

团 体 标 准

T/CIN 083—2025

沉管隧道先铺法基础设计与施工技术规范

Technical code for design and construction of pre-bedding method immersed tunnel
foundation bed

2025-10-10 发布

2026-01-10 实施

中国航海学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 隧道基础设计 2

6 隧道基础施工 8

7 监测与检测 14

8 质量检验评定 15

附录 A（资料性） 质量评定表..... 19

参考文献 26

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：深中通道管理中心、中交第一航务工程局有限公司、中交天津港湾工程设计院有限公司、中交公路规划设计院有限公司。

本文件主要起草人：陈越、陈伟乐、潘伟、黄清飞、岳远征、熊昊翔、许昱、刘迪、刘祥玉、钟辉虹、刘晓辉、王立强、寇晓强、姬海、邓宏彦、刘晓锋、王彦东、席俊杰、许晴爽、张志林、黄晓初、姜凡、郑秀磊、于秋璐、朱岭、王明、王伟、李海滨、郭立栋、马得森。

沉管隧道先铺法基础处理设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了沉管隧道先铺法基础设计与施工的总体要求、隧道基础设计、隧道基础施工、监测与检测、质量检验评定等技术要求。

本文件适用于沉管隧道先铺法基础的设计、施工及质量验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 50783 复合地基技术规范

GB 51201 沉管法隧道施工与质量验收规范

GB/T 51318 沉管法隧道设计标准

JTS 146 水运工程抗震设计规范

JTS 147 水运工程地基设计规范

JTS 157 水下挤密砂桩设计与施工规程

JTS 257 水运工程质量检验标准

JTS 261 水下挤密砂桩施工质量检测标准

JTS/T 325 水下深层水泥搅拌桩法施工质量控制与检验标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沉管隧道 immersed tunnel

将若干预制完成的基本结构单元通过浮运、沉放、对接形成的水下隧道。

[来源：JTG/T 3371-01—2022，2.1.1]

3.2

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。

[来源：GB/T 51318—2019，2.1.2]

3.3

块石垫层 stone foundation

粗略整平基础并保证沉管基础刚度的块石材料层。

3.4

碎石基床 gravel bed

对沉管基础进行找平、整平的碎石材料层。

3.5

整幅整平 integral bed leveling

单一管节的碎石基床整体进行统一整平的施工方法。

3.6

分幅整平 subdivision bed leveling

单一管节的碎石基床划分为多个区块分别整平的施工方法。

3.7

先铺法 pre-bedding method

管节沉放对接前先行完成基础垫层的施工方法。

[来源: GB/T 51318—2019, 2.1.28]

3.8

预抬量 pre-set extra height of construction level

施工时预留的碎石基床沉降量。

4 总体要求

- 4.1 沉管隧道先铺法基础设计与施工应遵循“工艺先进、技术可靠、经济合理、风险可控”的原则，系统考虑结构耐久、施工和运营安全。
- 4.2 原材料、半成品或成品的质量应符合设计要求。
- 4.3 沉管基础应与管节结构进行协同设计，满足结构受力、地基承载力、变形和稳定性等要求。
- 4.4 沉管基础的构造及材料应考虑施工工艺、纳淤、防冲刷、抗液化等因素。
- 4.5 施工单位应建立健全施工技术、质量、安全生产、健康环境等方面的管理体系，制定施工管理制度，并贯彻执行。
- 4.6 施工单位应组织有关技术管理人员进行现场调查、地质资料研究，设计文件核对等施工准备工作。
- 4.7 施工单位应根据合同文件、设计文件、现场条件及沉管隧道工程重点、难点和工艺特点，优选施工方法，合理配备船机、设备、机具和劳动力等资源，布置施工场地总平面并进行施工组织设计。
- 4.8 施工单位应加强施工测量、监测工作，实施信息化施工管控。
- 4.9 现场水文地质条件需进行试验获取相关施工参数时，应进行试挖槽、垫层试验等工艺性试验。
- 4.10 先铺法施工时，应采取必要的环境保护措施。

5 隧道基础设计

5.1 一般要求

- 5.1.1 基础设计应采用总沉降和差异沉降双控，不应导致管节结构及接头的承载力、应力、裂缝宽度及变形超过允许量。
- 5.1.2 基础的纵向设计宜遵循刚度平顺的原则，应综合考虑隧道结构、隧顶荷载、隧址水下地形、地质等因素进行分区段设计。
- 5.1.3 碎石基床的厚度应根据地质条件、沉降控制要求等因素确定。
- 5.1.4 基础顶标高应设计预抬量，应结合地质、基础情况、已安装管节监测资料、管节对接施工工艺、沉降分析等因素综合确定。
- 5.1.5 天然地基不满足沉管隧道设计要求时，应采取地基处理措施。
- 5.1.6 地基处理应根据工程环境条件、隧道结构及回填方案等因素进行分区段专项设计，不同地基处理设计方案的分界区域应避开上部荷载和地层分布等条件突变的位置。

5.1.7 地基处理方式应考虑隧址地质、水文、施工工艺和设备等因素进行综合确定。

5.1.8 水中最终接头区域的碎石基床宜在最终接头施工后进行压浆处理。

5.2 作用及作用组合

5.2.1 沉管隧道承受的作用应按表 1 的规定分类。

表1 作用分类

序号	作用分类		作用名称
1	永久作用		结构自重（包括管节自重与附加重力）
2			静水压力
3			土的重力
4			土侧压力
7			基础变位作用
8	可变作用	基本可变作用	汽车荷载
9			人群荷载
10			水位变化作用
11			波浪力作用
12			水流作用
13			温度作用
14			管顶冲淤变化作用
15		其他可变作用	舾装荷载
16			压载荷载
17			不均匀荷载
18	其他临时荷载		
19	偶然作用		极端高水位和波浪作用
20			爆炸荷载
21			火灾作用
22			沉船荷载
23			落锚、拖锚荷载
24			隧道淹水作用
25	地震作用		地震作用

5.2.2 沉管隧道基础设计时，作用的代表值应按下列规定取用：

- 永久作用的代表值为其标准值。永久作用标准值可根据统计、计算的结果，并结合工程经验综合分析确定。
- 可变作用的代表值包括标准值、组合值、频遇值和准永久值。组合值、频遇值和准永久值可通过可变作用的标准值分别乘以组合值系数 ψ_c 、频遇值系数 ψ_f 和准永久值系数 ψ_q 来确定，系数取值应依据 GB/T 51318 确定。
- 偶然作用代表值为其设计值，可根据历史记载、现场观测和试验，并结合工程经验综合分析确定，也可根据有关标准的专门规定确定。
- 地震作用的代表值为其标准值。

5.2.3 沉管隧道的基础设计应考虑可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用组合，并按下列原则取其最不利组合效应。

- 当基础进行不同受力方向验算时，以不同方向的最不利作用组合效应进行验算。
- 当进行基础承载力计算时，各作用采用标准值，作用分项系数取 1.0。

5.3 隧道基础计算

5.3.1 沉管隧道的基础应进行持久状况组合、短暂状况组合、偶然状况组合的极限状态验算，确认满足强度、沉降变形、稳定性的要求。

5.3.2 沉管隧道基础按承载能力极限状态设计时，应采用公式（1）：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (1)$$

式中：

γ_0 —结构重要性系数：对于持久状况和短暂状况，结构重要性等级为一级时， $\gamma_0=1.1$ ，结构

重要性等级为二级时, $\gamma_0=1.0$; 对于偶然状况和地震状况, $\gamma_0=1.0$;

S_d —作用组合的效应设计值;

R_d —结构或构件的承载力设计值。

5.3.3 沉管隧道基础按正常使用极限状态设计时, 应采用公式 (2):

$$S_d \leq C \quad (2)$$

式中:

S_d —作用组合的效应设计值;

C —变形限值。

5.3.4 天然地基承载力验算符合下列规定:

a) 应将基础垫层作为附加荷载。

b) 宜根据静载荷试验或用土的抗剪强度指标计算确定, 或用其他原位测试方法、类似工程经验确定。

5.3.5 天然地基上沉管隧道的总沉降量计算可按公式 (3):

$$S=S_c+S_r+S_s \quad (3)$$

式中:

S —基础总沉降量 (mm);

S_c —基础垫层压缩量 (mm);

S_r —地基土层回弹再压缩沉降 (mm);

S_s —地基土层的次固结沉降量 (mm)。

5.3.6 基础垫层的压缩量计算可按公式 (4) 计算:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i \Delta p}{E_i} \quad (4)$$

式中:

S_c —基础垫层压缩量 (mm);

ΔH_i —基础垫层分层厚度 (m);

Δp —作用在基础垫层上的附加应力 (kPa);

E_i —基础垫层变形模量 (MPa), 试验确定。

5.3.7 地基土层回弹再压缩沉降应考虑土体应力历史, 正常固结粘性土沉降计算可按公式 (5):

$$S_r = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i C_{si}}{1+e_{oi}} \lg \left(\frac{P_{oi} + \Delta P_i}{P_{oi}} \right) \quad (5)$$

式中:

S_r —地基土层回弹再压缩沉降 (mm);

ΔH_i —第 i 层土的厚度 (m);

C_{si} —第 i 层土的回弹再压缩指数, 试验确定;

e_{oi} — i 层土的初始孔隙比;

P_{oi} —第 i 层土的初始自重应力 (kPa);

ΔP_i —第 i 层土的平均附加应力增量 (kPa)。

5.3.8 沉管隧道基础的横向地基刚度值宜采用计入施工工序的地层结构有限元模型分析, 并通过管节底部接触应力与竖向沉降量计算确定。

5.3.9 沉管隧道基础的纵向地基刚度值宜采用 5.3.5~5.3.7 的计算方法, 按每隔 20~50m 取一个断面并通过管节底部接触应力与竖向沉降量计算确定。

5.3.10 地震作用下沉管隧道地基承载力验算宜按 JTS 146 的相关规定执行。

5.4 基槽

5.4.1 基槽设计符合下列规定:

a) 基槽设计应符合 GB/T 51318 的相关规定;

b) 基槽开挖宜采用横向分级、纵向分段的方法, 基槽边坡应根据不同土质、不同种类的岩层采取不同的坡率, 见图 1;

c) 基槽开挖应根据水深、水流流速及流向条件、挖泥设备等确定水下基槽施工的超宽和超深值;

d) 基槽开挖应分粗挖和精挖, 基槽底面以上约 2.5m 位置处至海床面之间部分宜设计为粗挖, 其他

- 剩余部分宜设计为精挖，并应合理安排粗挖和精挖工艺；
- e) 基槽精挖应满足块石垫层铺设前清淤及基础沉降要求；
- f) 槽底不同区域的纵坡坡度应平顺衔接；
- g) 槽底标高程设计应结合地质情况、垫层厚度，采用不陡于 1:10 坡率的纵坡过渡；
- h) 深槽段基槽边坡变坡点位置应结合工程地质勘察的地质分层确定；
- i) 应考虑垫层施工前后基槽回淤情况，当基槽底容重大于 12.6kN/m^3 的回淤沉积物厚度大于 0.1m 时应清淤；
- j) 基槽设计应考虑预留碎石余料处理的空间。

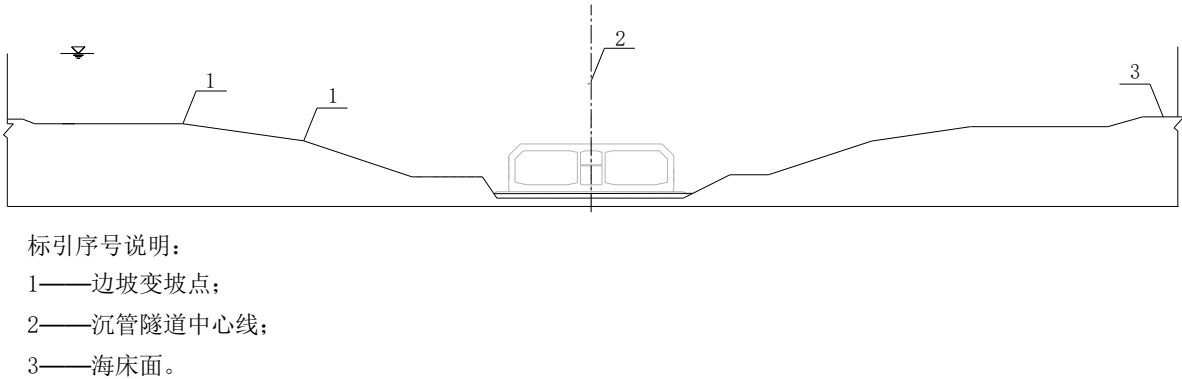


图 1 沉管隧道基槽开挖典型横断面示意图

5.4.2 基槽开挖过程中遇地质情况与勘察不符时，应根据现场实际情况调整设计。

5.5 地基处理

5.5.1 沉管隧道基础根据水文地质、工程地质、回淤覆土分布，结合衔接段(岛上段)基础形式分段制定地基处理方式。

5.5.2 对于特殊地质情况，应结合现场实际条件选取地基处理工艺，进行基础选择、地基加固等方案综合比选。

5.5.3 地基处理宜选用挤密砂桩(SCP，见图 2)、深层水泥搅拌桩(DCM，见图 3)、高压旋喷桩见图 4、堆载预压、换填法或多方法组合方式，处理范围应结合地层分布及荷载等因素综合确定。

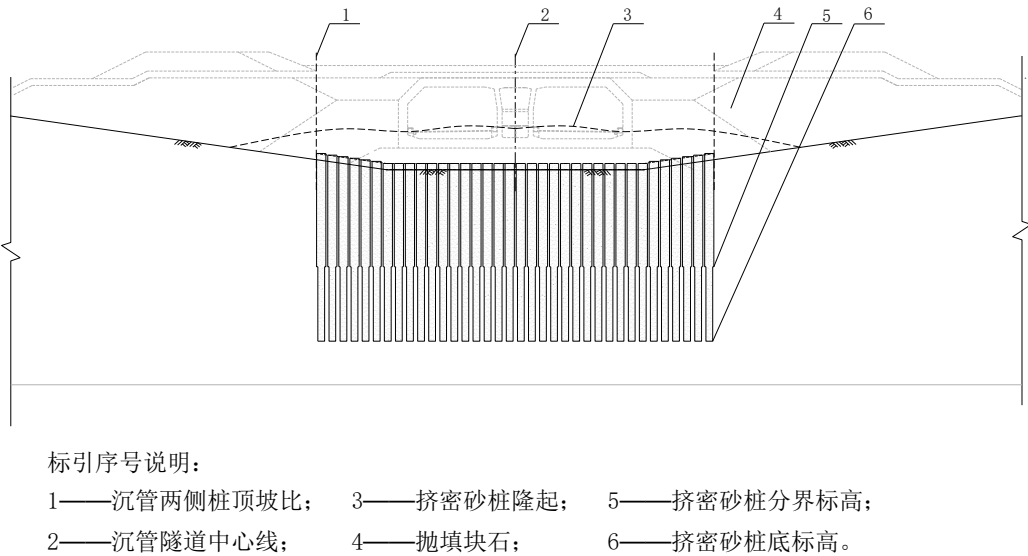
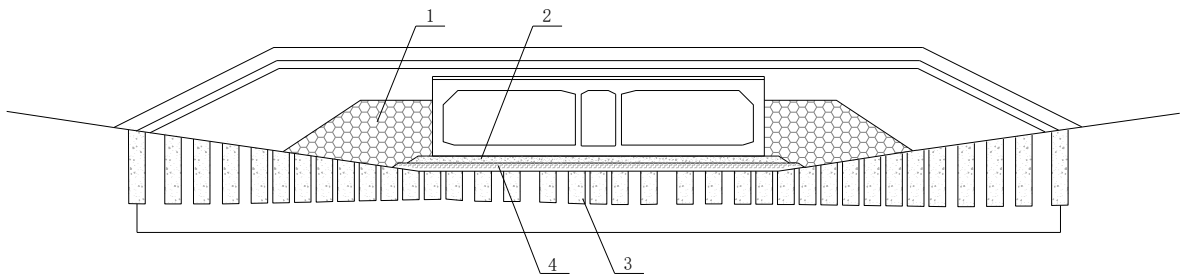
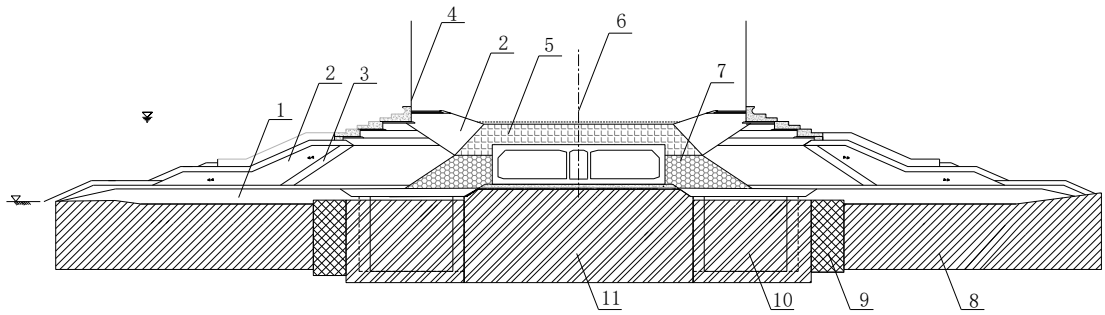


图 2 挤密砂地基处理示意图



- 标引序号说明：
- 1——锁定回填；
 - 2——碎石基床；
 - 3——桩式 DCM；
 - 4——块石垫层。

图 3 深层水泥搅拌桩（DCM）地基处理示意图



- 标引序号说明：
- 1——回填中粗砂；
 - 2——回填碎石；
 - 3——二片石；
 - 4——人工岛壁轴线；
 - 5——轻质填料；
 - 6——沉管隧道中心线；
 - 7——锁定回填；
 - 8——人工岛挤密砂桩；
 - 9——桩式 DCM；
 - 10——钢圆筒；
 - 11——高压旋喷桩。

图 4 高压旋喷桩地基处理示意图

- 5.5.4 挤密砂桩复合地基设计应符合 JTS 157 的相关规定。
- 5.5.5 深层水泥搅拌桩复合地基与高压旋喷桩复合地基设计应符合 GB/T 50783、JTS 147 的相关规定。
- 5.5.6 深层水泥搅拌桩复合地基设计符合下列规定：
- a) 沉管隧道底部深层水泥搅拌桩地基处理应以沉降控制为主，并满足承载力设计要求；
 - b) 沉管隧道两侧回填区底部深层水泥搅拌桩地基处理应满足承载力设计要求；
 - c) 深层水泥搅拌桩宜采用桩式布置，根据承载力或沉降计算确定置换率；
 - d) 上覆荷载较大的区域，深层水泥搅拌桩加固体 60d 无侧限抗压强度宜取 1.6MPa，其余区段不应小于 1.2MPa。
- 5.5.7 高压旋喷桩复合地基设计符合下列规定：

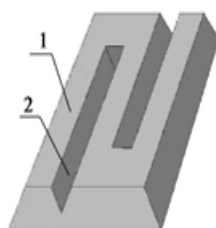
- a) 高压旋喷桩地基处理应满足承载力设计要求，并与两侧衔接段刚度协调；
 - b) 高压旋喷桩宜采用桩式布置，根据承载力和沉降计算确定置换率。
- 5.5.8 堆载预压、换填法设计应符合 JTS 147 的有关规定。

5.6 块石垫层

- 5.6.1 当管节底部位于软弱土层，可设置块石垫层。
- 5.6.2 基础块石垫层顶面宽度应超出管节结构边缘不小于 2m，底面宽度接至槽底边坡。
- 5.6.3 基础块石垫层厚度应根据基槽开挖精度、块石粒径、沉降控制要求确定，不宜小于 1.1m。
- 5.6.4 抛填石料在水中浸透后的强度不应低于 50MPa，含泥量不应大于 2%。
- 5.6.5 基础块石垫层变形模量不宜低于 80MPa，块石振密系统组成、夯板尺寸、液压振动锤激振力要求、振密时间、振动锤转速、搭接板宽度等振密参数应通过试验确定并满足变形模量要求。
- 5.6.6 当地基为基岩时，宜结合岩性特性及力学性能分析论证结论确认是否对开挖后的基岩进行振密。

5.7 碎石基床

- 5.7.1 碎石基床厚度宜取 0.8m~2.0m，顶面宽度超出管节结构边缘不应小于 2m。
- 5.7.2 碎石材料粒径、级配以及模量等参数宜依据现场试验确定。试验数据不足时，可参考下列规定：
 - a) 应采用能够自由散落且未受污染、无风化、无裂痕、耐久性良好、级配良好的碎石，碎石含泥量不应大于 2%；
 - b) 石料饱和单轴极限抗压强度不应低于 50MPa，碎石粒径不应大于 80mm。
- 5.7.3 碎石基床压缩（变形）模量等主要参数宜依据试验确定。
- 5.7.4 碎石基床可采用垄沟相间或满铺形式。垄沟相间碎石基床形式见图 5，垄沟尺寸应结合管节尺寸、施工装备及沉降控制要求等条件综合确定。

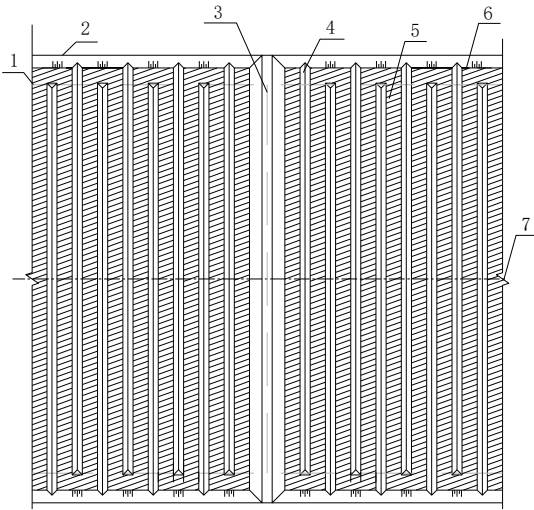


标引序号说明：

- 1——碎石垄；
- 2——碎石沟。

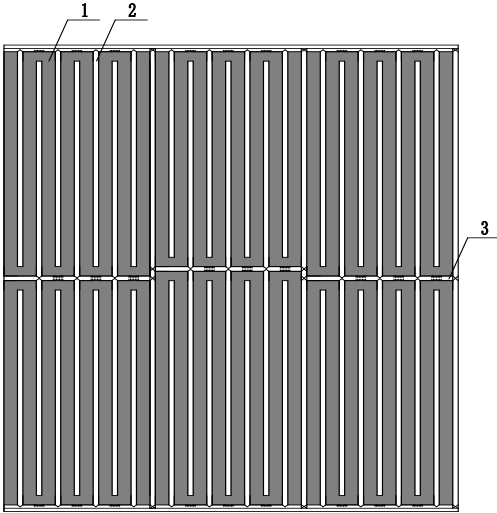
图 5 垄沟相间碎石基床示意图

- 5.7.5 碎石基床可采用整幅整平见图 6、分幅整平形式见图 7。
- 5.7.6 碎石基床应采用整平船进行水上整平，水深不足时可进行人工整平。



- 标引序号说明：
- 1——管节结构边线；
 - 2——碎石垫层底边线；
 - 3——管节接头；
 - 4——V 型沟；
 - 5——碎石垄；
 - 6——碎石基床顶边线；
 - 7——管节中心线。

图 6 先铺法碎石基床整幅整平示意图



- 标引序号说明：
- 1——碎石垄；
 - 2——V 型沟；
 - 3——基床分幅缝。

图 7 先铺法碎石基床分幅整平示意图

5.7.7 碎石基床应设置预抬量，预抬量值应结合管节沉放施工监测资料、对接施工工艺要求、沉降分析等综合确定。预抬量在施工期应结合管节实测标高及已沉放管节沉降情况等进行动态调整。

6 隧道基础施工

6.1 一般要求

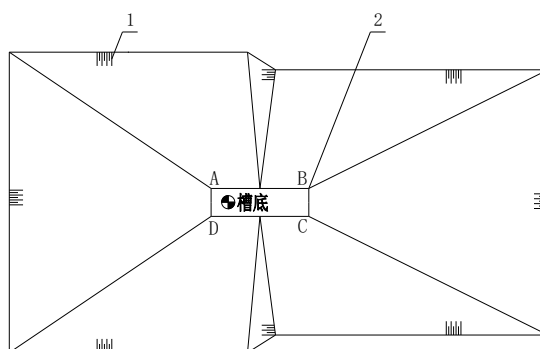
- 6.1.1 隧道基础施工应建立船舶施工测控系统、制定工后检测方法。
- 6.1.2 抛填材料应按相关设计要求进行质量检验。
- 6.1.3 船机设备的选择、交叉配合、施工步距等应结合施工现场条件确定。
- 6.1.4 试挖槽试验宜结合现场泥沙水文条件及隧址走向选择基槽中部区域水深较大位置进行原位试验。
- 6.1.5 基槽开挖、块石抛填及碎石基床铺设等关键工序的清淤施工，应结合回淤量及作业空间大小安排合适时机进行。
- 6.1.6 清淤施工应保护完工工序的成果。
- 6.1.7 块石振密参数宜通过块石振密试验确定。

6.2 施工前准备

- 6.2.1 制定物资材料的到场计划，安排材料准时到场。
- 6.2.2 进行施工设备调试及试运行，确认设备运转正常。
- 6.2.3 进行现场水下地形扫测，确定施工区域各部分的抛石高度，以便于施工。

6.3 试挖槽试验

- 6.3.1 应根据回淤强度和施工进度确定试挖槽试验。现场试挖槽试验符合下列规定：
 - a) 应结合现场实测回淤强度及碎石垫层纳淤能力制定试挖槽施工方案；
 - b) 宜在隧址区选取典型施工位置，并应采取基槽开挖施工的工艺进行试挖槽试验，见图 8；
 - c) 应观测不同基槽边坡的稳定性、可靠性等情况，验证基槽设计坡比；
 - d) 应观测试挖槽回淤量和淤积物密度分布、施工水域的泥沙运动等；
 - e) 宜监测试挖槽内不同石料级配、垄沟尺寸的回淤量，确定碎石基床级配、设计尺寸和纳淤临界值；
 - f) 试挖槽验收后应进行回淤监测，观测周期宜为半个月一次，根据数据汇总报告可增加频次，若遇到极端天气适当增加频次，可采用多波束测深系统测量、回淤盒回淤监测等监测方法；
 - g) 试验周期宜经历一个台风期或极端潮流。



标引序号说明：

- 1——挖槽边坡；
- 2——挖槽底角。

图 8 试挖槽平面布置示意图

- 6.3.2 扫测应采用多波束测深系统连续监测，同时应记录现场施工情况。
- 6.3.3 回淤厚度宜采用多波束测深系统测量的方式确定，回淤泥质应做泥样分析。
- 6.3.4 试挖槽试验数据整理应符合下列规定：
 - a) 记录回淤数据并形成图像资料；
 - b) 形成回淤分析报告。

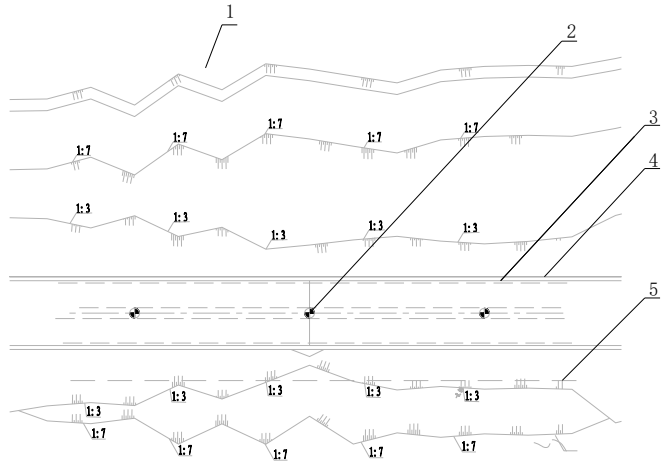
6.4 块石振密试验

- 6.4.1 块石振密试验应包括下列内容：

- a) 模拟不同基础桩间距，分组进行不同厚度块石振密试验；
 - b) 选择配置适用的块石振密系统，确定施工工艺和参数，包括振密时间、振动锤转速、夯板搭接宽度等；
 - c) 通过静载试验测试块石振密层变形模量；
 - d) 验证块石层设计分层厚度的合理性，
- 6.4.2 试验数据整理内容应包括块石垫层厚度、振密时间、块石垫层变形模量、振密率、夯板尺寸、振沉量、搭接宽度、液压振动锤激振力、振动锤转速等。
- 6.4.3 块石振密施工工艺参数应根据现场试验结果进行优化调整。

6.5 基槽开挖施工

6.5.1 基槽开挖应结合施工进度计划合理安排顺序，分层、分段、分条进行施工。基槽开挖平面见图9。



标引序号说明：

- 1——原泥面；
- 2——基槽底标高；
- 3——管节结构边线；
- 4——基槽底边坡线；
- 5——管节浮运航道边线。

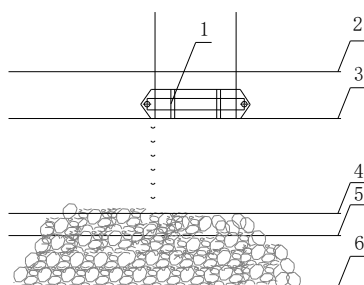
图9 基槽开挖平面示意图

- 6.5.2 基槽开挖施工工序应结合地基处理方式综合确定。
- 6.5.3 基槽开挖应按台阶齿状开挖，边坡开挖断面线应与设计一致。
- 6.5.4 基槽开挖的平面坐标、标高、坡率等应符合设计要求，施工前应校核平面坐标和高程。
- 6.5.5 深槽段大水深基槽开挖施工工艺应根据现场情况制定。
- 6.5.6 深槽段基槽边坡变坡位置、精挖阶段槽底的地质情况应与勘察设计资料复核。
- 6.5.7 基槽边坡应开展稳定性监测。
- 6.5.8 基槽开挖与垫层施工应衔接紧密、流水作业。

6.6 地基处理施工

- 6.6.1 挤密砂桩施工应符合下列规定：
- a) 挤密砂桩施工满足 JTS 157 的相关要求；
 - b) 砂桩的材料满足设计要求；
 - c) 砂桩施工前试打，并确定最终施工参数；
 - d) 桩管拔起过程控制拔管速度；
 - e) 施工检测与质量满足 JTS 261 的相关要求。

- 6.6.2 深层水泥搅拌桩施工符合下列规定：
- 宜采用智能化施工，根据不同土层动态调整相关参数；
 - 应结合施工工期及施工效率因地制宜选取不同的轴型设备；
 - 宜开展 DCM 桩现场工艺试验和原位荷载板试验，优选工艺及设计参数；
 - 施工检测与质量应符合 JTS/T 325 的相关规定。
- 6.6.3 高压旋喷桩施工应符合下列规定：
- 大面积施工前进行工艺性试桩，确定最终施工参数；
 - 桩身完整连续，桩径、深度、桩身强度满足设计要求；加固材料的品种、标号、配比和外加剂掺量满足设计要求；
 - 施工过程中，记录施工设备贯入地层的反应，核查地质资料。
- 6.6.4 堆载预压施工应符合下列规定：
- 分级堆载至设计标高时，进行满载预压；
 - 沉降固结度达到设计要求时卸载；
 - 开挖卸载形成的基槽坡度不陡于设计边坡。
- 6.6.5 换填地基施工应符合下列规定：
- 采取有效措施减少对地基的扰动；
 - 及时掌握开挖过程土层变化情况，当开挖土层与勘察资料不符时，及时与设计单位沟通；
 - 逐层进行分层回填质量检验，检验合格后方可回填填料。
- 6.6.6 水下换填施工符合下列规定：
- 换填材料宜采用中粗砂，当换填地基作为排水垫层时，其含泥量不应大于 5%；
 - 基槽开挖后，应及时回填，回填时槽内回淤厚度应控制在设计允许范围内；
 - 换填料应均匀抛填，对回淤严重的区域，应控制抛填的间隔时间，不应出现淤泥夹层；
 - 换填施工的开挖弃料应抛填至指定区域；
 - 水下换填施工宜采用标准贯入试验或动力触探试验进行检验。
- 6.7 块石垫层施工
- 6.7.1 块石抛填施工符合下列规定：
- 应与前置工序合理衔接、流水作业；
 - 应根据设计要求、施工能力、潮位波浪影响，确定分层及分段施工顺序；
 - 施工船舶宜满足抛石振密同步施工的要求，船机设备的性能和参数应根据实际施工需求选择；
 - 块石应按照设计要求进行现场检测；
 - 块石抛填宜采用溜管抛填，并设置高度计实时检测块石顶面标高，见图 10；
 - 块石抛填前应进行多波束测深系统扫测，结合夯板尺寸划分抛石网格，定位船舶和抛石溜管位置；
 - 抛填船舶的驻位应综合考虑水深、水流和波浪等因素影响；
 - 船舶就位、移位时，锚系系统不应对基槽边坡造成损坏。



标引序号说明：

- | | | |
|--------------|----------------|------------|
| 1——抛填船舶； | 3——抛石溜管底口位置； | 5——块石设计顶面； |
| 2——测深仪换能器位置； | 4——施工控制抛填块石顶面； | 6——槽底。 |

图 10 基础块石抛填示意

- 6.7.2 块石振密施工符合下列规定：
- a) 施工前，应采用多种测控方式校核船机设备施工参数，包括船型参数、振锤高程和位置、船舶位置等。
 - b) 采用定点振密施工时，相邻断面和相邻振密点之间搭接距离应满足设计要求。设计无要求时，搭接距离不宜超过 1m。
 - c) 施工时，应加强施工区域边坡稳定性监测。
 - d) 施工检测与质量标准应满足 JTS 257 的相关要求。

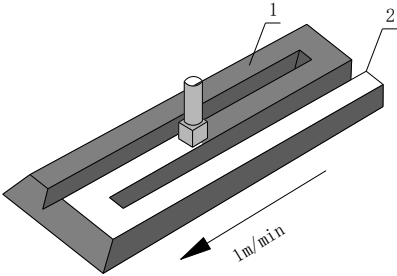
6.8 碎石基床施工

- 6.8.1 碎石基床施工宜根据现场条件纵向分段，采用整平船整平、人工整平方法。
- 6.8.2 在碎石基床铺设前，应对整平船测控系统进行检验。检验内容主要包括施工用基站确认、船体倾斜仪校准、抛石管底部高程比对、声呐比对。整平船测控系统主要校核项目应满足表 2 要求。

表2 整平船测控系统主要校核项目标准

项目	允许偏差	采用仪器
抛石管底部高程	±30mm	扫平仪和全站仪
抛石管平面位置	±30mm	全站仪
整平船四角高差	±10mm	扫平仪

- 6.8.3 碎石基床宜采用整幅整平的方式施工。碎石基床采用分幅整平的方式施工时，应根据整平架的布置原则，划分具体分幅范围，并应避免搭接处的纵向缝连续。
- 6.8.4 整平架的布置原则包括：
- a) 整平架的架体不应触碰到基槽边坡；
 - b) 整平架的桩腿中心距离垄顶面中心线不应超过 0.3m；
 - c) 在转角和变宽的管节间布置整平架时，宜在满足垄顶承压的条件下，以较少的步骤将角度调整到位。
- 6.8.5 碎石材料应按照设计要求进行检测。
- 6.8.6 碎石基床施工前，应进行典型施工试验，复核平面坐标和高程等关键数据。
- 6.8.7 碎石基床铺设与管节安装工序应衔接紧密。
- 6.8.8 先铺法碎石基床铺设宜采用专用整平船施工。
- 6.8.9 采用整平船施工符合下列规定：
- a) 应检查整平船各操作系统，并确认试运转正常；
 - b) 应进行航路水域拖航阻力计算；
 - c) 应根据整平船和供料船作业要求确定碎石基床整平作业窗口；
 - d) 碎石基床施工前，应校核船体倾斜、抛石管中心平面位置、抛石管底部高程、施工声呐等；
 - e) 单船位铺设施工完成后，抛石管内剩余石料在碎石铺设区域外排出，铺设结束前应控制抛石管内碎石的高度，铺设结束时料位高度宜控制在 5m 左右。
- 6.8.10 采用自升平台式整平船施工时，插桩完成后，应校准作业参数和复核施工区插桩深度及拔桩力。
- 6.8.11 采用陆上施工时，人工整平完成后宜采取防淤盖板等措施。
- 6.8.12 碎石基床铺设厚度、宽度、平面位置、高程、纵坡等应满足设计要求，基床铺设期间至管节安装前进行持续回淤监测。
- 6.8.13 碎石基床整平宜分两层施工，底层为粗平层，厚度可取 0.7m~1.0m；上层为精平层，厚度可取 0.3m，基床整平施工过程见图 11，基床分层情况见图 12。



标引序号说明：
1——粗平层施工过程；
2——精平层施工过程。

图 11 碎石基床整平施工过程示意图

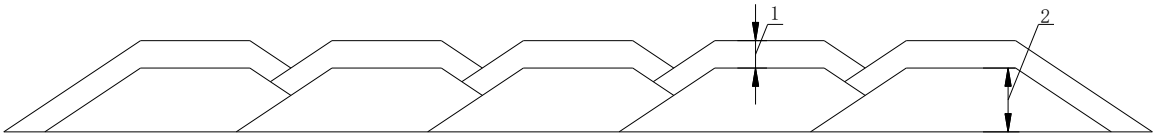
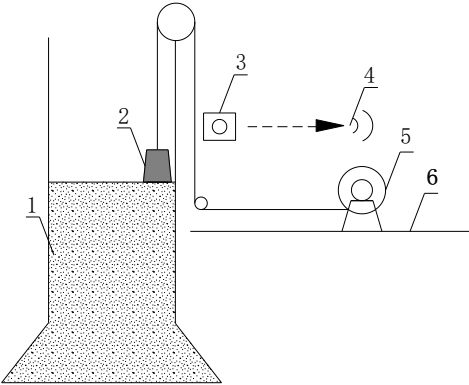


图 12 碎石基床分层示意图

标引序号说明：
1——精平层厚度；
2——粗平层厚度。

6.8.14 涨潮整平时抛石管宜下放至基床顶高程上方 10cm 处，落潮整平时，抛石管宜下放至基床顶高程上方 100cm 处，抛石管内石料高度测量方法见图 13。



标引序号说明：
1——基床；
2——重锤；
3——编码器；
4——输出信号；
5——绞车；
6——船甲板。

图 13 抛石管内石料高度测量示意图

6.9 清淤

6.9.1 施工前，应采用多波束测深系统进行扫测，结合音叉密度计对清淤施工区进行浮泥密度及厚度测量，确定清淤施工深度及范围。

6.9.2 船机设备与清淤方法应根据淤积物位置、范围和密度等因素确定。

7 监测与检测

7.1 一般要求

7.1.1 应定期对开挖后的基槽、边坡进行监测，并出具监测报告。

7.1.2 应定期对基础回淤物进行检测，并出具检测报告。

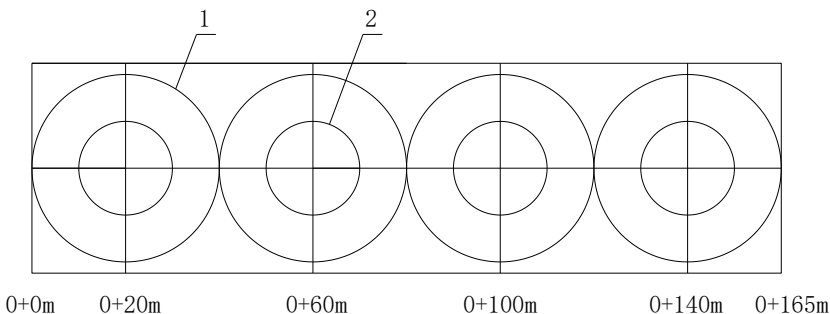
7.1.3 异常气候、恶劣天气情况下应增加监测、检测频次。

7.1.4 回淤监测检测应贯穿基础施工全过程，按照设计要求的检测时机和频次进行。

7.2 监测

7.2.1 基槽监测应满足下列要求：

- a) 根据晾槽时间，确定回淤监测频率，频率不低于 1 次/月；
- b) 块石抛填振密前，采用多波束测深系统和潜水探摸等监测方式对基槽进行回淤监测及评估，潜水探摸监测点间距不宜小于 40m，潜水探摸平面位置见图 15；



标引序号说明：

1——大圈探摸线路；

2——小圈探摸线路。

图 15 潜水探摸平面位置示意

c) 碎石基床施工前，应进行回淤监测，记录碎石垫层铺设前回淤监测初始数据；

d) 碎石基床铺设过程中，应采用多波束测深系统测量和潜水探摸等监测方式，并取样分析回淤沉积物密度；潜水探摸方式和位置宜根据船机施工效率和施工分幅确定。

7.2.2 边坡监测应满足下列要求：

- a) 基槽精挖完成后进行多波束测深系统扫测验收，记录监测初始数据；
- b) 基槽边坡回淤监测频率应与基槽底回淤监测频率一致；
- c) 边坡监测报告应包括前后扫测数据对比分析。

7.3 检测

7.3.1 回淤沉积物应在施工区域首端、尾端、中部位置各取样 3 组，分别对其进行密度检测及记录。

7.3.2 碎石整平期间，应对回淤盒的淤泥进行厚度、密度、粒径检测。

7.4 动态跟踪与设计调整

7.4.1 在施工前、中、后期，应持续对隧道区域回淤情况进行调查，掌握回淤情况，动态指导后续施

- 工。
- 7.4.2 应根据已安装管节沉降监测结果与待安装管节地基情况，调整待安装管节基础预抬量。
- 7.4.3 设计单位应结合预抬量给出每条碎石垫层垫的顶高程，经施工单位复核确认无误后施工。

8 质量检验评定

8.1 一般要求

- 8.1.1 先铺法基础施工应符合 GB 51201 的有关规定；
- 8.1.2 各工序施工应按设计要求进行质量控制，每道工序完成后，应进行质量检查。
- 8.1.3 工程质量的检验应在施工单位自行检验评定的基础上进行。
- 8.1.4 应在每个分项工程中留存一定数量的施工影像资料。
- 8.1.5 质量检验评定不合格的项目应整改后重新检验评定直至合格。

8.2 地基处理

- 8.2.1 水下挤密砂桩的质量检验评定标准应按照 JTS 261 的要求确定，并应满足表 3 的要求，水下挤密砂桩质量评定表见附录 A.1。

表3 水下挤密砂桩质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	方法
1	桩位水平偏差	250mm	全站仪等
2	桩套管垂直度	不大于1.5%	测斜仪等，检测频率为总桩数的5%，且不少于3根
3	桩顶高程	不低于设计高程	水准仪等

- 8.2.2 深层水泥搅拌桩的质量检验评定验收标准应按照 JTS/T 325 要求确定，主要检验项目与方法见表 4，深层水泥搅拌桩质量评定表见附录 A.2。

表4 深层水泥搅拌桩质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	方法
1	桩位	±100mm	查施工记录
2	顶部标高	0mm, +300mm	检查钻孔取样记录:每 1 万 m³ 拌和体抽查一处，每个单位工程不少于三个钻孔
3	垂直度（%）	1	查施工记录
4	标准贯入试验结合取芯试验检测DCM桩底标高	不低于设计标高，且误差不大于0.5m	总桩数的1%
5	无侧限抗压试验	满足设计要求	钻孔取芯：总桩数的 1%，且不少于 6 个桩簇。

注：

- ①试验桩宜 100%检测；
- ②当采用钻芯法难以判别桩底持力层或设计对持力层有特殊要求时，可在底增加标准贯入试验检测持力层；
- ③桩体渗透系数试验方法应符合 JGJ/T 233 的有关规定；
- ④当需要确定桩体水平方向的应力应变关系时，宜进行旁压试验。无侧限抗压试验取芯时间宜在成桩后 60 天。
- 8.2.3 高压旋喷桩的质量检验评定应按照 JTS 147 要求确定，主要检验项目与方法见表 5，高压旋喷桩质量评定表见附录 A.3。

表5 高压旋喷桩质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法
1	桩距（mm）	±50mm	查施工记录

表5 高压旋喷桩质量检验评定标准（续）

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法
2	桩长	不小于设计值	查施工记录
3	垂直度（%）	1.0	查施工记录
4	单桩每延米喷浆量（%）	不小于设计值和试验确定的值	查施工记录
5	复合地基平均标贯击数	不小于20击	查施工记录；设置人工岛时，岛内布置一组标贯检测

8.2.4 堆载预压、换填法设计应符合 JTS 147 的有关规定。

8.3 基槽开挖

8.3.1 基槽开挖质量检验项目包括槽底轴线、基槽底标高（土层）、基槽底标高（岩层）、基槽边坡、槽底单边坡线、基槽边坡坡率或坡面超欠挖，检验标准见表 6，基槽开挖质量评定表见附录 A.4。

表6 基槽开挖质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法与频率
1	槽底轴线	每管节内槽底轴线平均允许偏差-50cm~+50cm，偏差范围介于-100cm~-50cm 和+50cm~+100cm 的断面数量比例不大于 10%。	多波束测深系统探测、密度检测仪检测：每5~10m 一个测试断面
2	基槽底标高（土层）	槽底标高正常允许偏差-60cm~+40cm，每管节内偏差范围介于-85cm~-60cm 和+40cm~+65cm 的测点数量比例不大于 20%。	
3	基槽底标高（岩层）	槽底标高正常允许偏差-50cm~0cm，每管节内偏差范围介于-65cm~-50cm 的测点数量比例不大于 20%	
4	基槽边坡、槽底单边坡线	0cm~+250cm	
5	基槽边坡坡率或坡面超欠挖	不陡于设计坡率	

注：①表中“+”表示向上或向外，“-”表示向下或向内；岩层不包括全风化岩；

②第 4 条中槽底单边坡线是指隧道结构底板以下部分的基槽边坡线；隧道结构底板以上边坡坡面按第 5 条隧道基槽开挖验评标准进行验收。

8.4 块石垫层

8.4.1 块石垫层质量验收项目包括平均振密沉降量、振密后块石顶面高差、振密后块石变形模量、DCM 区段 DCM 桩顶面的竖向平均应力等，验收标准见表 7。块石垫层质量评定表见附录 A.5

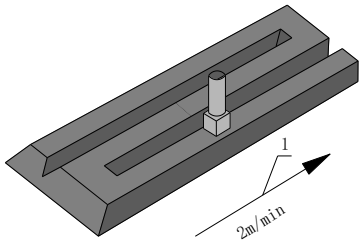
表7 块石垫层质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法
1	平均振密沉降量	100mm	多波束测深系统探测 每 5~10m 一个断面，2~5m 一个测点
2	振密后块石层顶面高差	±250mm	
3	振密后块石变形模量	满足设计要求	通过典型试验确定
4	DCM 桩顶面的竖向平均应力	满足设计要求	

8.5 碎石基床

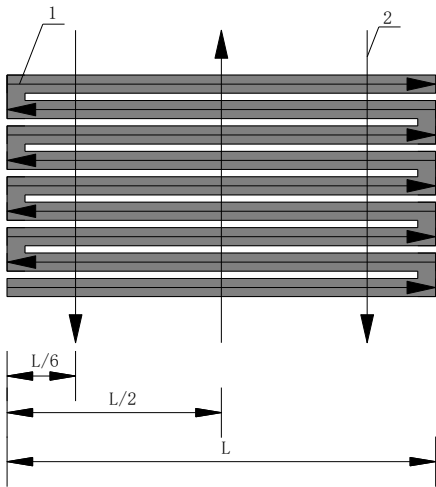
8.5.1 碎石基床检测宜采用船舶声呐自检系统和多波束测深系统扫测方法。声呐对基床横断面、纵断面、碎石中心线高程、纵坡及宽度进行检测，多波束测深系统对基床高程进行检测，并生成水下三维图、

差值图等，见图 16；碎石基床验收测线布置，见图 17；碎石基床验收质量检测标准见表 8。



标引序号说明：
1——验收行船方向及速度；

图 16 碎石基床验收过程示意



标引序号说明：
1——横断面测量，检测碎石条带中心线的高程；
2——纵断面测量。

图 17 碎石基床验收测线布置示意

8.5.2 碎石基床质量检验项目包括垫层顶部标高所有测点最大允许偏差、垫层两侧顶边线与设计位置平面允许偏差、碎石垄纵向宽度、碎石垄纵向偏位、垫层顶部标高所有测点最大允许偏差等。检验标准见表 8。碎石基床质量评定表见附录 A.6。

表8 碎石基床质量检验评定标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检查方法与频率
1	垫层顶部所有测点标高最大允许偏差	$\pm 40\text{mm}$	采用声纳法、多波束测深系统扫测验收,人工整平段采用全站仪:逐垄检查
2	垫层两侧顶边线与设计位置平面允许偏差	$\pm 200\text{mm}$	
3	碎石垄纵向宽度	$0\text{mm}\sim 200\text{mm}$	
4	碎石垄纵向偏位	$\pm 150\text{mm}$	
5	垫层顶部标高所有测点最大允许偏差	$\pm 40\text{mm}$	

注：碎石垄施工采用专用固定整平设备，宽度参数与设备尺寸直接相关。碎石垄宽度保证在不小于设计宽度的情况下，按每个管节进行抽查(潜水员测量或数据拟合)，沿垄宽方向每垄至少两个断面;对淤积较严重区段，纵向垄宽等指标进行特殊考虑。

8.6 回淤检测

8.6.1 基槽回淤检测项目标准见表 9，碎石整平后、管节沉放前回淤质检测质量评定表见附录 A.7。

表9 基槽回淤检测检验评定标准

序号	检查项目		淤泥清除标准	检查方法与频率
1	基槽精挖后块石抛填之前	密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚度	$>10\text{cm}$	1. 采用多波束测深系统进行全断面扫测：①以基槽精挖验收数据为基础开展回淤监测工作，监测频次至少 1 次/月；②块石抛填振密前 10 天、前 3 天或清淤后各测一次；③台风、热带风暴等极端天气后及时扫测至少一次。 2. 多波束测深系统测量数据分析发现异常情况时，进行潜水探摸检查比对。 3. 采用密度仪检测回淤物密度。
2	块石振密后，碎石抛填前	密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚度	$>10\text{cm}$	1. 采用多波束测深系统进行全断面扫测：①以块石振密验收数据为基础开展回淤监测工作，监测频次至少 1 次/月；②碎石铺设前 10 天、前 3 天或清淤后各测一次；③台风、热带风暴等极端天气后及时扫测至少一次。 2. 多波束测深系统测量数据分析发现异常情况时，进行潜水探摸检查比对。 3. 采用密度仪检测回淤物密度。
		密度 $>1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 的回淤沉积物厚度	$>30\text{cm}$	
3	碎石整平后管节沉放前	回淤沉积物厚度	$>15\text{cm}$	1. 采用多波束测深系统进行全断面扫测：①整平完成后扫测一次；②管节沉放前 1 天扫测一次；③台风、热带风暴等极端天气后及时扫测至少一次。 2. 多波束测深系统测量数据分析发现异常情况进行潜水探摸；管节沉放前 1 天进行潜水探摸检查比对。
		密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 回淤沉积物厚度	$>4\text{cm}$	3. 管节沉放前 1 天进行潜水探摸检查。 4. 第一个船位碎石整平完成后，在第一个船位第三条碎石垄上放置与单个管节碎石垄船位数相同数量的回淤盒，后续每完成一个船位的碎石整平工作即取出一个回淤盒，至沉放前一天全部取出。 5. 连续施工时，应与监理单位、设计单位沟通确定回淤盒位置。
		密度 $>1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 回淤沉积物厚度	$>8\text{cm}$	
4	边坡坡面回淤厚度检测	密度 $>1.26\text{g}/\text{cm}^3$ 回淤沉积物厚度	$>40\text{cm}$	1. 采用多波束测深系统测深系统进行全断面扫测：以基槽粗挖后扫测数据为基础进行回淤监测工作，监测频次根据施工流水确定。可采用：至少 1 次/月；碎石整平前 15 天、管节沉放前 7 天、1 天各扫测 1 次；台风、热带风暴等极端天气后至少扫测 1 次。 2. 采用密度仪检测回淤物密度。

注1：管节沉放前淤泥质密度测试过程中应保护好碎石垄，以免受损坏；

注1：如遇台风过境等极端气候条件及隧址上游进行施工作业时，应加强监测，并适当缩短检测时间间隔。

A.2 表 A.2 给出了深层水泥搅拌桩质量评定表的样式。

表 A.2 深层水泥搅拌桩质量评定表

项目名称			合同段			
单位工程				分部工程		
施工单位				分项工程		
监理单位				检验部位		
基本要求						
项次	检查项目	规定值或允许偏差（mm）	检测结果			合格判定
			检测数	合格数	合格率（%）	
1	桩位					
2	顶部标高					
3	垂直度（%）					
4	STP 结合取芯试验检测 DCM 桩底标高					
5	无侧限抗压试验					
6	钻孔径向加压法试验					
外观质量						
质量保证资料						
工程质量等级评定						

A.4 表 A.4 给出了基槽开挖质量评定表的样式。

表 A.4 基槽开挖质量评定表

记录：

质检工程师：

技术负责人：

监理工程师：

分项工程名称		基槽开挖		所属分部工程名称								施工单位						
工程部位				所属单位工程								合同段						
所属建设项目				施工日期								检评日期						
项次	检查项目		单位	规定值或允许偏差		设计值		检 测 值								平均值		
1	槽底轴线		cm	每管节内槽底轴线平均允许偏差-50cm～+50cm，偏差范围介于-100cm～-50cm 和+50cm～+100cm 的断面数量比例不超过 10%		—												
						—												
						—												
2	基槽底标高（土层）		cm	槽底标高正常允许偏差-60cm～+40cm，每管节内偏差范围介于-85cm～-60cm 和+40cm～+65cm 的测点数量比例不超过 20%		—												
						—												
						—												
3	基槽底标高（岩层）		cm	槽底标高正常允许偏差-50cm～0cm，每管节内偏差范围介于-65cm～-50cm 的测点数量比例不超过 20%		—												
4	基槽边坡、槽底单边坡线		cm	0cm～+250cm		—												
—	—		—	—		—												
5	基槽边坡坡率或坡面超欠挖		—	不陡于设计坡率														
—	—		—	—		—												
外观质量	符合设计及规范要求。													原始记录本	表号		—	
															册号		—	
															页码		—	序号

A.5 表 A.5 给出了块石垫层质量评定表的样式。

表 A.5 块石垫层质量评定表

项目名称				合同段				
单位工程				工程部位				
分部工程				分项工程				
施工单位								
施工日期				检评日期				
基本要求								
项次	检测项目	单位	规定值或允许偏差	检测结果				合格判定
				检测数	合格数	代表值	合格率(%)	
1	顶面设计标高	cm						
2	施工抛填标高	cm						
外观质量								
质量保证资料								
工程质量等级评定								

A. 6 表 A. 6 给出了碎石基床质量评定表的样式。

表 A. 6 碎石基床质量评定表

项目名称			合同段					
单位工程				工程部位				
分部工程				分项工程				
施工单位								
施工日期				检评日期				
基本要求								
项次	检测项目	单位	规定值或允许偏差	检测结果				合格判定
				检测数	合格数	代表值	合格率(%)	
1	基床顶部标高	cm						
2	基床两侧顶边线与设计平面允许偏差	cm						
3	碎石垄纵向宽度	cm						
4	碎石垄纵向偏位	cm						
外观质量								
质量保证资料								
工程质量等级评定								

A.7 表 A.7 给出了碎石整平后、管节沉放前回淤质检测质量评定表的样式。

表 A.7 碎石整平后、管节沉放前回淤质检测质量评定表

项目名称				合同段				
单位工程				工程部位				
分部工程				分项工程				
施工单位								
施工日期				检评日期				
基本要求								
项次	检测项目	单位	规定值或允许偏差	检测结果				合格判定
				检测数	合格数	代表值	合格率(%)	
1	多波束测深系统量测回淤沉积物厚度	cm						
2	碎石整平后、管节沉放前密度>1.15g/cm ³ 回淤沉积物厚度	cm						
外观质量								
质量保证资料								
工程质量等级评定								

参 考 文 献

- [1] JTG/T 3371-01—2022 公路沉管隧道设计规范
 - [2] JTG/T 3371—2022 公路水下隧道设计规范
-