

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2015年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2014〕189号）的要求，标准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，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 工程调查与勘测；5. 总体设计；6. 材料；7. 荷载和组合；8. 结构计算；9. 管节结构；10. 管节浮运、沉放；11. 管节基槽、基础垫层和回填；12. 护岸和衔接段；13. 干坞；14. 结构防水；15. 耐久性；16. 抗震。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由天津滨海新区建设投资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，请寄送天津滨海新区建设投资集团有限公司（地址：天津市滨海新区新港街道中央大道819号，邮编：300450）。

本标准主编单位：天津滨海新区建设投资集团有限公司
中铁第六勘察设计院集团有限公司

本标准参编单位：上海市隧道工程轨道交通设计研究院
天津市市政工程设计研究院
中铁十八局集团有限公司
港珠澳大桥管理局
上海交大海洋水下工程科学研究院有限公司
中铁科学研究院有限公司
同济大学
西南交通大学

中交第一公路勘察设计研究院有限
公司

天津城建大学

本标准主要起草人员：于立群 贺维国 张兴业 邢永辉
贺春宁 刘旭锴 沈永芳 陈越
代敬辉 陈代秉 隋洪瑞 范国刚
陈正杰 曹景方 磊 王朝辉
郑余朝 胡群芳 曹校勇 徐斌
朱世柱 陆明 袁有为 孟庆祥
褚凯 周华贵 肖刚刚 宋超业
王飞 张建新

本标准主要审查人员：李永盛 刘洪洲 王明年 赵喜斌
丁浩 程晓明 逢铁铮 郭卫社
方新涛 陈胜

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	5
3	基本规定	7
4	工程调查与勘测	8
4.1	一般规定	8
4.2	工程调查	8
4.3	工程勘测	9
5	总体设计	11
5.1	一般规定	11
5.2	隧道位置选择	11
5.3	几何设计	11
5.4	控制性技术方案	12
6	材料	14
7	荷载和组合	16
7.1	荷载分类和荷载代表值	16
7.2	荷载组合	18
8	结构计算	22
8.1	一般规定	22
8.2	浮力计算	22
8.3	管节静力计算	23
8.4	舾装件计算	24
9	管节结构	25
9.1	一般规定	25

9.2	结构形式和构造要求	25
9.3	接头	26
9.4	预留预埋	27
10	管节浮运、沉放	31
10.1	一般规定	31
10.2	管节浮运	31
10.3	管节沉放	33
11	管节基槽、基础垫层和回填	34
11.1	一般规定	34
11.2	基槽	34
11.3	基础垫层	35
11.4	回填	35
12	护岸和衔接段	37
12.1	一般规定	37
12.2	护岸	37
12.3	衔接段	37
13	干坞	39
13.1	一般规定	39
13.2	固定干坞	39
13.3	工厂化干坞	40
13.4	移动干坞	41
14	结构防水	43
14.1	一般规定	43
14.2	结构防水	43
14.3	接头、接缝防水	44
15	耐久性	46
16	抗震	49
16.1	一般规定	49
16.2	地震作用计算	49
16.3	抗震验算	50

本标准用词说明	53
引用标准名录	54

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	5
3	Basic Requirements	7
4	Investigation and Survey	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Engineering Investigation	8
4.3	Engineering Survey	9
5	General Design	11
5.1	General Requirements	11
5.2	Tunnel Site Arrangement	11
5.3	Geometric Design	11
5.4	Key Technical Solutions	12
6	Materials	14
7	Classification and Combination of Loads	16
7.1	Classification of Loads and Representative Values of Loads ...	16
7.2	Combination of Loads	18
8	Structural Calculation	22
8.1	General Requirements	22
8.2	Buoyancy Calculation	22
8.3	Static Load Calculation	23
8.4	Outfitting Parts Calculation	24
9	Element Structure	25
9.1	General Requirements	25

9.2	Structural Type and Requirements	25
9.3	Joint	26
9.4	Parts Pre-set and Pre-embedded	27
10	Element Floating Transportation and Immersion	31
10.1	General Requirements	31
10.2	Element Floating Transportation	31
10.3	Element Immersion	33
11	Trench, Cushion Layer and Backfill	34
11.1	General Requirements	34
11.2	Trench	34
11.3	Cushion Layer	35
11.4	Backfill	35
12	Bank Revetment and Connection Tunnel	37
12.1	General Requirements	37
12.2	Bank Revetment	37
12.3	Connection Tunnel	37
13	Dry Dock	39
13.1	General Requirements	39
13.2	Fixed Dry Dock	39
13.3	Factory Dry Dock	40
13.4	Mobile Dry Dock	41
14	Structural Waterproof	43
14.1	General Requirements	43
14.2	Structural Waterproof	43
14.3	Joint and Seam Waterproof	44
15	Durability	46
16	Seismic Resistance	49
16.1	General Requirements	49
16.2	Earthquake Action	49
16.3	Seismic Checking	50

Explanation of Wording in this Standard 53
List of Quoted Standards 54

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

1 总 则

1.0.1 为使沉管法隧道设计做到安全可靠、技术先进、经济合理、耐久适用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于钢筋混凝土管节采用沉管法的隧道结构勘察与设计。

1.0.3 沉管法隧道结构勘察与设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

住房和城乡建设部信息公开
住房城乡 浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 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。

2.1.2 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。

2.1.3 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。

2.1.4 沉放 immersion

管节下沉至指定位置的过程。

2.1.5 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。

2.1.6 沉管段 immersed elements assembly

所有管节连接起来形成的隧道段。

2.1.7 衔接段 connection tunnel

与沉管段隧道两端相连接的、一般采用明挖现浇法施工的隧道或地下构筑物。

2.1.8 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驳船作为管节预制、舾装的场地则称为移动干坞。

2.1.9 最终接头 closure joint

实现沉管隧道贯通的连接结构，又称合拢接头。

2.1.10 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。

2.1.11 管节接头 element joint

管节与管节、管节与衔接段之间的连接结构。

2.1.12 GINA 止水带 GINA gasket

安装于管节接头处外贴压缩式防水专用橡胶制品。

2.1.13 OMEGA 止水带 OMEGA seal

安装于管节接头处内贴可卸式防水专用橡胶制品。

2.1.14 系泊 mooring

管节浮出水面或浮运到位后，通过锚拉固定于水面的过程。

2.1.15 干舷 freeboard

管节在寄放、系泊、浮运过程中，其顶面高出吃水线的竖向距离。

2.1.16 基槽 trench

用于埋置隧道的条形水下基坑。

2.1.17 压舱混凝土 ballast concrete

放置于管节内，提供压载重量的混凝土。

2.1.18 拉合座 pulling bearing

设置在管节接头两端顶部，用于实现管节初始压接的拉合装置。

2.1.19 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。

2.1.20 钢端壳 steel shell of the terminal surface

管节或衔接段端头用于 GINA 止水带和 OMEGA 止水带安装或对接的钢构件，又称端钢壳。

2.1.21 水密门 watertight door

设置于端封墙上，用于管节沉放后临时通行的防水密封门。

2.1.22 鼻托 bearer

用于管节沉放、对接，具有临时承托、导向作用的装置。

2.1.23 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。

2.1.24 舾装 outfitting

管节浮运沉放所需的临时设施及设备安装作业。

2.1.25 人孔 man hole

管节顶部预留的人员临时进出孔洞。

2.1.26 节段 segment

一次或分次预制完成，在陆上通过接头连接组成沉管管节的基本单元，相邻节段间纵向钢筋不连通，组成的管节称节段式管节。反之，一般称整体式管节。

2.1.27 节段接头 segment joint

节段与节段之间的连接结构。

2.1.28 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。

2.1.29 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。

2.1.30 灌砂法 sand flow method

通过管节侧墙、底板等结构预埋管压注砂（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。

2.1.31 压浆法 grouting method

通过管节底板预埋管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。

2.1.32 锁定回填 locking backfill

管节对接完成后，为约束其水平位移，对管节尾部自由端两侧一定范围内的基槽底部进行的回填。

2.1.33 护岸 bank revetment

保护堤岸的构筑物。

2.1.34 坞墙 dock wall

工厂化干坞中深坞和浅坞周围的挡水结构物。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

- C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值；
 F_f ——管节浮力设计值；
 G_b ——舢装、压舱及覆盖层等有效压重标准值；
 G_s ——管节自重标准值；
 R ——结构构件的承载力设计值；
 R_d ——结构构件抗力设计值；
 S ——结构构件内力组合的设计值；
 S_{Ad} ——按偶然荷载标准值 A_0 计算的荷载效应值；
 S_d ——荷载组合的效应设计值；
 S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；
 S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应；
 S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
 S_{Gjk} ——按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；
 S_{Qik} ——按第 i 个可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值，其中 Q_{ik} 为起主导作用的可变荷载的荷载效应值。

2.2.2 几何参数

- H ——管节外包高度；
 H_0 ——管节出坞设计水位标高；
 H_a ——固定干坞坞底标高或驳船下潜区底标高；
 H_d ——浅坞区坞底标高；
 H_b ——管节脱离驳船时设计水位；
 H_j ——管节寄放最小水深；
 H_1 ——驳船船体高度；
 H_s ——管节底部至坞底（驳船甲板面）的起浮安全距离；
 H_t ——最低通航水深；
 h ——计算结构层净高；
 h_g ——管节干舷高度；

h_j ——管节寄放安全距离；
 h_s ——管节浮运安全距离；
 h_y ——移动干坞浮运管节最大吃水深度；
 V ——管节排开水的体积。

2.2.3 计算系数及其他

γ_w ——水体重度；
 γ_s ——抗浮分项系数；
 m ——参与组合的永久荷载的数量；
 n ——参与组合的可变荷载的数量；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；
 γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数；
 γ_G ——重力荷载分项系数；
 γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数；
 γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载的设计使用年限调整系数；
 γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 ψ_{G^*} ——可变荷载 Q 的组合值系数；
 ψ_{L_1} ——第 1 个可变荷载的频遇值系数；
 ψ_{L_i} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数；
 Δu_e ——设防地震作用标准值产生的结构最大弹性层间位移；
 Δu_p ——弹塑性层间位移；
 $[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值。

3 基本规定

- 3.0.1 沉管法隧道设计前应进行工程调查与勘测工作。
- 3.0.2 沉管法隧道宜进行总体设计。
- 3.0.3 沉管法隧道设计内容应包括运营期间的健康监测要求。
- 3.0.4 沉管法隧道应根据不同的使用功能需求确定主要设计指标。
- 3.0.5 沉管法隧道应加强施工期间环境条件、施工状况的监测工作，实施信息化设计。

4 工程调查与勘测

4.1 一般规定

4.1.1 工程调查与勘测应根据沉管法隧道的技术特点、设计要求和所在区域条件，采用相应的方法。搜集和调查的资料应准确可靠，勘测精度应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.2 工程勘测方法及勘测工作量应根据现场地形、地貌、地质条件、工程结构设置以及不同勘测手段的特殊性等确定。

4.2 工程调查

4.2.1 工程调查应根据沉管法隧道不同设计阶段的任务、目的、要求，针对隧道结构特点和规模，确定搜集、调查资料的内容、范围和深度要求。

4.2.2 工程调查应包括下列主要内容：

1 现状及规划资料，包括道路交通、城市建设、港口码头、航道运输、堤岸防护等；

2 气象资料，包括气温、湿度、降水、雾况、风向、风速等；

3 水文地质资料，包括水位、波浪、流速、流向、水温、重度、水质、防洪标准、河道整治、河（海）势变化等；

4 工程地质及地震资料，包括地形、地貌、工程地质、区域地震历史、抗震设防烈度、设计地震分组、设计基本地震加速度等；

5 沿线地面、地下及水下建（构）筑物资料，包括建（构）筑物、管线、文物、军事设施、矿产资源、危险爆炸物等；

6 环境资料，包括隧道附近大气环境现状、车辆废气排放要求、噪声要求、水域生态保护要求以及隧道口外部环境亮

度等；

7 现场施工条件资料，包括场地、供水供电、建筑材料来源、装备和机械等。

4.3 工程勘测

4.3.1 隧道勘测应与设计阶段相适应，分阶段进行。勘测阶段可分为可行性研究勘测、初步勘测和详细勘测，必要时应进行补充勘测。

4.3.2 水下地形测绘应符合下列规定：

1 水下地形测量应与陆上地形测量互相衔接；

2 可行性研究阶段，水下地形应以搜集既有资料和现场调查为主，工程地质测绘比例应满足相关审批部门的要求；

3 初步设计阶段的测绘比例宜采用 $1:1000 \sim 1:2000$ ，测绘范围宜取隧道轴线两侧各 $2\text{km} \sim 3\text{km}$ ；

4 施工图设计阶段，测绘比例宜采用 $1:500 \sim 1:1000$ ，测绘范围宜取隧道轴线两侧各 $0.5\text{km} \sim 1\text{km}$ ；

5 当采用异地干坞时，各阶段测绘范围应涵盖管节浮运区域。

4.3.3 水域段勘察工作应符合下列规定：

1 可行性研究勘察应以搜集资料、现场踏勘为主，辅以必要的勘探、测试工作，初步评价对隧道的影响，勘探应符合下列规定：

1) 勘探点平面布置孔距宜为 $400\text{m} \sim 500\text{m}$ ，勘探点总数量不宜少于 2 个，且对沿线每一地貌单元及工法分段不应少于 1 孔；

2) 在松散地层中，勘探孔深度应达到拟建隧道结构底板下 2.5 倍隧道高度，且不应小于 20m ；

3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔深度应达到结构底板下，且不应小于 8m ，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。

- 2 初步勘察阶段，勘探应符合下列规定：
 - 1) 地质条件复杂的隧道，勘探点总数不应少于 5 个，长隧道和特长隧道勘探点间距宜为 100m~300m；
 - 2) 在松散地层中，一般性勘探孔进入隧道底板以下不应小于 1.5 倍隧道高度，控制性勘探孔进入隧道底板以下不应小于 2.5 倍隧道高度；
 - 3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔进入隧道底板以下不应小于 1 倍隧道高度，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。
- 3 详细勘察阶段，勘探应符合下列规定：
 - 1) 勘探孔可采用梅花形布设方式，管节底部投影区域勘探孔间距宜为 30m~50m；水下浚挖边坡范围内勘探孔间距宜为 40m~60m；
 - 2) 在松散地层中，一般性勘探孔进入隧道底板以下不应小于 1.5 倍隧道高度，控制性勘探孔进入隧道底板以下不应小于 2.5 倍隧道高度；
 - 3) 在微风化及中等风化岩石中，勘探孔深度应进入隧道底板以下 0.5 倍隧道高度且不应小于 5m，遇岩溶、土洞、暗河时应穿透并根据需要加深钻孔。
- 4 当河（海）底存在淤泥时应实测淤泥层厚度及各分层淤泥密度。
- 5 管节浮运区域需疏浚时，疏浚范围内应布设勘探孔，勘探孔深度应满足疏浚工程量计算需要，勘探孔间距根据区域地质环境具体确定。
- 6 水域段的水文勘察应包括水流速度、水位、水重度等内容。

5 总体设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 总体设计应包括隧道位置、线形、断面、干坞、管节浮运与沉放等内容。
- 5.1.2 路线设计应符合总体规划要求，并应协调好与周边建（构）筑物、航道、地下管线间的关系。
- 5.1.3 隧道设计应满足城市、堤防、航道、码头等远期规划实施后现状环境改变时隧道结构的安全。
- 5.1.4 结构设计应符合使用条件、结构类型、施工工艺、机械设备的要求，并满足设计使用年限、使用功能等要求。

5.2 隧道位置选择

- 5.2.1 隧道位置应避开滑坡、泥石流、地震断裂带等危险地段。
- 5.2.2 隧道位置应根据地震活动性及工程地质条件选择抗震有利地段，无法满足时应采取有效措施。
- 5.2.3 隧道位置宜选择在水文、河势稳定以及河床平缓地段，基槽底最大水深不宜大于 50m，水流速度窗口期满足管节浮运、沉放施工作业的要求。
- 5.2.4 隧道位置选择应满足水文和航运条件，有利于隧道施工和环境保护，减少对驳岸、码头等既有构筑物的不良影响。

5.3 几何设计

- 5.3.1 隧道平面设计应符合下列规定：
 - 1 隧道中心线与航道中心线、堤岸治导线宜正交或大角度斜交；

2 隧道沉管段平面线形宜采用直线，不满足时宜结合隧道功能、管节长度、断面宽度、施工工艺等因素综合确定合理的平曲线半径。

5.3.2 隧道总平面设计应满足隧道运营期管养维护、防灾救援等综合要求。

5.3.3 隧道纵断面线形应根据地形、地貌等工程建设条件确定。

5.3.4 隧道应埋设在规划航道底标高以下，并满足规划航道实施及隧道顶部防锚层敷设要求。

5.3.5 管节顶部宜埋置在冲刷包络线以下，当不满足或管节顶部局部高出现状河（海）床面时，应进行专题研究。

5.3.6 沉管段与衔接段分界位置的选择应保证管节结构顶面位于施工期最低水位标高以下，并应满足管节水力压接的要求。

5.3.7 管节长度和分节数应根据制作方式、浮运、沉放、隧道纵断面等条件，并结合地质、水文、河床形态等因素综合确定。

5.3.8 隧道净空尺寸除应满足建筑限界、设备布置外，尚应满足施工误差、测量误差、结构变形与工后沉降的要求。

5.3.9 管节横断面尺寸除应满足隧道净空、结构受力和变形要求外，尚应满足浮力设计的要求。

5.3.10 交通功能隧道应在隧道洞口和最低点位置设置排水泵房。

5.4 控制性技术方案

5.4.1 干坞方案应根据工程投资、工期筹划、管节数量以及场地、航道、水文等条件确定。

5.4.2 隧道两端岸上衔接段方案应与干坞方案及管节预制工期匹配。

5.4.3 管节浮运方式应根据干坞形式、航道条件、浮运距离、水文和气象等因素确定。

5.4.4 管节沉放方式应根据航道条件、水文环境、管节结构、施工装备等因素确定。

5.4.5 最终接头位置和结构形式应根据航道条件、隧道埋深、干坞方案、工期筹划等因素确定。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

6 材 料

- 6.0.1** 工程材料的选用应根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境等因素确定。
- 6.0.2** 管节主体结构混凝土应采用防水混凝土，混凝土抗渗等级不应低于 P8。
- 6.0.3** 管节主体结构混凝土原材料和配合比、最低强度等级、最大水胶比以及胶凝材料最小用量等应符合耐久性要求，并应满足抗裂、抗渗、抗冻、抗腐蚀性等要求。
- 6.0.4** 管节主体结构混凝土强度等级不应低于 C35，预应力管节主体结构混凝土强度等级不应低于 C40。
- 6.0.5** 管节后浇带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管节本体混凝土。
- 6.0.6** 管节压舱混凝土设计强度等级不宜低于 C25，防锚层混凝土设计强度等级不宜低于 C20。
- 6.0.7** 管节钢端封墙、水密门、剪力键、钢端壳等部位钢材可采用 Q235B 材质。
- 6.0.8** 主体结构主筋宜采用 HRB400、HRB500 钢筋，箍筋宜采用 HPB300、HRB400 钢筋。
- 6.0.9** 钢端壳内注浆宜采用无收缩水泥砂浆材料，强度等级不宜小于 M25。
- 6.0.10** 临时支撑垫块钢板、临时支撑钢管桩桩帽面板宜采用 40CrMoMn 材质，临时支撑钢管桩宜采用 Q235B 材质，垂直千斤顶推杆端部 HRC（洛氏硬度）不宜小于 50。
- 6.0.11** 管节接头 PC 拉索应采用高强度低松弛钢绞线，极限强度标准值不应小于 1860MPa。
- 6.0.12** GINA 止水带与 OMEGA 止水带材料应按本标准第 14

章规定执行。

6.0.13 GINA 止水带、OMEGA 止水带压板、压条钢板可采用 Q235B 材质，紧固件宜采用性能等级不低于 5.6 级的普通螺栓，并应满足耐久性要求。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

7 荷载和组合

7.1 荷载分类和荷载代表值

7.1.1 沉管法隧道结构上作用的荷载可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载，其分类应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 沉管法隧道作用荷载分类

荷载分类		荷载名称
永久荷载		结构自重
		地层土压力
		静水压力
		混凝土徐变和收缩效应
		结构上部建筑物及设施压力荷载
		地基及基础差异沉降影响
		设备及压载混凝土等荷载
可变荷载	基本可变荷载	隧道内部车辆荷载
		水压力变化
		温差作用
		工后差异沉降作用
		人群荷载
		地面超载
	其他可变荷载	系缆力
		水流作用、波浪力
		沉放吊点荷载
		维修荷载
		压舱荷载

续表 7.1.1

荷载分类	荷载名称
偶然荷载	地震作用
	隧道内车辆爆炸荷载
	车辆撞击荷载
	人防荷载
	沉船、锚击等荷载
	火灾作用

7.1.2 荷载应根据隧道功能、地质特征、埋置深度、结构特征、环境条件和施工方法等因素确定。

7.1.3 永久荷载标准值确定应符合下列规定：

1 隧道结构自重应按结构设计尺寸、压舱混凝土厚度、防锚层厚度及材料重度标准值计算；

2 隧道顶板以上覆土压力应按覆土厚度按全土柱重计算，侧向地层压力应按静止土压力计算，土体重度应按有效重度取值。

7.1.4 可变荷载标准值应按下列规定计算：

1 车辆荷载及其动力作用应按现行国家相关标准确定；

2 变动水压力应根据设计水位与常水位差计算；

3 温度应力应根据常年气象和水温统计资料确定的温差变化数据计算；

4 其他可变荷载应根据施工过程及其特点，涵盖施工中的各种最不利情况。

7.1.5 偶然荷载应按下列规定计算：

1 地震作用应按本标准第 16 章规定确定；

2 爆炸荷载应仅计算一辆车自身油箱燃油爆炸作用；

3 车辆撞击荷载大小及作用位置高度应按现行国家相关标准确定；

4 隧道内人防荷载应根据隧道使用功能及人防部门要求

确定；

5 沉船荷载和锚击应根据规划航道等级、隧道顶板覆土厚度、水深等因素确定。

7.1.6 结构设计时，荷载代表值应按下列方法选取：

1 永久荷载应采用标准值作为代表值；

2 可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为其代表值；

3 偶然荷载应根据沉管法隧道使用功能确定其代表值。

7.1.7 承载能力极限状态或正常使用极限状态按标准组合设计时，对可变荷载应采用荷载组合值或标准值作为其荷载代表值，可变荷载组合值应为可变荷载标准值乘以荷载组合值系数。

7.1.8 正常使用极限状态按频遇组合设计时，应采用可变荷载频遇值或准永久值作为其荷载代表值；按准永久组合设计时，应采用可变荷载准永久值作为其荷载代表值。可变荷载频遇值应为可变荷载标准值乘以频遇值系数；可变荷载准永久值应为可变荷载标准值乘以准永久值系数。

7.2 荷载组合

7.2.1 结构设计应根据结构在施工或运营期间可能同时出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合，并取最不利组合进行设计。

7.2.2 承载能力极限状态，应按荷载基本组合或偶然组合计算荷载组合的效应设计值，并应采用下式进行计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (7.2.2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，沉管法隧道主体结构安全等级为一级，其结构重要性系数不应小于 1.1；次要结构安全等级为二级，其结构重要性系数不应小于 1.0；其他临时结构安全等级为三级，其结构重要性系数不应小于 0.9；

S_d ——荷载组合的效应设计值；

R_d ——结构构件抗力设计值。

7.2.3 荷载基本组合的效应设计值 S_d ，应从下列荷载组合值中取用最不利的效应设计值确定：

1 可变荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_j,k} + \gamma_{Q_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.3-1)$$

式中： γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数，应按本标准第 7.2.4 条采用；

γ_{Q_1} 、 γ_{Q_i} ——起主导作用的可变荷载及第 i 个可变荷载的分项系数，应按本标准第 7.2.4 条采用；

$S_{G_j,k}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 $G_{j,k}$ 计算的荷载效应值；

$S_{Q_i,k}$ ——按第 i 个可变荷载标准值 $Q_{i,k}$ 计算的荷载效应值，其中 $S_{Q_1,k}$ 为起主导作用的可变荷载的荷载效应值；

ψ_{c_i} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数，应按本标准第 7.2.10 条采用；

m 、 n ——分别为参与组合的永久荷载数及可变荷载数。

2 永久荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_j,k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.3-2)$$

注：1 基本组合中的效应组合设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性关系的情况；

2 当无法明显判断可变荷载是否起控制作用或者无法判断 $S_{Q_1,k}$ 时，应将各可变荷载依次作为 $S_{Q_1,k}$ 试算，并取其中最不利的荷载组合效应设计值。

7.2.4 基本组合中的荷载分项系数，应按下列规定采用：

1 永久荷载的分项系数应符合下列规定：

1) 当永久荷载对结构不利时，对由可变荷载效应控制的组合应取 1.2，对由永久荷载效应控制的组合应取 1.35；

2) 当永久荷载对结构有利时，不应大于 1.0。

2 可变荷载的分项系数应取 1.4。

7.2.5 荷载偶然组合的效应设计值 S_d 可按下列规定采用：

1 用于承载力极限状态计算的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + S_{A_d} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.5-1)$$

式中： S_{A_d} ——按偶然荷载标准值 A_d 计算的荷载效应值；

ψ_{f_1} ——第 1 个可变荷载的频遇值系数；

ψ_{q_i} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数。

2 用于偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.5-2)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性关系的情况。

7.2.6 对于正常使用极限状态，应根据不同设计要求，分别采用荷载效应标准组合、频遇组合或准永久组合，并按下式进行计算：

$$S_d \leq C \quad (7.2.6)$$

式中： C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值。

7.2.7 荷载标准组合的效应设计值 S_d 应按下式计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.7)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性关系的情况。

7.2.8 荷载频遇组合的效应设计值 S_d 应按下式计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.8)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性关系的情况。

7.2.9 荷载准永久组合的效应设计值 S_d 应按下式计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \sum_{i=1}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (7.2.9)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性关系的情况。

7.2.10 沉管法隧道均布可变荷载组合值系数、频遇值系数及准永久值系数应按表 7.2.10 采用。

表 7.2.10 沉管法隧道均布可变荷载组合值系数、频遇值系数及准永久值系数

系数 荷载	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
隧道内车辆荷载	0.70	0.7	0.6
水压力变化值	0.75	1.0	1.0
温差作用	0.75	0.8	0.8
人群荷载	0.70	0.6	0.5
地面超载	0.70	0.6	0.4
其他可变荷载	0.50	0.3	0

8 结构计算

8.1 一般规定

8.1.1 沉管法隧道结构应进行管节预制、系泊、浮运、沉放等施工工况和正常运营工况下的结构强度、变形、稳定性、抗浮和沉降等计算分析。

8.1.2 管节结构应就其在施工期和运营期不同工况下可能出现的最不利荷载组合，分别进行横向和纵向结构分析，并按承载力极限状态和正常使用极限状态进行验算。

8.2 浮力计算

8.2.1 干舷高度应根据管节尺寸、混凝土重度、结构含钢量、水体重度、施工荷载、管节制作误差等因素确定，管节完成舾装后的干舷高度宜控制在 100mm~200mm。

8.2.2 管节在漂浮状态的定倾高度不宜小于 300mm。如管节在施工过程中可能因侧向牵引、锚拉、横向水流、浪涌或风压而产生较大倾角的状态，应按船舶工程的计算方法进行稳定性验算。

8.2.3 管节在施工期和运营期，应按下列公式进行抗浮计算：

$$F_f \leq \frac{G_s + G_b}{\gamma_s} \quad (8.2.3-1)$$

$$F_f = \gamma_w V \quad (8.2.3-2)$$

式中： F_f ——管节浮力设计值 (kN)；

G_s ——管节自重标准值 (kN)；

G_b ——舾装、压舱及覆盖层等有效压重标准值 (kN)；

γ_w ——水体重度 (kN/m³)；

V ——管节排开水的体积 (m³)；

γ_s ——抗浮分项系数，各阶段取值：

- 1) 沉放、对接阶段 1.01~1.02;
- 2) 对接完成后 1.05;
- 3) 压舱混凝土、回填覆盖完成后 1.10~1.20。

8.3 管节静力计算

8.3.1 管节横向计算应符合下列规定:

- 1 管节横向计算应根据水深情况、覆土情况等分段进行计算;
- 2 管节横向分析宜采用平面应变模型进行计算 (图 8.3.1)。

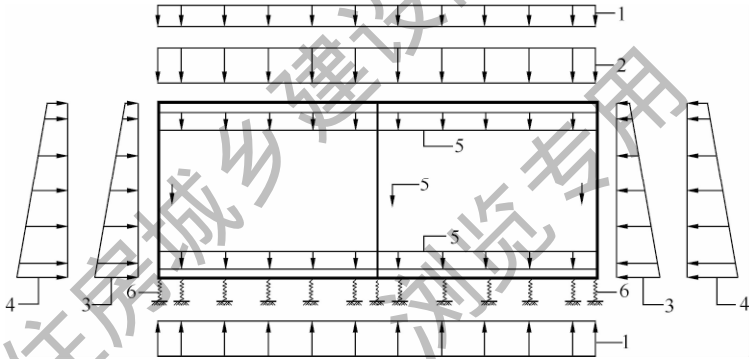


图 8.3.1 管节横向内力计算简图

- 1—水压力; 2—覆土荷载; 3—侧向土压力; 4—侧向水压力;
5—结构自重; 6—基底支承弹簧

8.3.2 管节纵向计算应符合下列规定:

- 1 施工期管节纵向结构分析应根据管节结构形式、施工工艺、波浪力、水流力等因素进行计算,对于受力状态复杂的施工工况宜采用三维数值计算方法进行结构分析;
- 2 运营期管节纵向结构分析宜采用弹性地基梁模型进行计算;
- 3 应对纵向不均匀沉降、温度变化、混凝土收缩徐变作用下的结构和接头变形进行分析,并满足管节接头允许变形要求;

4 应根据地基土的承载历史及施工过程进行沉降量计算。

8.4 舾装件计算

8.4.1 端封墙、系缆桩、测量塔、拉合座、吊点、鼻托、压载水舱及临时支承系统等舾装件，应根据受力特点和使用要求进行结构强度、变形及稳定性分析。

8.4.2 端封墙应根据施工期最不利工况条件下的梁板结构进行计算，并应采用最高水位进行校核。

8.4.3 系缆桩可按水工模型试验确定的系缆力进行设计。

8.4.4 测量塔宜按空间体系进行结构整体分析，按浮运、沉放工况分别进行计算，塔顶水平变形不宜大于 15mm。

8.4.5 拉合座拉合力应根据选定 GINA 止水带的压缩曲线，按 GINA 止水带鼻尖压缩量达到初步止水时对应的压缩力进行计算。

8.4.6 吊点最大起吊力应按管节沉放过程中最不利工况下 3 个吊点进行计算。

8.4.7 鼻托应根据管节沉放、对接过程中最不利工况下的受力条件，按牛腿结构形式进行计算。

9 管节结构

9.1 一般规定

- 9.1.1 管节结构设计除应满足设计使用年限和使用功能外，还应满足运营环境、施工工艺等要求。
- 9.1.2 管节结构设计时应同步进行预留预埋构件设计。
- 9.1.3 钢筋混凝土沉管法隧道管节横断面宜采用左右对称的矩形断面。
- 9.1.4 管节结构尺寸除应满足各阶段结构受力、变形要求外，尚应满足管节浮运期的干舷及运营期抗浮安全要求。
- 9.1.5 管节舾装设施应满足系泊、浮运、沉放、对接等施工工艺要求。

9.2 结构形式和构造要求

- 9.2.1 沉管法隧道可采用整体式管节或节段式管节。
- 9.2.2 管节长度应根据建设边界条件经技术经济比较后确定，整体式管节每节长度不宜大于 130m，节段式管节每节长度不宜大于 180m。
- 9.2.3 沉管管节应纵向分段浇筑，整体式管节纵向分段长度不宜大于 20m，分段之间采用后浇带连接；节段式管节分段长度不宜大于 23m，分段之间采用节段接头连接。
- 9.2.4 整体式管节横断面宜采用分层浇筑，节段式管节横断面宜全断面一次性浇筑。
- 9.2.5 管节结构制作精度应符合表 9.2.5 的规定。
- 9.2.6 整体式管节水下最终接头处宜设置短管节，短管节长度不宜大于 4.0m。

表 9.2.5 管节结构制作精度

尺寸	内孔净宽 (mm)	内孔净高 (mm)	板厚 (mm)		管节宽度 (mm)	管节高度 (mm)	管节长度 (mm)
			顶底板	侧墙			
允许 偏差	0~+10	0~+5	-5~0	-10~0	-10~ +10	-5~+5	-30~+30

9.2.7 管节内压载水舱位置宜选用轻便可拆装的结构，根据管节重心按轴线对称分舱设置。

9.2.8 压载水舱有效容积计算应根据管节沉放坡度、预制误差等因素确定，并应满足施工期管节抗浮安全系数要求。

9.2.9 压载水舱应设置能满足管节两端独立进水、排水的管路。

9.3 接 头

9.3.1 沉管法隧道接头结构设计应包括下列内容：

- 1 沉管段基础差异沉降产生的变形和应力计算；
- 2 混凝土干缩、温度变化产生的变形和应力计算；
- 3 结构的水密性和抗震性设计；
- 4 施工和维护的便利性措施。

9.3.2 管节接头宜采用柔性接头，外侧设置 GINA 止水带，内侧设置 OMEGA 止水带，并设置横向、竖向、纵向限位装置。

9.3.3 管节接头和节段接头应进行水密性设计。

9.3.4 节段接头宜采用中埋式可注浆止水带为主的柔性接头，并宜设置竖向和水平剪力键。

9.3.5 水下最终接头宜采用现浇钢筋混凝土刚性接头。

9.3.6 水下最终接头长度应根据水下作业空间需求、管节施工误差累积、GINA 止水带压缩量变化等因素确定，其长度不宜小于 2.0m。

9.3.7 纵向限位装置可采用 PC 拉索或 OMEGA 钢板。

9.3.8 剪力键结构耐久性要求不得低于管节主体结构使用年限要求。

9.3.9 水平剪力键宜设置在管节接头的顶部或底部。

9.3.10 竖向剪力键之间应设置避免应力集中的缓冲装置。

9.4 预留预埋

9.4.1 预留预埋设施应根据其用途按临时结构或永久结构设计。

9.4.2 临时预留预埋设施应选用易封堵或易拆除的结构形式。

9.4.3 永久预留预埋设施应按与主体结构同寿命原则进行耐久性设计。

9.4.4 预留设施应避开管节结构受力较大的复杂区域、施工缝和预留孔洞等部位，当预留设施对原结构受力不利时，应对原结构作加固补强处理。

9.4.5 预留预埋件的设计除应满足本标准规定外，尚应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计标准》GB 50017 的相关要求。

9.4.6 每节管节宜设置 1 处~2 处人孔，人孔宜与测量塔联合布置于管顶轴线上。圆形人孔内径不宜小于 800mm。

9.4.7 每个管节中隔墙上宜预留临时施工洞口，净宽度不宜小于 0.6m，净高不宜小于 1.8m。

9.4.8 中隔墙上预留的疏散救援等洞口，其间距及尺寸应满足现行国家相关标准要求，并宜结合临时施工洞口设置。

9.4.9 钢端壳应符合下列规定：

- 1 结构尺寸应满足止水带安装及止水带压缩变形的要求；
- 2 强度和刚度应满足水力压接时的轴向受压要求；
- 3 应满足管节沉放安装误差及后期不均匀沉降的要求；
- 4 面板的平整度每延米不应大于 1mm，整体平整度不应大于 3mm；
- 5 加劲肋间距不应大于 2 倍钢端壳的腹板高度；
- 6 钢端壳横隔板之间的钢端壳 H 形钢梁翼板上，应各设置注浆孔和排气孔，并应在注浆完成后塞焊密封。

9.4.10 端封墙宜采用易拆卸式结构，相邻管节端封墙间净距应

满足水密门开启要求。

9.4.11 端封墙预留预埋应符合下列规定：

- 1 端封墙应根据实际需要预留通气管、进水管、排水管、电缆孔、水密门等设施；
- 2 端封墙、水密门与周边结构连接应满足防水性要求；
- 3 在管节端头顶板、底板内侧应设计抗剪牛腿；
- 4 采用钢端封墙时，管节端头周边应预埋钢板与端封墙板焊接。

9.4.12 钢剪力键预埋件设计应符合下列规定：

- 1 预埋件平面尺寸应根据结构尺寸和抗剪力大小确定；
- 2 预埋件倾斜度不应大于 0.5%，中心位置允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ ；
- 3 预埋件强度和刚度应满足基础变形和地震作用等要求；
- 4 钢板、连接螺栓设计应根据剪力大小计算确定；
- 5 预埋件连接螺栓性能等级不应低于 5.6 级。

9.4.13 管节端部 PC 拉索设计宜符合下列规定：

- 1 沿管节端头顶板、底板宜对称布置，并避开灌砂管、端封墙牛腿等其他预埋构件；
- 2 张拉结束后，宜向钢绞线护套内注入防腐油脂；
- 3 预埋连接套筒制作长度误差限值宜为 $\pm 5\text{mm}$ ，安装位置偏差限值宜为 $\pm 10\text{mm}$ 。

9.4.14 管外垂直千斤顶预埋件设计应符合下列规定：

- 1 应布置于管节端部的侧墙下底板处；
- 2 钢板厚度不应小于 40mm，并应满足应力扩散要求。

9.4.15 管内垂直千斤顶预留预埋设施应符合下列规定：

- 1 刚度应满足管节顶升要求；
- 2 预留洞口高度应满足千斤顶及油缸行程要求。

9.4.16 当管节底部设置防水底钢板时，底钢板应符合下列规定：

- 1 厚度不应小于 6mm，并满足耐久性要求；

2 两端与钢端壳 H 形钢梁外侧翼缘焊接，两侧边上翻高度应超过侧墙混凝土施工缝上部 1 倍侧墙厚度；

3 内侧焊接 L 形短钢筋。

9.4.17 管节结构预埋灌砂管应符合下列规定：

1 灌砂管应预埋于管节侧墙或中隔墙内，出砂口平面布置应根据灌砂扩散半径确定；

2 灌砂管径应根据砂粒特性、布置间距、管底水压等因素确定，其壁厚不应小于 3.5mm；

3 灌砂管在管节顶板、底板内应设置止水措施；

4 灌砂完成后应对灌砂管进行有效封堵。

9.4.18 管节结构预埋的管内注浆管应符合下列规定：

1 出浆口平面布置应根据浆液扩散半径确定；

2 注浆管径应根据浆液特性、布置间距、管底水压等因素确定，其壁厚不宜小于 3.5mm；

3 注浆完成后应对注浆管进行有效封堵。

9.4.19 管节在浮运、沉放作业所需的临时预留预埋设施应符合下列规定：

1 拉合座及滑车预埋件应符合下列规定：

1) 拉合座应包括连接钢板、连接锚栓及抗剪型钢，连接钢板厚度不应小于 0.6 倍锚栓直径；

2) 抗剪型钢规格根据计算确定，锚入结构内长度不应小于 2 倍截面高度，并与连接钢板可靠焊接，焊缝等级不应低于二级；

3) 连接锚栓外露丝扣长度不应大于 3 倍锚栓直径。

2 沉放吊点及系缆桩预埋件应符合下列规定：

1) 预埋件应包括连接钢板及连接锚栓，连接钢板厚度不应小于 0.6 倍锚栓直径；

2) 连接锚栓外露丝扣长度不宜大于 3 倍锚栓直径，并应与连接钢板围焊连接。

3 竖向剪力键预埋件应符合下列规定：

- 1) 竖向剪切预埋件包括连接钢板、型钢抗剪键及连接螺栓套筒，连接钢板厚度不应小于 20mm；
 - 2) 型钢抗剪键、连接螺栓套筒与连接钢板间可靠焊接，焊缝等级不应低于二级。
- 4 压载水舱预埋件包括连接钢板、连接钢筋，连接钢板厚度不应小于 6mm。
- 5 测量塔及人孔预埋件包括连接钢板、连接钢筋，连接钢板厚度不应小于 10mm。
- 9.4.20** 预埋钢板采用锚栓与主体结构连接时，其中心间距、周边孔距离锚板边缘的净距应符合表 9.4.20 的规定。

表 9.4.20 锚栓布置尺寸

名 称	最大允许值	最小允许值
相互中心距离	$12d_0$ 及 $18t$ 之较小值	$3d_0$
垂直剪力方向的端距	$4d_0$ 及 $8t$ 之较小值	$2.5d_0$
平行剪力方向的边距		$1.5d_0$

注： d_0 为锚栓孔径， t 为锚板厚度。

10 管节浮运、沉放

10.1 一般规定

- 10.1.1 管节浮运、沉放设计应根据项目的建设条件、自然条件，经技术经济比选确定。
- 10.1.2 管节浮运、沉放过程中，应对管节姿态进行实时监控。
- 10.1.3 浮运航道宜利用现有航道。

10.2 管节浮运

- 10.2.1 管节浮运应进行管节稳定性和主缆受力数值模拟分析计算，水文条件复杂时应进行物理模型试验。
- 10.2.2 管节浮运工况内力应在最不利荷载组合作用下，按波浪最不利波长进行计算。
- 10.2.3 管节拖航时应对拖航阻力进行验算。
- 10.2.4 浮运之前，应对管节本体、端封墙、水密门进行检漏测试。
- 10.2.5 应对浮运区域的水文、气象等历史资料进行分析，结合潮位、水深、水流速度、水重度、风速、波高的监测成果，评估确定管节浮运的作业窗口期。
- 10.2.6 管节浮运作业窗口期应符合下列规定：
 - 1 管节干舷应大于 100mm；
 - 2 能见度应大于 1000m；
 - 3 水流流速应小于 1.0m/s；
 - 4 管节浮运速度应小于 1.0m/s；
 - 5 浪高应小于 0.6m；
 - 6 风速应小于 10m/s。
- 10.2.7 浮运航道应符合下列规定：

1 管节浮运航道设计中最低通航水深 H_t 宜符合下式要求:

$$H_t \geq H - h_g + h_s \quad (10.2.7-1)$$

式中: H ——管节外包高度 (m);

h_g ——管节干舷高度 (m);

h_s ——管节浮运安全距离 (m)。

2 管节浮运航道宽度应根据管节水动力性能、浮运方案、水流、风浪等条件确定。

3 采用移动干坞时,浮运航道设计中最低通航水深 H_t 宜符合下式要求:

$$H_t \geq h_y + h_s \quad (10.2.7-2)$$

式中: h_y ——移动干坞浮运管节最大吃水深度 (m);

h_s ——管节浮运安全距离 (m)。

4 管节在内河和湖泊中浮运时,与航道底部的安全距离 h_s 不宜小于 0.5m。

5 管节在海洋环境下浮运时,与航道底部的安全距离 h_s 不宜小于 1.0m。

6 浮运航道为临时工程时,应结合管节的尺寸和浮运方案进行专项设计。

10.2.8 浮运过程中,管节安装有 GINA 止水带的一端宜设置在浮运前进方向的后方,并应设置临时性保护罩。

10.2.9 管节浮运时应严格控制横倾、纵倾。

10.2.10 浮态寄放宜采用四点系泊系统进行定位,管节寄放最小水深 H_j 宜符合下式要求:

$$H_j \geq H - h_g + h_j \quad (10.2.10)$$

式中: H ——管节外包高度 (m);

h_g ——管节干舷高度 (m);

h_j ——管节寄放安全距离 (m)。

10.2.11 潮汐水域中的管节寄放可采用坐底寄放,坐底寄放的管节基底应满足平整度、管节起浮和承载力要求,坐底时抗浮安全系数不应小于 1.05。管节寄放最小水深 H_j 宜满足下式要求:

$$H_j \geq H + 1.0 \quad (10.2.11)$$

式中： H ——管节外包高度（m）。

10.2.12 管节寄放时应在管节上设置标示警示牌，寄放周边区域应设置警示标志。

10.3 管节沉放

10.3.1 管节应根据不同沉放阶段的最不利荷载组合进行内力计算。

10.3.2 管节沉放水流阻力应按不同沉放阶段的工况、不同水深的水流方向和流速，结合管节沉放施工方案进行计算。

10.3.3 管节沉放作业窗口期应符合下列规定：

- 1 风速不应大于 10m/s；
- 2 水流速度不应大于 0.6m/s；
- 3 浪高应小于 0.5m；
- 4 能见度应大于 1000m。

10.3.4 管节沉放过程中压载水舱加载应分次进行，各阶段抗浮安全系数应符合下列规定：

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

10.3.5 管节沉放时，下沉速率不宜大于 0.5m/min。

10.3.6 基础垫层采用后填法时，管节沉放对接完成后允许偏差应符合下列规定：

- 1 相邻管节横向、竖向相对允许偏差应为±20mm；
- 2 测量中误差：水平应为±50mm，高程应为±25mm。

11 管节基槽、基础垫层和回填

11.1 一般规定

- 11.1.1 管节基础应满足管节在施工、运营等各种工况下的承载力、变形及稳定性要求。
- 11.1.2 基础垫层可采用先铺法和后填法。
- 11.1.3 管节基底存在淤泥、淤泥质土、冲填土、液化土地层或软弱下卧层时，应进行地基处理并采用适当的结构措施。
- 11.1.4 管节总沉降量应根据地基沉降量和垫层沉降量确定。
- 11.1.5 管节地基沉降量计算应计入地基先卸载再回填的效应以及基槽回淤的作用。
- 11.1.6 隧道运营期间健康监测应包括管节沉降量、接头张开量以及管顶回填层变化情况等。

11.2 基 槽

- 11.2.1 基槽断面形式应根据隧址的工程地质、水文条件、隧道断面和埋深等条件确定。
- 11.2.2 基槽横断面底部与管节侧墙单侧宽不宜小于 2.0m，曲线段宜适当加宽。
- 11.2.3 基槽底部设计高程应根据隧道底板标高和基础垫层厚度确定。
- 11.2.4 基槽边坡应通过稳定性验算或成槽试验确定，稳定性验算安全系数不应小于 1.3，在缺乏基础资料时可按现行行业标准《疏浚与吹填工程设计规范》JTS 181-5 的相关规定选取。
- 11.2.5 基槽开挖宜结合航道条件纵向分段、分层施工，基槽开挖方式和浚挖设备应根据隧址的工程地质、水文条件、航道条件、开挖深度、生态环境和周边控制性建（构）筑物等因素综合

确定。

11.2.6 水下基槽开挖深度不宜欠挖，最大超深不宜超过 0.5m。

11.2.7 对于岩层的基槽开挖，可经过爆破或凿岩处理后再进行清挖，水下爆破可按国家现行标准《爆破安全规程》GB 6722 和《水运工程爆破技术规范》JTS 204 的相关规定执行。

11.2.8 基槽开挖期间应采取环境保护措施。

11.2.9 管节沉放前，应对基槽底回淤情况进行检查。基槽底回淤沉积物重度大于 11.0kN/m^3 ，且厚度大于 0.3m 时应清淤。

11.3 基础垫层

11.3.1 基础垫层设计应满足管节结构受力和沉降控制的要求。

11.3.2 基础垫层压缩模量等计算参数宜通过载荷板试验获取。

11.3.3 管节基础垫层厚度不宜小于 0.6m，且不宜大于 1.5m。

11.3.4 对有抗震设防要求的沉管法隧道，管节基础垫层应进行抗地震液化验算。

11.3.5 先铺法基础垫层铺设整平高程允许偏差应为 $\pm 40\text{mm}$ 。

11.3.6 后填法管节临时支撑安装精度应符合表 11.3.6 的规定。

表 11.3.6 分填法管节临时支撑安装精度

类型		顶面高程偏差 (mm)	平面位置偏差 (mm)	平面倾斜度	轴线倾斜度
临时支撑垫块		± 20	50	1/125	—
支撑桩	桩帽	± 20	50	1/125	—
	桩	$[-100, 0]$	100	—	1/100

11.4 回 填

11.4.1 管节沉放后应及时对基槽进行回填覆盖，回填选用级配良好、透水性强、不液化、对隧道耐久性无危害、环保的材料。

11.4.2 基槽回填应根据回填料和回填部位，按先低后高、分段分层、对称均衡的原则进行，各阶段施工中隧道横断面两侧回填

高差应为+500mm，最终允许偏差应为+300mm。

11.4.3 管节对接完成后，应及时在管节两侧进行锁定回填，锁定回填长度可为8m~10m，高度不超过所在管节顶部。

11.4.4 管节顶部防护性回填应根据船舶抛锚、沉船和冲刷等因素确定，最小厚度不宜小于1.5m。

12 护岸和衔接段

12.1 一般规定

12.1.1 衔接段应根据隧道结构受力及施工要求，结合护岸工程进行设计。

12.1.2 衔接段除应满足防渗、防汛等要求外，还应满足施工期管节水力压接要求。

12.1.3 护岸与衔接段设计时应采取降低水下基槽开挖对既有岸线防汛体系影响的措施。

12.1.4 护岸与衔接段应按国家有关要求开展施工监测设计。

12.2 护岸

12.2.1 护岸结构形式应根据工程地质、水文条件、周边建（构）筑物、堤防等级、岸壁结构承载力及稳定性要求等因素综合确定，并宜与永久性堤岸工程结合设计。

12.2.2 护岸结构应根据基槽开挖边坡变化情况以及功能要求分段设计。

12.2.3 护岸结构的防洪、防渗及变形标准不应低于既有堤岸。当护岸结构作为永久性堤岸时，还应满足规划堤岸的要求。

12.2.4 护岸结构设计应根据不同工况，按最不利水位计算。

12.3 衔接段

12.3.1 衔接段端头围护结构应便于拆除，原有防汛体系在端头围护结构拆除前后都应保持完整。

12.3.2 管节水力压接时应计算衔接段所承受的水平推力，当衔接段自身不满足止推要求时应增设附加的止推措施。

12.3.3 衔接段应满足相邻沉管管节基础刚度差异所带来的结构

受力与变形需求。

12.3.4 管节与衔接段对接范围内，衔接段两侧的护岸结构侧壁与管节之间的净距应满足管节浮运及水下对接作业空间要求，且不宜小于 2.5m。

12.3.5 当衔接段主体结构埋深较深时，应采取措施降低隧道顶部土压力对主体结构的影响。

12.3.6 衔接段四周应建立可靠的防渗体系并与护岸工程的防渗体系有效衔接。

12.3.7 衔接段围护结构采用临时围堰时，堰顶高程除应根据风浪爬高、壅水高度等要求确定外，尚应留出 0.5m~1.0m 的安全加高值。

13 干 坞

13.1 一 般 规 定

13.1.1 干坞位置、规模及类型应结合工程周边环境、地质和航道条件、施工工期、工程造价、管节预制工艺等综合确定。

13.1.2 干坞可选用既有船坞，新建干坞宜结合土地开发统筹建设。

13.1.3 干坞坞顶防洪标高应符合现行国家标准《堤防工程设计规范》GB 50286 的相关规定。

13.1.4 干坞基坑开挖与边坡支护应进行强度、变形和稳定性计算，并应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关规定。

13.1.5 干坞基坑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 的相关规定。

13.1.6 干坞设计使用年限应根据工程筹划确定，并不宜低于 5 年。

13.2 固 定 干 坞

13.2.1 干坞坞底平面尺寸应根据管节平面布置、施工工艺及灌水、排水系统等要求综合确定。

13.2.2 固定干坞坞底标高 H_a 可按下列公式确定：

$$H_a = H_0 - H + h_g - H_s \quad (13.2.2)$$

式中： H_0 ——管节出坞设计水位标高（m）；

H ——管节外包高度（m）；

h_g ——管节干舷高度（m）；

H_s ——管节底部至坞底的起浮安全距离（m），不小于 0.5m。

13.2.3 应根据灌水、排水过程对地层的软化情况以及水位变化速率、冻融等对边坡稳定性的影响进行干坞边坡设计。

13.2.4 坞底基础除应满足管节预制荷载及变形要求外，尚应满足管节起浮要求。

13.2.5 干坞防排水体系可根据干坞使用年限按当地暴雨重现期降雨量与干坞的渗漏水量要求进行设计。

13.2.6 干坞应设置入坞便道，便道宽度不宜小于5m，坡度不宜大于10%。

13.2.7 干坞坞顶宽度应根据防汛、管理、施工、构造及其他要求确定，且不宜小于3m。

13.2.8 干坞支护应按实际的周边建筑物、地下管线、道路和施工荷载等条件设计，设计中应提出明确的干坞坞顶堆载及施工荷载限值。

13.2.9 干坞坞门宽度应满足管节浮运的要求，单侧富余量不宜小于2.5m。

13.2.10 干坞的防汛体系应结合既有防汛体系设计。

13.3 工厂化干坞

13.3.1 干坞场地分区及规模应根据管节预制生产流水线工艺方案确定，分区应包括钢筋加工区、管节预制区、浅坞区、深坞区等。

13.3.2 钢筋加工区、管节预制区应搭建加工厂房，管节预制区尚应采取混凝土养护保温措施。

13.3.3 管节预制区与浅坞区间应设置防水的隔离闸门。

13.3.4 管节预制区与浅坞区坞底应采用相同标高，且此标高不应低于设计最高水位。

13.3.5 深坞区坞底标高 H_a 可按式确定：

$$H_a = H_0 - H + h_g - H_s \quad (13.3.5)$$

式中： H_0 ——管节出坞设计水位标高（m）；

H ——管节外包高度（m）；

h_g ——管节干舷高度 (m)；

H_s ——管节底部至坞底的起浮安全距离 (m)，不小于 0.5m。

13.3.6 坞门和坞墙顶标高 H_q 应符合下式要求：

$$H_q \geq H_d + H + 1.0 \quad (13.3.6)$$

式中： H_d ——浅坞区坞底标高 (m)；

H ——管节外包高度 (m)。

13.3.7 坞门应采用可多次启闭的结构，深坞门应结合坞址气象条件、水文条件等因素进行抗风浪设计。

13.3.8 深坞区应设置灌排水系统。

13.3.9 坞墙应设置抗渗体系。

13.3.10 工厂化干坞应设置专用混凝土拌合设备。

13.3.11 管节从预制区平移至浅坞区宜采用千斤顶顶推方式，并结合管节结构设计和滑道工艺要求进行平移滑道设计。

13.3.12 管节从浅坞区平移至深坞区宜采用绞缆浮运方式。

13.4 移动干坞

13.4.1 移动干坞选择的驳船应符合下列规定：

1 驳船甲板面的有效使用面积除应满足最大管节外包尺寸外，还应满足管节外模板架设、外部人行楼梯安装、内模板退出空间等施工场地要求；

2 驳船的最大载重量不应小于最大管节重量及其他临时施工机械重量；

3 驳船的刚度应满足管节预制精度要求；

4 驳船应具有下潜功能，最大下潜深度应满足管节与驳船分离要求；

5 对管节预制、拖航、下潜等工况应进行驳船的稳定性验算。

13.4.2 驳船码头应符合下列规定：

1 浮运航道的通航限界应满足驳船拖航浮运要求；

- 2 浮运航道应满足驳船拖航宽度及水深要求；
- 3 码头场地应满足管节预制施工场地要求；
- 4 预制管节的驳船港池设计最低水位不应小于驳船最大荷载的吃水深度。

13.4.3 驳船上应建立独立的测量系统。

13.4.4 驳船甲板面应设置找平层、导水设施，满足场地平整度及管节起浮要求。

13.4.5 管节应在下潜区进行检漏，下潜区尺寸应满足驳船所需的平面操作空间及水深要求，下潜区底标高可按式确定：

$$H_a \leq H_h - H + h_g - H_s - H_1 \quad (13.4.5)$$

式中： H_h ——管节脱离驳船时设计水位（m）；

H ——管节外包高度（m）；

h_g ——管节干舷高度（m）；

H_s ——管节底部至驳船甲板面的起浮安全距离（m），不小于0.5m；

H_1 ——驳船船体高度（m）。

14 结构防水

14.1 一般规定

14.1.1 沉管法隧道应根据隧道的功能、使用要求、构造特点、内外水压、施工条件等进行防水设计，防水设计应包括下列内容：

- 1 防水使用年限、防水等级、防水技术指标；
- 2 管节防水混凝土；
- 3 管节接头防水；
- 4 管节混凝土外防水、防腐层；
- 5 管节混凝土接缝防水。

14.1.2 沉管法隧道主体结构防水混凝土抗渗等级应根据隧道运营期最大水深确定，并应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定。

14.1.3 端封墙等重要临时性的临水结构混凝土应采用防水混凝土，其抗渗等级不得低于 P8。

14.2 结构防水

14.2.1 管节为整体式结构形式时，管节混凝土宜设置全包外防水层。全包外防水层设计应符合下列规定：

1 底板可采用钢板、带肋的 PVC 塑料板等耐冲击、防水、防腐蚀类材料；

2 侧墙与顶板可采用涂料或自粘性卷材，特殊部位应设置附加层，顶板、顶板与侧墙转角处的防水层应设置保护层，侧墙防水层宜采取保护措施。

14.2.2 管节采用工厂化干坞制作的节段式结构形式时，管节混凝土可不设置全包外防水层。

14.3 接头、接缝防水

14.3.1 管节接头应采用 GINA 止水带与 OMEGA 止水带构成双道防水线。

14.3.2 管节接头的 GINA 止水带设计应符合下列规定：

1 应根据管节接头所承受的水压及可能产生的最大变形量，确定 GINA 止水带的断面构造形式、断面尺寸、压力与压缩变形特性；

2 GINA 止水带的材质宜为天然橡胶，其物理性能指标应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》GB 18173.2 的相关规定；

3 GINA 止水带应预制成框，宜采用圆弧形式连接转角直线段与整体止水带。如转角直线段长度过短，可直接采用 90° 圆弧转角连接整体止水带；

4 GINA 止水带的固定宜采用卡箍方式。

14.3.3 管节接头的 OMEGA 止水带设计应符合下列规定：

1 应根据管节接头所承受的水压、三向位移的估算值、抗老化等要求确定 OMEGA 止水带的断面尺寸、形式、适应变形能力的要求；

2 OMEGA 止水带的材质宜为丁苯橡胶，其物理性能指标应符合现行国家标准《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》GB 18173.2 的相关规定；

3 OMEGA 止水带的固定方式应采用杠杆式构造。

14.3.4 GINA 止水带和 OMEGA 止水带的安装应符合下列规定：

1 整环应一次安装到位，按照先顶板角部、再顶板、随后底板角部、再侧墙、最后底板的顺序进行安装；

2 管节浮运前，顶板以及水面以下 1m 范围内的 GINA 止水带应设置临时性保护罩；

3 管节沉放后，应核查 GINA 止水带的压缩量，压缩量应

满足设计要求；

4 管节安装 OMEGA 止水带后，应按设计最大水压力要求注水加压检漏。

14.3.5 管节混凝土施工缝防水应符合下列规定：

1 根据防水等级，确定施工缝的结构形式、防水材料及设置方式；

2 混凝土施工缝宜涂刷混凝土界面处理剂或水泥基渗透结晶型防水涂料，水平施工缝接缝面应增加水泥砂浆接浆措施；

3 混凝土施工缝宜在预埋式注浆管、遇水膨胀止水条、钢板止水带或中埋式钢边橡胶止水带中选择两种措施组合形成双道防水线；

4 混凝土水平施工缝中设置的防水材料应与环向施工缝的防水材料构成十字搭接；

5 钢端壳与混凝土界面宜设置止水钢片、遇水膨胀止水材料、预埋式注浆管形成多道防水措施，钢端壳所设防水材料应与混凝土水平施工缝的防水材料形成搭接。

14.3.6 管节节段接头防水应符合下列规定：

1 应根据防水等级，确定节段接头的结构形式、防水材料及设置方式；

2 节段接头应设置中埋式钢边橡胶止水带、遇水膨胀止水条、OMEGA 止水带形成多道防水措施；

3 与 OMEGA 止水带配套的预埋角钢与混凝土接缝宜设置遇水膨胀止水条、预埋式注浆管，底板 OMEGA 止水带的金属紧固件周边宜设置牺牲阳极块。

14.3.7 管节最终水下接头及最终岸上接头防水应符合下列规定：

1 管节水下最终接头如为施工缝连接，施工缝的设防要求应符合本标准第 14.3.5 条第 1 款～第 3 款的规定；

2 管节岸上最终接头如为施工缝连接，施工缝的设防要求应符合本标准第 14.3.5 条第 1 款～第 3 款的规定；如为变形缝连接，变形缝的设防要求宜符合本标准第 14.3.6 条的规定。

15 耐 久 性

15.0.1 沉管法隧道应根据设计使用年限、环境类别和环境作用等级进行耐久性设计。

15.0.2 耐久性设计应包括下列内容：

- 1 结构的设计使用年限、环境类别及其作用等级；
- 2 有利于减轻环境作用的结构形式、布置和构造措施；
- 3 混凝土结构材料的性能及耐久性指标；
- 4 与结构耐久性有关的混凝土裂缝控制、主要施工控制及验收要求；
- 5 管节结构预留预埋设施耐久性要求；
- 6 严重腐蚀环境下的防腐蚀附加措施；
- 7 结构运营期的维护、修理与检测要求。

15.0.3 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/T 50476 的相关规定，根据结构的不同环境条件分别进行确定。

15.0.4 当沉管法隧道结构处于多种环境共同作用下，应对结构所处的不同环境作用分别进行确定，所采取的耐久性技术措施应同时满足每种环境作用的要求。

15.0.5 结构的耐久性设计应符合下列规定：

- 1 主体结构和运营期不可更换的结构构件，按隧道结构设计使用年限进行耐久性设计；
- 2 对运营期需更换且不影响使用的次要结构构件，宜按设计使用年限 25 年~50 年进行耐久性设计；
- 3 临时结构宜根据其使用性质和结构特点确定其使用年限。

15.0.6 对于一般环境下的沉管法隧道结构应符合下列规定：

- 1 混凝土强度等级不应低于 C35，最大水胶比不应大于 0.5；

- 2 结构迎水（土）面钢筋保护层厚度不应小于 50mm；
- 3 胶凝材料最小用量和最大用量应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的相关规定，并应满足选定的混凝土强度等级要求；
- 4 混凝土材料的 28d 龄期氯离子扩散系数不应大于 $4.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ (RCM 法)，氯离子扩散系数的测定方法应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的相关规定，电通量不应大于 2000C。

15.0.7 对于氯化物环境中的沉管法隧道钢筋混凝土结构及构件应符合下列规定：

- 1 混凝土强度等级不应低于 C45，混凝土材料的最大水胶比不应超过 0.4；
- 2 结构迎水（土）面钢筋保护层厚度不应小于 55mm；
- 3 胶凝材料最小用量和最大用量应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 的规定，并应满足选定的混凝土强度等级要求；
- 4 混凝土材料的 28d 龄期氯离子扩散系数不应大于 $3.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ (RCM 法)，电通量不应大于 1700C。

15.0.8 钢筋混凝土结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值应符合表 15.0.8 的规定。

表 15.0.8 钢筋混凝土结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

环境作用等级	裂缝控制等级	最大裂缝宽度 (mm)
A	三	0.3
B		0.3
C		0.2
D		0.2
E、F		0.15

- 注：1 对于处于化学腐蚀环境下的结构构件，其裂缝控制要求应符合国家现行标准的有关规定；
- 2 表中的最大裂缝宽度限值为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度；
- 3 迎水（土）面的最大裂缝宽度不应大于 0.2mm。

15.0.9 沉管法隧道混凝土结构的耐久性设计应根据混凝土可能发生的碱-骨料反应采取相应的措施。混凝土中总碱含量不应大于 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ ，混凝土中的氯离子含量不应大于胶凝材料总量的 0.1% 。

15.0.10 氯化物环境作用等级为 E、F 的构件，宜在设计阶段提出运营期的定期检测和监测要求。

15.0.11 存在杂散电流腐蚀的沉管法隧道结构，应根据杂散电流腐蚀对耐久性影响进行防护设计。

15.0.12 管节接头钢端壳、钢底板、PC 拉索套筒、钢剪力键、GINA 止水带和 OMEGA 止水带的压板及紧固件等，应采取涂刷耐腐蚀性涂层或金属喷涂、牺牲阳极等措施。

15.0.13 管节安装完成后，应对裸露的钢结构预留预埋件采取防腐措施。

15.0.14 GINA 止水带和 OMEGA 止水带应采用与主体结构相同的设计使用年限，使用前应进行热空气老化和压缩永久变形耐久性试验，并应满足现行国家标准《高分子防水材料 第 2 部分：止水带》GB 18173.2 的相关规定。

16 抗 震

16.1 一 般 规 定

16.1.1 沉管法隧道应进行抗震设计。

16.1.2 隧道结构的抗震设防目标应符合下列规定：

1 当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，结构不破坏或轻微破坏，可保持其正常使用功能，结构处于弹性工作阶段；

2 当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，结构可能损坏但经修补后仍可恢复其正常使用功能，结构局部进入弹塑性工作阶段。

16.1.3 沉管法隧道的抗震设防类别不应低于标准设防类，车行及轨道交通的沉管法隧道抗震设防类别不应低于重点设防类。

16.1.4 各抗震设防类别管节结构的抗震设防标准，应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的相关规定。

16.1.5 地基基础的抗震措施、液化土的判别与处理，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

16.2 地震作用计算

16.2.1 隧道结构地震作用计算应符合下列规定：

1 隧道结构应分别计算沿结构横向和纵向的水平地震作用；

2 对于地基刚度或顶部荷载突变的隧道结构，应计算竖向地震作用，竖向设计地震动峰值加速度不应小于水平向峰值加速度的 65%；

3 隧道结构的地震反应计算方法应根据结构特点采用反应位移法、反应加速度法或时程分析法。

16.2.2 隧道结构地震作用计算应进行设防烈度地震作用下的截

面抗震验算、变形验算和罕遇地震作用下的抗震变形验算。

16.3 抗震验算

16.3.1 隧道结构的截面抗震验算，应符合下式要求：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (16.3.1)$$

式中： γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，按表 16.3.1 采用；

S ——结构构件内力组合的设计值；

R ——结构构件的承载力设计值。

表 16.3.1 承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	柱、梁、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱	稳定	0.80
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

注：当仅计算竖向地震作用时，各类结构构件承载力抗震调整系数均采用 1.0。

16.3.2 隧道结构的抗震变形验算，应按下列规定进行：

1 隧道结构在设防地震作用下的最大的弹性层间位移应符合下式要求：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e]h \quad (16.3.2-1)$$

式中： Δu_e ——设防地震作用标准值产生的结构最大弹性层间位移，计算时可不扣除结构整体弯曲变形，钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，对钢筋混凝土矩形管节结构，弹性层间位移角限值可取 1/550；

h ——计算结构层净高。

2 隧道结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移应符合下

式要求：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p]h \quad (16.3.2-2)$$

式中： Δu_p ——弹塑性层间位移；

$[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值，对钢筋混凝土矩形管节结构，弹塑性层间位移角限值可取 $1/250$ 。

3 管节接头、节段接头的防水材料应满足适应设防地震作用接头变形的防水要求。

16.3.3 重点设防类隧道结构的抗震等级不应低于二级，标准设防类隧道结构的抗震等级不应低于三级。

16.3.4 隧道结构的抗震构造措施宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定执行。

16.3.5 地震作用效应和其他荷载效应的基本组合，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \quad (16.3.5)$$

式中： S ——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况应采用 1.2，重力荷载效应对于构件承载能力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，按表 16.3.5 采用；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应。

表 16.3.5 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅计算水平地震作用	1.3	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.3
同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主）	1.3	0.5
同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主）	0.5	1.3

16.3.6 计算地震作用时，重力荷载代表值应取永久荷载的标准值与各可变荷载的组合值之和，各可变荷载的组合值系数应符合表 16.3.6 的规定。

表 16.3.6 各可变荷载的组合值系数

可变荷载种类		组合值系数
内部活荷载	按实际情况计算	1.0
	按等效均布荷载计算	0.5
水压力变化		0.5

16.3.7 重点设防的沉管法隧道接头应设置限位装置。

16.3.8 重点设防的沉管法隧道应根据结构抗震要求计算的接头变形量进行 GINA 止水带、OMEGA 止水带选型。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 3 《钢结构设计标准》GB 50017
- 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 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 6 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 7 《堤防工程设计规范》GB 50286
- 8 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476
- 9 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 10 《爆破安全规程》GB 6722
- 11 《高分子防水材料 第2部分：止水带》GB 18173.2
- 12 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 13 《疏浚与吹填工程设计规范》JTS 181-5
- 14 《水运工程爆破技术规范》JTS 204