T/HPBA

团 体 标 准

T/HPBA-XXX-2026

钼尾矿干垒混凝土砌块挡墙技术规程

Technical Specification for Retaining Walls of Dry-Laid Blocks Using Molybdenum Tailings

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XXXX 实施

河南省装配式建筑产业发展协会 发布

前言

为贯彻落实国家关于工业固体废物资源化利用的方针政策，推动钼尾矿在建筑材料领域的再生利用，减少尾矿堆存对环境的影响，规范干垒砌块在挡墙工程中的应用，做到技术先进、安全适用、经济合理、保证工程质量，制定本规程。

本规程依据国家现行有关标准，结合钼尾矿的材料特性及干垒砌块挡墙的受力特点，在总结工程实践经验和科研成果的基础上编制而成。

主要内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 材料要求；5. 设计计算；6. 施工；7. 验收；8. 检测与监测。

编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，开展了多项室内试验和现场试验，参考了国内外相关技术标准，并广泛征求了有关单位和专家的意见。

本规程在执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，如发现需要修改或补充之处，请将意见反馈至标准主编单位：河南省建筑科学研究院有限公司（地址：郑州市丰乐路 4 号，联系人：王建华 ；联系

电话：18838278918 ；电子邮箱：641963254@qq.com；邮编：450053），以便今后修订时参考。

本规程主编单位：栾川县尾矿资源综合利用中心、河南省建筑科学研究院有限公司主编

本规程参编单位：

本规程主要起草人：

本规程主要审查人：

目录

1 总则 6
2 术语和符号 7
2.1 术语 7
2.2 符号 8
3 基本规定 12
3.1 一般要求 12
3.2 挡墙类型与适用条件 12
3.3 设计使用年限与安全等级 13
3.4 结构变形与耐久性要求 13
3.5 环境保护与资源利用要求 13
4 材料要求 15
4.1 钼尾矿混凝土砌块 15
4.2 其他材料 17
5 设计计算 19
5.1 设计原则 19
5.2 荷载 22
5.3 土压力计算 23
5.4 地基基础计算 26
5.5 稳定性验算 29

5.6 加筋土挡墙内部稳定性验算 32
5.7 墙身内力验算 35
5.8 地震作用计算与构造措施 37
6 施工 41
6.1 施工准备 41
6.2 地基与基础施工 42
6.3 砌块干垒施工 42
6.4 特殊部位与节点处理 44
6.5 施工安全与环境保护 44
7 验收 45
7.1 一般规定 45
7.2 分部分项工程验收 46
7.3 竣工验收 46
8 检测与监测 48
8.1 材料与构件性能检测 48
8.2 施工过程质量检测 48
8.3 运营期安全监测 49
本规程用词说明 50
引用标准名录 51
附：条文说明 51

1 总则

1.01 为在建筑边坡及市工程建设中，规范采用钼尾矿混凝土砌块进行干垒挡墙的勘察、设计、施工及验收，保障工程质量和安全，促进钼尾矿资源化综合利用，制定本规程。

1.02 本规程适用于建筑边坡工程和市政工程中，以钼尾矿混凝土砌块为砌筑材料，采用干垒（无砂浆）工艺建造的、墙高不超过 12m 的加筋土挡墙以及墙高不超过 5m 的重力式干垒挡墙的设计、施工、验收与监测。对变形有严格要求的挡墙应根据具体情况提高设计标准。

1.03 钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙的建设应遵循安全可靠、经济合理、技术先进、生态环保的原则，并应结合工程地质、水文地质及周边环境条件，因地制宜地进行设计与施工。

1.04 本规程依据现行国家及行业相关标准编制。当本规程与现行国家标准、行业标准的规定不一致时，应按其中要求更严格的规定执行。本规程未涉及的内容，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 钼尾矿混凝土砌块 Molybdenum Tailings Concrete Block

以钼尾矿作为主要原料，与胶凝材料、水及外加剂等按一定比例拌制、成型、养护而成且具有嵌锁结构的砌块。

2.1.2 干垒 Dry-stacked

砌块之间不使用砂浆等胶结材料，依靠砌块自身重力、相互嵌锁及土工格栅等加筋材料连接，形成整体结构的施工方法。

2.1.3 干垒挡墙 Retaining Wall of Dry-stacked

采用干垒工艺建造的挡土墙结构，其中重力式干垒挡墙墙高不超过 5m，加筋土式干垒挡墙墙高不超过 12m。

2.1.4 加筋土 Reinforced Earth

在填土中分层铺设具有抗拉强度的土工合成材料（如土工格栅、土工带等），依靠土体与加筋材料间的摩擦力，改善土体力学性能的复合结构。

2.1.5 砌块-土工格栅连接强度 Connection Strength between

Block and Geogrid

土工格栅被砌块夹持或通过连接件固定时，两者界面所能承受的最大抗拔力。

2.1.6 结构重要性系数 Importance Coefficient of Structure

对不同安全等级的结构，为使其具有规定的可靠度而采用的系数。结构重要性系数 γ_0。按本规程第 3.3.2 条规定的安全等级采用：一级取 1.1，二级取 1.0。

2.2 符号

A —— 砌块与格栅的有效接触或连接面积 (mm^2)；

B —— 基础底面宽度 (m)；

C —— 结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值；

E_a —— 主动土压力标准值 (kN/m)；

E_{aE} —— 地震主动土压力标准值 (kN/m)；

E_{ax} —— 主动土压力的水平分力 (kN/m)；

E_{az} —— 主动土压力的垂直分力 (kN/m)；

E_p —— 被动土压力标准值 (kN/m)；

F_h —— 水平地震作用标准值 (kN)；

F_v —— 竖向地震作用标准值 (kN)；

F_s —— 抗拔出安全系数；

G —— 挡墙自重（包括砌块、墙顶附属物等）标准值 (kN/m)；

H —— 挡墙高度 (m)；

K_0 —— 静止土压力系数；

K_a —— 主动土压力系数；

K_{aE} —— 地震主动土压力系数；

K_p —— 被动土压力系数；

K_s —— 抗滑移稳定安全系数；

K_t —— 抗倾覆稳定安全系数；

L —— 土工格栅总长度 (m)；

L_e —— 土工格栅锚固长度 (m)；

M_R —— 加筋材料提供的抗滑力矩 (kN・m/m)；

P_k —— 相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值 (kPa)；

P_{kmax} —— 基础底面边缘最大压力值 (kPa)；

R_d —— 结构或构件的抗力设计值；

S_d —— 作用组合的效应设计值；

S_v —— 土工格栅竖向间距 (m)；

T —— 土工格栅设计拉力 (kN/m)；

T_c —— 砌块与土工格栅的连接强度 (kN/m)；

T_d —— 土工格栅长期设计强度 (kN/m)；

T_i —— 第 i 层土工格栅的设计拉力 (kN/m)；

T_u —— 土工格栅极限抗拉强度 (kN/m)；

f_a —— 修正后的地基承载力特征值 (kPa)；

f_{cd} —— 砌块材料的局部承压强度设计值 (N/mm^2)；

f_{cdE} —— 地震工况下砌块材料的局部承压强度设计值 (N/mm^2)；

q —— 墙后填土顶面均布荷载标准值 (kN/m^2)；

s —— 地基最终沉降量 (mm)；

z_i —— 第 i 层土工格栅的埋深 (m)；

$\alpha_{\max}$ —— 水平地震影响系数最大值；

α_{vmax} —— 竖向地震影响系数最大值；

γ —— 墙后填土的重度 (kN/m^3)；

γ_0 —— 结构重要性系数；

γ_{RE} —— 抗震承载力调整系数；

δ —— 墙背与填土之间的摩擦角 (°)；

ϵ —— 墙背与竖直面夹角 (°)；

θ —— 地震角 (°)；

μ —— 基底与地基土的摩擦系数；

μ_s —— 砌块间摩擦系数；

σ_c —— 局部承压应力 (N/mm^2)；

σ_v —— 砌块层间法向压应力或土工格栅上覆土压力 (kPa)；

τ —— 砌块层间剪应力 (kPa)；

φ —— 墙后填土的内摩擦角 (°)；

ψ_s —— 沉降计算经验系数；

c —— 墙后填土的粘聚力 (kPa)。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙的设计与施工，应根据工程地质勘察报告，明确场地的工程地质、水文地质条件。

3.1.2 应根据挡墙高度、边坡环境、荷载条件等，进行专项设计，专项设计文件应包括结构计算书、施工图、材料技术要求、施工工艺及监测方案。

3.1.3 设计、施工、监测应协同工作，实行动态设计和信息化施工。

3.2 挡墙类型与适用条件

3.2.1 根据结构形式，可分为重力式干垒挡墙和加筋土式干垒挡墙。

3.2.2 重力式干垒挡墙宜用于墙高不大于 5m 的边坡支护。

3.2.3 加筋土式干垒挡墙适用于墙高大于 5m 且不超过 12m 或对地基承载力要求较低的工况，其加筋体长度应根据稳定性计算

确定。

3.3 设计使用年限与安全等级

3.3.1 钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙的设计使用年限不应低于 50 年。

3.3.2 结构安全等级应根据破坏后果的严重性，按现行《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 划分为一级或二级。安全等级为一级的结构重要性系数γ_0 取 1.1，安全等级为二级的γ_0 取 1.0。

3.4 结构变形与耐久性要求

3.4.1 挡墙结构应满足正常使用极限状态下的变形要求，墙顶水平位移和竖向沉降不应超过规范限值及对相邻建（构）筑物功能的影响要求。

3.4.2 钼尾矿混凝土砌块、土工合成材料等应满足设计使用年限内的耐久性要求，并应采取防腐蚀、抗老化等措施。

3.5 环境保护与资源利用要求

3.5.1 钼尾矿的放射性及重金属浸出浓度应符合国家现行相关标准对建筑材料及环境安全的要求。

3.5.2 施工过程中应采取有效措施控制扬尘、噪声及废弃物排放，保护周边环境。

4 材料要求

4.1 钼尾矿混凝土砌块

4.1.1 原材料要求

1 钼尾矿砂（粉）：放射性核素限量、有害物质含量及细度模数等应符合相关标准要求。

2 胶凝材料：以粒化高炉矿渣、钢渣、工业副产石膏、粉煤灰、钼尾矿等固体废弃物为原料，经加工磨细后按一定比例配制成的水硬性胶凝材料。

4.1.2 砌块规格与型号

砌块分为主块、转角块、连接块等，几何尺寸、开孔率、嵌锁结构应符合设计要求，具体规格型号由设计确定。

4.1.3 物理力学性能指标

1 抗压强度：砌块强度等级宜按《生态护坡和干垒挡土墙用混凝土砌块》JC/T 2094 的规定分为 MU25、MU30、MU35、MU40、MU45 五个等级。标准砌块强度等级不应低于 MU25，其抗压强度平均值、最小值及强度标准值应符合 GB/T 4111 的

规定。

2 体积密度：砌块的体积密度应按 JC/T 2094 划分为Ⅰ级（体积密度≥2100kg/m³）、Ⅱ级（1700kg/m³≤体积密度＜2100kg/m³）。用于干垒挡墙主墙体的砌块，体积密度不应低于 2100 kg/m³；用于非承重或辅助部位的砌块，体积密度不宜低于 1700 kg/m³。

3 吸水率：砌块的吸水率以混凝土实体的吸水量表示，干密度 I 级的吸水率应不大于 6%，干密度 II 级的吸水率应不大于 9%。

4.1.4 耐久性要求

1 抗冻性：砌块的抗冻性能应符合 JC/T 2094 的规定。有抗冻要求的地区，应根据环境条件确定抗冻等级，经冻融循环试验后，质量损失率不应大于 5%，强度损失率不应大于 25%。

2 软化系数：砌块的软化系数不应小于 0.90。

3 干缩率：应满足设计要求，且不应大于 0.06%。

4.1.5 质量检验与标识

出厂时应提供产品合格证，包含强度等级、生产日期、规格型号等信息。砌块表面应有清晰标识。

4.2 其他材料

4.2.1 排水材料

1 排水管：宜采用 PVC-U 或 HDPE 塑料管，其管径、壁厚及开孔率应满足设计要求。

2 排水垫层：宜采用级配良好的碎石或砾石，含泥量不应大于 3%。

4.2.2 反滤材料

可采用土工织物（无纺土工布），其等效孔径、渗透系数、顶破强度等指标应符合《土工合成材料》GB/T 17638 等标准的规定。

4.2.3 土工合成材料

1 土工格栅：宜采用双向或单向高密度聚乙烯（HDPE）或聚丙烯（PP）土工格栅。其拉伸强度、伸长率、蠕变性能及连接强度应符合设计要求及《土工合成材料 塑料土工格栅》GB/T 17689 的规定。

2 土工格栅的长期设计强度应按 GB/T 50290 的规定，综合考虑蠕变折减、老化折减和施工损伤折减等因素后确定，详见本规程 5.6.2-3。

4.2.4 墙后回填材料

1 加筋体填料：宜采用级配良好、内摩擦角大、透水性强的

砂类土或砾类土，不得使用淤泥、耕植土、膨胀土及有机质含量大于 5%的土料。

2 墙后回填土：压实系数不应小于 0.94，并应满足渗透稳定性要求。

5 设计计算

5.1 设计原则

5.1.1 设计状态与极限状态

钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

1 承载能力极限状态包括：

a) 挡墙整体抗滑移、抗倾覆破坏；

b) 地基承载力丧失或失稳破坏；

c) 挡墙沿基底或砌块层间滑动破坏；

d) 加筋体内部稳定性破坏（土工格栅拉断或拔出）；

e) 挡墙与加筋体整体圆弧滑动破坏；

f) 砌块局部承压破坏；

g) 地震作用下的动力失稳破坏。

2 正常使用极限状态包括：

a) 墙顶水平位移过大，影响使用功能或美观；

b) 墙顶竖向沉降或不均匀沉降过大；

c) 墙体出现裂缝或砌块间相对位移超过限值；

d) 排水系统失效导致墙后水压力增大；

e) 变形对相邻建（构）筑物产生不利影响。

5.1.2 设计荷载组合

1 承载能力极限状态：应采用荷载的基本组合或偶然组合，并按下式计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \qquad (5.1.2\text{-}1)$$

式中：

γ_0 —— 结构重要性系数，安全等级为一级时取 1.1，二级时取 1.0；

S_d —— 作用组合的效应设计值；

R_d —— 结构或构件的抗力设计值。

2 基本组合的效应设计值应按下式计算：

$$S_d = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^{n} \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \qquad (5.1.2\text{-}2)$$

式中：

γ_G —— 永久荷载分项系数，按《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定取用：当永久荷载效应对结构不利时，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；当永久荷载效应对结构有利时，不应大于 1.0；

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载分项系数，按 GB 50009 的规定取 1.4

（当可变荷载标准值大于 4kN/m²时取 1.3）；

ψ_{ci} —— 可变荷载组合值系数，取 0.7；

S_{Gk} —— 永久荷载效应标准值；

S_{Qik} —— 第 i 个可变荷载效应标准值。

3 偶然组合（地震工况）的效应设计值应按下式计算：

$$S_d = S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \quad (5.1.2\text{-}3)$$

式中：

S_{GE} —— 重力荷载代表值效应；

S_{Ehk} —— 水平地震作用标准值效应；

S_{Evk} —— 竖向地震作用标准值效应；

γ_{Eh}、γ_{Ev} —— 水平、竖向地震作用分项系数，按表 5.1.2 采用。

表 5.1.2 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
同时计算水平与竖向地震作用	1.3	0.5

4 正常使用极限状态：应采用荷载的标准组合，并按下式计算：

$$S_d \leq C \quad (5.1.2\text{-}4)$$

式中：

C —— 结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，如位移限值、裂缝宽度限值等。

5.2 荷载

5.2.1 永久荷载

1 挡墙砌体自重：应按砌块实际密度计算，砌块密度不应低于相应密度等级的要求，计算时取标准值。

2 墙顶附属结构自重：包括压顶、栏杆、人行道板等，按实际构造计算。

3 墙后填土产生的土压力：应按主动土压力计算，计算时取标准值。

4 土工格栅加筋力：按加筋土理论计算，应考虑蠕变折减、老化折减和施工损伤折减。

5 墙后地下水产生的静水压力和浮力：应根据水文地质条件确定水位，按实际计算。

5.2.2 可变荷载

1 墙顶或墙后填土面上的活荷载：

a) 人群荷载：取 3.0kN/m^2 ~ 5.0kN/m^2；

b) 车辆荷载：应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定换算为等代均布土层厚度；

c) 施工荷载：按实际取值，且不应小于 5.0kN/m^2；

d) 堆载：根据实际情况确定。

2 温度作用：对于大体积挡墙，应考虑温度变化产生的温度

应力。

3 施工临时荷载：包括施工机械、材料堆放等，按施工组织设计确定。

5.2.3 偶然荷载

1 地震作用：应按现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行，设防烈度、设计基本地震加速度、设计地震分组等应根据工程所在地确定。

2 撞击作用：当挡墙位于可能遭受车辆撞击的区域时，应考虑撞击荷载，按相关规范取值。

3 爆炸作用：特殊工程应考虑爆炸荷载，按相关规定执行。

5.3 土压力计算

5.3.1 计算理论

1 土压力计算应采用库仑（Coulomb）或朗肯（Rankine）土压力理论，并应根据墙背倾角、填土面坡度、墙背摩擦角等条件选择合适的方法。

2 对于加筋土挡墙，破裂面位置应考虑加筋作用的影响。当加筋体长度满足要求时，破裂面可按“0.3H”法确定，即破裂面通过墙脚和墙顶后 0.3H（H 为墙高）处的点。

3 当墙后填土为粘性土时，应考虑粘聚力对土压力的影响，

可采用等代内摩擦角法或按规范公式计算。

4 对于多层填土，应分层计算土压力，并考虑各层土性指标的差异。

5.3.2 主动土压力系数

主动土压力系数K_a按下列公式计算（库仑理论）：

$$K_a=\frac{\cos^2(\varphi-\epsilon)}{\cos^2\epsilon\cos(\epsilon+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\beta)}{\cos(\epsilon+\delta)\cos(\epsilon-\beta)}}\right]^2} \quad (5.3.2\text{-}1)$$

式中：

φ —— 填土内摩擦角(°)；

ϵ —— 墙背与竖直面夹角(°)，墙背倾斜时，俯斜为正，仰斜为负；

δ —— 墙背与填土间摩擦角(°)，按表 5.3.2 采用；

β —— 墙后填土面坡度(°)，填土面倾斜时，向上为正，向下为负。

表 5.3.2 墙背与填土间摩擦角 δ

墙背情况	δ取值
墙背光滑、排水不良	$(0.0 \sim 0.33)\varphi$
混凝土墙背、排水良好	$(0.33 \sim 0.50)\varphi$
粗糙墙背、填土压实良好	$(0.50 \sim 0.67)\varphi$
砌体墙背、填土与墙背摩擦大	$(0.67 \sim 1.00)\varphi$

当墙背垂直($\epsilon=0$)、光滑($\delta=0$)、填土水平($\beta=0$)时，主动

土压力系数为：

$$K_a = \tan^2(45° - \varphi/2) \quad (5.3.2\text{-}2)$$

主动土压力标准值应按下式计算：

$$E_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a \quad (5.3.2\text{-}3)$$

式中：

γ —— 墙后填土的重度(kN/m^3)；

H —— 挡墙计算高度(m)。

主动土压力的水平分力和垂直分力分别为：

$$E_{ax} = E_a\cos(\epsilon + \delta) \quad (5.3.2\text{-}4)$$

$$E_{az} = E_a\sin(\epsilon + \delta) \quad (5.3.2\text{-}5)$$

5.3.3 静止土压力与被动土压力

1 当挡墙不允许产生任何位移时，应按静止土压力计算，静止土压力系数K_0按下式确定：

$$K_0 = 1 - \sin\varphi \quad (\text{砂性土}) \quad (5.3.3\text{-}1)$$

$$K_0 = 0.95 - \sin\varphi \quad (\text{粘性土}) \quad (5.3.3\text{-}2)$$

2 被动土压力仅在基础埋深较大、墙前被动区土体未被扰动时考虑。被动土压力系数K_p按库仑理论计算，但应考虑安全折减，被动土压力的安全折减系数可取 0.5～0.7。

5.3.4 特殊条件下的土压力

1 地下水影响：当墙后存在地下水时，应考虑静水压力和渗

流压力。土压力计算应采用水土分算原则，即土压力按有效重度计算，水压力按静水压力计算。地下水位以下的土重度取浮重度γ'，水压力按$\gamma_w h_w$计算。

2 粘聚力影响：当墙后有不可忽视的粘聚力c时，可采用等代内摩擦角法，等代内摩擦角φ_d按下式计算：

$$\varphi_d = \arctan\left(\tan\varphi + \frac{2c}{\gamma H}\right) \quad (5.3.4)$$

3 多层填土：当墙后填土为不同土层时，应分层计算土压力，各层土压力系数按该层土性指标计算，上层土压力作为超载作用于下层。

4 坡顶超载：当墙顶有均布荷载q时，应换算为等代土层厚度$h_0 = q/\gamma$，按增加墙高的方法计算土压力。

5.4 地基基础计算

5.4.1 地基承载力要求

1 基底平均压力P_k应满足下式要求：

$$P_k \leq f_a \quad (5.4.1\text{-}1)$$

基底最大压力P_{kmax}对于非地震工况，不应大于 1.2f_a；对于地震工况，不应大于 1.5f_a。

2 基底压力应按下列公式计算：

$$P_k = \frac{G + E_{az}}{B} \quad (5.4.1\text{-}2)$$

$$P_{kmax} = \frac{G + E_{az}}{B}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (5.4.1\text{-}3)$$

式中：

B —— 基础底面宽度(m)；

e —— 合力作用点偏心距(m)，$e = \frac{M}{G+E_{az}}$，M为所有力对基底形心的力矩之和。

3 偏心距e应满足：

$$e \le \frac{B}{6} \quad (\text{非地震工况}) \quad (5.4.1\text{-}4)$$

$$e \le \frac{B}{4} \quad (\text{地震工况}) \quad (5.4.1\text{-}5)$$

5.4.2 基础形式与尺寸

1 基础宜采用现浇钢筋混凝土底板或浆砌块石基础，其宽度、厚度及埋深应根据地基承载力、抗滑移和抗倾覆稳定性计算确定。

2 基础埋深不宜小于 0.6m，且应置于冻结线以下。在季节性冻土地区，基础埋深应大于冻结深度。

3 基础底板的厚度不宜小于 300mm，并应配置双层双向钢筋，最小配筋率不应小于 0.15%。

4 基础应设置沉降缝，间距不宜大于 20m，缝宽 20mm~30mm，缝内填塞沥青麻丝等柔性材料。

5.4.3 地基变形验算

1 对于安全等级为一级的挡墙或地基土质不均匀时，应进行地基变形验算，总沉降量和差异沉降量应满足结构安全和相邻建筑功能要求。

2 地基最终沉降量应按下式计算：

$$s = \psi_s \sum_{i=1}^{n} \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (5.4.3)$$

式中：

s —— 地基最终沉降量(mm)；

ψ_s —— 沉降计算经验系数，按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定取值；

p_0 —— 基底附加压力(kPa)；

E_{si} —— 第 i 层土的压缩模量(MPa)；

z_i、z_{i-1} —— 基础底面至第 i 层、第 i-1 层底面的距离(m)；

$\bar{\alpha}_i$、$\bar{\alpha}_{i-1}$ —— 平均附加应力系数。

3 挡墙地基变形允许值应符合表 5.4.3 的规定。

表 5.4.3 挡墙地基变形允许值

变形特征	允许值
沉降量（墙顶）	≤ 50mm
沉降差（相邻沉降缝）	≤ 0.002L（L 为相邻缝间距）
局部倾斜	≤ 0.002

5.5 稳定性验算

5.5.1 抗滑移稳定性

1 非地震工况下，抗滑移稳定性应按下式验算：

$$K_s = \frac{(G_n + E_{an} + E_p)\mu}{E_{at} - G_t} \geq K_{s,\lim} \quad (5.5.1\text{-}1)$$

式中：

G_n —— 挡墙自重在垂直于基底方向的分力(kN/m)，$G_n = G\cos\alpha_0$；

G_t —— 挡墙自重平行于基底方向的分力(kN/m)，$G_t = G\sin\alpha_0$；

E_{an} —— 主动土压力在垂直于基底方向的分力(kN/m)，$E_{an} = E_a\sin(\epsilon + \delta + \alpha_0)$；

E_{at} —— 主动土压力在平行于基底方向的分力(kN/m)，$E_{at} = E_a\cos(\epsilon + \delta + \alpha_0)$；

E_p —— 被动土压力(kN/m)，当基础埋深较浅时，可忽略；

α_0 —— 基底倾角(°)；

μ —— 基底与地基土的摩擦系数，按表 5.5.1 采用；

$K_{s,\lim}$ —— 抗滑移稳定安全系数限值，一级挡墙取 1.3，二级挡墙取 1.2。

表 5.5.1 基底摩擦系数 μ

地基土类别	μ

粘性土（可塑~硬塑）	0.25 ~ 0.40
粉土	0.30 ~ 0.45
砂土、碎石土	0.40 ~ 0.55
岩石	0.60 ~ 0.70

2 地震工况下，抗滑移稳定性应符合下式要求：

$$K_{sE}=\frac{[(G_n-F_{vn})+E_{an}]\mu+E_p}{E_{at}-G_t+F_{ht}}\geq K_{sE,\lim}\quad(5.5.1\text{-}2)$$

式中：

F_{vn} —— 墙体竖向地震作用垂直于基底的分力(kN/m)，$F_{vn}=F_v\cos\alpha_0$；

F_{ht} —— 墙体水平地震作用平行于基底的分力(kN/m)，$F_{ht}=F_h\cos(\alpha_0+\theta)$；

$K_{sE,\lim}$ —— 地震工况抗滑移稳定安全系数，一级挡墙不应小于 1.10，二级挡墙不应小于 1.05。

5.5.2 抗倾覆稳定性

1 非地震工况下，抗倾覆稳定性应按下式验算（对墙趾的力矩）：

$$K_t=\frac{Gx_0+E_{az}x_f}{E_{ax}z_f}\geq K_{t,\lim}\quad(5.5.2\text{-}1)$$

式中安全系数限值$K_{t,\lim}$应符合下列规定：

G —— 挡墙自重(kN/m)；

x_0 —— 墙体重心至墙趾的水平距离(m)；

E_{az} —— 主动土压力的垂直分力(kN/m)；

E_{ax} —— 主动土压力的水平分力(kN/m)；

x_f —— 主动土压力垂直分力作用点至墙趾的距离(m)；

z_f —— 主动土压力水平分力作用点至墙趾的竖直距离(m)，对于三角形分布的土压力，$z_f = H/3$；

$K_{t,\lim}$ —— 抗倾覆稳定安全系数限值，一级挡墙取 1.6，二级挡墙取 1.5。

2 地震工况下，抗倾覆稳定性应符合下式要求：

$$K_{tE} = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f - F_v \cdot x_v}{E_{ax}z_f + F_h \cdot z_h} \geq K_{tE,\lim} \quad (5.5.2\text{-}2)$$

式中：

F_v —— 墙体竖向地震作用(kN/m)；

F_h —— 墙体水平地震作用(kN/m)；

x_v —— 竖向地震作用至墙趾的距离(m)；

z_h —— 水平地震作用至墙趾的竖直距离(m)，取墙高的一半；

$K_{tE,\lim}$ —— 地震工况抗倾覆稳定安全系数，一级挡墙不应小于 1.20，二级挡墙不应小于 1.15。

5.5.3 整体稳定性

1 一般规定：对于加筋土挡墙，应验算包括加筋体在内的整体滑动稳定性。采用圆弧滑动面法（简化 Bishop 法或 Janbu 法）进行计算，并考虑土工格栅加筋产生的抗滑力矩。

2 非地震工况：整体稳定性安全系数不应小于表 5.5.3-1 的规

定。

表 5.5.3-1 整体稳定性安全系数 K_g

挡墙安全等级	一级	二级
K_g	≥ 1.35	≥ 1.30

3 地震工况：整体稳定性验算应考虑地震惯性力，地震工况下的安全系数不应小于表 5.5.3-2 的规定。

表 5.5.3-2 地震工况整体稳定性安全系数 K_{gE}

挡墙安全等级	一级	二级
K_{gE}	≥ 1.20	≥ 1.15

4 加筋作用考虑：圆弧滑动面计算时，土工格栅产生的抗滑力矩按下式计算：

$$M_R = \sum T_{ai} \cdot R \cdot \cos\theta_i \qquad (5.5.3)$$

式中：

M_R —— 加筋材料提供的抗滑力矩(kN・m/m)；

T_{ai} —— 第 i 层土工格栅的设计抗拉强度(kN/m)；

R —— 圆弧滑动面半径(m)；

θ_i —— 第 i 层土工格栅与滑动面切线的夹角(°)。

5.6 加筋土挡墙内部稳定性验算

5.6.1 一般规定

对于加筋土式干垒挡墙，除进行整体稳定性验算外，尚应进

行内部稳定性验算，包括土工格栅的拉断验算、抗拔出验算以及砌块与格栅的连接强度验算。

5.6.2 土工格栅拉力计算

1 第 i 层土工格栅所承受的水平土压力应按以下方法计算：

$$T_i = K_a \cdot \gamma \cdot z_i \cdot S_v \qquad (5.6.2\text{-}1)$$

式中：

T_i —— 第 i 层土工格栅的设计拉力(kN/m)；

z_i —— 第 i 层土工格栅的埋深(m)；

S_v —— 土工格栅竖向间距(m)。

2 当墙顶有均布荷载q时，应按下式计入其影响：

$$T_i = K_a \cdot (\gamma z_i + q) \cdot S_v \qquad (5.6.2\text{-}2)$$

3 土工格栅的长期设计强度按 GB/T 50290 的规定取值：

$$T_d = \frac{T_u}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID}} \qquad (5.6.2\text{-}3)$$

式中：

T_u —— 土工格栅的极限抗拉强度(kN/m)；

RF_{CR} —— 蠕变折减系数，取 1.5 ~ 3.0；

RF_D —— 老化折减系数，取 1.1 ~ 1.5；

RF_{ID} —— 施工损伤折减系数，取 1.1 ~ 1.3。

5.6.3 土工格栅抗拔出验算

1 土工格栅的锚固长度应满足下式要求：

$$L_e \geq \frac{T_i \cdot F_s}{2 \cdot \sigma_v \cdot f} \qquad (5.6.3\text{-}1)$$

式中：

L_e —— 土工格栅在稳定区的锚固长度(m)；

T_i —— 土工格栅的设计拉力(kN/m)；

F_s —— 抗拔出安全系数，非地震工况取 2.0，地震工况取 1.5；

σ_v —— 土工格栅上覆土压力(kPa)，$\sigma_v = \gamma \cdot z_i$；

f —— 土工格栅与填土的摩擦系数，按试验确定，无试验资料时取 0.8tanφ。

2 土工格栅总长度应按下式计算：

$$L = L_a + L_e \qquad (5.6.3\text{-}2)$$

式中：

L_a —— 土工格栅在主动区的长度(m)，按破裂面位置确定；

L —— 土工格栅总长度(m)，不应小于墙高的 0.7 倍。

3 土工格栅的最小锚固长度不应小于 1.5m。

5.6.4 砌块与土工格栅连接强度验算

1 砌块与土工格栅的连接强度应满足下式要求：

$$T_i \leq T_c \qquad (5.6.4\text{-}1)$$

式中：

T_c —— 砌块与土工格栅的连接强度(kN/m)，由试验确定。

2 连接强度的安全系数不应小于 2.0（非地震工况）或 1.5

（地震工况）。

5.7 墙身内力验算

5.7.1 砌块抗压强度验算

干垒砌体为非连续结构，通常不进行整体抗压验算。但对于砌块本身，在局部荷载或施工荷载作用下，应按《混凝土砌块和砖试验方法》GB/T 4111 进行单块抗压强度校核，砌块实际压应力不应大于其抗压强度设计值的 0.8 倍。

5.7.2 局部承压验算

1 非地震工况下，土工格栅与砌块连接处的局部承压应满足：

$$\sigma_c = \frac{T_i}{A} \leq f_{cd} \qquad (5.7.2\text{-}1)$$

式中：

σ_c —— 局部承压应力(N/mm^2)；

T_i —— 单层土工格栅传递至单块砌块的设计拉力(N)；

A —— 砌块与格栅的有效接触或连接面积(mm^2)；

f_{cd} —— 砌块材料的局部承压强度设计值(N/mm^2)，取砌块抗压强度的 0.8 倍。

当局部承压验算不满足时，应提高砌块强度等级或增大连接面积。

2 地震工况下，砌块局部承压强度应满足：

$$\sigma_c = \frac{T_{iE}}{A} \leq f_{cdE} \qquad (5.7.2\text{-}2)$$

式中：

T_{iE} —— 地震工况下单层土工格栅传递至单块砌块的设计拉力(N)，可按$T_{iE} = T_i \cdot \gamma_{RE}$计算，$\gamma_{RE}$取 0.85；

f_{cdE} —— 地震工况下砌块材料的局部承压强度设计值(N/mm^2)，可取$f_{cdE} = 1.2 f_{cd}$。

5.7.3 砌块层间抗剪验算

1 干垒砌块层间的抗剪能力主要来源于砌块间的摩擦力及土工格栅的约束。应验算砌块层间的抗滑移稳定性，层间抗剪应满足：

$$\tau \leq \mu_s \cdot \sigma_v \qquad (5.7.3)$$

式中：

τ —— 砌块层间剪应力(kPa)；

μ_s —— 砌块间摩擦系数，取 0.6～0.8；

σ_v —— 砌块层间法向压应力(kPa)。

2 对于墙面坡度较大（>1:0.25）或地震工况，应进行专门的层间抗滑移验算。

5.7.4 土工格栅抗拉断裂验算

土工格栅的设计拉力不应超过其长期设计强度，即：

$$T_i \leq T_d \qquad (5.7.4)$$

5.8 地震作用计算与构造措施

5.8.1 一般规定

1 钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙的抗震设防类别应根据其破坏后果的严重性，按现行《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 划分为甲类、乙类、丙类或丁类。

2 抗震验算应采用荷载的地震组合，结构重要性系数γ_0应按安全等级确定，并乘以抗震调整系数γ_{RE}。

3 抗震验算时，应同时考虑水平地震作用和竖向地震作用的影响。对于设防烈度为 8 度及以上的挡墙，应计入竖向地震作用。

4 抗震设防烈度为 6 度及以上的地区，均应进行抗震验算。

5.8.2 地震作用计算

1 **水平地震作用**：水平地震作用标准值可按拟静力法计算，作用于挡墙重心和墙后土体滑动楔体重心处，按下式计算：

$$F_h = \alpha_{\max} \cdot G \quad (5.8.2\text{-}1)$$

式中：

F_h —— 水平地震作用标准值(kN)；

$\alpha_{\max}$ —— 水平地震影响系数最大值，按表 5.8.2 采用；

G —— 计算对象（挡墙或土楔体）的重力荷载代表值(kN)。

表 5.8.2 水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$

设防烈度	7 度	8 度	9 度
$\alpha_{\max}$	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)	0.32
注：括号内数值用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。			

2 竖向地震作用：竖向地震作用标准值可按下式计算：

$$F_v = \alpha_{\text{vmax}} \cdot G \quad (5.8.2\text{-}2)$$

式中：

F_v —— 竖向地震作用标准值(kN)；

α_{vmax} —— 竖向地震影响系数最大值，取$\alpha_{\text{vmax}} = 0.65\alpha_{\max}$。

3 地震作用组合：地震作用应与重力荷载、土压力等组合，组合系数按本规程 5.1.2 条的规定执行。

5.8.3 地震主动土压力计算

1 地震作用下，墙后填土的主动土压力应考虑地震角的影响。地震角θ按表 5.8.3 取值。

表 5.8.3 地震角 θ

设防烈度	7 度	8 度	9 度
水上	1.5°	3.0°	6.0°
水下	2.5°	5.0°	10.0°

2 考虑地震作用后的主动土压力系数按下式计算：

$$K_{aE} = \frac{\cos^2(\varphi - \epsilon - \theta)}{\cos\theta\cos^2\epsilon\cos(\epsilon + \delta + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos(\epsilon + \delta + \theta)\cos(\epsilon - \beta)}}\right]^2} \quad (5.8.3\text{-}1)$$

或采用简化方法，将填土的重度γ、内摩擦角φ、墙背摩擦角δ分别替换为$\gamma/\cos\theta$、$\varphi-\theta$、$\delta+\theta$后，按非地震工况公式计算。

3 地震主动土压力标准值为：

$$E_{aE}=\frac{1}{2}\gamma H^2 K_{aE} \quad (5.8.3\text{-}2)$$

5.8.4 抗震构造措施

1 整体性构造：抗震设防地区的钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙，应加强整体性连接构造，砌块间应有可靠的嵌锁和连接。

2 土工格栅加长：土 工格栅的铺设长度在墙顶以下 1/3 墙高范围内应适当加长，其最小锚固长度不应小于 2.5m，且不应小于墙高的 0.4 倍。抗震工况下的锚固长度应在满足 5.6.3 条要求的基础上，按本条规定加长，两者取不利（较大）值。

3 墙顶压顶：墙顶宜设置钢筋混凝土压顶，压顶应嵌入墙体并与砌块可靠连接，压顶厚度不宜小于 150mm，配筋不应小于 4Φ12，箍筋Φ6@200。

4 圈梁设置：墙体高度大于 8m 时，宜沿墙高每隔 3m~4m 设置一道现浇钢筋混凝土圈梁，圈梁宽度应与墙宽一致，厚度不宜小于 200mm，配筋不应小于 4Φ14，箍筋Φ8@200，圈梁应与砌块通过连接筋可靠连接。

5 构造柱设置：挡墙拐角处、端部及与其它结构连接处应设置构造柱，构造柱尺寸不宜小于 200mm×200mm，配筋不应小于 4Φ12，箍筋Φ6@200，构造柱应与圈梁、基础及墙体可靠

连接。

6 伸缩缝与抗震缝：抗震设防地区，伸缩缝兼作抗震缝，间距不应大于 15m，缝宽不应小于 30mm。

7 基础构造：抗震设防地区的基础应设置在地基持力层上，基础埋深不应小于 1.0m，且应置于冻结线以下。

6 施工

6.1 施工准备

6.1.1 技术准备

1 熟悉设计文件，编制施工组织设计和专项施工方案，并进行技术交底。

2 进行现场踏勘，核对地质条件、地下管线及周边环境。

6.1.2 现场准备

1 清除地表障碍物，平整场地，并完成临时用水、临时用电、临时道路的接通以及临时排水设施的设置，满足“三通一平”要求。

2 根据设计坐标和高程，精确放样挡墙轴线、基础及墙体边线。

6.1.3 材料准备

1 钼尾矿混凝土砌块应按规格、强度等级分批进场，经检验合格后方可使用。装卸时应轻拿轻放，防止损坏。

2 土工格栅、排水材料等应妥善存放，避免阳光暴晒、雨淋

和油污污染。

6.2 地基与基础施工

6.2.1 基础开挖至设计标高后，应进行验槽，确认地基承载力符合设计要求。如有扰动或不符合要求，应进行地基处理。

6.2.2 基础混凝土或浆砌石施工应严格按照相关规范执行，保证基础的平整度、标高和强度。

6.3 砌块干垒施工

6.3.1 一般规定

1 砌块应自下而上逐层错缝干垒，严禁通缝。

2 每层砌块铺设前，应清理下层砌块顶面的杂物，确保接触面平整、清洁。

3 砌块应通过预留的凸隼和凹槽进行嵌锁，确保墙体整体性。

6.3.2 砌筑工艺与质量控制

1 墙体每层铺设后，应拉线检查水平度和线形，允许偏差应符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 砌块干垒允许偏差

项次	检查项目	允许偏差	检验方法
1	轴线位置	≤10mm	用经纬仪和尺检查

2	顶面标高	±15mm	用水准仪和尺检查
3	垂直度（每层）	≤5	用 2m 托线板检查
4	垂直度（全高）	≤H/500 且≤30	用经纬仪、吊线和尺检查
5	表面平整度	≤8	用 2m 靠尺和楔形塞尺检查
6	相邻块高差	≤3mm	用钢直尺检查
注：H 为挡墙全高（m）。有允许偏差的项目，最大超差值为允许偏差值的 1.5 倍。			

2 砌块开孔方向应与墙面垂直，确保排水顺畅。

6.3.3 排水系统施工

1 墙背排水层（碎石垫层）应与砌块铺设同步进行，厚度和宽度应符合设计要求。

2 排水管（泄水孔）应按设计间距和坡度埋设，管口应伸出墙面，并设置反滤层。

6.3.4 墙后回填施工

1 墙后回填应与砌块干垒同步进行。对于加筋土挡墙，每铺设一层土工格栅后，应立即进行回填土施工。

2 回填土应分层摊铺、分层压实，每层厚度不宜超过 300mm。碾压机械距离墙面不应小于 1.0m，边角处采用小型夯机夯实。

3 压实度检测应按每层每 500 ㎡不少于 3 点进行，检测方法和频率应符合《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定。

6.4 特殊部位与节点处理

6.4.1 挡墙拐角处、端部及与既有结构连接处应使用专用转角块或进行加强处理。

6.4.2 墙顶应设置压顶或防护栏杆，压顶可采用现浇混凝土或预制块。

6.5 施工安全与环境保护

6.5.1 挡墙施工应制定专项施工方案，进行支护和监测。专项施工方案的编制应符合《建筑边坡工程技术规范》GB50330 的规定。

6.5.2 砌块堆放高度不宜超过 1.5m，防止倾倒伤人。

6.5.3 施工过程中应采取洒水降尘措施，避免扬尘污染。

7 验收

7.1 一般规定

7.1.1 挡墙工程验收应按分项工程、分部工程和单位工程进行，划分为地基与基础、砌体、排水、回填等分项工程。各分项工程的验收标准应符合下列规定：

1 地基与基础工程应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定；

2 砌体工程应符合现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 的规定，并应满足本规程表 6.3.2 的允许偏差要求；

3 排水工程应符合现行国家标准《建筑边坡工程施工质量验收标准》GB/T 51351 的规定；

4 回填工程应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的规定。

7.1.2 验收时，应提供原材料合格证、检验报告、施工记录、隐蔽工程验收记录、监测报告等文件。

7.2 分部分项工程验收

7.2.1 地基与基础工程

1 地基承载力必须符合设计要求。

2 基础混凝土强度、几何尺寸、轴线位置允许偏差应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

7.2.2 砌体工程

1 砌块强度等级必须符合设计要求。

2 墙体轴线位置、顶面标高、垂直度、平整度允许偏差应符合表 6.3.2 的规定。

7.2.3 排水工程

1 排水管材质、规格、位置、坡度及反滤层施工应符合设计及《建筑边坡工程施工质量验收标准》GB/T 51351 的规定。

2 排水系统应畅通，无堵塞。

7.2.4 回填工程

1 填料质量必须符合设计要求，严禁使用不合格材料。

2 分层压实厚度、压实度应符合设计要求。

7.3 竣工验收

7.3.1 竣工验收前，应完成所有分部工程验收，且质量合格。

7.3.2 挡墙整体外形、线形应顺直，砌块无明显破损、错台。

7.3.3 验收合格后，应形成完整的竣工验收报告，并移交相关工程档案。

8 检测与监测

8.1 材料与构件性能检测

8.1.1 钼尾矿混凝土砌块应按批次进行抗压强度、体积密度、吸水率检测。

8.1.2 土工格栅应按批次进行拉伸强度、延伸率检测，必要时应进行蠕变试验。

8.1.3 回填土料应进行击实试验、颗粒分析、内摩擦角等物理力学性能检测。

8.2 施工过程质量检测

8.2.1 地基承载力检测。

8.2.2 回填土分层压实度检测。

8.2.3 砌块与土工格栅连接强度现场抽检。

8.3 运营期安全监测

8.3.1 监测项目与测点布置

1 监测项目应包括：墙顶水平位移、墙顶竖向沉降、墙后土体深层水平位移、地下水位变化、土工格栅应变等。

2 测点应布置在墙高较大、地质条件复杂、有代表性及关键断面处。每个监测断面不宜少于 3 个测点，测点应编号建档。

8.3.2 监测频率与预警值

1 施工期：每天或每施工一层监测不少于 1 次；遇暴雨、地震等特殊情况应加密监测。

2 运营期：竣工后第一年内每季度监测 1 次，之后每年监测 1 次。

3 预警值：墙顶水平位移累计值不宜大于 H/500（H 为墙高），且不应大于 30mm；变化速率不应大于 3mm/d。采用累计变化量和变化速率两项指标共同控制。

8.3.3 监测数据处理与报告

监测数据应及时整理分析，绘制位移-时间曲线。当监测数据达到预警值或发现异常突变时，应立即报警，并采取应急处理措施。

本规程用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，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”。

3 本规程中有关抗震设计的用词，除执行上述说明外，尚应符合现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

引用标准名录

1 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

2 《建筑地基基础设计规范》GB 50007

3《生态护坡和干垒挡土墙用混凝土砌块》JC/T 2094

4《砌体结构设计规范》GB 50003

5 《建筑抗震设计规范》GB 50011

6 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

7 《建筑边坡工程抗震设计规范》GB/T 51335

8 《混凝土砌块和砖试验方法》GB/T 4111

9《土工合成材料 塑料土工格栅》GB/T 17689

10 《土工合成材料应用技术规范》GB/T 50290

11 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

12 《建筑边坡工程施工质量验收标准》GB/T 51351

13 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

14《公路桥涵设计通用规范》JTG D60

15《建筑结构荷载规范》GB 50009

16 《公路路基设计规范》JTG D30

17《建筑材料放射性核素限量》GB 6566

18《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 5085.3

河南省装配式建筑产业发展协会团体标准

T/HPBA*-2026

钼尾矿干垒混凝土砌块挡墙技术规程

Technical Specification for Retaining Walls of Dry-Laid Blocks Using Molybdenum Tailings

条文说明

目录

1 总则 56
2 术语和符号 58
2.1 术语 58
2.2 符号 59
3 基本规定 60
3.1 一般要求 60
3.2 挡墙类型与适用条件 60
3.3 设计使用年限与安全等级 61
3.4 结构变形与耐久性要求 61
3.5 环境保护与资源利用要求 61
4 材料要求 63
4.1 钼尾矿混凝土砌块 63
4.2 其他材料 65
5 设计计算 67
5.1 设计原则 67
5.2 荷载 68
5.3 土压力计算 68
5.4 地基基础计算 70
5.5 稳定性验算 71

5.6 加筋土挡墙内部稳定性验算 72
5.7 墙身内力验算 72
5.8 地震作用计算与构造措施 73
6 施工 76
6.1 施工准备 76
6.2 地基与基础施工 76
6.3 砌块干垒施工 76
6.4 特殊部位与节点处理 78
6.5 施工安全与环境保护 78
7 验收 79
7.1 一般规定 79
7.2 分部分项工程验收 79
7.3 竣工验收 79
8 检测与监测 81
8.1 材料与构件性能检测 81
8.2 施工过程质量检测 81
8.3 运营期安全监测 81

1 总则

1.01 本条明确了本规程的编制目的。钼尾矿是钼矿选矿过程中产生的固体废弃物，大量堆存不仅占用土地，还存在环境污染风险。将钼尾矿用于混凝土砌块生产，并应用于干垒挡墙工程，是实现资源化利用、保护环境的重要途径。同时，干垒挡墙作为一种柔性结构，对地基适应性好、施工速度快、景观效果好，在边坡和市政工程中具有广阔的应用前景。本规程旨在规范此类工程的技术要求，确保工程质量和安全。

1.02 本条界定了本规程的适用范围。对于墙高不超过 5m 的重力式干垒挡墙和墙高不超过 12m 的加筋土式干垒挡墙，本规程均适用。当墙高超过上述限值时，应进行专项论证。

1.03 本条提出了钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙建设的基本原则。“安全可靠”是工程建设的首要要求，必须确保挡墙在施工和使用期间的安全；“经济合理”要求在满足安全的前提下，优化设计方案，降低工程造价；“技术先进”鼓励采用新技术、新工艺、新材料，提高工程质量和效率；“生态环保”强调利用工业废弃物，保护生态环境，实现可持续发展。

1.04 本条明确了本规程与其他标准规范的关系。由于本规程涉

及的专业领域较广，包括岩土工程、结构工程、材料工程等，相关技术内容在现行国家标准和行业标准中已有规定。本规程在制定过程中已充分考虑了与相关标准的协调，但对于本规程特有的技术内容，如钼尾矿混凝土砌块的材料要求、干垒施工工艺等，应按本规程执行。当本规程的规定与强制性工程建设规范不一致时，应执行强制性工程建设规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

本规程定义的术语均为本规程特有的或在本规程中有特定含义的术语。其中：

2.1.1 钼尾矿是钼矿选矿过程中产生的固体废弃物，主要矿物成分以石英、长石、云母为主，化学性质稳定，具有一定的火山灰活性。将其作为主要原料用于生产混凝土砌块，可实现大宗固废的资源化利用，减少尾矿库堆存带来的土地占用和环境风险。定义中明确以下核心要素：

1 主要原料：钼尾矿可以是细骨料形式替代天然砂，也可以作为掺合料替代部分胶凝材料。使用前应对钼尾矿的细度模数、含泥量、有害物质含量、放射性及重金属浸出浓度进行检测，确保符合本规程第 3.5.1 条及第 4.1.1 条的要求。

2 配合组成：粉煤灰等工业固体废弃物为原料，经加工磨细后按一定比例配制而成的水硬性胶凝材料。外加剂可根据需要选用减水剂、引气剂等，以改善砌块的工作性能和耐久性。

3 成型与养护：砌块应采用机械加压成型工艺，保证密实度和尺寸精度。养护可采用自然养护或蒸汽养护，应确保砌块达

到设计强度等级。

4 嵌锁结构：砌块应具有凸隼、凹槽或错台等嵌锁构造，使砌块在干垒（无砂浆）状态下依靠相互咬合和摩擦力形成整体。嵌锁结构的设计应符合本规程第 4.1.2 条的规定。

该定义参考了 JC/T 2094 中对于干垒砌块的通用定义，并结合钼尾矿材料的特性进行了针对性补充。

2.1.2 干垒：本条强调了干垒工艺的核心特征——不使用砂浆等胶结材料。干垒结构的整体性主要依靠砌块之间的嵌锁、摩擦以及土工格栅等加筋材料的连接，施工简便，且具有较好的柔性和变形适应能力。

2.1.5 砌块-土工格栅连接强度：本条定义了一个重要的设计参数。在加筋土挡墙中，土工格栅与砌块面板的连接是结构传力的关键环节，连接强度直接影响挡墙的内部稳定性。该参数应由生产厂家提供试验数据或通过现场拉拔试验确定。

2.2 符号

本条列出了本规程使用的符号及其含义。为使符号使用规范、简洁，本规程尽量采用了与现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《建筑抗震设计规范》GB 50011 等相一致的符号。使用者在使用本规程时，可参照本条理解各符号的含义。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 工程地质勘察是挡墙设计的基础，勘察报告应提供场地岩土层的分布、物理力学参数、水文地质条件等关键信息。对于采用钼尾矿混凝土砌块的工程，还应调查钼尾矿的来源、性质和供应条件。

3.1.2 由于钼尾矿混凝土砌块干垒挡墙的受力机理、破坏模式与传统的重力式挡墙或悬臂式挡墙有所不同，需要进行专项设计。专项设计文件应包含结构计算书、施工图、材料技术要求、施工工艺和监测方案等内容。

3.1.3 实行动态设计和信息化施工是确保复杂边坡工程安全的重要手段。在施工过程中，应根据监测数据反馈，及时调整设计参数和施工工艺，实现设计与施工的良性互动。

3.2 挡墙类型与适用条件

3.2.2、3.2.3 重力式干垒挡墙依靠墙身自重抵抗土压力，墙高不宜过大，一般控制在 5m 以内。加筋土式干垒挡墙通过在填土中铺设土工格栅，利用加筋土原理改善土体力学性能，可以适用于较高的墙高。加筋体长度应根据稳定性计算确定，一般不

应小于墙高的 0.7 倍，以保证加筋效果。

3.3 设计使用年限与安全等级

3.3.1 设计使用年限为 50 年是参照现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 中关于永久性边坡工程的规定。对于重要工程或特殊要求的工程，设计使用年限可根据需要提高至 100 年，此时应相应提高材料和结构的耐久性要求。

3.3.2 结构安全等级的划分依据是破坏后果的严重程度。破坏后果很严重（如危及人身安全、造成重大经济损失）的挡墙应划为一级；破坏后果严重（如造成一定经济损失）的挡墙可划为二级。安全等级的划分直接影响到结构重要性系数、安全系数取值和构造措施要求。

3.4 结构变形与耐久性要求

3.4.1 正常使用极限状态下的变形控制是确保挡墙使用功能和相邻建筑安全的关键。墙顶水平位移允许值应根据工程具体情况确定，本条给出了 H/500 的参考限值，当墙后存在重要建筑物或对变形敏感的结构时，应适当提高控制标准。

3.4.2 耐久性要求是保证挡墙在设计使用年限内正常工作的基础。钼尾矿混凝土砌块应满足抗冻、干缩等耐久性指标要求；土工格栅作为有机材料，应采取抗老化措施，其设计强度应考虑蠕变、老化和施工损伤的折减。

3.5 环境保护与资源利用要求

3.5.1 钼尾矿作为工业固体废弃物，其放射性核素限量应符合《建筑材料放射性核素限量》GB 6566 的规定，重金属浸出浓度应符合《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 5085.3 的规定，确保使用过程中不会对环境和人体健康造成危害。

3.5.2 施工过程中的环境保护是绿色施工的重要内容。应采取洒水降尘、设置隔音屏障、分类收集废弃物等措施，减少施工对周边环境的影响。

4 材料要求

4.1 钼尾矿混凝土砌块

4.1.1 原材料要求：钼尾矿作为细骨料或掺合料使用时，其细度模数、含泥量、有害物质含量等指标直接影响砌块的工作性能和耐久性。放射性核素限量和重金属浸出浓度是环境安全的核心指标，必须满足相关标准要求。水泥强度等级不低于 42.5 是为了保证砌块的强度。

4.1.2 砌块规格与型号：为适应不同工程的需求，砌块应设计成多种规格和型号。主块是构成墙体的主要砌块；转角块用于墙体拐角处；连接块用于土工格栅与砌块的连接。砌块的几何尺寸、开孔率、嵌锁结构是保证墙体整体性的关键，应由设计根据受力条件和施工要求确定。

4.1.3 物理力学性能指标：

1 力学性能指标

1 抗压强度：砌块强度等级宜按《生态护坡和干垒挡土墙用混凝土砌块》JC/T 2094 的规定分为 MU25、MU30、MU35、MU40、MU45 五个等级。标准砌块强度等级不应低于 MU25，其抗压强度平均值、最小值及强度标准值应符合 GB/T 4111 的

规定。砌块抗压强度的检验应按《混凝土砌块和砖试验方法》GB/T 4111 执行，以单块抗压强度作为评定依据。

2 块体密度：不小于 2100 kg/m^3 的要求是为了保证砌块具有足够的自重，以满足干垒挡墙的稳定性要求。密度过小的砌块需要增大墙厚或采取其他措施才能满足稳定要求。

3 吸水率：砌块的吸水率以混凝土实体的吸水量表示，干密度Ⅰ级的吸水率应不大于 6%，干密度Ⅱ级的吸水率应不大于 9%。控制吸水率的目的是保证砌块的抗冻性能和耐久性，吸水率过高时，在冻融循环作用下容易发生冻胀破坏。

4.1.4 耐久性要求：

1 抗冻性：有抗冻要求的地区是指年最冷月平均气温低于-3℃的地区。抗冻标号应根据环境条件确定，一般不低于 F50。冻融循环试验后，质量损失率不应大于 5%、强度损失率不应大于 25%是参照现行国家标准的规定。

2 干缩率：干缩率过大会导致砌块在使用过程中发生收缩裂缝，影响墙体整体性和美观。不大于 0.06%的要求是参照混凝土砌块相关标准确定的。

4.15 质量检验与标识：

本条明确了钼尾矿混凝土砌块出厂质量控制、信息追溯和施工现场管理的基本要求，是保证砌块质量可追溯性以及工程实体质量与出厂检验一致性的重要措施。

4.2 其他材料

4.2.1 排水材料：挡墙排水是保证墙后土体稳定、减少水压力的关键。排水管宜采用耐久性好的 PVC-U 或 HDPE 塑料管，管径一般不小于 50mm，开孔率应满足排水要求。排水垫层采用级配良好的碎石或砾石，目的是形成通畅的排水通道，防止堵塞。

4.2.2 反滤材料：反滤材料的作用是防止墙后土体颗粒随渗水流失，同时保证排水通畅。土工织物的等效孔径、渗透系数等指标应根据墙后填土的颗粒级配确定，满足反滤准则。

4.2.3 土工合成材料：

1 土工格栅：土工格栅是加筋土挡墙的核心材料，其拉伸强度、伸长率、蠕变性能直接影响加筋效果。单向土工格栅主要用于承受单向拉力，适用于加筋土挡墙；双向土工格栅可用于承受双向拉力，适用于地基加固等。

2 折减系数：土工格栅作为有机材料，在长期荷载作用下会发生蠕变，在阳光、化学物质作用下会发生老化，在施工过程中可能发生损伤。因此，设计强度必须通过折减系数进行折减。蠕变折减系数应根据蠕变试验确定，无试验资料时可参考产品说明或经验取值。

4.2.4 墙后回填材料：

1 加筋体填料：加筋土挡墙的加筋效果取决于土工格栅与填

土之间的摩擦力。级配良好、内摩擦角大、透水性强的砂类土或砾类土能提供较大的摩擦力，且有利于排水。严禁使用淤泥、耕植土、膨胀土及有机质含量大于 5%的土料，因为这些土料具有高压缩性、低强度或膨胀性，不利于加筋效果和墙体稳定。

2 压实系数：不小于 0.94 的压实系数是参照相关规范对重要填方工程的要求。压实度不足会导致填土沉降、强度降低，影响挡墙的整体稳定。

5 设计计算

5.1 设计原则

5.1.1 设计状态与极限状态：本条将挡墙设计分为承载能力极限状态和正常使用极限状态，这是结构设计的基本理念。承载能力极限状态涉及结构的安全，破坏后果严重；正常使用极限状态涉及结构的使用功能，破坏后果相对较轻。两类极限状态采用不同的荷载组合和安全系数，体现了结构设计的风险控制原则。

5.1.2 设计荷载组合：

1 结构重要性系数：安全等级为一级时取 1.1，二级时取 1.0，这是参照现行国家标准的规定。重要性系数体现了不同安全等级对结构可靠度的差异化要求。

2 荷载分项系数：永久荷载分项系数不利时取 1.3、有利时取 1.0，可变荷载分项系数取 1.5，是参照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。地震作用分项系数按表 5.1.2 采用，体现了地震作用的特殊性。

3 地震组合：地震组合采用重力荷载代表值效应与地震作用效应的组合，这是抗震设计的基本方法。竖向地震作用在 8 度

及以上地区应考虑，是因为竖向地震作用对结构的稳定性有显著影响。

5.2 荷载

5.2.1 永久荷载：

2 挡墙砌体自重：砌块密度不应小于 2100 kg/m^3，这是保证干垒挡墙具有足够自重要求。计算时取标准值，不考虑分项系数。

3 土工格栅加筋力：加筋力是加筋土挡墙特有的荷载，应考虑蠕变、老化和施工损伤的折减，这是保证长期安全的重要措施。

5.2.2 可变荷载：

1 车辆荷载：车辆荷载对挡墙的影响较大，应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定换算为等代均布土层厚度，以简化计算。

2 施工荷载：施工荷载是临时荷载，取值不应小于 5.0kN/m^2，以考虑施工机械、材料堆放等的影响。

5.3 土压力计算

5.3.1 计算理论：

1 库仑理论：库仑理论适用于各种墙背形状和填土面坡度的挡墙，应用范围广，本规程推荐采用。

2 破裂面确定：加筋土挡墙的破裂面不同于重力式挡墙，考

虑到加筋作用的影响，可按“0.3H”法确定，即破裂面通过墙脚和墙顶后 0.3H 处的点。这一简化方法在工程实践中应用广泛，计算结果偏于安全。

3 粘性土处理：粘聚力对土压力有减小作用，但考虑粘聚力影响的精确计算比较复杂，工程上常用等代内摩擦角法简化计算。

5.3.2 主动土压力系数：

公式(5.3.2-1)是库仑土压力理论的通用表达式。使用时应正确确定各参数的符号：墙背俯斜时ϵ为正，仰斜时为负；填土面向上倾斜时β为正，向下倾斜时为负。墙背摩擦角δ应根据墙背粗糙程度和排水条件按表 5.3.2 选取。

5.3.3 静止土压力与被动土压力：

1 静止土压力：当挡墙不允许产生任何位移时，如挡墙紧邻重要建筑物，应按静止土压力计算。静止土压力系数K_0与土的泊松比有关，砂性土和粘性土的计算公式不同。

2 被动土压力：被动土压力仅在墙前被动区土体未被扰动、挡墙有足够位移时才可能完全发挥。考虑到实际工程中被动区土体可能受到扰动，应取安全折减系数。

5.3.4 特殊条件下的土压力：

1 地下水影响：地下水对土压力有双重影响：一是降低土的有效重度，二是产生静水压力。采用水土分算原则，即土压力

按有效重度计算，水压力单独计算，是较为合理的计算方法。

2 多层填土：当墙后填土为不同土层时，各层的土性指标不同，土压力应分层计算。上层土压力作为超载作用于下层，计算时应注意各层土压力的传递和叠加。

5.4 地基基础计算

5.4.1 地基承载力要求：

1 基底压力限值：基底平均压力不应大于地基承载力特征值，这是地基设计的基本要求。地震工况下允许基底最大压力达到 1.5 倍地基承载力特征值，这是考虑了地震作用的偶然性和地基承载力在地震作用下的提高。

2 偏心距限值：偏心距过大容易导致基底压力分布不均，甚至引起基底脱空。非地震工况下要求偏心距不大于 B/6，保证基底不出现拉应力；地震工况下允许偏心距增大至 B/4，同样考虑了地震作用的特殊性。

5.4.2 基础形式与尺寸：

基础的作用是将墙体荷载传递给地基，同时满足抗滑移和抗倾覆要求。钢筋混凝土底板具有整体性好、承载能力高的优点，适用于荷载较大或地基条件较差的工程。基础埋深应满足抗冻、抗冲刷和稳定性要求，一般不小于 0.6m。

5.4.3 地基变形验算：

对于重要工程或地基条件复杂的工程，应进行地基变形验算。

沉降计算公式采用分层总和法，这是工程上常用的方法。挡墙地基变形允许值根据工程经验确定，总沉降量不宜超过 50mm，相邻沉降缝的沉降差不宜超过 0.002 倍缝间距。

5.5 稳定性验算

5.5.1 抗滑移稳定性：

抗滑移稳定性是挡墙设计的重要控制指标。非地震工况下，抗滑移稳定安全系数一级挡墙取 1.3、二级取 1.2；地震工况下，考虑到地震作用的偶然性，允许安全系数适当降低，一级取 1.10、二级取 1.05。基底摩擦系数μ应根据地基土类别按表 5.5.1 选取，有试验资料时应采用试验值。

5.5.2 抗倾覆稳定性：

抗倾覆稳定性是防止挡墙绕墙趾转动的能力。非地震工况下，抗倾覆稳定安全系数一级挡墙取 1.6、二级取 1.5；地震工况下，一级取 1.20、二级取 1.15。土压力作用点的位置对倾覆力矩有重要影响，对于三角形分布的土压力，作用点位于 H/3 处；对于梯形分布或其它分布情况，应按实际计算。

5.5.3 整体稳定性：

对于加筋土挡墙，应验算包括加筋体在内的整体圆弧滑动稳定性。整体稳定性安全系数非地震工况下不小于 1.35（一级）或 1.30（二级），地震工况下不小于 1.20（一级）或 1.15（二级）。圆弧滑动面计算时，土工格栅提供的抗滑力矩按公式

(5.5.3)计算，这是考虑加筋作用的重要方法。

5.6 加筋土挡墙内部稳定性验算

5.6.1 一般规定：

加筋土挡墙内部稳定性验算是确保加筋体系自身稳定的关键。土工格栅拉断、拔出或连接破坏都可能导致加筋失效，必须通过计算确保有足够的安全储备。

5.6.2 土工格栅拉力计算：

土工格栅的设计拉力按主动土压力理论计算，考虑埋深和竖向间距的影响。当墙顶有均布荷载时，按公式(5.6.2-2)计入。土工格栅的长期设计强度应考虑蠕变、老化和施工损伤的折减，折减系数应根据试验或产品资料确定。

5.6.3 土工格栅抗拔出验算：

抗拔出验算是确保土工格栅在稳定区有足够的锚固长度，防止被拔出破坏。锚固长度应满足公式(5.6.3-1)的要求，其中抗拔出安全系数非地震工况取 2.0、地震工况取 1.5。土工格栅总长度不应小于墙高的 0.7 倍，最小锚固长度不应小于 1.5m。

5.6.4 砌块与土工格栅连接强度验算：

连接强度是加筋土挡墙的关键控制指标。连接强度应由试验确定，设计时应满足公式(5.6.4-1)的要求。连接强度的安全系数非地震工况不应小于 2.0，地震工况不应小于 1.5。

5.7 墙身内力验算

5.7.1 砌块抗压强度验算：

干垒砌体为无砂浆砌体，整体抗压能力较弱，通常不进行整体抗压验算。但对于砌块本身，在局部荷载或施工荷载作用下，应进行单块抗压强度校核，实际压应力不应大于抗压强度设计值的 0.8 倍，留有一定安全储备。

5.7.2 局部承压验算：

局部承压验算是确保土工格栅与砌块连接处砌块不被压坏的关键。局部承压应力应不大于砌块局部承压强度设计值。地震工况下，考虑抗震调整系数$\gamma_{RE} = 0.85$和局部承压强度提高系数 1.2。

5.7.3 砌块层间抗剪验算：

层间抗剪能力主要来源于砌块间的摩擦力，应满足$\tau \leq \mu_s \sigma_v$的要求。砌块间摩擦系数μ_s取 0.6~0.8，可根据砌块表面粗糙程度确定。对于墙面坡度较大（如 1:0.25）或地震工况，应进行专门的层间抗滑移验算。

5.7.4 土工格栅抗拉断裂验算：

土工格栅的设计拉力不应超过其长期设计强度，即$T_i \leq T_d$。这是保证土工格栅不因拉力过大而断裂的基本要求。

5.8 地震作用计算与构造措施

5.8.1 一般规定：

抗震设防烈度为 6 度及以上的地区均应进行抗震验算。抗震

设防类别按《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 划分，甲类、乙类、丙类、丁类挡墙的抗震措施要求不同。抗震验算应采用地震组合，并考虑抗震调整系数。

5.8.2 地震作用计算：

采用拟静力法计算地震作用是工程上常用的简化方法。水平地震影响系数最大值α_{max}按表 5.8.2 采用，竖向地震影响系数最大值取 0.65 倍的水平值。地震作用与重力荷载、土压力等组合时，按公式(5.1.2-3)计算。

5.8.3 地震主动土压力计算：

地震作用下，墙后填土的主动土压力应考虑地震角的影响。地震角θ按表 5.8.3 取值，水下地震角大于水上地震角，反映了水对地震波传播的影响。考虑地震角后的主动土压力系数按公式(5.8.3-1)计算，或采用简化方法计算。

5.8.4 抗震构造措施：

抗震构造措施是保证挡墙在地震作用下具有足够延性和整体性的重要手段。

1 整体性构造：砌块间的嵌锁和连接是保证墙体整体性的关键，应通过凸隼和凹槽实现可靠连接。

2 土工格栅加长：墙顶以下 1/3 墙高范围内的土工格栅应适当加长，该区域是地震作用影响较大的区域，加长锚固长度有利于提高抗震性能。

3 墙顶压顶：压顶是约束墙顶砌块、传递水平力的重要构件，应嵌入墙体并与砌块可靠连接。

4 圈梁设置：墙高大于 8m 时，每隔 3m~4m 设置一道钢筋混凝土圈梁，有利于提高墙体的整体性和抗侧向变形的能力。

5 构造柱设置：拐角处、端部是应力集中部位，设置构造柱可以增强这些部位的抗震能力。

6 伸缩缝与抗震缝：抗震设防地区，伸缩缝兼作抗震缝，间距不应大于 15m，缝宽不应小于 30mm。

7 基础构造：抗震设防地区的基础埋深应适当加大，不小于 1.0m，且应置于地基持力层和冻结线以下。

6 施工

6.1 施工准备

6.1.1 技术准备：施工前的技术准备是保证施工质量的基础。施工组织设计和专项施工方案应经审查批准，技术交底应确保作业人员理解设计意图和施工工艺要求。

6.1.2 现场准备：场地平整和临时排水是保证施工顺利进行的前提。测量放样应准确无误，轴线和高程应复核无误。

6.1.3 材料准备：材料检验是保证工程质量的重要环节。砌块应按规格、强度等级分批进场，经检验合格后方可使用。土工格栅应妥善存放，避免阳光暴晒和油污污染，防止老化。

6.2 地基与基础施工

验槽是地基施工的关键工序，应检查地基土质、承载力是否满足设计要求。如有扰动或不符合要求，应及时处理。基础混凝土或浆砌石的施工应严格控制配合比、振捣和养护，保证基础强度和平整度。

6.3 砌块干垒施工

6.3.1 一般规定：

1 错缝干垒：错缝是保证砌体整体性的基本要求，通缝会降

低墙体的抗剪能力。

2 接触面清理：下层砌块顶面的杂物会影响砌块的密贴程度，应清理干净。

3 嵌锁结构：凸隼和凹槽是砌块之间的嵌锁构件，应确保嵌锁可靠。

6.3.2 砌筑工艺与质量控制：本条规定了砌块干垒施工的质量控制标准。干垒砌体为无砂浆砌体，其施工质量偏差的控制标准参照《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203 中对混凝土小型空心砌块砌体的尺寸偏差要求，结合干垒挡土墙无砂浆的施工特点制定。轴线位置允许偏差±10mm 与 GB 50203-2011 表 9.3.1 规定一致；表面平整度 8mm 与混水墙平整度要求一致；垂直度每层 5mm 与规范要求一致；全高垂直度按 H/500 且不大于 30mm 控制。相邻块高差不大于 3mm 参照《生态护坡和干垒挡土墙用混凝土砌块》JC/T 2094 第 6.2.1 条关于砌块外形尺寸允许偏差的规定。

6.3.3 排水系统施工：

排水层应与砌块铺设同步进行，保证排水通畅。泄水孔应按设计间距和坡度埋设，管口应伸出墙面，并设置反滤层，防止土颗粒流失。

6.3.4 墙后回填施工：

墙后回填应与砌块干垒同步进行，对加筋土挡墙，每铺设一

层土工格栅后应立即进行回填土施工，防止格栅位移。回填土应分层摊铺、分层压实，压实度应满足设计要求。碾压机械距离墙面不应小于 1.0m，避免对墙面造成冲击和扰动。本款规定了墙后回填土压实度的检测要求。压实度检测按每层每 500 ㎡不少于 3 点进行，是基于《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 第 9.5.4 条的规定。该标准规定采用环刀法取样时，基坑和室内回填每层按 100 ㎡～500 ㎡取样 1 组，且每层不少于 1 组-25。考虑到挡墙回填质量的重要性，本规程将取样密度适当提高。

6.4 特殊部位与节点处理

特殊部位如拐角处、端部是受力复杂区域，应使用专用转角块或进行加强处理。墙顶压顶或防护栏杆是保证使用安全的重要构造。

6.5 施工安全与环境保护

本条规定了边坡施工的安全管理要求。根据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 第 18.1 条的规定，应根据安全等级、边坡环境、工程地质和水文地质、支护结构类型和变形控制要求等条件编制施工方案，采取合理、可行、有效的措施保证施工安全。

7 验收

7.1 一般规定

挡墙工程验收应按分项工程、分部工程和单位工程进行，验收资料应完整、真实。原材料合格证、检验报告、施工记录、隐蔽工程验收记录、监测报告等都是重要的验收依据。

7.2 分部分项工程验收

7.2.1 地基与基础工程：地基承载力是基础工程的核心指标，必须符合设计要求。基础混凝土强度、几何尺寸、轴线位置等应满足规范要求。

7.2.2 砌体工程：砌块强度等级必须符合设计要求。墙体轴线位置、顶面标高、垂直度、平整度等允许偏差应满足设计要求。

7.2.3 排水工程：排水系统应畅通、无堵塞，这是保证挡墙长期稳定的重要条件。

7.2.4 回填工程：填料质量必须符合设计要求，压实度是控制回填质量的关键指标。

7.3 竣工验收

竣工验收前应完成所有分部工程验收，且质量合格。挡墙整体外形、线形应顺直，砌块无明显破损、错台。竣工验收合格

后，应形成完整的竣工验收报告，并移交相关工程档案。

8 检测与监测

8.1 材料与构件性能检测

材料性能检测是保证工程质量的基础。钼尾矿混凝土砌块应按批次进行抗压强度、密度、吸水率检测；土工格栅应按批次进行拉伸强度、延伸率检测，必要时应进行蠕变试验；回填土料应进行击实试验、颗粒分析、内摩擦角等物理力学性能检测。

8.2 施工过程质量检测

施工过程质量检测是动态控制质量的重要手段。地基承载力检测、回填土分层压实度检测、砌块与土工格栅连接强度现场抽检等，应按相关规范要求进行。

8.3 运营期安全监测

8.3.1 监测项目与测点布置：监测项目应全面反映挡墙的工作状态，包括墙顶水平位移、墙顶竖向沉降、墙后土体深层水平位移、地下水位变化、土工格栅应变等。测点应布置在关键部位，如墙高较大、地质条件复杂、有代表性及关键断面处。

8.3.2 监测频率与预警值：施工期监测频率应较高，每天或每施工一层监测不少于 1 次；遇暴雨、地震等特殊情况应加密监测。运营期监测频率可适当降低，竣工后第一年内每季度监测 1 次，

之后每年监测 1 次。预警值是判断挡墙是否处于安全状态的重要依据，墙顶水平位移累计值不宜大于 H/500，且不应大于 30mm；变化速率不应大于 3mm/d。

8.3.3 监测数据处理与报告：监测数据应及时整理分析，绘制位移-时间曲线。当监测数据达到预警值或发现异常突变时，应立即报警，并采取应急处理措施，确保工程安全。