

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51201 – 2016

沉管法隧道施工与质量验收规范

Code for construction and quality acceptance
of immersed tunnel

2016 – 10 – 25 发布

2017 – 07 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1334 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《沉管法隧道施工与质量 验收规范》的公告

现批准《沉管法隧道施工与质量验收规范》为国家标准，编号为 GB 51201—2016，自 2017 年 7 月 1 日起实施。其中，第 8.1.7、10.1.4、14.1.4、14.2.3 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 10 月 25 日

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2012年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2012〕5号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规范。

本规范共分15章,主要内容包括:总则、术语、基本规定、施工准备、施工测量、干坞、管节制作、基槽开挖与回填覆盖、管节地基与基础垫层施工、管节安装、接头处理、衔接段、监测、安全与环境保护和验收。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由广州市市政集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送广州市市政集团有限公司(地址:广州市环市东路338号银政大厦,邮政编码:510060),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:广州市市政集团有限公司

交通运输部广州打捞局

参 编 单 位:上海隧道工程股份有限公司

同济大学

中交公路规划设计院有限公司

中国铁建港航局集团有限公司

广州市中心区交通项目领导小组办公室

广州市市政工程监理有限公司

广州市市政工程设计研究院

中铁隧道勘测设计院有限公司

广州地铁设计研究院有限公司

中南大学

主要起草人:安关峰 林金雄 王吉云 丁文其 刘洪洲
刘吉福 柳 猷 杨 斌 宋志国 陈 胜
单永如 刘添俊 张洪彬 魏立新 贺维国
梁 豪 史海鸥 张国祥
主要审查人:李永盛 陈韶章 白 云 陈 越 侯晓明
贺春宁 洪开荣 任孝思 刘慈军 王鹤鸣
王明宜

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(5)
4	施工准备	(6)
4.1	一般规定	(6)
4.2	前期调查	(7)
4.3	技术准备	(8)
4.4	设备、设施准备	(8)
4.5	施工场地与临时工程	(9)
5	施工测量	(11)
5.1	一般规定	(11)
5.2	控制测量	(11)
5.3	对接测量	(14)
5.4	竣工测量	(15)
6	干 坞	(16)
6.1	一般规定	(16)
6.2	固定干坞	(17)
6.3	移动干坞	(18)
6.4	检验标准	(19)
7	管节制作	(20)
7.1	一般规定	(20)
7.2	混凝土性能	(20)
7.3	管节预制	(21)
7.4	金属构件及预埋件安装	(23)

7.5	检验标准	(24)
8	基槽开挖与回填覆盖	(29)
8.1	一般规定	(29)
8.2	船机选择	(30)
8.3	水下开挖	(30)
8.4	基槽清淤	(33)
8.5	回填覆盖	(33)
8.6	检验标准	(34)
9	管节地基与基础垫层施工	(37)
9.1	一般规定	(37)
9.2	天然地基	(37)
9.3	人工地基与桩基础	(37)
9.4	基础垫层	(39)
9.5	检验标准	(41)
10	管节安装	(43)
10.1	一般规定	(43)
10.2	舾装	(45)
10.3	浮运前准备工作	(46)
10.4	浮运	(47)
10.5	寄放	(48)
10.6	沉放	(48)
10.7	对接	(50)
10.8	检验标准	(52)
11	接头处理	(53)
11.1	一般规定	(53)
11.2	管节接头	(53)
11.3	最终接头	(55)
11.4	检验标准	(56)
12	衔接段	(58)

12.1	一般规定	(58)
12.2	护岸工程	(58)
12.3	围堰工程	(58)
12.4	衔接段隧道结构	(60)
12.5	检验标准	(62)
13	监 测	(63)
14	安全与环境保护	(66)
14.1	一般规定	(66)
14.2	安全技术措施	(67)
14.3	环境保护	(70)
15	验 收	(72)
	本规范用词说明	(78)
	引用标准名录	(79)
	附:条文说明	(81)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(5)
4	Construction preparation	(6)
4.1	General requirements	(6)
4.2	Preliminary investigation	(7)
4.3	Technical preparations	(8)
4.4	Equipment and facilities preparation	(8)
4.5	Construction plant and temporary project	(9)
5	Construction survey	(11)
5.1	General requirements	(11)
5.2	Control survey	(11)
5.3	Docking survey	(14)
5.4	Final survey	(15)
6	Dry dock	(16)
6.1	General requirements	(16)
6.2	Fixed dry dock	(17)
6.3	Mobile dock	(18)
6.4	Acceptance criteria	(19)
7	Tunnel element production	(20)
7.1	General requirements	(20)
7.2	Concrete properties	(20)
7.3	Tunnel element production	(21)
7.4	Installation of hardware embedded parts	(23)

7.5	Acceptance criteria	(24)
8	Trench excavation and backfill	(29)
8.1	General requirements	(29)
8.2	Ship machine selection	(30)
8.3	Underwater excavation	(30)
8.4	Foundation trench dredging	(33)
8.5	Backfill	(33)
8.6	Acceptance criteria	(34)
9	Foundation and cushion construction	(37)
9.1	General requirements	(37)
9.2	Natural foundation	(37)
9.3	Artificial foundation and pile foundation	(37)
9.4	Foundation cushion	(39)
9.5	Acceptance criteria	(41)
10	Assemblage of tunnel element	(43)
10.1	General requirements	(43)
10.2	Outfitting	(45)
10.3	Preparation work before tugging	(46)
10.4	Floating transportation	(47)
10.5	Temporary mooring	(48)
10.6	Sinking	(48)
10.7	Docking	(50)
10.8	Acceptance criteria	(52)
11	Joint construction	(53)
11.1	General requirements	(53)
11.2	Joint processing	(53)
11.3	Final joint construction	(55)
11.4	Acceptance criteria	(56)
12	Shore connection tunnel	(58)

12.1	General requirements	.....	( 58)
12.2	Bank-protection works	.....	( 58)
12.3	Temporary cofferdam	.....	( 58)
12.4	Shore tunnel structure	.....	( 60)
12.5	Acceptance criteria	.....	( 62)
13	Supervisory and measurement	.....	( 63)
14	Construction safety and environmental protection	.....	( 66)
14.1	General requirements	.....	( 66)
14.2	Technical safety measures	.....	( 67)
14.3	Environmental protection	.....	( 70)
15	Acceptance and check	.....	( 72)
	Explanation of wording in this code	.....	( 78)
	List of quoted standards	.....	( 79)
	Addition: Explanation of provisions	.....	( 81)

1 总 则

- 1.0.1 为加强沉管法隧道工程施工技术管理,规范技术标准,统一施工质量检验与验收标准,确保工程质量,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于沉管法施工的隧道工程的施工及质量验收。
- 1.0.3 沉管法隧道工程施工及质量验收除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 沉管法隧道 immersed tunnel

在水域中主要由若干预制完成的基本结构单元,将其通过浮运、沉放、水下对接形成的隧道,又称沉管隧道、沉埋管段法隧道。

2.0.2 管节 element

一次或分次预制完成,可实施浮运、沉放、水下对接组成沉管结构的基本单元。

2.0.3 衔接段 connection tunnel

与沉管隧道两端相连接的、一般采用明挖法施工的隧道或地下构筑物。

2.0.4 施工段 construction segment

组成管节的纵向施工分段。

2.0.5 施工缝 construction joint

因设计要求或施工需要分段浇筑而在先后浇筑混凝土之间形成的接缝。

2.0.6 管节接头 element joint

管节与管节、管节与衔接段之间的连接结构。

2.0.7 最终接头 final joint, closure joint

实现沉管隧道贯通的连接结构,又称合拢接头。

2.0.8 剪力键 shear key

设于管节接头,限制管节或管节与衔接段间水平、竖向位移的抗剪构件。

2.0.9 限位装置 displacement restrictor

设于管节接头,用于限制管节或管节与衔接段间纵向位移的构件。

2.0.10 干坞 dry dock

用于管节预制的场地,可兼用于舾装、起浮、系泊,通常为固定干坞,特殊情况下利用大型半潜驳船作为管节预制、舾装的场地则称为移动干坞。

2.0.11 基槽 trench

用于埋置隧道的条形水下基坑。

2.0.12 先铺法 pre-bedding method

管节沉放对接前先行完成的管节基础垫层施工方法。

2.0.13 后填法 post filling method

管节沉放对接后完成的管节基础垫层施工方法。通常包括砂流法、压浆法、喷砂法等,又称后铺法、充填法。

2.0.14 砂流法 sand flow method

通过管节侧墙、隔墙、底板预留孔压注砂(或砂与水泥熟料)充填管节底板与基槽底之间空隙形成基础垫层的方法,又称灌砂法、压砂法。

2.0.15 压浆法 grouting

通过管节底板预留孔灌注砂浆充填管节底板与基槽底之间空隙形成基础垫层的方法,又称灌浆法、注浆法。

2.0.16 喷砂法 sand jetting method

通过伸入管节底下的管道向管节底板与基槽底之间的空隙喷注砂、水混合料形成基础垫层的方法。

2.0.17 舾装 outfitting

管节浮运、沉放所需的临时设施及设备安装作业。一般分为一次舾装与二次舾装。

2.0.18 压载水箱 ballast tank

调整管节起浮、浮运、沉放过程中压载重量所采用的临时设施。

2.0.19 端封墙 bulkhead

为浮运、沉放和安装管节,实现管节及暗埋段临时封闭的墙体

结构。

2.0.20 干舷 freeboard

管节在寄放、系泊、浮运过程中,自水面线到管节顶部表面的垂直距离。

2.0.21 浮运 floating transportation

管节预制完成后,浮于水面,将其拖运到指定位置的过程。

2.0.22 沉放 immersion

管节下沉至指定位置的过程。

2.0.23 对接 connection

管节与管节或衔接段间进行拉合及水力压接的过程。

2.0.24 GINA 止水带 outer gasket

安装于管节接头处外贴压缩式防水专用橡胶制品。

2.0.25 OMEGA 止水带 inner gasket

安装于管节接头处内贴可卸式防水专用橡胶制品。

2.0.26 千斤顶拉合 connection by jacking system

利用已沉管节或衔接段与待沉管节之间的千斤顶拉合装置,使GINA止水带初始压缩,实现初步止水的过程。

2.0.27 水力压接 hydraulic connection

管节拉合后,将相邻端封墙之间的水排出,利用管节自由端端面水压力使GINA止水带进一步压缩的过程。

2.0.28 硬扫床 rigid sweep

在检测船上按照施工与设计要求的入水深度安设硬式扫具,在测区内巡测。

2.0.29 护岸 bank revetment

保护堤岸的构筑物。

2.0.30 端钢壳 steel shell of the terminal surface

用于管节或衔接段端头止水带安装的钢构件。

2.0.31 鼻托 bearer

用于管节沉放、对接具有临时承托、导向作用的装置。

3 基本规定

- 3.0.1 原材料、半成品或成品的质量应符合国家现行有关标准的规定。
- 3.0.2 管节预制时,宜建立专业混凝土搅拌站。
- 3.0.3 应建立健全施工技术、质量、安全生产、健康环境管理体系,制订各项施工管理制度,并贯彻执行。
- 3.0.4 应组织有关技术管理人员深入现场调查,掌握现场情况,核对设计文件,做好充分的施工准备工作。
- 3.0.5 施工前,应根据合同文件、设计文件、现场条件及沉管隧道工程重点、难点和工艺特点,选择合理可行的施工方法,应合理配备适用的船机、设备、机具和劳动力等资源,布置施工场地总平面并编制施工组织设计。
- 3.0.6 施工中应加强施工测量、监测工作,实施信息化施工,必要时开展试挖槽、垫层试验、管节大比尺或足尺模型试验等工艺性试验。
- 3.0.7 沉管隧道施工前,应进行安全与技术交底。
- 3.0.8 沉管隧道工程应划分为单位(子单位)工程、分部(子分部)工程、分项工程和检验批,作为工程施工质量检验和验收的基础。
- 3.0.9 沉管隧道工程施工应采取必要的环境保护措施。

4 施工准备

4.1 一般规定

- 4.1.1 工程开工前应收集下列基础资料,并应进行分析:
- 1 工程地质、水文地质详细勘察报告;
 - 2 江(河、海)床演变、水文测验、水文和分析报告;
 - 3 气象及水文窗口预测研究报告;
 - 4 工程水域江(河、海)扫床报告;
 - 5 水域通航环境与安全影响报告;
 - 6 工程场地地质灾害评价报告及地震安全性评价报告;
 - 7 工程坐标系联测与测量控制网布设报告;
 - 8 水域环境影响分析、环境影响报告书;
 - 9 工程区试挖槽边坡稳定性观测报告、基础垫层试验报告;
 - 10 经过审批的施工图设计文件和技术交底文件;
 - 11 工程两岸、干坞、临时航道、航标、抛泥区现状调查报告;
 - 12 场地周边管线、障碍物与建(构)筑物等调查报告;
 - 13 防洪评价报告。
- 4.1.2 沉管隧道施工应建立工程测量、工程信息监控控制系统,实施信息化施工。
- 4.1.3 应根据沉管隧道工程区的工程地质、水文、气象、航道、环境条件和工程规模、工期、环境保护等要求确定坞址、选择管节预制、舾装、基槽开挖、寄放区浚挖、浮运航道疏浚、浮运、沉放与对接、选择地基与基础处理施工方法、选择工艺技术与设备。
- 4.1.4 GINA、OMEGA 止水带应符合设计要求,其他各类橡胶

止水带应满足项目设计要求并符合国家现行相关标准规定。

4.1.5 沉管隧道施工应减少对水域各类通行船舶、港口码头的影响,确保施工和船舶通行安全。

4.1.6 隧道施工前应完成并复核下列内容:

- 1 起止里程与坐标、高程;
- 2 满足工程精度要求的测量控制系统;
- 3 两岸场地状况及准备工作;
- 4 沉管隧道设计几何尺寸(平、纵、横);
- 5 施工场地、寄放区、临时航道、出坞及浮运航道、抛泥区位置等的选取;
- 6 预制场地的准备和生产工艺的比选;
- 7 浮运、沉放、对接设备及配套船机的配置和选型;
- 8 管节端钢壳制作精度、管节轴线控制精度、管节导向装置安装精度、管节临时垫块安装精度、管节干舷高度、基槽开挖精度和基础垫层材料级配和配合比、平面精度及密实度要求;
- 9 沉管隧道施工管理系统与系列报表;
- 10 相应管节的混凝土配合比。

4.1.7 应根据地质、基础形式与埋深、环境保护、工期、施工设备与技术水平、场地条件等要求,选择安全、经济、对环境影响小的堤(护)岸施工方案。

4.2 前期调查

4.2.1 应对水域工程地质和水文、航道、气象条件等进行分析,必要时进行施工阶段的补充地质勘察。

4.2.2 应对工程附近道路、既有建(构)筑物、管线等进行勘查或探查。

4.2.3 应对堤(护)岸结构及其基础形式进行详细调查和记录。

4.2.4 应调查分析水域内航道、航运、锚地、防(避)台风区等状况。

4.2.5 应调查分析沉管隧道施工过程中可能引起的生态与环境保护问题。

4.3 技术准备

4.3.1 施工前应完成设计交底、设计交桩等工作。

4.3.2 应编制施工组织设计,对护岸拆除与恢复、基槽开挖、管节地基与垫层施工、寄放区浚挖、管节制作、浮运、沉放对接、接头处理等关键环节必须编制专项施工方案。

4.3.3 应对专用设备、特种设备进行专项设计、制造、技改、调试、验收及人员培训。

4.3.4 应根据工程特点和具体要求,建立满足工程精度要求的测量控制系统。

4.3.5 应建立沉管隧道的施工过程动态测量控制系统。

4.4 设备、设施准备

4.4.1 施工船舶及其配套设施应符合下列规定:

1 应与基槽开挖规模及管节几何尺寸、管节沉放负浮力相匹配,应能协调工作,并应满足管节浮运、沉放、对接的要求;

2 船机必须符合沉管隧道设计和施工要求,经总装技改调试的新船应提供船检部门的认证文件;

3 水上作业应满足水域施工的环境保护要求。

4.4.2 管节预制生产及其配套设备应符合下列规定:

1 应能满足全部管节预制的功能要求;

2 应能与舾装相匹配。

4.4.3 当采用固定干坞预制管节时,坞门、绞车等坞内设施的准备应符合下列规定:

1 坞门应布局合理,应与管节出坞工艺相适应,施工及验收应按相关规范执行;

2 绞车(缆桩)布局应与管节起浮、绞拖、系泊相适应。

4.5 施工场地与临时工程

4.5.1 开工前应结合工程规模、工期、用地情况、运输条件、管节预制方式、寄放区、水电保障等情况,绘制施工场地总布置图、布置施工场地及实施临时工程,并应满足因地制宜、合理布置、统筹安排的原则。

4.5.2 施工场地布置应符合下列规定:

1 应结合预制场地(固定干坞或移动干坞)、水陆运输条件、临时码头设置、土方弃运、吊装作业、现场搅拌站的设置、大宗材料、散体物料堆场等的需要,对场区进行功能分区,合理布局;

2 应以管节预制为重点;

3 应根据作业船舶靠泊、管节舾装,砂石等散体物料装卸的需要,设置或选择临时码头;

4 寄放区的设置和施工应根据沿线堤岸的安全、对邻近码头作业的影响等确定;

5 基槽开挖、管节安装等占用主航道施工应按要求开辟临时航道,并向主管部门申请;

6 机械设备、附属车间、加工场布置应相对集中;

7 场内施工便道与场外道路应按场区功能分区合理布置;

8 生产与生活设施应分区设置;

9 危险品库房设置与管理应按有关规定的要求。

4.5.3 临时工程应符合下列规定:

1 场区道路应满足施工期间行车安全和使用要求;

2 场区道路和临时给排水、用电、通信等配套设施应统一规划、提早实施、同步完成;

3 临时房屋的租用、设置应满足消防安全规定,临时房屋的周围应设有排水系统,并应避开高压电线,爆破器材库、油库的位置设置应符合相关规定;

- 4 严禁将住房等临时设施布置在受洪水、泥石流、落石、地陷、滑坡等自然灾害威胁的地点,并应制订相应应急预案;
- 5 临时航道及航标应满足过往船舶通航需求;
- 6 现场布置时应采取保护自然环境的措施。

5 施工测量

5.1 一般规定

5.1.1 沉管隧道施工前应根据其结构形式及精度要求等编制施工测量方案,选定测量控制等级,确定测量方法。

5.1.2 应进行现场交桩,在复测控制网的基础上,根据施工需要适当加密,建立施工测量控制网。

5.1.3 对测量控制点,应编号绘于施工总平面图上,并应采取有效措施妥善保护,定期进行复测。

5.1.4 沉管隧道工程的测量除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

5.2 控制测量

5.2.1 沉管隧道工程施工的平面控制测量应符合下列规定:

1 各等级平面控制测量,其最弱点点位中误差为 $\pm 50\text{mm}$,最弱相邻点间相对点位中误差为 $\pm 30\text{mm}$,最弱相邻点边长相对中误差不得大于表 5.2.1-1 的规定。

表 5.2.1-1 平面控制测量精度要求

测量等级	最弱相邻点边长 相对中误差	测量等级	最弱相邻点边长 相对中误差
二等	1/100000	四等	1/35000
三等	1/70000	一级	1/20000

2 沉管隧道工程平面控制测量的等级不得低于表 5.2.1-2 的规定,同时隧道轴线精度尚应符合表 5.2.1-3 的规定。对特殊结构隧道,应根据其施工允许误差确定测量的精度和等级。

表 5.2.1-2 平面控制测量等级

隧道总长 L (m)	跨越水域宽度 L_s (m)	测量等级
$L \geq 3000$	$L_s \geq 500$	二等
$2000 \leq L < 3000$	$300 \leq L_s < 500$	三等
$1000 \leq L < 2000$	$150 \leq L_s < 300$	四等
$L < 1000$	$L_s < 150$	一级

表 5.2.1-3 隧道轴线相对中误差

测量等级	隧道轴线相对中误差	测量等级	隧道轴线相对中误差
二等	$\leq 1/150000$	四等	1/60000
三等	$\leq 1/100000$	一级	1/40000

3 当采用独立坐标系、抵偿坐标系时,应确认与国家坐标系的转换关系。

4 在布设平面控制点时,四等及以上平面控制网中相邻点之间的距离不得小于 500m,一级平面控制网中相邻点之间的距离不得小于 200m,最大距离不应大于平均边长的 2 倍,隧道结构两端的每一端应至少埋设 3 个平面控制点。

5.2.2 沉管隧道工程施工的高程控制测量应符合下列规定:

1 同一工程项目应采用同一高程系统,并应与相邻工程项目的高程系统相衔接。隧址水准点的高程测量应与路线控制高程联合测量。

2 高程控制网中最弱点高程允许误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

3 高程控制网每千米观测高差中误差和附和水准路线长度不应小于表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.2-1 高程控制测量的技术要求

测量等级	每千米高差中数中误差(mm)		附和或环线水准路线长度(km)
	偶然中误差 M_{Δ}	全中误差 M_w	
二等	± 1	± 2	100
三等	± 3	± 6	10
四等	± 5	± 10	4

注:控制网节点间的长度不应大于表中长度的 70%。

4 隧道工程的高程控制测量等级不得低于表 5.2.2-2 的规定。

表 5.2.2-2 高程控制测量等级

隧道总长 L (m)	跨越水域宽度 L_s (m)	测量等级
$L \geq 3000$	$L_s \geq 500$	二等
$1000 \leq L < 3000$	$150 \leq L_s < 500$	三等
$L < 1000$	$L_s < 150$	四等

5 施工水准网中的各水准点应构成连续水准环。隧道结构的两端应至少各设置 3 个水准点,作为水准网的控制点。

5.2.3 宽阔水域隧道工程的 GPS 平面控制网宜分为首级网、首级加密网、一级加密网和二级加密网 4 个等级。一级加密网和二级加密网的布设和使用应符合下列规定:

1 加密网应采用与全隧道统一的坐标系统,且宜由三角形或大地四边形组成,并应一次完成网形设计、施测与平差。加密网应与最近的 2 个及以上高级网点为起算点进行联测,任一加密网点应至少与另外 2 个控制点通视。加密网应按一级 GPS 测量精度施测,且最弱相邻点点位中误差应为 $\pm 10\text{mm}$ 。

2 控制网点应安全稳定,在使用过程中应进行定期或不定期检查。当控制点不稳定时,应立即进行局部或全面复测。加密网两次复测的间隔时间不应超过 3 个月。

5.2.4 宽阔水域隧道工程的高程控制网应采用全隧道统一的高程基准。对首级网点、首级加密网点和全隧道贯通测量,应采用不低于国家二等水准测量的精度进行联测;对一级加密网点和二级加密网点,应采用不低于国家三等水准测量的精度进行联测。

5.2.5 隧道设置的三角网或导线网,应定期对其基准点和水准点进行校核。

5.2.6 岸上水准点、中线点应根据隧道平纵面、隧道长度等定期进行复核,隧道内控制点应根据施工进度设置在衔接段隧道,并应

定期对其进行校核。

5.2.7 测量桩点必须稳定可靠,且通视良好。水准点应设在不易损坏处,并应妥善保护。测量仪器、工具在使用前应做检校,仪器和工具的技术状态应符合使用要求。当使用光电测距仪时,应按其使用规定进行操作。

5.3 对接测量

5.3.1 近岸测量应通过 2 个及以上全站仪观测管节测量塔,确定管节轴线和标高。

5.3.2 在管节沉放、姿态调整过程中,应由 2 个及以上的测量站持续观测测量塔,应对相关数据进行分析,并应由潜水员配合进行探摸检查。

5.3.3 千斤顶拉合和水力压接前,应对管节姿态进行测量。

5.3.4 管节水力压接完成后,应对管节轴线、里程、横倾及管节标高等进行管内测量,应利用测量数据调整下一管节对接过程中的姿态,并应符合设计要求。

5.3.5 管节对接轴线和标高允许误差应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 管节对接轴线和标高允许误差

检查项目	轴线允许误差	高程允许误差	GINA 止水带检查
管节接头错位	±20mm	±20mm	水下录像检查压接情况
管节绝对误差	±50mm	±50mm	管内量测 GINA 止水带压缩量

5.3.6 宽阔水域沉管管节对接宜采用 GPS-RTK 测量系统,宜配合采用声呐探测装置。

5.3.7 对水深大、水流急的水域,管节端面之间的相互距离、水平和垂直偏移、管节倾斜等宜采用声呐探测装置进行自动测量。

5.3.8 管节对接控制测量应监控坞内管节几何测量、衔接段测量、对接测量和贯通测量等阶段,并应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的有关规定。

5.4 竣工测量

5.4.1 隧道工程完工后,应进行隧道轴线、里程、路面标高和覆盖层顶标高等竣工测量。

5.4.2 隧道竣工后应提交贯通测量技术成果书,贯通误差的实测成果和说明,净空断面测量和永久轴线点、水准点的实测成果及示意图。

6 干 坞

6.1 一 般 规 定

6.1.1 干坞可采用固定干坞或移动干坞两种形式,固定干坞可分为独立干坞和轴线干坞。施工质量应满足设计及国家现行有关标准的要求。

6.1.2 固定干坞选址应符合下列规定:

- 1 宜距隧道位置较近,且具备管节浮运至沉放位置的航道条件;
- 2 干坞附近宜具备寄放若干节预制好的管节的水域;
- 3 应具备适合建造干坞的工程、水文地质条件;
- 4 交通运输应方便,且应具有良好的外部施工条件;
- 5 干坞规模应满足隧道施工总体流程和总工期要求;
- 6 应具有可重复利用或再使用的价值。

6.1.3 应根据下列具体因素确定固定干坞规模:

- 1 管节长度、宽度、高度,预制管节数量;
- 2 管节端部间距、管节侧面间距、管节端部至干坞两端及两侧的净距;
- 3 坞内管节预制设备(包括吊装设备、模板、模板支撑系统等);
- 4 坞内外车辆运输路线;
- 5 管节出坞水位;
- 6 预制管节的附属设施。

6.1.4 除应根据本规范第 6.1.3 条的因素外,尚应根据下列具体因素确定移动干坞规模:

- 1 移动干坞吨位、结构刚度;

- 2 移动干坞靠泊码头；
- 3 航道水深条件；
- 4 隧址附近下潜港池。

6.2 固定干坞

6.2.1 固定干坞坞底高程应根据出坞水位、管节高度、管节浮起时的干舷高度、管节浮起时底部到坞底的最小安全距离、干坞底部基础厚度等因素综合确定。

6.2.2 固定干坞基坑开挖与支护应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 和《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311 的有关规定。

6.2.3 固定干坞坞底地基处理应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

6.2.4 固定干坞坞底应满足承载力、变形和管节起浮的要求。

6.2.5 固定干坞坞底施工应符合下列规定：

- 1 土质基底最后 300mm 厚土体应分区、分块人工修挖；
- 2 当坞底地基承载力、变形不满足要求时，应进行地基处理；
- 3 岩质基底应采用冲击破碎开挖法或静态破碎法；
- 4 当采用静态破碎法时，应按设计要求布孔、钻孔、装破碎药剂、破碎、装碴提升，钻孔与出土应平行作业；
- 5 倒滤层施工时，盲管沟应畅通，并应与基底排水明沟连通；
- 6 封闭层与起浮层应控制其平整度；
- 7 应疏干坞底土层中水分，再进行垫层施工；
- 8 坞底预制管节基底与道路基底的级配碎石层宜同时安排施工，级配碎石层密实度应满足设计要求；
- 9 干坞范围内道路施工应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定；
- 10 坞底管节预制区基底混凝土施工应在坞底道路完成后进

行,其配合比应满足设计要求,施工与验收应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.2.6 固定干坞坞底应设排水沟,并应满足设计要求。

6.2.7 固定干坞坞门可采用钢筋混凝土沉箱式坞门或钢结构坞门、钢板插拔坞门、钢管桩坞门、围堰等形式。

6.2.8 钢筋混凝土沉箱式坞门施工应符合现行行业标准《港口及航道护岸工程设计与施工规范》JTJ 300 的规定。

6.2.9 钢板插拔坞门施工应符合现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》JTS 167—3 中第 7.3 节、第 7.4 节的规定。

6.2.10 钢管桩坞门施工应符合本规范第 12.3.4 条的规定。

6.2.11 围堰工程施工应符合本规范第 12.3 节的规定。

6.2.12 堤岸恢复及护岸施工应符合本规范第 12.2 节的规定。

6.2.13 固定干坞内放(注)水速度、排水速度和水位差应按设计要求实施,注(排)水设施能力应满足施工要求。

6.2.14 在坞口封闭阶段,干坞防汛体系应独立;在坞口敞开阶段,与施工区域外的原河堤防汛墙应形成共同防汛体系;工程结束后,应恢复原防汛墙。

6.2.15 施工期间应对临近的堤岸、附属建(构)筑物和管线等进行监测。

6.3 移动干坞

6.3.1 移动干坞应具有下潜功能,下潜的深度应满足管节浮起要求。

6.3.2 移动干坞有效使用面积应满足管节预制对场地大小的要求。

6.3.3 移动干坞载重量应满足管节重量的要求。

6.3.4 移动干坞强度和刚度应满足管节制作精度的要求。

6.3.5 移动干坞在管节预制、浮运、下潜等全过程中,应满足稳定性要求。

6.3.6 移动干坞应配有可提供预制管节施工材料和设施的泊靠码头。

6.3.7 移动干坞上应建立独立的管节预制测量体系,每道工序完成后应对移动干坞上测量控制点进行校核。

6.3.8 管节制作精度措施应符合下列规定:

- 1 应建立移动干坞受力变形分析系统;
- 2 根据预制施工计划,应计算各阶段移动干坞的变形,并应根据计算结果编制荷载调配计划;
- 3 应经常检查、校正测量基准点的闭合性;
- 4 在端钢壳安装前,应全面校验测量基准点。

6.4 检验标准

6.4.1 固定干坞坞底预制区域检验指标应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 固定干坞坞底预制区域检验指标

项目	控制值	检测频率		检验方法
		范围	点数	
承载力	满足设计要求	每施工段	2	承载力试验
平整度	$\leq 3\text{mm}$	20m	3	3m 靠尺
标高	$\pm 10\text{mm}$	20m	2	水准仪
差异沉降	$\leq 1\%L$ 且 $\leq 20\text{mm}$	20m	2	水准仪

注:L 为施工段长度。

6.4.2 固定干坞监测应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的有关规定。

6.4.3 移动干坞监测应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的有关规定。

7 管节制作

7.1 一般规定

- 7.1.1 施工段长度应根据管节设计长度与现场条件进行选择。
- 7.1.2 管节制作前,必须针对工程具体特点进行相关工程试验。
- 7.1.3 管节制作所使用材料、制品等的品种、规格和材质应满足设计要求。
- 7.1.4 管节制作的钢筋、混凝土和模板除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 的有关规定外,尚应符合本规范第 7.3.1 条、第 7.3.2 条、第 7.3.3 条的规定。
- 7.1.5 管节防水施工除应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的有关规定外,尚应符合本规范第 7.3.4 条的规定。
- 7.1.6 管节制作时预留的金属构件及预埋件施工除应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定外,尚应符合本规范第 7.4 节的规定。
- 7.1.7 应结合实际工程条件编制管节制作专项施工方案。

7.2 混凝土性能

- 7.2.1 混凝土原材料应具有稳定性,砂石、水泥、粉煤灰、矿粉及添加剂等材料均应符合设计要求和国家现行标准规定。
- 7.2.2 管节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。
- 7.2.3 应根据设计要求与试验控制混凝土重度。

7.3 管节预制

7.3.1 管节制作的混凝土工程应符合下列规定：

1 管节预制施工前应进行现场浇筑试验,对混凝土的各项参数指标进行检测；

2 施工段混凝土可按底板、隔墙、外侧墙和顶板分次进行浇筑,具有较强施工能力时,宜优先选用一次性整体式浇筑；

3 管节混凝土裂缝控制应符合下列规定：

1)管节浇筑时应控制拌合料入模温度及内外温差；

2)可采取控制混凝土配合比、优化浇筑工艺、埋设冷却管等措施；

3)及时养护；

4)应控制底板与侧墙、侧墙与顶板浇筑的时间差。

7.3.2 管节制作的钢筋工程应符合下列规定：

1 进入现场的钢筋应附出厂合格证和试验报告单,并应按国家现行相关规定进行力学性能和重量偏差检验,检验结果必须符合相关标准的要求；

2 钢筋宜在专用场地集中加工,成型后运至现场安装,钢筋运输、储存过程应分类,不得锈蚀和污染,标识应保留；

3 钢筋连接宜采用机械连接,绑扎连接时,钢筋的级别、直径、根数必须满足设计要求；

4 受力钢筋同一截面的接头数量、搭接长度、同一钢筋接头间距和焊接、机械接头的质量应符合设计要求；

5 上层钢筋网架应设置撑脚,钢筋保护层厚度必须满足设计要求；

6 钢筋机械连接的接头、螺纹应采取保护措施；

7 在浇筑混凝土前,应进行钢筋隐蔽工程验收。

7.3.3 管节制作的模板工程应符合下列规定：

1 应编制专项施工技术方案,并应符合下列规定：

- 1) 模板设计应满足管节结构几何尺寸要求；
- 2) 宜选用定型钢模板，支撑体系应根据管节几何尺寸与干坞形式等因素确定；
- 3) 模板和支架的强度、刚度、稳定性应满足钢筋混凝土结构及施工的各项荷载要求，模板安装精度应满足管节预制要求；
- 4) 管节侧墙的内外侧模板及其支撑系统应为相对独立的支模系统，外墙模板不宜采用通长对拉螺栓固定。

2 模板安装应符合下列规定：

- 1) 模板及支撑的材料与结构必须符合施工技术方案的模板设计的要求，模板及支撑安装必须稳固、可靠；
- 2) 管节模板体系应根据其结构形式确定，宜采用模块化移动式支架模板体系；
- 3) 在浇筑混凝土前，应对模板工程进行验收。

3 模板拆除应符合下列规定：

- 1) 管节混凝土强度应满足设计要求；
- 2) 管节预制的支架、模板拆除应按先支后拆、后支先拆的顺序进行；
- 3) 管节预制的非承重侧模板应在混凝土强度能保证结构棱角不损坏时方可拆除，且混凝土拆模时的强度不得低于 2.5MPa，当承重底模板拆除时，应根据混凝土的强度及结构受力按顺序进行拆除；
- 4) 模板拆除后应及时清理、维修，按编号分类保管，模板面层应涂刷隔离剂。

7.3.4 管节制作的防水工程应符合下列规定：

1 管节混凝土可通过调整配合比、掺加外加剂或掺合料等措施配置而成，试配混凝土抗渗等级应比设计要求提高 0.2MPa。

2 施工缝应符合下列规定：

- 1) 施工缝止水带和防水材料的尺寸、规格、性能指标、埋设

位置应符合设计要求；

- 2) 竖向施工缝浇筑混凝土前,应将其表面清理干净,止水带应完好,应均匀涂刷混凝土界面剂,及时浇筑混凝土,并应控制混凝土浇捣质量；
 - 3) 水平施工缝浇筑混凝土前,应将其表面浮浆和杂物清除,先均匀涂刷混凝土界面剂,再铺设水泥砂浆,及时浇筑混凝土,并应控制混凝土浇捣质量；
 - 4) 中埋式止水带、密封胶、遇水膨胀条等的安装施工应符合国家现行相关标准的规定。
- 3 外防水施工应符合下列规定：
- 1) 外防水材料的性能指标应符合设计要求和国家现行相关标准的规定；
 - 2) 当管节底板采用防水钢板时,其厚度及焊缝等级应符合设计要求,施工过程中应采取防止钢板变形的措施,允许变形量不应大于 20mm；
 - 3) 喷涂型防水涂料及配套使用的底涂料、涂料修补材料、层间处理剂的施工要求、性能指标及基面处理要求应符合国家现行相关标准的规定；
 - 4) 管节结构与端钢壳、端封墙、防水底钢板、管节顶部人孔、垂直千斤顶等交界部位的防水应采取加强处理措施；
 - 5) 施工过程中应采取成品保护措施,不得损坏防水层。

7.4 金属构件及预埋件安装

7.4.1 管节预制应根据设计和水上施工特点,安装必要的金属构件及预埋件,且金属构件及预埋件应满足防腐要求。

7.4.2 端钢壳可分阶段进行安装,先进行本体安装,完成混凝土结构后再进行面板安装。

7.4.3 压载水箱应按施工图施工,给排水系统安装后应进行调试及试漏。

7.4.4 垂直千斤顶水平安装误差不应大于 2mm,中心线与设计倾角误差不应大于 0.6%。推杆的有效行程不应小于 500mm,安装前应进行推杆与套筒同心度及水密性试验。

7.4.5 水密门安装前应进行水密性试验。

7.4.6 鼻托或导向装置安装前,应对预埋件及其安装位置进行定位标定,安装轴线允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$,高程允许偏差为 $0\text{mm}\sim -5\text{mm}$ 。

7.4.7 预留预埋应符合下列规定:

1 各种预埋件和预留孔洞应分类、编号、标识,中心位置及标高应符合设计规定;

2 各类预埋件的防腐措施应符合设计要求,并进行耐久性控制和对螺栓、螺牙和螺孔的保护。

7.5 检验标准

7.5.1 原材料质量检验应符合下列规定:

主控项目

1 原材料的产品资料应齐全,各项性能检验报告应符合国家现行相关标准的规定和设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查产品质量合格证明书、各项性能检验报告、进场复验报告。

2 混凝土强度、抗渗性能应按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定分批检验评定,并应符合设计要求。

检查数量:底板、侧墙、顶板或后浇带等每部位的混凝土,每工作班不应少于 1 组且每浇筑 100m^3 为一验收批,抗压强度试块留置不应少于 1 组;每浇筑 500m^3 混凝土及每后浇带为一验收批,抗渗试块留置不应少于 1 组。

检验方法:检查混凝土浇筑记录,检查试块的抗压强度或抗渗

试验等报告。

3 混凝土重度必须符合设计或施工规范要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查混凝土试块重度检测报告,检查原材料质量保证资料、施工记录等。

一般项目

4 新拌混凝土塌落度、扩展度等工作性能应符合施工规范和设备输送方式、能力要求。

检查数量:每一批次混凝土。

检验方法:检查混凝土塌落度、扩展度等工作性能检测报告,检查原材料质量保证资料、施工记录等。

7.5.2 混凝土管节制作中的钢筋、模板、混凝土质量检验应符合下列规定:

主控项目

1 混凝土管节制作中的钢筋、模板、混凝土质量经验收合格。

检查数量:每一批次钢筋、模板、混凝土。

检验方法:按国家有关规范的规定和设计要求进行检查。

2 混凝土管节的外观质量不应有严重缺陷。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,对可见的裂缝用裂缝观察仪检测。

3 端钢壳面板加工焊接及焊条必须符合设计或施工规范要求,制作及安装检验标准应符合表 7.5.2-1 的规定。

表 7.5.2-1 端钢壳面板制作及安装检验标准

序号	主控项目	允许偏差	检查数量	检验方法
1	外包宽度(mm)	±10	每个端钢壳	全站仪
2	外包高度(mm)	±10	每个端钢壳	全站仪
3	面板整体平整度(mm)	≤3	每个端钢壳	2m 靠尺和楔形塞尺

续表 7.5.2-1

序号	主控项目	允许偏差	检查数量	检验方法
4	接触面 平整度(mm)	≤ 1	每个端钢壳, 沿长度方向 每 1m 测一点	GINA 止水带接触面每 延米, 2m 靠尺和楔形塞尺
5		≤ 2	每个端钢壳, 沿长度方向 每 2m 测一点	OMEGA 止水带接触面 每延米, 2m 靠尺和楔形塞 尺
6	横向垂直度(‰)	≤ 3	每个端钢壳, 测两端、中 间共 3 点	拟合面与设计面在管节 左右外缘之差, 全站仪和直 尺
7	竖向倾斜度(‰)	≤ 3	每个端钢壳, 测两端、中 间共 8 点	拟合面与设计面在管节 上下边缘之差, 全站仪和直 尺
8	端面倾角(mm)	按设计要求	每个端钢壳	全站仪

注:测点原则沿 GINA 止水带安装轴线不大于 2m 一个点。

4 管节不得有线漏和滴漏。平均渗漏量应满足设计或施工规范要求,当超过允许范围时,应按设计防水要求进行处理。

检查数量:逐节全数检查。

检验方法:坞内放水后进行检漏试验。

一般项目

5 混凝土管节的外观质量不应有一般缺陷,防水层结构应符合设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察,混凝土密实,不允许有蜂窝、麻面、空洞等。

6 管节制作几何尺寸检验标准应符合表 7.5.2-2 的规定。

表 7.5.2-2 管节制作几何尺寸检验标准

序号	检验项目	允许偏差或允许值 (mm)	检查数量		检验方法
			范围	数量	
1	管节外包宽度	±10	每节	4 个 截面	钢尺、全站仪
2	管节外包高度	±5			钢尺、全站仪
3	顶、底板厚度	0~-5			钢尺、全站仪
4	外、内墙厚度	0~-10			钢尺、全站仪
5	管节内净高度	0~10			钢尺、全站仪
6	管节内净宽度	0~10			钢尺、全站仪
7	墙身平整度	10			2m 靠尺量
8	墙身垂直度	10			2m 靠尺量
9	管节长度	±30	每段	8 点	全站仪或 钢尺量

检查数量和检验方法:按表 7.5.2-2 的规定检验。

7 保护层厚度符合设计要求。

检查数量:抽取每个施工段的侧墙、顶板进行检测,在每个抽取的构件上对 6 根外侧钢筋的保护层厚度进行检测,每根钢筋在有代表性的部位检测 3 点,不同部位混凝土的钢筋保护层厚度单个测点的偏差控制在 0mm~+10mm 范围内。

检验方法:按现行行业标准《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152 的规定进行,可根据结构保护层的厚度选择合适的检测方法。

7.5.3 预埋件的质量检验应符合下列规定:

主控项目

1 预埋件检验标准应符合表 7.5.3 的规定。

表 7.5.3 预埋件检验标准

序号	检验项目	允许偏差 或允许值	检查数量		检验方法
			范围	点数	
1	预埋件中心 线位置(mm)	±10	每件	1	全站仪或钢尺量
2	预留孔(洞) 中心位移(mm)	±10	每件	1	全站仪或钢尺量

注:检查中心线位置时,应沿纵、横两个方向测量,并取其中的较大值。

2 钢结构加工焊接及焊条必须符合设计或施工规范要求。

一 般 项 目

3 预埋件的外观质量不应有一般缺陷。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察。

8 基槽开挖与回填覆盖

8.1 一般规定

- 8.1.1 基槽开挖施工前应进行现场调查,核实工程地质、水文条件和周边环境情况,以及江(河、湖、海)堤岸、闸门、围堰、管线、周边建(构)筑物、水下障碍物及其他设施的详细资料。
- 8.1.2 应根据航道宽度、深度、水流、通航船舶密度等资料编制水上交通疏解、警戒或封航专项方案并报航道管理主管部门审批。
- 8.1.3 水上作业应申请办理水上施工许可证,并应与海事、航道、海洋、渔业、水利、港口等管理部门及航运、码头等相关单位沟通协商。
- 8.1.4 基槽开挖施工前应编制专项施工方案并通过评审。
- 8.1.5 应根据隧址工程地质、水文资料、河床与隧道纵横断面设计文件、生态资料等确定合理的基槽断面和开挖形式,选择可靠的开挖设备。
- 8.1.6 基槽开挖过程中应对基槽开挖形成的边坡、基底冲刷和回淤进行全程监测,根据监测结果调整施工方案。
- 8.1.7 基槽边坡顶部严禁堆载。
- 8.1.8 土质基槽底面以上 2m 至河床顶面为粗挖部分,剩余部分为精挖部分。
- 8.1.9 基槽开挖过程中,应对地质情况与勘察报告复核。
- 8.1.10 根据工程设计、施工方法、工程水文地质条件,应对临近建(构)筑物、管线等采取保护措施。
- 8.1.11 应对基槽影响范围内管线、建(构)筑物等进行监控测量。
- 8.1.12 施工人员、设备、装置应满足施工要求。
- 8.1.13 爆破施工应符合国家现行标准《爆破安全规程》GB 6722 及《水运工程爆破技术规范》JTS 204 等的有关规定,编制专项爆

破施工方案。专项爆破施工方案应经公安、港口等管理部门批准。

8.2 船机选择

8.2.1 应综合下列因素对基槽开挖船机及配套设备选型：

- 1 岩土的性质、类别和有关技术指标；
- 2 施工区及航道的水深、流速、流向和风浪等自然条件；
- 3 工期、工程量大小、土岩层厚度、开挖范围、开挖深度、排泥区位置、凿岩器具等施工要求；
- 4 施工区通航、环保的要求和其他环境条件；
- 5 设备供应情况；
- 6 基槽开挖泥土的处置方式、运距和卸泥区水深等情况。

8.2.2 挖泥船机选择应符合现行行业标准《疏浚与吹填工程施工规范》JTS 207 的有关规定。

8.2.3 水下钻孔爆破船机选择应符合现行行业标准《水运工程爆破技术规范》JTS 204 的有关规定。

8.2.4 回填覆盖可根据回填材料种类，水文、气象条件等采用开底驳、挖掘机或装载机配合的驳船、皮带船等。

8.3 水下开挖

8.3.1 基槽开挖专项方案应包括下列主要内容：

- 1 水下挖泥施工方案：
 - 1) 工程地质、水文、气象、航道、航运、环境等条件；
 - 2) 施工布置原则及顺序；
 - 3) 施工工艺流程；
 - 4) 施工船机与辅助施工设备；
 - 5) 挖泥方法及质量控制措施；
 - 6) 泥土处置方案及环保部门许可卸泥区；
 - 7) 施工组织计划；
 - 8) 清淤方案、回淤检测与监测方法；

- 9) 施工期间的航道交通组织方案;
 - 10) 安全、环保措施与应急方案。
- 2 水下凿岩施工方案:
- 1) 凿岩工法选用目的;
 - 2) 地质条件、周围环境;
 - 3) 凿岩施工原则、试凿区域、施工方法及顺序;
 - 4) 凿岩施工方法(施工流程、抛锚移船、测量定位、凿岩参数);
 - 5) 凿岩工效分析, 凿岩质量控制措施;
 - 6) 岩土处置方案及环保部门许可卸土区;
 - 7) 检测与监测方法;
 - 8) 安全、环保措施与应急方案。
- 3 水下爆破施工方案:
- 1) 工程地质、水文、气象、环境等条件;
 - 2) 施工区划分、施工顺序等;
 - 3) 施工设备;
 - 4) 施工流程、爆破参数等;
 - 5) 礁石处置方案及环保部门许可卸石区;
 - 6) 检测与监测方法;
 - 7) 安全、环保措施与应急方案。
- 8.3.2 水下开挖应符合下列原则:
- 1 整个施工区域宜分块、分层组织施工;
 - 2 开挖应满足总进度计划要求;
 - 3 靠近江(河、湖、海)岸应防护后施工;
 - 4 按照图纸要求控制基槽槽底标高和宽度, 并对基槽施工期间的回淤进行清理;
 - 5 应减少对周边建(构)筑物、船舶的影响并采取必要措施。
- 8.3.3 水下开挖应符合下列规定:
- 1 施工前宜选择合适区域进行试挖试验, 以获取各种施工参数。
 - 2 挖泥施工应符合下列规定:

- 1) 施工前应对施工区进行江(河、湖、海)床测量;
 - 2) 施工时宜根据施工区的平面形状分段、分条、分层、顺水流施工;
 - 3) 应采用 GPS-RTK 定位系统及电子图形显示系统进行挖泥船实时平面定位,符合设计开挖平面精度要求;
 - 4) 施工过程中应采用测深仪或测深水铰校核挖泥标高,控制挖深。
- 3 水下凿岩应符合下列规定:
- 1) 应结合勘察报告与水深测量确定需要凿岩作业的范围;
 - 2) 宜采用顺水流布设凿岩船,对施工区域划分具体船位,进行分段、分条、分层施工;
 - 3) 凿岩船对分块区域凿击完成以后,应安排抓斗船配备驳船清礁、运输,宜按挖宽进行分条清礁;
 - 4) 应根据清礁效果及水深检测结果调整凿岩船凿岩参数(包括调整凿岩棒类型及凿击点孔网参数);
 - 5) 凿岩应按照凿岩布点间距开凿;
 - 6) 应根据凿岩棒的形状、岩质等调整条与条之间和前进步长之间的搭接距离;
 - 7) 应采用硬扫床或多波束检测已施工区域的水深情况。
- 4 水下爆破应符合下列规定:
- 1) 爆破前宜采用水下声呐技术掌握水下地形、地貌及其他情况;
 - 2) 水下爆破应根据江(河、湖、海)段水流流速、流向、水深、岩性、拟炸岩层厚度及周边环境,选择爆破工艺,确定爆破参数;
 - 3) 爆破时应沿基槽纵向分段组织爆破,每段施工时宜采用适宜宽度分条、分层爆破;
 - 4) 钻机船宜采用 GPS-RTK 定位技术,且实测孔位与设计孔位点的平面偏差宜控制在 0.2m 以内;

5)浅点清除、大块石的二次爆破等可采用水下裸露爆破。

5 水下清礁应符合下列规定：

1)清礁应按宽度分条进行；

2)清礁完成后，应安排船舶进行硬扫床或多波束检测。

8.4 基槽清淤

8.4.1 垫层施工前及管节沉放之前，应检查基槽底有无回淤，基槽底回淤沉积物重度大于 11.0kN/m^3 且厚度大于 0.3m 时需要清淤，清淤宜分层实施。

8.4.2 基槽清淤应根据淤泥工程量、流动特点、周边情况等因素匹配相应的清淤设备。

8.4.3 应编制专项清淤方案并在实施前进行技术交底。

8.5 回填覆盖

8.5.1 管节回填及覆盖可分为锁定回填、一般回填、覆盖回填。回填应符合两侧对称、纵向分段、断面分层原则，按顺序进行并满足设计要求。

8.5.2 回填材料品种与质量应满足设计要求，不应含对隧道防水性能产生危害的材料，并进行相关的测试和取样。

8.5.3 锁定回填应符合下列规定：

1 管节对接完成后必须按设计要求进行管节内加载，直至达到设计抗浮系数要求，管节精调且管内控制测量完成后，先铺法时应立即锁定回填，后填法则应立即在管节尾部两侧进行锁定回填，待垫层施工完成后，全面锁定回填；

2 锁定回填应对称、均匀沿管节两侧分层进行，回填范围、厚度等均应满足设计要求；

3 锁定回填的坡脚位置应结合基础处理形式在纵向上给下一沉放管节端部留有足够的安全距离；

4 应配置专用工程船舶进行深水水域的回填施工，抛填应采

取对隧道结构外防水体系影响较小的工艺。

8.5.4 一般回填应符合下列规定：

1 一般回填应对称、均匀沿隧道两侧和管节方向分层、分段进行，回填范围、厚度、坡度等均应满足设计要求，施工过程中两侧回填高差不应超过设计要求；

2 一般回填的坡脚位置在纵向上应给下一沉放管节端部留有足够安全距离，安全距离宜为管节长度的 1/3，且不少于 20m。

8.5.5 覆盖回填应符合下列规定：

1 回填材料、回填厚度应符合设计要求；

2 回填材料应分层、分段铺设，回填范围、厚度、坡度、顶面高程等均应满足设计要求；

3 应根据设计要求、施工能力、潮位和波浪影响确定施工工艺；

4 覆盖回填完毕后，应采用多波束探测声呐对覆盖层区域至少 10m 外的范围进行探测。

8.6 检验标准

8.6.1 基槽成槽质量检验应符合表 8.6.1 的规定。

主控项目

表 8.6.1 基槽开挖相关检测项目及标准

序号	检测项目	允许偏差 (mm)	备注	频次	检测方法	检测设备
1	轴线	±500	分段开挖、分段量测	多波束声呐系统探测、密度检测仪检测； 每 5m~10m 一个测试断面，每 2m~5m 一个测点	高精度水深测量	GPS-RTK 系统 全站仪 双频测深仪 潮位观测仪 多波束水下测量系统 水下声呐扫测设备
2	边坡坡率	不陡于设计	阶梯式开挖			
3	槽底宽度	0, +2500	分段开挖、分段量测			
4	槽底标高	-500, +0	不允许有浅点			

注：表中“+”表示向上或向外，“-”表示向下或向内。

8.6.2 基槽回淤检测及清除应符合表 8.6.2 的规定。

主控项目

表 8.6.2 回淤检测及清除标准

序号	检测时机	淤泥清除标准	检测频率	检测方法
1	基槽精挖后块石夯平前	隧道基槽底含水率 $<150\%$ 或者密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚 $>10\text{cm}$	块石夯平前 7d 测一次	采用双频测深仪、淤泥密度仪进行测试或潜水员探摸、取样
2	块石夯平后碎石整平前	密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚超过 10cm, 或者密度 $>1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚 $>10\text{cm}$	碎石整平前 15d、7d 各一次	
3	碎石整平后管节沉放前	密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚超过 4cm, 或者密度 $>1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚超过 10cm	管节沉放前每 2d~5d 一次	
4	垫层施工前及管节沉放前	密度 $>1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚超过 30cm	管节沉放前每 2d~5d 一次	

8.6.3 管节回填覆盖应符合下列规定：

- 1 回填覆盖断面平均轮廓线不小于设计断面且满足通航要求；
- 2 回填断面平均坡度不小于设计坡度；

3 回填覆盖检验应符合表 8.6.3 的规定。

一般项目

表 8.6.3 回填覆盖层检测项目及标准

序号	材 料		允许偏差 (mm)	检测频次、方法 与设备
1	覆盖层顶轮廓线 (或外边线)标高	10kg~100kg 块石	±400	同表 8.6.1
2		100kg~200kg 块石	±500	
3		300kg~500kg 块石	±700	
4	一般回填顶轮廓线 (或外边线)标高	10kg~100kg 块石	±400	
5		碎石	±300	
6		砂砾	±100	

注:1 表中负值为向下或向内。

2 当采用 5kg~300kg 开山石代替 10kg~100kg 块石时,允许偏差为 ±500mm。

3 两侧锁定回填高差不大于 1m,锁定回填与一般回填石料不得侵入一般回填层。

4 覆盖层顶宽不小于设计宽度,护面层坡度不陡于设计坡率。

9 管节地基与基础垫层施工

9.1 一般规定

9.1.1 应根据工程地质,障碍物情况,隧道宽度,地基与基础垫层设计,通航能力和通航情况,水文、气象条件,工程进度要求等选择地基与基础垫层施工方法,确定施工参数、施工设备、施工工艺,合理确定与其他施工工序的衔接,减少对环境的污染。

9.1.2 应根据沉管隧道设计、地质条件、基础类型、回淤程度、基础施工方法等确定基础垫层预留沉降值。没有类似经验时,应通过模型试验或现场施工试验确定。

9.1.3 施工中当发现地质情况与地质勘察报告不符时,应及时协商后办理设计变更。

9.2 天然地基

9.2.1 应减少对基底土层的扰动,按照管节沉放安装计划安排基槽精挖施工。

9.2.2 干作业段的基槽底部应注意排水,基底土层不得受水浸泡。

9.3 人工地基与桩基础

9.3.1 应根据地质条件,地基设计,水文、气象条件,周围环境等因素选择合适的施工设备和施工工艺,编制专项施工方案。正式施工前,宜进行工艺性试验。

9.3.2 排水固结地基施工应符合下列规定:

1 竖向排水体、排水垫层、堆载材料规格和质量应满足设计要求;

2 根据具体的施工工序和工法调整竖向排水体布置时,施工范围不得小于设计给定的范围,排水体数量间距相对均匀且不应小于设计值;

3 排水垫层断面平均轮廓线不得小于设计断面,平均厚度不应小于设计厚度;

4 堆载料覆盖范围不得小于设计要求范围,堆载满载验收时标高不应小于设计标高;

5 应根据设计要求、施工能力、潮位和波浪影响确定抛填堆载料分层和分段施工顺序,并应根据水深、水流和波浪等自然条件对堆载料产生漂流的影响确定施工船舶的驻位;

6 应根据施工监测等评估预压效果和卸载时间。

9.3.3 换填地基施工应符合下列规定:

1 应按照设计边坡坡率开挖,开挖至设计深度时应检查地质条件是否与设计要求相符;

2 换填地基施工应在基槽开挖到位后尽快实施,各工序合理衔接,流水作业,尽量缩短间隔时间;

3 换填材料应满足设计要求及现行相关标准,并按现行标准检验;

4 换填地基应根据设计要求、施工能力、潮位和波浪影响确定分层和分段施工顺序,并应根据水深、水流和波浪等对换填材料产生漂流的影响确定施工船舶的驻位;

5 换填地基夯平应分层、分段实施,每层夯平后的厚度不宜大于 2m,分段夯平的搭接长度不应小于 1m;

6 大面积水下夯平前宜按夯平层所处不同地层及水深条件分别开展典型施工试验,分段确定夯平的技术要求指标;

7 分层施工的换填地基上下层接触面间回淤沉积物厚度不应大于设计要求;

8 换填施工过程中应加强施工边坡稳定性监测。

9.3.4 砂桩、碎石桩复合地基施工应符合下列规定:

- 1 地质条件复杂的工程,正式施工前应进行试桩;
- 2 宜由外侧向内侧施工;
- 3 根据具体的施工工序和工法调整桩位布置时,复合地基的施工范围不得小于设计给定的范围,置换率不小于设计值且桩间距相对均匀;
- 4 应采取措施保证砂桩、碎石桩的直径、垂直度、桩顶桩底标高、桩身密实度等;
- 5 应将隆起部分清除。

9.3.5 预制桩施工应符合下列规定:

- 1 打桩前应制订合理的施打顺序和技术措施,应分段跳打,对称施工;
- 2 锤击沉桩时,锤型应根据地质、桩身结构强度、桩的承载力和锤的性能选择,并结合施工经验或试桩确定;
- 3 基槽开挖完毕后,应根据地质、坡度、水流、基槽深度及施工要求等情况,间歇一定时间后沉桩;
- 4 应采取措施减少外露长度,并及时截桩;
- 5 沉桩过程中应观测岸坡及邻近建(构)筑物的位移和沉降;
- 6 预制桩顶与管节底板的接触构造施工应满足设计要求。

9.3.6 复合地基施工除应符合上述规定外,尚应符合国家现行标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 和《水运工程质量检验标准》JTS 257 的强制性规定。

9.3.7 桩基施工除应符合上述规定外,尚应符合现行行业标准《港口工程桩基规范》JTS 167—4 和《水运工程质量检验标准》JTS 257 的有关规定。

9.4 基础垫层

9.4.1 垫层施工前基槽底回淤沉积物厚度应满足设计要求,否则应清淤至满足设计要求。清淤后应尽早施工基础垫层。

9.4.2 后填法施工工艺流程宜按图 9.4.2 执行。

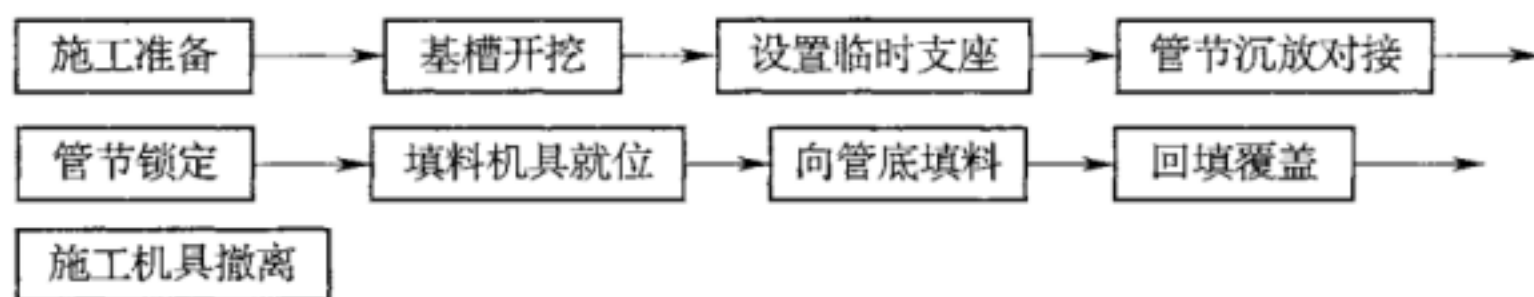


图 9.4.2 后填法施工工艺流程

9.4.3 后填法施工时临时支座应满足承载力和沉降要求。

9.4.4 喷砂法施工应符合下列规定：

- 1 喷砂前应利用喷砂设备逆向作业系统清淤；
- 2 砂料粒径与级配应满足设计要求并利于施工；
- 3 混合料含砂量、喷射压力应通过试验确定；
- 4 应根据吸管回水含砂情况检验管节下充填程度。

9.4.5 砂流法施工应符合下列规定：

- 1 在管节预制时预留砂流孔，并不得出现渗漏；
- 2 在管节沉放之前，应检查砂流孔，其应良好；
- 3 应根据试验确定材料粒径与配合比、压力；
- 4 纵向灌砂应按先中间后两侧顺序对称进行；
- 5 可根据压砂量、砂流压力、管节标高、潜水探摸等方法监控砂积盘形成情况；

6 冲击坑、砂流槽、压砂孔采用灌浆充填时，注浆压力、浆料均应满足设计要求或根据试验确定；

7 施工过程中应监测管节上抬量和横向水平偏移值、千斤顶顶力，并应满足设计要求。

9.4.6 压浆法施工应符合下列规定：

- 1 在管节预制时预留压浆孔，并不得出现渗漏；
- 2 在管节沉放之前，应检查灌浆孔，灌浆孔应良好；
- 3 压浆前应在管节周边采取止浆措施；
- 4 压注材料粒径与配合比、灌注压力应满足设计要求或根据试验确定；
- 5 注浆前，应先压水清孔，压通后再进行压浆；

6 注浆过程中应对沉管监测管节上抬量和横向水平偏移值,并满足设计要求;

7 注浆宜从管节下坡向上坡方向逐孔交错进行;

8 应根据注浆压力、注浆量、竖向千斤顶压力等控制灌浆充填程度,采用冲击影像法、表面波探测或探地雷达等手段检测灌浆充填率。

9.4.7 利用导轨刮平垫层的先铺法施工工艺流程宜按图 9.4.7 执行。



图 9.4.7 利用导轨刮平垫层的先铺法施工工艺流程

9.4.8 先铺法施工采用的铺垫材料应满足设计要求。

9.4.9 先铺法采用导轨刮铺时宜分粗平和精平两阶段进行,精平层厚度不宜超过 40mm。精平前应对导轨标高进行复测。

9.5 检验标准

9.5.1 沉管隧道垫层检验应符合下列规定。

主控项目

1 先铺法垫层检验标准应符合表 9.5.1-1 的规定。

表 9.5.1-1 先铺法垫层检验标准

序号	检查项目	允许偏差	频率	检测设备
1	垫层顶部标高	±4cm	断面间隔 不大于 10m	测深仪
2	垫层两侧顶边 线平面偏差	-20cm~100cm		
3	垫层宽度	不小于设计宽度		
4	桩位	2cm	全部	检查施工记录
5	桩顶标高	-5cm~3cm	全部	

2 后填法临时支座检验标准应符合表 9.5.1-2 的规定。

表 9.5.1-2 临时支座检验标准

序号	量测项目	允许偏差(mm)	检查数量	检测设备
1	支座顶面标高	±20	全数检查	水准仪
2	支座横纵向定位精度	±50	全数检查	全站仪
3	支座倾斜度	<1/125	全数检查	测倾仪

9.5.2 地基与基础其他项目检验应按现行行业标准《水运工程质量检验标准》JTS 257 的有关规定执行。

10 管节安装

10.1 一般规定

10.1.1 管节安装可分为舾装、浮运、寄放、沉放与对接,其中浮运、沉放与对接应分别编制专项施工方案和监测方案并经过评审。

10.1.2 应根据航道宽度、深度、水流、通航船舶密度等资料编制水上交通疏解、警戒或封航专项方案并报航道管理主管部门审批。

I 浮运

10.1.3 管节浮运前应收集相关水域水文及气象等基础资料,应对潮位、水深、水流速度、水容重、悬浮指数、风速等进行监测与计算。

10.1.4 管节浮运前,应核对航道沿线水下地形、地质资料和水文资料,浮运路线上不应有损害管节的障碍物。

10.1.5 管节出坞、浮运应根据隧址处工程、水文地质条件,水文条件,水下地形,气象,航道,管节结构和环境保护等条件,合理选择浮运船机和作业设备。

10.1.6 浮运前应进行管节的稳定性验算,满足竖向力平衡和力矩平衡两个条件。

10.1.7 管节浮运前干舷值应在 100mm~250mm 间取值。

10.1.8 应根据管节浮运需要克服的惯性力和水阻力,计算确定拖曳设备数量及功率配置。

10.1.9 浮运航道水深应符合下列规定:

1 管节浮运航道控制水深(设计最低通航水位) \geq 管节高度-干舷高度+安全距离;

2 采用移动干坞预制管节时,移动干坞浮运航道控制水深(设计最低通航水位) \geq 移动干坞浮运管节最大吃水深度+安全距离;

3 采用移动干坞预制管节时,下潜港池控制水深 \geq 管节高

度+干舷高度+管船距离+型身高度+安全距离；

4 管节浮运过程中底板与河床安全距离不应小于 0.5m；

5 管节浮运航道及下潜港池水深不满足上述要求或航道宽度不满足要求时，应按现行行业标准《疏浚与吹填工程施工规范》JTS 207 的有关规定执行，完成浮运航道疏浚作业。

10.1.10 管节起浮前应对管节内部及外部的各项设施进行检查，及时排除故障。

10.1.11 管节浮运前必须对浮运航道进行水深测量，硬底基础尚应进行硬扫床或多波束检查。

10.1.12 管节浮运、系泊前应进行稳定性及系缆系统受力计算和整体数模分析，必要时可开展物模试验，进行数据校核。

10.1.13 浮运阶段宜满足下列条件：

1 水流平均流速不大于 1.0m/s；

2 水面风速不大于 10m/s；

3 浪高小于 0.5m。

10.1.14 浮运阶段不满足第 10.1.13 条的条件时，宜做专题研究。

II 寄 放

10.1.15 管节寄放区应符合下列规定：

1 宜选择水深足够、风浪小、水流缓的非通航水域；

2 应布置可靠的系泊系统。

III 沉 放 对 接

10.1.16 管节沉放对接可分为管节浮运就位、管节下沉、千斤顶拉合、水力压接四个工序。

10.1.17 管节沉放宜满足表 10.1.17 的要求。

表 10.1.17 管节沉放时的自然条件要求

项目	风速	水密度	浪高	流速	能见度
要求	≤10m/s	按设计要求	≤0.5m	≤1.0m/s	≥1000m

10.1.18 自然条件不满足第 10.1.17 条的条件时,应做专题研究并制订特定技术措施。

10.1.19 沉放前,应对管节基础标高及支座平面位置与标高进行复测,采用先铺法时应清除基槽碎石基础顶面淤泥。

10.1.20 沉放前,应清除 GINA 止水带四周及对接端端面上的杂物,并探摸检查 GINA 止水带,应稳固、无偏位、无破损。

10.1.21 管节沉放前应对管节内部的各项设施进行检查,及时排除故障。

10.1.22 管节沉放过程中压载水箱加载宜分次进行:

- 1 管节下沉阶段,抗浮系数不小于 1.01;
- 2 水力压接之后水密门开启前,抗浮系数不小于 1.02;
- 3 稳定压载阶段,抗浮系数不小于 1.05。

10.1.23 管节沉放后对接前应再次对止水带、端钢壳、导向装置等进行检查。

10.2 舾 装

10.2.1 管节舾装应符合下列规定:

1 在管节试漏、起浮前完成管节的一次舾装,主要包括:端封墙及水密门、GINA 止水带及保护装置、鼻托、压载系统和系缆柱及管节各种舾装的预埋件、照明及供电系统等;

2 在管节起浮后、沉放前进行管节的二次舾装,主要包括:测量塔、人孔井、水平拉合座、吊点、纵横向调节系统和浮箱等。

10.2.2 GINA 止水带安装应符合下列规定:

1 止水带安装前应将槽孔处清理干净,安装后止水带应牢固、平整、严密,位置误差应满足精度要求;

2 应制作止水带橡胶保护套或木盒且使用吊带;

3 止水带起吊前应对起吊设备进行试车与安全检查;

4 GINA 止水带安装在管节端面端钢壳上,应通过螺栓压板夹紧其两侧翼缘进行固定,螺栓初拧、终拧扭矩应符合设计要求。

10.3 浮运前准备工作

10.3.1 应对舾装设施进行下列检查工作：

- 1 沉放的吊点、系缆柱、滑轮、缆绳；
- 2 管节两端端面、接头支座、GINA 止水带和保护罩应完好；
- 3 人孔密封无渗漏；
- 4 测量塔架牢固，测量标志可靠，绞车操纵系统正常；
- 5 管节内无渗漏，两端端封墙、进气阀门、泄水孔及开关应完好；
- 6 压载水箱、调节阀及水泵应完好，照明和通风管应设置到位；
- 7 管节内换气设施应完好；
- 8 临时支承千斤顶系统调试完毕。

10.3.2 管节起浮前应对主体结构混凝土、端封墙、压载水箱等部位进行水密性检漏，检漏结果应符合设计要求，如发现渗漏，应立即采取有效封堵止水措施。

10.3.3 管节检漏应符合下列规定：

- 1 检漏作业应于浮运前在干坞内进行，检漏过程中管节不得起浮；
- 2 检漏应分步，每一步静止浸水时间不宜少于 24h；
- 3 检漏水位最终淹没管节顶面高度不宜小于 0.5m。

10.3.4 应在干坞内进行试浮，测量管节干舷高度，并应根据管节顶部舾装设备重量及二次舾装后干舷值要求制定防锚层或压重层浇筑高度，防锚层或压重层浇筑应分块对称施工。

10.3.5 拖运船队施工前应做下列准备工作：

- 1 浮运船组与管节连接系缆应可靠；
- 2 浮运管节指挥协调系统应可靠；
- 3 水上安全船舶和交通艇的检查；
- 4 浮运、沉放施工与航运安全管理部门协调配合工作就绪。

10.3.6 浮运船队编组应符合下列规定：

1 牵引就位,严密监视管节的干舷高度,确定是否需要助浮以便及时采用助浮设备；

2 浮运航行的安全措施应落实；

3 沉放驳船各项设备的检查调试完好；

4 各项施工人员分工齐备,关键部位设岗值班；

5 编组船舶通信联络正常；

6 调整定位船组与管节方位的绞车缆索连接可靠,各种锚位受力安全。

10.3.7 浮运前应在施工区域设置浮标记号,并做好交通安全疏导工作。

10.4 浮 运

10.4.1 管节浮运方式应根据干坞形式、航道条件、浮运距离、水文和气象等因素综合选定。

10.4.2 在管节检漏起浮后,宜在干坞内进行短时间系泊,管节在系泊过程中各系泊缆应牢固可靠,各系泊缆长度应满足在潮水涨退过程中留有富余度。

10.4.3 测量塔上指挥系统设备应正常可靠,指挥讯号能通畅下达终端各部位,监测、测量手段齐全。

10.4.4 沉放管节的吊点液压绞车同步调试,缆索连接可靠。

10.4.5 管节起浮、浮运过程中,应对管节姿态进行实时监控。

10.4.6 管节浮运需要合理选择浮运航道和浮运水位,有条件时应利用高水位,浮运过程中管节底面距浮运航道底面的安全距离不应小于 0.5m。

10.4.7 管节浮运航道宽度及曲线半径宜符合现行国家标准《内河通航标准》GB 50139 的有关规定。复杂区段应通过专项研究确定。

10.4.8 浮运过程中 GINA 止水带宜在浮运前进方向的后方,并

设置防护罩。

10.4.9 管节浮运控制指标应满足表 10.4.9 的规定。

表 10.4.9 管节浮运控制指标

序号	项目	允许偏差	检查数量	测点	检测方法
1	横倾	绕其形心横向摆角 $<2^{\circ}$	逐管节检查	2	测斜仪
2	纵倾	纵向倾角 $<1^{\circ}$	逐管节检查	2	测斜仪
3	干舷高度	不小于 100mm, 不宜大于 250mm	管节 4 角点	4	直尺、水准仪
4	航行轨迹	浮运航道范围并满足设计规定	—	—	GPS

10.5 寄 放

10.5.1 管节浮运寄放前应按现行行业标准《疏浚与吹填工程施工规范》JTS 207 的规定执行,疏浚寄放区应满足管节系泊设计水深要求。

10.5.2 管节寄放可采用漂浮寄放或坐底寄放。

10.5.3 管节寄放宜采用四点系泊系统进行定位。

10.5.4 管节水流力应按现行行业标准《港口工程荷载规范》JTS 144—1 的规定计算。必要时,宜通过物模试验取得。

10.5.5 主、副锚缆(横调)破断负荷不应小于设计值并应经检验。

10.5.6 系泊锚块宜采用吸附式钢筋混凝土结构重力锚块,应能抵抗横向水流作用力。

10.5.7 单个寄放管节应布设不少于 2 个重力锚块。

10.6 沉 放

10.6.1 管节沉放前应在作业水域设置标记,在航道范围内必须设置临时航标并进行航道管制。

10.6.2 管节沉放前应对基槽或基础垫层回淤情况、临时支承位置偏差进行检查,发现回淤或偏差超出规定,应采取措施修正。

10.6.3 管节沉放定位应符合下列规定：

1 管节浮运至对接位置水域后，应对管节进行安装轴线、平面位置、姿态定位；

2 管节定位宜使用 GPS-RTK 或全站仪进行精确定位，安装管节轴线与设计轴线应一致。

10.6.4 异型管节沉放过程中，应采取措施保证异型管节平衡。

10.6.5 管节应采用吊沉法下沉，具体沉放方式应根据江（河、湖、海）水域环境、管节结构、施工设备等因素综合确定。

10.6.6 管节下沉应符合下列规定：

1 下沉前，压载水箱加载至管节抗浮系数达到设计要求；

2 管节由船组沉放施工时，工作船起吊点上的钢索应满足计算要求；

3 沉放过程中，使用沉放装置控制下沉安装的速度；

4 管节下沉速度不宜大于 0.5m/min，下沉时应不断修正管节位置；

5 当管节底距基槽面 2m~2.5m 时，应停止沉放并利用沉放设备将管节纵向坡度调整到接近隧道设计坡度；

6 应利用调节缆初步调整对接误差，待沉管节的前端距已沉管节尾端的水平距离应为 2m~2.5m；

7 管节前端与已沉管节尾端相距 1.5m，管节底离基槽面 1m 时，潜水员应检查接头情况，并清除接头垃圾杂物；

8 应持续对管节的里程、轴线、标高进行观测。

10.6.7 后填法沉管施工时管节沉放除应符合第 10.6.6 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 管节着地过程中沉放的管节自由端临时支承应留预抬高 100mm；

2 沉放的管节对接端应搁置在已沉管节伸出的支座上，自由端应通过两个垂直临时支承千斤顶搁置到临时支座上，完成管节对接就位。

10.6.8 沉放过程宜综合使用检测仪器和方法:GPS-RTK、全站仪、声呐仪、测斜仪、倾角仪、流速仪、比重计、钢尺、水下摄像、压力传感器、潜水探摸等。

10.7 对 接

10.7.1 管节之间水下对接采用水力压接方式。

10.7.2 管节对接时自然条件宜满足表 10.1.17 的要求。

10.7.3 管节应下沉到指定深度后进行平移,平移速度不应大于 0.2m/min。

10.7.4 当管节向已沉管节靠拢后,由潜水员检查对接端端钢壳与已沉管节端钢壳相对位置。后填法沉管施工时,尚应检查自由端临时千斤顶在临时支座的位置。

10.7.5 后填法沉管施工,垂直千斤顶调整管节纵坡应符合下列规定:

1 垂直千斤顶顶力和行程应满足设计要求;

2 垂直千斤顶调整管节纵坡应实时监测垂直千斤顶的顶力变化和管节垂直位移。

10.7.6 管节下沉前,应拆除止水带保护罩,并应检查进排水口、鼻托、止水带及端钢壳。

10.7.7 管节对接拉合速度不应大于 70mm/min,平移至 GINA 止水带的鼻尖接触到已安管节的端钢壳为止。

10.7.8 千斤顶拉合应符合下列规定:

1 拉合前检查 GINA 止水带;

2 测量端钢壳间的距离并应符合要求;

3 拉合装置搭接后,测量拉合千斤顶行程;

4 拉合过程中,应检查压力传感器压力;

5 待沉管节上设置的拉合千斤顶将管节向已沉管节拉紧,使管节端部 GINA 止水带初步压缩并达到止水效果;

6 千斤顶拉合对 GINA 橡胶止水带压缩量不宜小于 20mm。

10.7.9 千斤顶拉合达到初步止水应复核测量数据,潜水员探摸检查确认达到要求后进行水力压接。

10.7.10 后填法沉管施工时应通过垂直千斤顶微调管节纵坡满足设计要求。

10.7.11 水力压接应符合下列规定:

- 1 压接过程控制排水速率;
- 2 结合腔内排水完成后,水下测量 GINA 止水带压缩量,并应满足设计要求,在结合腔内检查管节安装情况;
- 3 开启已沉管节端封墙上的水密门,在结合腔内检查管节安装定位情况;
- 4 开启安装管节对接端端封墙上的水密门,进行管节内的施工控制测量以及贯通测量。

10.7.12 管节水力压接结束后应进行下列工作:

- 1 根据实测的水底最大的水容重,加压载水至管节抗浮安全系数;
- 2 后填法沉管施工时,缓缓放松浮箱上的吊力,使整个管节受力由前端鼻托(前端垂直千斤顶)和后端垂直千斤顶均衡支撑,加载开始到基础垫层处理工作结束期间,应实时检测垂直千斤顶的顶力变化,并应保持垂直千斤顶受力均匀;
- 3 封闭人孔;
- 4 舾装件水下拆除。

10.7.13 管节对接完成后,后填法施工时由垂直调整装置临时支承管节,经检测、测量验收合格后,应立即实施后填法施工。

10.7.14 管节对接完成后应控制抗浮系数,满足设计要求,实施锁定回填。

10.7.15 管节沉放对接就位后应进行下列工作:

- 1 管节内临时供电、通风照明;
- 2 管节接头检查;
- 3 管节轴线、里程和高程测量,检测其在基槽内沉降及纵向

位移情况。

10.7.16 管节沉放就位且控制测量达到要求后,先进行锁定回填,后进行一般回填、覆盖回填。沉降稳定后进行管节间接头处理。

10.7.17 管节回填应满足设计要求。

10.7.18 压重层施工过程中应严格控制置换混凝土重量,做到对称、均匀、逐步推进浇筑,管节抗浮系数满足设计要求。

10.8 检验标准

10.8.1 管节对接前应进行潜水探摸检查,主要检查管节 GINA 止水带是否偏位、脱落、破损和端钢壳表面附着物是否满足对接要求。

10.8.2 管节初步对接止水后应潜水探摸检查,主要检查 GINA 止水带初步止水情况,检查应无异物并满足止水要求。

10.8.3 管节沉放对接的每管节允许偏差、检验数量和检验方法应符合表 10.8.3 的规定,在江(河、湖、海)中对接接头施工对应的累计闭合误差应在后续逐个管节施工中加以消除或减少,以保证管节全线吻合贯通。

表 10.8.3 管节沉放允许偏差、检验数量和方法

序号	实测项目		允许偏差(mm)	检验单元	检查频率	检验方法
1	对接 接头偏移	水平方向	20	每一节 管节(逐 节检查)	2点/节	全站仪测量
		垂直方向	20			
2	管节 轴线偏差	水平方向	50			
		垂直方向	50			

11 接头处理

11.1 一般规定

- 11.1.1 沉管隧道接头应满足设计要求。
- 11.1.2 沉管隧道接头处理包括管节接头和最终接头两部分。
- 11.1.3 止水带及安装止水带的压板、螺栓等应满足强度和耐久性要求。
- 11.1.4 应编制管节接头处理专项施工方案并经过审批。

11.2 管节接头

- 11.2.1 管节接头处理应符合下列规定：
 - 1 拆除端封墙、安装 OMEGA 止水带后应按规定试漏；
 - 2 根据设计要求确定的合理时机进行 PC 预应力拉索的连接安装、制配垂直剪力键；
 - 3 外侧墙及中隔墙采用钢筋混凝土剪力键时应安装刚性连接件和橡胶支座；
 - 4 钢结构垂直剪力键应安装位置准确且与橡胶支座良好接触；
 - 5 根据抗浮要求确定压载水箱拆除及压重混凝土浇注顺序；
 - 6 压重混凝土应同步制作管底水平剪力键。
- 11.2.2 端封墙拆除包括鼻托与端头挡墙拆除，拆除应符合下列规定：
 - 1 拆除时间应在管节基础与垫层全部完成且管节锁定的前提下进行；
 - 2 待拆封门迎水端不应少于三道端封墙；
 - 3 拆除顺序：先拆除封墙面板及加强材，再拆除型钢立柱；

4 端封墙拆除后应对预埋件表面做防腐处理；

5 拆除过程需对管节进行加密观测。

11.2.3 OMEGA 止水带安装应符合下列规定：

1 安装端面表面打磨：在压件试装配前，对端钢壳翼缘板指定区域用砂轮打平、磨光，转角角度要求与 OMEGA 止水带转角压件的折角相同；

2 清洁：接头内腔及端钢壳翼缘板应采用高压射流水枪进行冲洗，冲洗后的污水应及时排出，接头处的沉积淤泥、杂物清除后运出管外；

3 标记：在管节接头顶部和侧墙的安装区域应找出中点并作标记，各中点及转角位置标记为 OMEGA 止水带安装的控制点；

4 编号：在拆除前应对压板和对应位置进行成对的统一编号；

5 热接：按照管节断面尺寸，将 OMEGA 止水带热接成框架安装；

6 检查：检查 OMEGA 止水带的完整性，OMEGA 止水带管节内安装面应平整；

7 安装：止水带末端口搭接按设计要求进行施工，在收紧压块螺母时，应保持各螺母均匀受力；

8 安装顺序：中孔顶中点—顶角位—侧墙中点—底角位—中孔底中点—OMEGA 止水带热接—控制点之间区域安装；

9 试漏：止水带安装完后应符合设计要求，安装后闭水试验除应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 中第 10.2 节的规定外，尚应进行试压试验，并应符合下列规定：

1) 试压值应取沉管隧道底板底面处水深压力的 1.5 倍；

2) 保压时间不应小于 24h，水压不低于设计值的 95%。

11.2.4 PC 预应力拉索安装应符合下列规定：

- 1 每组拉索在安装时须按设计要求施加预张力调直钢索；
- 2 钢索均匀受力后方可与连接套筒连接；
- 3 应同时安装防腐蚀保护套,保护套应使用可伸缩波纹橡胶管,其耐老化性能应满足设计年限要求；
- 4 保护套安装后在拉索内注入防锈油脂。

11.2.5 剪力键安装应符合下列规定：

- 1 剪力键安装应在拆除端封墙后进行,后填法基础处理的剪力键尚应在垫层施工完成后进行安装；
- 2 水平剪力键应在管节两端压重混凝土浇注时制作；
- 3 剪力键及预埋件的尺寸、强度应满足接头变形及水密性要求；
- 4 剪力键安装时机应根据水文地质条件综合确定,应在沉降基本稳定后安装；
- 5 垂直剪力键施工应符合下列规定：
 - 1)钢筋混凝土剪力键上剪及中剪应在管节制作时一并完成,下剪应在现场立模浇注混凝土后安装橡胶支座；
 - 2)钢结构剪力键应在厂内加工制造,在管节内安装在预埋件上；
 - 3)剪力键及预埋件的尺寸、强度应满足接头变形及水密性要求。

11.2.6 压载水箱拆除及压重混凝土浇注应对称、均匀、逐步推进。

11.3 最终接头

11.3.1 应根据最终接头设计、接头位置、相关规范等选择最终接头施工工艺及流程,水中接头施工尚应考虑回淤等影响。

11.3.2 岸上最终接头施工应符合下列规定：

- 1 在最后一节管节底部施工止水帷幕,在管节侧边施工止推墙,止推墙应安全可靠；

2 清除施工缝和止水带上的表层浮浆和杂物,施工缝铺净浆、涂刷界面处理剂;

3 钢筋连接宜采用钢筋连接器;

4 混凝土宜增加微膨胀剂的掺入量。

11.3.3 水中最终接头施工应符合下列规定:

1 钢封板应满足在水压力下的强度和刚度,钢封板尺寸、螺栓孔位应考虑水压变形和施工误差等因素的影响,并根据两端相邻管节实际位置调整;

2 钢封板安装时应清理基槽、底封板顶面、相邻管节顶面等处的回淤物和杂物;

3 在最终接头两端面之间应布设可施加预应力的支撑梁;

4 应采取措施保证侧封板与底封板、顶封板之间的止水效果;

5 抽水前、抽水过程、抽水后均应对钢封板、止水带、螺栓做全面检查;

6 应通过混凝土配合比控制、优化施工工艺等措施保证最终接头顶板混凝土施工的质量;

7 最终接头混凝土或注浆施工时应防止将钢封板顶离相邻管节顶面。

11.3.4 抽水过程中应分别检查管节各接触面的止水情况,监测结构的纵向位移。

11.4 检验标准

11.4.1 剪力键加工、安装允许偏差应满足表 11.4.1 的要求。

表 11.4.1 剪力键加工、安装允许偏差

序号	项目	允许偏差(mm)	检验方法
1	剪力键平整度	±2	2m 靠尺和楔形塞尺
2	支承垫的高度	±2	全站仪测量
3	剪力键的安装	±2	全站仪测量

11.4.2 最终接头允许偏差应满足表 11.4.2 的要求。

表 11.4.2 最终接头允许偏差

序号	项目	允许偏差(mm)	检验方法
1	管节间纵轴线偏差	50	全站仪测量
2	管节间轴线处标高偏差	20	全站仪测量
3	管节间底板横倾相对偏差	5	全站仪测量

12 衔 接 段

12.1 一 般 规 定

12.1.1 衔接段隧道应根据设计文件、工程水文地质条件、工程特点确定施工方案。

12.1.2 衔接段隧道应在相邻沉管管节连接前施工完毕,并应按设计及施工组织要求设置端封墙、水密门、鼻托、千斤顶拉合系统、测量定位系统等设施。

12.1.3 衔接段隧道基坑、混凝土结构、围堰、护岸等工程的施工与质量验收除应执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

12.2 护 岸 工 程

12.2.1 沉管隧道的基槽开挖、爆破对堤岸的稳定性有较大影响时应采取措施降低影响。

12.2.2 应根据设计文件及相关主管部门的要求复建、新建、改建护岸结构。护岸拆除与重建应符合下列规定:

- 1 应选择安全、经济、环保、扰动小的施工方法;
- 2 破除堤岸前,应进行预支护或加固处理;
- 3 恢复护岸应注意与原岸壁有效衔接,护岸结构应牢固。

12.2.3 应根据设计文件、沉管隧道施工组织及现场条件,制订临时护岸与永久护岸的施工方案。

12.3 围 堰 工 程

12.3.1 水中临时围堰应编制专项施工方案,必要时应对方案组织专家论证,并取得海事、港口、航道等主管部门的同意。

12.3.2 围堰工程应符合下列规定：

1 围堰堰体及坑底在最大洪水位、最低水位、抽水等情况下均应保持其稳定性，在围堰内抽干水后，围堰内的总渗水量应满足施工作业要求；

2 围堰的顶面高程应高出施工期间可能出现的最高水位（包括浪高）；

3 围堰的外形和尺寸应考虑减少对河道泄洪、通航、导流的影响，对河流断面被压缩后流速增大导致水流对围堰本身和河床的集中冲刷，应有防护措施；

4 围堰应便于施工、维护及拆除，材质及施工作业应符合河道水质、生态环境保护的要求，围堰拆除应清除遗留物，恢复至原航道水深并对水域进行硬式扫床。

12.3.3 模袋围堰应符合下列规定：

1 模袋尺寸、填筑量应根据围堰尺寸、吊装难易度、现场水文地质条件等合理选定；

2 模袋铺设时上下袋体应错缝铺设，堰体填筑宜预留沉降量和断面富余度；

3 模袋围堰内抽水应缓慢渐进，保证围堰稳定，并对围堰的水平位移及沉降进行监测；

4 模袋围堰迎水坡应有覆压土工膜等防冲刷措施，宜采用抛石压脚等稳固措施；

5 临时围堰拆除应满足经济、安全、环保的要求。

12.3.4 锁口钢管桩围堰应符合下列规定：

1 钢管桩正式施工前应进行槽段的试验施工，槽段开挖的垂直度、宽度、深度应满足钢管桩安装的要求；

2 锁口钢管桩加工制作应在专业工厂内进行，锁口与钢管桩焊接牢固，每根钢管桩的锁口孔应进行畅通试验，锁口应平顺、光滑、不易变形；

3 钢管桩吊装应位置准确、垂直，相邻钢管桩阴阳锁口相互

契合,锁口渗漏水量符合有关规定;

4 钢管桩混凝土采用水下导管法灌注,水下混凝土浇筑应连续、不间断;

5 钢管桩应考虑尽量重复利用,水下切割及拔除应符合有关规定。

12.3.5 水下浇注素混凝土墙施工应符合下列规定:

1 浇筑前应对作业面进行清理;

2 水下混凝土应采用钢导管水下灌注法;

3 用于止水的素混凝土墙施工应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定,拆除时,应根据现场实际情况采用爆破或机械破碎。

12.3.6 水深 3.0m 以内、流速 1.5m/s 以内时,可采用土袋围堰。

12.3.7 竹笼、木笼、铅丝笼及钢笼围堰适合于水深 4.0m 以内的情况,各种笼体的制作应坚固。围堰的层数、高度宜根据水深、流速等因素确定,宽度宜为水深的 1.0 倍~1.5 倍。

12.4 衔接段隧道结构

12.4.1 衔接段隧道结构施工的深基坑、高支模等危险性较大工程,应按有关规定对其专项方案组织专家评审。

12.4.2 隧道桩基础、抗拔桩、抗浮锚杆、基坑支护桩、连续墙等工程施工及质量检验应执行国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等的有关规定。

12.4.3 基坑土方开挖的顺序、方法应与设计图纸、专项施工方案一致。

12.4.4 隧道主体结构应按设计分施工段施工,每施工段可再进行施工分段。隧道结构宜采取纵向跳段法施工或设置后浇带。

12.4.5 隧道结构钢筋加工、连接、安装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 等的规定,并应按混凝土结构耐久性设计的要求进行施工。

12.4.6 隧道结构的支架及模板工程应满足安全性、美观性的要求。支架及模板的拆除应符合有关拆模时间的规定。

12.4.7 隧道结构分次浇筑应符合下列规定:

1 隧道底板与立墙、立墙与顶板的混凝土浇筑时间间隔不宜大于 7d;

2 隧道立墙(含侧墙和中墙)的混凝土浇筑应水平分层、左右对称浇筑;

3 施工缝、变形缝等位置的混凝土应加强振捣,并保护好止水材料。

12.4.8 隧道结构施工时,对隧道侧墙温度裂缝应采取下列控制措施:

1 制订合适的施工技术方案,合理设置隧道施工分段长度,减少隧道底板、立墙、顶板的混凝土浇筑时间间隔;

2 严格控制混凝土原材料质量及配合比,加强振捣,提高混凝土本身的密实度及抗拉强度;

3 对大体积混凝土采取控制混凝土入模温度、埋设冷却管等措施,减少混凝土内外温差;

4 控制拆模时间,加强混凝土保温、保湿养护。

12.4.9 隧道结构防水工程的施工应符合现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 和《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

12.4.10 隧道结构外防水层、保护层等完成后,在堤岸内侧的隧道应及时对称回填基坑,在堤岸位置应按设计进行永久护岸工程的施工。

12.4.11 护岸工程及首节衔接段隧道的端封墙(含水密门)完成后,应在临时围堰内注水进行衔接段隧道的渗漏试验,试验合格后方可拆除临时围堰。

12.5 检验标准

12.5.1 衔接段隧道结构竣工后,混凝土抗压强度和抗渗强度必须符合设计要求,无露筋、露石,裂缝应修补好。结构各部位允许偏差应符合表 12.5.1 的规定。

表 12.5.1 隧道结构各部位允许偏差值

序号	项目	允许偏差(mm)								检查方法
		垫层	底板	顶板 下表面	顶板 上表面	中墙	侧墙	变形缝	预留洞、 预埋件	
1	平面位置	30	20	—	—	10	10	—	±10	以线路中线为准用尺检查
2	垂直度	—	—	—	—	10	10	10	—	线垂加尺检查
3	直顺度	—	—	—	—	—	—	5	—	10m 拉线检查
4	平整度	15	15	10	15	10	10	—	—	用 2m 靠尺、塞尺量
5	高程	±20	±20	+200	+200	—	—	—	—	用水准仪测量
6	厚度	-15	-10, +20	±10		±10	-10, +20	—	—	用尺检查

13 监 测

13.0.1 开工前,应根据设计要求、施工环境、工期安排、施工方法等编制监测方案。

1 监测方案的内容应包括:组织机构、管理体系及监测项目、监测仪器、监测方法、测点布置、监测频率、数据处理、反馈方式等;

2 在监测环境恶劣时,应有应急监测方案;

3 监测计划应与施工进度计划相适应;

4 监测工作应由专业人员进行。

13.0.2 固定干坞的测量控制网点应根据设计总平面图和施工总布置图布设。

13.0.3 固定干坞监测应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定。

13.0.4 管节预制采用移动干坞时,移动干坞应设独立的测量控制网。

13.0.5 移动干坞在管节预制过程中的变形监测,应在管节预制的每工序之后不少于一次。

13.0.6 应对施工区域的气象、水文、生态环境监测。

13.0.7 应掌握施工区域回淤强度变化的资料,设定测量回淤的时机。

1 沉管的基槽与基础垫层回填时,宜在下道工序开始前 5d(含 5d)内测量前道工序完成面的回淤;

2 先铺法基础垫层施工中,对基础垫层的回淤测量宜在管节安装前 2d(含 2d)内进行;

3 后填法基础垫层施工中,宜在基础垫层施工前 2d(含 2d)内测量基础回淤。

13.0.8 管节寄放监测应符合下列规定：

1 管节寄放可分为坐底寄放和漂浮寄放：

- 1) 坐底寄放应量测寄放位置的尺寸与标高。管节寄放期间,应对管节进行位移监测,检查管节和锚定块是否有漂移、起浮现象,并对管节周围回淤进行检查。
- 2) 漂浮寄放应量测寄放区基槽的尺寸与底标高。管节寄放期间,检查管节和锚定块是否有漂移现象、管节的干舷是否满足设计要求。

2 检验方法:流速仪、测深仪;管节和锚定块用水准仪、全站仪进行观测;回淤采用声呐扫测、双频测深结合测深水砣进行。

13.0.9 管节在浮运、下沉、对接的移动过程中,对管节的姿态应进行不间断的监测。

13.0.10 管节压载置换的监测应符合下列规定：

1 置换过程应对管节的姿态进行监测。

- 1) 测点设置应符合下列规定:管节的四个角点必须设置测点,按需要在适当部位增设测点。
- 2) 方法应符合表 13.0.10 的规定。

表 13.0.10 管内压载混凝土换填过程管节姿态允许偏差、检查数量和方法

序号	项 目		允许偏差(mm)	测 点	检查数量
1	管 节	水平位移	±20	四个角的 监测点	4
2		沉降	±20		4

2 检测方法:全站仪、水准仪。

13.0.11 对沉管段及衔接段的监测应不间断地进行,并及时将监测结果反馈给相关单位。

- 1 对沉管段及衔接段的监测应以既定的监测频率进行监测;
- 2 在锁定回填的全过程中,对管节姿态应进行实时监测;
- 3 在一般回填及覆盖回填的各施工阶段,对管节在工序前后进行监测;
- 4 应在管节混凝土压载置换的每道施工工序前后进行监测。

13.0.12 管节之间的结合部及管节与衔接段接合部的监测,应与管节监测同时进行。监测内容包括接合部两侧的相对位移变化、接合部止水带压缩量和止水带的变形。

13.0.13 监测信息应及时分析、处理、反馈,以确认或修正设计参数或施工方法。宜利用计算机实现量测数据采集实时化、数据处理自动化、数据输出标准化。

13.0.14 竣工文件应包括下列监测资料:

- 1 监测方案及对监控量测方案的补充、变更;
- 2 现场测点布置图及现场监测的说明;
- 3 按工程的监测要求,对工程的各分部分项、各阶段监测成果和监测的总结报告;
- 4 根据监测结果进行的设计及施工变更结果的反馈记录;
- 5 运营监测点应在施工期间埋设,运营期间沿用施工期间监测点时,竣工时应将施工监测资料一并移交给建设方指定的接收部门。

14 安全与环境保护

14.1 一般规定

14.1.1 沉管隧道施工应编制安全与环境保护专项方案。专项方案应包括下列内容：

- 1 工程概况、工程特点及自然条件；
 - 2 编制依据、包含总工期和关键节点、施工阶段划分、管节预制、浮运沉放周期、主要船机设备、总体施工流程、主要施工工艺等的施工计划安排；
 - 3 安全与环境保护专项方案方针、目标及指标；
 - 4 安全组织保障；
 - 5 管节舾装、基床铺设、管节出坞、管节浮运、管节系泊、管节沉放对接、管顶舾装件拆除、沉管回填、沉管最终接头等工艺流程危险源分析及相应解决措施，对关键的工序或环节应进行专项施工风险评估；
 - 6 通用安全技术措施、专项安全技术措施、各工序安全技术措施等安全技术措施；
 - 7 包括事故类型和危害程度分析、应急处置基本原则、组织机构及职责、预防与预警、信息报告程序、应急处置等内容的应急预案；
 - 8 包括专职安全生产管理人员配置的劳动力计划；
 - 9 管节浮运计算书。
- 14.1.2 作业前应对施工人员进行安全与环保技术交底。
- 14.1.3 管节内作业场所必须配备照明、通风、通信设备。
- 14.1.4 严禁水上水下作业人员靠近带劲缆绳。

14.2 安全技术措施

14.2.1 船舶电气作业应符合下列规定：

1 船舶保护接地应符合下列规定：

- 1) 电气设备的金属外壳均须进行保护接地；
- 2) 保护接地接触面应光洁平贴，直流接触电阻不应大于 0.02Ω ；
- 3) 电缆的所有金属护套或金属覆层应做连续的电气连接，并可靠接地；
- 4) 接地导体应采用铜或耐腐蚀的良导体制成，接地导体的截面积须符合船舶建造检验规范规定的要求。

2 船舶工作接地应符合下列规定：

- 1) 工作接地与保护接地不应共用接地装置；
- 2) 工作接地应接到船体永久结构或船体永久连接的基座或支架上；
- 3) 接地点位置应选择在便于检修、维护、不易受到机械损伤和油水浸渍的地方，且不应固定在船壳板上；
- 4) 平时不载流的工作接地线截面积应为载流导线截面积的一半，但不应小于 1.5mm^2 ，其性能与载流导线相同；
- 5) 工作接地的专用螺钉直径不应小于 6mm 。

3 船舶屏蔽接地应符合下列规定：

- 1) 露天甲板和非金属上层建筑内的电缆，应敷设在金属管内或采用金属屏蔽电缆；
- 2) 凡航行设备的电缆和进入无线电室的所有电缆均应连续屏蔽，与无线电室无关的电缆不应经过无线电室，若需经过时，应将电缆敷设在金属管道内，该管道进、出无线电室均应可靠接地；
- 3) 无线电室内的电气设备应有屏蔽接地措施；
- 4) 所有电气设备和滤波器的金属外壳、电缆的金属屏蔽护

套及敷设电缆的金属管道,均应可靠接地。

4 船舶主配电板及应急配电板的前后通道应铺垫绝缘橡胶垫,并保持完好。

5 船舶主配电板及应急配电箱均应有高压危险红色标志牌,其附近应摆放适合扑救电气火灾的灭火器。

6 应定期对船舶电气设备进行绝缘测量,绝缘值应符合规定值。对检修后的电气设备,应进行绝缘测量。

7 使用小型移动工具应安装接地线,并应在使用前检查电源线是否破损,禁止使用电源线有破损或局部裸露的电动工具。

8 手提式移动照明必须使用安全电压 36V 以下,不得使用自耦式变压器。

9 电瓶间及一些危险处所内不准堆放易燃易爆物品,须采用防爆安全型电气设备,并保持良好的通风,严禁烟火,严禁明火作业。

10 船舶电源线的连接,中间不应有接头,如有接头必须安装全水密盒并固定,应有良好的接地线。金属接线盒应良好接地。

11 泥浆泵、水泵等应安装独立的配电箱,每台泵应安装独立的自断空气开关(功率应相匹配)。

12 在维护和检查有大电容的电气装置时,应将电容器进行充分放电,必要时可短接后进行工作。

14.2.2 潜水作业应符合现行国家标准《空气潜水安全要求》GB 26123 和《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521 的有关规定。

14.2.3 潜水作业前应对潜水人员进行技术与安全交底。

14.2.4 进入受限空间作业安全应符合下列规定:

1 进入受限空间作业前,应针对作业内容对受限空间进行危害识别和风险评估,制订相应的作业程序及安全措施,明确作业负责人、作业人员和外部监护人员的职责;

2 进入受限空间作业应办理进入受限空间作业许可证,并应严格履行审批手续;

3 应严格执行无作业许可证不进入、安全措施不落实不进入、监护人不在场不进入的“三不进入”原则；

4 进入受限空间前 30min 应对气体取样分析，分析合格后才允许进入受限空间内作业，如进入受限空间内作业时间较长，至少每 2h 分析一次，如发现超标，应立即停止作业，迅速撤出人员；

5 应采取适当的通风措施，保持受限空间内空气良好流通，严禁向内充氧气，进入受限空间内的作业人员应安排轮换作业或休息；

6 进入受限空间作业应有足够的照明，应使用安全电压和安全行灯，所用灯具及电动工具应符合防潮、防爆要求；

7 在管节中应配备正压式空气呼吸器、应急手电等应急设备；

8 在受限空间内动火，必须检测氧气含量和可燃气体浓度是否符合要求，并在作业期间对气体情况进行连续监测，发现异常，立即停止作业，迅速撤出人员；

9 进入受限空间内作业时监护人员严禁离岗，并与进入受限空间内作业人员保持有效的联系，出现有人中毒、窒息的紧急情况，抢救人员必须佩戴隔离式防护器具进入受限空间，并至少有一人在外部做联络工作，禁止不具备条件的盲目施救，避免伤亡扩大；

10 在受限空间作业条件发生变化，并有可能危及作业人员安全时，必须立即撤出，若需要继续作业，必须重新办理进入受限空间内作业审批手续；

11 作业完工后，经施工人员、监护人与施工负责人共同检查受限空间内部，确认受限空间内无滞留人员和工具及杂物后，方可封闭离开。

14.2.5 通航保障安全应符合下列规定：

1 应编制海事警戒方案并经评审后与海事、港口、航道等部门统一规划禁航施工水域、通航监管水域、临时候泊锚地等，合理

设置警示、警戒、助(导)航设施,采取进出施工区监管水域报告制度,严禁超范围施工,跨区域、跨航道(航线)航行或锚泊;

2 应及时掌握施工区船舶动态以及气候、潮汐水文等与航行有关的信息;

3 应合理规划施工工期,选择自动化、智能化程度高的大型高效船舶参与作业,减少同时作业的船舶数量;

4 应建立船舶准入制度,参与作业的船舶的证照及安全、环保设施齐全,状态良好,船员证书齐全、适任,施工许可手续齐备,按海事部门要求安装船舶自动识别系统(AIS),并统一配置导航、通信设备;

5 施工船舶作业时,应按规定开启或悬挂号灯和号型;

6 施工船舶作业时,应执行《中华人民共和国海上交通安全法》,遵守《1972年国际海上避碰规则》及海事部门规定的其他航行规则;

7 管节浮运沉放必须在海事部门封航通告中规定的时间段内进行,管节浮运过程中应设专人对浮运船队进行统一指挥,船队前方应由海事部门安排海巡船清道引航,浮运警戒船在船队两侧警戒,测量船监测流速流向,辅助拖轮、锚艇全程护航。

14.2.6 不良天气影响情况下的安全应符合下列规定:

1 应设置专人每天收集气象、水文等信息,并通知作业船舶,对可能出现的不良天气提前做好安全防范措施;

2 突遇不良天气影响时,现场作业人员应立即停止作业,陆上人员撤至办公、生活区,船上人员应待在船舱内,不得上甲板,紧急情况需上甲板时,必须穿救生衣,采取腰系安全绳等措施,2人以上监护作业。

14.3 环境保护

14.3.1 应采取措施避免施工噪声、振动、水质、土壤污染和破坏河道及堤岸。

14.3.2 水下基槽开挖、水上渣泥运输及卸泥应符合下列环境保护规定：

1 应遵守有关环境保护的规定，减少施工作业对环境的不利影响；

2 抛泥土质、数量应事先向有关行政管理部门报告，申请倾倒废弃物许可证，征得同意方可施工；

3 应严格按照有关行政管理部门指定的卸泥区卸泥；

4 每艘卸泥驳船应认真做好卸泥区的情况记录，如发现有异常现象，应立即采取措施，并及时向有关部门反映。

14.3.3 管节基础处理形式应能满足水域环境保护要求，施工过程中应减少对水环境的污染。

14.3.4 施工船舶环境保护应符合下列规定：

1 施工船舶应服从统一指挥，按要求航行、避让，避免发生水上交通事故而造成环境污染；

2 施工过程中应密切监视可能出现的污染物泄漏现象，防止污染物扩散，船舶配备防油污设备，并定期检查；

3 船舶的油类或含油混合物、生活垃圾等应由有资质的单位按照有关规定接收和处理，不得直接排放。

14.3.5 对于水中珍贵动植物应编制专项保护方案。

15 验 收

15.0.1 开工前,施工单位应会同建设单位、质监单位、监理单位确认构成建设项目的单位(子单位)工程、分部(子分部)工程、分项工程和检验批,作为施工质量检验、验收的基础。各单位(子单位)工程和分部(子分部)工程相应的分项工程、检验批应按表 15.0.1-1 和表 15.0.1-2 执行。

表 15.0.1-1 沉 管 段
工程分部(子分部)工程、分项工程、检验批划分

序号	分部工程	子分部工程	分项工程	检 验 批	
1	地基与基础	天然地基	水下基槽开挖	每槽段	
		人工地基	地基处理	按地基处理模式分类	按地基处理模式分类
			堆载		每槽段
			换填		每槽段
		基础垫层	碎石基础(先铺法)		每槽段
			临时支座(后填法)		每个
			灌砂(后填法)		每管节
			清淤	地基面		每槽段(先铺法) 每管节(后填法)
		基础垫层面(先铺法)			每管节
		2	管节预制	主体结构	钢筋	每施工段
模板	每施工段				
混凝土	每施工段				
预埋件	每施工段				
端钢壳	每套				

续表 15.0.1-1

序号	分部工程	子分部工程	分项工程	检 验 批
2	管节预制	舾装	GINA 止水带	每道止水带
			端封墙	每墙
			压载系统	每管节
			拉合装置	每套
			鼻托或导向装置	每套
			系统装置	每管节
			吊点	每组
			测量塔	每座
			人孔井	每座
		防锚层	每管节	
	外防水工程	外防水	每管节	
3	管节安装	寄放	寄放	每管节
		浮运	浮运	每管节
		定位系泊	定位系泊	每管节
		管节安装	管节下沉	每管节
			管节平移	每管节
			千斤顶拉合	每管节
			水力压接	每管节
		压载置换	现浇混凝土	每管节
		回填	锁定回填	每管节
			一般回填	每回填段
			覆盖回填	每回填段
		防锚层	防锚块	每施工段
		管节接头	OMEGA 止水带	每道止水带
			钢剪力键	每管节接头
钢筋混凝土剪力键	每管节接头			
PC 锚索、波形钢板	每管节接头			

续表 15.0.1-1

序号	分部工程	子分部工程	分项工程	检 验 批
3	管节安装	最终接头	支撑梁	每道梁
			模板	全数
			钢筋	全数
			混凝土	全数
4	附属工程	道路、排水、消防、交通、照明、通风、装修、监测、通信、弱电等工程,按相应的国家现行专业工程检验标准执行		

注:1 清淤工作在回淤超出设计要求时才发生。

2 OMEGA 止水带安装后,尚应进行闭水试验。

表 15.0.1-2 岸 上 段

工程分部(子分部)工程、分项工程、检验批划分

序号	分部工程	子分部工程	分项工程	检 验 批
1	衔接段	基坑	基坑支护	按支护类别分,详见注 1
		主体结构	钢筋	每施工段
			模板	每施工段
			混凝土	每施工段
			预埋件	每施工段
			外防水	每施工段
2	固定干坞	坞底	地基处理	详见注 2
			道路	详见注 3
			给排水	—
			设备基础	全数
			预制台座	全数
		坞墙	基础	详见注 4
			坝体	详见注 4
			坞口	详见注 4
		坞门	坞口	详见注 4
			坞门	详见注 4
3	移动干坞	移动干坞	预制场平面	管节预制每工序后
			量测基点	管节预制每工序后

续表 15.0.1-2

序号	分部工程	子分部工程	分项工程	检 验 批
4	护岸工程	基础	(按基础类别分)	—
		堤身	(按堤身类别分)	—
		护面	护脚	—
			(斜坡式护岸) 护坡	—
			护顶	—
5	附属工程	道路、排水、消防、交通、照明、通风、装修、监测、通信、弱电等工程,按相应的国家现行专业工程检验标准执行。		

注:1 固定干坞基坑开挖与支护应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

2 固定干坞坞底地基处理应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定。

3 固定干坞坞底道路应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

4 钢筋混凝土沉箱式坞门应符合现行行业标准《港口及航道护岸工程设计与施工规范》JTJ 300 的规定。

15.0.2 工程施工质量过程检验、验收应符合下列规定:

- 1 工程施工应满足工程勘察、设计文件的要求;
- 2 工程施工质量应符合本规范和相关专业验收规范的规定;
- 3 工程质量的验收均应在施工单位自行检验评定的基础上进行;
- 4 工程采用的主要材料、半成品、成品、构配件、器具和设备应按相关专业质量标准进行进场前检验和使用前复验,现场验收和复验结果应符合要求并经监理单位检查确认;
- 5 施工单位对涉及结构安全的试块、试件和现场检测项目的检测结果,应与监理单位进行平行见证取样、检测结果比对,并应符合要求;
- 6 隐蔽工程在隐蔽前,应由施工单位通知监理单位和相关单

位进行隐蔽验收,确认后合格,形成隐蔽验收文件;

7 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收;

8 对涉及结构安全和使用功能的分部工程进行抽样检测;

9 承担见证取样检测及有关结构安全检测的单位应具有相应资质;

10 承担检测或复验的单位应为具有相应资质的独立第三方,同时,施工检测不得与监理复验送检单位为同一家检测单位;

11 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

15.0.3 工程竣工验收内容应符合下列规定:

主控项目

1 无结构性裂缝。温差裂缝应按设计要求进行处理。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察检验,检查施工日志,超声波扫描。

2 隧道中轴线平面偏差、高程偏差应满足设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:全站仪、水准仪。

3 单位工程所含分部工程有关安全和功能的检测资料应完整。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查工程组卷资料,按规定进行工程实体或对相关资料抽查。

一般项目

4 管节之间的错台应符合要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:水准仪、全站仪。

5 隧道表面应平整。

检查数量:全数检查。

检验方法:钢尺。

6 隧道内预留孔洞的位置及孔洞尺寸应符合要求。

检查数量:全数检查。

检验方法：钢尺。

15.0.4 隧道总体几何尺寸应符合表 15.0.4 的规定。

表 15.0.4 隧道总体几何尺寸

项目	中轴线水平规定 值或允许偏差 (交工时)(mm)	路面设计高程 规定值或允许偏差 (交工时)(mm)	净高	净宽	长度 (mm)
衔接段	±20	±20	不小于设计	不小于设计	±20
沉管段	±50	±20	不小于设计	不小于设计	±20

15.0.5 隧道工程竣工验收时,施工单位应提供下列文件及资料:

- 1 工程竣工报告;
- 2 工程质量检验评定资料;
- 3 隧道竣工图及其他文件(隐蔽工程检查证);
- 4 变更设计文件;
- 5 各种控制标点的位置与贯通测量成果;
- 6 工程材料试验和工程试件的质量鉴定、试验报告单;
- 7 重大质量事故处理记录;
- 8 书面总结。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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”。

引用标准名录

- 《工程测量规范》GB 50026
- 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 《内河通航标准》GB 50139
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《地下防水工程质量验收规范》GB 50208
- 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 《复合地基技术规范》GB/T 50783
- 《爆破安全规程》GB 6722
- 《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521
- 《空气潜水安全要求》GB 26123
- 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152
- 《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311
- 《港口及航道护岸工程设计与施工规范》JTJ 300
- 《港口工程荷载规范》JTS 144—1
- 《板桩码头设计与施工规范》JTS 167—3
- 《港口工程桩基规范》JTS 167—4

《水运工程爆破技术规范》JTS 204
《疏浚与吹填工程施工规范》JTS 207
《水运工程质量检验标准》JTS 257

中华人民共和国国家标准

沉管法隧道施工与质量验收规范

GB 51201 - 2016

条文说明

制 订 说 明

《沉管法隧道施工与质量验收规范》GB 51201—2016 经住房和城乡建设部 2016 年 10 月 25 日第 1334 号公告批准发布。

本规范制订过程中,编制组进行了认真细致的调查研究,总结了我国沉管法隧道施工与质量验收实践经验,同时参考了国内外先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《沉管法隧道施工与质量验收规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(87)
3	基本规定	(88)
4	施工准备	(89)
4.1	一般规定	(89)
4.2	前期调查	(90)
4.3	技术准备	(90)
4.4	设备、设施准备	(90)
4.5	施工场地与临时工程	(90)
5	施工测量	(91)
5.1	一般规定	(91)
5.2	控制测量	(91)
5.3	对接测量	(91)
5.4	竣工测量	(92)
6	干 坞	(93)
6.1	一般规定	(93)
6.2	固定干坞	(94)
6.3	移动干坞	(95)
6.4	检验标准	(96)
7	管节制作	(97)
7.1	一般规定	(97)
7.2	混凝土性能	(97)
7.3	管节预制	(98)
7.4	金属构件及预埋件安装	(98)
7.5	检验标准	(99)
8	基槽开挖与回填覆盖	(100)

8.1	一般规定	·····	(100)
8.2	船机选择	·····	(101)
8.3	水下开挖	·····	(101)
8.4	基槽清淤	·····	(102)
8.5	回填覆盖	·····	(102)
8.6	检验标准	·····	(103)
9	管节地基与基础垫层施工	·····	(104)
9.3	人工地基与桩基础	·····	(104)
9.4	基础垫层	·····	(104)
10	管节安装	·····	(106)
10.1	一般规定	·····	(106)
10.2	舾装	·····	(108)
10.3	浮运前准备工作	·····	(109)
10.4	浮运	·····	(110)
10.5	寄放	·····	(112)
10.6	沉放	·····	(112)
10.7	对接	·····	(116)
11	接头处理	·····	(118)
11.1	一般规定	·····	(118)
11.2	管节接头	·····	(119)
11.3	最终接头	·····	(121)
12	衔接段	·····	(123)
12.1	一般规定	·····	(123)
12.2	护岸工程	·····	(123)
12.3	围堰工程	·····	(124)
12.4	衔接段隧道结构	·····	(125)
13	监测	·····	(127)
14	安全与环境保护	·····	(129)
14.1	一般规定	·····	(129)
14.2	安全技术措施	·····	(129)
15	验收	·····	(131)

1 总 则

1.0.1 沉管法是指在干坞内或大型移动干坞船上先预制管节,再浮运到指定位置下沉对接固定,进而建成过江隧道或水下构筑物的施工方法。采用沉管法施工的隧道简称为沉管隧道。鉴于目前国内外尚未有完整的关于沉管法隧道施工方面的技术规程,加之沉管法隧道施工技术难度大、要求高,为规范该工法施工技术与质量验收标准,制定本规范。

1.0.2 适用于市政、公路、轨道交通等采用沉管法施工的隧道工程,一般采用钢筋混凝土矩形结构。

3 基本规定

3.0.2 为控制混凝土的性能,建议设立专业混凝土搅拌站。

3.0.7 沉管隧道施工前应完成设计交底,作业前应向作业人员进行安全与技术交底,并形成文件。

4 施工准备

4.1 一般规定

4.1.1 沉管隧道施工涉及隧道、结构、港工、疏浚、航道航运、机械、测量、电子与电气等多个专业领域,系统性强,需要全面掌握地质、水文气象、航道、通航及施工图设计文件等资料,应深刻理解影响施工的各种制约因素,如地质、水文窗口、气象窗口、工期、管节类型与结构,制定技术可靠、施工安全、经济合理、环境友好的施工方案。

4.1.2 由于工程地质的不确定性、水文气象条件的变化,在沉管隧道施工图通过评审后,还必须根据实际揭露的地质状况和测试的水文参数等情况,对已沉和待沉管节等建(构)筑物进行施工监测,通过反馈分析实现信息化施工和动态设计。

4.1.3 满足设计要求的管节预制方式有多种选择,需要对坞址、干坞规模、地基与基础处理、浮运、沉放与对接方法、技术与设备等充分比选,统筹择优确定。

4.1.4 隧道施工所采用的各类材料以及各类产品应符合国家现行标准和设计要求。由于沉管隧道管节接头、施工段与施工段接头防水的重要性的特殊要求,对于橡胶止水带(如GINA、OMEGA)、可注浆钢边止水带等产品的采购必须提供产品合格证和质量检验证书。必要时可参照有关规定和设计要求进行抽检。

4.1.7 堤(护)岸拆除与重建可采用钢板桩、钢管桩、钻孔灌注桩、水泥土重力式挡墙、连续墙及格栅(格构)连续墙等形式,应根据工程具体情况、当地经验、工期等要求综合选定。特别应注意拆除原护岸、修建新护岸时与两端护岸要有效衔接,做到施工期间稳定、竣工后安全可靠。护岸拆除与重建方案应经过有关部门批准后才能施工。

4.2 前期调查

4.2.1~4.2.5 为防止由于各种原因导致的工程场地出现与设计图不符,施工开始前应对场地环境进行现场调查、逐一核对,为制订切实可行的施工组织方案提供足够依据。

4.3 技术准备

4.3.1~4.3.5 由于沉管隧道施工的特殊性和窗口条件的苛刻性,沉管隧道施工前根据工程特点、规模、地形地貌、地质、水文、气象、航道航运、岸壁护岸、生态环境保护等要求开展设计交底、设计交桩、工程坐标复测等是必要的。目的是编制符合工程状况、切实可行、高效合理的具有可操作性的施工组织设计。

由于水上施工涉及各类船舶,设备众多,有时还需开发专用设备,需要对现场作业人员进行安全培训,确保安全操作。

4.4 设备、设施准备

4.4.1~4.4.3 沉管隧道施工使用的各类型设备多,根据工程特点和规模可能有起重船、挖泥船、炸礁船、清淤船、运泥船、整平船、砂流船、挤密砂桩船、打桩船、拖轮、安装船、测量塔、管节预制模板以及相应的配套设备。

沉管隧道施工组织设计通过评审确定后,应根据其功能和工程进度计划要求开展各类船机定型、定船以及特种船机采购、设计、制造、技改和整机调试,确保其功能、精度、工效、使用环境等能够满足设计和施工要求。

4.5 施工场地与临时工程

4.5.2、4.5.3 沉管隧道施工场地与临时工程规模一般比较大,其布置与实施将直接影响到施工效率,故重点提出要求。

寄放区的设置应采取有效安全措施,与航道保持一定安全距离,保障过往船舶的通航安全。

5 施工测量

5.1 一般规定

5.1.2 宽阔水域隧道工程的施工测量宜采用 GPS 测量,且宜在水域建立专门的测量平台。

5.1.3 施工过程中,应对控制网(点)进行不定期的检查和定期复测,定期复测周期不应超过 6 个月,当发现桩位发生变化时,应立即进行局部或全面复测。

5.2 控制测量

5.2.1、5.2.2 平面控制测量精度、平面控制测量等级、隧道轴线相对中误差、高程控制测量等级等均采用现行行业标准《公路勘测规范》JTG C10 标准。

5.2.3 首级网和首级加密网宜由勘测设计单位布设,一级加密网和二级加密网宜由施工单位布设。

5.3 对接测量

5.3.2 对接测量控制过程应按下列步骤进行:

(1)在江(河)两岸分别架设一台全站仪,主要观测管节两测量塔轴线、标高;

(2)在沉放对接过程中两台全站仪相互校核,确保测量提供数据的准确性;

(3)管节对接测量应保证岸上全站仪在对接施工中持续取得测量数据并与水下潜水员所测数据相互验证;

(4)对接测量过程应由水下工作配合,配合工作内容包括潜水员反馈数据或水下摄像机反映管节相对位置。

5.3.4 对管节尾部定位点的轴线、里程和标高进行测量,管节对接完成后可通过检查管内两侧连通管水位高度或管内侧倾仪等数据判定管节横倾。

对接后如果对接管节存在高程偏差及横倾,须采取措施(如利用管节两个垂直千斤顶)进行调整消除横倾。通过管内高程及横倾观测数据进行管节调整,直至达到要求为止。在调整过程中应持续测量。

5.3.6 管节对接采用 GPS-RTK 实时动态测量系统测量以及超声波探测装置的应用,可减小现场施工人员的作业强度,减少施工风险,降低作业成本。

5.3.7 检测结果通过计算机处理后显示出的图像作为监控管节沉放对接的根据。最后对接时,还需潜水员多次的检查,确认位置正确,保证沉放安全、成功。

5.4 竣工测量

5.4.2 在竣工测量后,应在各管节侧墙设置永久观测点,各管节管头、管尾侧墙各设两个,并应在隧道边墙上画出标志,做好观测点移交工作。

6 干 坞

6.1 一 般 规 定

6.1.1 干坞按照是否移动分为固定干坞和移动干坞,而固定干坞按照是否利用隧道轴线暗埋段基坑又分为独立干坞与轴线干坞。进行标准化、流水作业式管节生产的固定干坞称为工厂化干坞,厄勒海峡、港珠澳大桥管节预制采用了工厂化干坞,采用工厂化干坞有利于集约生产,节约用地。移动干坞是利用移动干坞作为管节预制平台,选择合适的码头作为管节预制的施工场地,管节预制完成后可根据水深由移动干坞托运至隧址附近的下潜港池,管节在下潜港池内完成试漏后与移动干坞脱离并绞移至隧道附近的寄放区,在寄放区内完成二次舾装后,再绞移至隧址沉放、对接。

独立干坞是在隧道轴线以外选择合适的位置建造干坞。独立干坞优点是岸上段结构、管节制作以及基槽开挖等关键性的工序都可以实现并行作业,从而可以最大限度地节省工期。独立干坞的缺点是因单独选址进行深大基坑开挖支护,且有施工坞口岸壁保护结构,导致工程造价高。

轴线干坞是将干坞布置在隧道轴线岸上段主体结构位置。轴线干坞具有以下优点:

(1)将干坞与隧道岸上段相结合,减少了施工场地的占用,同时岸上段和干坞共用了一部分基坑开挖和支护,可以减少一部分工程费用;

(2)管节从坞内拖出后,直接沿隧道纵向浮运,减少了航道疏浚费用。

轴线干坞具有以下缺点:

(1)由于干坞和岸上段主体结构位置重合,沉管管节与岸上段无法并行作业,将导致工期增加;

(2)该方案管节沉放只能从一端往另一端进行,与两端往中间对称沉放方案相比,将增加管节的沉放工期;

(3)采用水下接头时,轴线干坞需要修建管节寄放区系泊预制管节,增加浮运航道疏浚及寄放区建设费用。

6.1.2 干坞选址距隧道位置较近及具备浮运条件,主要是为了方便管节浮运和缩短运距。干坞场地地基承载力和沉降应满足设计要求,否则应采取加固措施,同时要有利于干坞挡土围闭(或放坡)及防渗工程实施,尽量缩短工期和降低造价。

6.1.3 干坞规模应根据沉管隧道长度或管节数量、管节长度和断面尺寸、坞址条件、管节施工流程、施工工艺、施工工期等因素综合确定。预制管节的附属设施包括干坞顶部道路,粗细骨料等材料堆放场地(包括遮阳设施),水泥仓库,混凝土搅拌站,混凝土输送设备,码头、钢筋加工场,起吊设备,施工用电设备,管节在干坞内起浮后的系泊设备。

6.2 固定干坞

6.2.5 坞底处理包括管节预制区和坞底道路区两部分。坞底为土层时,管节预制区基底处理一般分为4层,包括底基层、倒滤层、封闭层及起浮层。坞底道路区基底处理比较简单,包括底基稳定倒滤层及钢筋混凝土路面层。坞底为岩层时,管节预制区和坞底道路区可依据设计要求一并实施。土质基底最后300mm厚土体应分区、分块人工修挖,以减轻机械挖土对基底土体的扰动,影响坞底土体承载力。

6.2.7 钢筋混凝土沉箱式坞门在独立干坞中应用较多,常用于多节管节预制的干坞。主要原理是把坞门做成空腔式的钢筋混凝土沉箱结构,坞门关闭时,把沉箱水注满下沉,坞门打开时,沉箱内水排出,然后浮出水面。特点是能重复利用,施工造价高,每次管节

出坞后,需要进行沉箱防水的检查与维修工作。

钢板插拔坞门常用于多管节预制的干坞。此结构实际施工中应用比较少,因为风险性高,一是受水压力的影响,打开与关闭不易;二是钢板插板门较大,处于水中易锈蚀。但是此种结构优点是制作与施工简单,采用钢结构一次性焊接完成,并整体安装到位。

钢管桩坞门结构在轴线干坞及一次性浮运沉放的干坞应用普遍。主要原理是利用干坞的岸壁保护结构与锁口钢管桩连接,共同组成干坞的坞口围护结构,同时在钢管桩外侧进行止水帷幕施工,大大提高了坞口的防渗水功能。此种结构特点是施工简单、风险性低、造价较低,但不能重复利用,拆除比较困难。

6.2.13 干坞内放排水应严格按照设计要求实施,主要保障干坞安全以及管节能正常起浮和浮运。

6.3 移动干坞

6.3.1~6.3.5 依据管节制作几何尺寸、数量、重量等对移动干坞提出具体要求。移动干坞具有以下优点:

(1)节省固定干坞本身的建造时间(一般的固定干坞都需要半年左右的建造工期),可以直接进行管节预制,有利于节省工期;

(2)在移动干坞上进行管节的预制,可以节省岸上施工场地;

(3)管节预制完成后,可以通过移动干坞运载管节到隧址附近,移动干坞托航吃水深度比管节浮运吃水深度小,可以节省航道疏浚费用,降低工程造价。

移动干坞的缺点是:

(1)当沉管节规模较小、节数不多(一般不多于4节)时,移动干坞在造价上具有一定的优势,但是当沉管节规模较大、节数较多时,其造价优势不复存在;

(2)移动干坞下潜点自然水深应满足能够注水下潜使船面下

潜卸除管节要求,必要时需专门浚挖一个下潜港池,以满足下潜要求。

6.4 检验标准

6.4.1 固定干坞坞底预制区控制沉降差变形主要是为保证管节预制精度要求。

7 管节制作

7.1 一般规定

7.1.1 管节长度宜取 80m~120m,施工段长度宜取 15m~25m。沉管隧道采用钢筋混凝土结构,设计采用结构自防水形式。根据目前施工工艺水平,设置施工段的长度,确保混凝土结构裂缝可控。

7.1.2 每个施工段的预制,需结合具体的施工技术方案确定,可选择一次浇筑或分次浇筑成型。开展混凝土配合比、小尺寸或足尺模型等试验,确定合适的施工工艺。

7.1.3 为确保管节预制完成后能够顺利起浮,对各类原材料进行严格管理和控制,确保生产完成后的管节容重与设计容重相当。

7.1.4 为确保起浮,需严格控制管节几何尺寸和钢筋用量,除需按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定进行外,特殊要求参见本规范第 7.3.3 条。

7.1.5 施工缝除需按现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的有关规定进行外,特殊要求参见本规范第 7.3.4 条。

7.1.6 钢结构及其预埋件包含配合沉放施工所需的各类舾装件,沉放施工精度和安全要求除需按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定进行外,特殊要求参见本规范第 7.4 节。

7.2 混凝土性能

7.2.1 为控制混凝土比重,砂、石等主要原材料应定点供应。

7.2.2 一般应进行水泥水化热、水泥干缩、混凝土收缩、混凝土温

升等试验。

7.2.3 混凝土重度对管节浮运、沉放影响重大,应予以严格控制。具体措施为:一是计量衡器器械的标定和检验认可;二是在施工计量实施中由试验人员不定时地进行核对修正,从而保证实际的重度控制在允许范围内。

7.3 管节预制

7.3.1 分节浇筑的顺序根据施工工艺条件调整,可分次进行或一次性整体浇筑。宜采用风冷、加冰等措施降低混凝土原材料温度,从而降低混凝土入模温度,混凝土入模温度不应低于 5°C ,不应超过 30°C 。在管节养护过程中,应对管节内表温差和降温速率进行检测,混凝土中心温度与表面温度温差不应大于 25°C ,混凝土表面温度与大气温度温差不应大于 20°C ,混凝土中心温度降温梯度不应大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$,当实测结果不满足温控指标的要求时,应调整养护措施。

7.3.2 钢筋机械连接或焊接连接应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18等的有关规定。钢筋绑扎前应清点数量、类型、型号、直径,清理结构内杂物,调直施工缝部位的钢筋,检查结构位置、高程和模板支立情况,满足控制要求后方可进行绑扎。绑扎或焊接的钢筋网和钢筋骨架不应有变形、松脱和开焊。施工缝主筋和分布筋不得触及止水带。

受力钢筋应平直,表面不应有裂纹、裂皮、油污及其他损伤,钢筋的弯折和末端弯钩须满足规范要求,标准强度 400MPa 以上的钢筋不允许重复弯曲或经弯曲后矫直使用。

7.4 金属构件及预埋件安装

7.4.1 管节结构和沉放用金属构件及预埋件主要有端钢壳、端封墙、压载水箱、人孔、测量塔、导向装置、拉合千斤顶、垂直千斤顶、系缆柱、吊耳等,需满足本节规定的要求。

7.4.2 面板安装时可根据本体的实际位置进行调整,确保满足对接精度要求。

7.4.3 压载水箱除钢框架、木板、防水膜组合结构等,还包括进、排水管路,水位监测等控制系统。

7.4.4 在水力压接过程中,垂直千斤顶在支持块表面滑动,对推杆的长度、硬度、安装的精度和水密性有特殊要求。

7.4.6 待管节整体安装就位满足抗浮要求后,方能进行鼻托和导向装置(图 1)的拆卸。



图 1 鼻托和导向装置

7.5 检验标准

7.5.2 管节预制应在充分论证和开展针对性试验的基础上,通过控制混凝土级配和优化浇筑工艺等施工措施,严格控制施工裂缝的产生。

端钢壳的整体尺寸较大,通常情况下都是采取在厂内分段预制,分段运到管节预制场后拼接成整体。

为确保能够顺利起浮和干舷控制,外包尺寸采用正公差,内部尺寸采用负公差。

8 基槽开挖与回填覆盖

8.1 一般规定

8.1.1 针对地质、水文、周边情况的核查,必要时应进行专门研究。基槽开挖主要有爆破、凿岩、挖泥等方法。水下爆破一般多采用钻孔爆破法,用于清除水下硬质岩层,凿岩作业适合于强风化至中风化页岩或砂岩的地质状况,挖泥适用于开挖土层或强风化岩层。

8.1.2 沉管隧道施工涉及水域范围水上通航安全,应编制专项水上交通疏解、警戒或封航方案。

8.1.7 为确保基槽水下边坡稳定,禁止在基槽顶部以外 20m 范围增加荷载。本条为强制性条文,必须严格执行。

8.1.10 本条规定对受施工影响的临近建(构)筑物、管线进行保护和监测。

8.1.12 本条明确选择设备与施工人员应满足的要求:

(1)施工设备、主要配套设备和辅助系统安装完成后,应经试运行及安全性检验,合格后方可作业。

(2)操作人员应经过培训,掌握设备操作要领,熟悉施工方法、各项技术参数,考试合格后方可上岗。

(3)施工设备以及辅助系统应满足施工技术要求和安全、文明施工要求。

(4)采用其中起重设备或垂直运输系统时,应符合下列规定:

- 1)起重设备必须经过起重荷载计算;
- 2)使用前应按有关规定进行检查验收,合格后方可使用;
- 3)严禁超负荷使用;

4)所有设备、装置在使用中应按规定定期检查、维修和保养。

8.1.13 爆破专项方案中应计算爆破冲击波超压值,确定爆破地震、水中冲击波和个别飞散物的安全允许距离,并采取措施减弱爆破引起的水中冲击波和地震效应。

8.2 船机选择

8.2.1~8.2.4 本节规定了水下挖掘、水下爆破、回填覆盖对设备的要求。

8.3 水下开挖

8.3.1 本条明确了水下挖泥施工方案、水下凿岩施工方案、水下爆破施工方案应包括的内容。

水下凿岩施工方法的选择应根据工程设计要求、工程水文地质条件、周围环境和现场条件,经技术经济比较后确定并应符合下列规定:

(1)应根据岩层的岩性、厚度、风化程度、凿岩工程量和工期进度要求选定凿岩船;

(2)应根据地质勘察资料、土质分布及施工经验数据选择凿岩棒,14级以内可塑风化岩应采用12t~16t的带齿或楔状凿岩棒;14级~15级风化岩应采用40t左右的笔状凿岩棒。

8.3.3 本条对水下挖泥、凿岩、爆破、清礁工艺进行规定。

水下凿岩应严格按照计划的凿岩布点间距开凿,防止因凿岩点位置发生较大偏移造成实际凿岩点不均匀,使部分区域岩石没有破碎而直接影响到下一步破岩和清礁效果,并且容易造成抓斗损坏。

凿岩后应进行硬扫床或多波束检测,发现局部浅点应及时消除。水下较薄的岩层宜一次性爆破,厚度超过5m岩层应分层爆破清除。水下裸露爆破应符合现行行业标准《水运工程爆破技术

规范》JTS 204 的规定。

8.4 基槽清淤

8.4.1 基槽底清淤有设计要求时,按设计执行,无要求时,按本条执行。

8.5 回填覆盖

8.5.1 沉管管节的回填分为:锁定回填、一般回填、覆盖回填。覆盖回填也叫护顶回填或护面回填。锁定回填与覆盖回填之间的回填统称为一般回填。锁定回填非常关键,锁定回填,要求在判定已沉管节的对接达到了设计要求后尽快实施并完成,以确保已沉管节在横向的稳定。锁定回填必须按设计要求在沉管两侧对称、均匀地沿管节纵轴向进行,因为锁定回填时,安装船已经按安装工序要求撤离,管节的横向稳定是靠管节的负浮力对基础面的静摩擦力或垂直千斤顶对临时支座面产生的静摩擦力,考虑到基础沉降的均匀性,此时管节的负浮力不可能太大,静摩擦力也就不可能太大,如果管节两侧的回填差异太大,就有可能使管节两侧的压力差太大而造成管节的横移。

管节侧面回填及顶部覆盖应分层、对称、均匀进行,防止管节两侧因受力不均产生侧移。锁定回填施工过程中两侧回填高差不超过 1m,一般回填施工过程中两侧回填高差不宜超过 2m。全面回填工作不应影响相邻管节施工。采用喷砂法基础处理或采用临时支座时,应在管节基础处理完,落到基床上再回填。采用灌浆法基础处理时,宜先对管节两侧回填。

8.5.2 管节两侧、底层回填料宜采用砾石,管节顶层回填料宜采用原开挖砂土或海砂,管顶防锚保护层回填料宜采用片石,回填指标应符合设计要求。采用砂、砾石、原开挖砂土作为回填料主要避免伤及管节外防水及管节结构。

8.6 检验标准

8.6.1 基槽底宽度一般为管节最大外侧宽度加上两侧预留量,每侧预留量一般在 1.5m 左右,如采用管节外喷砂基础处理时,预留量可适当加大。基槽底部标高应为隧道结构底部标高减去基础处理所需要的高度,并应考虑水力学因素(潮汐、淤积、冲刷等)的影响。基槽底部的精度一般为 -500mm , $+0\text{mm}$,具体指标宜根据工程重要性及环境条件等综合确定。

8.6.2 基槽回淤厚度清除标准对于垫层先铺法施工采用港珠澳大桥沉管清淤指标,要求回淤厚度大于 10cm 时清淤;而对于垫层后填法施工采用现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》JTS 167—2—2009 第 8.2.2 条的规定,回淤厚度达到 30cm 时清淤。

9 管节地基与基础垫层施工

9.3 人工地基与桩基础

9.3.5 本条对沉管隧道预制桩基础施工进行了规定。宁波常洪隧道是国内第一条采用预制桩基础的沉管隧道,根据设计要求管段沉放到位后,囊袋及垂直千斤顶位置与方桩及支撑钢桩一一对应,桩基施工难点为桩平面位置及桩顶标高控制。现场施工沉桩质量要求控制如下:桩沿管段轴向偏差为 $\pm 10\text{cm}$,沿管段横向偏差为 $\pm 15\text{cm}$,桩顶标高为 $0\text{cm}\sim -5\text{cm}$,桩身垂直度偏差为 $1/400$ (规范为 1%)。施工后预制桩平面偏位情况除48C桩横向偏位(垂直于管段轴向)达 13cm 外,其余均满足控制要求,合格率为 99% ;桩顶标高除15A和5A为 -5.7cm 和 -7.7cm 外,其余均满足质量控制要求,合格率为 98% ;桩身垂直度偏差情况在 $1/700\sim 1/500$ 之间,优于 $1/400$ (规范为 1%)的质量控制要求,合格率为 100% 。

6 本款规定预制桩与管节的接触构造施工应满足设计要求。查阅有关文献,目前已采用过的预制桩与管节的接触构造有:

- (1)在预制桩顶面与管节底面之间设置囊袋,管节沉放后向囊袋中灌注高强砂浆或细石混凝土;
- (2)在预制桩顶铺设碎石垫层后沉放管节;
- (3)将桩预制成桩头与桩身两部分,沉桩后利用桩头与桩身之间的注浆等装置顶升桩头,使之与管节接触。

9.4 基础垫层

9.4.2 沉管隧道垫层处理方法按管节沉放先后分为先铺法和后填法两类。其中后填法包括砂流法、喷砂法、压浆法等。

9.4.4 喷砂法的喷砂管从沉放到位的管节两侧伸入到管节与地基之间,通过喷砂管把砂水混合填料喷入沉管管节底部和基槽之间的空隙中去。在喷砂管的两侧设有回吸管,使水在管节底部形成一个规则的流动场,从而使砂有规划地分布、沉淀。在喷砂作业前,可以利用喷砂设备逆向作业系统进行清淤。喷砂台架通常体积庞大,占用航道。喷砂法对砂粒径要求较严。

9.4.5 砂流法是在管节沉放完毕后,利用管节上预留的砂流孔,向管节底部灌填砂水混合物(有时掺水泥熟料)形成基础垫层,并对冲击坑、砂流槽、压砂孔采用灌浆等方法进行充填。

9.4.6 压浆法的混合砂浆由水泥、膨润土、砂和缓凝剂配成。强度不应低于原地基强度。压浆材料也可用低标号、高流动性的细石子混凝土。压浆压力一般比水压大 $0.1\text{MPa}\sim 0.2\text{MPa}$ 。优点是避免垫层液化,提高地基承载力。缺点是成本高,工艺复杂。

9.4.7 先铺法也称刮铺法,是在管节沉放前用刮铺船或整平架上的刮板在基槽底整平铺垫材料(如粗砂、碎石或砂砾石)作为管节基础。先铺法常采用刮铺法。

利用导轨刮平垫层时,如果基底土为软弱地层,应打短桩调平导轨。刮铺法的优点是垫层质量可控,缺点是设备复杂,水下作业时间长,对航道有影响,工艺繁杂。

10 管节安装

10.1 一般规定

I 浮运

10.1.3 为了保证管节浮运、沉放、对接顺利进行,施工前必须收集有关的基础资料,包括:

(1)管节沉放期间的天气预报:天气(晴天、阴天或雨天)、风向、风力、风速、温度、相对湿度等;

(2)水文资料:历史最高水位、最低水位以及推算的设计基准期内的最高潮位、最低潮位;

(3)水流流速:涨急最大断面流速、最小断面流速、平均断面流速以及落急最大断面流速、最小断面流速、平均断面流速;

(4)涨急平均流向;

(5)隧址处的水重度。

管节浮运应尽量选择的风平浪静的气象条件下,以降低波浪对管节浮运的影响。浮运前在管节两端设置端封墙,向其中注入一定量的水进行调平,并安装必要的附属设施,包括系缆柱、缆绳导轮等。

10.1.4 由于管节体积巨大、重量大、惯性大,浮运时其底部或侧面可能会遇到障碍物,造成事故。为杜绝事故发生,必须调查航道条件,清除浮运路线上的障碍物。本条为强制性条文,必须严格执行。

10.1.6 管节自重(含舳装件)与浮力的比值称为抗浮系数。管节下沉前的抗浮系数小于1,即管节在浮运及下沉前是靠自身的浮力浮于水面的,管节是“自浮”的,但有些工程(例如港珠澳大桥)的管节在浮运时抗浮系数大于1,是靠安装船吊住浮于水面,即管节是“吊浮”的。但是浮运过程中,必须满足竖向力平衡和力矩平衡

两个条件。

10.1.7 为保障浮运安全,管节浮运前干舷值应在 100mm~250mm 间取值,这一取值范围是根据大量施工经验和有关计算结果确定的。

10.1.10 管节内部的各项设施包括水泵、闸阀、压舱水箱、管路系统、垂直千斤顶、油压系统、通信联络系统、测量定位系统及远程监测系统。管节外部的各项设施包括止水带、管面舾装件等。

II 沉放对接

10.1.16 管节对接过程包括以下步骤:

(1)当管节前端与暗埋段(或已沉管节)距离 5m,轴线位置正对时,则停止调整并把缆绳收紧。随后向管内压载水箱注水,当注水重量大于管节浮力时管节会慢慢下沉。测量员对管节进行观测,并报告给指挥员指挥吊缆将管节缓慢放沉。其后将管节的纵向调至设计坡度,同时调整管节轴线,管节慢慢往前移。

(2)当管节前端距已沉管节(或暗埋段)2m,沉管底部与已沉管节(或暗埋段)顶面高度为 1m 时,潜水员下水检查两管节间距和高度是否与测量员所测数据吻合,如果不吻合,则测量员应对有关数据计算复核,检查仪器数据输入或操作过程是否有误。潜水员继续量度相关尺寸,直至测量结果与潜水员量度尺寸吻合为止。之后重复上一个动作,管节继续下沉和前移并调整轴线。

(3)当管节前端与已沉管节(或暗埋段)之间还有 1.5m,沉管底离基槽面高度还有 1m 时,潜水员检查接头情况,并清除接头垃圾杂物,清除完毕后,总指挥根据测量员所测数据继续指挥管节慢慢前移,测量员不断对管节的里程、轴线、标高进行观测。

(4)当管节 GINA 止水带与已沉管节(或暗埋段)距离 400mm、高度 300mm 时,潜水员应检查管端之间距离、高度及两侧以及管尾垂直千斤顶与垫块位置、高度,检查无问题之后,指挥员指挥吊船吊缆同时下降,使管头鼻托接触和管尾垂直千斤顶搁在支承垫块上,随即安装两个拉合千斤顶,检查 GINA 止水带,测

量员、潜水员密切监测管节变化,拉合千斤顶开始达到初步止水,随即结合腔排水进行水力压接,直至压接完成。

10.1.17 能见度是一项综合指标,由大气湿度、云高、温度、灰沙尘、雾气决定,它对观察测量精度有较大影响,会影响水面施工的安全。

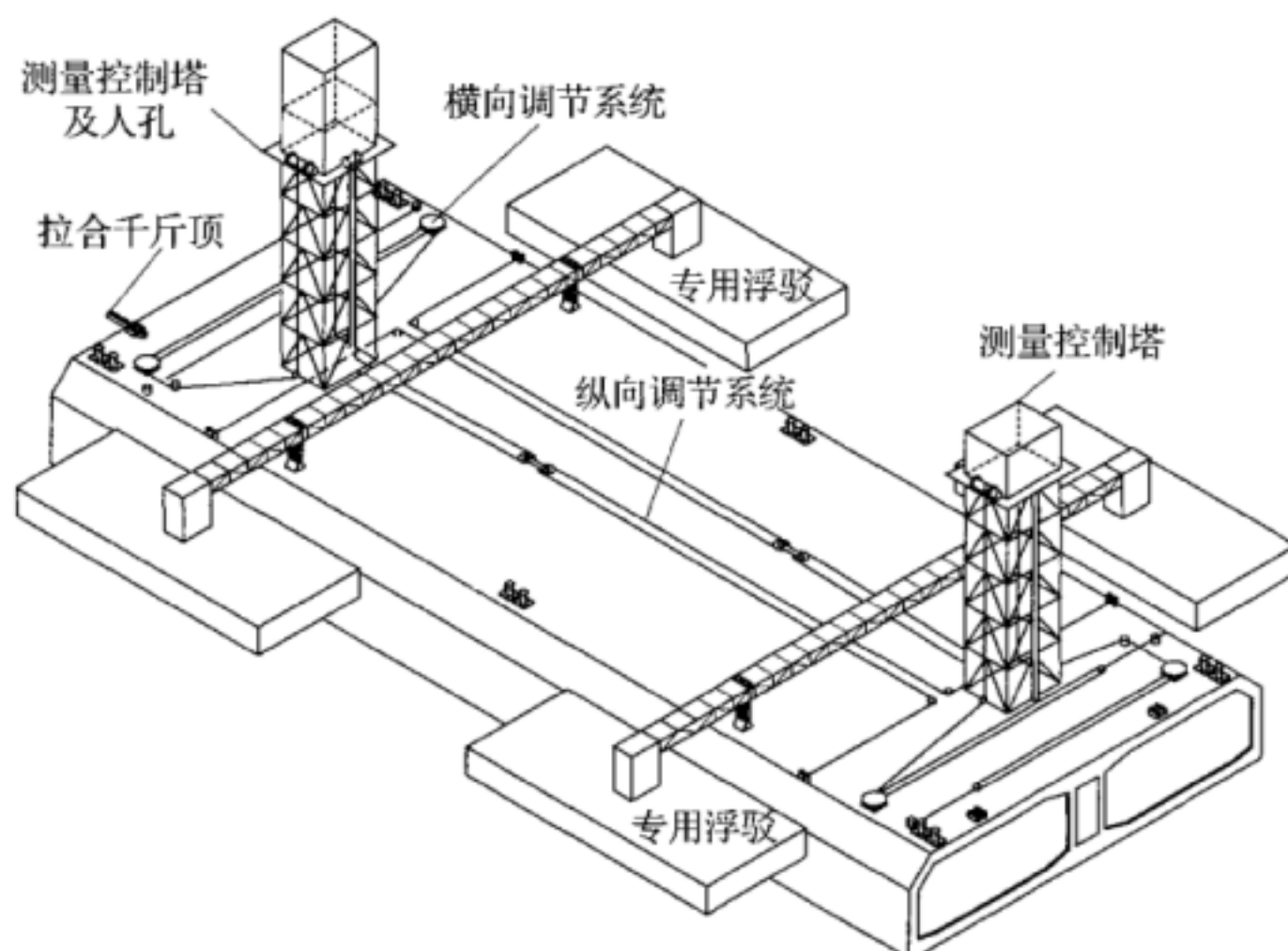
沉放时间宜安排在流速较小的时间段内,使管节不至于在水流作用下发生难以控制的情况和接头及GINA止水带损坏。

10.1.21 管节内部的各项设施包括水泵、闸阀、压舱水箱、管路系统、垂直千斤顶、油压系统、通信联络系统、测量定位系统、远程监测系统、通风系统以及临电等。

10.1.22 各阶段压载水量,需根据起浮后的实际情况以及实际的水重计算确定。

10.2 舾 装

10.2.1 沉管隧道除管节主体结构以外的附属设施安装,通常分为一次舾装与二次舾装(图2)。



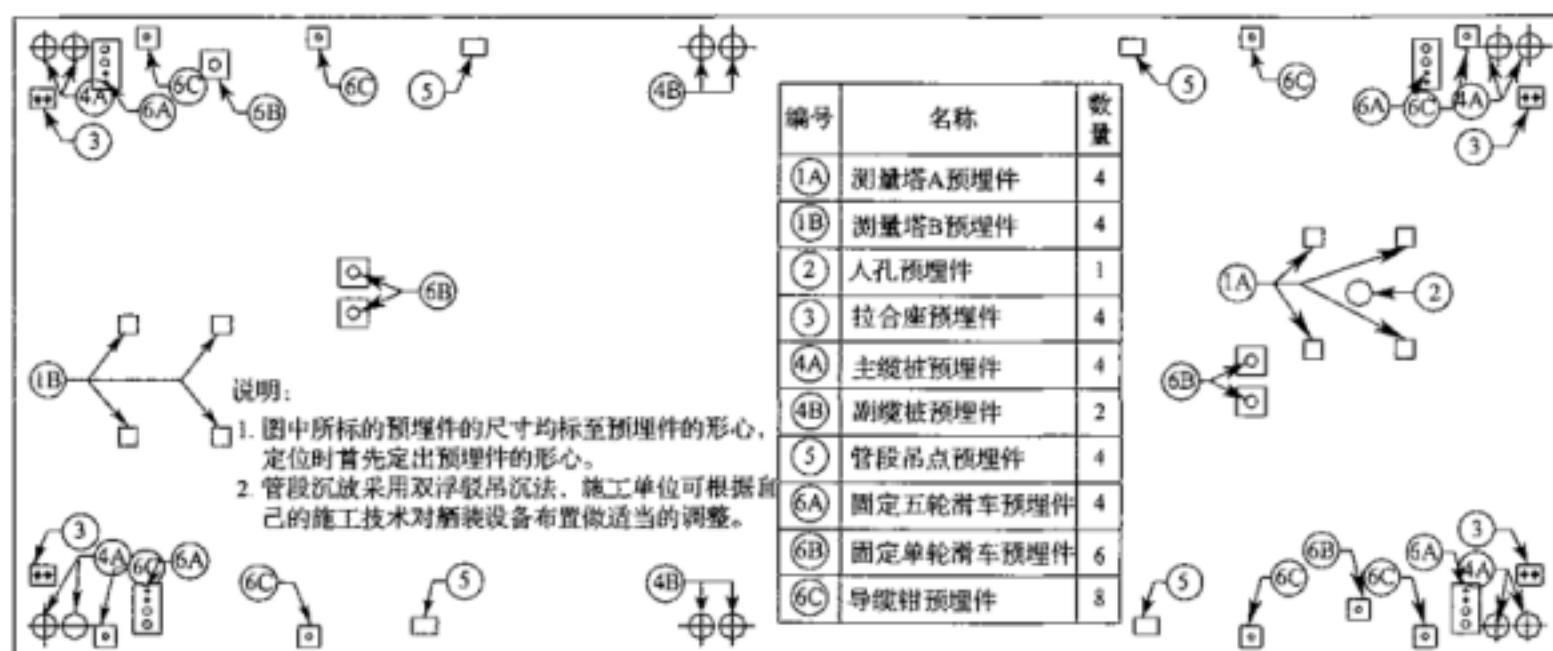
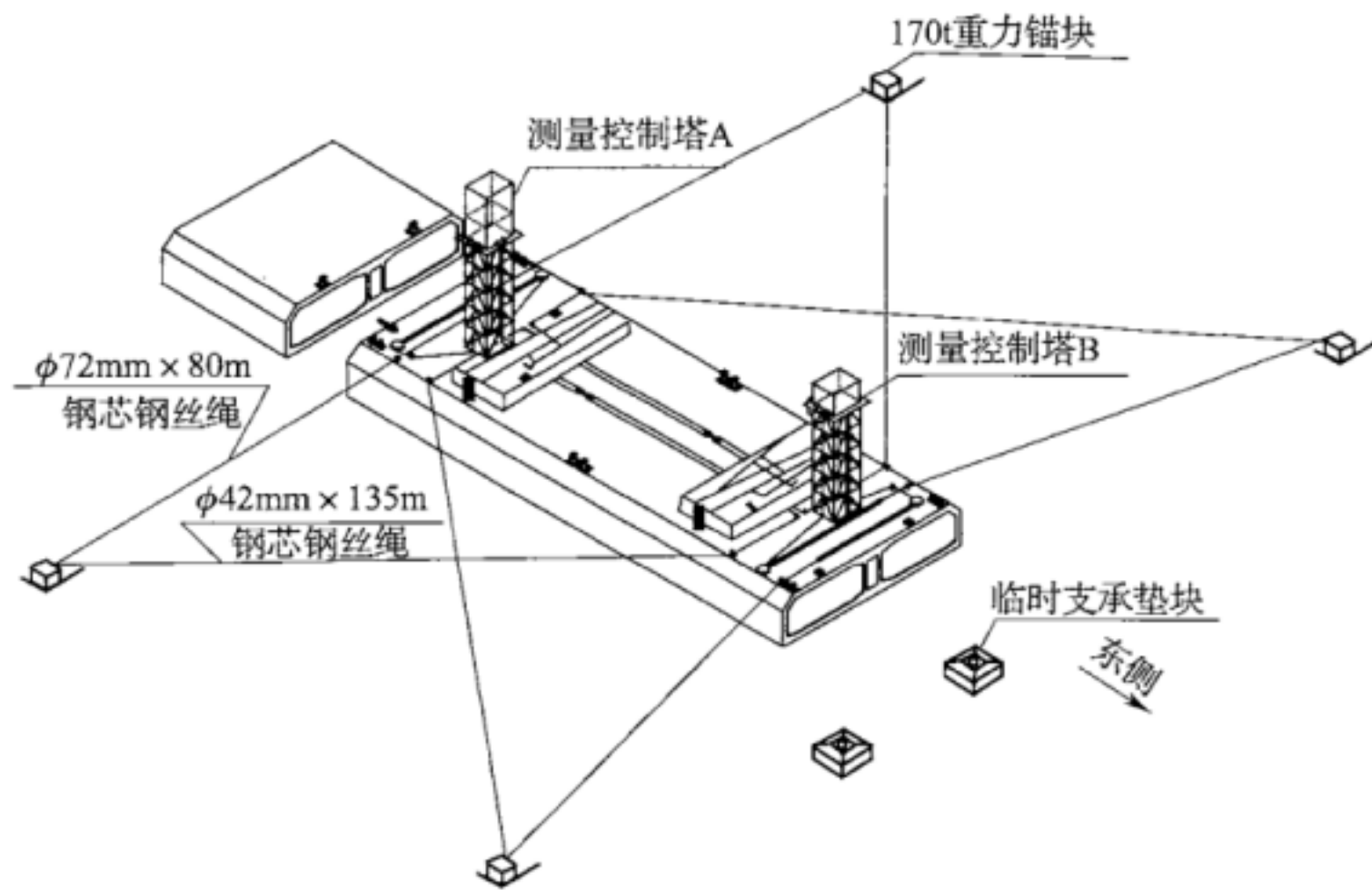


图2 舾装部件

10.2.2 端钢壳制作时,GINA 止水带的压块可直接与端钢壳焊接在一起。两压块之间的净距比 GINA 止水带底面宽 2mm。螺栓拧紧必须按设计要求进行,一般分初拧和终拧两阶段进行,不得简化,以期达到最佳的效果。

10.3 浮运前准备工作

10.3.3 管节浮运前应在干坞内进行管节检漏,通常分三步进行:

管节底板、水箱高度范围的管节侧墙、端封墙底部,管内水箱试漏及压载水箱进排水系统运行,管节顶板、侧墙端封墙及水密门。

10.3.5 拖运船队施工前准备工作中的重点是与航运安全管理部门协调,确保过境船舶已受施工水域安全监控,管节浮运、沉放直至就位完毕,施工水域禁止过往船只通行。

10.3.6 为了确保各锚位受力达到理论计算值,在使用前须进行试拉试验以检验各锚位实际受力是否满足施工要求。

10.4 浮 运

10.4.1 沉管隧道管节常用浮运方案有拖轮浮运、拖轮拖运移动干坞、绞车拖运与拖轮顶推、岸控绞车和驳船绞车拖运等。

拖轮浮运方案即管节预制完成后,采用 A 拖轮对管节提供浮运主动力,另用四艘拖轮提供顶潮力和控制管节运动方向。该方案的优点是易于操作控制,长距离浮运不受风力影响,移动干坞占用时间少。但是拖轮和管节占用航道水域较宽,管节拖运速度较慢,拖航受水流因素影响大,运输形式见图 3。

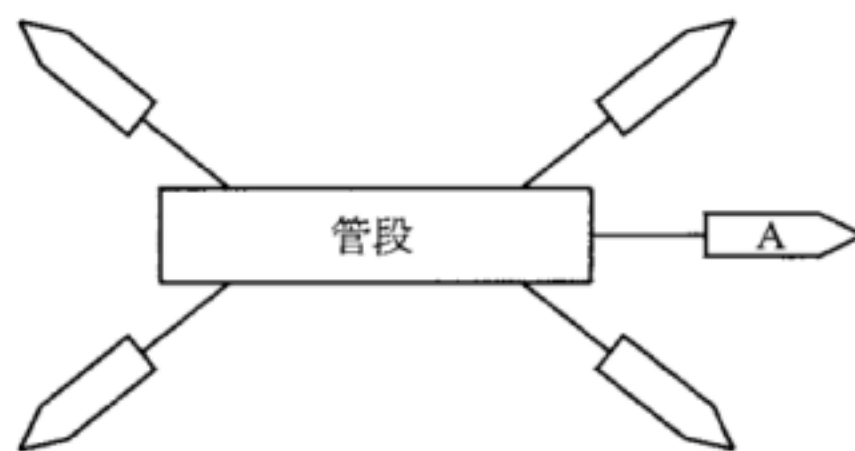


图 3 拖轮浮运管节示意图

拖轮拖运移动干坞方案即管节预制完成后,仍然装载在移动干坞上,采用 A 拖轮对移动干坞提供浮运主动力,另用两艘拖轮分别在移动干坞两侧与移动干坞连接在一起提供转向动力及前进助力,再用一艘尾拖作为备用拖轮兼调节管节运动方向。该方案的优点是移动干坞在航行过程中吃水深度小于管节吃水深度约 3.0m,对航道深度的要求低;浮运过程中水流不会对管节产生影

响;浮运速度快,航道占用时间短;但该方案操作复杂,受风力影响大,见图 4。

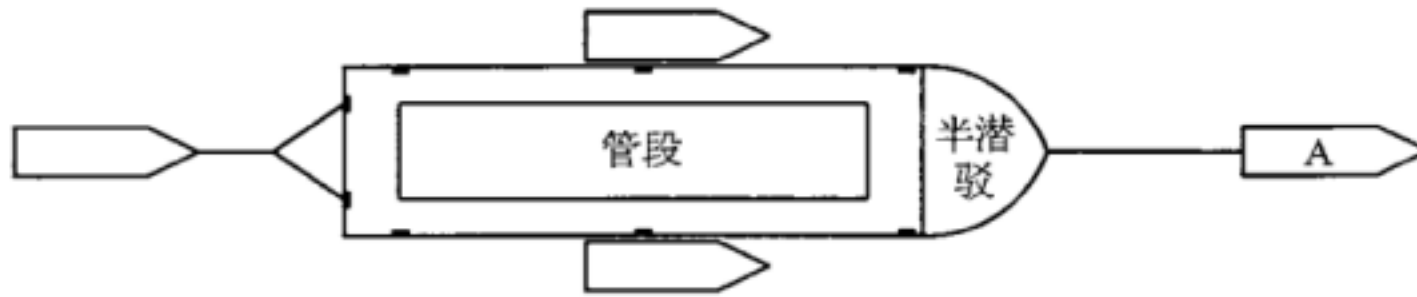


图 4 拖轮拖运移动干坞(半潜驳)示意图

绞车拖运与拖轮顶推方案即在管节前方下锚一艘方驳,其上安装一艘液压绞车作为管节前进的主动力,管节尾部两艘方驳安装绞车作为管节的制动力,管节两侧在浮运时用三艘拖轮顶潮协助施工。该方案对于短距离浮运施工速度快,占用航道时间短,施工中淤泥不会卷入基槽,工序交替简单;若用于长距离作业,方驳和管节下锚次数多,管节浮运速度慢,占用航道时间长,拖运方式见图 5。

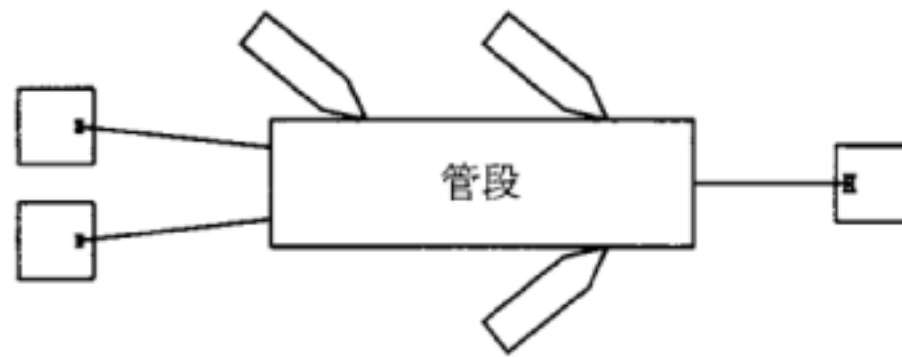


图 5 绞车拖运、拖轮顶推管节示意图

岸控绞车和驳船绞车拖运方案即对于轴线干坞等临近基槽预制管节的情况,可直接采用岸控绞车和水中工作驳船绞车拖运管节。宁波常洪隧道管节即采用此方法,见图 6。

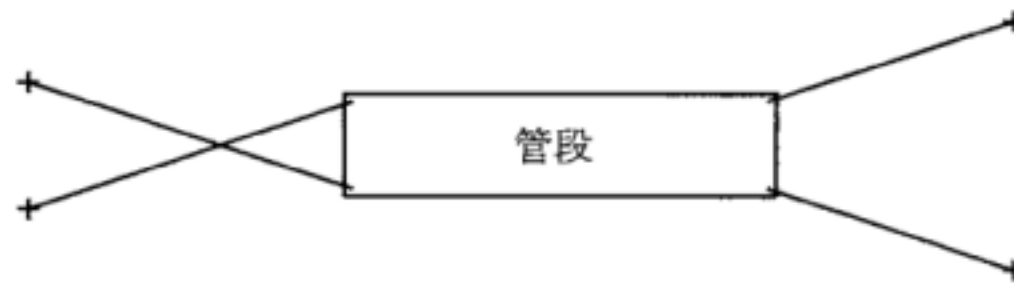


图 6 岸上定锚绞车浮运管节示意图

以上四种方案可以综合使用。

10.4.5 沉管管节浮运的全过程都处于动态中,浮运必须实施全过程的监控量测,其主要目的是使管节在浮运过程中不致偏离航线,造成搁浅或影响水域内其他船舶的正常作业。

沉管隧道的各管节长度可能不尽相同,浮运过程中,为确保管节安全,必要时,应预先进行管节浮运演练,以验证浮运方案的可靠性。

当浮运的航程较远时,导航设施及通信设施体系有可能需要转换,要注意确保导航及通信体系转换过程中不会出现定位及通信盲点,保证系统的连续性。

10.5 寄 放

10.5.3、10.5.4 管节沉放安装时要能准确定位必须依靠可靠的定位系泊系统抵抗水流作用力。由于管节安装定位时主要承受横向水流力,而纵向水流作用力相对较小,因此采用四点系泊系统进行定位。管节水流力包括纵向和横向。锚块的抛设主要考虑抵抗横向水流作用力。

10.6 沉 放

10.6.5 管节沉放方式主要包括吊沉法和拉沉法。

拉沉法利用预先设在沟槽的地垄,通过架设在管节上面的卷扬机牵拉扣在地垄上的钢丝绳,将管节缓缓拉入水中。该方法由于不需要方驳等沉放船舶的特点,在隧道工程中有一定的应用,如荷兰埃河隧道、法国马赛港隧道。但是拉沉法水底桩墩设置费用较高,尤其是施工水深较大,管节数量较多,因此现在沉管隧道施工时已经极少采用。

吊沉法包括浮箱吊沉法、起重船吊沉法、船组杠沉法和自升式平台吊沉法等。

浮箱吊沉法(deck mounted pontoons sinking method)是在管

节顶板上方设置多组浮箱,在浮箱上设置起吊卷扬机,利用管节上的定位索控制坐标,通过逐渐向管节内压载,使管节逐渐下沉到预定位置的方法。上海外环沉管隧道与宁波常洪隧道管节沉放采用浮箱吊沉法。改进后的浮箱沉吊法,用2个大浮箱或改装驳船取代了4只小浮箱,沉放稳定性和起重能力有所增加,是目前中大型沉管隧道管节沉放的主要方法(图7)。

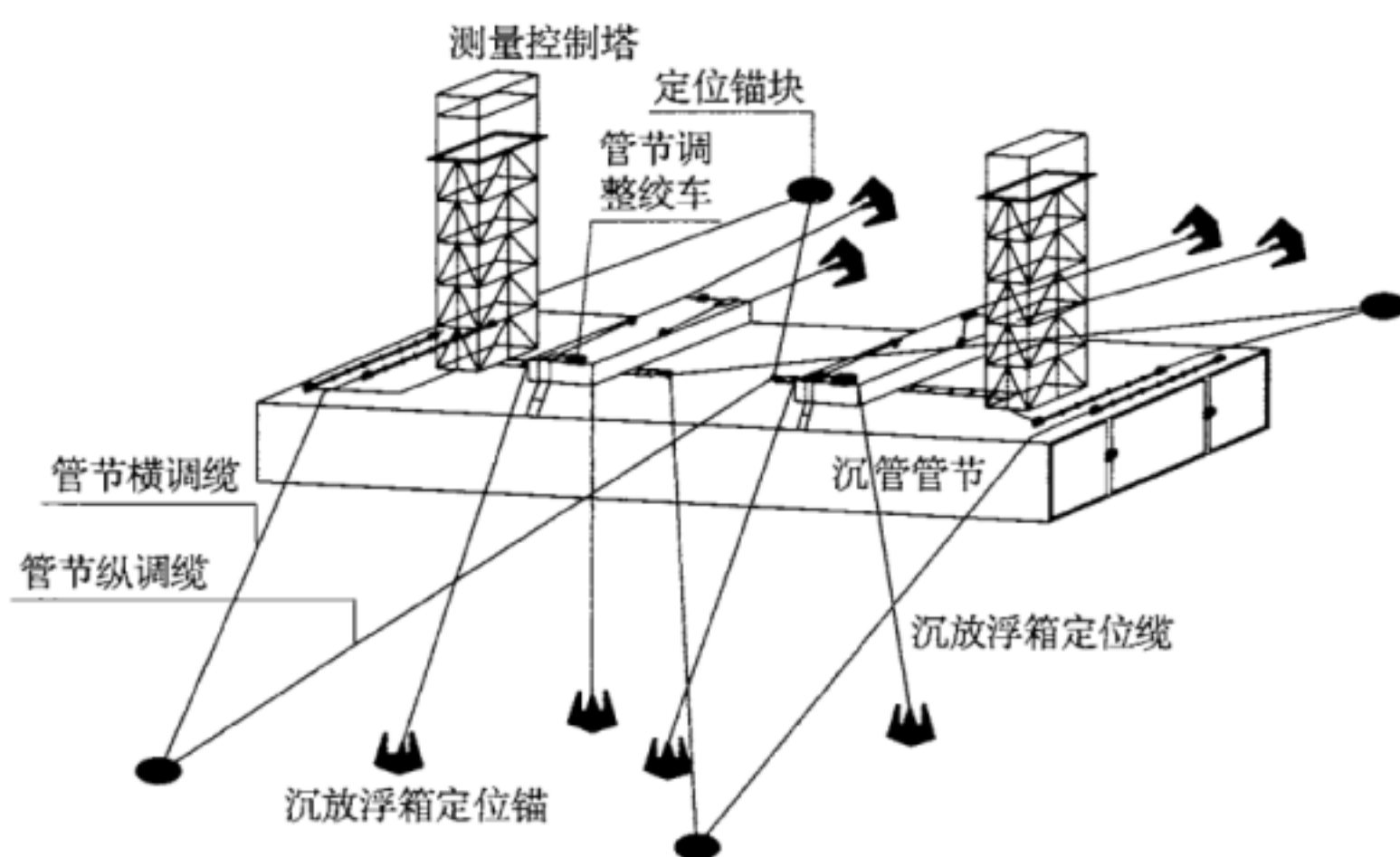


图7 浮箱吊沉法示意图

起重船吊沉法(浮吊法)(crane barge sinking method)是在管节浮运到位后,利用2艘~4艘起重船提吊管节顶面预设的吊点起吊管节,同时通过逐渐向管节内压载,使管节逐渐下沉到预定位置的方法(图8)。起重船吊沉法常用在规模较小、管节较轻的沉管隧道,如荷兰 Botlek 隧道、广州珠江隧道等。

船组杠沉法(又称抬吊法或扛吊法)(catamaran type rig sinking method)是将一组钢梁(杠棒)的两端担在两只船体上构成一个船组,沿管节设置一个或多个船组,起吊卷扬机安装在杠棒上,船组和管节定位卷扬机安装在船体上,利用定位索控制坐标,通过逐渐向管节内压载,使管节逐渐下沉到预定位置的方法(图9)。

船组杠沉法按照船组数可分为四方驳抬吊法和双驳抬吊法。四方驳抬吊法多用于规模较小的沉管隧道，如第二座汉普顿公路桥式隧道等；双驳抬吊法又分为杠沉法和骑吊沉法(图 10)，其稳定性较好，适合规模较大、管节数量较多、施工水深较大、水文环境恶劣的沉管隧道，该方法在国外应用较多，如日本多摩川、川崎航道沉管隧道，美国旧金山巴特沉管隧道等。

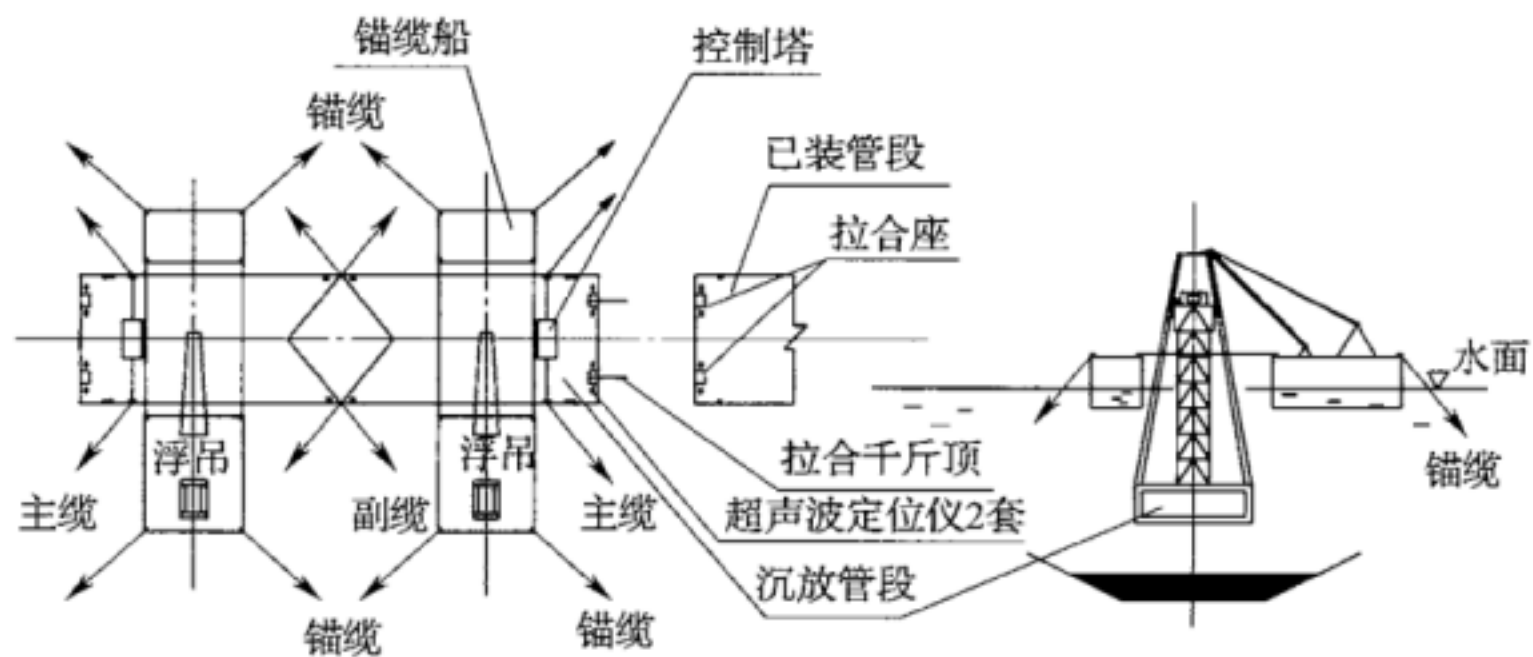


图 8 起重船吊沉法示意图

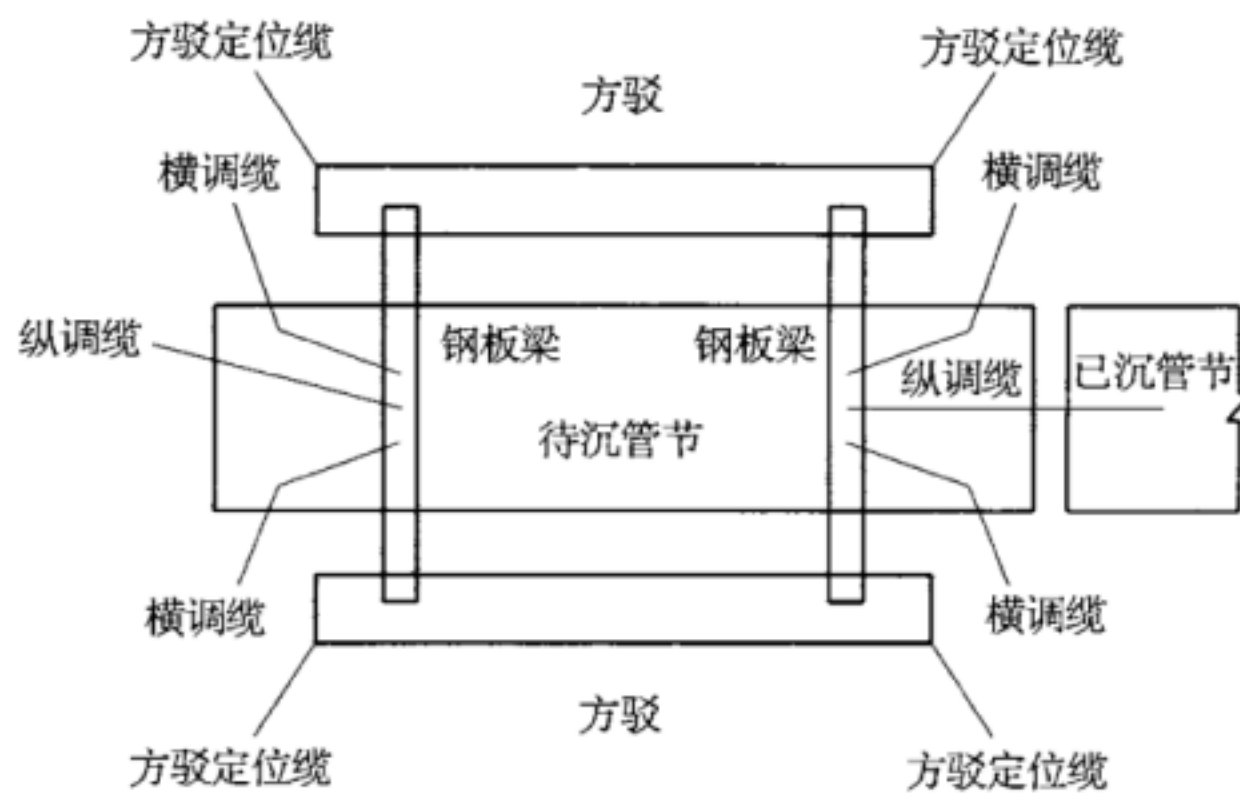


图 9 船组(双驳)杠沉法示意图

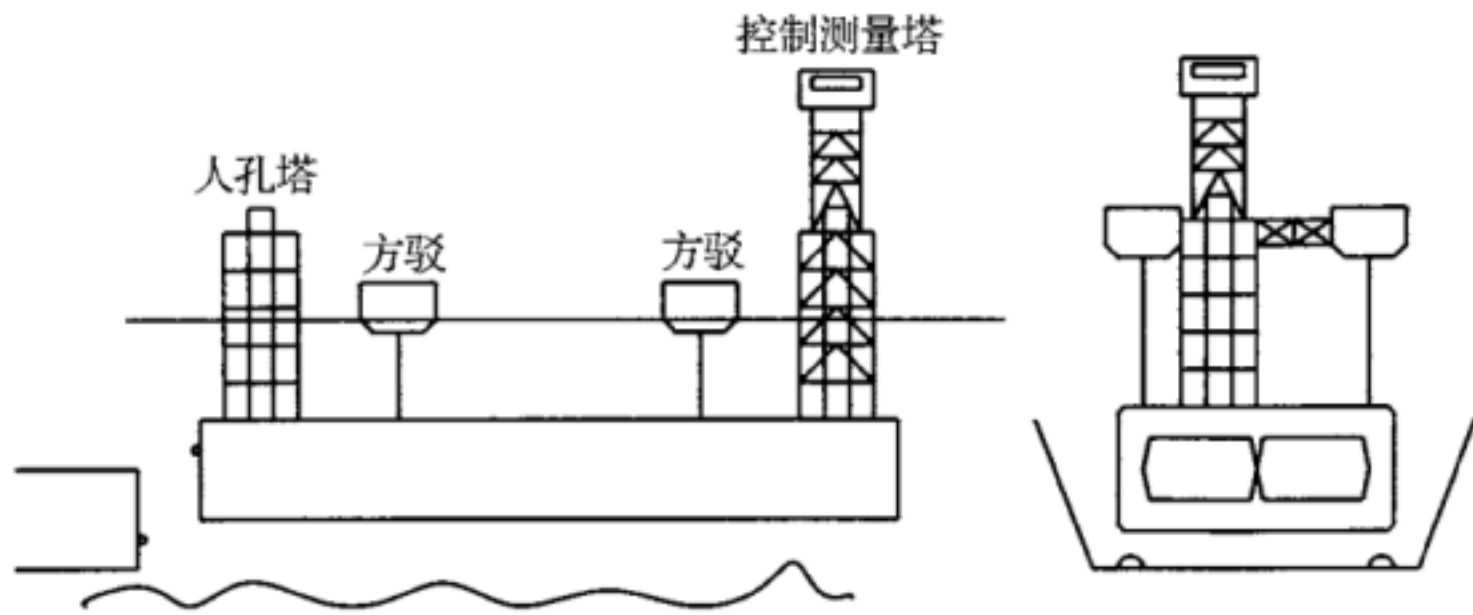


图 10 双浮驳骑吊法示意图

自升式平台吊沉法 (self elevating platform sinking method) 的自升式平台由平台 (船体) 和 4 根柱脚组成, 是依靠平台浮移到位后, 柱脚依靠千斤顶下压至河床以下, 平台沿柱脚升出水面, 通过逐渐向管节内压载, 利用平台上的起吊设备使管节逐渐下沉到预定位置的方法 (图 11)。施工完成后, 落下平台到水面, 利用平台的浮力拔出柱脚。由于升降平台法沉放管节稳定性好, 受风浪等的影响较小, 且不需要管节锚定系统, 占用的作业水域也较小, 因此在交通繁忙的水域得到了广泛的应用, 但是由于设备成本高, 因此该方法适用于水深大、施工水域小且水文条件恶劣的沉管隧道, 如日本京叶线台场沉管隧道、香港地铁沉管隧道等。

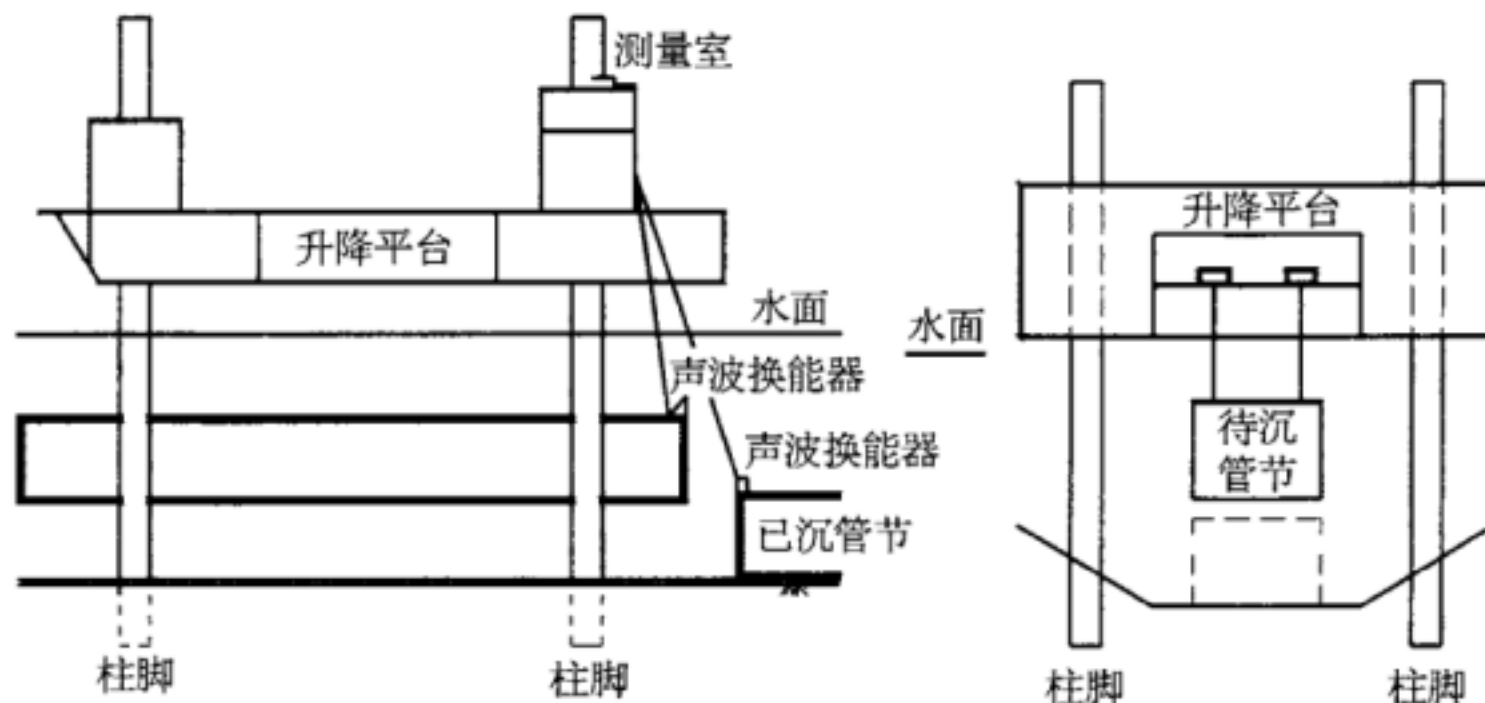


图 11 自升式平台吊沉法示意图

10.6.6 沉管沉放安装时,除了对管节的姿态量测外,管节的抗浮系数控制以及施工水域的水体密度量测不可忽视。管节着床后,管节在拉合及水力压接过程中,管节需要做纵向移动,管节的浮力过小,管节与基础或临时支座的摩擦力过大,会影响到管节的拉合和GINA止水带的压缩量,管节的浮力过大,在拉合或水力压接时,则有可能导致管节末端产生横向偏移。

如果管节在水中的重量大于浮力,须采取助浮措施,利用浮筒浮力抵消管节的部分重量,以减轻船组的负担重量。

在管节下沉过程中应严格控制其抗浮安全系数,利用管节重量及调节内部水箱压载达到与水流力、风力的静力平衡,并随时实测槽底水质密度对管节浮力的影响,及时调整管节在下沉中的稳定性。

管节下沉速度可根据结构重要性、隧址处的水文条件和设计要求作适当调整。

待沉管节的前端距已沉管节尾端的水平距离依据沉放管节安全搭接距离(上鼻托的第一块肋板中心与下鼻托的柱中心重合)与GINA橡胶保护安全距离(GINA橡胶高+安全余量)由设计给出。

10.7 对 接

10.7.1 为确保施工安全,一般管节之间推荐采用水力压接方式进行连接。最后一个端面连接处(即最终接头)设置的位置及形式由设计和施工根据实际情况共同确定。

10.7.5 垂直千斤顶用于调整管节纵坡,并临时支撑管节直至管节基础处理完毕,完成管节支撑转换。临时支撑管节时,管节由一端的鼻托和另一端的垂直千斤顶简支。

10.7.7 管节平移速度可根据结构重要性、隧址处的水文条件和设计要求作适当调整。

10.7.11 水力压接的步骤是打开端封墙上的排水阀和进气阀,排

出结合腔中的水进行水力压接,到结合腔内气压等同外空间压力为止。

10.7.12 需水下拆除的舾装件有:浮箱、测量塔、人孔井、拉合千斤顶。

10.7.13 垂直调整装置临时支承管节预留垫层处理空间。

10.7.14 通过调节压载水箱内水位高度确保管节抗浮安全,确保管节稳定。

11 接头处理

11.1 一般规定

11.1.1 钢筋混凝土沉管结构形式可以根据管节形式分为整体式和施工段式两种。整体式沉管隧道仅具备管节接头,施工段式沉管隧道具备管节接头和施工段接头,本规范主要针对前者。接头形式可分为刚性接头、半刚半柔性接头、半刚性接头和柔性接头。

沉管隧道的管节接头应满足下列设计要求:

- (1) 水密性要求,即在施工和运营各阶段均不漏水;
- (2) 接头应具有抵抗各种荷载作用和变形的能力;
- (3) 接头的各构件功能明确,经济合理;
- (4) 接头的施工性好,施工质量易保证,并尽量做到能检修。

11.1.3 耐久性包括抗老化性能、抗疲劳性、抗应力松弛、耐化学腐蚀性等。止水带压板及螺栓示意图如图 12、图 13 所示。

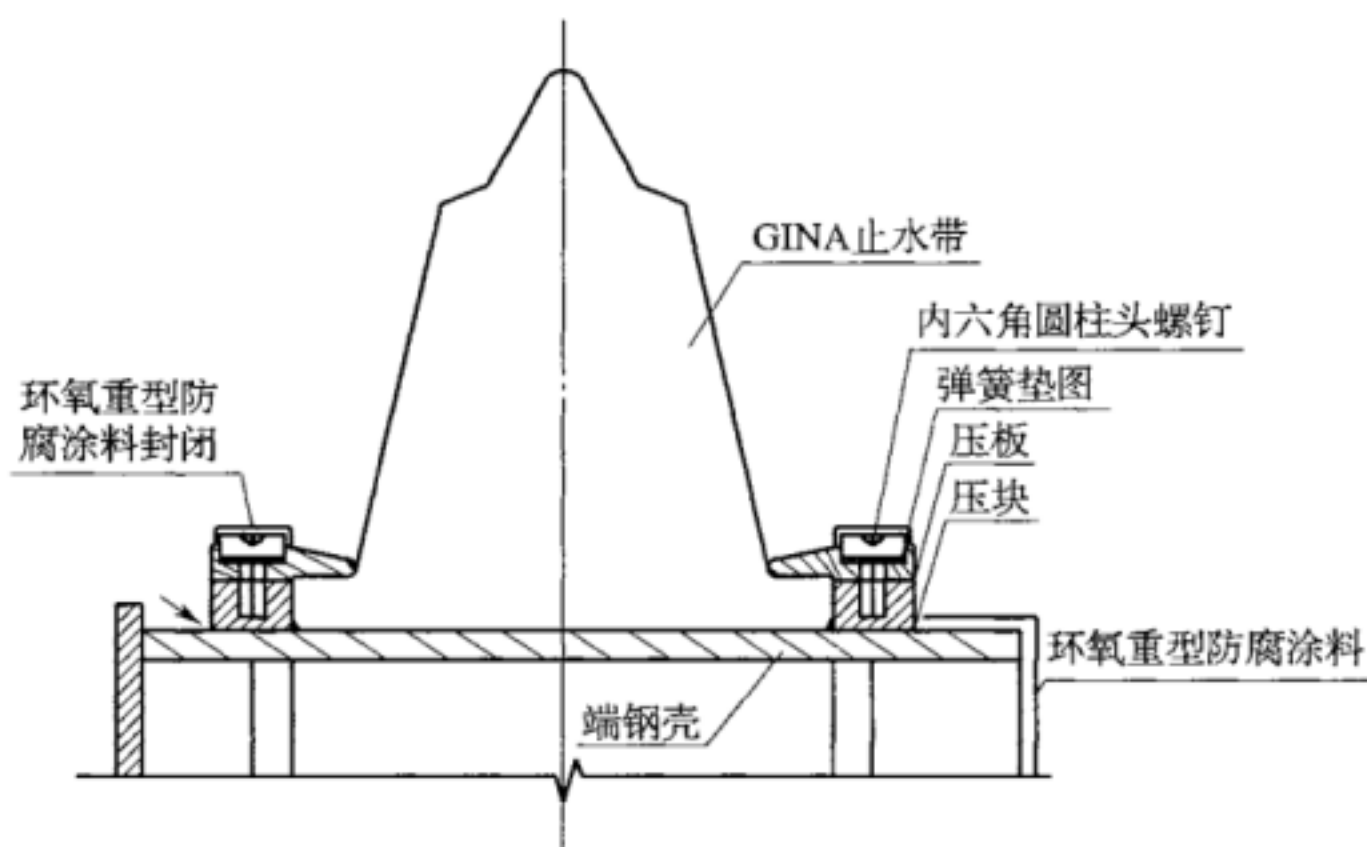


图 12 GINA 止水带压板及螺栓示意图

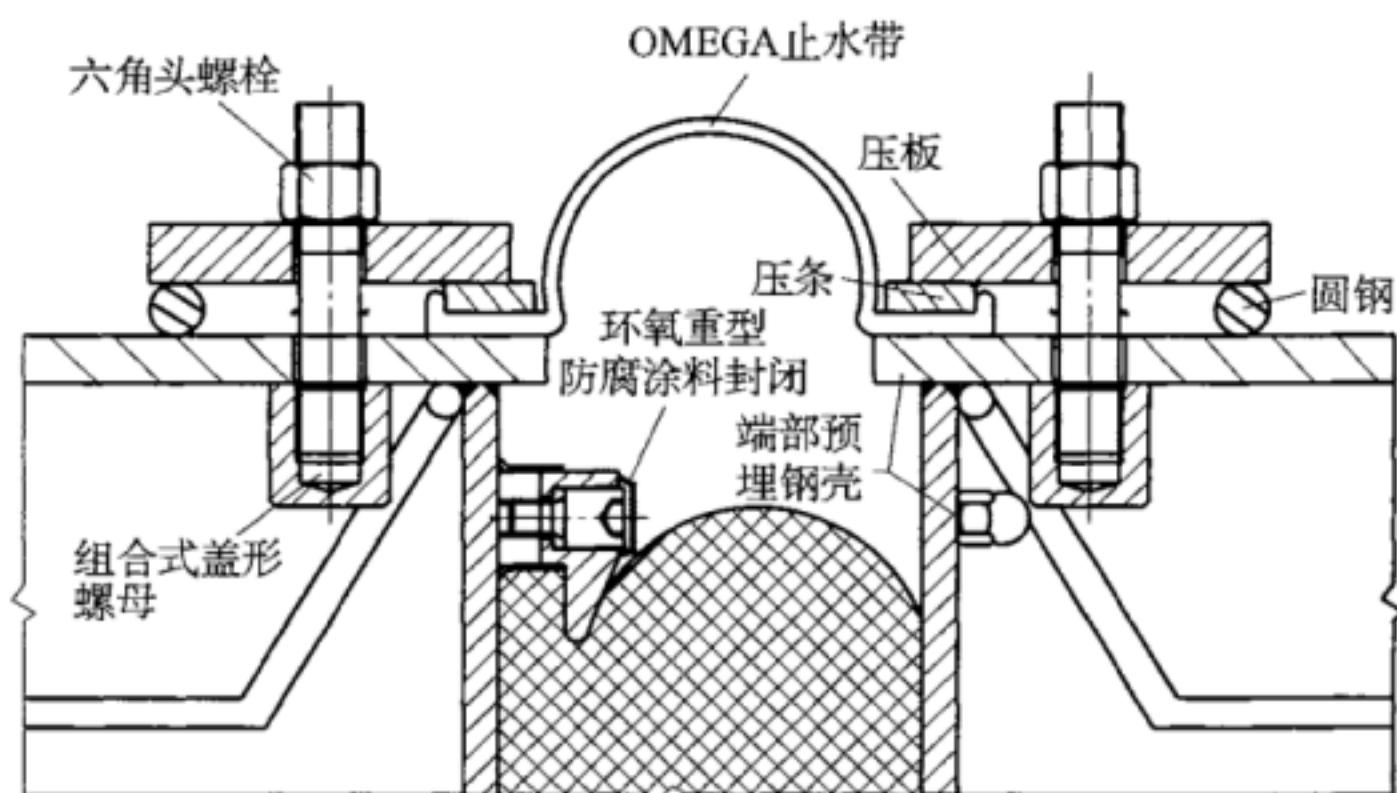


图 13 OMEGA 止水带压板及螺栓示意图

11.1.4 管节对接专项施工方案主要包括：编制依据、工艺流程图，临时钢结构的平面图、剖面图、强度、刚度以及变形复核算，钢材选择，船机选择，施工步骤，施工所需的劳动类型、数量和调度计划及相应的安全措施及应急预案。

管节对接过程中，确保不与航道通行冲突，管节沉放前应采取水上交通管制措施，设定封锁范围并布置封锁线标志，交通管制应符合《中华人民共和国海事局水上交通管制管理办法》和国家、地区现行有关规范及规定。

11.2 管节接头

11.2.2 管节端封墙形式多为钢结构或钢筋混凝土结构，内侧设置 H 形加强立柱、支承立柱的钢筋混凝土枕梁及钢牛腿。

11.2.3 OMEGA 止水带是管节接头处的 OMEGA 止水设施，其正确安装及确保不漏水是管节接头止水的重要保证。

OMEGA 止水带的主要物理性能指标包括：硬度、拉伸强度、扯断伸长率、撕裂强度、压缩永久变形、抗水性、耐老化性等，除产品本身的出厂合格证明外，应具有第三方权威机构出具的证明

文件。

OMEGA 止水带试压时应注意：试压过程须由专人观察压力表的额定压力及操作潜水泵的开关和出气孔。一旦出气孔有水流出，应马上用堵头把气孔封好。

当压力表指针快达到设计压力时，压力将会上升很快，此时应把截止阀开关拧小。待压力表指针达到设计压力时，应马上关紧截止阀开关，稳压直到压力表数值没有变化即可。反之，则应找出泄漏原因，处理后重新试漏。止水带试压试验如图 14 所示。

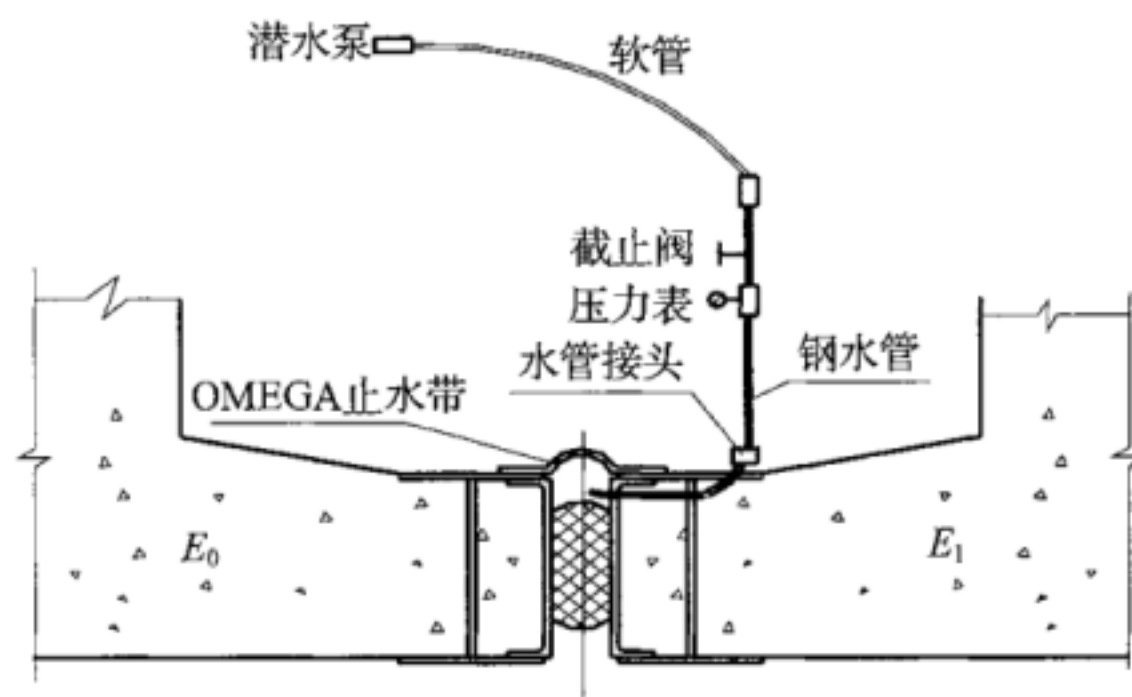


图 14 OMEGA 止水带试压试验示意图

11.2.4 对于多震地区，为了隧道结构抗震，管节接头一般会设置预应力钢绞线钢索结构，每组钢索在安装时须施加设计要求的预应力。

11.2.5 管节接头剪力键按位置可分为垂直剪力键、水平剪力键，根据材料可分为钢筋混凝土剪力键或者钢结构剪力键。

垂直剪力键限制地震、沉降等产生的垂直向位移量，使其不超过水密性要求。剪力键之间设置橡胶垫层，使得接头在垂直方向具有一定的弹性，当位移量增大到一定程度时，剪力键承受的剪切力增大，产生“刚化”现象，从而保证接头的水密性要求。

水平剪力键限制因地震等产生的水平位移量，使其不超过水

密性要求的允许值,防止橡胶止水带承受过大的剪切变形及剪切力。剪力键安装位置一般设有预埋件。

钢筋混凝土剪力键可以在沉放结束后统一在现场立模浇筑,或部分(如垂直剪力键的上剪和中剪)在管节制作时一并完成,其余部分(如垂直剪力键的下剪)应在现场立模浇注后安装橡胶支座。

钢结构剪力键应在厂内加工制造,运输到管内安装到预埋件。

11.3 最终接头

11.3.1 沉管隧道最终接头根据位置可分为水中最终接头和岸上最终接头两种,最终接头施工的关键在于止退和防水。

水中接头施工工法分为止水板工法、端部块体工法、V形块体工法、Key管节工法等,国内常用止水板工法。止水板工法接头长度在2.5m左右,采用止水板密封接头腔,排空接头腔内的水后施工最终接头结构。抽水之前必须在接头中设置等间距布置的钢轴向支持杆件以代替原有的水力压接力。

岸上最终接头常用的止退措施有:

(1)管节接头间的预紧钢索;

(2)护岸或坞墩预筑竖向槽,在短管节两侧及两边坞墩内预埋钢筋,在短管节与两侧护岸或坞墩之间灌注水下混凝土形成剪力键;

(3)管节与坞墩或衔接段隧道之间设置支撑梁。防水的通常做法为:在短管节与基础之间采用预留注浆孔注浆或预设止水带等方式止水,短管节两侧利用剪力键,短管节之上设置围堰。

11.3.3 在最终接头两端面之间应布设可施加预应力的支撑梁,可采用囊袋砂浆、楔片等充填密实支撑梁(限位梁)与管节之间的空隙或采用可调节支撑梁。由于顶板的位置特殊,导致常规的混

凝土及施工工艺无法满足质量要求,可采用无振捣混凝土(自密实混凝土)进行施工,并设置排气管。由于钢封板依靠水压使其与相邻管节保持水密,管内混凝土施工时必须防止将钢封板顶离管节,造成防水失效。

12 衔 接 段

12.1 一 般 规 定

12.1.1 沉管隧道由于要与两岸地面道路相衔接,一般分成水中沉管节、岸上衔接段隧道(简称衔接段)。衔接段隧道的结构外形、尺寸与水中沉管节基本相同,一般又分成暗埋段和敞开段。衔接段隧道通常采用明挖法施工。

12.1.2 衔接段隧道一般在临时围堰或临时护岸内进行明挖法施工,施工时,衔接段隧道的近水(江、河)端已经设置了端封墙、水密门、鼻托及导向装置、千斤顶拉合系统、测量定位系统等附属结构或设施。

衔接段隧道应在水中沉管隧道管节安装前施工完成并回填,以抵抗沉管管节传递过来的巨大轴向推力。

采用水中最终接头时,衔接段隧道与水中沉管节通过水力压接,将水中段与衔接段隧道连接在一起。

12.1.3 明挖法施工的衔接段隧道包括临时围堰、基坑支护、土方开挖、隧道结构施工、基坑回填、护岸工程、拆除临时围堰等施工步骤。其施工应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《地下工程防水技术规范》GB 50108、《地下防水工程质量验收规范》GB 50208、《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203、《堤防工程施工规范》SL 260、《防波堤设计与施工规范》JTS 154-1、《水工混凝土施工规范》DL/T 5144、《水运工程混凝土施工规范》JTS 202 等的规定。

12.2 护 岸 工 程

12.2.1 降低爆破施工对堤岸影响的具体措施有:在大范围爆破

施工前进行小范围试爆破,利用现场实测的数据优化爆破的几何参数(如炮孔间排距、孔径、装药量、段别装药量、爆破微差起爆间隔时间等),并根据现场实测结果验证计算结果;在靠近堤岸位置布设减震沟或 2 排~3 排减震孔,减震沟或减震孔深度要超深炮孔不小于 1.5m。

12.2.2 沉管隧道的护岸恢复及新建、改建应根据设计及相关主管部门的要求,恢复护岸结构形式应尽量与原有护岸一致,或统一进行护岸结构的改建。护岸可采用钢板桩、钢管桩、钻孔灌注桩、水泥石重力式挡墙、连续墙及格栅(格构)连续墙等形式。

12.2.3 护岸工程可分为施工需要的临时护岸与永久护岸两种类型。根据隧道设计和原永久堤岸的现场条件,护岸施工有下列情况:

(1)沉管隧道与暗埋衔接段隧道在原岸线外(即水中)进行对接。在原岸线外构筑临时围堰与衔接段基槽的两侧构筑挡土结构形成临时护岸,一般为 U 形临时护岸(即 U 形水中围堰),然后在临时护岸内干法施工衔接段隧道,拆除临时护岸,再在水中将第一节管节与衔接段隧道进行水力压接。

(2)沉管隧道与暗埋衔接段隧道在原岸线内(即岸上)进行对接。此时,须首先做好岸上衔接段隧道,然后开挖基槽并沉放管节。当管节的基础处理好后,在最后一节管节上面施作临时护岸或永久护岸,在抽干水的围堰内进行岸上最终接头的施工。如果最后一节管节上施作的是临时护岸,则最后还需按设计实施永久护岸。

12.3 围堰工程

12.3.1 水中临时围堰可采用土石围堰、模袋砂围堰、水下混凝土墙、钢板桩围堰、钢管连锁桩围堰等。围堰工程须编制专项施工方案,对超过一定规模的水中围堰工程制订专项施工方案,施工单位应按危险性较大工程的有关规定组织专家论证审查。

12.3.5 对于在干坞坞门位置的第一次围堰为地下连续墙的,二次围堰宜采用水下混凝土墙围堰。水下浇注混凝土围堰是通过潜水员水下安装模板、绑扎钢筋、止水带安装、水上用导管分层浇注混凝土的方式完成水中不分散混凝土施工。

12.3.6 土袋围堰是指采用草袋、麻袋、玻璃纤维袋和无纺塑料袋等装土码叠而成的围堰。

12.4 衔接段隧道结构

12.4.4 隧道主体结构除按设计沉降缝(变形缝)分成若干施工段外,为减少温度裂缝,每施工段应根据实际情况考虑纵向分段施工,施工分段长度宜为15m~25m。施工分段之间应按施工缝处理在隧道主体结构上设置止水钢板等防水构造措施。

跳段法施工也称跳仓法施工,既可加快施工进度,又可延长相邻施工分段间的时间间隔。相邻施工分段间的时间间隔宜在14d以上,并且愈长愈好。

后浇带是国内外通用的减小混凝土收缩不利影响的有效方法。在隧道两个相邻的施工分段之间设置长度约2m的后浇带,后浇带内钢筋不断开,后浇带混凝土一般比主体结构混凝土强度高一个等级,并添加微膨胀剂。

12.4.7 隧道侧墙混凝土在终凝后的收缩过程中,受到第一次浇筑底板混凝土的强大约束,是导致隧道侧墙温度变形裂缝产生的重要条件。底板与立墙、立墙与顶板混凝土浇筑时间间隔越长,该约束力越大,为尽量减少明挖隧道侧墙温度裂缝的出现频率,本条规定时间间隔不宜大于7d,而且时间间隔越短越好。

12.4.8 侧墙温度裂缝是隧道结构最常见的裂缝危害,广大工程技术人员一直在探求温度裂缝的控制措施。王铁梦教授在《工程结构裂缝控制》中提出了“抗”与“放”的混凝土设计施工准则,其主要内容是:在结构形式的选择方面,采用微动、滑动提供“放”的条件;在材料的性能方面,采用提高抗拉强度、抗变形能力及韧性等

提供“抗”的条件。在具体工程中建议采取“抗”与“放”组合。

12.4.9 隧道工程的防水原则应是“结构自防水为主,辅助防水措施为辅,刚柔并济、多道防线”。结构自防水施工质量的控制是隧道防水的关键,隧道沉降缝、施工缝、边角位、模板对拉杆、穿墙管、抗拔桩等位置应做好细部防水措施。

13 监 测

13.0.1 为使监测充分发挥技术经济效益,应根据设计要求,并结合工程的地质和水文气象条件、施工工序、方法(干坞施工、管节浇筑、基槽回淤、管节拖运系泊和沉放)以及监测目的等编制切实可行的监测方案。监测工作可为设计参数修订、设计变更、施工方案及施工工艺优化提供依据。应密切跟进施工进度,及时调整监测计划。

量测部位和测点布置应根据设计要求、环境条件、量测项目、量测仪器设备性能和施工方法等确定。测点安装应牢固可靠,易于识别,并做好标志及相应的保护措施,严防损坏。

13.0.2 场区控制网宜充分利用勘测设计阶段已有的平面和高程控制网,也可建立独立施工控制网。

沉管在预制、浮运、安装这三个施工场区的控制网宜用同一平面坐标和高程系统。

13.0.3 固定干坞在注、排水过程中,应对基坑的支护实施连续监测。

13.0.5 移动干坞一般为钢结构,属于弹性结构。沉管管节的质量相当大,移动干坞在承受管节的荷载后,干坞的变形是必然的,管节预制的监测控制点必须随干坞的变形而做出相应的修正,以保证管节预制的几何尺寸符合要求。

13.0.6 掌握施工区域的潮位、水流速度、水容重、含砂率等水文资料,是为了在管节出坞、浮运、安装期间对相关水域的潮位、水流速度、水容重、含砂率等进行实时监测。

由于沉管隧道工程的特殊性,在沉管隧道施工过程中,存在管节的寄放、浮运、安装等工序。寄放、浮运、安装过程中,施工水域

的水文、气象条件对沉管隧道的施工质量影响甚大,必须确保施工的安全、可靠。

13.0.7 同一水域中,回淤强度受水深及水文状况影响,回淤强度随着水深的增加而增强,汛期的回淤强度比枯水期显著增强。应根据不同的回淤强度设定测量回淤的时机,提高前后两道工序之间回淤量的准确性。

13.0.9 管节在浮运、下沉、对接过程中,尤其是对接过程中,部分监测工作由监测人员在水下进行。对需要由监测人员直接在水下进行的监测工作,应符合潜水工作的规定。

13.0.10 管节基础刚度变化大的地方应增设测点。对由施工段组成的管节,应在管节的中间每个施工段两侧增设测点。

当管节内压载混凝土换填分仓段依次实施换填时,每换填一个仓段之前和之后应监测不少于一次。

13.0.11 沉管隧道在管节安装对接完成后,管节自身的质量将逐渐加大,回填也对管节的抗浮及侧移产生影响,管节基础所承担的荷载变化将会导致基础变形而重新达到受力平衡。通过监测、记录并分析沉管隧道的变形速率及变形量的时态变化,作为后续施工和设计采取相应措施的依据。

13.0.13 沉管隧道的设计常以工程类比法为主,并以现场监测进行工程实际检验和修正。因此监测、施工、设计单位必须紧密配合,共同研究,才能完成设计施工的全过程。

13.0.14 运营监测是为了考验一些新技术、新方法的长期可靠性和稳定性,应予以重视。将监测资料列入竣工文件,是为隧道的施工积累资料,为其他类似工程设计和施工提供依据,并为运营管理服务。

14 安全与环境保护

14.1 一般规定

14.1.4 带劲缆绳涉及水上水下作业人员安全,严禁作业人员靠近它。本条为强制性条文,必须严格执行。

14.2 安全技术措施

14.2.1 工作电压低于 50V 的不需要接地,当电气设备直接紧固在船体的金属结构上或紧固在船体金属结构有可靠电气连接的底座(或支架)上时,可以采用锡箔或镀锡铜片作为电气设备与船体金属结构间的接地措施,不需另设专用导体接地。

无论是专用导体接地还是靠设备底座直接接地,接触面应光洁平贴,接触电阻不大于 0.02Ω ,并有防松和防锈措施。

绝缘值按照规范是 $1M\Omega$ 以上,实际对于发电机、主配电板和一般设备出厂要求都不同,远高于 $5M\Omega$ 。

泵的电机接线盒一定要水密,电机应采用水密电机,并经常检查绝缘情况,一般要求在 $5M\Omega$ 以上。

14.2.3 为保障潜水作业人员安全,掌握水下操作技术要点,要求作业前应对其进行技术与安全交底。本条为强制性条文,必须严格执行。

14.2.4 本规范“受限空间”主要是指沉管、船舱、设备内部等进出口受限,通风不良,可能对进入人员的身体健康和生命安全构成中毒、窒息危害的密闭、半密闭的设施及场所。进入受限空间作业,必须采取安全技术措施。

进入受限空间前 30min 应对气体取样分析,严格控制氧含量在安全指标范围内(氧含量为 $19.5\% \sim 23.5\%$ 为合格),分析合格

后才允许进入受限空间内作业。如进入受限空间内作业时间较长,至少每 2h 分析一次,如发现超标,应立即停止作业,迅速撤出人员。

应采取适当的通风措施,确保受限空间内空气良好流通。可采用自然通风,必要时采取强制通风,但严禁向内充氧气。进入受限空间内的作业人员每次工作时间不宜过长,应安排轮换作业或休息。

进入受限空间作业应有足够的照明,应使用安全电压和安全行灯。受限空间内的照明电压不应大于 36V,在潮湿或狭小空间内作业应小于 12V,所有灯具及电动工具应符合防潮、防爆要求。

15 验 收

15.0.1 本规范未作规定的,施工单位应在开工前会同建设单位、监理单位共同研究确定。

15.0.3 沉管隧道工程中,按结构部位的重要性分为主控项目与一般项目。主控项目是在沉管隧道工程中对沉管质量起决定性的项目,如管节结构的质量,管节安装就位的符合性,管节接合部的防水效果等关键项目。主控项目外的其他项目均为一般项目。

15.0.5 本条提供的是工程竣工验收所必须提供的资料,但不限于这些资料。