连接件在国内的研究和应用还处于起步阶段。承插式接头连接有着更高的转角刚度和抗剪刚度，有效地减少了纵缝张开和结构整体变形。上海地铁 18 号线区间段采用了该种连接件，取得了很好的施工效果。

楔形连接（图 d）主要用于管片环向接头。它是一种利用楔形作用将管片连接在一起的接头，因其具有较大的接头转动刚度，故管片环有不易产生变形的特点。

根据连接形式的特点，表 15 统计出国内外装配式机械法沉井管片采取的主要螺栓方式。

**表 15 国内外装配式机械法沉井管片螺栓连接型式表**

| 序号 | 工程案例 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 螺栓连接型式 | 来源 |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径ø12.8<br>内径ø12.0 | 68.0 | 管片块与块采用 2M27 环向斜螺栓预紧螺栓连接；环间采用 3M27 纵向螺栓和 3 个剪力销；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。 | 《装配式竖井设计与施工技术应用研究——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 2 | 东方路城建设计大厦前竖井式地下停车库 | 外径ø12.3<br>内径ø11.3 | 20.0 | 管片块与块采用 2M36 环向斜螺栓连接；环间采用纵向 M30 长螺栓预应力连接，错开锚固接长；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。 | 《沉井式预制拼装结构壳－接头模型的三维数值模拟》隧道建设（中英文） |
| 3 | 静安区垂直掘进地下智慧车库项目 | 外径ø22.6<br>内径ø21.0 | 50.5 | 管片块与块通过 2M39 环向斜螺栓连接；环间通过 4M48 纵向通长直螺栓和 4 个剪力销；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。<br>管片环纵间均设置凹槽凸榫。 | 《装配式竖井掘进法应用案例与技术要点研究》中国市政工程 |
| 4 | 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径ø14.0<br>内径ø13.0 | 27.0 | 管片块与块通过 2M27 环向斜螺栓连接；环间通过 4M27 纵向通长直螺栓和 2 个剪力销；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。<br>管片环纵间均设置凹槽凸榫。 | 《复合地层沉井式竖井机械法掘进施工技术》价值工程 |
| 5 | 俄罗斯圣彼得堡排污井 | 外径ø8.4<br>内径ø7.7 | 85.0 | 管片块与块通过 2M20 环向斜螺栓连接；环间采用 M20 纵向通长螺栓和 3 个剪力销；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。<br>管片环间设置凹槽凸榫。 | 《装配式竖井预制混凝土管片结构设计》隧道建设（中英文） |
| 6 | 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径ø12.8<br>内径ø12.0 | 33.44 | 管片块与块通过环向螺栓连接；环间采用纵向螺栓，环间设置剪力销；管片采用错缝拼装；螺栓手孔设置于外弧面。 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |

**5.6.42** 钢筋混凝土或钢-混凝土混合结构底节与首节预制管片连接时，连接设计应满足强度及防水要求。

**5.6.43** 管片竖向连接可采用预应力连接，采用预应力连接时需考虑由下列因素引起的预应力损失：

**1** 预应力钢筋与管道壁之间的摩擦 $\sigma_{l1}$；

**2** 锚具变形、钢筋回缩和接缝压缩 $\sigma_{l2}$；

**3** 预应力钢筋与台座之间的温差 $\sigma_{l3}$；

**4** 混凝土的弹性压缩 $\sigma_{l4}$；

**5** 预应力钢筋的应力松弛$\sigma_{l5}$；

**6** 混凝土的收缩和徐变$\sigma_{l6}$。

**7** 预应力损失计算可按现行规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 中规范执行。

**5.6.44** 沉井管片结构应进行管片接头计算，并应符合下列规定：

**1** 管片接头计算内容应包括接管片接头强度验算及接缝张开量计算；

**2** 管片接头强度验算应包括连接螺栓或预应力连接抗拉强度、抗剪强度、混凝土局部受压强度验算，并宜包括螺栓手孔处管片本体的抗剪和抗冲切承载力验算；

**3** 当管片接头处设有凹凸榫槽时，可不进行螺栓或预应力连接的抗剪强度验算。

**5.6.45** 管片接头处接缝张开量以环向螺栓达到允许拉应力时管片外侧的张开量作为验算标准，应按式 5.6.45-1 和 5.6.45-2 进行计算，接缝张开量须满足弹性密封条的防水适应能力。

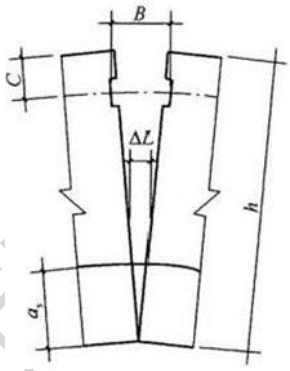



**图 5.6.45 管片接头张开量计算简图**

$$B = \Delta L \times \frac{h-c}{a_s} \tag{5.6.45-1}$$

$$\Delta L = \frac{[\sigma]}{E} \times L \tag{5.6.45-2}$$

式中：$B$——管片接头处接缝张开量（m），按第 5.3.16 条中确定；

$h$——管片厚度（m）；

$c$——弹性密封垫中心距管片外弧面厚度（m）；

$L$、$\triangle L$——螺栓长度、螺栓伸长量（m）；

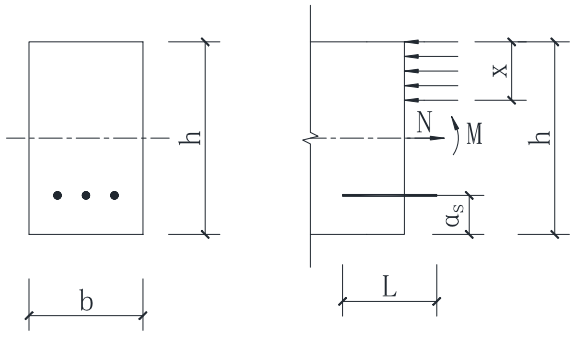
$[\sigma]$——环向螺栓允许拉应力（N/mm²）；

$\alpha_s$——螺栓中心至管片内弧面距离（m）；

$E$——螺栓弹性模量（N/mm²）。

广州市市政工程设计研究有限公司

**5.6.46** 管片环向螺栓强度验算应符合下列规定：




(a) 环向接头横剖面　　(b) 环向接头纵剖面

**图 5.6.46 钢筋混凝土管片环向螺栓计算简图**

**1** 钢筋混凝土管片的环向螺栓应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中矩形截面偏心受压构件的承载能力极限状态模型计算螺栓拉应力；

**2** 钢筋混凝土管片环向螺栓计算简图如图 5.6.46 所示；

**3** 管片环向螺栓强度可按式 5.6.46-1 和 5.6.46-2 验算。

$$T = \alpha_1 f_c b x - N \tag{5.6.46-1}$$

$$M = \alpha_1 f_c b x \left( h - a_s - \frac{x}{2} \right) \tag{5.6.46-2}$$

式中：$M$——接头处弯矩设计值（kN）；

$N$——接头处轴力设计值（kN）；

$h$——管片厚度（m）；

$b$——管片环宽（m）；

$T$——螺栓拉力（kN）；

$x$——混凝土受压区高度

$\alpha_s$——螺栓中心至管片侧面距离（m）；

$f_c$——管片混凝土轴心抗压强度设计值（kPa）；

$\alpha_1$——系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，$\alpha_1$取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时，$\alpha_1$取 0.94，其间按线性内插法确定。

**5.6.47** 管片竖向预应力连接或通长螺栓连接强度验算应符合下列规定：

**1** 竖向预应力连接或通长螺栓连接应进行管片施工和使用阶段的抗剪强度验算；

**2** 应进行各工况下的竖向预应力连接或通长螺栓连接抗拉强度验算。

**5.6.48** 当进行钢筋混凝土管片环向螺栓手孔设计时，应对环向螺栓连接处混凝土结构

广州市市政集团有限公司

进行抗剪、抗冲切承载力及混凝土局部受压强度验算，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

## 5.7 封底设计

**5.7.1** 沉井封底混凝土厚度应根据基底水压力、地基土的向上反力，井孔内填料情况以及封底混凝土各受力阶段的要求计算确定，并应按下列工况计算：

**1** 封底后需要抽水施工的，封底混凝土承受基底水和土的向上反力，并按抽水时封底混凝土的实际强度计算；

**2** 井孔内不填充混凝土的，封底混凝土承受沉井基础全部荷载所产生的基底反力，井孔内如填砂宜扣除其重力作用；

**3** 封底后需抽水施工底板，封底混凝土只作为临时止水措施的，封底混凝土承受基底水的向上反力，封底混凝土的厚度应根据基底的向上净反力计算确定：

$$h_t \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} + h_u \qquad (5.7.1\text{-}1)$$

式中，$h_t$——沉井水下封底混凝土厚度（m）；

$M$——每米宽度最大弯矩的设计值（kN·m）；

$b$——计算宽度（m），取 1m；

$f_t$——混凝土抗拉强度设计值（$N/mm^2$）；

$h_u$——附加厚度（m），可取 0.3m~0.5m。

**4** 封底混凝土板的边缘应进行冲剪验算，冲剪处的封底厚度应在设计图中注明，计算厚度应扣除附加厚度。

**5** 圆形封底混凝土板的抗剪应按下列公式验算（图 5.7.31）：

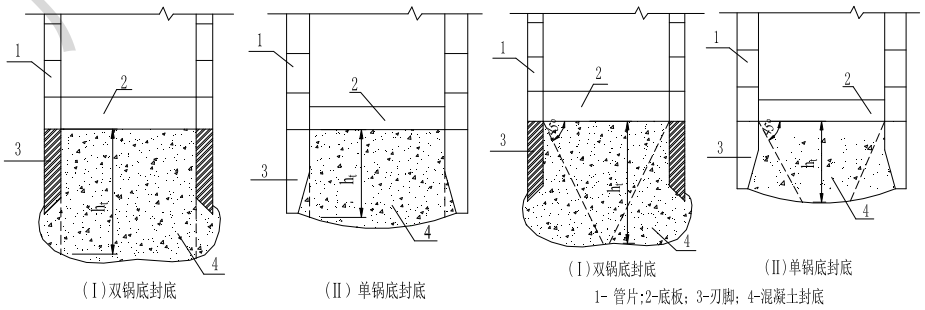



**图 5.7.1 (a)封底混凝土抗剪计算示意图；(b)封底混凝土抗冲切计算示意**

$$h_t - h_u - \frac{|Q|}{0.366 f_t \pi (d - 2t)} \geq 0 \qquad (5.7.1\text{-}2)$$

广州市市政集团有限公司

**6** 圆形封底混凝土板的抗冲切应按下列公式验算（图 5.7.31）：

$$h_t - h_u - \frac{|V|}{0.6 f_t \pi (d - 2t - h_t)} \geq 0 \qquad (5.7.1\text{-}3)$$

式中，$Q$——封底板边缘最大剪力（kN）；

$V$——封底板边缘最大冲切力（kN）；

$t$——井壁厚度（m）；

$d$——圆形沉井外直径（m）；

条文说明：当机械法沉井采用 SAM 工法时，带有伸缩臂的铣挖头沿着工作平台可 360 度摆动，开挖面形成双锅底型。其余工法开挖面一般为单锅底型。

**5.7.2** 沉井底板结构计算应按下列规定：

**1** 应根据钢筋混凝土底板几何形状尺寸、与井壁所设凹槽及底板与井壁的钢筋连接构造情况，确定底板支承条件为简支、固定或弹性固定。底板与井壁间，当无预留钢筋连接时，应按铰接考虑；当用钢筋整体连接时，可按弹性固定考虑；

**2** 底板应按施工阶段及使用阶段的最不利荷载取值计算；

**3** 圆形底板在均布荷载作用下的计算可按本规程附录 B 的的规定执行。

## 5.8 防水设计

**5.8.1** 装配式机械法沉井管片应采用“以防为主、刚柔结合、因地制宜、综合治理”的防水设计原则。

**5.8.2** 装配式机械法沉井管片防水与防腐蚀设计应根据使用功能与要求、结构特点、水文地质条件、使用环境条件、施工条件确定。

**5.8.3** 装配式机械法沉井的防水等级应根据工程类别、工程使用环境类别等因素按现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 的有关规定确定。

**5.8.4** 钢筋混凝土管片应采用防水混凝土制作，其抗渗等级应根据防水等级确定，最低抗渗等级不应小于 P10。

条文说明：现行《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 中第 4.2.3 条中规定装配式管片防水等级为一级、二级抗渗等级不小于 P10，防水等级为三级抗渗等级不小于 P8。装配式机械法沉井防水等级一般不小于二级。

**5.8.5** 钢筋混凝土管片应进行单块检漏试验。管片外表在设计抗渗压力下，恒压 2h，最大渗水深度不得超过主筋保护层厚度。

广州市市政集团有限公司

条文说明：钢筋混凝土管片均采用自防水混凝土，为确保其耐久性，对防水混凝土的抗渗性能提出较高要求，避免钢筋遇水锈蚀，降低其耐久性。

**5.8.6** 管片接缝至少应设置一道密封垫。当管片厚度不小于 400mm 且沉井处于富含水区域时，应设置两道密封垫；当管片厚度小于 400mm 且处于富含水区域时，宜在管片密封垫表面增设遇水膨胀条等加强防水。

条文说明：管片接缝防水是沉井管片最为重要的防水部位，需要重点解决该部位的防水问题。根据管片厚度和隧道断面尺寸，一般沉井的管片接缝部位均应设置一至两道防水密封垫。当沉井临近江河、湖海等富含水区域时，为确保管片接缝防水质量，管片厚度不小于 400mm 时，有条件在管片内弧侧和外弧侧各设置一道密封垫凹槽，设置两道密封垫可确保管片接缝防水的可靠性；当管片厚度小于 400mm 时，难以设置两道密封垫凹槽，可采取在单道密封垫表面增设一层遇水膨胀橡胶片或在密封垫中部增设遇水膨胀密封条的方式加强防水。

**5.8.7** 密封垫应沿管片侧面成环设置。密封垫沟槽形式、截面尺寸应与密封垫形式和尺寸相匹配。

条文说明：管片拼装成型后，密封垫被压缩在密封垫沟槽内。为保证密封垫均匀变形、密封垫的弹性应力达到设计要求，密封垫沟槽形式、截面尺寸应与密封垫形式和尺寸相匹配。

**5.8.8** 密封垫沟槽截面积应按下式计算：

$$A = (1 \backsim 1.15)A_0 \tag{5.8.8-1}$$

式中：$A$ ——密封垫沟槽截面积；

$A_0$ ——弹性密封垫橡胶部分的截面积。

条文说明：为确保密封垫能够完全压入密封垫沟槽，要求密封垫沟槽的截面积应大于或等于密封垫橡胶部分的截面积，避免橡胶材料受到挤压破坏。同时为保证密封垫压缩后弹性应变能够抵抗埋深状态的水压，密封垫沟槽截面积一般不宜超过密封垫截面积的 1.15 倍。

**5.8.9** 密封垫宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封垫应符合下列规定：

**1** 密封垫应能保障在计算的接缝最大张开量、设计允许的最大错位量及埋深水头不小于 2 倍水压的情况下不渗漏；

**2** 密封垫的压缩永久变形率不应大于 25%；

广州市市政集团有限公司

**3** 环缝闭合压缩力应小于管片自重和竖向悬吊力所形成的闭合压缩力；

**4** 接触应力应不小于设计防水压力，即 2 倍最大水压力；

**5** 密封垫应满足现行国家规范《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 18173.4 的有关规定。

条文说明：密封垫防水的原理是密封垫接触面的法向应力大于外水压力在环、纵缝处产生的径向应力。密封垫接触法向应力小于地下水压力时，会引起接缝部位渗漏水。国内一般地下沉井中，对于管片接缝张开量与密封垫的断面尺寸之间的关系是根据沉井深度来确定的。

沉井管片环向采用螺栓连接，下沉到位后，受周围水土压力作用管片环呈收缩状态，纵缝密封垫进一步压紧，满足水密性要求。管片竖向通过纵向螺栓连接，环缝密封垫通过管片自重和竖向拉杆拉力提供所需的闭合压缩力（密封垫完全压入管片沟槽内的总压力），满足水密性要求。

**5.8.10** 嵌缝防水设计应符合下列规定：

**1** 嵌缝槽宜采用弹性、刚性或遇水膨胀类密封材料进行嵌缝，应各自按现行国家标准要求进行检测；

**2** 嵌缝材料应具有良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性。

条文说明：弹性、刚性或遇水膨胀类聚氨酯建筑密封胶、聚合物水泥砂浆或速凝型快硬水泥或遇水膨胀止水胶等。

**5.8.11** 螺栓孔防水应符合下列规定：

**1** 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽；

**2** 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配；

**3** 螺孔密封圈应采用合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

**5.8.12** 管片外侧手孔应采取防水材料进行填充密封，作为防水及阻挡泥沙措施，且应按现行国家标准要求进行检测；

条文说明：手孔封堵材料包含聚合物水泥砂浆或速凝型快硬水泥。

**5.8.13** 注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

**1** 注浆管密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置。

**2** 注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

广州市市政集团有限公司

## 5.9 辅助设计

### I 环梁设计

**5.9.1** 沉井施工机械安装前，应沿沉井顶部周边设置圆形环梁。

**5.9.2** 环梁设计应满足下列规定：

**1** 环梁地基不满足施工要求时，宜采用旋喷桩、水泥搅拌桩、MJS、注浆、管桩、灌注桩等进行地基处理；

**2** 环梁宜采用钢筋混凝土结构，且混凝土的设计强度等级不宜低于 C25，环梁的强度和稳定性应满足沉井机械施工的要求；

**3** 环梁的基坑支护结构应根据周边环境、场地工程水文地质条件、开挖深度选择合理的支护形式，可采用放坡或钢板桩支护；

**4** 环梁可按弹性地基上的水平圆梁计算，当采用灌注桩等刚性桩作为地基处理时，可按多跨连续水平圆弧梁计算；

**5** 环梁可采用装配式钢结构，钢环梁设计制作应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

条文说明：第 4 款 南京市建邺区沉井式停车库装配式沉井钢筋混凝土环梁地基采用三轴水泥搅拌桩加固。

### II 桩基设计

**5.9.3** 抗拔桩极限抗拔承载能力的计算应满足《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等相关行业标准的要求。

条文说明：抗拔桩可应用于为 SOCS 工法提供下压力的反力装置、环梁地基加固或提高沉井抗浮稳定性。

**5.9.4** 抗拔桩应进行桩身承载能力和裂缝控制计算，并应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等相关行业标准的要求。

### III 锚索设计

**5.9.5** 锚索类型应根据工程要求、锚固地层性质、锚索承载力、锚索长度、现场条件、施工方法等因素按表 5.9.5 综合确定。

**表 5.9.5 锚索类型及选择**

| 序号 | 锚索类型 | 适用条件 |
|---|---|---|

广州市市政集团有限公司

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 灌浆型预应力锚索 | • 锚固地层为岩体或土层<br>• 单锚拉力设计值 200～10000kN<br>• 对位移控制要求严格的工程<br>• 锚索长度可达 100m 或更大 |
| 2 | 荷载分散型锚索 | • 锚固地层为软岩或土层<br>• 单锚拉力设计值 600kN～3000kN<br>• 采用集中拉力型锚索无法满足高拉力设计值的软弱地层锚固工程<br>• 锚索长度可达 50m<br>• 压力分散型锚索还适用于严重腐蚀性环境，或有拆除芯体要求的锚固工程 |

条文说明：岩土锚索可应用于为 SOCS 工法提供下压力的反力装置。

**5.9.6** 锚索的设置应避免对相邻建（构）筑物的基础产生不利影响。

**5.9.7** 锚索的间距除必须满足锚索的受力要求外，尚宜大于 1.5m，当所采用的间距更小时，应将锚固段错开布置，或改变相邻锚杆的倾角。

**5.9.8** 锚索的钻孔直径除应满足锚索的拉力设计值外，尚应符合下列规定：

**1** 钻孔内预应力钢绞线的面积不超过钻孔面积的 15%；

**2** 预应力筋的保护层厚度不小于 10mm。

**5.9.9** 锚索锚固段上的覆土层厚度不宜小于 4.5m。

**5.9.10** 锚索索体的截面面积应按下式确定：

$$A_s \geq \frac{K_t N_t}{f_{ptk}} \tag{5.9.10}$$

式中：$K_t$——锚索索体的抗拉安全系数，不应小于 1.6；

$N_t$ ——锚索的轴向拉力设计值（kN）；

$f_{ptk}$ ——钢绞线的抗拉强度标准值（kPa）。

**5.9.11** 压力分散型锚索锚固段注浆体的承压面积应按下式验算：

$$K_p N_t \leq 1.35 A_p \left(\frac{A_m}{A_p}\right)^{0.5} \eta f_c \tag{5.9.11}$$

式中：$K_p$——单元锚索锚固段注浆体的局部抗压安全系数，取 2.0；

$N_t$ ——单元锚索的轴向拉力设计值（N）；

$A_p$ ——单元锚索承载体与锚固段注浆体横截面的净接触面积，即毛受压面积扣除孔道面积（$mm^2$）；

广州市市政集团有限公司

$A_m$ ——锚索锚固段注浆体的横截面面积（$mm^2$）；

$\eta$ ——有侧限锚固段注浆体的强度增大系数，由试验确定；

$f_c$ ——锚固段注浆体的轴心抗压强度标准值（$N/mm^2$）。

**5.9.12** 锚索或单元锚索的锚固段长度可按下式估算，并取其中的较大值：

$$L_a > \frac{KN_t}{\pi D f_{mg} \varphi} \tag{5.9.12-1}$$

$$L_a > \frac{KN_t}{n \pi d \xi f_{ms} \varphi} \tag{5.9.12-2}$$

式中：$K$ ——锚索锚固体的抗拔安全系数，不应小于 1.5；

$N_t$ ——锚索或单元锚索的轴向拉力设计值（kN）；

$L_a$ ——锚索锚固段长度（m）；

$f_{mg}$ ——锚固段注浆体与地层间的粘结强度标准值（kPa），通过试验确定；当无试验资料时，可按表 5.9.12-1 或表 5.9.12-2 取值；

$f_{ms}$ ——锚固段注浆体与筋体间的粘结强度标准值（kPa），通过试验确定；当无试验资料时，可按表 5.9.12-3 取值；

$D$ ——锚索锚固段的钻孔直径（mm）；

$d$ ——钢绞线的直径（mm）；

$\xi$ ——采用 2 根或 2 根以上钢绞线时，界面的粘结强度降低系数，取 0.6~0.85；

$\varphi$ ——锚固长度对粘结强度的影响系数，$\varphi$ 应由试验确定，无试验资料时，可按表 5.9.12-4 取值；

$n$ ——钢绞线根数。

**表 5.9.12-1 岩石与水泥砂浆或水泥结石体的粘结强度标准值（推荐）**

| 岩石类别 | 岩石单轴饱和抗压强度值（MPa） | 粘结强度标准值（MPa） |
|---|---|---|
| 极软岩 | <5 | 0.2~0.3 |
| 软岩 | 5~15 | 0.3~0.8 |
| 较软岩 | >15~30 | 0.8~1.2 |
| 较硬岩 | >30~60 | 1.2~1.6 |
| 硬岩 | >60 | 1.6~3.0 |

注：1. 表中数据适用于水泥砂浆或水泥结石体，强度等级为 M30；

2. 在岩体结构面发育时，粘结强度去表中下限值。

**表 5.9.12-2 土层与水泥砂浆或水泥结石体的粘结强度标准值（推荐）**

广州市市政集团有限公司

| 土层种类 | 土的状态 | 粘结强度标准值（kPa） |
|---|---|---|
| 粘性土 | 软塑 | 30~50 |
| | 可塑 | 50~65 |
| | 硬塑 | 65~80 |
| | 坚硬 | 80~100 |
| 粉土 | 中秘 | 70~125 |
| 砂性土 | 松散 | 75~150 |
| | 稍密 | 125~200 |
| | 中秘 | 150~250 |
| | 密实 | 250~300 |
| 碎石土 | 稍密 | 150~250 |
| | 中秘 | 250~300 |
| | 密实 | 300~350 |

注：本表适用于一次注浆；当采用二次高压劈裂注浆（压力>2.5MPa）加固锚固段周边地层时，表中粘结强度可提高 50%。

**表 5.9.12-3 钢绞线与水泥砂浆或水泥结石体的粘结强度标准值（推荐）**

| 粘结材料 | 粘结强度标准值（MPa） |
|---|---|
| 水泥砂浆或水泥结石体与钢绞线 | 3.0~4.0 |

注：本表适用于水泥砂浆或水泥结石体（强度等级 M25~M40），M25 取表中下限值，M40 取表中上限值。

**表 5.9.12-4 锚固长度对粘结强度的影响系数φ建议值**

| 锚固地层 | 土层 | | | | | 软岩或极软岩 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 锚固段长度（m） | 13~16 | 10~13 | 10 | 10~6 | 6~3 | 9~12 | 6~9 | 6 | 6~4 | 4~2 |
| φ | 0.8~0.6 | 1.0~0.8 | 1.0 | 1.0~1.3 | 1.3~1.6 | 0.8~0.6 | 1.0~0.8 | 1.0 | 1.0~1.3 | 1.3~1.6 |

条文说明：锚索锚固体的抗拔安全系数是锚索极限抗拔力与锚索设计拉力值（工作荷载）的比值。锚索的抗拔安全系数取决于锚索的试用年限、使用条件、结构设计中的不稳定因素和风险性。根据国内外锚索标准所采用的锚索抗拔安全系数（表 16），本规范取为 1.5。

**表 16 岩土锚索的抗拔安全系数**

| 国名（组织名） | 规范名称和编制单位 | 最小安全系数 | |
|---|---|---|---|
| | | 临时锚杆 | 永久锚杆 |
| 中国 | 国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB50086-2001 冶金建筑研究总院主编 | 1.4、1.6、1.8 | 1.8、2.0、2.2 |
| 中国 | 《土层锚杆设计与施工规范》CECS 22：90 冶金建筑研究总院主编 | 1.4、1.6、1.8 | 1.8、2.0、2.2 |
| 瑞士 | SN 533—191 地层锚杆 瑞士工程建筑学会编 | 1.3、1.5、1.8 | 1.6、1.8、2.0 |

广州市政集团有限公司

| | | | |
|---|---|---|---|
| 英国 | BS 1—DD81　地层锚杆发展推荐<br>英国标准学会 | 1.4、1.6、2.0 | 2.0 |
| 美国 | PTI 预应力岩土锚杆的建议<br>美国后张预应力混凝土学会 | — | 2.0 |
| 国际预应力混凝土协会 | FIP 预应力灌浆锚杆设计施工规范<br>国际预应力混凝土协会 | — | 2.0 |
| 日本 | JSF DI—88　地层锚杆设计与施工规程<br>日本土质工学会 | 1.5 | 2.5 |

**5.9.13**　预应力锚索锚固段注浆体的抗压强度，应满足表 5.9.13 的规定。

**表 5.9.13　锚索锚固段注浆体的抗压强度**

| 锚固地层 | 锚杆类型 | 抗压强度标准值（MPa） |
|---|---|---|
| 土层 | 拉力型和拉力分散型 | ≥20 |
| | 压力型和压力分散型 | ≥35 |
| 岩石 | 拉力型和拉力分散型 | ≥30 |
| | 压力型和压力分散型 | ≥35 |

**5.9.14**　传递锚索拉力的锚固结构应具有足够的强度和刚度，并应根据锚索拉力设计值计算确定。

**5.9.15**　锚固传力结构的混凝土强度等级不应低于 C30。

**5.9.16**　采用锚索锚固结构物时，除锚索抗拉力应满足设计要求外，还必须验算结构物、锚索和地层组成的锚固结构体系的整体稳定性。

**5.9.17**　锚索的锚固段和自由段可采用II级防护构造，锚固段水泥浆保护层厚度不小于 10mm。

## IV　下沉单元悬吊钢绞线设计

**5.9.18**　下沉单元悬吊钢绞线应符合国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定。

**5.9.19**　下沉单元悬吊钢绞线提拉力应考虑沉井施工过程中最不利情况，并应计入钢绞线在环梁转弯处的摩阻力。

广州市市政集团有限公司

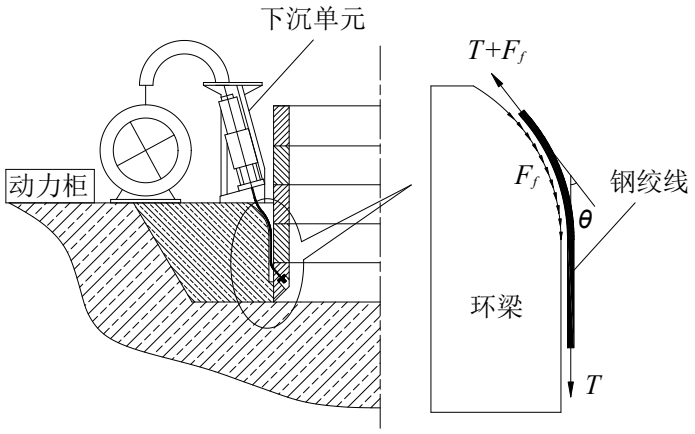



图 5.9.19 下沉单元悬吊钢绞线摩阻力计算简图

**5.9.20** 下沉单元悬吊钢绞线摩阻力应按下式计算：

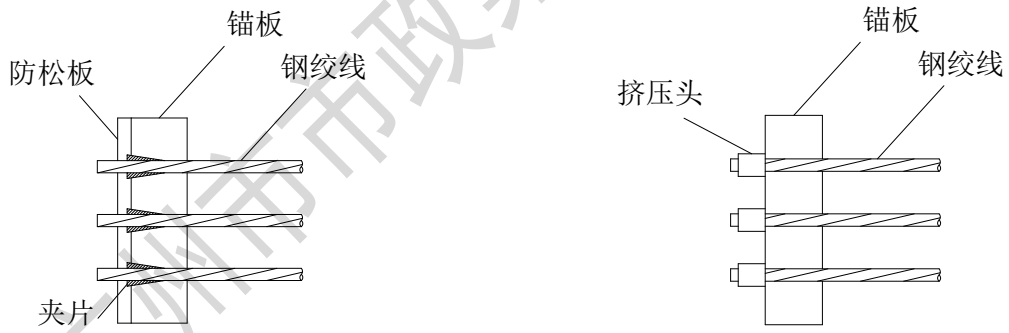
$$F_f = T(1-e^{-\mu\theta}) \qquad (5.9.20\text{-}1)$$

式中：$T$ ——下沉单元悬吊钢绞线提拉力（kN）；

$\mu$ ——钢绞线与混凝土或钢绞线与钢结构间的摩阻系数；

$\theta$ ——钢绞线转向前后的切线夹角（rad）。

**5.9.21** 下沉单元悬吊钢绞线锚固端锚固系统可采用夹片锚或 P 锚，夹片锚应设置可靠的防松装置。




（1）夹片锚　　（2）P 锚

**图 5.9.21** 悬吊钢绞线锚固端锚固系统

**5.9.22** 夹片锚和 P 锚应符合国家现行标准《预应力用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的相关规定。

**5.9.23** 悬吊过程中，沉井重力应乘以动力系数 1.2（对结构不利时）或 0.85（对结构有利时），并可视沉井施工工艺做适当增减。

**5.9.24** 下沉单元悬吊钢绞线的强度计算应符合下列规定：

广州市市政集团有限公司

$$\gamma_0 N_d / A \le f_d \qquad (5.9.24\text{-}1)$$

式中：$\gamma_0$——结构重要性系数；

$N_d$——钢绞线提拉力设计值（包含悬吊钢绞线摩阻力）（N）；

$A$——钢绞线截面面积（$mm^2$）；

$f_d$——钢绞线抗拉强度设计值（MPa），短暂状况按表 5.9.24 取值。

**表 5.9.24 下沉单元悬吊钢绞线抗拉强度设计值（MPa）**

| 钢丝抗拉强度标准值 $f_{ptk}$ | 1570 | 1720 | 1860 | 1960 |
|---|---|---|---|---|
| 整根钢绞线抗拉强度设计值 $f_{py}$ | 785 | 860 | 930 | 980 |

**5.9.25** 下沉单元悬吊钢绞线在环梁处的转弯半径不宜小于 4m，在刃脚处的转弯半径不宜小于 2m。

条文说明：环梁处钢绞线在提升过程中与滑道发生滑动摩擦，对钢绞线的损伤较大，宜加大滑道半径减小摩阻力。钢绞线与刃脚锚箱内弯道的摩擦为静摩擦，对钢绞线的损伤较小，受刃脚结构尺寸限制，实际工程钢绞线转弯半径一般不小于 2m。

## Ⅴ 反力架设计

**5.9.26** 反力系统应根据现场情况、受力模式及地质条件等因素进行设计。反力支座受压时可采用工程桩或地基提供支座反力；反力支座受拉时可采用工程桩或锚索提供反力。

**5.9.27** 反力系统施加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值。地基承载力不足时应进行地基处理，地基处理设计应满足《建筑地基处理技术规范》JGJ79 和其他行业标准的有关规定。

**5.9.28** 采用工程桩提供反力时，应根据工程桩受力特点进行抗压承载力或抗拔承载力验算。采用锚索提供反力时，应符合锚索设计相关要求。

**5.9.29** 反力系统构件应满足承载力和变形要求。

## Ⅵ 轨道（梁）预埋件设计

**5.9.30** 掘进机安装固定于环向轨道时，刃脚或初始管片（环）应预留轨道预埋件。掘进机安装于与刃脚连接的十字梁上时，十字梁宜与刃脚整体浇筑，十字梁应预留掘进机基座固定预埋件。

**5.9.31** 轨道预埋件应根据掘进机自重和运行荷载进行承载力验算和稳定性计算。

**5.9.32** 十字梁应进行截面设计和稳定性计算，十字梁应按偏心受压验算抗压承载力。

广州市市政集团有限公司

## Ⅶ 压浆置换设计

**5.9.33** 装配式机械法沉井下沉拼装到位，封底混凝土实施完成后，应对外侧超挖量间隙中的浆液进行注浆置换，可对沉井管片形成保护，提高防水效果。

条文说明：工程沉井外侧一般设置 50mm~100mm 厚的超挖量，在沉井管片拼装后，采用水泥单浆液或水泥砂浆进行注浆置换，注浆量控制在理论空隙的 110%~130%，待置换材料强度达到要求后，形成管片保护壳，可以对管片及管片接缝起到一定的保护作用，同时提高防水效果。

水泥单液浆由水泥、膨润土、粉煤灰、砂、外掺剂、水等搅拌而成，根据现行标准《城市轨道交通工程盾构法施工技术规程》DB11/T 2096-2023 第 7.5.3 条，材料要求应符合表 17 中的规定。

**表 17 水泥单液浆材料要求表**

| 材料名称 | 材料要求 |
|---|---|
| 水泥 | 42.5 普通硅酸盐 |
| 膨润土 | 95%通过 200 目筛、膨胀率大于 15% |
| 粉煤灰 | 符合《用于水泥和混凝土的粉煤灰》GB/T1596 要求 |
| 细砂 | 通过小于 5mm 筛孔后使用 |
| 外掺剂 | 比重 1.02±0.01，pH 值 7.0~9.0 |
| 泵送剂 | 减小泵送摩擦力、砼离析及坍落度损失等 |
| 水 | 应按《混凝土用水标准》JGJ63 执行 |

**5.9.34** 壁后注浆应满足固结强度、凝结时间、可填充性、流动性、收缩率和环境保护要求，且应满足《盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程》T/CECS-563 相关规定。注浆材料应根据地质条件、设计要求、周边环境及现场具体情况综合确定。

条文说明：浆液固结强度为壁后注浆的主要指标，固结强度包括早期强度和长期强度两方面，通常浆液早期强度不宜小于 0.05MPa，长期强度宜大于 1MPa。浆液凝结时间也是壁后注浆的主要指标。除了固结强度和凝结时间，注浆材料还应有较好的流动性，浆液固化后收缩率小，对环境无影响或影响较小等要求。水泥单液浆性能要求和硬化后的性能要求应符合表 18~表 19 中的规定。

**表 18 水泥单液浆性能要求表**

| 项目 | 性能要求 |
|---|---|
| 稠度（mm) | 100～130 |
| 稠度经时损失（mm/h） | ≤10 |
| 流动度（mm） | ≥160 |

广州市市政建设有限公司

| | |
|---|---|
| 流动度经时损失(mm/h） | ≤20 |
| 泌水率（%） | ≤3.5 |
| 分层度（mm） | ≤6 |
| 凝结时间（h） | 10~24 |
| 表观密度（kg/m³） | ≥1800 |

**表 19 水泥单液浆硬化后的性能要求表**

| 项目 | 技术要求 | |
|---|---|---|
| 抗压强度（MPa) | 3d | ≥0.5 |
| | 28d | ≥2.5 |
| 水陆强度比（%） | 28d | ≥65.0 |
| 结石率(%） | ≥95.0 | |

**5.9.35** 壁后注浆应从底部管片预埋注浆管开始注浆置换，且需连续注浆置换，直至新鲜浆液溢出为止，确保注浆置换质量。

条文说明：壁厚注浆第一级注浆喷嘴布置在沉井底部的管片预制注浆孔开始注浆置换，结合地面注浆方式，确保管片后空隙全部填充密实。注浆效果检验，可利用注浆过程中实际注入量和注浆压力双指标进行评定是否填充密实；或利用地质雷达等无损检测设备对壁后空洞或密实情况进行检测。

**5.9.36** 注浆压力值应根据地质条件、注入方式、管片类型、设备性能、浆液特性和沉井深度等综合确定。

条文说明：注浆压力指的是注入孔附近的压力。地层阻力强度、地层条件与注浆压力密切相关，通常为 0.1MPa～0.2MPa，特殊情况也可能达到 0.4MPa。需注意的是，当注入孔处的压力达到 0.4MPa 时，钢筋混凝土管片手孔薄弱部位及螺栓将有可能变形破坏，因此注入压力的最大值应主要根据管片情况慎重选用。多次注浆工况下，每次后期注浆压力值宜比先期值增大 0.05MPa～0.08MPa。

**5.9.37** 壁后注浆宜通过管片预留注浆孔完成，也可通过地面或地层注浆等方式完成。

**5.9.38** 壁后注浆应明确注浆时序、注浆材料、注浆压力、注浆量及注浆填充效果等要求。

条文说明：目前具体的注浆方式、注浆材料、注浆压力及注入量等均主要根据现场试验或参照既有成功工程经验来确定，但设计应对以上内容提出指导性要求。通常可取注浆压力和注浆量之一作为控制指标；特殊情况下为保证注浆效果，应同时采用注浆压力和注浆量两个控制指标。

广州市市政集团有限公司

## Ⅷ 减阻设计

**5.9.39** 当沉井下沉系数较小时应采取降低井壁周面摩阻力的减阻措施。

条文说明：根据相关案例，沉井外壁与地层之间的环状超挖间隙以膨润土浆液填充为主。表 20 中列出了中外装配式机械法沉井减阻设计统计情况。

表 20 中外装配式机械法沉井工程管片减阻设计统计表

| 工程名称 | 平面尺寸（m） | 总高度（m） | 沉井外侧减阻设计 | 来源 |
|---|---|---|---|---|
| 南京沉井式地下车库/南湖中心广场地下智能停车库 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 68 | 为了减少下沉阻力，防止侧壁塌孔导致地面塌陷，沉井外壁与地层之间的环状超挖间隙以**膨润土浆液填充**，与井筒内的泥浆（相对密度控制在 1.18 以上）、地下水位共同形成一种稳定的水力状态。同时为了防止膨润土发生渗漏，在止浆板上部填充木屑，进一步增强密封堵漏效果。 | 《富水地层超深装配式竖井水下机械法掘进施工技术——以南京某沉井式地下车库项目为例》隧道建设（中英文） |
| 广州城际铁路京溪路~白云东平区间 2 号盾构井 | 外径⌀ 14.0<br>内径⌀ 13.0 | 27.0 | 为了减少下沉阻力，防止侧壁塌孔导致地面塌陷，沉井外壁与地层之间的环状超挖间隙以**膨润土浆液填充**，与井筒内的泥浆、地下水位共同形成一种稳定的水力状态。同时为了防止膨润土发生渗漏，在止浆板上部填充木屑，进一步增强密封堵漏效果。 | 《花岗岩复合地层竖井垂直机械法施工技术研究与应用》广东土木与建筑 |
| 上海市某初雨调蓄管线项目 9 号盾构接收井 | 外径⌀ 12.8<br>内径⌀ 12.0 | 33.44 | 为了减少下沉阻力，防止侧壁塌孔导致地面塌陷，沉井外壁与地层之间的环状超挖间隙以**膨润土浆液填充**，与井筒内的泥浆、地下水位共同形成一种稳定的水力状态。同时为了防止膨润土发生渗漏，在止浆板上部填充木屑，进一步增强密封堵漏效果。 | 《VSM 竖井施工质量控制要点探析》中国设备工程 |

**5.9.40** 采用触变泥浆套减阻应符合下列规定：

**1** 触变泥浆的物理力学性能指标可根据表 5.9.40 选用；

**2** 可采用自流渗入、管路强制压注等方法补给浆液；

**3** 泥浆槽内的液面应维持在地下水位以上 0.5m 左右。泥浆应定期检测置换。

**4** 沉井下沉到位后，宜采用水泥浆、水泥砂浆等材料置换触变泥浆。

**表 5.9.40 触变泥浆的物理力学性能指标**

| 指　标 | 土　层 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 砂 | 砾石、卵石 | 亚粘土 | 粘土 |
| 密度(g/0mm³) | 1.20~1.25 | 1.10~1.15 | 1.10~1.20 | 1.10~1.15 |

广州市市政工程协会

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 失水量(mL/30min) | 12~15 | 10~12 | 15~20 | 12~15 |
| 泥皮厚(mm) | 2~4 | 1 | 2~3 | 2~5 |
| 静切力(mg/0mm²)<br>1min<br>10min | 30~60<br>60~80 | 75~150<br>150~200 | 30~50<br>50~80 | 20~40<br>40~80 |
| 粘度(s) | 25~35 | 40~50 | 22~30 | 20~25 |
| 胶体率(%) | 99~97 | 100~98 | 100~98 | 98~97 |
| 稳定性(g/0mm³) | 0.01~0.02 | 0.01~0.02 | 0.00~0.03 | 0.02~0.03 |
| pH 值 | ≥8 | ≥8 | ≥8 | ≥8 |
| 含砂率(%) | <4 | ≤1~2 | ≤3 | ≤4 |

条文说明：表格引自段良策、殷奇编著《沉井设计与施工》（同济大学出版社）。

广州市市政集团有限公司

# 6 构件制作

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 预制构件的制作应由具备相关资质的专业厂家完成。

**6.1.2** 预制构件生产厂家应具有健全的质量管理体系、质量控制和质量检验制度，制定相应的生产技术标准，以及安全生产和绿色生产制度。

**6.1.3** 制作构件的原材料应具备质量证明文件并进行检验合格，其性能应符合设计要求和国家现行标准的有关规定。

条文说明：在现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 中，已对混凝土管片的原材料做了详细规定，其他材料的预制构件制作需执行相关的国家现行标准的规定。

**6.1.5** 管片的生产应编制专项生产技术方案，并经过审查批准。

**6.1.6** 构件预制完成后应在合适位置做好标志标识，内容包括构建编号、生产日期、预制生产厂名称等信息，可附上含有对应信息的二维码。

## 6.2 构件生产

**6.2.1** 管片的生产线布置应符合相关的工艺要求，并应严格按相关生产工艺进行生产预制。

**6.2.2** 出现下列任一情况，应进行模具的检验，且检验结果应满足钢筋混凝土管片的质量控制标准：

**1** 模具每周转使用 100 次；

**2** 模具遭受重击或严重碰撞；

**3** 生产的管片的几何尺寸不符合质量控制标准；

**4** 模具停用超过 3 个月，再次投入生产前。

**6.2.3** 每套模具应有原始出厂数据，在钢模安装完成后，应根据表 6.2.3 进行钢模的初验，符合要求后方可试生产。

**表 6.2.3 钢模检验项目和质量要求**

广州市市政集团有限公司

| 序号 | 项 目 | 允许偏差 | 检验数量 | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 宽度(mm) | ±0.4 | 6 点/个 | 专用量具 |
| 2 | 弧弦长(mm) | ±0.4 | 4 点/个 | 专用量具 |
| 3 | 底座夹角(°) | ±1.0 | 2 点/个 | 专用量具 |
| 4 | 对角线(mm) | ±1.0 | 2 条/个 | 2 点/个 |
| 5 | 纵环向芯棒中心距(mm) | ±0.2 | 全数 | 专用量具 |
| 5 | 内腔高度 | ±1.0 | 2 点/边 | 专用量具 |
| 6 | 拼缝间隙 | ≤0.1 | 2 点/缝 | 专用量具 |

**6.2.3** 在试生产的管片中，应随机抽取 2 环或 3 环进行水平试拼装检验，管片水平试拼装应在坚实的平地上进行，拼装时不应加衬垫。通用衬砌管片宜按 2 环进行水平拼装检验；内径 8m 以下的非通用衬砌管片宜按 3 环进行水平拼装检验，内径 8m 以上的非通用衬砌管片宜按 2 环进行水平拼装检验。检验允许偏差应符合表 6.2.4 的规定，合格后方可进行管片的正式生产。

**表 6.2.3 水平试拼装尺寸允许偏差**

| 序号 | 项 目 | | 允许偏差 | 检查数量 | 检验方法 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 环向缝间隙 | | 0mm~2mm | 每条缝测 3 点 | 插片 | 无垫片拼装整环测试 |
| 2 | 纵向缝间隙 | | 0mm~2mm | 每条缝测 3 点 | 插片 | |
| 3 | 成环后内径 | ≤8000mm | ±4mm | 测 4 条 | 尺量 | |
| | | >8000mm | ±8mm | 测 4 条 | 尺量 | |
| 4 | 成环后外径 | ≤8000mm | -2mm~6mm | 测 4 条 | 尺量 | |
| 5 | | >8000mm | -4mm~10mm | 测 4 条 | 尺量 | |
| 6 | 纵环向螺栓全部穿进 | | 符合设计要求 | 全数 | 目测 | |

**6.2.4** 预留孔、槽和预埋件应满足设计要求：

**1** 预埋件应选用符合国家标准和工程要求的材料，不与混凝土发生化学反应，确保其强度和耐久性；

**2** 预留孔的位置和尺寸应根据设计图纸进行精确定位，预埋件与混凝土的固定应牢固、严密，不得在振捣混凝土时产生错位、偏移和倾斜现象；

**3** 预留孔内应清洁无杂物，避免影响后续管道的安装和使用；

**4** 槽道质量应符合现行国家标准《预埋槽道型钢标准》GB/T37613 的规定；

广州市市政集团有限公司

**5** 槽道在模具上应固定牢靠，保证在混凝土浇筑及振捣时不松动。严禁槽道、锚杆及固定件与钢筋骨架接触，可采用绝缘材料进行固定，满足杂散电流防护要求。

**6** 采用蒸汽养护的管片，应对预埋件进行耐温试验，养护后不得出现变形和损害混凝土。

**6.2.5** 螺杆直径、弧长应符合设计要求，螺栓表面涂层均匀、无浮锈。

**6.2.6** 橡胶止水带粘贴应牢固且位置准确。外观和任意断面应质密、均匀、无裂缝、无孔隙或凹痕等缺陷，厚度应有标记。表面应平整、清洁、无油污，接头应良好。

**6.2.7** 衬垫表面应平整、无剥落。断面应质密、均匀。厚度和宽度应符合设计要求。

**6.2.8** 管片的钢筋加工及钢筋骨架制作应符合下列规定：

**1** 应严格按设计施工图对检验合格的钢筋进行下料加工制作。断料前需试切并检测尺寸，确保无误后方可连续进行；

**2** 加工弧形钢筋时，应防止平面翘曲，确保钢筋进入弯弧机时平稳、匀速。成型后的钢筋不得有裂纹、鳞落及撕裂现象，且尺寸正确；

**3** 除焊接封闭环式箍筋外，所有箍筋末端应作弯钩；

**4** 直径 16mm 以上的钢筋在加工制作中，宜采用电弧焊接头、对焊接头或钢筋套筒连接；焊接前须清除焊接部位的铁锈、水锈和油污；钢筋接头布置及连接质量应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定；

**5** 弧形钢筋宜使用专用存放架存放，防止变形；

**6** 钢筋骨架的组装和焊接应在符合设计要求的胎模上进行，确保钢筋的位置符合设计要求。在连接前，应根据钢筋下料表核对钢筋的品种、级别、规格、尺寸和数量。

**7** 骨架入模后，各部位的保护层应符合设计要求，且允许偏差应小于 5mm。

**8** 检验合格的钢筋骨架应做好标识，并宜使用专用存放架存放，不得发生变形。

**6.2.9** 混凝土管片的制作应符合下列规定：

**1** 混凝土配合比需通过试配确定，并应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定。首次使用的配合比应进行开盘鉴定，生产过程中，应至少留置 1 组标准养护试件，以验证配合比的准确性；

**2** 混凝土应搅拌均匀，具有良好的和易性，并在搅拌或浇筑现场检测坍落度，同时逐盘检查混凝土的粘聚性和保水性；

**3** 浇筑混凝土前，应进行钢筋隐蔽工程验收；

**4** 混凝土应连续浇筑，选择适当的振捣方式，振捣密实，不得漏振或过振，每立

广州市政集团有限公司

方混凝土的振捣时间不得超过 20 分钟；

**5** 浇筑混凝土时不得扰动预埋件，初凝前宜再次压面；

**6** 混凝土浇筑成型后至开模前，应覆盖保湿，采用蒸汽或自然养护；

**7** 管片脱模时的混凝土强度，当采用吸盘脱模时应不低于 15MPa，当采用其他方式脱模时，应不低于 20MPa；

**8** 管片出模后应进行水中养护或保湿养护，蒸汽养护需试验确定养护制度并监控记录温度变化。

**6.2.10** 钢管片的制作应符合下列规定：

**1** 制作应按设计要求或说明进行，材质需符合设计标准；

**2** 侧板（腹板）及外弧板（翼缘板）必须采用整块钢材，不得拼接；

**3** 钢材如有弯曲，需矫正后使用，矫正后的表面不得有明显凹面或损伤，划痕深度不应超过 0.5mm，且不得超过钢材厚度负允许偏差值的一半；

**4** 钢材焊接应采用二氧化碳气体保护焊，并符合现行行业标准《二氧化碳气体保护焊工艺规程》JB/T 9186 有关规定，焊接时需控制变形；

**5** 需预留注浆孔及注浆管，以满足施工需求；

**6** 制作完成后的钢管片应进行严格质量检验，确保加工和处理符合设计及相关标准要求。

**6.2.11** 构件预制完成后应在合适位置做好标志标识，该标志标识在施工现场组装结束之前不得消失，应清晰易识别。内容包括构件编号、生产日期、生产人、审查人和预制生产厂名称等信息，也可附上含有对应信息的二维码。

**6.2.12** 管片的编号可以沉井的形状、所在井环编号、块数、规格、拼装朝向和环内位置编号、标准编号编排。

条文说明：标记示例如下：

圆形沉井、第 3 环、6 块、内径 12 000 mm、长度为 6 490 mm、高度为 1 500 mm、厚度为 400 mm、长边朝上第 2 块，标准块的管片标记如下：

Y R3 6—12000×6490×1500×400—A2—B GB/T 22082—2017

矩形沉井、第 6 环、8 块、内径 15 000 mm、长度为 6 083 mm、高度为 2 000 mm、厚度为 500 mm、长边朝下第 1 块，封闭块的管片标记如下：

J R5 6—15000×6083×2000×500—B1—F GB/T 22082—2017

在设计文件或报告中，为便于记忆和区分，可按所在环数、拼装朝向和环内位置简

广州市市政集团有限公司

化编号，如上述两例可分别简化为 R3—A2，R5—B1。

## 6.3 质量控制与检验

**6.3.1** 应派专职人员进行管片的驻厂质量抽样检验，混凝土管片质量检验项目和抽样数量应符合表 6.3.1 的规定。

**表 6.3.1 混凝土管片质量检验项目和抽样数量**

| 项目 | 项目 | 抽样检验数量 |
|---|---|---|
| 1 | 混凝土强度 | 采用回弹法，回弹法抽检数量不少于同一检验批管片总数的 5% |
| 2 | 外观 | 全数 |
| 3 | 尺寸 | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 |
| 4 | 水平拼装 | 多于 50 环时，每 50 环抽检 1 次，不足 50 环时按 50 环计；每口沉井宜至少抽检 1 次 |
| 5 | 钢筋保护层厚度 | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 |
| 6 | 渗漏 | 每 50 环抽检 1 块，不足 50 环时按 50 环计 |
| 7 | 抗弯性能 | |
| 8 | 抗拔性能 | |
| 9 | 预埋件 | 全数 |

**6.3.2** 钢管片的质量检验项目和抽样数量应符合表 6.3.2 的规定。

**表 6.3.2 钢管片质量检验项目和抽样数量**

| 项目 | 项目 | 抽样检验数量 |
|---|---|---|
| 1 | 外观 | 全数 |
| 2 | 尺寸 | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 |
| 3 | 水平拼装 | 多于 50 环时，每 50 环抽检 1 次，不足 50 环时按 50 环计；每口沉井宜至少抽检 1 次 |
| 4 | 焊缝 | 每 10 环抽检 1 环，检验该环焊缝总数的 1%，不足 10 环时按 10 环计 |
| 5 | 涂层 | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 |

**6.3.3** 混凝土管片的外观检验项目和质量要求应符合表 6.3.3 的规定。

**6.3.3 混凝土管片外观检验项目和质量要求**

| 序号 | 项目 | 检验项目 | 质量要求 |
|---|---|---|---|

广州市市政集团有限公司

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 主控项目 | 贯穿裂缝 | 不允许 |
| 2 | | 内、外弧面露筋 | 不允许 |
| 3 | | 孔洞 | 不允许 |
| 4 | | 疏松、夹渣 | 不允许 |
| 5 | | 蜂窝 | 不允许 |
| 6 | | 非贯穿性裂缝 | 裂缝宽度允许范围 0mm~0.10mm |
| 7 | 一般项目 | 拼接面裂缝 | 拼接面方向长度不超过密封槽，裂缝宽度允许范围 0mm~0.20mm |
| 8 | | 麻面、粘皮 | 表面麻面、粘皮总面积不大于表面积的 5% |
| 9 | | 缺棱掉角、飞边 | 应修补 |
| 10 | | 环、纵向螺栓孔 | 畅通、内圆面平整，不应有塌孔 |

**6.3.4** 钢管片的外观检验项目和质量要求应符合表 6.3.4 的规定。

**表 6.3.4 钢管片外观检验项目和质量要求**

| 序号 | 项　　目 | 检验项目 | 质量要求 |
|---|---|---|---|
| 1 | 主控项目 | 裂缝 | 不允许 |
| 2 | 一般项目 | 锈蚀 | 符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923 规定的 C 级及 C 级以上 |
| 3 | | 环、纵向螺栓孔 | 畅通、内圆面平整 |

**6.3.5** 混凝土管片的尺寸检验项目和质量要求应符合表 6.3.5 的规定。

**表 6.3.5 混凝土管片尺寸检验项目和质量要求**

| 序号 | 项目 | 允许偏差(mm) | 检测数量 | | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范围 | 点数 | |
| 1 | 宽度 | 设计要求或±1 | 每块 | 内外侧各 3 | 尺量 |
| 2 | 弧长 | 设计要求或±1 | | 两断面各 1 | |
| 3 | 厚度 | +3，-1 | | 3 | |
| 4 | 主筋保护层厚度 | 设计要求或 -3mm~+5mm | | 内外侧各 3 | |
| 5 | 螺孔直径及位置 | ±1 | | 3 | |
| 5 | 预埋螺栓 | ±2 | | 3 | |

广州市市政集团有限公司

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 预埋螺栓外露长度 | +10，-5 | | 3 | |

**6.3.6** 钢管片的尺寸检验项目和质量要求应符合表 6.3.6 的规定。

**表 6.3.6 钢管片尺寸检验项目和质量要求**

| 序号 | 项目 | 允许偏差(mm) | 检测数量 | | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 范围 | 点数 | |
| 1 | 宽度 | 设计要求或±0.5 | 每块 | 内外侧各 3 | 尺量 |
| 2 | 弧长 | 设计要求或±1 | | 两断面各 1 | |
| 3 | 厚度 | +3mm，-1mm | | 3 | |
| 4 | 螺孔直径及位置 | ±1mm | | 3 | |
| 5 | 环面与端面平整度 | 0.2mm | | 2 | |
| 6 | 环面与端面垂直度 | 2° | | 4 | |

**6.3.8** 管片的水平拼装的质量检验应按本标准第 6.2.3 条的规定执行。

**6.3.9** 混凝土管片的钢筋保护层厚度、渗漏、抗弯性能和抗拔性能检验、出厂检验和型式检验等质量检验应按现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 的有关规定执行。

**6.3.10** 混凝土管片应进场验收，检验项目和质量要求应符合表 6.3.9 的规定。

**表 6.3.9 混凝土管片进场检验项目和质量要求**

| 项目 | 检验项目 | | 检查数量 | | | 检查方法 | 质量要求 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 主控项目 | 混凝土强度 | | 符合设计要求或现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定 | | | 检查混凝土试件强度报告 | 合格 |
| | 抗渗等级 | | | | | 检查混凝土试件抗渗性能试验报告 | 合格 |
| | 管片结构性能 | | | | | 检查管片结构性能检验报告和出厂合格证 | 合格 |
| | 外观质量 | | 全数 | | | 观察 | 符合本标准表 6.3.3 和表 6.3.4 的规定 |
| 一般项目 | 尺寸（mm） | 宽度 | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 | 每块 | 内外侧各 3 | 尺量 | ±1 |
| | | 弧弦长 | | | 两端面各 1 | | ±1 |
| | | 厚度 | | | 3 | | +3，-1 |
| | 主筋保护层厚度 | | 每 10 环抽检 1 环，不足 10 环时按 10 环计 | 每块 | 内外侧各 3 | 保护层厚度测定仪，有争议时可凿开混凝土保护层用深度游标卡尺进行测定 | 符合本标准表 6.3.5 的规定 |

广州市政集团有限公司

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 外观质量一般缺陷 | 全数 | 观察，检查技术方案 | 一般缺陷管片数量不应大于管片总数 10% |
| | 预埋件位置 | 全数 | 尺量 | ±2mm |

**6.3.98** 钢管片焊缝和涂层、钢环梁、刃脚、锚固盒等钢构件的施工质量验收应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

**6.3.12** 构件的钢筋、预应力、混凝土、隐蔽工程的分项验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

## 6.4 贮存及运输

**6.4.1** 管片的贮存应符合下列规定：

**1** 管片堆放场地应坚实平整、排水通畅，并根据堆放方式验算地面承载力；

**2** 垫条厚度应一致，放置位置正确；

**3** 管片应按型号分别码放，堆放时必须使用胎架，可采用内弧面向上或单片侧立的方式，堆放高度应经计算确定；

**4** 管片在吊放过程中应采取适当的保护措施，防止损坏；

**5** 管片贮存时应注意保护，防止污损。堆放时间超过 6 个月的，应采取防裂、防冻等措施。

**6.4.2** 管片的运输应符合下列规定：

**1** 管片运输前应勘测运输线路和交通路况，选择合适、安全的路线，超限管片的运输应取得交通运输部门的许可；

**2** 管片应以环为单位装车，内弧面向上平放；

**3** 产品运输时应放在支垫物上，经计算每层用不少于 2 根或 4 个支点垫木隔开，垫木截面尺寸不小于 100mm×100mm，支承点应在同一平面和直线上；

**4** 管片与车厢底板之间应有 2 根通长枕木支垫，枕木截面尺寸不小于 150mm×150mm，固定牢靠；

**5** 管片堆垛之间的距离应不少于 200mm，每堆垛管片宜使用韧性扎带固定，扎带两端固定于车辆底板；

**6** 行车过程中严禁急加速或急减速，最高行驶速度不宜超过 60km/h。

广州市市政集团有限公司

# 7 机械设备

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 装配式沉井工程的机械设备可分为竖井掘进机、自动化沉井设备、主动控制型装配式机械沉井设备、泥水分离设备。

条文说明：目前装配式沉井掘进机设备主要分为三类：竖井掘进机 VSM（Vertical Shaft Sinking Machine）、自动化沉井 SOCS（Super Open Caisson System）设备和主动控制型装配式机械化沉井 ACPP（Active Control Precast Press-in Shaft）设备。

**7.1.2** 用于装配式沉井施工的掘进机设备，其设计应满足高效、安全、环保的施工要求。

**7.1.3** 设备应具备水下作业能力。

**7.1.4** 设备操作人员应经过培训合格上岗，在地面进行远程操作，避免进入井内施工。

**7.1.5** 施工现场应配置泥浆沉淀设备和泥水分离设备，宜配置壁后注浆系统，并应具备废泥、废水的排放条件。

条文说明：泥水分离单元在井内的泥浆抽到地表后，通过三级旋流设备和离心机将不同粒径的泥土分离并排出，降低泥浆的密度。再将经过分离的泥浆重新注入井内，以保持井内的液位平衡。壁后注浆系统在下沉期间通过管片的注浆孔向井壁与外界土体的间隙中注入膨润土泥浆以起到护壁和润滑作用。当水下封底完成后，再用水泥砂浆置换膨润土泥浆，对于有助沉需要的沉井通常需要配置。

## 7.2 设备技术要求

### I 竖井掘进机

**7.2.2** 竖井掘进机宜由掘进主机、回收卷扬机、管路延伸塔、下沉单元、膨润土系统、液压泵站、电控柜集装箱、操作室、沉井垂直度检测系统等组成。

**7.2.3** 掘进主机应符合下列规定：

**1** 最大开挖直径与沉井管片外径差值应不小于 300mm；

**2** 铣挖头的刀具应根据不同地质情况可进行更换；

**3** 主仓外部耐压能力应符合设计要求，宜不低于 1MPa；

**4** 伸缩式铣挖臂应具备旋转±180°的能力，伸缩量宜不小于 1m；

广州市市政集团有限公司

**5** 挂臂尺寸及其精度应符合设计制作精度控制要求。

**7.2.4** 回收卷扬机应符合下列规定：

**1** 回收卷扬机的起吊能力应满足设备脱离水面后总重量的起吊要求；

**2** 回收卷扬机应具备设备下沉的下放自动跟随功能；

**3** 多台回收卷扬机应具备起吊和下方的同步功能；

**4** 回收卷扬机应具备防止钢丝绳交叉、跳绳、缠绕等问题的功能。

**7.2.5** 管路延伸塔应符合下列规定：

**1** 管路延伸塔的起吊能力应满足所有管线在沉井单侧的偏载起吊要求；

**2** 管路延伸塔应具备设备下沉的下放自动跟随功能，并具备将所有管线回收功能；

**3** 管路延伸塔的跨度应满足泥浆软管的最小弯曲半径需求；

**4** 液压延伸管路应具备快速连接/断开并确保介质不泄漏的功能。

**7.2.6** 下沉单元应符合下列规定：

**1** 下沉单元的总起吊能力应满足沉井与掘进设备的总重量的悬吊要求；

**2** 多台沉降油缸应具备下放的同步功能；

**3** 下沉单元的起吊能力应满足沉井垂直度超差后的纠偏要求；

**4** 下沉单元应带有与沉井深度匹配的钢绞线存放卷盘，卷盘应具备防止自由转动功能。

条文说明：（1）掘进主机是在沉井井内作业的挖掘设备。通常由主仓、挂臂、铣挖臂、铣挖头等组成。

a）主仓

用于在水下作业时，建立一个独立的无水常压仓室，以便在其内布置无法在泥浆中作业的系统或部件。其内可包含水下电气箱柜、阀组、管路旋转装置、回转支承、密封、回转驱动、润滑泵等。

b）挂臂

用于连接主仓与沉井井筒的结构件。

c）铣挖臂

用于将铣挖头摆动或回转到指定位置，以完成掘进机对整个沉井断面的切削。宜由伸缩臂、排浆泵、摆动油缸、伸缩油缸、密封等组成。

d）铣挖头

用于布置截齿或刀具的切削单元。可由驱动马达、减速机、铣挖筒、截齿或刀具组

广州市市政集团有限公司

成。

（2）回收卷扬机用于设备完成掘进工作或设备需要维修维护时，将挖掘设备起吊回地面的设备。可由卷扬机、动滑轮组、定滑轮组、钢丝绳、横梁、立柱、传感器等组成。

（3）管路延伸塔用于将随主机设备下沉的管线跨过沉井井筒，并按指定速度随设备下沉或回收的设备。可由链轮、驱动总成、结构件等组成。

（4）下沉单元布置在沉井地面，通过钢绞线将沉井结构提拉固定，并按设定速度将整个沉井井筒结构下放到指定深度。

（5）膨润土系统布置在地面，将膨润土调制到指定要求并将其注入到开挖直径与井筒外壁之间的间隙当中，起到井筒下沉时的润滑作用。

（6）液压泵站将所有地面与井内设备的液压执行机构的液压动力源集成。可由电机、液压泵、系统阀组、油箱、仪器仪表、过滤器、冷却器等组成。

（7）电控柜集装箱将所有电气系统电柜集成在一起的集装箱。

（8）操作室用于操作人员操作设备的主控室。可由控制柜、操作平台、监控系统显示器、空调、座椅等组成。

（9）沉井垂直度检测系统应用于测量与监测沉井掘进机及沉井垂直。

### II 自动化沉井设备

**7.2.7** 自动化沉井设备宜由挖掘取土系统、下沉管理系统等组成。挖掘取土系统宜由无人驾驶的自动水下挖掘机、支援管理用的水下挖掘支援机，以及取土用扬土起重机组成。

**7.2.8** 挖掘取土系统应符合下列规定：

**1** 挖掘设备单侧开挖尺寸应超出沉井外壁 150mm；

**2** 挖掘设备应无人化操作；

**3** 扬土设备的作业范围满足覆盖整个沉井面积；

**4** 挖掘设备与扬土设备的位置信息共享，满足避免相互碰撞的功能。

**7.2.9** 下沉管理系统应符合下列规定：

**1** 应采用液压油缸型式实现沉井下沉；

**2** 应对沉井的阻力进行测量；

**3** 应对沉井的倾斜角度进行测量，精度应达到千分之一；

**4** 应有可调整沉井姿态的功能。

**7.2.10** 自动水下挖掘机应符合下列规定：

广州市政集团有限公司

**1** 水下挖掘机的铲斗应根据不同地质情况可进行更换；

**2** 水下挖掘机应在持续受水压作业条件下保持可靠的密封性能；

**3** 水下挖掘机应无人化操作。

**7.2.11** 挖掘取土系统中扬土起重机应符合下列规定：

**1** 扬土起重机应满足显示坐标位置的功能；

**2** 扬土起重机应具有显示抓斗位置、钢丝绳伸长量、载荷等信息的功能；

**3** 多台扬土起重机应具有避免相互碰撞的功能。

条文说明：（1）水下挖掘机是通过地面操作室远程操控的反铲挖掘机型的机械，在沉井刃脚正上方的主体结构内壁上的移动导轨上进行圆周方向移动，并利用夹持导轨提供挖掘反力，可挖掘沉井从刃脚向中央 5m 范围内的土体。

（2）水下挖掘支援机是以履带式起重机为基础，配备用于控制水下挖掘机和电力缆线的电缆盘。其作用是将水下挖掘机吊放至地面或水下，并输送电缆管道等设备、控制张拉力。

（3）扬土起重机是在履带式起重机上配备多种传感器，然后通过挖掘取土辅助系统进行综合管理。起重机自身具有位置坐标，结合传感器获得的旋转起伏角度、钢丝绳伸长量、载荷等各项数据，计算起重臂和电动液压抓斗的位置，并实时显示在起重机操控席以及下沉管理室的监视画面上。在作业空间紧凑时，通过挖掘取土辅助系统可防止设备碰撞。

（4）下沉管理系统使用液压千斤顶作为压入设备，实现高精度的下沉作业。在进行压入作业的同时使用测量设备，如沉降仪、倾斜仪、表面摩擦计、水压力计、刃脚反力计等，对沉井发生的倾斜和下沉阻力进行实时测量，保证沉井下沉的可靠度，并且能够及时对沉井进行纠偏。本系统宜整合从沉井测量到压入的流程，基于倾斜量和下沉量等数据进行高效率、高精度的沉井姿态控制。

### III 主动控制型装配式机械沉井设备

**7.2.12** 主动控制型装配式机械化沉井设备宜由推进悬挂系统、取土系统、润滑系统、拼装系统及控制系统等组成。

**7.2.13** 推进悬挂系统应符合下列规定：

**1** 推进和悬挂装置均应采用液压控制方式；

**2** 悬挂系统应主动控制沉井下沉的速率和行程；

**3** 推进系统应辅助控制沉井的姿态；

**4** 推进系统应具有解决阻力过大无法自动下沉的功能。

**7.2.14** 取土系统应符合下列规定：

**1** 采用渣浆泵泵送渣土或泥浆；

**2** 采用六自由度的水下机器人；

**3** 泥浆管路关节处具备万向调整角度功能；

**4** 开挖的刀头具备更换刀具的功能。

**7.2.15** 润滑系统应符合下列规定：

**1** 应布置在地面，将膨润土等润滑剂调制到指定要求并将其注入到开挖直径与井筒外壁之间的间隙当中，起到井筒下沉时的润滑作用；

**2** 润滑系统应具备注浆功能，用砂浆对润滑剂进行置换。

**7.2.16** 拼装系统应符合下列规定：

**1** 井筒应采用预制的分块管节拼装；

**2** 现场应采用吊机吊装；

**3** 分块管节应具备自锁功能；

**4** 紧固后的井筒应具备防水功能。

**7.2.17** 控制系统应符合下列规定：

**1** 应具有显示整机参数的功能；

**2** 应具有显示掘进参数的功能；

**3** 应具有三维虚拟开挖模块、刀具挖掘轨迹模块、注浆模块、压力矢量模块、土体扰动模块、报警模块、辅助功能模块的功能；

**4** 应具有设备维护保养提醒和显示故障码的功能。

条文说明：（1）推进悬挂系统

在井口布置的推进悬挂系统，宜由提压装置、压环和液压控制系统组成。施工过程中，推进悬挂系统主动控制沉井井身下沉的速率和行程，保证沉井的下沉过程的稳定。整个下沉过程中，提压设备所提供的拉力及压力均由环梁下抗拔桩提供反力。

（2）取土系统

取土系统由十字梁上布置的水下机器人及相应排泥浆管路等辅助设备组成，沉井取土科采用十字梁上安装的水下机器人在沉井内水下绞吸取土，泥浆通过设备上泥浆泵及卷盘泥浆管路泵送至地面。

（3）润滑系统

广州市市政集团有限公司

在沉井井身外壁注入减摩泥浆，减少沉井下沉摩擦阻力，对沉井下沉起到助沉效果。

（4）拼装系统

沉井井身采用预制管节进行拼装，现场采用吊车吊装管片，并在沉井管片周边安装管片紧固装置，利用该套紧固装置对管片缝处的弹性密封垫辅助管片拼装成环。

（5）控制系统

施工操作采用可视化系统，该系统集成装备和施工的各项关键数据与信息，用可视化的方式向操作人员直观地表达施工情况。它具有沉井结构参数模块、关键施工参数与施工进度模块、三维虚拟开挖模块、刀具挖掘轨迹模块、注浆模块、压力矢量模块、土体扰动模块、报警模块、辅助功能模块等，功能完备，便于施工操作。

### IV 泥水分离设备

**7.2.18** 泥水分离系统应符合下列规定：

**1** 处理能力应满足竖井掘进机在各地层阶段的泥水排渣量需求；

**2** 应能适应不同地质条件的泥浆特性；

**3** 设备宜采用模块化设计和组装；

**4** 系统应配备智能控制系统，能够实时监测泥浆浓度、流速、压力等参数，自动调整运行状态；

**5** 应具备良好的密封性，防止泥浆泄漏，减少对周边环境的影响。

**7.2.19** 经泥水分离设备处理后水体需满足现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978的有关规定。

## 7.3 设备检验

**7.3.1** 设备检验应分为出厂检验、型式检验和工地检验。

**7.3.2** 有下列情况之一时，应进行型式检验。

**1** 制造商或用户有需求时；

**2** 工艺和材料有较大改变，有可能影响产品性能时；

**3** 出厂检验与上次型式试验有较大差异时；

**4** 国家质量监督检验机构提出型式检验要求时。

**7.3.3** 出厂检验应由制造商质量检验部门进行，检验合格后应出具出厂检验合格证。

**7.3.4** 工地检验包括工地组装检验和试掘进检验。工地组装调试完毕后，应由制造商和

广州市市政集团有限公司

用户联合进行工地组装检验。应由制造商和用户约定试掘进距离，第一次掘进距离达到约定试掘进距离后进行试掘进检验，检验合格后应出具验收证书。

**7.3.5** 判定规则：产品检验结果全部符合本标准所有技术要求者应判为产品合格。

**7.3.6** 随行文件应包括出厂检验合格证、产品质量证明书、产品使用说明书、产品维护保养手册、主要部件装配尺寸图、电气系统、液压系统、辅助系统原理图、外购主要部件随机资料、随机配件清单、易损易耗件清单、随机工具清单等。

**7.3.7** 产品维护保养手册应包括产品的适用范围、结构功能说明、维护保养，以及操作规程等内容。

## 7.4 设备标志、包装和运输

**7.4.1** 设备出厂时，应在显著位置喷涂或粘贴产品标牌和有关标志，产品标牌和标志应符合现行国家标准《标牌》GB/T 13306的规定，在标牌上应标出设备名称、设备型号、出厂编号、出厂日期、装机功率：供电电压、整机重量、制造商名称、制造商地址等。

**7.4.2** 竖井掘进机应有警告和安全标志、起吊标志、润滑指示标记、操作及工作位置指示标记。警示标志按现行国家标准《全断面隧道掘进机 盾构机安全要求》GB/T 34650的规定执行。

**7.4.3** 包装应符合现行行业标准《重型机械通用技术条件 第13部分：包装》JB/T 5000.13和现行国家标准《机电产品包装通用技术条件》GB/T 13384的相关规定，并应适合陆路运输、水路运输或航空运输及装卸的要求。

**7.4.4** 包装运输图示标志应符合现行国家标准《包装储运图示标志》GB/T 191和《运输包装收发货标志》GB/T 6388的规定，其主要内容应包括收货站及收货单位名称、发货站及发货单位名称、产品名称和型号、起吊作业标志、重量、箱号及外形尺寸等。

**7.4.5** 设备的运输应符合铁路、公路和航运的有关规定。

广州市市政集团有限公司

# 8 施工

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 施工和使用过程中所选用的原材料、半成品或成品的质量应符合国家现行的有关标准、设计要求和本标准的规定。

**8.1.2** 工程所用的管片、井环等构配件和施工材料进入施工现场时应进行进场验收，验收合格后方可使用。

**8.1.3** 施工机械设备应保持良好的工作状态，经过检查和维护，确保其各项功能正常。

**8.1.4** 机械设备应具备完整的设备档案，包括设备的购置、使用、维护、修理等记录。

**8.1.5** 施工测量、导向测控专用设备及仪器应经计量检定、校准合格后方可使用。

**8.1.6** 根据设计方案和机械特点，应进行设备选型并在地面设置必要的辅助设施。

**8.1.7** 场地基础条件应满足管片、井环存放和施工机械的承载力要求。

**8.1.8** 管片上安装的预制件应稳定牢固，应验收确认满足施工荷载需求。

**8.1.9** 供电设备应满足施工的要求。

**8.1.10** 特种作业人员应经过培训，应掌握设备操作要领，熟悉施工方法、设备性能、操作方法和安全规程及各项技术参数，考试合格方可上岗。

**8.1.11** 施工宜按附录 C 进行记录。

**8.1.12** 遇到大风、雷雨等极端天气不应进行施工作业。

## 8.2 施工准备

**8.2.1** 应对工程影响范围内的地下障碍物、地下构筑物及地下管线等进行调查，必要时进行探查，并对影响范围内的重要建（构）筑物和地下管线采取一定的保护措施或方案。

**8.2.2** 应对施工地段的工程地质、工程环境和水文地质情况进行调查，必要时应补充地质勘察。

**8.2.3** 应根据设计文件和勘察资料，选定下沉方式，计算沉井各阶段的下沉系数，再确定制作、下沉等施工方案。

**8.2.2** 施工前应进行施工图会审，根据工法及机械的特点进行进行技术培训和技术交底。

广州市市政集团有限公司

**8.2.4** 应编制监控量测方案，对沉井结构、周边建（构）筑物、地下管线和水文情况等进行监控。

**8.2.5** 对危险性较大的分项、分部工程应分别编制专项施工方案，并应按规定程序进行审批和专家论证，变更时应办理变更审批。

**8.2.6** 工程施工前，应具备下列资料：

**1** 施工许可和相关法规文件；

**2** 设计施工图；

**3** 施工组织设计、施工方案及风险应急预案；

**4** 施工区域内的气象和水文资料；

**6** 工程地质和水文地质勘察报告；

**7** 施工影响范围内的主要建（构）筑物，地下管线和设施等相关资料；

**8** 测量控制网、测量基线和水准点资料；

**9** 防洪、防汛、防台风和冬季施工的有关规定。

**8.2.7** 水域沉井施工前应对施工水域的洪汛、凌汛、河床冲淤变化、通航及漂流物等进行调查，制订专项施工方案。在施工中度汛、度凌的沉井，应制定防护措施。

**8.2.8** 施工组织设计、施工方案及风险应急预案应完成审批。

**8.2.9** 施工前，应按工程特点、环境条件和调查现状完成测量及监测的准备工作。

**8.2.10** 施工前，对于影响沉井主体结构施工的不良地质，如树干、地下构筑物等障碍物及孤石、倾斜岩面等，应根据设计要求采取必要的预处理措施并加强监测。

**8.2.11** 当水域沉井施工区域水流速度较大、航运条件复杂、易受船舶或漂浮物撞击时，应单独设置防撞设施、导航标志和警示装置，并应备有导航船。

**8.2.12** 场地平整应遵循工程设计图纸及相关技术文件的规定，选择合理的运输设备和运输路线，土方的处理和弃放地点应经过当地管理部门的批准。

**8.2.13** 装配式机械法沉井工程施工前，应完成如下主要准备工作：

**1** 复核沉井井位坐标；

**2** 复核环梁或洞口加固区域的标高、坐标；

**3** 施工机械的组装、调试与验收；

**4** 根据施工工艺、现场条件和周边环境完成场地合理规划，并符合环保要求；

**5** 检查预制管片的质量，并按便于拼装的顺序存放；

**6** 准备掘进施工的各类报表；

广州市市政集团有限公司

**7** 土体预处理情况的检验和围护桩的交桩。

**8.2.14** 环梁的施工应符合下列规定：

**1** 安装环梁前，应对环梁附近地基或基坑进行平整和夯实；

**2** 环梁强度应满足设计要求，当环梁作为临时结构或用于沉井群施工时，宜采用装配式环梁。

**8.2.15** 抗拔桩的施工应符合下列规定：

**1** 应根据设计图纸精确放样，放样偏差应控制在±20mm 以内；

**2** 抗拔桩的制作应满足行业现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

**8.2.16** 岩土锚索的施工应符合下列规定：

**1** 岩土锚索钻孔位置、深度及倾角应满足设计要求，放样偏差应不超过±20mm；

**2** 注浆浆液应密实并充满孔隙，岩锚索与岩体之间应充分粘结；

**3** 锚固系统性能应满足沉井施工的抗拔与抗倾覆要求，所用钢绞线应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定。

## 8.3 设备安装

**8.3.1** 设备安装场地应符合下列规定：

**1** 现场须清理出足够的组装场地、吊车行走和作业空间，吊车行走和 作业区间的场地必须平整、坚实，地耐力满足吊车行走、吊装和主机自重需要；

**2** 掘进机机进场前，堆放及组装场地应提前做好风、水、电的配备；

**3** 掘进机进场前，装机所需的小型设备、工具、材料准备齐全。

**8.3.2** 吊装应符合下列规定：

**1** 地面吊机周围、井下及周围应无障碍物，场地内应外无影响吊装的管线；

**2** 井口周围应安装固定的防护栏。在起吊设备各区间应设置施工禁区，其他无关人员不得通过和滞留；

**3** 吊装区域可铺设钢板，确保吊车受力的均匀性和加强地面的承载力；

**4** 夜间施工前应准备充足照明；

**5** 吊装前必须进行物品检查是否固定牢靠，吊装过程中需保证被吊物与 其他物件的安全距离。

**8.3.3** 设备装配应符合下列规定：

广州市市政集团有限公司

**1** 熟悉掘进机图纸和相关资料，编制切实可行的施工方案，并组织企业 内部和行业专家进行专项施工方案评审；

**2** 详细向施工班组进行安全技术交底；

**3** 机械装配应严格按随机图纸及组装方案中的工艺要求进行装配，严禁私自修改作业内容或以非正常的方式更改零件；

**4** 装配过程中零件不得磕碰、切伤，不得损伤零件表面，或使零件明显弯、扭、变形，零件的配合表面不得有损伤；

**5** 液压管路连接时，应使用清洗剂对管口进行清洗；

**6** 应使用干净油泵，从加油口加注齿轮油、液压油，不得通过油箱盖板处加注；

**7** 冬季组装应采取防止设备冻坏的措施；

**8** 组装调试过程中出现配件损坏等异常情况时，应停止组装并做好记录，未查明原因并采取有效措施前，不得继续组装调试。

**8.3.4** 掘进机主机部分安装应符合下列规定：

**1** 工装支架的安装基础应做土建基础，并应对土建基础进行强度计算；

**2** 机械安装配合面，如支腿与驱动箱体、截割部安装支架与回转座、油缸铰点销轴、截割部主铰点销轴等，应清理干净并除锈，不得涂抹润滑脂；

**3** 螺栓应按顺序、对称预紧，双头螺柱应使用拉伸器预紧，M30 及以上的其他螺栓应使用扭矩扳手预紧；

**4** 密封条安装时，可在密封槽内涂抹适量润滑脂，用于密封条的固定；

**8.3.5** 后配套部分安装应符合下列规定：

**1** 拖车宜使用吊机进行整体调运/移动，移动后应采取相应的紧固措施；

**2** 拖车起吊到位后，检查拖车内电、液、流元器件及管路，防止元器件出现损坏、或者管路破损、松动；

**3** 存放于地面的设备应采取防雨措施。

**8.3.6** 钢绞线提拉装置安装应符合下列规定：

**1** 钢绞线提拉装置安装应严格按说明书或厂家指导安装；

**2** 穿索前应仔细检查使每根钢绞线在液压千斤顶的位置与构件夹持顶锚板上的孔位一一对应，按顺序穿钢绞线，穿索时应防止错位、中间交叉、扭转；

**3** 钢铰线不应有折皱、打绞，可用配给的梳线板进行检查和梳理。

广州市市政集团有限公司

## 8.4 掘进作业

**8.4.1** 沉井井口始发的深度、几何尺寸应符合设计文件和施工方案的规定；

**8.4.2** 沉井施工影响范围内的土层应进行预加固处理；

**8.4.3** 沉井掘进机掘进施工应符合下列规定：

**1** 掘进前，应根据地质条件、地下水埋深等因素确定掘进参数；

**2** 掘进中，应根据井底泥浆的变化，调节排渣速度与掘进速度；

**3** 掘进时，应先启动滚筒转动，再启动油缸推进；停止掘进时，应先停止油缸推进，再停止滚筒转动；

**4** 掘进中，应同步向井壁外壁注入减阻泥浆，并应根据泥浆的损失适当补充注浆；

**5** 掘进过程中，应随时对掘进机位置进行测量定位，及时纠偏；

**6** 掘进完成后，应向井筒外壁注入混凝土、置换减阻泥浆。

**8.4.4** 施工参数记录应符合下列规定：

**1** 始发前应测量沉井掘进机主机的轴线和标高，并应将测量数据及时反馈进行调整；

**2** 掘进施工中的原始数据记录应连续、真实、完整；

**3** 原始记录和测量分析资料应完整存档。

**8.4.5** 掘进过程应连续进行，遇下列情况之一时，应暂停掘进、分析处理：

**1** 沉井掘进机下放遇到不明障碍物；

**2** 井筒变形严重；

**3** 井筒偏差过大且纠偏无效；

**4** 电路、油路发生异常现象；

**5** 井壁接缝间出现渗漏；

**6** 地层、邻近建（构）筑物、管线等周围环境的变形量超出允许控制值；

**7** 监测数据出现异常。

## 8.5 管片拼装

**8.5.1** 对于采用遇水膨胀类的防水材料，其运输和存放时必须做好防潮工作，以免失效。

**8.5.2** 注浆孔及螺栓孔处密封圈应定位准确，并应与密封槽相贴合。

**8.5.3** 拼装前，管片、预埋管路、防水密封材料质量和粘贴效果必须经过验收合格。

广州市市政集团有限公司

**8.5.4** 管片吊卸应采用满足吊装要求的柔性吊带或专用吊具，并定期检修；在吊卸和拼装时，管片下方严禁站人和穿行。

**8.5.5** 应对吊装机具和材料进行检查，吊具须拧紧并进行试吊。

**8.5.6** 管片下方如为现浇结构，拼装前其强度应达到设计强度。

**8.5.7** 拼装前应预先做好纠偏工作，倾斜状态时严禁拼装。

**8.5.8** 管片拼装前，应清理并检查上一衬砌环面质量，拼装时上一衬砌环面高出地面距离宜为 1.5m~4m。

**8.5.9** 拼装管片时，应防止管片及防水密封条损坏。

**8.5.10** 拼装顺序宜按对称原则要求逐块拼装，并及时联结成环。

**8.5.11** 拼装完成时，环向及纵向螺栓应所有穿进。管片拼装完成后，连接螺栓紧的质量和紧固扭矩应符合设计要求，并对管片螺栓及时复紧。

**8.5.12** 管片拼装前后不得有内外贯通裂缝和宽度大于 0.2mm 的裂缝及混凝土剥落现象，如有应及时调换；

**8.5.13** 成环后遇有缺棱掉角损伤，应经监理检查后按规定方法修补，修补材料的抗拉强度不应低于 2.0MPa，抗压强度不应低于管片强度的 85%，对于深度较大的位置，应适当增加修补材料强度。

**8.5.14** 应进行成环后垂直度、水平度和位置检查，如果发现偏差，应及时进行调整和修正，衬砌环的竖向中轴线应与设计轴线对齐。

**8.5.15** 成环后管片防水条应齐全、无缺损，粘贴牢固、平整、防水垫圈无遗漏。

## 8.6 井环下沉

**8.6.1** 当下沉系数较小时应采取助沉措施，包括采用降低井壁周面摩阻力、压载法、地锚反力压沉法等。

**8.6.2** 采用减阻泥浆材料降低摩阻力应符合下列规定：

**1** 易漏失泥浆或易翻砂涌泥地层不宜采用减阻泥浆套助沉；

**2** 配比和质量应符合设计要求，避免使用不合格的材料，使用适当的泵送设备且在输送过程中不离析、不沉淀，确保能均匀地覆盖井壁外围；

**3** 下沉过程中应随时检查是否漏浆，控制泥浆损失并及时补浆；

**4** 沉井下沉到位后，宜采用水泥浆、水泥砂浆等材料置换减阻泥浆。

广州市市政集团有限公司

**8.6.3** 采用压载法助沉应符合下列规定：

**1** 当沉井下沉有困难时，可采用压载助沉，但在硬质土层中不宜采用；

**2** 压载助沉方案应考虑周围环境和地质条件，应明确压载的重量、分布位置以及加载方式，确保方案的安全性和有效性；

**3** 加载平台应符合重物堆放方便和结构安全的要求；

**4** 压载材料质量应满足施工和相关标准要求，下沉到设计标高后，应尽快分批卸载；

**5** 当采用压沉装置向下主动加压时，应避免因加载导致管片损坏，应力集中部位应采用加劲板加强；

**6** 压载助沉过程中应控制加载速度和加载量，并应按沉井截面形式对称加载。

条文说明：引自《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 中条款 5.4.14 并适当修改。

**8.6.4** 采用桩锚反力助沉应符合下列规定：

**1** 在硬质土层、地下水丰富、周边沉降要求高的条件下，宜采用地锚反力助沉；

**2** 应确保装置部件安装位置准确，且与沉井的连接牢固可靠；应选择强度高、耐腐蚀、耐磨损的材料，能够承受预期拉力；

**3** 应根据计算确定千斤顶的额定顶力、行程与配置数量；

**4** 地锚桩应有足够的抗剪强度和埋设深度，地锚桩应避开顶管洞口。

**8.6.5** 不得因底梁的设置和固定而影响沉井的下沉和使用，底梁应与井壁均达到设计强度后共同下沉。

**8.6.6** 下沉阶段，锅底底面距离刃脚标高不宜大于 1.5 m。

**8.6.7** 下沉阶段，挖流动性土时，井内水位宜高出井外水位 1m 以上。

**8.6.8** 当沉井下沉至距离设计标高约 2m 时，应降低下沉速度，以纠偏为主。

**8.6.9** 水文地质条件不利时，宜采用水下封底。

**8.6.10** 封底混凝土宜采用导管法浇筑，灌注导管应合理布置，确保不留盲区。浇筑顺序应从低处开始，逐渐向四周扩展。

**8.6.11** 水下封底混凝土应至少达到设计强度 70%以上进行抽水，如发现渗漏应及时封堵，检查合格后方可浇筑钢筋混凝土底板。

**8.6.12** 封底混凝土达到设计强度后，应对接缝防水进行渗漏点观察，对井体渗漏点应提出渗漏封堵治理方案并认真实施。

**8.6.13** 对于渗漏点应及时予以封堵，堵漏材料应满足堵水要求。堵漏注浆时，注浆压

广州市市政集团有限公司

力不应大于管片的设计荷载压力。

**8.6.14** 防水应符合设计要求，当无设计要求时，防水施工应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

**8.6.15** 井环下沉结束后的封底、底板与填仓施工可按现行团体标准《沉井技术规程》CECS***的有关规定执行。

## 8.7 设备维护

**8.7.1** 掘进机维修保养应包括再次使用前维修保养和施工过程中日常维修保养。

**8.7.2** 再次使用前维修保养应制定专项方案。

**8.7.3** 日常维修保养应遵循预防为主、动态检测、强制保养、按需维修、养修并重的原则。

**8.7.4** 应针对各类型沉井掘进机，识别维修过程中的关键工件、关键工序，并对关键工件、关键工序实施过程监控。

**8.7.5** 应做好掘进机维修养现场的安全、消防、保卫、文明施工、环境护等工作。

**8.7.6** 工厂验收合格后，投入使用前应开展动态保养。

**8.7.7** 掘进机维修保养后应进行总装及调试，并应符合下列规定：

**1** 掘进机主机应装配完成，后配套拖车和管线均应安装到位，地面提升系统应满足试车条件；

**2** 掘进机调试应首先进行分系统调试，然后进行整机联动调试并确认连锁控制功能。

**8.7.8** 掘进机的保养与维修应由专业人员负责。

**8.7.9** 根据掘进机的设计、制造相关技术文件，应制定并实施日常保养与维修计划。

**8.7.10** 施工过程中应每日进行检查和停机维修保养，检查和维修保养工作应及时记录。

**8.7.11** 备品备件的维护应符合下列条件：

**1** 应建立备品备件管理体系，合理储备备品备件；

**2** 掘进机备品备件的规格、质量应符合掘进机设计要求；

**3** 掘进机备品备件应按仓储技术要求存储，并应定期检查。

**8.7.12** 掘进机应急保障应符合下列规定：

**1** 掘进机施工过程中应建立 24h 应急保障体系，确保人员、物资及时响应；

广州市市政集团有限公司

**2** 应急保障工作应及时记录。

## 8.8 设备回收

**8.8.1** 主机拆机吊装作业前，应编制详细的拆机方案，并应与所有参与拆机、吊装的作业人员做技术交底。

**8.8.2** 井上作业面应保证有足够的地基承载力，起吊设备和输送车辆等辅助设备的组装、作业空间应充裕

**8.8.3** 设备清洁应符合下列规定：

**1** 宜将设备提升至井口后，对设备整机进行清洁工作，清除掉泥土、渣土、泥浆、油污等；

**2** 应对驱动箱体外壁面、支腿撑紧机构、截割部及辅件管路、接头等部位进行清理。

**3** 清理完毕后，可用高压水冲洗设备，并应注意电气元器件的防护；

**4** 部分系统及元件应做防腐处理。

条文说明：特别是需要拆卸的螺栓冲洗干净，便于拆卸。

**8.8.4** 清洗完毕后，根据拆机流程断开相关管路，注意机械结构部分、流体、液压、电气部分进行分别标识，应做到不缺、不漏，清晰明确。

**8.8.5** 电气部分拆除应符合下列规定：

**1** 所有电缆拆除后电缆接头处均应用自封袋包装并用固定扎带捆扎密封，防止进水和受潮；

**2** 所有电缆宜只拆一端，断开后将其和油缸/连接部件缠绕在一起收回；

**3** 所有拆下的电缆应有明确的标识，没有的标识的统一按要求重新标识；

**4** 380 VAC 的电缆在拆除前，应先断电挂警示牌，然后进行拆除工作；

**5** 在拆除电磁阀、传感器的电缆时，必须断电；

**6** 电气元器件储存箱应附有装箱清单。

**8.8.6** 管路部分拆除应符合下列规定：

**1** 管线拆除原则：不需要完全拆除的宜留在设备上，并做好防护和封堵；需要完全拆除的，应做好封堵和标识；

**2** 液压管及油脂管应用钢堵头、堵板进行封堵及防护，气管、水管应用塑料布或

广州市市政集团有限公司

自封袋、扎带等封存；

**3** 管路拆除过程中，如果有明显压扁、损坏的管路及密封等做报废处理，应做好记录。

**8.8.7** 结构件拆卸应符合下列规定：

**1** 应拆卸掉结构件之间的连接螺栓、销轴；

**2** 销轴、螺栓、螺栓保护帽等应经清洗装箱。销轴孔、结构件连接表面等连接面应刷涂防锈油。

## 8.9 质量控制与检验

**8.9.1** 钢刃脚和钢壳混凝土刃脚的施工质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。施工完成后，质量验收要求符合表 8.9.1 的规定。

**表 8.9.1 刃脚质量验收要求**

| 项目 | 检查项目 | 检查数量 | 允许偏差 | 检查方法 |
|---|---|---|---|---|
| 主控项目 | 端面高差 | ≥8 点 | ≤20mm | 水准仪 |
| | 椭圆度（圆形）<br>净空尺寸（异型） | — | ≤0.3%<br>±0.3%$L$ | 尺量、光学测量仪或三维激光扫描仪 |
| 一般项目 | 中心点 | — | ≤20mm | 全站仪或经纬仪 |
| | 垂直度 | ≥4 点 | ≤0.2% | 垂直度检测尺 |
| | 成环后内径 | ≥4 条 | ±2mm | 钢卷尺 |
| | 成环后外径 | ≥4 条 | +6mm，-2mm | 钢卷尺 |

注：$L$ 表示异型沉井长边净空尺寸

**8.9.2** 施工阶段管片拼装成环质量允许偏差应符合表 8.9.2 的规定。

**表 8.9.2 管片拼装成环允许偏差**

| 序号 | 项目 | 检测数量 | | 允许偏差(mm) | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 范围 | 点数 | | |
| 1 | 井环中轴线偏位 | 逐环 | 1 | ±5‰$D$ 且≤50 | 用全站仪测中线 |
| 3 | 椭圆度 | 逐环 | - | ±3‰$D$ | 断面仪全站仪测量 |
| 4 | 衬砌环内错台 | 逐环 | 5 | 3 | 尺量 |
| 5 | 衬砌环间错台 | 逐环 | 5 | 4 | 尺量 |

广州市市政集团有限公司

注：$D$ 为沉井外径(mm)。

条文说明：此表参考了现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446-2017 和地方标准《地铁盾构法隧道施工技术标准》中对于管片衬砌拼装成环的允许偏差要求，在此基础上根据沉井管片拼装施工的特点结合现行国家标准《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130-2016 进行了修改，并依据工程经验适当提高了精度要求。

**8.9.3** 施工阶段沉井结构允许偏差应符合表 8.9.3 的规定。

**表 8.9.3 沉井结构施工阶段允许偏差**

| 项目 | 检查数量 | | 允许偏差及允许值 | 检验方法 |
|---|---|---|---|---|
| 四等分点中任意两点高差(mm) | 下沉阶段 | ≥2 次/8h | ≤1.5%$L_1$～2.0%$L_1$ 且≤500 | 全站仪 |
| | 终沉阶段 | 1 次/h | | |
| 中心位移 | 下沉阶段 | ≥1 次/8h | ≤1.5%$H_1$ 且≤300 | 全站仪 |
| | 终沉阶段 | ≥2 次/8h | | |

注：1. $L_1$为矩形沉井任两角的距离，圆形沉井为互相垂直的两条直径；

2. $H_1$为下沉总深度；

3. 下沉速度较快时适当增加测量频率。

**8.9.4** 沉井结构终沉后的允许偏差应符合现行国家标准《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130 中的有关规定。

**8.9.5** 抗拔桩桩身质量、抗拔承载力、桩位偏差等均应符合设计要求和行业现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

**8.9.6** 岩锚索等锚固系统的质量检验应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的有关规定。

广州市市政集团有限公司

# 9 监测

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 装配式机械法沉井工程应结合工程特性、施工设备和周边环境条件实施监测，包括主体结构监测、周边环境监测和设备系统监测。遵循“动态监测、实时反馈、分级预警、快速响应”原则，并符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497和现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 等要求。

**9.1.2** 监测单位编写监测方案前，应了解委托方和相关单位对监测工作的要求，并根据拟采用的施工方法和设备，综合现场勘探，搜集、分析和利用现有资料，编写相应的装配式机械法沉井工程的监测方案。监测方案应包括以下内容：

**1** 沉井工程概况；

**2** 监测依据和监测目的；

**3** 监测项目、测点布置、监测方法及精度；

**4** 监测频率、监测数据的记录制度及处理方法；

**5** 各监测项目的预警值及异常情况下的建议处理措施。

**9.1.3** 沉井工程监测项目应根据沉井工程特点、施工工艺、环境保护等级等确定，可按表 9.1.3-1 的规定进行选择。

**表 9.1.3-1 沉井结构安全等级及其对应项目**

| 工程监测等级 | 地下管线位移 | 地表土体沉降 | 地表土体沉降建（构）筑物沉降 | 地下水位 | 结构偏移 | 高差（垂直度） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 一级 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 二级 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 三级 | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 工程监测等级 | 管片接缝张开度 | 渗漏量 | 井壁外侧土压力 | 土体水平位移 | 土体分层沉降 | 钢筋应力 |
| 一级 | √ | √ | ◇ | √ | ◇ | √ |
| 二级 | √ | √ | ◇ | ◇ | ◇ | √（有十字梁），◇（无十字梁） |
| 三级 | √ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ | ◇ |

注：√为应测项目；◇为选测项目，可按设计要求进行选择。

条文说明：（1）沉井结构安全等级可按照 5.1.9 确定。（2）建(构)筑物监测内容为垂直位移、水平位移、倾斜、裂缝等,地下管线监测内容为垂直位移、水平位移,地表监测内容为垂直位移、裂缝。（3）本标准共列出 12 项监测项目，主要反映的是监测对象的

广州市市政集团有限公司

物理力学性能：受力和变形。对于同一个监测对象，这两个指标有着内在的必然联系，相辅相成，配套监测可以帮助判断数据的真伪，做到去伪存真。周边管线的变形破坏产生的后果很大，本条规定三个等级的地下管线位移都为“应测”。地表土体沉降是综合分析沉井施工稳定性以及地层位移对周边环境影响的重要依据，且地表沉降监测简便易行，因此，各监测等级均规定为应测项目。当工程周边存在既有建(构)筑物及设施时，监测项目或监测手段往往需要与有关的管理部门或单位协商确定。地下水的存在对施工影响很大，一方面给施工增加难度，另一方面也会给安全施工带来威胁。地下水位观测是监控地下水位变化最直接的手段，根据监测到的水位变化可及时采取应对措施，预防事故的发生。因此，将地下水位监测规定为应测项目。结构偏移、高差（垂直度）和管片接缝张开度是判断沉井施工过程中，结构姿态的重要参考标准，三个等级都为“应测”。渗漏量指单位时间内地下水通过沉井结构或周围土体渗入井内的水量，若渗漏量过大会导致井内积水导致沉井浮力失衡或施工停滞，对于三级沉井可根据施工需要选测。对井壁外侧土压力、土体水平位移、土体分层沉降进行监测，可以了解和掌握沉井实际受力情况和安全状态，对设计和施工具有较好的指导意义，但由于成本较大、操作困难，当设计、施工需要或受力条件复杂时可以选测。对钢筋应力监测可以用于指导施工纠偏并预防结构损伤，有“十字梁沉井”因其成本高且常用于高荷载、地质条件差的情况，因此二级“十字梁沉井”的钢筋监测为应测。

**9.1.4** 当沉井工程邻近重要建（构）筑物和管线、城市生命线工程或附近存在有特殊要求的仪器设备时，应按相关部门的特殊要求增加监测项目。

**9.1.5** 沉井距河流水系的距离较近时，应增加地下水位监测，并应对防汛墙和大堤进行沉降监测，防汛墙和大堤的沉降监测点设置应得到相关部门的确认。

**9.1.6** 沉井开挖施工和下沉前三天应完成监测项目初始值测定，取 2 次~3 次观测平均值作为该监测项目初始值。工程监测的现场记录内容应真实、规范，并妥善保管。

**9.1.7** 监测单位应严格实施监测方案，及时分析、处理监测数据，并将监测结果和评价及时通知各相关单位。

**9.1.8** 当监测数据达到警戒值时，必须立即通报各相关单位并增加监测频率。监测警戒值建议值应由建设、设计及相关单位等确定。

**9.1.9** 监测仪器应在效验的有效期内，并定期检查和保养，确保仪器性能完好。

**9.1.10** 监测(点)孔的布置应遵循下列原则：

**1** 监测（点）孔应由工程安全等级、环境保护等级、周边邻近建(构)筑物性质、

地下管线现状、沉井的类型及形状、位置以及挖土方案、施工进度等因素综合确定；

**2** 应严格按经审批的监测方案布置，施工过程中应做好监测点的保护工作，应设置监测点的保护装置或采取保护措施，保证埋设成活率应满足工程监测需要；

**3** 重要监测点损坏后应及时修复或重布。

**9.1.11** 监测数据应能反映沉井和周边被监测对象的受力、变形的变化趋势，同时为设计和施工提供正确的数据和分析意见。

**9.1.12** 当发生下列情况之一时，应立即通报各相关单位，并应提高监测频率。

**1** 监测数据达到预警值；

**2** 机械沉井压载配重设备工作异常；

**3** 存在勘察未发现的不良工程地质现象；

**4** 沉井附近地面荷载突然增大或超过设计限值；

**5** 周边地面突发较大沉降或出现严重开裂；

**6** 邻近建筑突发较大沉降、不均匀沉降或出现严重开裂。

## 9.2 主体结构监测

**9.2.1** 为避免监测对装配式机械法沉井工程的结构安全和正常使用产生影响，采用无损检测方式，对沉井结构井壁进行实时监测，及时发现内部的缺陷和影响，沉井本体变形监测点布置应包括沉井本体顶部、中部、底部。

**9.2.2** 监测频率与报警建议值宜根据工程性质、装配式机械法工艺的不同按表 9.2.2-1 和表 9.2.2-2 执行，若监测项目的日变化量较大时，应加密。

**表 9.2.2-1 主体结构监测频率**

| 下沉工况 | 监测频率 |
|---|---|
| 下沉前 | 至少测 3 次初值 |
| 下沉过程中 | 1 次/d，如监测数据超过警戒值，应 2 次/d |
| 结构接高过程 | 2 次/7d |
| 封底过程中 | 1 次/d，如监测数据超过警戒值，应 2 次/d |
| 封底结束后 7d~30d | 1 次/3d |
| 后期 30d~60d | 1 次/15d |

**表 9.2.2-2 主体结构监测预警值**

广州市市政集团有限公司

| 项目 | 每次下沉到位时<br>（除终沉外） | 每次下沉过程中 |
|---|---|---|
| 竖向位移 | 1%$H_2$ | 200mm |
| 水平位移 | 100mm | 200mm |
| 沉井四等分点 | 300mm | 300mm |

注：$H_2$为每次下沉的深度。

条文说明：根据固定间隔时差的下沉深度差计算得到下沉速率,应保证其在容许的控制范围之内。在接高前后和下沉到位前需要对下沉深度和下沉速率进行测量控制。

**9.2.3** 主体结构监测预警值应根据设计要求确定；设计无要求时，可按表 9.2.3 采用。

**表 9.2.3 沉井终沉后允许偏差**

| 项目 | 每次下沉到位时<br>（除终沉外） | 每次下沉<br>过程中 |
|---|---|---|
| 刃脚平均标高 | 120mm | 150mm |
| 刃脚平面的中心线位移 | 1.0%$H_1$ | 1.5%$H_1$ |
| 沉井四等分点中任意两点的高差 | 1.0%$L_1$ | 1.5%$L_1$ |

注：1. $H_1$为下沉深度（mm）；

2. $L_1$为矩形沉井两角间的距离，圆形沉井为直径长度（mm）；

3. 终沉按验收标准控制。

条文说明：根据沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130，《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137 的规定。

## 9.3 设备系统监测

**9.3.1** 机械设备（液压顶推系统、导向架、纠偏装置）应进行空载试运行，压力、位移传感器校准误差不得超过±1%。

条文说明：机械设备使用前进行试运行和误差校准，传感器不宜采用电阻式传感器。传感器使用前应进行标定,安装方法应符合产品设计要求与监测要求。

**9.3.2** 应在开挖过程中，对水下取土机器的工作状态进行监测，确保其按预定的轨迹进行。

**9.3.3** 装配式机械法沉井工程通过多个液压油缸组成的下沉单元组成的主动下压设备进行下沉，监测下沉单元与沉井结构下部基础环相连的钢绞线悬吊的安全性。

**9.3.4** 装配式机械法沉井下沉阶段，应精确监测智能推进系统的正常运行，保证自适应调整推力、主动纠偏功能正常，下沉阶段每 30 分钟采集一次关键参数（垂直度、顶推

广州市市政集团有限公司

力）。

条文说明：关键参数采集频率无规范规定，取自于施工的常规要求。

## 9.4 周边环境监测

**9.4.1** 装配式机械法沉井周边环境监测点应根据沉井工程监测等级、周边临近建(构)筑物性质、地下管线现状等确定，周边环境监测范围不小于 2 倍井深。

条文说明：（1）坑外地层变形:沉井工程对周围环境的影响范围大约有 2 倍井深，监测点考虑在这个范围内进行布置。具体范围应根据地质条件、周边保护对象的重要性等确定。一般情况下，软弱地层以及对施工降水影响较敏感的地层宜取该范围的较大值。必要时尚应扩大监测范围；

（2）临近建(构)筑物变形:建筑物变形监测的主要内容有 3 项：建筑物的沉降监测、建筑物的倾斜监测和建筑物的裂缝监测；

（3）临近地下管线沉降与位移监测：地下管道根据其材料性能和接头构造可分为刚性管道和柔性管道。其中煤气管和自来水管是刚性压力管道,是监测的重点。测点的布置优先考虑煤气管和自来水管等刚性压力管,对差异沉降较敏感,接头处是薄弱环节；测点的埋设方式采用间接测点，将测点埋设在管线轴线相对应的地表。

**9.4.2** 周边环境监测点布置可按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定执行。在沉井外围 30m 范围内布设不少于 3 组基准控制点，坐标测量精度应达±1mm。静止阶段每 4 小时监测一次周边环境建（构）筑物沉降。

条文说明：周边环境对象监测点的布设位置、数量考虑了以下几个条件：（1）周边环境对象的风险等级大小；（2）周边环境所处的工程影响区；（3）周边环境对象自身的材质、结构形式；（4）工程地质水文地质条件的复杂程度；（5）所采用的监测方法和现场监测的可实施性。

**9.4.3** 周边环境监测项目的预警值应根据设计文件的要求确定；当无明确要求，可按表 9.4.3 采用。

**表 9.4.3 周边环境监控预警值**

| 监测对象<br>报警项目 | | | | 变化速率（mm/d） | 累计值（mm） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 地下水水位变化 | | | 500 | 1000 | |
| 2 | 地下管线 | 刚性管线 | 压力 | 1~3 | 10~30 | 直接 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 位移 | | 非压力 | 3~5 | 10~40 | 观察点数据 |
| | | 柔性管线 | | 3~5 | 10~40 | |
| 3 | 紧邻建（构）筑物 | | | 1~3 | 10~60 | |
| 4 | 裂缝宽度 | 建（构）筑物 | | 持续发展 | 0.2~0.25 （混凝土结构）<br>3.0（砌体结构） | 新增裂缝 |
| | | 地表 | | 持续发展 | 10~12 | |

注：建筑整体倾斜度累计值达到 2/1000 或倾斜速度连续 3d 大于 0.0001*H*/*d*（*H* 为建筑承重结构高度）时应预警；监测等级为一级时取小值，三级时取大值。

条文说明：周边环境对象监测点的布设位置、数量考虑了以下几个条件：（1）周边环境对象的风险等级大小；（2）周边环境所处的工程影响区；（3）周边环境对象自身的材质、结构形式；（4）工程地质水文地质条件的复杂程度；（5）所采用的监测方法和现场监测的可实施性。

## 9.5 成果资料

**9.5.1** 监测资料包括监测过程中提供的监测日报表（速报）、监测中间报告（阶段报告）和最终监测报告，宜采用数据化协同管理系统。

**9.5.2** 监测的初始记录和监测数据应详细完整，数据处理应认真计算整理、仔细校核，并应及时提交当日报表，施工周期较长时尚应提供阶段性报告。在报表和报告中应反映施工工况和预警值，并进行综合分析判断，及时提出工程建议。

**9.5.3** 成果文件中提供的数据、图表应客观、真实、准确。成果文件应标识工程名称、工程编号、编写单位、提交报告日期等。

**9.5.4** 当监测值达到报警指标或出现危险事故征兆时，应及时通报各方及有关部门，协商处理。

**9.5.5** 监测结束后应编写完整监测报告，其内容包括：

**1** 工程概况；

**2** 监测依据；

**3** 监测项目；

**4** 测点布置；

**5** 检查的设备和监测方法；

**6** 监测频率；

**7** 监测预警值；

广州市市政集团有限公司

**8** 监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；

**9** 沉井最终垂直度、平面位置偏差；

**10** 周边建筑物沉降最大值及稳定时间曲线；

**11** 监测工作结论与建议。

广州市市政集团有限公司

# 10　工程验收

## Ⅰ 主控项目

**10.0.1**　沉井结构表面应无贯穿性裂缝、无缺棱掉角，管片接缝应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察检验，检查施工记录。

**10.0.2**　沉井防水应符合设计文件的要求。

检验数量：逐环检验。

检验方法：观察检查及钢尺量测渗水面积，检查施工记录。

**10.0.3**　衬砌结构严禁侵入建筑限界。

检验数量：逐环检验。

检验方法：全站仪、水准仪等专业测量仪器检验。

**10.0.4**　井环验收项目和允许偏差应符合表 10.0.4 的规定。

**表 10.0.4 井环中轴线偏位和高程允许偏差(mm)**

| 检验项目 | 允许偏差(mm) | 检验方法 | 检验数量 |
|---|---|---|---|
| 井环中轴线偏位 | ±50 | 全站仪 | 逐环检验 |
| 井环高程 | ±100 | 水准仪 | 逐环检验 |
| 垂直度 | ≤0.5%$H$ | 测斜仪、垂线法 | 逐环检验 |

注：$H$ 为沉井总高度

**10.0.5**　沉井结构验收项目和允许偏差应符合本标准 8.9.4 条的规定。

检验数量：整体检验。

检验方法：全站仪、水准仪等专业测量仪器检验，检查施工记录。

## Ⅱ 一般项目

**10.0.6**　井环的椭圆度和错台允许偏差应符合表 10.0.6 的规定。

**表 10.0.6 井环的允许偏差、检验方法和检验数量**

| 检验项目 | 允许偏差 | 检验方法 | 检验数量 | |
|---|---|---|---|---|
| 椭圆度(mm) | ±4‰D | 断面仪、全站仪测量 | 逐环检验 | |
| 环内错台(mm) | 15 | 尺量 | 逐环检验 | 4 点/环 |
| 环间错台(mm) | 20 | 尺量 | 逐环检验 | 4 点/环 |

广州市市政集团有限公司

条文说明：参考了现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 中对于管片衬砌拼装成环的允许偏差要求，并结合沉井工程实际工程经验提高了适当提高了要求。

**10.0.7** 封底混凝土的验收项目和标准应符合表 10.0.7 的规定。

**表 10.0.7 封底混凝土质量检验标准**

| 编号 | 检查项目 | 允许偏差及允许值 | 检验方法 |
|---|---|---|---|
| 1 | 混凝土强度（MPa） | 在合格标准内 | 按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 检查 |
| 2 | 基底高程（mm） | 0，-200 | 测绳和水准仪 |
| 3 | 顶面高程（mm） | ±50 | 水准仪 |

条文说明：引自穆保岗编著的《大型沉井设计、施工及监测》（中国建筑工业出版社）。表中引用的附录 D 来自现行标准，如有修订更新以最新版本为准。由于沉井底部的封底混凝土位于地下深处，常规检测手段难以准确评估其质量。可采用探地雷达技术对封底混凝土的质量进行检测，以弥补传统方法的不足。

广州市市政集团有限公司

# 11　安全与环境保护

## 11.1　一般规定

**11.1.1** 施工过程的安全和环境保护应符合国家现行《建筑施工安全检查标准》JGJ 59、《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的有关规定。

**11.1.2** 施工机械的使用应符合《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 和机械设备说明书的规定。

**11.1.3** 施工临时用电应符合《施工现场临时用电安全技术规定》JGJ 46 的规定。

**11.1.4** 应按现行国家《建筑施工场所噪声限值》GB 12523 的规定，在施工期间严格控制噪声，采取措施避免施工噪声、振动、水质和土壤污染及地表下沉等对周边环境造成影响。

**11.1.5** 沉井安全施工应贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，施工前应对各种安全危险源进行辨识和评估，并应在施工过程中有针对性地采取各种有效措施，预防事故发生。

**11.1.6** 沉井环境保护施工应遵循“预防为主、防治结合、综合治理”的原则，结合工程特点，对在施工中可能对环境造成的不利影响，应制订具体的预防方案并实施。

**11.1.7** 工程施工总承包单位应对施工现场的安全与环境负总责，分包单位应服从总承包单位的管理。参建单位及现场人员应有维护施工现场安全与环境的责任和义务。

**11.1.8** 工程的安全与环境管理应纳入施工组织设计或编制专项方案，并明确目标和措施。

**11.1.9** 施工现场应建立安全与环境管理制度，落实管理责任，定期检查并记录。

**11.1.10** 建设工程的参建单位应根据法律法规的规定，针对可能发生的安全、环境等突发事件建立应急管理体系，制定相应的应急预案并组织演练。

**11.1.11** 施工人员的教育培训、考核应包括安全与环境等有关内容。机电设备应专人操作，操作时应遵守操作规程。特殊工种(电工、焊工、机操工等)及小型机械工应持证上岗。

**11.1.12** 施工现场临时设施、临时道路的设置应符合安全、消防、环保等有关规定。施工区、材料加工及存放区应与办公区、生活区划分清晰，并应采取相应的隔离措施。

**11.1.13**　施工单位应为施工人员提供必备的劳动防护用品，施工人员应正确使用劳动防

广州市市政集团有限公司

护用品。劳动防护用品应符合现行行业标准《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》JGJ 184 的规定。

**11.1.14** 有毒有害作业场所应在醒目位置设置安全警示标识，并应符合现行国家标准《工作场所职业病危害警示标识》GBZ 158 的规定。施工单位应依据有关规定对从事有职业病危害作业的人员定期进行体检和培训。

**11.1.15** 施工单位应根据季节气候特点，做好施工人员的饮食卫生、防暑、防寒、防疫和防中毒等工作。

**11.1.16** 当施工现场发生有关安全、环境等突发事件时，应按有关规定向施工现场所在地建设行政主管部门和相关部门报告。施工中发生事故时，应迅速反应，按应急预案的规定进行救援和处理。

## 11.2 施工安全

**11.2.1** 施工前，应根据合同要求、机械化沉井设备状况、地质条件、施工方法、沉井下沉深度等条件，编写施工组织设计或专项方案。

**11.2.2** 施工前应成立安全管理领导小组，建立与健全安全管理体系，制定安全管理目标，施工中必须严格遵守有关安全法规、设备操作规程与安全操作规程，严禁违章作业。

**11.2.3** 水域沉井施工应取得海事管理机构颁发的水上水下活动许可证后，方可进行相应的水上水下活动。在施工期间，施工单位应采取措施，维护良好的作业秩序，保障水域沉井水上交通安全。

**11.2.4** 机械设备安装中各总成件、零部件、附件及附属装置应齐全完整，安装应牢固。各行程限位开关和安全保护装置应完好齐全，灵可靠，不得随意调整或拆除。

**11.2.5** 设备及沉井起重吊装作业前，必须编制吊装作业的专项施工方案并应进行安全技术措施交底；作业中，未经技术负责人批准，不得随意更改。

**11.2.6** 起重机操作人员、起重信号工、司索工等特种作业人员必须持特种作业资格证书上岗。严禁非起重机驾驶人员驾驶、操作起重机。

**11.2.7** 施工必须严格按沉井的施工规程、技术方案等进行作业，所有人员必须经培训后方可上岗作业。

**11.2.8** 机械法沉井应每天进行检查和维护。日常检查保养的内容主要是清洁、紧固、调整、润滑、防腐。维修保养工作中，应作好机械的故障和维修保养记录。

**11.2.9** 机械化沉井下沉需人员内作业场所应设置照明和消防设施，并应配备通信设备

广州市市政集团有限公司

和应急照明。

**11.2.10** 当存在可燃性或有害气体时，应使用专用仪器进行检测，并应加强通风措施，气体浓度应控制在安全允许范围内。

**11.2.11** 机械化沉井下沉施工时应控制工程施工引起的地表沉降和地层变形，其变形控制值应根据工程场地、地质情况、邻近建(构)筑物等实际情况确定，并应采取相关变形控制措施。

**11.2.12** 建(构)筑物变形控制值应根据当地经验和工程类比确定，并应采取相应的工程技术措施确保建(构)筑物的安全及正常使用功能。

## 11.3 环境保护

11.3.1 沉井施工环境的差异性是由各种地质、水文和气候因素共同决定和影响而成的，沉井施工应根据不同地质制定合适的环境保护措施。

**11.3.2** 沉井施工应设置排水系统。排水系统严禁与泥浆系统串联，严禁向排水系统排放泥浆。

**11.3.3** 沉井施工现场出入口处应设置冲洗设施、污水池和排水沟，由专人对进出车辆进行清洗保洁。

**11.3.4** 施工中产生的废渣和废水等应及时处置。

**11.3.5** 施工作业环境应保持安全、卫生、文明施工。

**11.3.6** 施工中应实施过程监控，宜使用低噪音、低振动的机械设备，加强机械设备保养，降低尾气排放，确保环境安全。

**11.3.7** 施工期间，在施工现场所产生的施工废水应经过沉淀过滤达到国家标准后，方可排入公用市政排水管网。

**11.3.8** 施工现场各作业场地均应设置必要的消防器材，应根据火灾的预想性质及周围的环境合理选择。

**11.3.9** 夜间施工应办理相关手续，并应采取措施减少声光的不利影响。

广州市市政集团有限公司

# 附录 A　荷载与作用

## A.0 永久作用

**A.0.1**　结构重力计算时，材料容重可参考表 A.0.1 取用。永久设备的自重标准值可按设备样本提供的数据采用；构件上设备转动部分的自重和轴流泵的轴向力应乘以动力系数后作为标准值，动力系数可取 2.0。

**表 A.0.1　常用材料的重力密度**

| 材料种类 | 重度（kN/m³） |
|---|---|
| 钢、铸钢 | 78.5 |
| 铸铁 | 72.5 |
| 锌 | 70.5 |
| 铅 | 114.0 |
| 黄铜 | 81.1 |
| 青铜 | 87.4 |
| 钢筋混凝土或预应力混凝土 | 25.0~26.0 |
| 混凝土或片石混凝土 | 24.0 |
| 浆砌块石或料石 | 24.0~25.0 |
| 浆砌片石 | 23.0 |
| 干砌块石或片石 | 21.0 |
| 沥青混凝土 | 23.0~24.0 |
| 沥青碎石 | 22.0 |
| 碎（砾）石 | 21.0 |
| 填土 | 17.0~18.0 |
| 填石 | 19.0~20.0 |
| 石灰三合土、石灰土 | 17.5 |

注：由于转动设备或轴流泵等为长期运行设备，其自重应考虑动力系数。

**A.0.2**　计算作用在沉井结构上的水平荷载时，应包括下列因素产生的侧向荷载：

**1**　沉井内外土的自重（包括地下水或地表水）；

**2**　沉井周边既有和在建的建（构）筑物荷载；

**3**　沉井周边设备荷载。

**A.0.3**　土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土压力和水压力的分算、合算方法及相应的土的抗剪强度指标选取应符合下列规定：

**1**　对地下水位以上的黏性土、粘质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c_{cu}$、$\varphi_{cu}$或直剪固结快剪强度指标$c_{cq}$、$\varphi_{cq}$，对地下水位以上的砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标$c'$、$\varphi'$；

**2**　对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法；此时，

广州市市政集团有限公司

对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c_{cu}$、$\varphi_{cu}$或直剪固结快剪强度指标$c_{cq}$、$\varphi_{cq}$，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标$c_{uu}$、$\varphi_{uu}$；淤泥、淤泥质土等饱和软粘土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标$c_{uu}$、$\varphi_{uu}$；

**3** 对地下水位以下的砂性土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标$c'$、$\varphi'$，对砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标$c_{cu}$、$\varphi_{cu}$或直剪固结快剪强度指标$c_{cq}$、$\varphi_{cq}$代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标$\varphi'$可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

**4** 当有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

条文说明：本条对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的土的抗剪强度指标的试验方法进行了归纳并作出统一规定。因为土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有多种类型的参数，不同试验方法作出的抗剪强度指标的结果差异很大，计算和验算时不能任意取用，应采用与沉井结构开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本一致的试验方法去获得计算指标。由于各章有关公式很多，在各个公式中一一指明其试验方法和指标类型难免重复累赘，因此，在这里作出统一说明，应用具体章节的公式计算时，应与此对照，防止误用。

根据土的有效应力原理，理论上对各种土均采用水土分算方法计算土压力更合理，但实际工程应用时，黏性土的孔隙水压力计算问题难以解决，因此对黏性土采用总应力法更为实用，可以通过将土和水作为一体的总应力强度指标反映孔隙水压力的作用。砂土采用水土分算计算土压力是可以做到的，因此本标准对砂土采用水土分算方法。

按有效应力原理，土的抗剪强度与有效应力存在相关关系，也就是说只有有效抗剪强度指标才能真实地反映土的抗剪强度。但在实际工程中，黏性土无法通过计算得到孔隙水压力随沉井结构开挖过程的变化情况，从而也就难以采用有效应力法计算沉井结构的土压力、水压力和进行沉井稳定性分析。从实际情况出发，本条规定在计算土压力与进行土的稳定分析时，黏性土应采用总应力法。采用总应力法时，土的强度指标按排水

广州市政集团有限公司

条件是采用不排水强度指标还是固结不排水强度指标应根据沉井结构开挖过程的应力路径和实际排水情况确定。由于沉井结构开挖过程是卸载过程，沉井结构外侧的土中总应力是小主应力减小，大主应力不增加；结构内侧土中竖向总应力减小，同时，黏性土在剪切过程可看作是不排水的。因此认为，土压力计算与稳定性分析时，均采用固结快剪较符合实际情况。

淤泥、淤泥质土等饱和软粘土采用三轴不固结不排水抗剪强度能较好的反映其总强度，且计算结果偏于安全，参考《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011、《深圳市基坑技术规范》SJG 05-2011 等规范基础上，考虑到沉井结构安全性要求较高，因此淤泥、淤泥质土等饱和软粘土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标。

对地下水位以下的砂土，可认为剪切过程水能排出而不出现超静水压力。对静止地下水、孔隙水压力可按水头高度计算。所以，采用有效应力方法并取相应的有效强度指标较为符合实际情况，但砂土难以用三轴试验与直剪试验得到原状土的抗剪强度指标，要通过其他方法测得。

**A.0.4** 作用在沉井结构上的土压力应符合下列规定：

**1** 沉井结构外侧的主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准值宜按下列公式计算（图 A.0.4)：

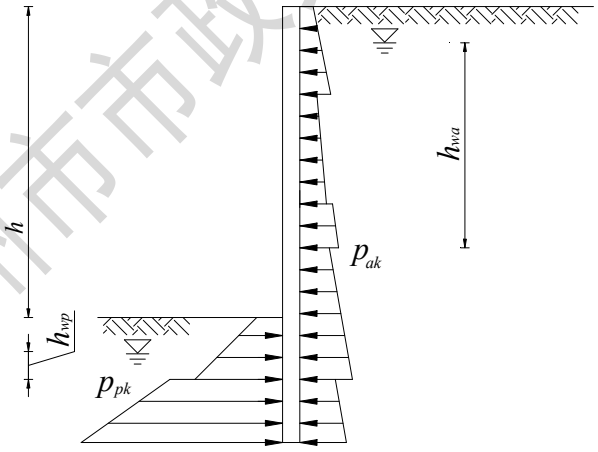



**图 A.0.4 土压力计算**

（1）对地下水位以上或水土合算的土层：

$$P_{ak}=\sigma_{ak}K_{a,i}-2c_i\sqrt{K_{a,i}} \qquad \text{（A.0.4-1）}$$

$$K_{a,i}=\tan^2\left(45°-\frac{\varphi_i}{2}\right) \qquad \text{（A.0.4-2）}$$

$$P_{pk}=\sigma_{pk}K_{p,i}+2c_i\sqrt{K_{p,i}} \qquad \text{（A.0.4-3）}$$

广州市市政集团有限公司

$$K_{p,i}=\tan^2\left(45°+\frac{\varphi_i}{2}\right) \qquad \text{（A.0.4-4）}$$

式中：$P_{ak}$——沉井结构外侧，第 $i$ 层土中计算点的主动土压力（水土压力）强度标准值（kPa）；当 $P_{ak}<0$ 时，取 $P_{ak}=0$；

$\sigma_{ak}$ ——沉井结构外侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

$\sigma_{pk}$ ——内侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

$K_{a,\,i}$ ——第 $i$ 层土的主动土压力系数；

$K_{p,\,i}$ ——第 $i$ 层土的被动土压力系数；

$c_i$ ——第 $i$ 层土的黏聚力（kPa）；

$\varphi_i$ ——第 $i$ 层土的内摩擦角（°）；

$P_{pk}$ ——沉井结构内侧，第 $i$ 层土中计算点的被动土压力（水土压力）强度标准值（kPa）。

$h_{wa}$ ——沉井外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离(m)；对于承压水，地下水位取测压管水位；当有多个含水层时，应取计算点所在含水层的地下水位；

$h_{wp}$ ——沉井内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离(m)；对承压水，地下水位取测压管水位；

$h$ ——沉井内地面至沉井顶部的距离（m）。

（2）对于水土分算的土层：

$$P_{ak}=(\sigma_{ak}-u_a)K_{a,i}-2c_i\sqrt{K_{a,i}}+u_a \qquad \text{（A.0.4-5）}$$

$$P_{pk}=(\sigma_{pk}-u_p)K_{p,i}-2c_i\sqrt{K_{p,i}}+u_p \qquad \text{（A.0.4-6）}$$

式中：$u_a$ ——沉井结构外侧计算点的水压力（kPa）；

$u_p$ ——沉井结构内侧计算点的水压力（kPa）。

**2** 在土压力影响范围内，当存在相邻建筑物地下墙体等稳定界面时，可采用库仑土压力理论计算界面内有限滑动楔体产生的主动土压力，此时，同一土层的土压力可采用沿深度线性分布形式，沉井结构与土之间的摩擦角宜取零；

**3** 当需限制沉井结构的水平位移时，沉井结构外侧的土压力宜取静止土压力；

**4** 当有可靠经验时，可采用沉井结构与土相互作用的方法计算土压力。

**A.0.5** 对成层土，土压力计算时的各土层计算厚度应符合下列规定：

**1** 当土层厚度较均匀、层面坡度较平缓时，宜取邻近勘察孔的各土层厚度，或同一计算剖面内各土层厚度的平均值；

广州市市政集团有限公司

**2** 当同一计算剖面内各勘察孔的土层厚度分布不均时，应取最不利勘察孔的各土层厚度；

**3** 对复杂地层且距勘察探孔较远时，应通过综合分析土层变化趋势后确定土层的计算厚度；

**4** 当相邻土层的土性接近，且对土压力的影响可忽略不计或有利时，可归并为同一计算土层。

**A.0.6** 土中竖向应力标准值应按下列公式计算：

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta\sigma_{ak,j} \qquad \text{（A.0.6-1）}$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} + \sum \Delta\sigma_{pk,j} \qquad \text{（A.0.6-2）}$$

式中：$\sigma_{ak}$——沉井结构外侧计算点，由土及土中水自重产生的竖向总应力（kPa）；

$\sigma_{pk}$ ——沉井结构内侧计算点，由土及土中水自重产生的竖向总应力（kPa）；

$\Delta\sigma_{ak,j}$ ——沉井结构外侧第 $j$ 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值（kPa）；

$\Delta\sigma_{pk,j}$ ——沉井结构内侧第 $j$ 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值（kPa）。

**A.0.7** 沉井结构内外侧均布附加荷载作用下的土中附加竖向应力标准值应按下式计算（图 A.0.7）：

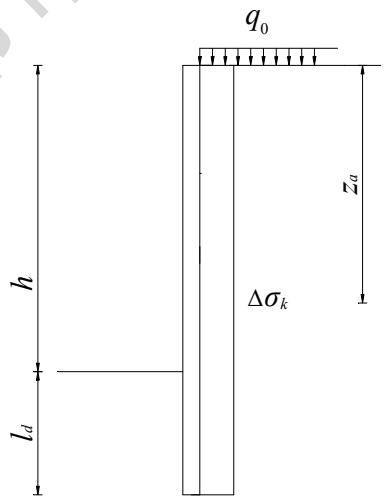



**图 A.0.7 沉井外侧均布竖向附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算**

$$\Delta\sigma_k = q_0 \qquad \text{（A.0.7）}$$

式中：$p_0$——沉井结构内、外侧均布附加荷载标准值（kPa），当水位高于地表时应计

广州市市政集团有限公司

入地表以上部分水压力。

$l_d$——沉井内地面至沉井底部的距离（m）。

**A.0.8** 沉井结构内外侧局部附加荷载作用下的土中附加竖向应力标准值可符合下列规定：

**1** 对条形基础下的附加荷载（图 A.0.8）应按下式计算：

当 $d+a/\tan\theta \le Z_a \le d+(3a+b)/\tan\theta$ 时：

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b}{b+2a} \qquad \text{（A.0.8-1）}$$

当 $Z_a < d+a/\tan\theta$ 或 $Z_a > d+(3a+b)/\tan\theta$ 时，

$$\Delta\sigma_k = 0 \qquad \text{（A.0.8-2）}$$

式中：$p_0$——基础底面附加压力标准值（kPa）；

$d$——基础埋置深度（m）；

$b$——基础宽度（m）；

$a$——沉井结构外边缘至基础的水平距离（m）；

$\theta$——附加荷载的扩散角（°），宜取$\theta$=45°；

$Z_a$——沉井结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离（m）。

**2** 对矩形基础下的附加荷载（图 A.0.8）应按下式计算：

当 $d+a/\tan\theta \le Z_a \le d+(3a+b)/\tan\theta$ 时，

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 bl}{(b+2a)(l+2a)} \qquad \text{（A.0.8-3）}$$

当 $Z_a < d+a/\tan\theta$ 或 $Z_a > d+(3a+b)/\tan\theta$ 时，

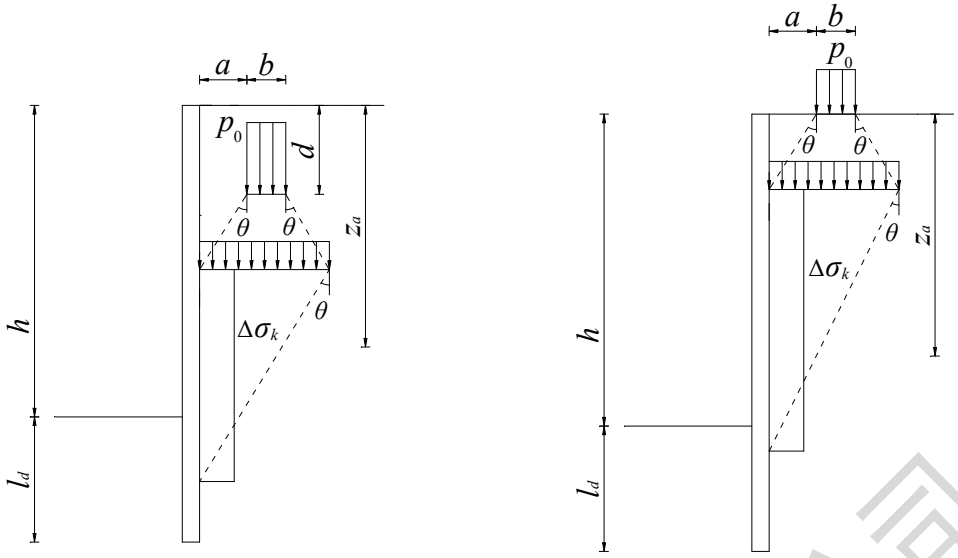
$$\Delta\sigma_k = 0 \qquad \text{（A.0.8-4）}$$

式中：$b$——与沉井边垂直方向上的基础尺寸（m）；

$l$——与沉井边平行方向上的基础尺寸（m）。

**3** 对作用在地面的条形、矩形附加荷载，按本条第 1~2 款计算土中附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ 时，应取 $d$=0（图 A.0.8）。

广州市市政集团有限公司




(a)条形或矩形基础　　(b)作用在地面的条形或矩形附加荷载

**图 A.0.8 沉井外侧局布附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算**

**A.0.9**　当沉井结构顶部低于地面，其上方采用放坡或土钉墙时，沉井结构顶面以上土体对沉井结构的作用宜按库仑土压力理论计算，也可将其视作附加荷载，并按下列公式计算土中附加竖向应力标准值（图 A.0.9）：

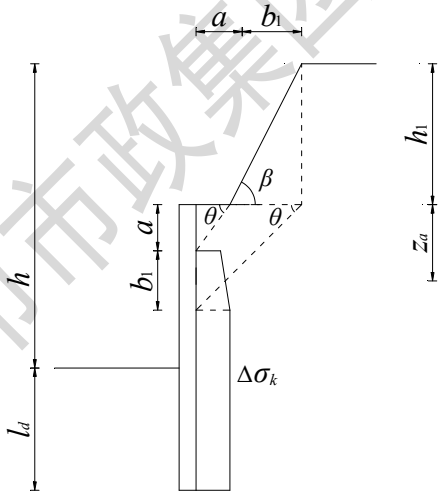



**图 A.0.9 沉井顶部以上采用放坡或土钉墙时土中附加竖向应力计算示意**

**1**　当 $a/\tan\theta \le Z_a \le (a+b_1)/\tan\theta$ 时：

$$\Delta\sigma_k = \frac{\gamma h_1}{b_1}\left(Z_a - a\right) + \frac{E_{ak1}(a+b_1-Z_a)}{K_a b_1^2} \qquad \text{（A.0.9-1）}$$

$$E_{ak1} = \frac{1}{2}\gamma h_1^2 K_a - 2ch_1\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \qquad \text{（A.0.9-2）}$$

**2**　当 $Z_a > (a+b_1)/\tan\theta$ 时：

广州市市政集团有限公司

$$\Delta\sigma_k = \gamma h_1 \qquad \text{（A.0.9-3）}$$

**3** 当$Z_a < a\tan\theta$时：

$$\Delta\sigma_k = 0 \qquad \text{（A.0.9-4）}$$

式中：$a$——沉井结构外边缘至放坡坡脚的水平距离（m）；

$b_1$——放坡坡面的水平尺寸（m）；

$h_1$——地面至围堰结构顶面的竖向距离（m）；

$\gamma$——沉井结构顶面以上土的天然重度（kN/m³）；对多层土取各层土按厚度加权的平均值；

$c$——沉井结构顶面以上土的黏聚力（kPa）；

$K_a$——沉井结构顶面以上土的主动土压力系数；对多层土取各层土按厚度加权的平均值；

$E_{ak1}$——沉井结构顶面以上土的自重所产生的单位宽度主动土压力标准值（kN/m）。

**A.0.10** 沉井内的静水压力应按设计水位计算。清水的重度可取 10kN/m³，污水的重度根据水质可取 10kN/m³~10.8kN/m³。

**A.0.11** 水或泥浆的浮力可按下列规定采用：

**1** 基础底面位于透水性地基上的沉井，当验算稳定性时，应考虑设计水位的浮力；当验算地基承载力时，可仅考虑低水位的浮力，或不考虑水的浮力。

**2** 基础嵌入不透水性地基的沉井可不考虑水的浮力。

**3** 当不能确定地基是否透水时，应以透水或不透水两种情况与其他作用组合，取其最不利者。

**4** 水或泥浆的浮力标准值可按下式计算：

$$F_w = \gamma_w V_w \qquad \text{（A.0.11）}$$

式中：$F_w$——水或泥浆浮力（kN）；

$V_w$——结构排开水或泥浆的体积（m³）。

条文说明：水浮力为作用于建筑物基底面的由下向上的水压力，等于建筑物排开同体积的水重力。地表水或地下水通过土体孔隙的自由水沟通并传递水压力。水是否能渗入基底是产生水浮力的前提条件，因此，水浮力与地基土的透水性、地基与基础的接触状态以及水压大小(水头高低)和浸水时间等因素有关。

广州市政集团有限公司

对于透水性土，应计算水浮力；对于非透水性土，可不考虑水浮力。由于土的透水性质难以预测，故对于难以确定是否具有透水性质的土，计算基底应力时，不计浮力。计算稳定时，计入浮力。对于计算水浮力的水位，计算基底应力用低水位，计算稳定用设计水位。

完整岩石(包括节理发育的岩石)上的基础，当基础与基底岩石之间灌注混凝土且接触良好时，水浮力可以不计。但遇破碎的或裂隙严重的岩石，则应计入水浮力。作用在桩基承台底面的水浮力要考虑，但如桩下沉嵌入岩层并灌注混凝土者，需扣除桩截面。

**A.0.12** 预加力应按现行《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092、《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定计算确定。

## A.1 可变作用

**A.1.1** 沉井顶板应根据实际受力情况确定顶板活荷载标准值，当无特殊要求时，给排水工程沉井顶板或平台可取 4kN/m$^2$。

**A.1.2** 地面活荷载标准值应按下列规定确定：

**1** 地面活荷载可分为地面堆积荷载和地面车辆荷载；

**2** 地面堆积荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值，可折算为等效的土层厚度进行计算。当无明确要求时，地面堆积荷载标准值可取 10kN/m$^2$；

**3** 地面车辆荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值，应为该荷载标准值传递到计算深度处的竖向压力标准值乘以计算深度处的土层主动土压力系数；

**4** 地面堆积荷载和地面车辆荷载作用在沉井壁上的侧压力标准值取二者中的较大值。

**A.1.3** 沉井井壁外侧与土层间的摩阻力及其沿井壁高度的分布图形，应根据工程地质条件、井壁外形和施工方法等，通过试验或对比积累的经验资料确定。当无试验条件或无可靠资料时，可按下列规定确定：

**1** 井壁外侧与土层间的单位摩阻力标准值 $f_k$，可根据土层类别按表 A.1.3 的规定选用；

表 A.1.3 井壁与土体间的摩阻力标准值

| 土的名称 | 摩阻力标准值（kPa） |
|---|---|

广州市市政集团有限公司

| | 公路、铁路规范 | 给排水沉井规范 | 水利水电沉井、沉井与气压沉箱规程 | 国标沉井与气压沉箱规范 |
|---|---|---|---|---|
| 流塑状态黏性土 | - | 10~15 | 10~15 | 10~15 |
| 可塑、软塑状态黏性土 | - | 12~25 | 10~25 | 10~25 |
| 硬塑状态黏性土 | - | 25~50 | 25~50 | 25~50 |
| 软土 | 10~12 | - | - | - |
| 黏性土 | 25~50 | - | - | - |
| 砂土 | 12~25 | - | - | - |
| 砂性土 | - | 12~25 | 12~25 | 12~45 |
| 砂砾土 | - | 15~20 | 15~20 | - |
| 砂砾石 | - | - | - | 30~50 |
| 卵石 | 15~30 | 18~30 | 18~30 | 40~60 |
| 砾石 | 15~20 | - | - | - |
| 泥浆套 | 3~5 | 3~5 | 3~5 | 3~5 |
| 空气幕 | - | - | 2~5 | 2~5 |
| 灌砂 | - | 7~10 | - | 7~10 |

注：1.必要时，摩阻力标准值可根据实测资料或实践经验确定；

2.泥浆套为灌注在壁外侧的减阻泥浆，是一种助沉材料；

3.空气幕减阻时，可按表中摩阻力乘 0.5~0.7 系数。

**2** 当沿沉井下沉深度土层为多种类别时，单位摩阻力可取各层土单位摩阻力标准值的加权平均值。该值可按下式计算：

$$f=\frac{\sum_{i=1}^{n} f_{ki}h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \qquad \text{（A.1.3）}$$

式中：$f$——多层土单位摩阻力标准值的加权平均值（kPa）；

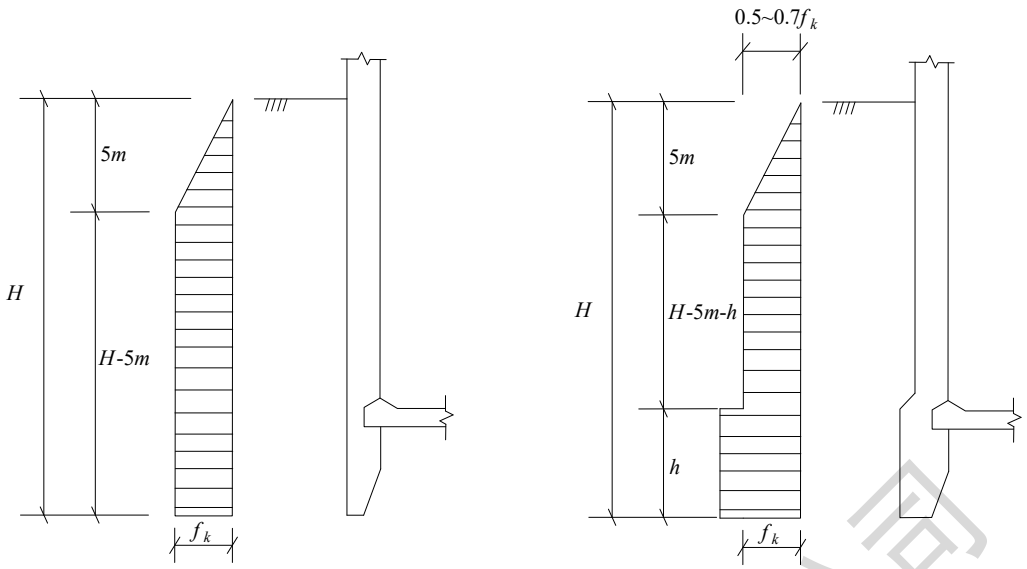
$f_{ki}$——第 $i$ 层土的单位摩阻力标准值，按表 A.1.3 选用；

$h_i$——第 $i$ 层土的厚度（m）；

$n$——沿沉井下沉深度不同类别土层的层数。

**3** 摩阻力沿沉井井壁外侧的分布图形，当沉井井壁外侧为直壁时，可按图 A.1.3（a）采用；当井壁外侧为阶梯形时，可按图 A.1.3（b）采用。

广州市市政集团有限公司




（a）直壁式井壁外侧　　（b）阶梯式井壁外侧

**图 A.1.3 摩阻力沿井壁外侧分布**

**A.1.4** 井外地下水对沉井作用的标准值应符合下列规定：

**1** 陆地沉井侧壁上的水压力标准值应按静水压力计算；

**2** 计算地下水压力标准值的设计水位，应按施工阶段和使用阶段当地可能出现的最高和最低水位采用；

**3** 水压力标准值的相应设计水位，应根据对结构的作用效应确定取最低水位或最高水位；

**4** 采用排水法施工，当井内水位降至刃脚以下时，井外的最大水压力作用可乘以0.7 折减系数。

条文说明：本条第 4 款来源于《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》6.1.18 条。

**A.1.5** 当沉井为顶管井时，作用在沉井上的顶力标准值应符合下列规定：

**1** 按管材确定的最大允许顶力按下式计算：

$$N = \eta f_c A_0 \tag{A.1.5-1}$$

式中：$\eta$ ——不同管材折减系数；

$f_c$ ——管材的纵向抗压强度设计值；

$A_0$ ——管材环向最小截面面积。

**2** 按工作井后背墙确定的最大允许顶力按下式计算：

$$P_t = B_j\left(\gamma_{sj}H_j^2\frac{K_p}{2} + 2cH_j\sqrt{K_p} + \gamma_{sj}h_jH_jK_p\right) \tag{A.1.5-2}$$

式中：$H_j$——反力墙高度；

广州市市政集团有限公司

$B_j$ ——反力墙宽度；

$K_p$ ——后背土体被动土压力系数；

$c$ ——后背土体粘聚力；

$h_j$ ——反力墙顶到地面的距离。

$\gamma_{sj}$ ——反力墙后背土体容重；

**3** 顶管顶进阻力按下式计算：

$$F = F_1 + F_2 \qquad \text{（A.1.5-3）}$$

$$F_1 = \pi D^2 (P + 20)/4 \qquad \text{（A.1.5-4）}$$

$$F_2 = \pi f_k DL \qquad \text{（A.1.5-5）}$$

**4** 顶进施工时的最大顶力不应超过管材和工作井后背墙的允许顶力，且应大于顶进阻力。

**A.1.6** 作用在沉井结构的风荷载应根据沉井结构的用途，按相关行业标准的相关规定计算。

条文说明：风荷载可参考《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3390-01、《建筑结构荷载规范》GB 50009、《水工建筑物荷载设计规范》SL 744 进行计算。

**A.1.7** 温度作用计算应符合下列规定：

**1** 沉井当计入温度作用时，应根据当地具体情况、结构物使用的材料和施工条件等因素计算由温度引起的结构效应；

**2** 材料的线膨胀系数可按表 A.1.7 取用；

**表 A.1.7 线膨胀系数**

| 结构种类 | 线膨胀系数（以摄氏度计） |
|---|---|
| 钢结构 | 0.000 012 |
| 混凝土和钢筋混凝土结构 | 0.000 010 |

**3** 当计算沉井结构因均匀温度作用引起外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始，计入最高温度和最低有效温度的作用效应；

**4** 钢沉井，其闭合温度作用的标准值可按具体工况条件确定，无特殊环境要求时，温度作用的标准值可按±25℃温差采用；

**5** 地下钢筋混凝土沉井，一般可不计算温度变化作用，暴露在大气中的圆形沉井可只计算温差作用，不计算温度变化对中面的作用；

广州市市政集团有限公司

**6** 温度作用的计算尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

**A.1.8** 施工临时荷载应根据采用的施工方法和工艺的实际情况确定。

广州市市政集团有限公司

# 附录 B　圆形沉井底板在均布荷载作用下的弯矩计算

**B.0.1**　周边简支的圆板（图 B.0.1）应符合下列规定：

径向弯矩：$M_r = k_r q r_c^2$　　(B.0.1-1)

切向弯矩：$M_t = k_t q r_c^2$　　(B.0.1-2)

内力系数$k_r$、$k_t$可按表 B.0.1 采用。

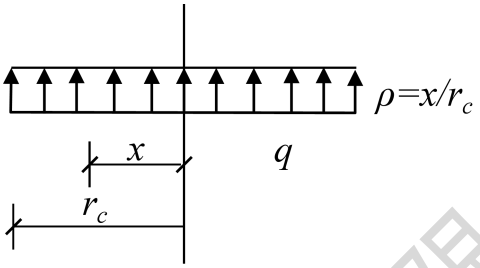



**图 B.0.1 周边简支圆板简图**

**表 B.0.1 周边简支圆板弯矩系数**

| $\rho$ | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $k_r$ | -0.1979 | -0.1959 | -0.1900 | -0.1801 | -0.1662 | -0.1484 |
| $k_t$ | -0.1979 | -0.1970 | -0.1942 | -0.1895 | -0.1829 | -0.1745 |
| $\rho$ | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | |
| $k_r$ | -0.1267 | -0.1009 | -0.0712 | -0.0376 | 0.0000 | |
| $k_t$ | -0.1642 | -0.1520 | -0.1379 | -0.1220 | -0.1042 | |

注：表中"-"表示板顶面受拉。

**B.0.2**　周边固定圆板（图 H.0.2）应符合下列规定：

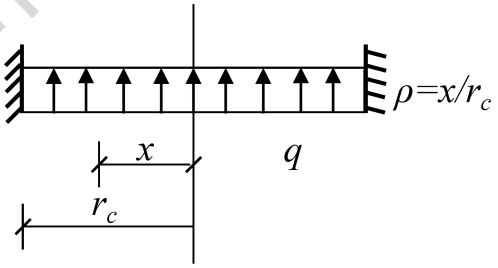



**图 B.0.2 周边固定圆板简图**

径向弯矩：$M_r = k_r q r_c^2$　　(B.0.2-1)

切向弯矩：$M_t = k_t q r_c^2$　　(B.0.2-2)

内力系数$k_r$、$k_t$可按表 B.0.1 采用。

**表 B.0.2 周边固定圆板弯矩系数**

| $\rho$ | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|

广州市市政集团有限公司

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $k_r$ | -0.0729 | -0.0709 | -0.0650 | -0.0551 | -0.0412 | -0.0234 |
| $k_t$ | -0.0729 | -0.0720 | -0.0692 | -0.0645 | -0.0579 | -0.0495 |
| $\rho$ | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | |
| $k_r$ | -0.0167 | 0.0241 | 0.0588 | 0.0874 | 0.1250 | |
| $k_t$ | -0.0392 | -0.0270 | -0.0129 | 0.0030 | 0.0208 | |

注：表中“-”表示板顶面受拉。

广州市市政集团有限公司

# 附录 C　沉井施工记录表

**C.0.1**　沉井施工任务单，可参照表 C.0.1 制作。

**表 C.0.1 沉井施工任务单**

日期：　　年　　月　　日

| | | | |
|---|---|---|---|
| 工程名称 | | 工程部位名称 | |
| 工程工序名称 | | | |
| 交底组织单位 | | | |
| 本班工作内容： | | | |
| 本班安全注意事项： | | | |
| 本班施工质量要求： | | | |
| 备注： | | | |

施工员：

广州市市政集团有限公司

**C.0.2** 沉井施工过程中螺栓、橡胶止水带、衬垫进场验收记录表，可参照表 A.0.2 制作。

**表 C.0.2 沉井施工过程中螺栓、橡胶止水带、衬垫进场验收记录表**

验收日期：　　年　月　日

| 检查项目 | | 验收数量 | 质保书编号 | 检查结果 | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 合格 | 不合格 | |
| 螺栓 | 螺杆直径、弧长符合标准(抽检) | | | | | 在有问题的地方做“O”标记 |
| | 螺栓表面涂层均匀、无浮锈 | | | | | |
| 橡胶止水带 | 外观和任意断面都质密、均匀、无裂缝、无孔隙或凹痕等缺陷，厚度有标记 | | | | | 在有问题的地方做“O”标记 |
| | 外形平整、接 头良好 | | | | | |
| | 清洁、无油污 | | | | | |
| 衬垫 | 衬垫表面平整，断面质密、均匀 | | | | | 在有问题的地方做“O”标记 |
| | 厚度、宽度符合设计要求 | | | | | |

广州市市政集团有限公司

**C.0.3** 沉井施工设备安装记录表，可参照表 C.0.3 制作。

**表 C.0.3 沉井施工设备安装记录表**

| 工程名称 | | | 安装日期 | |
|---|---|---|---|---|
| 安装情况 | | | | |
| 序号 | 名称 | 型号/编号 | 安装位置 | 安装情况 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 实测情况 | | | | |
| 说 明： | | | | |
| 施工负责人：<br>日期： 年 月 日 | | 技术负责人：<br>日期： 年 月 日 | | 项目经理：<br>日期： 年 月 日 |

备注：本记录由现场施工负责人或其委派施工员或技术员在设备安装自检、验收前填写，验收前及时提交给项目经理进行审核、自检、存档，以便后期维护。

广州市市政集团有限公司

**C.0.4** 沉井施工过程中管片、橡胶止水带、衬垫质量验收记录表，可参照表 A.0.4 制作。

**表 C.0.4 沉井施工过程中管片、橡胶止水带、衬垫质量验收记录表**

| 班组 | 环号 | 管片 | | | | 橡胶止水带 | | | 衬垫 | | 验收人 | 日期 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 型号 | 外观质量 | | | | | | | | | |
| | | 管片型号是否成环并和要求进场管片型号相同 | 无缺角掉边现象 | 管片无裂缝 | 修补情况良好 | 外形平整、无缺损 | 清洁、无油污 | 粘贴牢固、位置准确 | 衬垫表面平整、无剥落 | 粘贴牢固、位置准确 | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

注：1. 填写时应注明班组号；

2. 在有问题的地方做“O”标记。

广州市市政集团有限公司

**C.0.5** 沉井施工过程中补压浆记录表，可参照表 A.0.5 制 作 。

**表 C.0.5 沉井施工过程中补压浆记录表**

| 班组 | 时间 | 压浆环号 | 补压浆量 | 注浆流量 | 注浆压力 | 压浆位置 | 记录人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

广州市市政集团有限公司

**C.0.6** 沉井施工过程中检验批质量验收可按表 A.0.6 记录。

**表 C.0.6 _____检验批质量验收记录**

**编号：**

<table>
<tr><td colspan="2">单位(子单位)工程名称</td><td></td><td>分部(子分部)工程名称</td><td></td><td>分项工程名称</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位</td><td></td><td>项目负责人</td><td></td><td rowspan="2">检验批容量</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">分包单位</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">分包单位项目负责人</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>检验批部位</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工依据</td><td colspan="2"></td><td>验收依据</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">验收项目</td><td>设计要求及规范规定</td><td>样本总数</td><td>最小/实际抽样数量</td><td>检查记录</td><td>检查结果</td></tr>
<tr><td rowspan="8">主控项目</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">一般项目</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位检查结果</td><td colspan="5">专业工长：<br><br>项目专业质量检查员：<br><br>年 月 日</td></tr>
<tr><td colspan="2">监理单位验收结论</td><td colspan="5">专业监理工程师：<br><br>年 月 日</td></tr>
</table>

广州市市政集团有限公司

# 本规程用词说明

**1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2**）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3**）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4**）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

广州市市政集团有限公司

# 引用标准名录

《沉井与气压沉箱施工规范》GB/T 51130

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205

《钢结构设计标准》GB 50017

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

《混凝土结构设计标准》GB/T 50010

《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《建筑施工场所噪声限值》GB 12523

《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030

《污水综合排放标准》GB 8978

《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086

《包装储运图示标志》GB/T 191

《标牌》GB/T 13306

《盾构法隧道管片用软木橡胶衬垫》GB/T 31061

《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 18173.4

《工作场所职业病危害警示标识》GBZ 158

《机电产品包装通用技术条件》GB/T 13384

《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1

《全断面隧道掘进机 盾构机安全要求》GB/T 34650

《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923

《预埋槽道型钢标准》GB/T37613

《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224

《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082

广州市市政集团有限公司

《运输包装收发货标志》GB/T 6388

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146

《建筑地基处理技术规范》JGJ79

《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251

《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

《建筑施工安全检查标准》JGJ 59

《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》JGJ 184

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

《施工现场临时用电安全技术规定》JGJ 46

《水运工程混凝土结构设计规范》JTS 151

《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209

《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092

《二氧化碳气体保护焊工艺规程》JB/T 9186

《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408

《重型机械通用技术条件 第 13 部分：包装》JB/T 5000.13

《沉井技术规程》T/CECS xxx

《盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程》T/CECS-563

广州市市政集团有限公司

中国工程建设标准化协会标准

# 沉井技术规程

**T/CECS** XXX**-202X**

## 条文说明

广州市市政集团有限公司

目　　次

**1　总则 ..... 1**

**2　术语与符号 ..... 2**

2.1　术语 ..... 2

2.2　符号 ..... 3

**3　基本规定 ..... 6**

**4　工程调查与勘察 ..... 7**

4.1　一般规定 ..... 7

4.2　工程调查 ..... 8

4.3　工程勘察 ..... 10

**5　工程设计 ..... 14**

5.1　一般规定 ..... 14

5.2　材料与耐久性 ..... 16

5.3　作用及组合 ..... 19

5.4　方案设计 ..... 24

5.5　稳定性计算 ..... 35

5.6　井体结构设计 ..... 44

5.7　封底设计 ..... 64

5.8　防水设计 ..... 65

5.9　辅助设计 ..... 68

**6　构件制作 ..... 79**

6.1　一般规定 ..... 79

6.2　构件生产 ..... 79

6.3　质量控制与检验 ..... 83

6.4　贮存及运输 ..... 86

**7　机械设备 ..... 87**

7.1 一般规定 ..... 87

7.2　设备技术要求 ..... 87

7.3　设备检验 ..... 92

7.4　设备标志、包装和运输 ..... 93

广州市市政集团有限公司

**8 施工 ..... 94**
8.1 一般规定 ..... 94
8.2 施工准备 ..... 94
8.3 设备安装 ..... 96
8.4 掘进作业 ..... 98
8.5 管片拼装 ..... 98
8.6 井环下沉 ..... 99
8.7 设备维护 ..... 101
8.8 设备回收 ..... 102
8.9 质量控制与检验 ..... 103
**9 监测 ..... 105**
9.1 一般规定 ..... 105
9.2 主体结构监测 ..... 107
9.3 设备系统监测 ..... 108
9.4 周边环境监测 ..... 109
9.5 成果资料 ..... 110
**10 工程验收 ..... 112**
**11 安全与环境保护 ..... 114**
11.1 一般规定 ..... 114
11.2 施工安全 ..... 115
11.3 环境保护 ..... 116
**附录 A 荷载与作用 ..... 117**
**附录 B 圆形沉井底板在均布荷载作用下的弯矩计算 ..... 130**
**附录 C 沉井施工记录表 ..... 132**
**本规程用词说明 ..... 138**
**引用标准名录 ..... 139**
**条文说明 ..... 141**

广州市市政集团有限公司

广州市市政集团有限公司