

T

ICS 93.080.01

CCS P66

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

戈壁卵石层顶管施工技术规范

Technical specification for pipe jacking construction in Gobi pebble layer

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 地质条件判别 2

 4.3 顶进力估算 2

5 施工准备 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 技术准备 3

 5.3 材料准备 3

 5.4 设备准备 3

6 工作井与接收井 3

 6.1 一般规定 3

 6.2 工作井施工 3

 6.3 接收井施工 3

 6.4 洞口加固 3

7 顶管机选型与始发 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 始发准备 4

 7.3 始发与进洞 4

8 顶进施工 4

 8.1 一般规定 4

 8.2 顶进参数控制 5

 8.3 纠偏控制 5

 8.4 中继间设置与使用 5

 8.5 出渣与运输 5

9 减阻措施 5

 9.1 一般规定 5

 9.2 触变泥浆减阻 5

 9.3 管节外表面熔蜡 6

 9.4 二次注浆减阻 6

10 测量与监测 6

 10.1 一般规定 6

 10.2 施工测量 6

 10.3 施工监测 6

11 质量检验与验收 7

 11.1 一般规定 7

 11.2 主控项目 7

 11.3 一般项目 7

 11.4 竣工验收 7

12 安全与环境保护 8

 12.1 一般规定 8

 12.2 施工安全 8

 12.3 环境保护 8

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。

请注意本文件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。

本文件由中建新疆建工（集团）有限公司、中建新疆建工土木工程有限公司、中交一公局第六工程有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

戈壁卵石层顶管施工技术规范

1 范围

本文件规定了戈壁卵石层顶管施工的基本规定、施工准备、工作井与接收井、顶管机选型与始发、顶进施工、减阻措施、测量与监测、质量检验与验收及安全与环境保护等技术要求。

本文件适用于戈壁地区卵石层地质条件下，新建、扩建和改建的市政给排水管道、油气输送管道、电力通信管廊等工程的顶管施工。其他类似卵石层地质条件下的顶管施工可参照本规程执行。

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 50026 工程测量标准
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50424 油气输送管道穿越工程施工规范
- JGJ 120 建筑基坑支护技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

戈壁卵石层 gobi pebble layer

分布于西北干旱地区冲洪积平原，以卵石、砾石为主要骨架颗粒，卵石含量高、粒径大、地层密实、渗透性强的第四纪松散堆积地层。

3.2

顶管施工 pipe jacking

借助顶进设备产生的顶力，将管道按设计坡度、轴线逐节顶入地层中的非开挖施工方法。

3.3

顶进力 jacking force

顶管施工中，克服管节与周围土体摩阻力及迎面阻力，推动管节前进所需的总作用力。

3.4

中继间 intermediate jacking station

在长距离顶管中，设置于管节之间，分段提供顶进力以降低主顶油缸负荷的辅助顶进装置。

3.5

触变泥浆 thixotropic slurry

由膨润土、水及外加剂配制而成，具有触变特性，注入管周形成泥浆套以减小摩阻力的浆液。

3.6

减阻泥浆套 friction-reducing slurry sleeve

在管节外壁与周围土体之间，由触变泥浆填充形成的连续润滑隔层。

3.7

管节外表面熔蜡 wax coating on pipe exterior

将石蜡加热熔融后均匀涂覆于管节外表面，形成减阻润滑层的施工工艺。

3.8

二次注浆 secondary grouting

在顶进过程中或顶进完成后，对管周减阻泥浆套进行补充注浆，以维持泥浆套完整性的注浆作业。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 戈壁卵石层顶管施工应遵循“详勘先行、设备适配、减阻为主、动态调控、安全第一”的原则，根据卵石含量、粒径分布、密实度及地下水条件确定施工方案。
- 4.1.2 施工单位应具备相应市政公用工程或管道工程施工资质，项目负责人、技术负责人具有同类地层顶管施工经验，特种作业人员持证上岗。
- 4.1.3 施工前应编制戈壁卵石层顶管专项施工方案，包含地质复核、设备选型、顶进力计算、减阻措施、中继间布置、监测方案、应急预案等内容，经审批后实施。
- 4.1.4 顶管施工的通用技术要求应符合 GB 50268 的规定，戈壁卵石层特殊要求按本文件执行。

4.2 地质条件判别

- 4.2.1 施工前应根据勘察报告判别戈壁卵石层工程特性，重点核实卵石含量、最大粒径、标准贯入击数、渗透系数、地下水位及分布规律。
- 4.2.2 当卵石含量大于 75%、最大孤石直径大于 300 mm 或存在连续砂层透镜体时，应进行专项论证，调整顶管机选型与施工参数。
- 4.2.3 地质条件复杂区段应在工作井位置进行补勘，孔深穿透管底以下不少于 3 m，掌握始发与接收段地层详情。
- 4.2.4 戈壁卵石层工程地质分级应符合表 1 规定。

表 1 戈壁卵石层工程地质分级

分级	卵石含量 /%	最大卵石粒径 /mm	标准贯入击数 N	渗透系数 K/(m/d)	施工难度
I 级（较易）	60~65	≤100	20~25	20~30	一般
II 级（中等）	65~70	100~200	25~30	30~40	较大
III 级（困难）	70~75	200~300	30~35	40~50	大
IV 级（极困难）	≥75	≥300	≥35	≥50	极大

4.3 顶进力估算

- 4.3.1 顶进力应按 GB 50424 的规定进行计算，综合考虑管周摩阻力、迎面阻力、管道自重及曲线顶进附加阻力，戈壁卵石层摩阻力取值应高于一般地层。
- 4.3.2 戈壁卵石层管侧单位面积摩阻力可取 8 kPa~15 kPa，采取触变泥浆减阻后可降至 3 kPa~6 kPa，设计计算时应留有不小于 1.5 倍的安全储备。
- 4.3.3 根据顶进力计算结果确定主顶油缸吨位、后背墙结构及中继间设置数量与位置，主顶设备额定顶力不应小于计算顶进力的 1.5 倍。

5 施工准备

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工准备应包含技术准备、现场准备、材料设备准备及人员准备，各项工作完成并经检查合格后方可开工。
- 5.1.2 施工前应完成图纸会审、技术交底，明确设计轴线、高程、坡度及管道接口要求，交底记录签字齐全。
- 5.1.3 施工现场应完成“三通一平”，设置围挡、警示标识及临时排水设施，戈壁地区应配备防风、防沙、防暑降温设施。

5.2 技术准备

5.2.1 复核沿线地下管线、建（构）筑物及障碍物分布，必要时采用物探与开挖探沟相结合的方式核实，制定保护或迁改方案。

5.2.2 根据顶进长度、管径、地质条件进行顶管机选型论证，确定刀盘形式、开口率、破碎能力及主驱动功率，戈壁卵石层宜选用可破碎大粒径卵石的复合型刀盘。

5.2.3 编制测量控制方案，建立地面与井下平面及高程控制网，控制点设置牢固并定期复核，测量精度符合 GB 50026 的规定。

5.3 材料准备

5.3.1 管节进场查验出厂合格证、质量证明文件及外观质量，钢筋混凝土管节强度等级、抗渗等级符合设计要求，钢承口或企口接口尺寸偏差在允许范围内。

5.3.2 膨润土、外加剂、石蜡、注浆管材等材料按批次验收，膨润土膨胀倍数、滤失量等性能指标符合触变泥浆配制要求。

5.3.3 中继间、洞口密封装置、导轨、后背墙等构配件进场检查规格型号与完好性，承压部件进行强度验算。

5.4 设备准备

5.4.1 顶管机、主顶油缸、油泵站、起重机、拌浆系统、注浆泵、出渣运输设备等进场验收，调试运转正常，安全保护装置齐全有效。

5.4.2 泥水平衡顶管机应配备泥水分离处理系统，处理能力满足卵石地层出渣量要求，砂石分离机筛网规格适配卵石粒径。

5.4.3 设备安装完成后进行空载试运行与负载试运转，各系统联动正常，仪表读数准确，经监理验收合格后方可投入使用。

6 工作井与接收井

6.1 一般规定

6.1.1 工作井与接收井的位置、尺寸、结构形式应根据顶管管径、顶进长度、设备尺寸、后背墙受力及出土方式确定，井内净空满足设备安装与操作空间要求。

6.1.2 工作井支护结构设计应符合 JGJ 120 的规定，戈壁卵石层地层自稳性差，宜采用沉井、地下连续墙或钢板桩支护，确保井壁稳定。

6.1.3 工作井后背墙应具有足够的强度与刚度，承受最大顶进力时变形量不大于 20 mm，后背墙与顶进轴线垂直，偏差不大于 5‰。

6.2 工作井施工

6.2.1 工作井开挖前完成井口防护与排水设施，分层开挖、分层支护，戈壁卵石层开挖深度每层不大于 1.5 m，及时施作支护结构，严禁超挖。

6.2.2 井壁预留洞口尺寸比管外径大 100 mm~200 mm，洞口周边预埋钢环或加强筋，洞口密封装置安装牢固，密封胶圈完好。

6.2.3 工作井底板浇筑混凝土，强度等级不低于 C30，底板上安装导轨，导轨高程、轴线、坡度符合设计要求，安装牢固不变形。

6.3 接收井施工

6.3.1 接收井结构与施工要求同工作井，井口尺寸满足顶管机出洞与吊装解体要求，井底设置集水坑与排水设施。

6.3.2 接收井洞口预留与密封装置同工作井，接收前在洞口内铺设接收导轨，导轨高程与管道设计高程一致。

6.4 洞口加固

- 6.4.1 戈壁卵石层渗透性强、自稳性差，始发与接收洞口必须进行地层加固，加固范围沿顶进方向不少于 3 m，径向超出管外径不少于 1.5 m。
- 6.4.2 洞口加固可采用注浆加固、深层搅拌或冻结法，注浆加固后土体无侧限抗压强度不小于 0.5 MPa，渗透系数不大于 1×10^{-5} cm/s。
- 6.4.3 洞口加固完成后进行取芯检测，加固效果满足要求后方可破除洞门，破除时分层、分块进行，防止卵石坍塌涌入井内。

7 顶管机选型与始发

7.1 一般规定

- 7.1.1 顶管机选型应根据戈壁卵石层地质分级、管径、顶进长度、地下水位及周边环境条件综合确定，优先选用泥水平衡式顶管机。
- 7.1.2 顶管机刀盘应具备破碎大粒径卵石的能力，配置滚刀、切刀及仿形刀，刀盘开口率不小于 25%，最大破碎粒径不大于排渣口通过粒径。
- 7.1.3 顶管机主驱动扭矩、推力、转速等参数匹配戈壁卵石层高摩阻、大粒径的特点，额定扭矩留有不小于 1.3 倍的储备系数。
- 7.1.4 表 2 戈壁卵石层顶管机选型要求。

表 2 戈壁卵石层顶管机选型要求

地质分级	推荐机型	刀盘形式	主驱动扭矩储备系数	最大破碎卵石粒径	适用管径
I 级	泥水平衡、土压平衡	面板式复合刀盘	≥ 1.2	≤ 150 mm	DN800~DN2400
II 级	泥水平衡	面板式、滚刀复合刀盘	≥ 1.3	≤ 250 mm	DN1000~DN3000
III 级	泥水平衡	面板式、滚刀、撕裂刀	≥ 1.5	≤ 300 mm	DN1200~DN3500
IV 级	泥水平衡、破碎装置	重型复合刀盘、颚式破碎机	≥ 1.8	≤ 350 mm	DN1500~DN4000

7.2 始发准备

- 7.2.1 顶管机下井前在地面完成组装调试，检查刀盘、主驱动、纠偏油缸、注浆系统、测量系统及电气控制系统，各项功能正常。
- 7.2.2 顶管机吊装下井采用额定起重量不小于设备重量 1.5 倍的起重机，吊装作业由专人指挥，井内严禁站人，就位后固定于始发导轨上。
- 7.2.3 安装洞口密封装置，调整顶管机轴线与设计轴线一致，高程偏差不大于 ± 10 mm，轴线偏差不大于 ± 20 mm，初始坡度符合设计要求。

7.3 始发与进洞

- 7.3.1 破除洞门前确认洞口加固效果达标，破除后迅速将顶管机切入土体，刀盘转动与顶进同步进行，减少洞口暴露时间，防止卵石坍塌。
- 7.3.2 始发阶段顶进速度控制在 5 mm/min~10 mm/min，顶进力逐步增加，密切监测刀盘扭矩、顶进力及地面沉降，发现异常立即停止顶进。
- 7.3.3 顶管机完全进入土体、第三节管节顶入后，方可逐步提高顶进速度至正常施工速度，始发段长度不少于 10 m。

8 顶进施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 顶进施工应连续作业，非必要不得中途长时间停顿，停顿时保持刀盘低速转动并维持泥水平衡或土仓压力，防止卵石固结卡机。
- 8.1.2 顶进过程中实时监控顶进力、刀盘扭矩、顶进速度、泥水压力（或土仓压力）、纠偏量等参数，每根记录一次，参数异常及时分析处理。

8.1.3 管节接口安装时清理干净，橡胶圈涂抹润滑剂，承插到位，接口间隙均匀，顶进中检查接口状态，防止错口、脱口或渗漏。

8.2 顶进参数控制

8.2.1 正常顶进速度控制在 $10\text{ mm/min} \sim 30\text{ mm/min}$ ，卵石含量高、粒径大的区段取低值，顶进速度与出渣量、注浆量匹配，保持开挖面稳定。

8.2.2 泥水平衡顶管机泥水压力根据开挖面水土压力确定，波动范围控制在 $\pm 10\text{ kPa}$ 以内，泥水比重控制在 $1.05 \sim 1.20$ ，黏度控制在 $18\text{ s} \sim 25\text{ s}$ 。

8.2.3 顶进力超过设计值 80% 时启动中继间辅助顶进，超过设计值 90% 时暂停顶进，分析原因并采取减阻措施后方可继续。

8.3 纠偏控制

8.3.1 顶进过程中勤测勤纠，每顶进 500 mm 测量一次轴线与高程，偏差超过允许值时及时纠偏，单次纠偏量不大于 5 mm ，避免急纠猛纠。

8.3.2 纠偏采用调整纠偏油缸伸缩量的方式，结合刀盘转向辅助纠偏，曲线顶管段按设计曲线逐步调整，纠偏过程保持顶进连续。

8.3.3 戈壁卵石层纠偏阻力大，可配合局部超挖或调整刀盘转速辅助纠偏，严禁强行纠偏造成管节接口损伤或管道开裂。

8.4 中继间设置与使用

8.4.1 中继间设置间距根据顶进力计算确定，戈壁卵石层首段中继间距机头不宜大于 50 m ，后续间距不宜大于 80 m ，曲线段适当加密。

8.4.2 中继间安装时与前后管节连接牢固，密封装置完好，油缸行程同步，中继间壳体外径与管节外径一致，不形成台阶。

8.4.3 中继间启用按“先远后近、依次启动”原则，单个中继间顶进行程不大于设计行程的 80%，顶进完成后回缩复位，不得长时间处于受压状态。

8.5 出渣与运输

8.5.1 泥水平衡顶管出渣采用管道输送，排浆管径不小于进浆管径，排浆流速不小于 2 m/s ，防止卵石沉积堵塞管道。

8.5.2 泥水分离系统处理能力与顶进速度匹配，分离出的卵石、砂料集中堆放，定期外运，泥浆水循环使用，废浆按环保要求处理。

8.5.3 土压平衡顶管出渣采用螺旋输送机与矿车或皮带运输，出渣量与开挖量匹配，每环核算出土量，超挖量不大于理论开挖量的 5%。

9 减阻措施

9.1 一般规定

9.1.1 戈壁卵石层渗透性强、管周泥浆套难以形成，必须采取综合减阻措施，包含触变泥浆减阻、管节外表面熔蜡减阻及二次注浆补浆，将管侧摩阻力控制在设计范围内。

9.1.2 减阻措施应贯穿顶进全过程，始发段即开始注浆，顶进中持续补浆，停顿时维持泥浆套压力，防止泥浆失水失效。

9.1.3 减阻效果通过顶进力变化监测评估，摩阻力超过设计值时及时调整泥浆配比、增加注浆量或采取辅助减阻措施。

9.2 触变泥浆减阻

9.2.1 触变泥浆由膨润土、水及 CMC、纯碱等外加剂配制，膨润土掺量不小于 8%，泥浆漏斗黏度不小于 20 s ，失水量不大于 15 mL/30min ，泥皮厚度不大于 2 mm 。

9.2.2 注浆孔沿管节周向均匀布置，每节管节注浆孔不少于 4 个，注浆压力比该处静止水土压力大 $10\text{ kPa} \sim 20\text{ kPa}$ ，注浆量为理论建筑间隙的 1.5 倍 ~ 2.0 倍。

- 9.2.3 注浆遵循“先压后顶、随顶随压、及时补浆”原则，顶进前 5 min 开始注浆，顶进中保持连续注浆，顶进停止后继续注浆至泥浆套饱满。
- 9.2.4 触变泥浆主要性能指标应符合表 3 规定。

表 3 触变泥浆主要性能指标要求

性能指标	单位	指标要求	检测方法
漏斗黏度	s	≥20	苏式漏斗
失水量	mL/30min	≤15	失水仪
泥皮厚度	mm	≤2	失水仪
动切力	Pa	≥8	六速旋转黏度计
静切力（初切/终切）	Pa	≥2/≥5	六速旋转黏度计
pH 值	—	8~10	pH 试纸
相对密度	—	1.05~1.15	密度计

9.3 管节外表面熔蜡

- 9.3.1 戈壁卵石层顶管管节外表面应采取熔蜡减阻措施，石蜡熔点选用 52 号~58 号全精炼石蜡，涂覆厚度不小于 0.5 mm，涂覆均匀无漏涂。
- 9.3.2 熔蜡在地面预制场进行，管节表面清理干净、干燥无水，石蜡加热至 120 °C~150 °C 熔融后均匀涂刷或喷涂，自然冷却固化。
- 9.3.3 熔蜡管节运输与吊装时保护蜡层，破损处补涂，下井前检查蜡层完整性，蜡层破损面积超过 10% 的管节不得使用。

9.4 二次注浆减阻

- 9.4.1 当顶进距离较长、泥浆套失水或顶进力异常增大时，应进行二次注浆补浆，二次注浆孔利用管节预留注浆孔或中继间注浆孔。
- 9.4.2 二次注浆浆液可采用触变泥浆或水泥-膨润土混合浆液，补浆压力不超过管节设计外压，补浆量根据顶进力变化动态调整。
- 9.4.3 二次注浆间隔根据顶进力监测确定，一般每顶进 20 m~30 m 或顶进力增幅超过 20% 时进行一次补浆，补浆后顶进力下降确认减阻有效。

10 测量与监测

10.1 一般规定

- 10.1.1 顶管施工测量与监测应贯穿全过程，包含施工测量、地面沉降监测、地下水位监测及周边建（构）筑物变形监测，测量精度符合 GB 50026 的规定。
- 10.1.2 测量仪器定期检定合格，使用前校准，监测点布设牢固，初始值在顶管始发前采集，监测数据及时整理分析。
- 10.1.3 长距离顶管（大于 150 m）应采用激光导向系统或自动测量系统，实时监控管道姿态，减少人工测量误差。

10.2 施工测量

- 10.2.1 地面控制网采用全站仪布设，平面控制测量等级不低于二级，高程控制测量等级不低于四等，控制点设置在施工影响范围外并定期复核。
- 10.2.2 井下导线测量采用支导线或闭合导线，每顶进 30 m~50 m 进行一次井下导线复测，累计误差及时校正，确保管道轴线精度。
- 10.2.3 顶进中每顶进 500 mm 测量一次机头姿态，每顶进一节管节测量一次管道高程与轴线，偏差超出允许值及时纠偏。

10.3 施工监测

- 10.3.1 地面沉降监测点沿管道轴线纵向间距不大于 10 m，横向每断面不少于 5 点，监测范围超出管道两侧各 3 倍管径，始发与接收段加密至 5 m 间距。
- 10.3.2 顶进期间每日监测不少于 1 次，沉降速率超过 3 mm/d 时加密至每日 2 次，地面沉降允许值不大于+10 mm/-30 mm，周边建（构）筑物沉降允许值按相关规范执行。
- 10.3.3 地下水位监测孔布设在管道两侧，监测水位变化，水位降幅超过 1 m 时分析原因并采取注浆堵漏或补水措施，防止降水引发地面沉降。

11 质量检验与验收

11.1 一般规定

- 11.1.1 戈壁卵石层顶管施工质量检验与验收应符合 GB 50268 的规定，分项工程划分为工作井、管道顶进、接口处理、注浆减阻等检验批。
- 11.1.2 质量检验分主控项目与一般项目，主控项目全部合格，一般项目合格率不低于 90%，方可判定检验批合格。
- 11.1.3 隐蔽工程在隐蔽前进行验收，留存施工记录、检测数据与影像资料，监理签字确认后方可进行下道工序。

11.2 主控项目

- 11.2.1 管道轴线位置偏差：每节管节测量，允许偏差不大于 50 mm，高程允许偏差不大于±30 mm，相邻管节错口不大于管壁厚的 10%且不大于 15 mm。
- 11.2.2 管节接口严密性：接口无渗漏，橡胶圈无扭曲、断裂、外露，管道闭水试验或闭气试验合格，渗水量符合 GB 50268 规定。
- 11.2.3 管道内底高程：全线测量，偏差不大于±20 mm，管道坡度符合设计要求，无倒坡、积水现象。

11.3 一般项目

- 11.3.1 管节外观质量：表面无明显裂缝、缺损、露筋，蜂窝麻面面积不超过表面积的 1%，深度不大于 10 mm。
- 11.3.2 注浆减阻记录：注浆压力、注浆量、泥浆性能指标记录完整，顶进力变化曲线连续，减阻效果符合设计要求。
- 11.3.3 中继间使用记录：中继间启用顺序、顶进行程、回缩复位记录齐全，中继间密封无渗漏，壳体无变形。
- 11.3.4 管道顶进施工质量检验标准应符合表 4 规定。

表 4 管道顶进施工质量检验标准

项目	允许偏差	检验频率	检验方法
轴线位置	≤50 mm	每节管节	全站仪测量
内底高程	±20 mm	每节管节	水准仪测量
相邻管节错口	≤15 mm且≤10%壁厚	每节接口	钢尺量测
管道内径	±10 mm	每10节抽1节	钢尺量测
地面沉降	+10 mm/-30 mm	每监测点	水准仪测量
接口渗漏	无渗漏	全数	观察检查

11.4 竣工验收

- 11.4.1 顶管工程完工后进行功能性试验，给水排水管道进行闭水试验或闭气试验，油气输送管道按 GB 50424 规定进行强度与严密性试验。
- 11.4.2 竣工验收资料包含竣工测量成果、隐蔽工程验收记录、材料质量证明、设备调试记录、监测报告、功能性试验报告及施工日志，齐全完整。
- 11.4.3 竣工验收由建设单位组织，设计、施工、监理、勘察等单位参加，验收合格后签署竣工验收文件，办理移交手续。

12 安全与环境保护

12.1 一般规定

12.1.1 施工单位应建立安全生产责任制，编制安全专项施工方案与应急预案，配备专职安全员，作业前进行安全技术交底，交底双方签字确认。

12.1.2 施工现场设置明显安全警示标识，工作井周边设置防护栏杆与挡水墙，井口覆盖或设置安全网，夜间设置警示灯。

12.1.3 戈壁地区风沙大、温差大，作业人员配备防风沙、防高温或防寒劳保用品，高温时段合理安排作业时间，防止中暑。

12.2 施工安全

12.2.1 工作井内作业实行有限空间作业管理，作业前检测氧气、有毒有害气体浓度，通风合格后方可下井，作业中持续通风并设专人监护。

12.2.2 顶管机内电气设备接地保护可靠，电缆绝缘完好，井下照明采用安全电压，潮湿环境照明电压不大于 12 V，配备应急照明。

12.2.3 起重吊装作业由持证人员操作，吊物下方严禁站人，工作井内吊装时井下人员撤离至安全区域，吊装信号统一规范。

12.2.4 顶进中发生卡机、坍塌、涌水等险情时，立即停止作业，撤离人员，启动应急预案，险情排除并经评估后方可恢复施工。

12.3 环境保护

12.3.1 施工泥浆、废浆经泥水分离处理后循环使用，废弃泥浆运至指定消纳场，严禁直接排放，泥浆池设置防渗措施，防止污染地下水。

12.3.2 施工现场道路硬化，运输车辆覆盖密闭，出入口设置洗车平台，戈壁地区大风天气停止土方与易扬尘作业，减少扬尘污染。

12.3.3 施工噪声控制符合当地环保要求，高噪声设备设置隔声屏障，夜间施工办理审批手续，减少对周边环境影响。

12.3.4 施工完成后及时恢复地面地貌，清理施工垃圾，戈壁生态脆弱区采取植被恢复或覆土防护措施，防止水土流失与土地沙化。