

ICS 93.140

P 67

团 体 标 准

T/CWTCA*****-202*

海上沉管隧道最终接头技术指南

**Technical Guidelines for the Final Joint of Submarine Immersed
Tunnels**

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202 X-XX-XX 实施

中国水运建设行业协会 发布

团 体 标 准

海上沉管隧道最终接头技术指南

T/CWTCA *****-2026

主编单位：中交第一航务工程局有限公司

中交天津港湾工程研究院有限公司

发布单位：中国水运建设行业协会

实施日期：2026 年*月*日

人民交通出版社股份有限公司

202* • 北京

中国水运建设行业协会关于发布
《海上沉管隧道最终接头技术指南》的公告
中水协团标字〔2026〕 **号

《海上沉管隧道最终接头技术指南》为中国水运建设行业协会标准，标准编号为 T/CWTCA*****-2026，自 2026 年*月*日起实施，由中国水运建设行业协会负责管理和解释。

特此公告。

中国水运建设行业协会
2026 年*月*日

制 定 说 明

《海上沉管隧道最终接头技术指南》是根据中国水运建设行业协会《关于发布 2023 年中国水运建设行业协会团体标准编制计划的通知》（中水协字〔2024〕1 号）要求，由中国水运建设行业协会组织有关会员单位进行编制。

为满足我国水运行业海上沉管隧道最终接头技术发展需求，编制单位在深入调查研究的基础上，通过总结国内外沉管隧道最终接头的实践经验，并经广泛征求意见和反复修改完善，制定而成。

本指南共分为 6 章和 3 个附录，并附条文说明。主要包括海上沉管隧道的结构设计、施工和施工监测等内容。

本指南主编单位为中交第一航务工程局有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司，参编单位为中交公路规划设计院有限公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院、中交一航局第二工程有限公司、中交一航局第三工程有限公司、天津港湾工程质量检测中心有限公司。

本指南编写人员分工如下：

- 1 总 则：潘伟、刘爱民、陈鸿
- 2 术 语：潘立文、吕勇刚、李斌、寇晓强
- 3 基本规定：陈正杰、孟凡利、喻志发、于健、王殿文
- 4 设计：吕勇刚、贺春宁、黄清飞、陈正杰、邓斌、张志刚
- 5 施工：宁进进、徐宾宾、鞠鹏、尚乾坤、张超、锁旭宏、安庆喆
- 6 施工监测：于健、刘钊、陈智军、寇晓强、刘思国、刘馨

附录 A：李进、鞠鹏

附录 B：鞠鹏、徐宾宾

附录 C：鞠鹏、诸葛爱军

本规程于 202*年*月*日通过中国水运建设行业协会审查，202*年*月*日发布，自 202*年*月*日起实施。

本指南由中国水运建设行业协会负责管理和解释。各单位在使用过程中发现的问题和意见，请及时函告中国水运建设行业协会（地址：北京市东城区安定门大街甲 88 号中联大厦六层，邮政编码：100011）和本规程管理组（地址：天津

市河西区大沽南路 1002 号,中交天津港湾工程研究院有限公司,邮政编码:300222),
以便修订时参考。

目 次

1 总 则 (1)

2 术 语 (2)

3 基本规定 (3)

4 设 计 (5)

 4.1 一般规定 (5)

 4.2 总体设计 (5)

 4.3 结构计算 (11)

 4.4 构造设计 (11)

 4.5 防、止水设计 (12)

 4.6 防腐设计 (15)

5 施 工 (19)

 5.1 一般规定 (19)

 5.2 结构制作 (20)

 5.3 舾 装 (22)

 5.4 工艺验证 (28)

 5.5 浮运及沉放 (30)

 5.6 对接及体系转换 (34)

 5.7 对接后施工 (39)

 5.8 施工测量 (42)

 5.9 质量要求及检验标准 (43)

6 施工监测 (49)

 6.1 一般规定 (49)

 6.2 监测项目及布设 (49)

 6.3 监测方法 (50)

 6.4 成果整理 (53)

附录 A 接岸接头顶推、回拉、纠偏计算 (54)

附录 B 水中接头顶推、回拉、纠偏计算 (56)

附录 C 本指南用词说明 (57)

本标准中引用的规范、标准名录 (58)

附加说明 本规程主编单位、参编单位、主要起草人、
 主要审查人、总校人员和管理组人员名单 (错误！未定义书签。)

1 总 则

1.0.1 为使海上沉管法隧道最终接头做到安全可靠、技术先进、经济合理、耐久适用，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于海上沉管法隧道最终接头的设计、施工及监测。

1.0.3 海上沉管隧道最终接头除应满足本指南要求外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 顶进节段 Jacking Segment

通过“顶进法”（利用千斤顶等设备施加推力或拉力）实现安装或移动的预制构件。

2.0.2 外部套筒 External Sleeve

顶进法施工中，套设于顶进节段外部，起导向和临时止水作用的端部扩大结构。

2.0.3 接岸端部块体推出式最终接头 Shore-End Block Jacking Closure Joint

位于整个沉管隧道的接岸位置，可在干作业条件下原位浇筑的方式施工的“顶进法”最终接头。

2.0.4 管节端部块体推出式最终接头 Element-End Block Jacking Closure Joint

位于整个沉管隧道的中部水下，在预制场与临近的管节同步制作，然后随临近管节一起浮运至预定海域，然后一起沉放并在水中与已装管节对接安装的“顶进法”最终接头。

2.0.5 后浇段 Closure Pour Segment

最终接头的顶进节段推出与已安装管节对接后，其后方与外部套筒之间的空间需采用混凝土浇筑的方式实现顶进节段与外部套筒的连接。

2.0.6 后焊段 Closure Weld Segment

针对钢壳结构的最终接头，顶进节段推出与已安装管节对接后，其后方与外部套筒之间的空间需采用焊接的方式实现顶进节段与外部套筒的连接。

2.0.7 止退结构 Anti-Retreat Structure

防止顶进节段在水力压接后发生位移的锁定或锁紧装置。

2.0.8 滑轨系统 Sliding Rail System

设置在最终接头底部，辅助顶进节段推出或拉回，通常由底钢模、滑板预埋件、复合材料组成。

3 基本规定

3.0.1 本指南适用的最终接头类型有：接岸端部块体推出式、管节端部块体推出式、V形块体整体吊装式，其它类型的最终接头可参考使用。

条文说明：

据调研，国内已完成的大连湾沉管隧道采用的是接岸端部块体推出式最终接头，深中通道沉管隧道采用的是管节端部块体推出式最终接头，港珠澳大桥沉管隧道采用的是V形块体整体吊装式最终接头。其他类型的最终接头有岸上干作最终接头和水下止水板最终接头，国内主要在内河流域中使用。

3.0.2 海上沉管隧道最终接头主体结构的主要技术标准、工程调查与勘测等，宜与沉管管节一致。

条文说明：

主要技术标准包括公路等级或道路等级、建筑限界、设计工作年限、抗震设防标准、防水等级、防火设计标准等。接岸端部块体推出式最终接头与衔接段相连的现浇主体结构（外部套筒、后浇段等）的主要技术标准、工程调查与勘测等，可与衔接段现浇主体结构一致。与最终接头相邻的管节的沉放安装精度宜适当提高。

3.0.3 最终接头的布置位置与类型的选取应考虑水文地质条件、结构方案、施工条件及装备能力、工期、造价等因素。

条文说明：接岸端部块体推出式、管节端部块体推出式和V形块体整体吊装式最终接头的适用条件见表3.1。

表 3.1 三种最终接头类型的适用条件

类型	适用条件
接岸端部块体推出式	1、当最终接头位置确定在衔接段与沉管段交界处； 2、临时围堰或临时排桩与衔接段之间具有足够的最终接头制作空间； 3、航运航道方面对占用航道、封航等有严格限制或制约条件时。

管节端部块体推出式	1、最终接头位置处于沉管管节之间； 2、管节整体或最终接头局部采用钢壳混凝土组合结构，能实现纵向浮运平衡； 3、水深条件不适合采用止水板。
V形块体整体吊装式	1、最终接头位置处于沉管管节之间； 2、最终接头位置具有天然航道或区域水深满足大型船吊设备进出。

4 设 计

4.1 一般规定

4.1.1 最终接头结构设计除应满足使用功能、结构安全耐久要求外，尚应满足施工及运营养护等要求。

条文说明：

最终接头可以视为沉管段最后一个非常规管节，按照位置适当、结构安全、风险可控、经济合理的原则进行设计，其设计需考虑下列因素。

- (1) 满足纵向受力需要；
- (2) 施工工艺简单、便于操作；
- (3) 尽量减少管节长度和数量，降低管节预制、浮运费用；
- (4) 设置必要短管节来改善纵向受力、减少现场作业；
- (5) 采用可靠合理的止推措施和防水措施。

4.1.2 最终接头的构造尺寸应满足安装精度要求，依据施工期监测数据动态分析。

4.1.3 最终接头工程材料的选用应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处海洋环境、耐久性要求等因素确定。

4.1.4 最终接头主体结构的混凝土原材料组成、强度等级、水胶比应符合耐久性要求。

4.1.5 最终接头后浇段应采用微膨胀混凝土，其抗渗等级、抗压强度等指标不应低于相邻隧道主体结构。

4.1.6 最终接头钢材宜选用 Q235、Q355、Q390、Q420 钢。

4.1.7 荷载分类、荷载代表值与荷载组合应与沉管管节一致。

4.1.8 最终接头结构设计应就其施工期和运营期不同工况下可能出现的最不利荷载组合，分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算。

4.2 总体设计

4.2.1 接岸端部块体推出式最终接头应符合以下规定。

4.2.1.1 接岸端部块体推出式最终接头总体构造应由顶进节段、外部套筒、横

向支撑梁和后浇段（或后焊段）四部分组成，并应设计止水措施、顶推装置和止退结构。

条文说明：

大连湾海底隧道采用接岸端部块体推出式最终接头，其布置在南岸衔接段一侧，与衔接段同时干作业施工，然后回水，等与其相邻的最后一节管节沉放到位后推出顶进节段，完成水力压接和后浇段施工。

除混凝土自防水和接缝防水之外，顶进节段与外部套筒之间的间隙也要设置临时止水措施，详见第 4.5 节。顶推装置是指推出顶进节段需要的临时装置，必要时还要具备回拉顶进节段的功能。止退结构用于水力压接后的顶进节段的临时锁定，防止排水时顶进节段的后退。

4.2.1.2 施工前应设计接岸端部块体推出式最终接头的施工步序图。

条文说明：

大连湾海底隧道采用的接岸端部块体推出式最终接头的施工步序图如下：

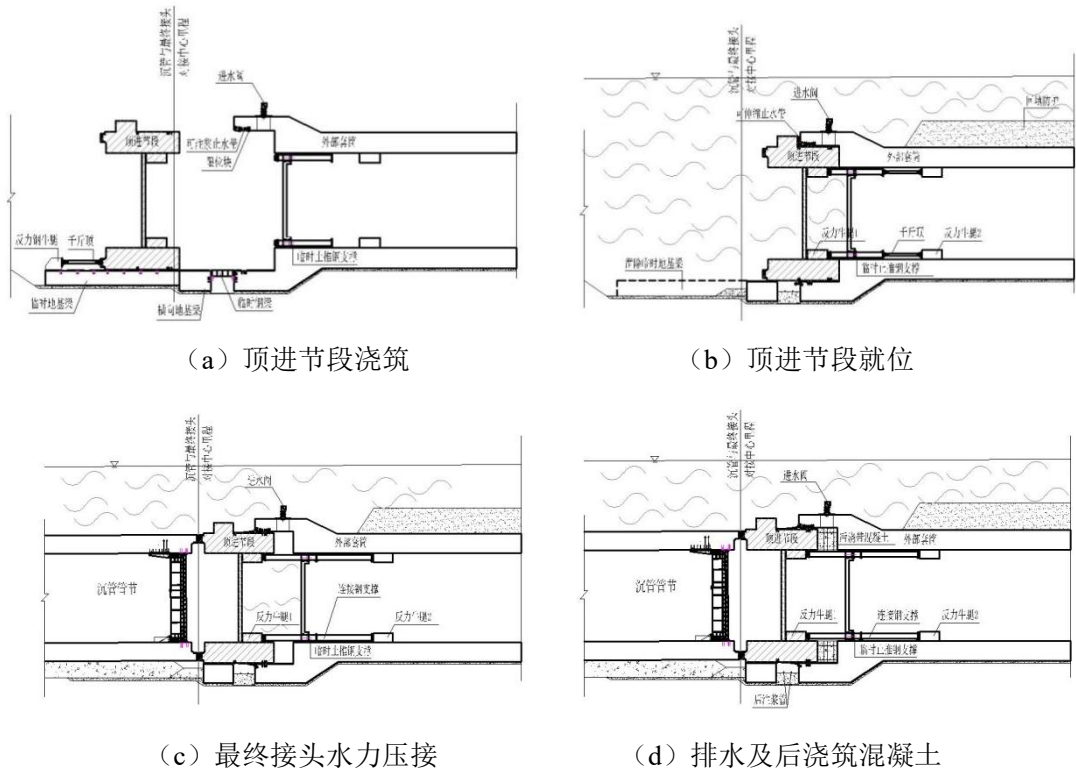


图 4.1 施工步序图

4.2.2 V 形块体整体吊装式最终接头应符合以下规定。

4.2.2.1 V形块体整体吊装式最终接头应采用吊装工艺原理，宜采用钢壳混凝土组合结构，宜选用倒梯形结构，构造设计应根据位置、纵向长度及坡度，立面尺寸以及施工能力等因素确定。

条文说明：

港珠澳大桥沉管隧道采用了V形块体整体吊装式最终接头，最终接头采用倒梯形钢壳混凝土组合结构，陆上工厂制造完成钢壳、钢壳内灌注高流动性混凝土形成组合结构。钢壳混凝土组合结构，是由外包钢板和内部混凝土组成的组合构造，以达到确保管节水密性的要求。同时，钢板也可以兼作混凝土浇筑的模板，大大方便了施工。结构除了内外面板，还设置有纵横交错的隔板，形成一个个隔舱。面板、纵横隔板均设有角钢或者扁钢等加筋钢材，以增强其力学性能，如下图所示。

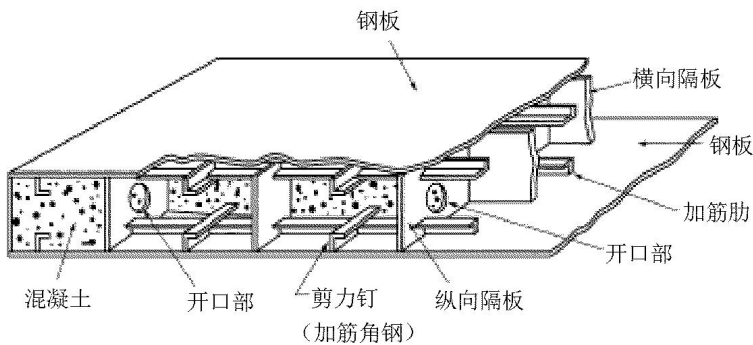


图 4.2 钢壳混凝土结构典型构造

最终接头倒梯形立面设计应考虑最终接头上、下面积差引起的水压差，立面的倾角应结合水压差等进行验算确定，港珠澳大桥沉管隧道最终接头立面构造如下图所示。

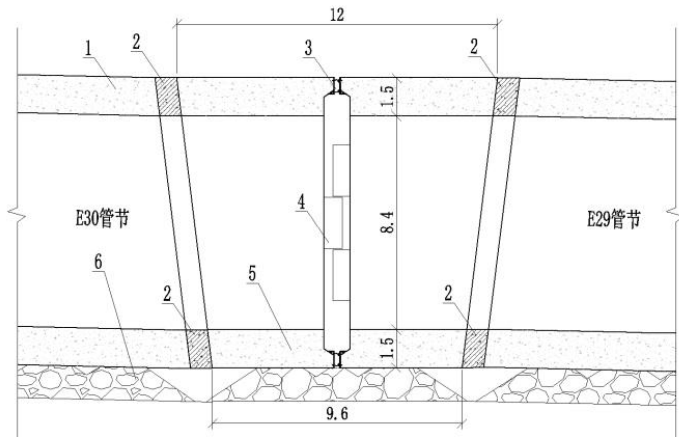


图 4.3 港珠澳大桥沉管隧道最终接头立面构造（单位：cm）

1-管节顶板；2-刚固结端；3-GINA 止水带；4-剪力键；5-管节底板；6-碎石垫层

4.2.2.2 V 形块体整体吊装式最终接头基础碎石垫层应根据最终接头重量、尺寸单独设计；最终接头两侧宜预留基础后注浆空间，注浆材料宜采用水下不分离低强度混凝土材料。

条文说明：

港珠澳大桥沉管隧道采用了 V 形块体整体吊装式最终接头，为减少最终接头与相邻管节接头位置处的差异沉降，最终接头基础垫层铺设后还采用了后注浆工艺。

4.2.2.3 V 形块体整体吊装式最终接头安装完成后，宜与相邻管节进行刚性连接。

4.2.3 管节端部块体推出式最终接头应符合以下规定。

4.2.3.1 管节端部块体推出式最终接头总体构造应由顶进节段、外部套筒和后焊段（或后浇段）三部分组成，浮运与沉放期间，顶进节段应固定于外部套筒内部。

条文说明：

深中通道沉管隧道采用管节端部块体推出式最终接头，最终接头设置于 E23 和 E24 管节之间，钢壳制造以及管节预制完成后，将顶进节段临时锁定于 E23 管节艏端外部套筒内；采用浮运安装一体船将最终接头与 E23 管节整体浮运至隧址，待 E23 管节及最终接头整体沉放并与 E22 管节对接后，解除锁定，利用注水系统往 E23 与顶进节段结合腔内注水，调节内外压差，然后利用千斤顶系统将顶进节段从外部套筒内推出至与 E24 管节初步压合；此后抽排 E24 管节与顶进节段结合腔内的水实现水力压接；压接完成后，安装管节纵向锁定装置，然后抽排顶进节段与 E23 管节结合腔内的水，在管内进行后焊段现场焊接、基础注浆等相关施工内容。

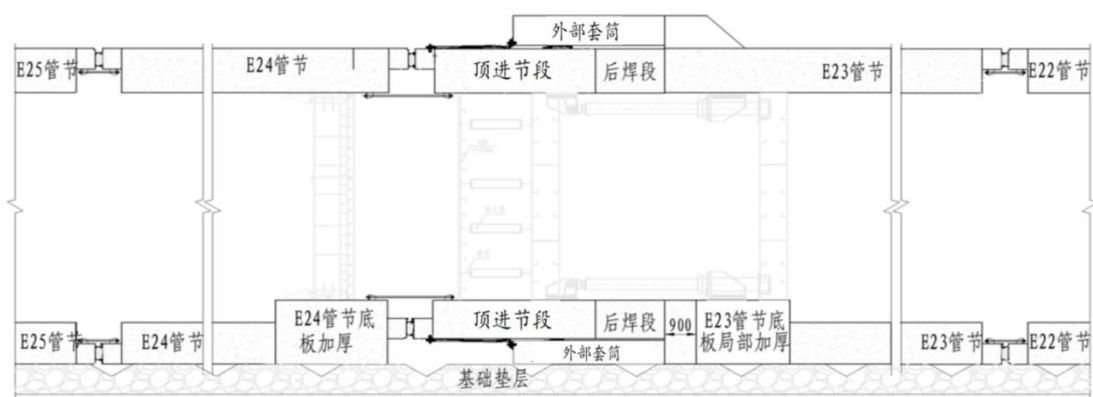


图 4.4 深中通道沉管隧道最终接头总体布置示意图

4.2.3.2 管节端部块体推出式最终接头外部套筒应与相邻管节一体制作，外部套筒底板底面宜与相邻管节齐平，减少基础垫层铺设难度。

4.2.3.3 管节端部块体推出式最终接头的顶进节段和外部套筒宜采用钢结构或钢结构与钢壳混凝土、钢筋混凝土混合结构形式，减轻最终接头与相邻管节整体浮运期间纵向不平衡问题。

4.2.3.4 管节端部块体推出式最终接头顶进节段底板底标高高于常规管节，因此为实现最终接头浮运沉放期间的临时锁定和与相邻管节正常水力压接，最终接头相邻管节宜设置加高段。

条文说明：

深中通道沉管隧道采用管节端部块体推出式最终接头，最终接头设置于 E23 和 E24 管节之间，E23 管节底板设置局部加高段，高度 2.05m，为顶进节段浮运沉放期间提供后靠支撑；E24 管节近最终接头侧亦设置加高段，高度 2.05m，便于根据顶进节段底板端钢壳位置设置匹配端钢壳，示意图详见图 4.4。

4.2.3.5 管节端部块体推出式最终接头端封门应具备双向受力功能。

条文说明：

深中通道沉管隧道管节端部块体推出式最终接头采用了内外面板+横纵隔板式双向受力端封门，横纵隔板均开设人孔，便于现场端封门制作及推出过程中灵活灌砂配重。

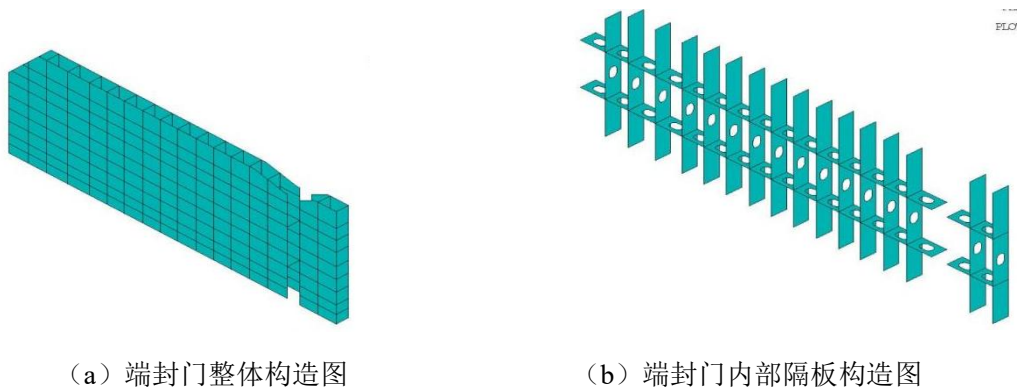


图 4.5 深中通道沉管隧道最终接头双向受力端封门构造示意图

4.2.3.6 管节端部块体推出式最终接头顶进节段应根据抗浮设计要求设置可靠抗浮措施。

条文说明：

管节端部块体推出式最终接头顶进节段水力压接完成后，顶进节段与相邻管节结合腔抽水过程中，顶进节段抗浮一般不满足要求，需采取压载措施。深中通道沉管隧道管节端部块体推出式最终接头顶进节段设置了敞口式压载水箱，浮运与沉放期间水箱内的水与外界连通，不影响管节纵向平稳；水力压接过程中，水箱内的水作为压载，使顶进节段满足抗浮要求。

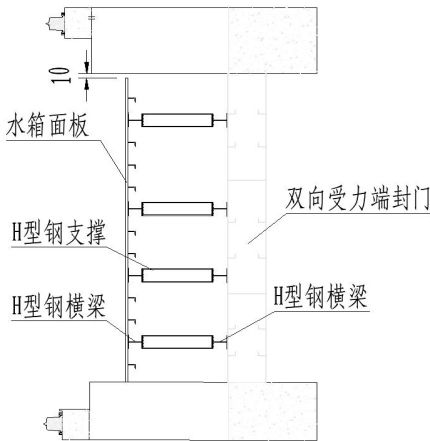


图 4.6 深中通道沉管隧道最终接头顶进节段压载水箱构造示意图（单位：cm）

4.2.3.7 管节端部块体推出式最终接头顶进节段对接完成后，最终接头、相邻管节应设置纵向锁定系统，且纵向锁定系统可适应接头差异沉降。

条文说明：

深中通道沉管隧道管节端部块体推出式最终接头顶进节段对接完成后，顶进节段与 E23 管节结合腔抽水时，需要在顶进节段与 E23 管节结合腔抽水前进行管节纵向锁定。深中通道沉管隧道管节端部块体推出式最终接头采用了由锚固板、自润滑推力轴承以及高强螺杆系统组成的纵向锁定系统，工作荷载作用下可以适应接头 10cm 级别的差异变形。

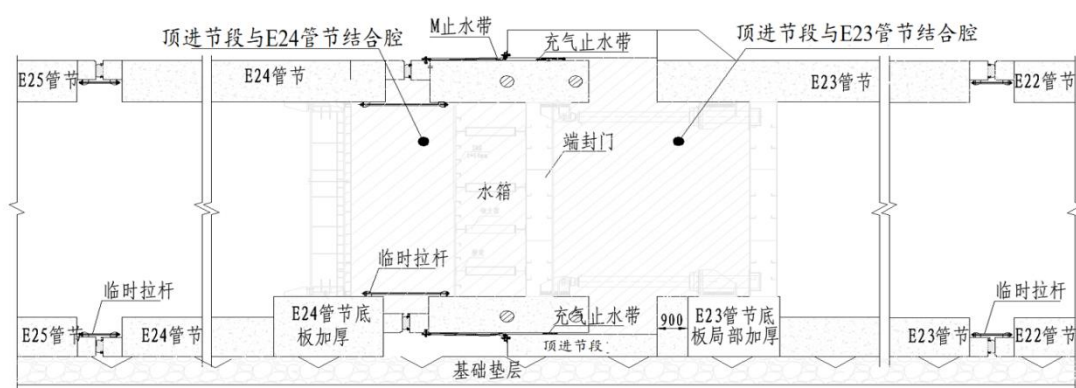


图 4.7 深中通道沉管隧道最终接头顶进节段总体构造示意图

4.2.3.8 管节端部块体推出式最终接头基础垫层宜采用后注浆工艺。

条文说明：

最终接头构造的特殊性无法预铺碎石垫层，另一方面，基础后注浆可增大最终接头处基础刚度，减少运营期接头沉降。

4.3 结构计算

4.3.1 沉管隧道最终接头结构计算应包括主体结构计算和局部构造计算。

条文说明：

最终接头作为沉管隧道的节点构造，在完成沉管隧道的基础、纵向体系和结构抗震等整体性的计算后，可以不再单独对最终接头进行同类计算，但要进行主体结构横向静力计算和局部构造计算。

4.3.2 结构计算方法、作用分类和作用效应组合等相应参照《沉管法隧道设计标准》（GB/T 51318）和《公路沉管隧道设计规范》（JTG/T 3371-01）执行。

4.4 构造设计

4.4.1 最终接头结构混凝土保护层厚度、钢筋锚固长度、钢筋连接要求应与常规管

节保持一致，同时考虑最终接头结构和工艺的特点、所处环境等因素进行特殊设计。

4.4.2 推出式最终接头非外部套筒段应能通过后浇段顺接顶进节段，其内部净空应满足建筑限界和施工误差的要求。顶进节段推出后的搭接长度不应小于 1m。

4.4.3 接岸端部块体推出式最终接头顶进节段底部的滑动装置应延伸至外部套筒扩大段底板范围。滑动装置沿隧道纵向应设计为直线和同一标高。当滑动装置沿纵向倾斜时，应评估其滑移稳定性，必要时设置防滑移措施。

条文说明：

顶进节段预制完成后，需通过千斤顶顶推或卷扬机拉动来滑入外部套筒内。千斤顶的反力支座和卷扬机的锚固应满足受力要求。顶进节段预制施工过程中要采取措施保护外露的滑动装置。

当顶进节段设置在曲线段和斜坡段时，可以适当加大结构尺寸，在限界允许的情况下将滑动装置沿隧道纵向设计为直线和同一标高。

4.4.4 推出式最终接头采用钢壳混凝土结构时，应根据最终接头结构和工艺的特点对钢壳结构构造、隔舱布置、焊接、预留预埋、混凝土浇筑等进行特殊设计。

4.4.5 管节端部块体推出式最终接头滑轨下方应设置纵隔板加强。滑轨与外部套筒底板顶钢板宜采用螺栓连接。

条文说明：

深中通道沉管隧道采用管节端部块体推出式最终接头，顶进节段滑轨由钢垫块、钢板及高分子自润滑工程塑料合金（MEG）材料焊接组成。

4.5 防、止水设计

4.5.1 最终接头结构防水设计应与相邻隧道结构防水设计保持一致，同时应根据最终接头结构和工艺的特点、所处环境等因素进行特殊设计。

4.5.2 最终接头防水等级、防水工程质量验收标准应与沉管隧道主体结构一致。

4.5.3 最终接头的防水设计应包括结构本体防水、接缝防水。

4.5.4 最终接头采用的防水材料性能指标应符合国家现行有关标准的规定。

4.5.5 最终接头主体结构应满足自防水要求，防水混凝土抗渗等级应根据埋深确定，并不应低于 P8。

4.5.6 最终接头接缝防水设计符合下列要求：

4.5.6.1 临时接缝防水宜设置不少于二道防水设防措施；

4.5.6.2 永久接缝防水应设置不少于二道防水设防措施，并符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》（GB 55030）的要求。

条文说明：

1、大连湾海底隧道采用的接岸端部块体推出式最终接头，其顶进节段与外部套筒之间的临时接缝设置二道防水设防措施：M 型止水带作为第一道防水，通过紧固压件系统连接外部套筒与顶进节段，并形成密封环；注浆止水带作为第二道防水，通过固定件于外部套筒内侧布置成环，注浆后膨胀与顶进节段外壁压接形成密封环；M 型止水带需满足伸长约 1.5m 时伸缩变形、防水密封的功能要求。为了保证上述两道止水带的水密性要求，顶进节段横断面的 4 个外角以及外部套筒对应的 4 个内角，均设置半径不小于 1.0m 的倒圆角。

2、大连湾海底隧道采用的接岸端部块体推出式最终接头，其永久接缝设置不少于二道防水设防措施：

（1）顶进节段与沉管段管节接头设置 GINA 止水带、OMEGA 止水带；

（2）顶进节段与外部套筒之间的后浇段接缝设置二道遇水膨胀止水胶、一道预埋式注浆管；

（3）外部套筒与岸边段隧道之间的变形缝设置中埋式止水带、OMEGA 止水带；

（4）外部套筒本体水平施工缝设置自粘丁基橡胶钢板止水带、遇水膨胀止水胶、水泥基渗透结晶型防水涂料。

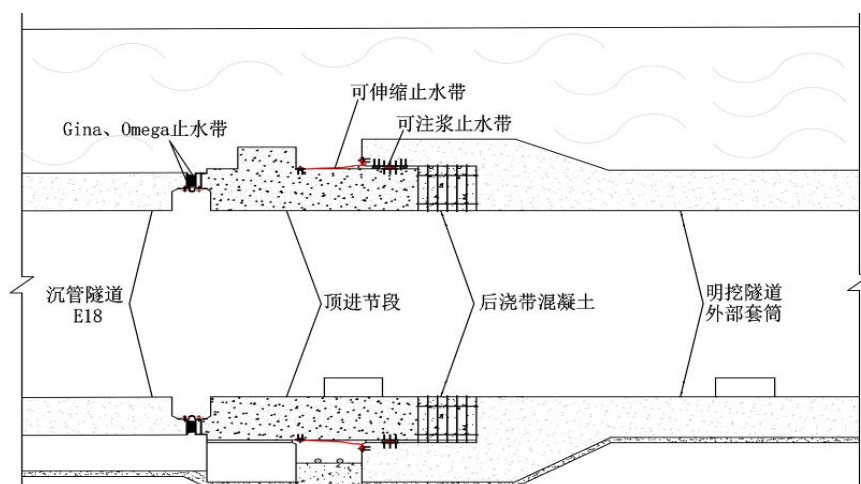


图 4.8 最终接头防水断面示意图

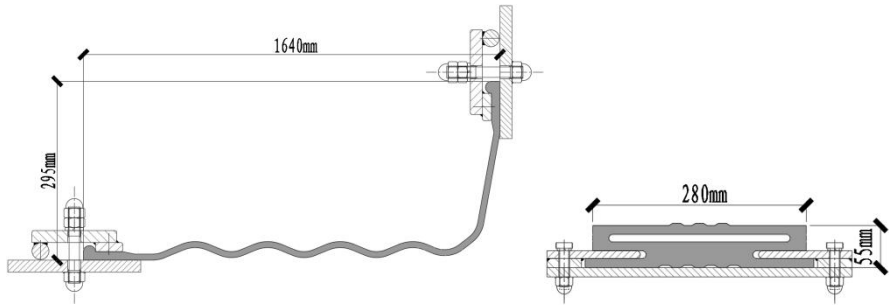


图 4.9 止水带断面示意图（左：M 型止水带；右：注浆止水带）

港珠澳大桥沉管隧道采用的 V 形块体整体吊装式最终接头，主动止水构造小梁与最终接头主体结构之间采用了 Lip 止水带和 M 型止水带的双重止水构造；构造小梁端部设置小型 GINA 止水带，与相邻管节正常压接止水。

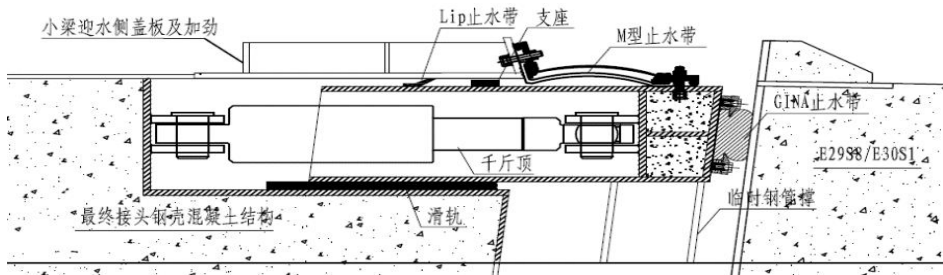


图 4.10 港珠澳大桥沉管隧道最终接头主动止水构造小梁防水示意图

深中通道沉管隧道采用的管节端部块体推出式最终接头，施工期外部套筒与顶进节段之间采用 M 型止水带和充气止水带进行止水，M 型止水带安装于外部套筒与顶进节段结构上，充气止水带安装于外部套筒内壁。

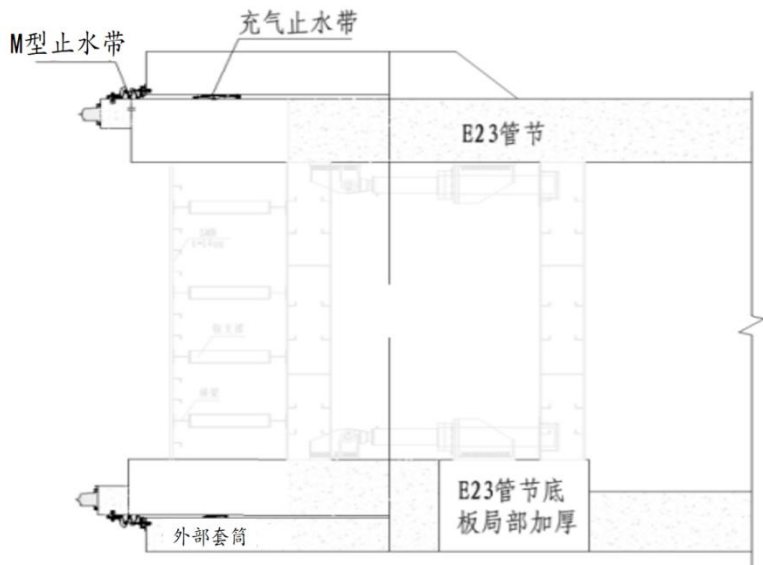


图 4.11 深中通道沉管隧道最终接头施工期防水示意图

4.5.7 钢筋混凝土结构最终接头可设置外设防水层，外设防水层符合下列规定。

4.5.7.1 外部套筒底板宜采用预铺防水卷材等；

4.5.7.2 外部套筒的侧墙与顶板宜采用防水涂料。

条文说明：

大连湾海底隧道采用的接岸端部块体推出式最终接头连接岸边段隧道，其顶进节段同沉管管节一致，不设置外设防水层；其外部套筒外设防水层与岸边段隧道外设防水层一致：顶板、侧墙外设防水层采用喷涂型聚脲防水涂料；底板外设防水层采用预铺高分子防水卷材。

4.6 防腐设计

4.6.1 最终接头主体结构的防腐设计应与主体结构总体协调统一，同时应根据最终接头结构特点进行特殊防护设计。

条文说明：

沉管隧道最终接头也是主体结构的一部分，结构设计工作年限、环境等级与主体结构一致，为了统一设计方法，也便于施工，最终接头耐久性设计理念及总体方案应该与主体结构保持一致，同时考虑最终接头的结构特点进行附加特殊设计。

4.6.2 环境类别和环境作用等级应按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T50476）的相关规定，根据结构的不同环境条件分别进行确定。

4.6.3 金属结构与构件可不考虑冻融环境（Ⅱ类）的影响。

4.6.4 当最终接头具有特殊结构特点或处于特殊环境条件时，应进行专门的耐久性研究与论证。

条文说明：

港珠澳大桥沉管隧道及深中通道沉管隧道均处于亚热带海洋环境，其中港珠澳大桥主体结构采用 120 年设计使用年限，深中通道最终接头主体结构为钢壳混凝土组合结构，采用水下推出式方案，最终接头细部构造复杂，而大连湾海底隧道处于寒冷地区的海洋氯化物环境。这些沉管隧道均开展了专门的耐久性研究，采取综合措施满足设计工作年限、环境条件等特殊要求，尤其深中通道最终接头

耐久性进行专门设计说明，满足局部特殊结构要求。

4.6.5 钢筋混凝土构件中，混凝土的耐久性指标应符合下列规定：

4.6.5.1 水胶比、胶凝材料和矿物掺合料用量等混凝土配合比要求应符合现行《混凝土结构耐久性设计标准》（GB/T 50476）的规定。

4.6.5.2 满足耐久性要求的混凝土最低强度等级应符合表 4.6.5-1 的规定。

4.6.5.3 混凝土中氯离子含量、碱含量应符合现行《混凝土结构耐久性设计标准》（GB/T 50476）的规定。

4.6.5.4 混凝土抗冻性的耐久性指数 DF 应符合表 4.6.5-2 的规定。

4.6.5.5 对处于 III 类和 IV 类环境的钢筋混凝土结构，混凝土抗氯离子渗透性能应符合表 4.6.5-3 的规定。

表 4.6.5-1 满足耐久性要求的混凝土最低强度等级

环境作用等级		A	B	C	D	E	F
设计使用年限	100 年	C35	C35	C40	C45	C50	C50
	30 年	C25	C25	C30	C40	C45	C50

表 4.6.5-2 混凝土抗冻性的耐久性指数 DF (%)

设计使用年限	100 年			30 年		
环境条件	中度水饱和	高度水饱和	盐冻	中度水饱和	高度水饱和	盐冻
严寒地区	≥70	≥80	≥85	≥60	≥70	≥80
寒冷地区	≥60	≥70	≥80	≥50	≥60	≥70
微冻地区	≥60	≥60	≥70	≥45	≥50	≥60

注：1）混凝土抗冻性的耐久性指数按现行《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082）规定的方法进行检验。

2）中度水饱和指冰冻前偶尔受雨水或潮湿，混凝土内部水饱和程度不高；高度水饱和指冰冻前长期或频繁接触水或潮湿土体的混凝土；盐冻指接触氯化物时受冻。

表 4.6.5-3 混凝土抗氯离子渗透性能

设计工作年限	100 年			30 年		
环境作用等级	D	E	F	D	E	F
氯离子扩散系数 DRCM (28d 龄期，	<8	<5	<4	<10	<7	<5

设计工作年限	100 年			30 年		
环境作用等级	D	E	F	D	E	F
$\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$						
电通量 (56d 龄期, C)	<1200	<800	<800	<1500	<1000	<800

注：氯离子扩散系数和电通量按现行《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)规定的方法进行检验。

4.6.6 钢筋混凝土构件中，钢筋的混凝土保护层厚度不应小于被保护钢筋的公称直径或等效直径，且不应低于表 4.6.6 的规定。

表 4.6.6 混凝土保护层最小厚度 (mm)

环境作用等级		A	B	C	D	E	F
设计工作	100 年	30	30	40	55	60	65
年限	30 年	20	25	30	45	45	55

注：1) 表中数值是按表 4.6.5-1 规定的最低混凝土强度等级确定的。

2) 当混凝土强度高于最低等级 5MPa 以上时，保护层厚度最小值最多减少 5mm；按 100 年、30 年设计工作年限，保护层厚度最小值分别不得小于 30mm、20mm。

4.6.7 最终接头主体钢筋混凝土结构耐久性设计应满足《沉管法隧道设计标准》(GB/T 51318)、《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476)的规定。

4.6.8 最终结构主体钢结构宜设置必要的腐蚀裕量，应采用防腐蚀措施，并符合下列规定：

4.6.8.1 腐蚀裕量宜按现行《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)的规定计算。

4.6.8.2 防腐蚀措施可采用涂层保护、牺牲阳极阴极保护等。

条文说明：

根据部分沉管隧道的调研情况，沉管隧道的钢结构既包括钢壳混凝土管节特有的钢壳，也包括各类管节均设置的钢端壳、GINA 止水带与 OMGEA 止水带的压件与紧固件、钢剪力键、永久性预埋件等。

4.6.9 牺牲阳极阴极保护的每一个设计单元或整体应电连接，电连接方式可采用对构件直接焊接、焊接钢筋或电缆连接等，连接电阻不应大于 0.01Ω 。

4.6.10 最终接头特殊材料（如橡胶止水带等）耐久性设计应按不可更换件与可更

换件进行分类设计。不可更换件设计工作年限应与主体结构设计工作年限保持一致。

5 施 工

5.1 一般规定

5.1.1 最终接头施工应根据实际工程条件编制专项施工方案，按附录 A、附录 B 要求对最终接头的顶推、回拉、纠偏进行理论计算，并在安装前应进行演练。

5.1.2 最终接头制作所使用材料、制品等的品种、规格和材质应满足设计要求。混凝土配合比应专门设计并经验证，并应满足强度、重度、抗裂性、抗渗性、耐久性等设计要求，胶凝材料的选用必须经试验确定。

5.1.3 最终接头安装前应对前后已安装管节的轴线位置及长度进行测量，并对最终接头及临近管节的对接面进行标定。

5.1.4 V 形块体整体吊装式最终接头施工应符合下列规定。

5.1.4.1 最终接头应在预制场完成混凝土浇筑后，进行二次舾装及调试作业。

5.1.4.2 应选择合适时机开始进行龙口处基槽（边坡）清淤及碎石基床施工。

5.1.4.3 安装窗口确定后，最终接头宜浮运至安装现场并靠泊起重船，起重船吊最终接头至安装位置，进行沉放准备工作。

5.1.4.4 安装窗口来临后，最终接头开始沉放，沉放过程中应设置测控系统实时监测最终接头位置，并安排潜水员全程水下引导。最终接头着床后，应采用预先设置的调位系统精确调整最终接头位置。

5.1.4.5 顶推系统顶推小梁、GINA 压缩完成临时止水。

5.1.4.6 接合腔排水后开启人孔门，贯通测量确认安装精度，完成最终接头主要安装工作。

5.1.5 接岸端部块体推出式最终接头施工应符合下列规定。

5.1.5.1 在干作业条件下，应先浇筑外部套筒结构，再隔开外部套筒一定距离制作顶进节段结构，最后将顶进节段推入外部套筒结构内、安装止水构造。

5.1.5.2 场地灌水前应对最终接头采取临时防护措施。

5.1.5.3 待最后一个管节沉放完成，应对最终接头对接区域进行水下清理检查。

5.1.5.4 顶进节段应通过预留的顶推装置推出，进行初始压接，然后排除管节接头隔腔内的水完成水力压接。

5.1.5.5 安装止退结构后，应密封顶进节段空腔并排水；浇筑后浇段混凝土，

顶进节段底部灌浆，最后拆除端封门。

5.1.6 管节端部块体推出式最终接头施工应符合下列规定。

5.1.6.1 常规段浇筑完成后管节重载应纵移至浅坞区进行外部套筒、顶进节段及最终接头浇筑灌浆、一二次舾装作业。

5.1.6.2 最终接头应随沉管浮运至安装位置。待管节沉放完成后，应推出顶进节段，安装拉杆及浇筑顶进节段。

5.1.6.3 对最终接头与沉管结合腔应进行排水及基础注浆，最终完成最终接头安装。

5.1.7 管节端部块体推出式最终接头的止退结构可根据实际情况采用推或拉方式。

条文说明：

大连湾海底隧道工程采用了“推”的临时止退结构，止退结构设计为 24 组连接钢支撑和扁平油缸组成，单根钢支撑最大锁定力标准值为 4093kN，实取锁定力设计值为 5500kN。每根钢支撑尾端设置高可靠性的机械锁定的扁平油缸实现钢支撑的初始预紧与稳定，现场示意图见图 5.1 所示。深中通道工程采用“拉”的临时止退结构。

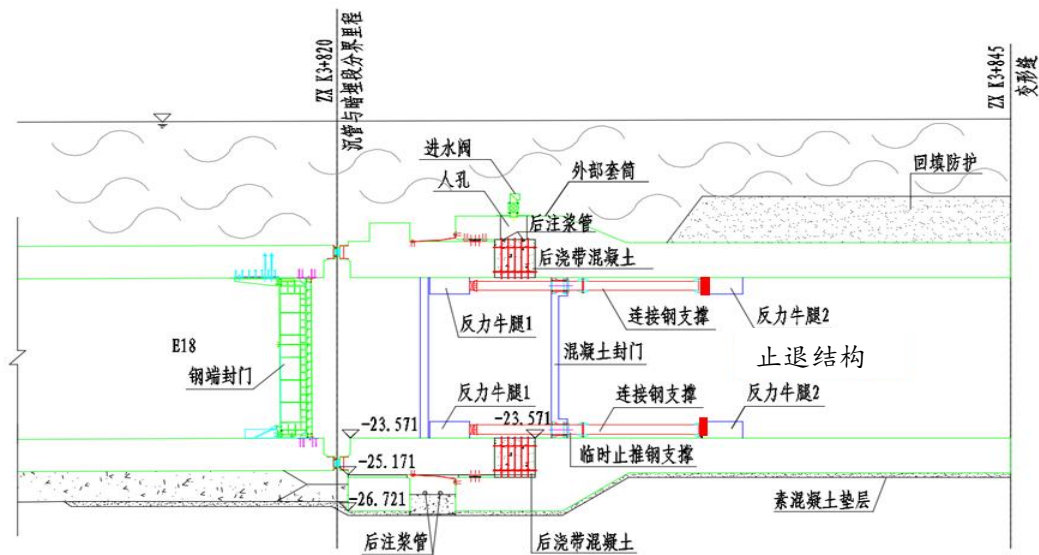


图 5.1 大连湾海底隧道工程止退结构布置图

5.2 结构制作

5.2.1 接岸端部推出式钢筋混凝土最终接头的制作应符合下列规定。

5.2.1.1 施工宜采用“分层浇筑→分段安装预埋件”的工艺流程。

5.2.1.2 顶进节段和外部套筒之间混凝土浇筑宜采用分层、分段现浇，施工前应在顶推支撑梁和顶进节段间设置止浆隔离措施。

5.2.1.3 钢筋混凝土最终接头应沿沉管隧道纵向长度全断面一次浇筑，并根据环境条件采取混凝土开裂措施。

5.2.1.4 结构验收合格后应安装千斤顶和顶推钢支撑系统，并配备监测、监控系统，还应进行顶推、回拉试验。

5.2.1.5 管节端部应按设计要求设置止退构造，止退构造宜采用设置止退墩、管顶设置钢斜撑等方式。

5.2.2 端钢壳的制作安装应符合下列规定。

5.2.2.1 端钢壳宜采用分块加工，加工时宜考虑与隧道结构中心线的对称性。

5.2.2.2 端钢壳宜采用 Q345B 级钢，焊缝质量等级宜为二级。

5.2.2.3 端钢壳安装应与结构分层现浇、同步安装，应在浇筑前及焊接端钢壳面板前分别校核定位，施工时宜设置临时支撑等措施。

5.2.2.4 在混凝土浇筑前安装 H 型端钢壳，混凝土强度达到 80%后，进行面板焊接。

5.2.3 端钢壳面板隔腔内灌浆应符合下列规定：

5.2.3.1 宜采用高强度、无收缩、易流动的砂浆灌注，砂浆 28d 的同条件养护试块抗压强度标准值应符合设计要求。

5.2.3.2 灌浆顺序宜为从下至上，从中间向两侧，对每一隔腔逐序灌注。

5.2.3.3 灌浆排气孔持续冒出合格浆液，并继续持压灌注 10~20s 后可封闭灌浆孔。

5.2.3.4 灌注过程中应严格控制压力，最大灌注压力不宜超过 0.3MPa。

5.2.3.5 灌浆过程中实时进行实际灌注量与理论灌注量比对，避免灌注缺陷。

5.2.4 管节端部推出式最终接头采用钢壳结构时，钢壳结构的制作应符合以下规定。

5.2.4.1 最终接头钢壳制造工艺流程应根据管节及最终接头的结构特点、制作厂的生产设备、生产流程布局确定。

5.2.4.2 钢壳的制作加工应进行全流程数字化精度控制。

5.2.4.3 钢壳加工前应建立包括焊接方式、焊接方法、焊接形式、母材情况、选用焊材、坡口形式等焊接工艺标准。

5.2.4.4 预留预埋件以区域为单位出图，区域大小应视舾装工作量确定。

5.2.4.5 钢壳加工前应根据加工工艺估算焊后变形量, 装配时应采取反变形的方法进行精度控制。

5.2.4.6 钢壳加工应设立车间制造执行管控系统, 实时监控板/型材智能切割生产线、片体智能焊接生产线、块体智能焊接生产线的运行状态。

5.2.4.7 预埋件安装前应进行三维模型碰撞分析。

5.2.4.8 扩大端节段宜采用分块方式进行加工控制, 顶部纵焊缝宜错开宜 900mm。

5.2.4.9 扩大端与管节应整体装焊, 推出段采用整体吊装至滑轨, 并配合花篮螺丝进行精准定位, 通过外板油缸沿滑轨推入管节扩大端。

5.2.4.10 最终接头在总组、搭载前, 应在建造场地建立局部测量控制网。

5.2.4.11 后焊段在钢壳制造阶段应分段制作、分段堆放及封固。

5.2.5 顶进节段法水中接头采用钢壳结构时, 最终接头的预制应符合以下规定。

5.2.5.1 钢壳标制作完成应进行第一次验收, 钢壳进场应进行第二次验收。

5.2.5.2 混凝土应在预制场搅拌站集中搅拌生产, 应严格控制混凝土制备、运输及浇筑时间、工作性能等。

5.2.5.3 混凝土浇筑应严格控制标准仓格浇速度, 仓格前期浇筑速度不宜大于 $30\text{m}^3/\text{h}$, 后期浇筑速度宜不大于 $15\text{m}^3/\text{h}$, 其中底板斜仓及靠中墙仓格后期速度宜不大于 $10\text{m}^3/\text{h}$ 。

5.2.5.4 混凝土浇筑应遵循“对称、均衡、连续不间断”浇筑原则, 并通过温度场仿真计算确定具体顺序。

5.2.5.5 浇筑期间应在底板下方设置支撑, 支撑的布置形式宜根据数模计算确定。

5.2.5.6 仓格所有排气管内混凝土液面高度达到 300mm 后停止浇筑。

5.2.5.7 扩大段及推出段浇筑施工宜采用手动控制混凝土浇筑速度及下落高度方。

5.3 舾 装

5.3.1 安装前应检查舾装件是否有变形受损及预埋件位置是否准确, 对变形受损的舾装件进行修补, 并按设计要求做好防腐处理。

5.3.2 钢封门的安装应符合下列规定。

5.3.2.1 双向钢封门安装完成应对封门所有焊缝进行密性试验检测，检测项目包括抽真空试验、着色试验和磁粉检测，气密性检验标准如表 5.3.2 所示：

表 5.3.2 钢封门密性检验标准

接头的种类	试验范围	试验方法		标准
外板焊缝、重要舾装的 接水部位	100%	水密试验	抽真空试验	无泄漏现象
			着色试验	
			磁粉检测	
着色试验与磁粉检测缺陷评定标准： a) 任何裂纹和白点； b) 焊缝上任何长度大于 3mm 的线性缺陷显示； c) 焊缝上单个尺寸大于或等于 4mm 的圆形缺陷显示。				

5.3.2.2 钢端封门焊接过程中，应严格控制焊接变形。

5.3.2.3 钢封门与其预埋件连接应满足设计要求，钢封门与预埋件连接后，应对连接螺栓进行快干防锈漆封闭。

5.3.2.4 钢封门重新安装前应检查焊缝情况及板材平整度等，清理锈蚀和污渍，补充防腐措施。

5.3.2.5 端封门的安装顺序应按顶板牛腿、封门钢梁、钢面板依次进行，且钢面板焊缝及水密舱门均应进行水密性试验，压强宜取管节最大埋深处水压的 1.25 倍。

5.3.2.6 单扇钢封门范围内的平整度误差应小于 5mm，外侧牛腿与钢梁形成的平面应光滑平整，钢梁外侧翼缘板与外侧牛腿面的高差应小于 1mm。

5.3.3 注浆止水带及压件加工及安装应符合下列规定。

5.3.3.1 止水带运至现场及安装过程中应采取保护措施等防止止水带损伤。

条文说明：

施工时，对止水带的保护及其重要，可以在现场放置止水带的位置上提前铺设土工布，并清理可能损伤止水带的坚硬异物。吊装时在吊点处要包裹土工布或橡胶胶皮作为止水带的保护，止水带固定之前要在外部套筒侧面铺设土工布，防止在固定止水带时损伤止水带。

5.3.3.2 止水带安装宜设置专用安装平台。

5.3.3.3 注浆止水带吊装前，应将止水带平放后再对折，吊装中心及端点应提前设置引绳，注浆止水带吊装位置示意图见图 5.3.3-1。

5.3.3.4 螺栓孔、注浆孔应逐一检查，清理异物，发现生锈现象应采用除锈剂除锈，并涂抹黄油。

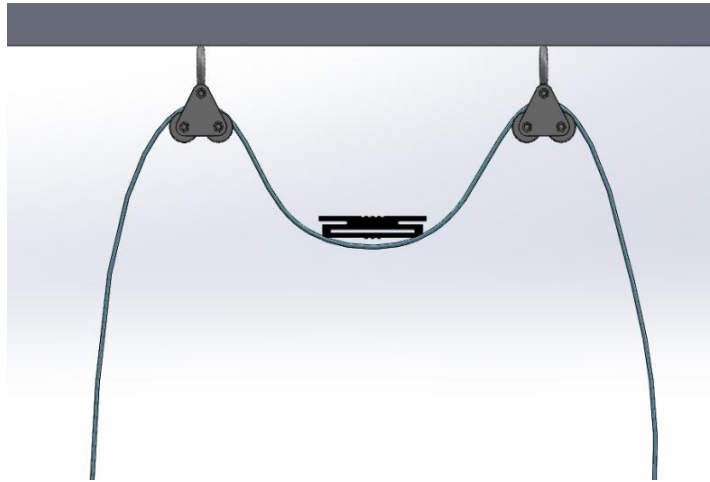


图 5.3.3-1 注浆止水带吊装位置

5.3.3.5 外套筒顶板处宜设置吊环螺栓，螺栓间距宜为 3m，注浆止水带横向吊装如图 5.3.3-2 所示。

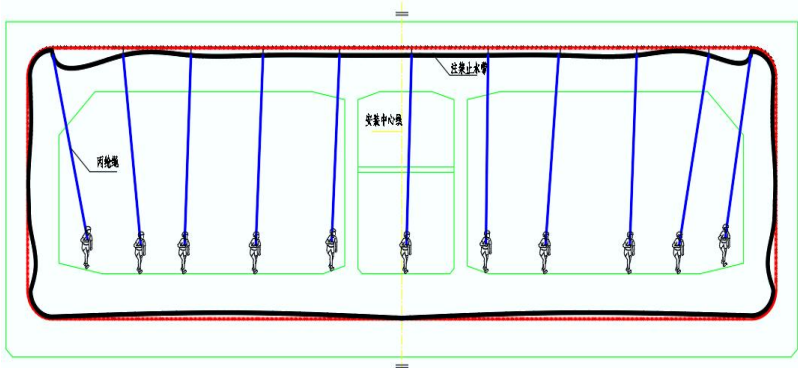


图 5.3.3-2 注浆止水带吊装横向图

5.3.3.6 注浆止水带卡入定位压板后，应进行匹配精调；螺栓调整应同步进行。

5.3.3.7 压板与注浆止水带应贴紧，应防止止水带接触螺杆，避免刮擦损伤。

5.3.3.8 压板安装顺序宜采用自上而下（顶板-上倒角-侧墙-底板），整体顺序宜按分中原则，左右两边同时进行。

5.3.3.9 注浆止水带注浆管接头开孔不宜小于 90mm，安装注浆预埋钢管时，宜提前将注浆软管与注浆预埋钢管连接，注浆软管长度应高出预埋件顶面。

5.3.4 M 型止水带及压件加工及安装应符合下列规定。

5.3.4.1 安装前应在地面铺设土工布，防止划伤 M 型止水带，搬运应避免拖拽 M 型止水带。

5.3.4.2 滑动支架安装时，应打磨滚轴与两侧基础的突起，应在滚轴上铺设土工布。

5.3.4.3 安装前应先对预埋套筒进行全面清理、修复，预埋套筒内应采用天然牛油填隙。

5.3.4.4 止水带安装前，最终接头应全部推入扩大端并拆除外部临时滑道。

5.3.4.5 M 型止水带应均匀同步起吊，吊至 M 型止水带拐角与外部套筒、顶进节段的预埋件基本贴合时，进行各部位压件安装。

5.3.4.6 止水带硫化接驳应预留长度余量，接驳应采用专用接驳夹具，接驳冷却 24h 后，方可拆除夹具；接驳位置应方便施工操作，宜设置在顶部中间位置。

5.3.4.7 止水带接驳、冷却完成后，应检查止水带外观质量，并对接驳质量进行自检评估。

5.3.4.8 安装顶板 M 型止水带时，应先安装转角压板，再利用“分中”的方法依次用压件压紧 1/2 处、1/4 处、1/8 处、1/16 处，再进行剩余压板的安装。

5.3.4.9 压件全部安装到位后，采用扭矩扳手逐个检查压板螺栓，预紧力应满足设计要求。

5.3.4.10 双头螺柱倾斜时，宜采用专用钢管套矫正。

5.3.4.11 止水带螺栓应包含初拧、复拧、终拧。

5.3.4.12 安装完成后，应进行接头气密性保压试验，应重点观察顶部止水带接驳位置，发现漏点应停止灌水，进行堵漏、修补。

条文说明：

考虑到最终接头充气止水带充气后能否顺利收回，只需验证 M 型止水带的气密性，实测一定压强（0.02MPa、24h）下止水带膨胀情况，并且用肥皂水检测是否有局部漏气。

5.3.4.13 安装 M 型止水带时，底部应采取止水带防下垂措施。

条文说明：

深中通道工程中 M 型止水带防下垂装置如图 5.2 所示，装置由悬臂钢杆和钢管盖帽组成。

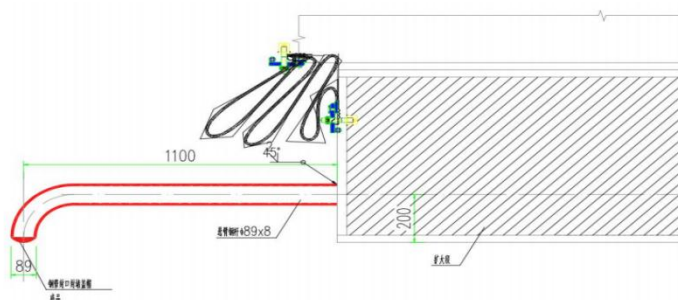


图 5.2 M 型止水带防下垂装置断面图 (单位: mm)

5.3.5 滑轨系统应符合下列规定。

5.3.5.1 聚四氟乙烯板与滑板预埋件的固定宜采用双排螺钉固定。

5.3.5.2 底钢模上应设置不锈钢板, 不锈钢板厚度不宜小于 10mm, 面光洁度不宜大于 0.8。

5.3.5.3 聚四氟乙烯板与不锈钢板之间的摩擦系数不宜大于 0.2, 安装精度为每 500mm, 平整度允许偏差为 1mm。

5.3.5.4 同一条支撑梁上的聚四氟乙烯板厚度偏差应不大于 0.5mm。

5.3.5.5 滑板预埋件可根据挠度变形量进行分块加工、逐块拼接安装, 分块长度不宜超过 2.5m。

5.3.5.6 分块拼接宜采用点焊方式连接, 滑板预埋件表面应平整顺滑。

5.3.6 顶推回拉系统的安装应符合下列规定。

5.3.6.1 施工前应检测顶推装置的同步性、最大顶推距离、电控系统运行情况。

5.3.6.2 应对顶推千斤顶进行耐压试、稳定性测试; 顶推千斤顶在试验压力下保压 8h, 在超载 1.5 倍情况下保压 2h, 所有零件不应有破坏或永久性变形; 组装完成的推拉千斤顶应进行试验压力下的密封性试验, 零部件结合面处应无外漏。

5.3.6.3 在额定负载下, 千斤顶活塞往复运动不少于 10 次, 检测千斤顶外观及内泄漏情况。

条文说明:

深中通道工程顶推千斤顶的性能参数指标为: 控制千斤顶回油背压小于 0.5MPa。在无负载工况下千斤顶应以不大于 5mm/s 最低稳定运行速度至少满行程运行 2 次, 检查千斤顶是否存在爬行等异常现象。

5.3.6.4 顶推千斤顶的油缸应满足顶推距离、GINA 初步压缩水密顶推力要求,

顶推距离应根据最后一节沉管安装完成后实测距离确定。

5.3.6.5 油缸安装前应分别进行单台及联动调试，确保油缸伸缩、回收动作正常，伸缩长度与控制单元设定长度一致，并应确定最大伸缩距离。

5.3.6.6 顶推千斤顶安装时应使油缸轴线与止退钢支撑对正，油缸伸出距离止退钢支撑 20mm 时，确认轴线止退钢支撑轴线对正情况。

5.3.7 纠偏千斤顶安装应符合下列规定。

5.3.7.1 纠偏千斤顶安装前应对千斤顶进行连接尺寸检查，包括连接安装距离、工作行程等。

5.3.7.2 安装前应对千斤顶进行空载试验、最低启动压力试验、最低稳定运行速度试验、耐压试验、密闭试验、内泄漏量、带载试验。

5.3.7.3 油管安装完毕，在连接千斤顶前，应使用液压油对油管内部冲洗排杂，每根管路冲洗时间应不小于 30min。

5.3.7.4 千斤顶在空载状态下满行程运行不应少于 3 次，在限位端部应停留不少于 10s。

5.3.7.5 千斤顶应平稳运行，无异常振动及爬行等现象，柱塞或活塞杆上应无油环状痕迹。

5.3.7.6 无负载时千斤顶的最低启动压力不应大于 0.63MPa。

5.3.7.7 装配完成后应进行耐压试验，千斤顶在试验压力下保压 8h，所有零件不应有破坏或永久性变形现象。

5.3.7.8 组装完成的纠偏千斤顶应在试验压力下进行密性试验，零部件结合面处应无外漏。

5.3.7.9 额定负载下千斤顶活塞往复运动不应少于 10 次，检测千斤顶外观及内泄漏。

5.3.8 通风系统的设置应符合下列规定。

5.3.8.1 管内通风方式根据实际需求确定，宜配备强制通风系统。

5.3.8.2 管内施工应提供通风、检测、防护等设备。

5.3.9 止水带保护罩的加工及安装应符合下列规定。

5.3.9.1 止水带保护罩宜采用钢结构，便于快速拆装。

5.3.9.2 止水带防护罩与止水带应保持合理间距，距离应根据防护罩结构型式及最不利偶然冲击荷载等因素确定。

5.3.9.3 止水带保护罩应在接头寄存、浮运过程中对止水带有效防护，防护范围应根据浮运水域杂物情况确定。

5.3.9.4 采用 M 型止水带进行水中接头施工期，应设置 M 型止水带防下垂装置，顶部宜设置临时保护措施。

5.3.10 导向杆安装应符合下列规定。

5.3.10.1 导向杆与预埋件之间宜采用螺栓连接，螺栓应包含初拧、复拧、终拧施工工序，不得重拧。

5.3.10.2 导向杆螺栓应按中间→两边顺序拧紧，横向定位与理论位置偏差应不大于 10mm，纵向偏差应不大于 20mm。

5.3.11 顶进节段、外部套筒、注浆止水带等部位应涂刷防海生物涂料，聚四氟乙烯板应粘贴防海生物薄膜，顶进节段与外部套筒空腔之间涂撒防海生物涂料。

5.3.12 整体吊装式最终接头的舾装内容应包括防撞块、导向杆、精调千斤顶、CCTV 系统、监控系统、吊点、吊带及各类预埋件等。

5.3.13 推出式最终接头的舾装内容应包括注浆止水带及压件加工及安装、M 型止水带及压件加工及安装、水力压接系统、滑轨系统、临时止退系统、推出、纠偏系统、通风系统。

5.4 工艺验证

5.4.1 推出式最终接头应进行顶推、回拉试验，验证底部滑行系统的施工工艺及确定摩擦系数，验证 M 型止水带回收性能。

条文说明：

最终接头预制后，现场进行顶推、回拉试验，以验证顶进节段在千斤顶顶推作用下平稳移动的可行性。在顶进节段顶推过程中收集千斤顶顶力、顶进节段与滑板之间摩擦系数、顶推过程中顶进节段横向偏差里程等数据，为后续正式顶推对接提供数据支撑。

M 型止水带安装完成后设定回拉间距，观察回拉过程中止水带的状态。

5.4.2 止水带安装完成后应进行充气打压试验及水密性试验，验证了止水带水密效果良好。

5.4.3 千斤顶安装完成后应进行调试、联调联试，并进行同步性的测试验证，演练

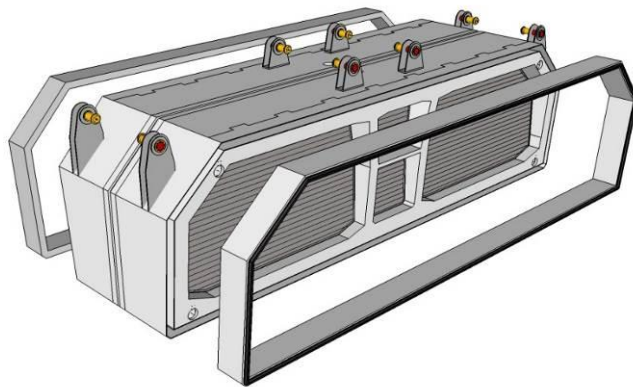


图 5.3 顶推小梁及止水带设计图

小梁调试的主要目的如下：

(1) 小梁间隙调控：对包括滑块、支座在内的小梁垫块尺寸进行实际匹配测量和调整；

(2) 液压系统调试：顶推千斤顶的同步性和分组操作等功能性验证，顶推操作参数获取。千斤顶、液压泵站控制系统和传感器监控系统的正常运转调试；检验整体系统的顶推和回程操作性能（滑移同步性和速度）；检验不同工况下，三点区域调整、AB 油路转换、单侧运动或两侧联动功能（不均匀压缩控制性能）；检验千斤顶阀组的顶推单向保压功能。

(3) 空间姿态测控：外形尺寸、倾角和平整度等影响沉放对接关键参数的测量和控制。

5.5 浮运及沉放

5.5.1 最终接头浮运应合理选择浮运航道和浮运水位，有条件时应利用高水位。

5.5.2 最终接头沉放前应在作业水域设置标记，在航道范围内应设置临时航标并进行航道管制。

5.5.3 最终接头沉放前应对基槽或基础垫层回淤情况进行检查，发现回淤或偏差超出规定，应采取措施修正。

5.5.4 V 形块体整体吊装式最终接头沉放施工应符合下列规定。

5.5.4.1 最终接头起吊前，应进行吊索具选型及吊装方式的技术论证，吊装过程中，通过安装在吊点和管内监测系统实时监测结构应力和变形情况。

5.5.4.2 沉放准备工作前，应趁平潮期小流速时将最终接头部分吊放入水，下放过程中同样采用压舱水进行船舶调平。之后进行调位缆绳连接和“脐带缆”系统连接、调试。

5.5.4.3 流速 $<0.4\text{m/s}$ ，开始最终接头沉放，下放前应调整最终接头与安装位置重合，入水时起重船通过压载水调整甲板为水平，下放速度按 $<0.3\text{m/min}$ 控制。

5.5.4.4 下放过程中，应通过调位缆绳调整最终接头扭角、平面位置；横向偏差应采用旋转吊机方式、轴向偏差采用调整吊臂仰角方式微调。

5.5.4.5 应通过 CCTV 系统监视封门是否漏水，管内监测系统监测结构应力和变形等情况。

条文说明：

港珠澳大桥最终接头安装前开展了一系列的吊索具的选型调研和技术攻关工作，从安全性、经济性和操作性 3 个方面对“环形吊带+辅助索具方案”、“环形吊带方案”、“缠绕钢丝绳方案”、“环形钢丝绳方案”4 个方案进行了必选，最终在第 30 次沉管安装风险评估专家咨询会上，确认采用环形吊带方案。

方案采用 4 根 60m 长，工作荷载为 900t（6 倍安全系数）的环形吊带。每根吊带在出厂前进行 1.3 倍工作荷载即 1200t 的抗拉试验，确保吊装荷载满足要求。

根据起重船吊钩形式和最终接头上 8 个吊点的设置，提出了 3 种吊带悬挂方式，如图 5.4 所示。

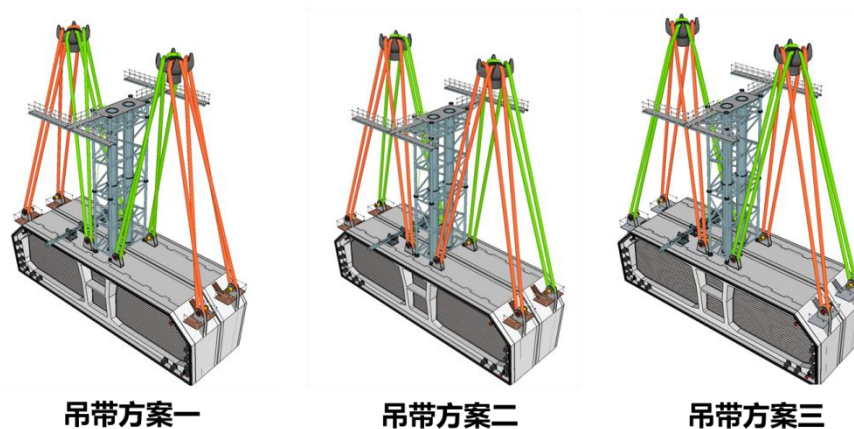


图 5.4 吊带悬挂方案比选

在桂山岛进行了陆上吊装试验，如图 5.5 所示，从起吊后的平整度、吊带长度对吊平的影响及调平的难易程度几个方面对 3 个方案进行了对比，最终确定采用方案 2 作为最终接头吊带悬挂方案。



图 5.5 吊带悬挂陆上演练

通过重心精算预估最终接头起吊后姿态，结合 4 根吊带的长度，提前对 4 根吊带进行长度匹配。通过试吊观测最终接头平整度，采用在销轴处增加轴套等措施将最终接头调平；

调平后正式吊起，旋转 90° 至安装位置，运输船撤离，收紧右前缆绳。起吊和旋转过程中，起重船通过调整压舱水保持甲板基本水平状态。

最终接头起吊如图 5.6 所示。

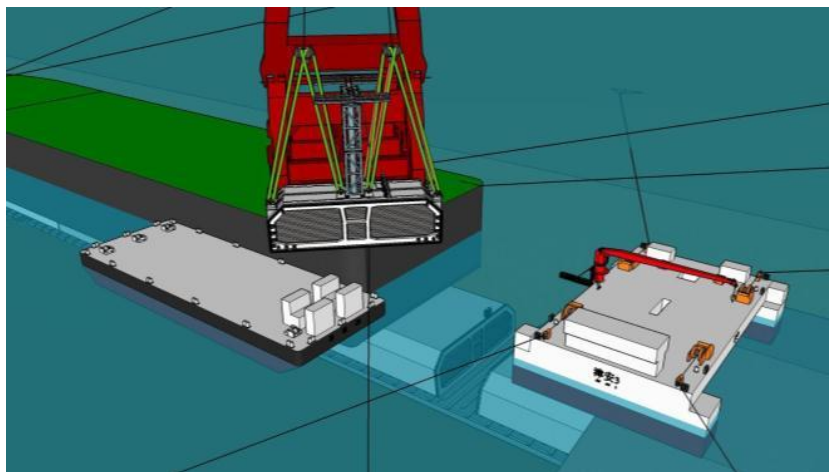


图 5.6 最终接头起吊示意图

5.5.5 水中管节端部块体推出式最终接头的浮运及系泊应符合下列规定。

5.5.5.1 搭载最终接头浮运前应根据当前工况进行受力计算，并确定水箱配载。

5.5.5.2 浮运前应持续对作业区域水位（潮位）、水流、水重度等参数进行监测，实测天数宜不少于 30d。

5.5.5.3 浮运路线应根据施工区航道的位置、水深、锚地情况、管节尺寸和吃水等条件确定。

5.5.5.4 浮动力配备应综合考虑水流力、风荷载、波浪力、拖航阻力和转向阻力等因素，最终接头管节水阻力宜为标准管节的 1.12 倍。

5.5.5.5 浮运前，应检查船舶操纵系统及工作状态、测量控制系统、船管连接状态及舾装件状态等。

5.5.5.6 管节浮运作业环境复杂时应进行浮运演练，验证浮运方式、拖轮配备及作业条件。

条文说明：

参照已建沉管隧道工程港珠澳施工环境作业窗口限制条件见表 5.1。

表 5.1 浮运作业窗口条件限制表

作业阶段和内容	流速 (m/s)	波高 Hs (m)	波浪周期 (s)	风速 (级)	能见度 (m)
出坞	0.3	0.8	≤6	≤6	≥1000
顺（逆）流浮运	0.8	0.8	≤6	≤6	≥1000
横流浮运	0.5	0.8	≤6	≤6	≥1000
系泊作业	0.6	0.8	≤6	≤6	≥1000

5.5.5.7 浮运时应根据航道条件、水文、气象分析各个航道的航行工况，选择合理的浮运航速。

5.5.5.8 系泊系统应根据试验和分析计算设置，并考虑作业工况下可能遭遇最不利的波浪、水流以及天气等。当波浪和水流对管节的作用较大时，宜采用拖轮顶推方式等辅助措施增加其稳定性。

5.5.5.9 系泊缆布置应满足下列要求：

- （1）管节运输到位后，根据系泊方案连接系泊缆，形成管节系泊定位锚系；
- （2）抛锚位置考虑锚块形式、缆绳与管节轴线角度等因素；
- （3）通过受力计算确定系泊缆选型，要具备足够的抗破断力，安全系数不小于 5。

5.5.5.10 最终接头系泊宜按下列施工流程操作：抛锚预拉→取缆、送缆→系泊作业→系泊完成，系泊最终状态示意如图 5.5.5 所示。

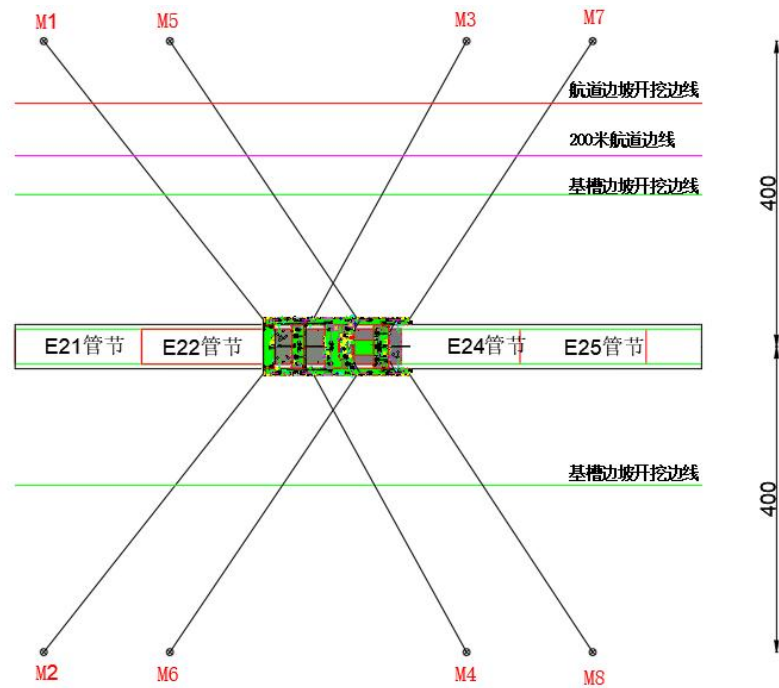


图 5.5.5 深中通道工程最终接头管节最终系泊状态（一体船运输）

5.5.6 水中管节端部块体推出式最终接头的沉放应符合下列规定。

- 5.5.6.1 沉放前应核实作业窗口是否满足沉放要求。
- 5.5.6.2 沉放前应复核管节的负浮力、平面位置、水中姿态，利用测控系统指导管节就位。
- 5.5.6.3 管节沉放时抗浮系数宜为 1.01~1.02，管节就位后注水加载至抗浮系数不小于 1.05。
- 5.5.6.4 管节沉放时，应根据沉放深度分步下放，分步深度应根据现场水深、基槽深度等确定，并通过管节水下姿态监控系统进行监控，下放速度应通过演练确定，宜不大于 0.3m/min。
- 5.5.6.5 管节下放过程中应持续监测安装船吃水、管节姿态、管节水下运动状态、管内视频监控及海流情况，直至其着床。
- 5.5.6.6 管节着床后主动拉合单元伸出，与被动拉合单元搭接，搭接过程应采用水下摄像或潜水员检查。

5.6 对接及体系转换

- 5.6.1 管节之间水下对接宜采用水力压接方式，压接过程控制排水速率。
- 5.6.2 V 形块体整体吊装式最终接头小梁顶推及 GINA 压缩施工应符合下列规定。

5.6.2.1 潜水员应检查 GINA 与钢帽间无异物,之后两侧小梁同时顶出至 GINA 压缩 7cm,潜水员辅助测量,检查 GINA 压缩情况;

5.6.2.2 为减少最终接头水下顶推阻力,利于顶推作业,在 LIP 止水带与 M 形止水带间可设置 3 处通气管。3 处通气管外侧应设置遥控阀,顶推时阀为常开状态。

5.6.2.3 潜水员检查 GINA 压缩情况,确认行程结合腔后锁定顶推千斤顶。

5.6.3 V 形块体整体吊装式最终接头的结合腔排水施工应符合下列规定。

5.6.3.1 最终接头与前后管节形成结合腔,两侧结合腔应由最终接头中廊道内的连通管连接,保证在排水过程中两侧结合腔压力相同。

5.6.3.2 将少量结合腔水排入一侧管节水箱内,剩余大量结合腔水应利用排水泵排至隧道外。

5.6.3.3 排水完成后,应打开相邻管节端封门上的水密门,进入结合腔检查。确认符合要求后,采用扫仓泵将结合腔内剩余少量水排出。

5.6.4 接岸端部块体推出式最终接头推出对接及受力体系转换应符合下列规定。

5.6.4.1 最终接头推出作业应按照距离顶推、顶压排水顶推、水力压接顶推等顺序依次完成。

5.6.4.2 顶推距离应根据最后一节沉管安装后实测距离确定,并开展专项研究,顶推千斤顶达到顶推最大距离未能实现与连接钢支撑接触时,宜增加垫片与连接钢支撑焊接。

条文说明:

大连湾海底隧道工程中,顶推千斤顶回收状态长度为 2900 mm,油缸最大伸缩距离为 1700 mm,重量达到 3 t 左右。单台千斤顶最大顶推力为 300 t,共有 4 台千斤顶同时进行顶推作业。距离顶推距离根据 E18 管节安装理论位置及顶进节段目前位置计算,具体距离顶推距离根据 E18 安装完成后实测距离确定。具体顶推流程如图 5.2.3-6 所示。距离顶推施工中千斤顶顶推距离预计约 1.15m,单台顶力设置 15t (共 60 t) 进行顶推,监测顶进节段是否前进,若顶进节段没有顶推前进,单台千斤顶顶力单次增加 5t,直至顶进节段前进,记录顶进节段最大静摩擦力。顶推距离 1.15m 分 4 次进行,第一次顶推 0.4m,第二次顶推 0.3 m,第三次顶推 0.3m,第四次顶推 0.145m,直至顶进节段端钢壳与 E18 管节 GINA 止水带接触。大连湾海底隧道工程顶推流程如图 5.7 所示。

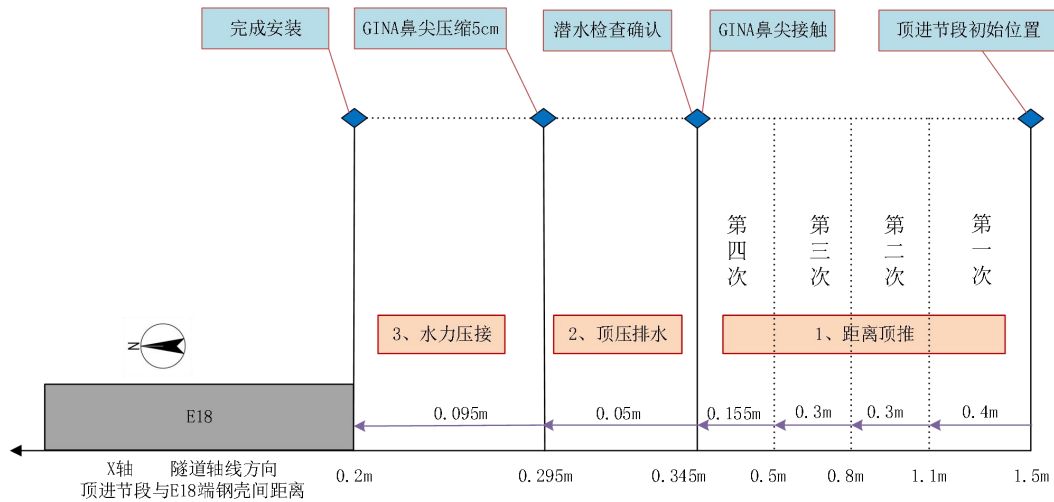


图 5.7 顶进节段顶推流程图

5.6.4.3 顶进节段顶推作业前，应对管节尾端 GINA 止水带、底部滑道、聚四氟乙烯板、横向支撑梁进行清理。

5.6.4.4 距离顶推应满足下列要求：

- （1）单台千斤顶施加预紧力，消除千斤顶与止退钢支撑、顶进节段间隙，预紧力为 10t；
- （2）初始顶推力根据荷载计算确定，顶推力采取分级加载方式，单次加载不超过 5t；
- （3）顶推过程按顶推距离分次进行，每次顶推距离为 100mm，直至顶进节段端钢壳与最后一节沉管 GINA 止水带接触；
- （4）顶推过程应实时监测节段偏位，测量顶进节段与管节端面间距、错牙及高差。

5.6.4.5 顶压排水顶推应满足下列要求：

- （1）启动顶推千斤顶使最后一节沉管 GINA 止水带鼻尖压缩，当压力传感器的读数增大，流量计读数不变，接合腔达到水密，停止顶推；
- （2）顶推作业时，压力传感器读数增加 1%~2%，暂停顶推，并适当开启接合腔排水管阀门，少量、受控的排出接合腔内的水直到压力表读数降低为初始值，流量不大于 0.3m³/min；

条文说明：

本做法是为了防止 GINA 止水带侧翻。

(3) 通过流量计监控接合腔排水速度，压力传感器读数降低至顶力排水前读数相同时，停止排水。

5.6.4.6 一次水力压接应满足下列要求：

- (1) 水力压接时控制进气阀开度，监测接合腔压力变化；
- (2) 通过进气阀开度来控制排水流量和 GINA 压缩速率；
- (3) 接合腔压力值平稳下降至 0.057Mpa 时，顶部排水管路有少量水流出一次水力压接结束；
- (4) 一次水力压接结束，测量对接端间距、错牙以及限位块间距，并复紧 M 型止水带压板螺栓。

5.6.4.7 人孔门开启前应先开启中间管廊球阀。

5.6.4.8 体系转换前应关闭外部套筒顶部进水阀门，再进行接合腔排水作业。

条文说明：

关闭外部套筒顶部进水阀门，可以对压力表数值进行观测，若压力表数值随着涨落潮发生变化，说明接合腔内水与外部连通，此时要检查进水阀门是否完全关闭以及止水带是否无破损。

5.6.4.9 接合腔内积水应由进气阀排出，进气阀开度为 1/8 圈。

5.6.4.10 排水过程应控制排水速度并保证钢支撑受力均匀并可调整。

条文说明：

排水过程宜按 5 个阶段进行：第一阶段进气阀开度宜为 1/4 圈，排水高度宜按 2m 控制；第二阶段和第三阶段进气阀全开，排水阀门开度为 1/4 圈，排水高度宜按 2m 控制；第四阶段进气阀为全开，排水阀门开度为 1/4 圈，排水高度宜按 1.3m 控制；第五阶段进气阀为全开，排水阀门开度为 1/4 圈，压载水管系弯头水使用扫泵进行排水。

5.6.4.11 接合腔排水过程中应检查 M 型止水带完好性。

5.6.4.12 接合腔排水过程中应监测千斤顶力数值、顶出距离以及连接钢支撑应力应变。

条文说明：

监测频率为每小时监测 1 次千斤顶顶力，每天测量 2 次千斤顶伸缩距离，每

天监测一次连接钢支撑应力应变值, 监测时间直至顶进节段基底灌浆混凝土强度达到设计值时可停止监测, 即可拆除扁平器千斤顶与连接钢支撑。

5.6.4.13 施工中出现单台/局部千斤顶顶力数值与其它数值偏大时, 应单独泄压。

5.6.5 管节端部块体推出式最终接头推出对接及受力体系转换应符合下列规定。

5.6.5.1 最终接头顶推施工应实时测定顶进节段位置和轴线, 宜采用“光学+机械”组合测控方法准确定位。

条文说明:

系统主要设备包括: 摄像机 4 组, 用于测定顶进节段的纵向和横向位移量, 拉线仪 4 台, 用于测定顶进节段纵向和横向位移量, 双轴倾斜传感器 2 台, 用于观察顶推施工期间顶进节段姿态及变化, 最终接头测控系统软件着重展示最终接头合龙口姿态变化位置关系。

5.6.5.2 顶进节段与管节间抽排水时, 宜采用拉杆+锚固板系统对临近管节接头进行临时锁定。

5.6.5.3 施工过程应对封门、止水带渗漏、顶进节段锁固稳定、钢拉杆进行全过程监测。

5.6.5.4 最终接头推出速度应根据人孔井进水管系补水效率确定, 推出速度宜按 5~7mm/min 控制。

5.6.5.5 顶进节段 GINA 鼻尖距对接管节端钢壳 30mm 左右, 检查 GINA 和端钢壳之间有无异物、GINA 和端钢壳是否接触、状态是否正常、三边端面错牙及端面距离。

5.6.5.6 排水过程中应根据锁定拉杆变形情况确定排水操作, 宜选择最低潮排水。

5.6.5.7 受力体系转换前, 顶进节段结合腔排水应结束且贯通测量满足设计要求。

5.6.5.8 接头位置锚拉系统应按施工顺序进行分组编号, 拟定加载顺序。

条文说明:

“临时锚拉系统”是为了防止最终接头推出完成后, 临近管节接头 GINA 止

水带回弹所采用的临时锁定装置；同时为防止临时锚拉系统在紧固过程中拉杆受力 GINA 止水带再压缩导致管节发生偏差，故在相邻管节结合腔内增加限位装置对管节形成止退作用，并保证拉杆均衡受力。

5.6.5.9 每个接头位置所有限位钢拉杆应对称加载，一次性加载至设计预紧值。

5.6.5.10 全部加载完后所有限位钢拉杆进行全面复紧。

5.7 对接后施工

5.7.1 后浇段的施工准备应符合下列规定：

5.7.1.1 施工前应对混凝土表面进行人工凿毛，并满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204）的相关要求。

5.7.1.2 后浇段施工前应对浇筑区域进行清理，保证干净，无积水、无污染。

5.7.1.3 施工前应进行有限作业空间风险识别并制定应急措施，设置通风系统、照明设施、气体检测报警装置等，措施应满足《有限空间作业安全指导手册》（应急管理部（2020）299 号）相关要求。

条文说明：

大连湾海底隧道工程后浇段根据作业空间分三层进行浇注，第一层浇筑至底板加腋角以上 100mm；第二层至顶板加腋角以下 500mm，中墙同步浇筑至顶板加腋角以下 500mm；第三层为上部顶板全部施工。分层便于施工组织及尽快形成结构底板，提高最终接头整体受力，保证结构安全，分层示意如图 5.8 所示。

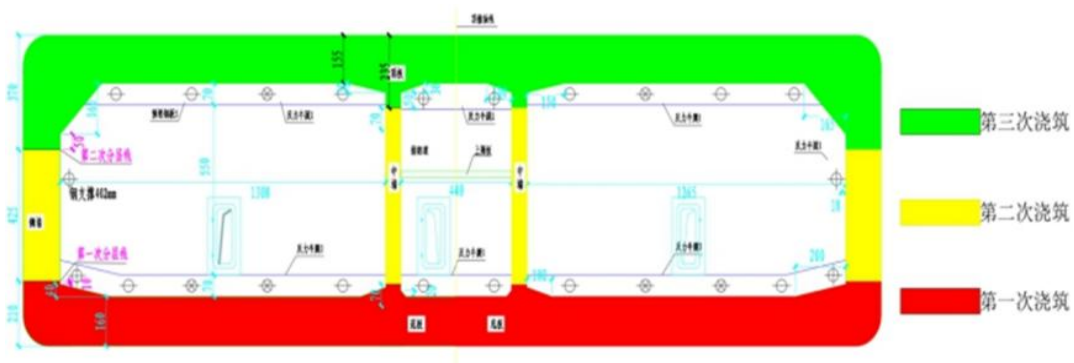


图 5.8 后浇段施工分层图

5.7.2 后浇段钢筋施工应符合下列规定。

5.7.2.1 主筋布置形式为环向钢筋整体形成外侧框架，内侧横向、竖向钢筋互

相锚固，并在内外侧弯矩较大及加腋角框架节点处设置加强钢筋。

5.7.2.2 纵向连接宜预先在先浇结构一侧预留钢筋连接套筒，通过预留套筒实现纵向钢筋贯通，整体骨架采用箍筋及拉钩筋进行约束拉结。

5.7.2.3 后浇段结构浇筑施工分层可分为底板、墙体、顶板三部分分层施工。

5.7.2.4 直径 $\geq 25\text{mm}$ 钢筋应采用机械套筒连接，纵向钢筋进行焊接连接，其他箍筋可采用绑扎连接。

5.7.3 后浇段模板体系施工应符合下列规定。

5.7.3.1 后浇段模板的设计应考虑作业空间、运输通道和设备的限制等因素，宜采用分组散拼组合片式钢模板体系。

5.7.3.2 顶板模板宜采用满堂脚手架支撑受力体系，顶板模板支撑可参照图 5.7.3 设置。

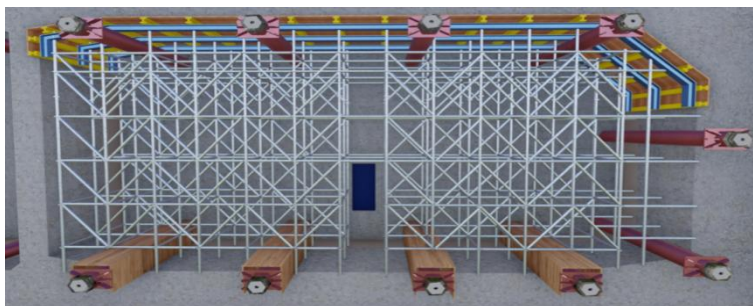


图 5.7.3 模板施工图

5.7.4 后浇段混凝土施工应符合下列规定。

5.7.4.1 后浇段浇筑应采用自密实补偿收缩混凝土，分层应与主体结构现浇分层保持一致，且浇筑分层厚度不宜超过 500mm。

5.7.4.2 后浇段混凝土宜采用冲顶泵送浇筑工艺，预埋排气管，后期排气管继续作为补充注浆通道保证顶板结构密实。

5.7.4.3 冲顶混凝土结束后 12 小时内，进行补充注浆对预埋注浆排气管进行回填注浆微膨胀水泥砂浆（注浆压力 0.1~0.3MPa）。

5.7.4.4 后浇段混凝土养护达到设计强度后，方可拆除临时止推钢支撑。

条文说明：

后浇段混凝土由于其特殊的浇筑位置及浇筑顺序，大连湾海底隧道工程采用 C50P10 自密实补偿收缩混凝土。根据结构分层施工，共分为三层进行浇筑，第一层底板共 85m³，第二层墙体共 42 m³，第三层顶板共 93 m³。混凝土浇筑都采用 80

地泵进行泵送浇筑，但由于地泵无法进入作业空间，只能将设备布置在外部套筒节段，采用接 125 管的方式通过三个人孔门到达各个作业面。为了节约时间保证混凝土浇筑快速连续，混凝土浇筑前均提前将三路泵管提前布设接好引至地泵处。墙体及顶板混凝土浇筑过程需要进行垂直泵送，泵管通过搭设架体临时固定保证混凝土的输送通道稳定，并通过连墙件进一步固定保证作业稳定性安全性。顶板混凝土浇筑时需要预埋钢管进行混凝土泵送，并通过排气孔观察浇筑情况，后期对预留排气孔进行注浆保证混凝土密实，凝土浇筑施工如图 5.9 所示。

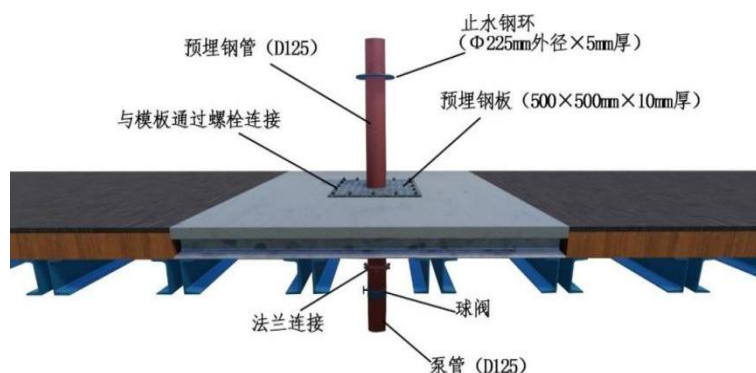


图 5.9 混凝土浇筑施工图

5.7.5 后焊段安装焊接施工应符合下列规定。

5.7.5.1 采用钢壳沉管最终接头型式时，后焊段钢板材质应与标准管节材质相同。

5.7.5.2 最终接头与相邻管节之间的合龙焊接段长度应根据安装位置实测周长差值进行配切，并满足设计图样中规定的最小装配裕量要求。

5.7.5.3 后焊段结构填补施工宜采用分块分段安装，不满足施工条件时可采用现场片体散件安装。

5.7.5.4 采用分块分段安装模式时，结构块体应同管节一同制作、涂装、验收、封固运输。

5.7.5.5 焊接预热时当腔内湿度 $>60\%$ 或钢板表面温度低于露点 3°C 时，焊接区域应预热至 $80^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，保持 10min 以上以去除水汽。

5.7.5.6 焊接宜采用对称退步法焊接，由外侧向内侧分层分道施焊，两侧管节应同步、同参数、同步骤施焊，层间温度应控制在 $80^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内。

5.7.5.7 止水带周边 300mm 范围内动火时，止水带表面温度不得超过 70°C ，施工过程中应采用红外热像仪实时监测。

条文说明:

止水带在工作状态,要严格控制其温度在规定要求范围内,防止温度过高止水带老化,产生不可逆塑性变形,其弹性和韧性、抗拉强度都急剧下降,使止水带功能性失效,导致灾难性后果。

5.7.6 最终接头底部基础水下后注浆施工工艺应符合下列规定。

5.7.6.1 注浆施工前应提前进行水下探摸,查明回淤情况、两侧封堵状态及注浆管位置;完成注浆管道系统安装及设备调试。

5.7.6.2 基础水下注浆应在后浇段强度达到 100%后进行注浆。

5.7.6.3 注浆材料应具有良好的流动度及和易性,流动度宜控制在 $18\pm 2s$ 。

5.7.6.4 注入泵压宜取 0.3MPa,注浆速率范围宜控制在 60~80L/min,施工中可根据实际情况进行调整。

5.7.6.5 注浆终止条件应同时满足下列要求:当碎石层顶部出现浆液渗出,可停泵或间歇性进行小流量注浆,渗出量持续增加时,可判定空腔饱和;注浆压力表达达到设计值且出气管排出纯浆时,可判定空腔饱和;可停泵。

5.7.6.6 密闭空腔回填式注浆方式宜采用为自流式灌注。

5.7.6.7 基础后注浆监测应以管外注浆压力控制为主,管内沉降位移监测作为辅助。

5.8 施工测量

5.8.1 最终接头预制、舾装后,应对最终接头进行测量标定工作。

5.8.2 最终接头需要布设特征点包括端面特征点、内部贯通点、顶部特征点。

5.8.3 最终接头标定及测控设备安装应符合下列规定。

5.8.3.1 最终接头标定应包括顶进节段标定、外部套筒标定与最后一节管节尾端标定。

5.8.3.2 顶进节段标定应根据顶进节段首端端钢壳获取标定参数,参数应包括端钢壳倾角、预制尺寸偏差等,并建立顶进节段坐标系。

5.8.3.3 外部套筒标定应重点标定外部套筒内墙位置,并建立外部套筒坐标系,采用顶进节段与外部套筒坐标系相对位置偏差获取最终接头实时位置与姿态。

5.8.3.4 最终接头在安装前应标定出最终接头贯通控制点。

5.8.3.5 最终接头安装前应标定出最终接头贯通控制点，并在顶部布设拉线仪拉点与摄像机光源点。

5.8.4 最终接头顶推测控设备应根据设计对接精度和测控要求选用。

5.8.5 最终接头安装完成，结合腔排水结束后，应打开贯通面端封门，利用全站仪进行最终接头安装初始姿态平面贯通测量；利用电子水准仪闭合水准进行最终接头安装初始姿态高程贯通测量。

5.9 质量要求及检验标准

5.9.1 顶进节段和外部套筒制作精度应符合表 5.9.1 的规定。

表 5.9.1 顶进节段和外部套筒制作精度要求

序号	主控项目	规定值或允许偏差	检测方法及检测频率
1	内孔净宽 (mm)	-10, +10	尺量或激光测距仪：每节段 2 断面，每断面 3 处
2	内孔净高 (mm)	-5, +10	尺量或激光测距仪：每节段 2 断面，每断面 3 处
3	壁厚 (mm)	-10, +10	尺量或激光测距仪：每节段 2 断面，每断面顶、底板各 4 个点，每个竖墙 2 个点
4	宽度 (mm)	+10, -10	尺量或激光测距仪：每节段 2 处
5	高度 (mm)	+5, -10	尺量或激光测距仪：每节段 4 处
6	长度 (mm)	-10, +10	尺量或激光测距仪：每节段 2 处

5.9.2 横向支撑梁预制精度应符合表 5.9.2 的规定。

表 5.9.2 横向支撑梁制作精度要求

序号	主控项目	规定值或允许偏差	检测方法及检测频率
1	宽度 (mm)	+10, -10	尺量或激光测距仪
2	高度 (mm)	+10, -10	尺量或激光测距仪
3	长度 (mm)	-20, +20	尺量或激光测距仪

5.9.3 M 型止水带的性能指标应符合表 5.9.3 的规定。

表 5.9.3 M 型止水带性能指标

项目	硬度 (邵尔 A)	拉伸强度 (MPa)	扯断伸长率 (%)	撕裂强度 (kN/m)	压缩永久变形 (%) (70°C, 24hr)	抗水性 (体积 %) (23°C, 28d)	耐老化性 (70°C, 168hr) ISO 188		
指标	60±5	≥16	≥425	≥8	≤30	≤5	拉伸强度变化率 (%)	扯断伸长率变化率 (%)	硬度变化值(邵尔 A)
							≤-20	≤30	-6~+10
检测方法	ISO 7619	ISO 37 (type 2)	ISO 37 (type 2)	ISO 34-2 (Deift)	ISO 815	ISO 1817	ISO 37 (type 2)	ISO 37 (type 2)	ISO7619

5.9.4 注浆止水带的性能指标应符合表 5.9.4 的规定。

表 5.9.4 注浆特殊止水带物理性能指标

项目		指标	单位	方法标准
材料种类		丁苯橡胶		NEN-ISO 1629
密度		1.16±0.03	t/m³	ISO 2781
硬度		63±5	邵尔 A	ISO 7619
拉伸强度		≥16	MPa	ISO 37 (type 2)
断裂伸长率		≥400	%	ISO 37 (type 2)
撕裂强度		≥45	N	ISO 34-2
压缩永久变形	72h,23°C	≤20	%	ISO 815B
	24h,70°C	≤20	%	ISO 815B
热空气老化 (168h、70°C) 下变化	硬度	≤±6	邵尔 A	ISO 7619
	拉伸强度变化率	≤15	%	ISO 37 (type 2)
	断裂伸长率变化率	≤25	%	ISO 37 (type 2)
25%压缩下应力松弛		-6~+6	%/dec.	ISO 3384A
吸水性	(6h, 100°C)	≤20	g/m²	NEN 5609
抗水性	(168h, 23°C)	≤5	体积%	ISO 1817

5.9.5 现场制作模板的允许偏差应符合表 5.9.5 的规定。

表 5.9.5 模板制作允许偏差

序号	项 目		允许偏差(mm)
1	木模板	长度与宽度	+5 -2
		表面平整度	3
		表面错台	1
2	钢模板	长度与宽度	±2
		表面平整度	2
		连接孔眼位置	1
		表面错台	2

5.9.6 现浇混凝土模板安装允许偏差、检验数量和方法应符合表 5.9.6 规定。

表 5.9.6 现浇混凝土模板安装允许偏差、检验数量和方法

序号	项 目		允许偏差 (mm)	检验数量	单元 测点	检 验 方 法
1	轴线	柱、梁	5	、梁、板、 柱类，抽查 30% 且不少于 3 件； 大型构件逐件 检 查	2	用经纬仪和钢尺测量纵 横两 个方向
		桩帽、独立基础	10		2	
2	前沿线	码头胸墙、闸墙、坞 墙、坞门槛等	10		3	用经纬仪或拉线测量两 端和 中部
3	标高	非安装支承面	± 10		3	用水准仪测量两端及中 部
		安装支承面	0 -10		3	
4	内截面尺 寸	柱、梁	±5		6	用钢尺测量两端及中部
		桩帽、墩台	± 10		4	用钢尺测量四边
		墙、廊道、管沟等	+10 -5		3	用钢尺测量端部上、中、 下口
		其他厚大构件	± 10		6	
5	顶面 对角线差	短边长度≤3m	15		1	用钢尺测量
		短边长度>3m	25		1	
6	长度	梁	+5 -10		2	用钢尺测量顶部和底部
		墙、廊道、管沟等	± 10		2	
7	全高竖向倾斜		3H/1000		1	用经纬仪或吊线测量
8	侧向弯曲矢高		L/1000 且不大于 25		1	拉线测量，取大值
9	相邻模板错台		2		1	用钢直尺和塞尺测量

5.9.7 钢筋加工的允许偏差应符合表 5.9.7 的规定。

表 5.9.7 钢筋加工允许偏差

序号	项 目	允许偏差(mm)
1	长度	+5 -15
2	弯起钢筋弯折点位置	±20
3	箍筋内尺寸	±5

5.9.8 防水卷材搭接宽度等其他验收指标应按《建筑与市政工程防水通用规范》(GB 55030) 执行。

5.9.9 现浇混凝土主要性能指标应和相邻隧道结构一致。

5.9.10 后浇段采用自密实补偿收缩混凝土, 其性能指标应符合表 5.9.10 规定。

表 5.9.10 后浇段混凝土性能指标表

项目			指标要求
原材料	胶凝材料	水泥	1、 强度等级不低于 42.5; 2、 比表面积 300~380 m ² /kg; 3、 碱含量不高于 0.60%; 4、 C ₃ A 含量不高于 8%。
		粉煤灰	采用 F 类 II 级或 I 级
		矿粉	采用 S95 级或以上级别
	细骨料		符合标准 GB/T 14684、规范 JGJ/T 283 要求
	组骨料		符合标准 GB/T 14685、规范 JGJ/T 283 要求
	拌合用水		符合标准 JGJ 63 要求
	外加剂	减水剂	聚羧酸类高性能减水剂
		膨胀剂	符合规范 GB 50119 要求
配合比	水胶比		≤0.40
	胶凝材料用量 (kg/m ³)		400~550
	含碱量 (kg/m ³)		≤3.0
	水溶氯离子总量 (%)		≤0.06
后浇段自密实混凝土其他要求	拌合物自密实性能		符合规范 JGJ/T 283 要求
	强度等级		不低于两侧混凝土

5.9.11 基础底部水下注浆应符合下列规定。

5.9.11.1 水泥、河沙进场应检查产品出厂合格证及出厂检测报告, 经检测合格并经监理工程师审批后方可使用。

5.9.11.2 施工时应检测水泥浆液的浓度, 在水泥浆液搅拌配置过程中严格抽样

监测水泥浆液的质量及浓度。

5.9.11.3 注浆过程中应通过检测水体重度、浆液密实度、浆液性能指标、注浆管压力、结构高程及两侧锁定碎石部位漏浆情况等判断停泵时间。

5.9.11.4 注浆的充盈系数宜为 1.15。

5.9.12 临时构件预拼装允许偏差应符合表 5.9.12 的规定。

表 5.9.12 临时构件预拼装精度允许偏差

预埋件类型	平面位置偏差(mm)	高程偏差(mm)	相邻间距偏差(mm)	垂直/水平度
端钢壳/千斤顶	≤ 2	≤ 2	≤ 2	倾角误差 $\leq 0.6\%$
管节接头螺栓	≤ 2	≤ 2	≤ 1.5	水平度 $\leq 1/1000$
通用预埋钢板	≤ 3	≤ 3	≤ 3	—
预留孔洞	≤ 5	≤ 5	—	—
导向装置（鼻托）	± 5	0~-5	—	轴线偏差 $\pm 5\text{mm}$

5.9.13 最终接头预埋件安装允许偏差应符合表 5.9.13 的规定。

表 5.9.13 预埋件安装精度要求

预埋件类型	平面位置偏差(mm)	高程偏差(mm)	相邻间距偏差(mm)	备注
端封门锚固螺栓	≤ 3	≤ 2	垂直度 $\leq 1/1000$	影响管节水密性
GINA 止水带压板螺栓	≤ 2	≤ 2	水平度 $\leq 1/1000$	关键防水结构
管节吊装点预埋件	≤ 5	≤ 3	垂直度 $\leq 2/1000$	承受动态荷载
测量塔/导向架基座	≤ 3	≤ 2	水平度 $\leq 0.5/1000$	对接精度控制核心
压载水箱连接件	≤ 5	≤ 3	水平度 $\leq 1/1000$	需防海水腐蚀
管节临时支撑垫块	≤ 5	≤ 4	水平度 $\leq 2/1000$	荷载分布均匀性要求
电缆/管道穿舱件	≤ 8	≤ 5	垂直度 $\leq 3/1000$	需预留热位移空间
舾装件基座	≤ 10	≤ 4	水平度 $\leq 1.5/1000$	考虑波浪荷载反复作用

5.9.14 最终接头临时预埋件安装允许偏差应符合表 5.9.14 的规定。

表 5.9.14 临时预埋件制作及安装允许偏差

项目	允许偏差（mm）
各舾装设备预埋板螺栓孔与设备连接板螺栓孔间相对位置	± 1
拉合台座水平位置	± 10

导向架	横向: ± 10 纵向: ± 20
导向杆	横向: ± 10 纵向: ± 20

5.9.15 端钢壳的安装精度应符合表 5.9.15 规定。

表 5.9.15 端钢壳安装精度要求

序号	主控项目		规定值或允许偏差 (mm)	检测方法 & 检测频率
1	面板	平整度	≤ 5	0.5m 直尺
2	GINA 止水带接触面	不平整度	< 1	1m 直尺
3	OMEGA 止水带接触面	不平整度	< 1	0.5m 直尺
4	横向	垂直度	< 3	尺量或激光测距仪
5	竖向	倾斜度	< 3	尺量或激光测距仪
6	外包宽度		$0 \sim \pm 10$	尺量或激光测距仪
7	外包高度		$0 \sim \pm 10$	尺量或激光测距仪

5.9.16 钢筋绑扎和安装的允许偏差、检验数量与方法应符合表 5.9.16 的规定。

表 5.9.16 钢筋绑扎和安装位置的允许偏差、检验数量与方法

序号	项 目		允许偏差 (mm)	检验数量	单元测点	检 验 方 法
1	钢筋骨架 外 轮廓尺寸	长度	+5 -10	梁、板、桩等小 型 构件抽查 10%且 不少于 3 件；沉 箱、扶壁等大型 构件逐 件检查	3	用钢尺测量两端和中部
		宽度、高度	+5 -10		3	
2	受力钢筋	间距	± 15		3	
		层距或排距	± 10		3	
3	弯起钢筋弯起点位置		± 20		2	用钢尺测量
4	箍筋、分布筋间距		± 20		3	用钢尺测量两端和中部 连续 3 档, 取大值

6 施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 开工前，应根据设计要求、施工环境、工期安排、结构形式、施工方法等，编制专项监测方案。

6.1.2 监测点和观测方式应科学布置，监测数据应及时处理分析，及时向相关单位进行信息反馈，实施动态设计和信息化施工。

6.1.3 采集数据宜采用仪器监测与人工巡检相结合的方法进行。

6.2 监测项目及布设

6.2.1 最终接头监测应覆盖施工全过程，应包括预制期监测、存放期监测、安装期监测、稳定荷载施工期监测等，各工序监测内容应符合下列规定。

6.2.1.1 预制期间监测应包括混凝土浇筑时机、入仓温度、结构裂缝、原位试验摩擦力等。

6.2.1.2 存放期监测应包括最终接头端封门变形及内力、系泊缆力、气象水文、回淤范围与厚度分布、回淤物重度等。

6.2.1.3 安装期监测应包括安装过程中端封门变形及内力、对接部位相对位置、钢支撑变形及应力监测、底部注浆压力、止水带渗漏等。

6.2.1.4 稳定期监测应包括 GINA 止水变形、相对差异位移、绝对沉降及位移、渗漏水、钢剪力键、结构裂缝等。

6.2.2 结构受力和位移监测点应布置在受力和位移关键特征断面的特征点上，应能反映监测对象的实际状态、内力或位移等变化规律，以及安全控制关键位置。宜根据结构分析计算结果确定，应重点考虑下列位置。

6.2.2.1 混凝土应力、钢壳应力监测点宜选择结构顶板、底板、侧墙中部等受力较大的部位，在结构表面布置。

6.2.2.2 钢筋应力监测点宜选择结构顶板、底板、侧墙中部等受力较大的部位，在结构内侧和外侧主筋上成对布置。

6.2.2.3 竖向位移和水平位移监测点宜选择最终接头四角侧墙、中墙底部，不

宜少于 4 个监测点。

6.2.2.4 最终接头差异变形（张开量、竖向错位量和横向错位量）监测点应布设在接头两侧的侧墙底部及顶板上，每个监测断面不宜少于 3 个监测点。

6.2.2.5 端封门变形及应力监测应布置在端封门理论最大变形、最大应变部位，以及支座部位。

6.2.2.6 钢支撑变形及内力监测应布置在跨中部位，距法兰等连接部位不小于 2 倍直径，以消除不均匀应力。

6.2.2.7 监测点应布设在结构初始缺陷或病害部位。

6.3 监测方法

6.3.1 监测项目控制值应根据沉管隧道最终接头所处地质条件、受力条件、设计结果及工程经验等因素确定，满足隧道最终接头设计及周边环境中被保护对象的控制要求。

6.3.2 最终接头施工监测的主要项目监测方法可根据表 6.3.2 选取。

表 6.3.2 最终接头施工监测项目一览表

序号	施工阶段	监测对象	检测项目	监测方法或仪器	监测频率
1	预制期	结构	几何尺寸	全站仪	浇筑前后
2			混凝土浇筑温度	埋入式温度计	浇筑时 1 次/10min
3			裂缝	塞尺/测缝计	1 次/1d
4		环境	气温	温度计	浇筑时 1 次/10min
5	存放期	结构	端封门变形	位移计	1 次/1d
6			端封门内力	应变计	1 次/1d
7			渗漏水	人工巡视	1 次/7d
8		附属结构	系泊缆力	锚索拉力计	台风时连续观测； 平时 1 次/1d
9		基础	回淤范围与厚度分布	多波束声呐或回淤盒	1 次/7d
10			回淤物重度	密度计	1 次/7d
11		环境	风速风向	风速风向仪	连续
12			潮位	验潮站/水尺	1 次/30min
13			波浪	浪高仪	连续
14	浮运安装期	结构	端封门变形	位移计	1 次/15min
15			端封门内力	应变计	1 次/15min

16			渗漏水	摄像头	连续
17			姿态	姿态传感器/潜水探摸	连续
18			对接部位相对位置	GNSS/位移计等	连续
19		附属结构	拖带缆力	拉力计	连续
20			压载水箱水位	水位计	1 次/1min
21			结合腔压力监测	压力计	1 次/1min
22		基础	回淤范围与厚度分布	多波束声呐或回淤盒	沉放前二次
23			基槽边坡形态	多波束声呐	沉放前二次
24		环境	风速风向	风速风向仪	连续
25			潮位	验潮站/水尺	连续
26			波浪	浪高仪	连续
27			洋流	流速仪	连续
28			水体重度	密度计	浮运前及沉放前
29			含沙量	筛分法等	沉放前二次
30	顶推施工期	结构	端封门变形	位移计	1 次/15min
31			端封门内力	应变计	1 次/15min
32			渗漏水	人工巡视	1 次/1h
33			姿态	姿态传感器/潜水探摸	连续
34			对接部位相对位置	GNSS/位移计等	连续
35		附属结构	千斤顶压力	压力计	连续
36			钢支撑变形	位移计	连续
37			钢支撑内力	应变计	连续
38			结合腔压力监测	压力计	连续
39		环境	潮位	验潮站/水尺	连续
40			波浪	浪高仪	连续
41			洋流	流速仪	连续
42	结构受力体系转换期	结构	端封门变形	位移计	1 次/15min
43			端封门内力	应变计	1 次/15min
44			渗漏水	人工巡视	1 次/1h
45			GINA 止水变形	位移计	1 次/15min
46			最终接头张合量	位移计	1 次/15min
47			最终接头相对竖向及水平位移	位移计	1 次/15min
48			最终接头整体沉降	电子水准仪	1 次/12h

49			最终接头整体位移	全站仪	1 次/12h
50		附属结构	千斤顶压力	压力计	连续
51			钢支撑变形	位移计	连续
52			钢支撑内力	应变计	连续
53			底部注浆压力	压力计	连续
54			结合腔压力监测	压力计	连续
55		环境	潮位	验潮站/水尺	1 次/30min
56	后施工期	结构	顶部回填高度	单/多波束声呐	每次回填后
57			裂缝	测缝计	1 次/d
58			渗漏水	人工巡视	1 次/d
59			欧米伽止水带内压力	压力计	1 次/d
60			最终接头张合量	位移计	1 次/4h
61			最终接头相对竖向及水平位移	位移计	1 次/4h
62			最终接头整体沉降	电子水准仪	1 次/1~7d
63			最终接头整体位移	全站仪	1 次/1~7d
64			剪力键锈蚀	腐蚀计/人工巡视	1 次/7d
65			剪力键受力	应变计	1 次/1~7d
66		环境	温度	温度计	1 次/12h

6.3.3 人工巡检宜以目测为主，应重点关注最终接头结构开裂、渗漏水、剪力键变形、路面、附属构造等病害或异常情况。

6.3.4 监测设备和元器件选择及其参数应根据监测内容确定，并符合下列规定。

6.3.4.1 监测设备和元器件应稳定、可靠。

6.3.4.2 监测元器件应满足监测精度和使用环境的要求，最大量程不宜大于设计值的 2 倍，精度不宜低于 0.5% F.S，分辨率不宜低于 0.2% F.S。

6.3.4.3 监测元器件应具有良好的密封效果，自动化监测设备防尘防水等级不小于 IP67，对于水下监测设备，综合防尘防水等级应为 IP68。

6.3.4.4 监测元器件失效后应及时更换或采取其他有效措施，保障监测数据的连续性。

6.3.5 监测频率应根据沉管隧道最终接头所处地质条件、受力条件、设计结果及工程经验等因素确定，并符合下列规定。

6.3.5.1 监测频率应能监测相关项目的重要变化过程。

6.3.5.2 监测频率应根据荷载工况和环境变化动态调整。

6.3.5.3 当出现异常情况或临近预警状态时，应提高监测频率。

6.3.5.4 对于高风险瞬时风险监测，应采用动态监测。

6.4 成果整理

6.4.1 工程监测成果资料应完整、清晰、签字齐全，监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、图表、曲线、文字报告等。

6.4.2 现场监测资料宜包括外业观测记录、现场巡查记录、记事项目以及仪器、视频等电子数据资料。外业观测记录、现场巡查记录和记事项目应在现场直接记录在正式的监测记录表格中，监测记录表格中应有相应的工况描述。

6.4.3 取得现场监测资料后，应及时对监测资料进行整理、分析和校对，监测数据出现异常时，应分析原因，必要时应进行现场核对或复测。

6.4.4 对监测数据应及时计算累计变化值、变化速率值，并绘制时程曲线，必要时绘制断面曲线图、等值线图，并应根据施工工况、地质条件和环境条件分析监测数据的变化原因和变化规律，预测其发展趋势。

6.4.5 监测报告可分为日报、警情快报、阶段性报告和总结报告。监测报告应采用文字、表格、图形、照片等形式，表达直观、明确。

6.4.6 监测数据的处理与信息反馈宜利用专门的工程监测数据处理与信息管理系统软件，实现数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化以及监测成果的可视化。

附录 A 接岸接头顶推、回拉、纠偏计算

A.0.1 接岸接头顶推、回拉、纠偏计算宜满足下列要求：

1 接岸接头施工应根据工艺设计计算顶推油缸的顶推力、回拉力、纠偏力是否满足设计要求。

2 顶进节段顶推时需要克服的外力包括顶进节段与滑轨系统之间摩擦力、顶进节段与侧墙限位结构之间的摩擦力、临时钢支撑与封门穿墙孔之间的摩擦力以及 GINA 止水带的初步压缩力。

3 顶进节段与滑轨系统之间摩擦系数按工艺试验测得选取，临时钢支撑带动力按钢支撑重量考虑，GINA 止水带初步压缩力由设计文件根据设计 GINA 初步压缩量查得，如图 A.0.1-1 所示。

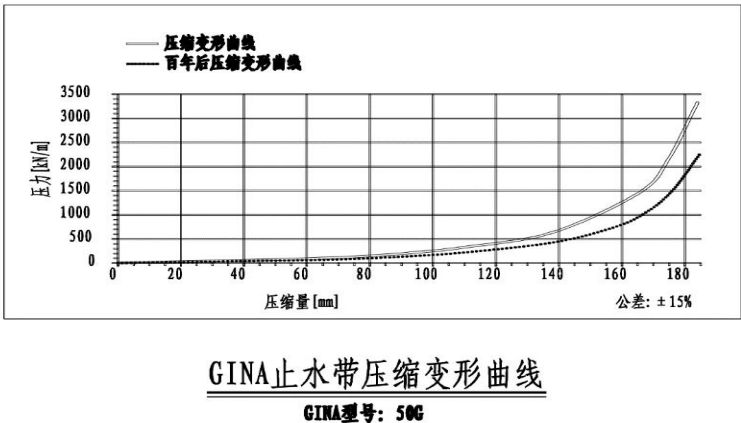


图 A.0.1-1 GINA 止水带压缩变形与压力曲线图

4 接岸接头顶推回拉系统回拉性能验证可按下列步骤进行：

- 1) 预制完成后推入外部套筒时，记录最大顶推力；
- 2) 根据顶进节段水上重量及最大顶推力推算出顶进节段与滑轨之间的最大静摩擦系数；
- 3) 根据顶进节段水下重量及推算的最大静摩擦系数，计算出顶进节段水下推出及回拉所需的顶推力和回拉力；
- 4) 校核顶推回拉系统是否满足顶推、回拉施工要求。

5 接岸接头纠偏系统纠偏性能验证宜按下列条件计算：

- 1) 纠偏力臂按纠偏千斤顶最远距离选取；
- 2) 顶进节段所受摩擦力作用点选在顶进节段重心处，摩擦力力臂和纠偏力臂选取见图 A.0.1-2 所示；

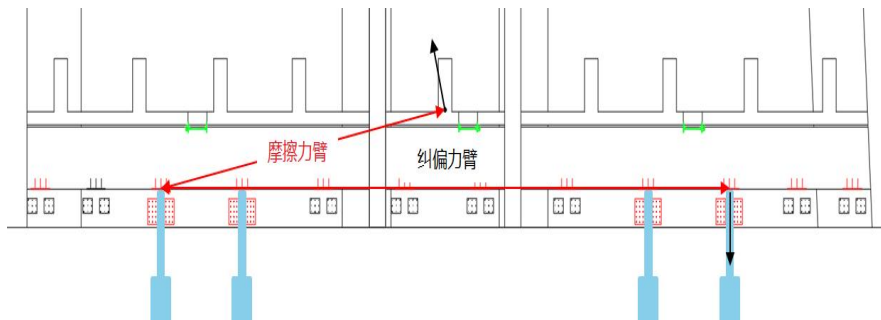


图 A.0.1-2 顶进节段摩擦力臂及纠偏力臂示意图

- 3) 根据纠偏千斤顶可提供的纠偏力矩及摩擦力矩校核纠偏系统纠偏性能。

A.0.2 接岸接头顶进节段的抗浮计算宜符合下列规定：

- 1 顶进节段的抗浮计算应验算结合腔排水状况下，顶进节段抗浮稳定性。
- 2 旋转中心宜选在顶进节段尾端中心处，抗浮计算受力示意如图 A.0.2 所示。

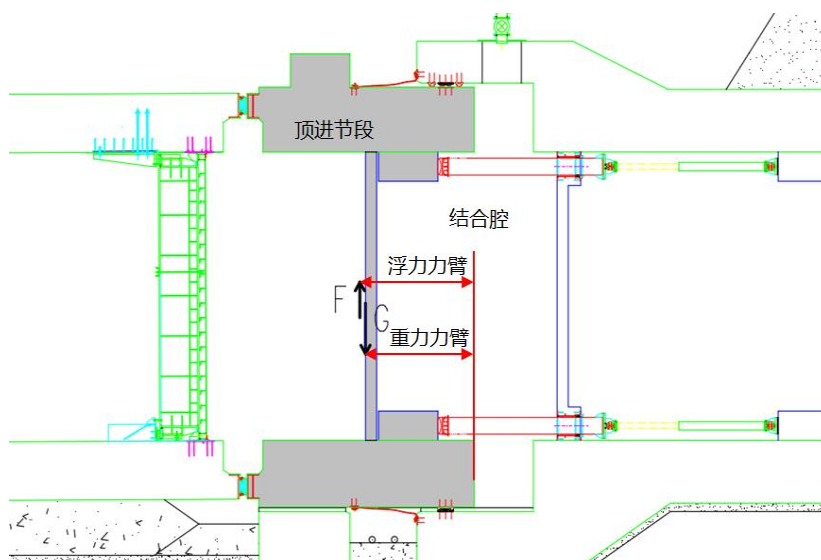


图 A.0.2 顶进节段抗浮计算受力示意图

A.0.3 锁定状态下止退结构受 GINA 止水带回弹力。GINA 止水带回弹力应根据结合腔的最大水压力计算。

附录 B 水中接头顶推、回拉、纠偏计算

B.0.1 水中接头顶推、回拉、纠偏计算应符合下列规定：

1 顶进节段顶推时需要克服的外力包括顶进节段与滑轨系统之间摩擦力止水带的初步压缩力。

2 水中接头顶推、回拉、纠偏计算其他规定按 A.0.1 执行。

B.0.2 水中接头顶进节段的抗浮计算按 A.0.2 条执行。

B.0.3 锁定状态下止退结构受力计算按 A.0.3 条执行。

附录 C 本指南用词说明

本办法执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1 表示很严格，非这样做不可的用词，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用词，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用词，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用词采用“可”。

引用标准名录

1. 《沉管法隧道设计标准》 GB/T 51318
2. 《建筑与市政工程防水通用规范》 GB 55030
3. 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
4. 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
5. 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
6. 《建筑与市政工程防水通用规范》 GB 55030
7. 《公路沉管隧道设计规范》 JTG/T 3371-01
8. 《水运工程结构耐久性设计标准》 JTS 153

附加说明

本规程主编单位、参编单位、主要起草人、 主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主编单位：中交第一航务工程局有限公司

中交天津港湾工程研究院有限公司

参编单位：中交公路规划设计院有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

中交一航局第二工程有限公司

中交一航局第三工程有限公司

天津港湾工程质量检测中心有限公司

编写组成员：

潘 伟（中交第一航务工程局有限公司）

潘立文（中交第一航务工程局有限公司）

孟凡利（中交第一航务工程局有限公司）

李 斌（中交第一航务工程局有限公司）

宁进进（中交第一航务工程局有限公司）

锁旭宏（中交第一航务工程局有限公司）

徐宾宾（中交天津港湾工程研究院有限公司）

刘爱民（中交天津港湾工程研究院有限公司）

于 健（中交天津港湾工程研究院有限公司）

寇晓强（中交天津港湾工程研究院有限公司）

喻志发（中交天津港湾工程研究院有限公司）

刘思国（中交天津港湾工程研究院有限公司）

诸葛爱军（中交天津港湾工程研究院有限公司）

吕勇刚（中交公路规划设计院有限公司）

黄清飞（中交公路规划设计院有限公司）

邓 斌（中交公路规划设计院有限公司）

张志刚 (中交公路规划设计院有限公司)

陈 鸿 (上海市隧道工程轨道交通设计研究院)

贺春宁 (上海市隧道工程轨道交通设计研究院)

陈正杰 (上海市隧道工程轨道交通设计研究院)

李 进 (中交一航局第二工程有限公司)

王殿文 (中交一航局第二工程有限公司)

鞠 鹏 (中交一航局第二工程有限公司)

尚乾坤 (中交一航局第二工程有限公司)

张 超 (中交一航局第三工程有限公司)

安庆喆 (中交一航局第三工程有限公司)

刘 钊 (天津港湾工程质量检测中心有限公司)

陈智军 (天津港湾工程质量检测中心有限公司)

刘 馨 (天津港湾工程质量检测中心有限公司)

主要审查人:

总校人员:

管理组人员: