



T/CECS G XXXX: 2026

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路悬索桥隧洞式锚碇设计标准

(征求意见稿)

Design Standards for Tunnel Anchorage of Highway Suspension
Bridges

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设协会标准

公路悬索桥隧洞式锚碇设计标准

Design Standards for Tunnel Anchorage of Highway Suspension
Bridges

T/CECS G: xx-xx-2026

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2026年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2020 年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2020]69 号）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路悬索桥隧洞式锚碇设计标准》（以下简称“本标准”）的制订工作。

编写组在总结公路悬索桥隧洞式锚碇技术相关科研成果和工程应用经验的基础上，以完善和提升公路悬索桥隧洞式锚碇设计技术为核心，以推广应用该绿色建筑技术为目的，完成了本标准的编写工作。

本标准分为 8 章，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、围岩分类与工程特性、设计、计算、结构构造、施工和运营监测要求及相关附录。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或彭元诚（地址：湖北省武汉市经济技术开发区创业路 18 号，邮编 430056；传真：027-84214330，电子邮箱：1059812508@qq.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：中国矿业大学

长江水利委员会长江科学院

中交公路规划设计院有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

湖北省交通规划设计院股份有限公司

主 编：彭元诚

参 编 人 员：

主 审：梁智涛

参与审查人员：

参 加 人 员：

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	11
4 围岩分类与工程特性	15
4.1 围岩分类	15
4.2 工程特性指标	18
5 设计	22
5.1 结构材料	22
5.2 防排水材料	24
5.3 总体设计	25
5.4 防排水设计	27
5.5 耐久性设计	30
6 计算	31
6.1 一般规定	31
6.2 抗拔承载力验算	32
6.3 围岩稳定性验算	35
6.4 位移计算	36
6.5 支护结构计算	36
6.6 洞门计算	43
7 结构构造	44
7.1 洞口与洞门	44

7.2 锚室	45
7.3 锚塞体	46
7.4 系统锚杆	47
7.5 锚固系统	50
7.6 附属设施	53
8 施工和运营监测要求	54
附录 A 围岩完整性系数 K_v 和基本质量指标 BQ 获取的规定	56
附录 B 岩体地质力学分类方法 (RMR) 的有关规定	59
附录 C 混凝土与钢筋参数的有关规定	61
本标准用词用语说明	65

1 总则

1.0.1 为指导和规范公路悬索桥隧洞式锚碇设计，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各等级公路上新建或改建悬索桥隧洞式锚碇的设计。

1.0.3 悬索桥隧洞式锚碇的设计应遵循安全耐久、绿色环保、经济适用的原则，积极稳妥采用新材料、新设备、新工艺、新技术。

1.0.4 悬索桥隧洞式锚碇场区应进行工程地质勘察，提供的勘察资料应能正确反映地形、地貌、地层结构、影响锚碇稳定的不良地质、岩土的物理力学性质及地下水埋藏等详细情况。

1.0.5 锚碇结构应根据相关规范的要求进行耐久性设计。

1.0.6 本标准按照现行《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T50283)规定的设计原则编制。主要符号和术语参照现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)、《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015)、《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018)采用。

1.0.7 公路悬索桥隧洞式锚碇的设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 隧洞式锚碇 tunnel anchorage

在山体中开挖隧洞，浇筑锚塞体，通过锚塞体与其周围岩体的相互作用，共同承担悬索桥主缆拉力并锚固主缆的结构。

2.1.2 围岩 surrounding rock

隧洞式锚碇在主缆拉力作用下对周围岩体产生效应的区域。

2.1.3 锚塞体 anchor stopper

锚固主缆索股，承受主缆拉力，嵌固于岩体中的混凝土塞形结构，为隧洞式锚碇的主要受力构件。

2.1.4 系统锚杆 systematic bolt

开挖的初期支护，加强锚体、岩体间的连接，提高锚洞周围开挖扰动带的强度，同时利用锚杆孔完成对锚体围岩灌浆的构件。

2.1.5 鞍室 saddle room

用于容纳主缆的散索鞍，并有足够的长度便于主缆散开锚固的空间。

2.1.6 后锚室 post-anchorage chamber

进行锚碇锚固系统防护、维护的空间。

2.1.7 散鞍基础 foundation of splay saddle

将主缆作用于散鞍的压力传递到地基的结构。

2.1.8 附属设施 ancillary facility

用于隧洞式锚碇的监测、维护和确保隧洞式锚碇结构的安全性的设施。

2.1.9 围岩分级 surrounding rock classification

根据岩体完整程度和岩石强度等指标，对隧洞式锚碇的围岩进行的分级。

2.1.10 岩体基本质量指标 rock basic quality index

以围岩的岩石坚硬程度及完整程度为基本参数确定的岩体质量指标。

2.1.11 岩体修正质量指标 rock modified quality index

根据地下水、主要软弱结构面及初始应力状态等因素，对岩体基本质量指标进行修正后的岩体质量指标。

2.1.12 主缆入射角 incident angle of the main cable

主缆进入散索鞍时，其中心线的切线方向与散索鞍入口处基准面（通常为垂直面或鞍槽切面）的法线方向之间的夹角。

2.1.13 主缆折射角 refraction angle of main cable

主缆离开散索鞍、开始向锚固面扩散时，其中心线的切线方向与同一基准面法线方向之间的夹角。

2.1.14 锚塞体轴线 anchorage axis

锚塞体前后锚面重心的连线。

2.1.15 锚塞体倾斜角 inclination angle of anchor stopper

锚塞体轴线与水平面之间的夹角。

2.1.16 锚塞体扩展角 expansion angle of anchor stopper

锚塞体前后锚面面积按圆形等代的圆台的侧面与锚塞体轴线之间的夹角。

2.1.17 主缆索（丝）股竖向扩散角 vertical spread angle of the main cable strands

在平行于桥梁中心线的竖直平面（即纵断面）上观察，散索鞍（或散索点）到锚固面之间，最上方索股中心线与最下方索股中心线（或索股束的外缘线）所形成的张开角度。

2.1.18 主缆索（丝）股横向扩散角 Horizontal Spread Angle of the Main Cable Strands

在垂直于桥梁中心线的水平面（即横断面）上观察，散索鞍（或散索点）到锚固面之间，最左侧索股中心线与最右侧索股中心线（或索股束的外缘线）所形成的张开角度。

2.1.19 围岩压力 surrounding rock pressure

因围岩自重和构造应力等产生的作用于隧洞式锚碇结构上的压力。

2.1.20 复合式衬砌 composite lining

由喷锚衬砌、防水层和模注混凝土衬砌构成的复合衬砌结构。

2.1.21 喷锚支护 shotcrete and rockbolts supporting

隧洞开挖后用喷射混凝土、锚杆、钢筋网或钢拱架支护，不设二次衬砌的隧洞支护形式。

2.2 符号

2.2.1 隧洞围岩分类

R_c —— 岩石单轴饱和抗压强度；

$I_{s(50)}$ —— 岩石点荷载强度指数；

K_v —— 岩体完整性系数；

V_{pm} —— 岩体的弹性纵波速度；

V_{pr} —— 岩块的弹性纵波速度；

J_v —— 岩体体积节理；

S —— 围岩级别；

BQ —— 岩体基本质量指标；

[BQ] —— 基本质量指标修正值；

K_1 —— 反映地下水影响的修正系数；

K_2 —— 反映主要结构面产状影响的修正系数；

K_3 —— 反映初始应力状态影响的修正系数；

RMR —— 岩体质量总评分值；

ROD —— 岩石质量指标。

2.2.2 工程特性指标

-
- E —— 岩体变形模量;
- γ —— 围岩重度;
- μ —— 岩体泊松比;
- φ —— 岩体抗剪断内摩擦角;
- c —— 岩体抗剪断黏聚力;
- φ_0 —— 岩体结构面抗剪断摩擦角;
- c_0 —— 岩体结构面抗剪断黏聚力;
- φ' —— 混凝土与岩体接触面抗剪断摩擦角;
- c' —— 混凝土与岩体接触面抗剪断黏聚力。

2.2.3 总体设计参数

- β —— 锚塞体扩展角;
- L —— 锚塞体长度;
- α —— 锚塞体倾斜角;
- θ_E —— 主缆折射角;
- θ_I —— 主缆入射角;
- ϕ_V —— 主缆索(丝)股竖向扩散角;
- ϕ_H —— 主缆索(丝)股横向扩散角;
- $\theta_{\min}$ —— 主缆上层索股在散索鞍槽中的最小转折角度。

2.2.4 材料参数

- A_0 —— 杆体断后伸长率;
- f_{ck} 、 f_{cd} —— 混凝土轴心抗压强度标准值、设计值;

f_{cmk} 、 f_{cmd} ——混凝土弯曲抗压强度标准值、设计值；

f_{ctk} 、 f_{ctd} ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

E_c ——混凝土弹性模量；

f_y ——钢筋抗拉强度设计值；

f'_y ——钢筋抗压强度设计值；

f_{yk} ——钢筋屈服强度标准值；

f_{stk} ——钢筋极限强度标准值；

R_g ——钢筋抗拉或抗压强度标准值；

f_d ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{vd} ——钢材抗剪强度设计值；

f_{cd} ——端面承压（刨平顶紧）强度设计值；

E_s ——钢筋弹性模量；

A_s ——最大力下的总伸长率。

2.2.5 围岩抗拔承载力及稳定性验算

S_{fd} ——作用频遇组合的效应设计值；

S_{ad} ——作用偶然组合的效应设计值；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

ψ_{f1} ——汽车荷载（计入冲击系数）的频遇值系数；

ψ_{q1} ——汽车荷载（计入冲击系数）的准永久值系数；

ψ_{qj} ——除汽车荷载外的第 j 个可变作用的准永久值系数；

A'_d ——偶然作用的设计值；

- Q_{jk} —— 第 j 个可变作用的标准值;
- P_{fd} —— 按作用频遇组合计算的围岩抗拔承载力效应设计值;
- P_{ad} —— 按作用偶然组合计算的围岩抗拔承载力效应设计值;
- R_T —— 围岩抗拔极限承载力特征值;
- γ_{fd} —— 按作用频遇组合计算的围岩抗拔承载力抗力系数;
- γ_{ad} —— 按作用偶然组合计算的围岩抗拔承载力抗力系数;
- K_T —— 围岩抗拔安全系数;
- T_{fd} —— 按作用频遇组合计算的沿锚塞体轴向方向的主缆拉力;
- T_{ad} —— 按作用偶然组合计算的沿锚塞体轴向方向的主缆拉力;
- W —— 锚塞体自重;
- R_T —— 隧洞式锚碇抗拔承载力特征值;
- A —— 锚塞体-围岩接触面有效面积;
- k_A —— 锚塞体-围岩接触面有效系数;
- r_1 、 r_2 —— 锚塞体前、后锚面等效半径;
- σ_0 —— 围岩初始地应力;
- h_0 —— 锚塞体中点的有效覆盖深度;
- γ_0 —— 结构重要性系数;
- S_{bk} —— 使基础结构稳定的作用标准值组合效应;
- S_{sk} —— 基础结构失稳的作用标准值的组合效应;
- K —— 围岩稳定安全系数。

2.2.6 开挖稳定验算

- q —— 竖向均布围岩压力;
- h —— 荷载等效高度;
- ω —— 宽度影响系数;
- B_t —— 隧道最大开挖跨度;
- i —— B_t 每增减 1 m 时的围岩压力增减率;
- e —— 水平均布围岩压力;
- λ —— 侧压力系数;
- φ_c —— 围岩计算摩擦角;
- e_g —— 拱顶水平压力;
- e_d —— 边墙底部水平压力;
- H_t —— 隧道开挖高度;
- δ —— 结构变形量;
- Q —— 支护结构自重荷载;
- H —— 构件计算截面的设计厚度;
- B —— 构件计算截面的设计宽度;
- γ —— 支护结构材料重度的标准值。

2.2.7 支护结构强度校核

- N 、 M —— 单位长度内验算截面的轴力及弯矩;
- A_h 、 A_g —— 喷射混凝土及钢拱架计算截面的面积;
- E_h 、 E_g —— 喷射混凝土及钢拱架的弹性模量;
- N_h 、 N_g —— 喷射混凝土及钢拱架承担的轴力;

-
- M_h 、 M_g —— 喷射混凝土及钢拱架承担的弯矩；
- K_{hy} 、 K_{gy} —— 喷射混凝土、钢拱架的抗压强度综合安全系数；
- R_{hy} 、 R_{gy} —— 喷射混凝土、拱架钢材抗压极限强度；
- α —— 偏心影响系数；
- W_g —— 钢拱架验算截面抗弯刚度；
- e_0 —— 计算截面的偏心距；
- K_{ghy} —— 钢筋混凝土抗压强度综合安全系数；
- N_z —— 计算截面的纵向力；
- R_a —— 混凝土抗压标准强度；
- b —— 计算截面的宽度；
- x —— 混凝土受压区高度；
- e 、 e' —— 纵向力作用点至受拉、受压钢筋合力点之间的距离；
- h_0 —— 计算截面的有效高度；
- h''_0 —— 受压钢筋合力点至靠近受拉钢筋的截面边缘之间的距离；
- R'_g —— 纵向受压钢筋抗压设计强度；
- σ_g —— 小偏心受压构件中受拉（或受压较小边）钢筋的应力；
- A_g 、 A'_g —— 受拉、受压钢筋截面面积；
- a_g 、 a'_g —— 受拉、受压钢筋合力点至受拉、受压边缘的距离。

3 基本规定

3.0.1 应根据公路悬索桥隧洞式锚碇不同设计阶段的任务、目的和要求，确定搜集调查资料的内容和范围，进行收集、调查、测绘、勘探和试验。调查资料应齐全、准确，满足隧洞式锚碇设计要求。

3.0.2 隧洞式锚碇所在区域的工程勘察应探明以下内容：

- 1 锚塞体及相关地下洞室所处的地形及空间特征。
- 2 临近隧道、桥梁、排水构造物、采空区、基坑等人工扰动岩土体分布。
- 3 锚碇影响范围内岩体的断层、节理、软弱结构面的特征及其与锚碇围岩的组合关系，围岩的基本物理力学性质。
- 4 岩石的坚硬程度、风化程度、完整程度以及锚碇影响范围内的围岩基本质量分级。
- 5 地下水类型及地下水位、含水层的分布范围及其相应的渗透系数、水量和补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性，有无异常涌水、突水。
- 6 抗震设防地震动参数。

3.0.3 必要时应进行岩体裂隙网络专项勘察，勘察内容应包括但不限于：主要裂隙组的产状（走向、倾角）、间距（密度）、迹长、张开度、充填情况、粗糙度等几何特征，并应评价裂隙的连通率与渗透性。应符合下列规定：

- 1 对控制性的大尺度裂隙（如断层、长大裂隙），应查明其空间分布，在锚碇定位和轴线选择时应予以规避或制定专项处治方案。
- 2 对中等规模、呈一定规律分布的裂隙组，在确定岩体综合力学参数时，应

考虑其弱化效应,引入经工程地质类比和反分析验证的岩体弱化系数对完整岩石强度参数进行折减。

3 对中小尺度的随机分布裂隙,可采用代表性单元体积 (REV) 理论,通过现场试验与数值模拟相结合的方法,确定能够表征裂隙岩体宏观力学特性的等效连续介质模型及参数。

3.0.4 公路悬索桥隧洞式锚碇的选址应满足下列规定:

1 锚址区不应有滑坡、崩塌、倾倒体及层间滑动等区域性地质灾害存在,不应有深大断裂带通过。

2 锚塞体围岩应为岩质围岩,应具有较好的整体性,围岩基本质量级别不宜低于 III 级。

3 锚塞体及其相互作用的围岩体不应受反复冻融的影响。

条文说明

2 锚塞体围岩需具备足够的承载能力和稳定性,才能确保锚碇系统的长期安全。III 级围岩虽为中等质量岩体,但经工程加固后仍可满足锚塞体受力要求;若围岩级别低于 III 级,则岩体破碎、强度低、自稳能力差,可能引发锚塞体滑移或变形过大。当围岩条件不满足要求时,应采取加强措施,如围岩注浆加固、系统锚杆支护等,并通过现场模型试验与数值模拟验证可行性。

3.0.5 公路悬索桥隧洞式锚碇设计应充分考虑施工和环境保护的要求。

3.0.6 公路悬索桥隧洞式锚碇的设计使用年限应不少于主体桥梁设计年限,设计基准期应根据现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)及《公路工程技术标准》(JTG B01)的相关规定确定。

3.0.7 锚塞体的埋置深度应充分考虑锚碇施工期和运营期地质、水文、气候及人类活动等不利因素的影响，锚塞体有效埋置深度应满足：Ⅰ、Ⅱ级围岩不小于1.5倍锚塞体后锚面等效直径；Ⅲ级围岩不小于2.5倍后锚面等效直径；Ⅳ级及以下围岩不小于4倍后锚面等效直径；同时覆盖层不得存在贯通性渗水通道、软弱滑动层。

3.0.8 围岩基本质量级别低于Ⅲ级（Ⅳ、Ⅴ级）的公路悬索桥隧洞式锚碇设计宜开展现场模型试验获得锚塞体与围岩的变形特征和承载能力。现场模型试验的选址应具有与实际桥梁锚碇相似的地形、地质、水文等条件及相同的围岩基本质量等级，现场模型试验应参照现行《悬索桥隧洞式锚碇现场模型试验技术规程》（T/CSRME 020-2022）的规定执行。

3.0.9 现场模型试验的几何比例宜不小于1:8~1:12。试验模型的边界范围应能反映实桥锚碇围岩的代表性单元体尺度，并应符合下列规定：

- 1 开挖深度应能使模型锚塞体与实桥隧洞式锚碇上覆岩体厚度满足几何相似；
- 2 锚洞轴线两侧边界至轴线的平面距离，不宜小于6倍后锚面等效直径；
- 3 锚洞后方边界至后锚面的平面距离，不宜小于3倍后锚面等效直径。

条文说明

现场模型试验的模型比例要能反映实际场地的尺度和几何特征，以确保地质和结构的相似性，兼顾模型制作、试验设备和加载能力，因此模型比例宜采用1:8~1:12。规定的模型边界尺寸是为了确保试验模型具有足够的代表性单元体尺度，其目的是最大限度地减小边界约束效应，使模型中部围岩的应力分布和破坏模式能够真实模拟半无限岩体中的实际情况，从而保证试验结果的工程参考价值。

3.0.10 现场模型试验的模型锚塞体拉拔承载力极限值与按相似比例换算的作用标准值组合效应的比值，完整及较完整岩体不应低于 6.0，较破碎及破碎岩体不应低于 8.0。

条文说明

本条旨在确保隧洞式锚碇锚塞体具有足够的安全储备。现场模型试验是验证其实际抗拔承载力的关键环节。规定完整岩体比值不低于 6.0、破碎岩体不低于 8.0，主要基于岩体质量的差异：完整岩体自身强度高、承载机制明确，而破碎岩体结构松散、性能离散大，需要更高的安全系数来补偿地质不确定性和长期荷载下的潜在风险。该要求是通过工程类比和可靠度分析确定的强制性标准，以保证这一永久性关键结构的安全可靠。

4 围岩分类与工程特性

4.1 围岩分类

4.1.1 围岩坚硬程度的定性划分和定量划分可分别按表 4.1.1-1 和表 4.1.1-2 的规定确定。

表 4.1.1-1 围岩坚硬程度的定性划分

坚硬程度		定性鉴定	代表性岩石
硬 质 岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应	未风化~微风化的：花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、硅质岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较坚硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应	1 中等（弱）风化的坚硬岩； 2 未风化~微风化的：熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质砂岩、粗晶大理岩等
软 质 岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，轻易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	1 强风化的坚硬岩； 2 中等（弱）风化的较坚硬岩； 3 未风化~微风化的：凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、砂质页岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开	1 强风化的坚硬岩； 2 中等（弱）风化~强风化的较坚硬岩； 3 中等（弱）风化的较软岩； 4 未风化的泥岩、泥质页岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等
	极软岩	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	1 全风化的各种岩石； 2 强风化的软岩； 3 各种半成岩

表 4.1.1-2 围岩坚硬程度的定量划分

岩石单轴饱和抗压强度 R_c (MPa)	> 60	$60 \sim 30$	$30 \sim 15$	$15 \sim 5$	≤ 5
坚硬程度	硬质岩		软质岩		
	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩

4.1.2 围岩风化程度的定性划分可按表 4.1.2 的规定确定。

表 4.1.2 围岩风化程度分类

风化程度	野外特征	风化程度系数指标	
		波速比	风化系数
未风化	岩质新鲜，偶见风化痕迹	$0.9 \sim 1.0$	$0.9 \sim 1.0$
微风化	结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙	$0.8 \sim 0.9$	$0.8 \sim 0.9$
中风化	结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩心钻方可钻进	$0.6 \sim 0.8$	$0.4 \sim 0.8$
强风化	结构大部分破坏，矿物成分显著变化，风化裂痕很发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻井	$0.4 \sim 0.6$	< 0.4
全风化	结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻井	$0.2 \sim 0.4$	—

注：1 波速比为风化岩石与新鲜岩石纵波速度之比。

2 风化系数为风化岩石与新鲜岩石单轴抗压强度之比。

3 岩石风化程度除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分。

4.1.3 围岩完整程度的定性划分和定量划分可分别按表4.1.3-1和4.1.3-2的规定确定。

表 4.1.3-1 围岩完整程度的定性划分

完整程度	结构面				结构类型
	组数	平均间距 (m)	结合程度	类型	
完整	1 ~ 2	> 1.0	好或一般	节理、裂隙、	整体状或巨厚层状结构

				层面	
较完整	1~2	> 1.0	差	节理、裂隙、	块状或厚层状结构
	2~3	1.0~0.4	好或一般	层面	块状结构
较破碎	2~3	1.0~0.4	差	节理、裂隙、 劈理、层面、 小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.4~0.2	好		镶嵌碎裂结构
			一般		薄层状结构
破碎	≥3	0.4~0.2	差	各种类型结 构面	裂隙块状结构
		≤0.2	一般或差		碎裂结构
极破碎	无序		很差	—	散体状结构

注：平均间距指主要结构面间距的平均值。

表 4.1.3-2 围岩完整程度的定量划分

完整性系数 K_v	> 0.75	0.75 ~ 0.55	0.55 ~ 0.35	0.35 ~ 0.15	≤ 0.15
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

注：完整性系数 K_v 可根据本标准附录 A.0.1 确定。

4.1.4 围岩完整程度定性划分时，其结构面结合程度可按表 4.1.4 的规定确定。

表 4.1.4 结构面结合程度的划分

结合程度	结构面特征
结合好	张开度小于 1 mm，为硅质、铁质或钙质胶结，或结构面粗糙，无填充物； 张开度 1 mm ~ 3 mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于 3 mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度小于 1 mm，结构面平直，钙泥质胶结或无填充物； 张开度 1 mm ~ 3 mm，为钙质胶结； 张开度大于 3 mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结合差	张开度 1 mm ~ 3 mm，结构面平直，为泥质胶结或钙泥质胶结； 张开度大于 3 mm，多为泥质或岩屑充填
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差

4.1.5 隧道锚围岩分级以 BQ 修正分级为主控依据，RMR 分类作为校核参考；

两种方法分级结果相差一级及以上时，必须开展原位剪切、声波试验重新复核岩体力学参数。基本质量分级标准可按表 4.1.5 的规定确定。

表 4.1.5 围岩基本质量分级标准

围岩基本质量级别	围岩基本质量的定性特征	岩体基本质量指标 (BQ)	岩体地质力学分类方法总评分 (RMR)
I	坚硬岩，岩体完整	> 550	100 ~ 81
II	坚硬岩，岩体较完整； 较坚硬岩，岩体完整	550 ~ 451	80 ~ 61
III	坚硬岩，岩体较破碎； 较坚硬岩或较坚硬岩互层，岩体较完整； 较软岩，岩体完整	450 ~ 351	60 ~ 41
IV	坚硬岩，岩体破碎； 较坚硬岩，岩体较破碎~破碎； 较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整； 软岩，岩体完整~较完整	350 ~ 251	40 ~ 21
V	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体破碎~较破碎； 全部极软岩及全部极破碎岩	< 250	< 20

注：岩体基本质量指标BQ可根据本标准附录A.0.2确定，岩体地质力学分类方法总评分RMR可根据本标准附录B确定。

4.2 工程特性指标

4.2.1 围岩的工程特性采用重度、含水率、吸水率、波速、抗压强度、抗拉强度、抗剪（断）强度、（内）摩擦角、粘聚力、弹性模量、变形模量、泊松比等物理力学指标进行描述。

4.2.2 围岩的工程特性指标代表值可采用标准值、平均值或特征值。强度指标应

取标准值，变形指标应取平均值。

4.2.3 围岩的工程特性指标宜通过室内和现场试验确定，可通过地质勘探、原位测试、类似工程对比分析以及经验公式或理论公式计算等方法确定，试验方法应符合《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266 - 2013) 的规定。

4.2.4 当无实测数据时，各级围岩的主要工程特性指标可按表 4.2.5 的规定确定。

表 4.2.4 各级围岩主要工程特性指标经验值

围岩级别	重度 γ (kN/m ³)	变形模量 E (GPa)	泊松比 μ	抗剪断峰值强度	
				内摩擦角 φ (°)	黏聚力 c (MPa)
I	> 26.5	> 33	< 0.20	> 60	> 2.1
II		33 ~ 16	0.20 ~ 0.25	60 ~ 50	2.1 ~ 1.5
III	26.5 ~ 24.5	16 ~ 6	0.25 ~ 0.30	50 ~ 39	1.5 ~ 0.7
IV	24.5 ~ 22.5	6 ~ 1.3	0.30 ~ 0.35	39 ~ 27	0.7 ~ 0.2
V	< 22.5	< 1.3	> 0.35	< 27	< 0.2

条文说明

本条规定的各级围岩主要工程特性指标，依据国家标准《工程岩体分级标准》(GB/T 50218) 推荐的经验值确定。该标准通过综合岩体坚硬程度和完整程度对围岩进行分级，并基于大量实测数据与统计分析，给出了各级围岩物理力学参数的经验取值范围。在隧洞式锚碇设计中采用该表时，应认识到其提供的为宏观经验指标，设计人员需结合工程场地的具体岩性、结构面发育状况、水文地质条件以及实测资料进行综合分析判断。对于地质条件复杂或对工程安全具有控制性影响的关键部位，宜通过现场或室内试验进一步测定相关参数，以确保设计参数的合理性与工程的安全性。

4.2.5 当无实测数据时，岩体结构面、混凝土与围岩接触面的抗剪断峰值强度经验值可分别按表 4.2.5-1 和表 4.2.5-2 的规定确定。

表 4.2.5-1 岩体结构面抗剪断峰值强度经验值

序号	围岩级别、两侧岩体的坚硬程度及结构面的结合程度	摩擦角 φ_0 (°)	黏聚力 c_0 (MPa)
1	I~III级, 坚硬岩, 结合好	> 37	> 0.22
2	I~IV级, 坚硬 ~ 较坚硬岩, 结合一般; III~IV级, 较软岩, 结合好	37 ~ 29	0.22 ~ 0.12
3	II~IV级, 坚硬 ~ 较坚硬岩, 结合差; III~V级, 较软岩 ~ 软岩, 结合一般	29 ~ 19	0.12 ~ 0.08
4	III~V级, 较坚硬 ~ 较软岩, 结合差 ~ 结合很差; IV~V级, 软岩, 结合差; V级, 软质岩的泥化面	19 ~ 13	0.08 ~ 0.05
5	V级, 较坚硬岩及全部软质岩, 结合很差; V级, 软质岩泥化层本身	< 13	< 0.05

表 4.2.5-2 混凝土与岩体接触面抗剪断峰值强度经验值

岩体级别	抗剪断峰值强度	
	摩擦角 φ' (°)	黏聚力 c' (MPa)
I	56.3 ~ 52.4	1.5 ~ 1.3
II	52.4 ~ 47.7	1.3 ~ 1.1
III	47.7 ~ 42.0	1.1 ~ 0.7
IV	42.0 ~ 35.0	0.7 ~ 0.3
V	35.0 ~ 21.8	0.30 ~ 0.05

注: 表中参数限于硬质岩, 软质岩应根据软化系数进行折减

条文说明

本条的表 4.2.5-1 所采用的岩体结构面抗剪断峰值强度经验值主要依据国家标准《工程岩体分级标准》(GB/T 50218) 中的相关数据确定。该标准综合考虑了结构面粗糙度、充填特征、岩体基本质量等因素, 通过大量工程实践数据统计得出经验取值范围。设计中需结合隧道锚碇所处工程地质单元的现场结构面特征, 对照标准中岩体分级与结构面分类, 合理选取抗剪断强度参数。在使用时应特别注意结构面实际条件与标准中描述类型的吻合性, 必要时应通过现场试验进行复检验证, 确保锚碇抗剪稳定性计算的安全性与可靠性。

本条的表 4.2.5-2 参数取值主要参考《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487-2008) 中混凝土坝基础与基岩接触面的抗剪断强度经验范围, 并结合隧洞式锚碇锚塞体-围岩界面的受力特性及工程实践确定。两种结构在混凝土-岩体接触面的剪切传力机制、破坏模式及强度控制因素上具有相似性, 坝工长期积累的试验数据与设计经验可为隧道锚提供可靠参考。

4.2.6 工程特性指标应以室内和现场试验成果为基础, 与基于岩体质量分级的经验值进行相互验证与比对。当结果差异显著时, 应分析原因, 并取用偏于安全的值。

4.2.7 工程特性指标应在完整岩石试验值的基础上, 根据已确定的岩体质量等级和裂隙发育特征, 采用现有成熟的岩体强度理论进行系统折减, 以反映裂隙网络的综合弱化效应。

4.2.8 围岩的工程特性指标确定方法, 本标准未明确规定的应符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20) 的规定, 应与计算分析方法、实际工程加载等条件相符。

5 设计

5.1 结构材料

5.1.1 混凝土

1 所用普通混凝土，其强度等级、标准值、设计值，弹性模量，剪切模量应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定取用；其质量控制标准应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTJ/T 3650）的规定。

2 衬砌结构喷射混凝土，其技术参数与质量控制标准应符合现行《喷射混凝土应用技术规程》（JGJ/T 372）的规定。

3 锚塞体混凝土强度等级不应低于C30，且不宜高于C40。

4 散索鞍基础、预应力锚固系统的锚下混凝土等局部应力较高区域混凝土强度等级不宜低于C40。

5 锚塞体范围初期支护喷射混凝土强度等级不应低于C30。

条文说明

3 依据《大体积混凝土施工规范》（GB 50496-2009）的有关规定，大体积混凝土强度等级宜为 C25～C40。锚塞体是隧道式锚碇的核心受力、传力构件，结合强度与耐久性需求，对其混凝土最低强度等级予以提高。

5 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370 1-2018）要求衬砌结构喷射混凝土强度等级不低于 C20、钢筋混凝土强度等级不低于 C25。考虑到支护结构易成为锚塞体与围岩间传力体系的薄弱部位，故对其混凝土最低强度等级进行提高。实际工程中，建议结合围岩强度指标，合理确定锚塞体区域支护结构混凝土强度等级。

5.1.2 钢筋混凝土构件所用普通钢筋，其类别、标准强度、设计强度和弹性模量，

应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的规定取用；其质量控制标准应符合现行《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》（GB 1499.1）、《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》（GB1499.2）的规定。

5.1.3 锚固系统、衬砌结构所采用的钢板、型材、普通螺栓、锚栓、高强螺栓、剪力钉、焊接材料等的技术要求、物理性能指标，应按现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定采用。

条文说明

钢板、型材根据受力需求可选用 Q235、Q355、Q390 或 Q420 钢，其质量应分别符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）和《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591）的规定。结构用钢板、热轧工字钢、槽钢、角钢、H 型钢和钢管等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差执行国家现行相关标准。中空锚杆宜采用 Q345 结构用无缝钢管，杆体断后伸长率不应小于 16%，并应符合现行《结构用无缝钢管》（GB/T 8162）的规定。

5.1.4 洞口、排水沟及附属工程所用石材、混凝土、砂浆等圬工材料应符合现行《公路圬工桥涵设计规范》（JTG 3361）的有关规定。

表 5.1.4 圬工材料最低强度等级要求

工程部位	材料种类			
	现浇素混凝土	钢筋混凝土	片石混凝土	砌体
端墙	C20	C25	C20	M10水泥砂浆砌片石、块石或混凝土砌体镶面
顶帽	C20	C25	—	M10水泥砂浆砌粗料石
翼墙和洞口挡土墙	C20	C25	C20	M10水泥砂浆砌片石
侧沟、截水沟	C20	—	—	M7.5水泥砂浆砌片石
护坡	C20	—	—	M7.5水泥砂浆砌片石

注：1. 护坡材料可采用 C20 喷射混凝土。

2. 最冷月平均气温低于-15℃的地区，表中水泥砂浆的强度等级应提高一级。

条文说明

圬工材料最低强度等级要求,参考了《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370 1-2018)的相关规定。由于《公路圬工桥涵设计规范》(JTG 3361)已取消 C15 素混凝土和 C15 片石混凝土,其最低强度等级提升至 C20。

5.2 防排水材料

5.2.1 防水卷材宜采用乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、乙烯-醋酸乙烯与沥青共聚物(ECB)、聚乙烯(PE)或其他性能相似的材料,也可选用预铺反粘类防水卷材或立体防排水板等新型防水材料。

乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、乙烯-醋酸乙烯与沥青共聚物(ECB)、聚乙烯(PE)防水卷材的外观质量及物理性能,应符合现行《高分子防水材料 第1部分:片材》(GB/T 18173.1)的规定;塑性体改性沥青防水卷材技术要求,应满足现行《路桥用塑性体改性沥青防水卷材》(JT/T 536)。预铺反粘类防水卷材技术要求,应满足现行《预铺防水卷材》(GB/T 23457)。

条文说明

立体防排水板(凸壳型塑料防排水板)多为 HDPE 一体成型带凸起空腔结构,部分复合土工布;置于初期支护与防水板之间,兼具缓冲、排水、保护防水板功能。其技术要求,可参考《塑料防护排水板》(JCT 2112-2012)、《铁路隧道防排水材料 第3部分:防排水板》(Q/CR 562.3-2018)。

5.2.2 无纺布宜采用丙纶长纤针刺非织造土工布。长、短纤针刺非织造土工布的物理性能和质量标准应分别符合现行《土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布》(GB/T 17639)、现行《土工合成材料 短纤针刺非织造土工布》(GB/T 17638)的相关规定。

5.2.3 橡胶止水带的外观质量、尺寸偏差和物理性能应符合现行《高分子防水材料第2部分:止水带》(GB18173.2)的规定。

5.2.4 排水盲管性能应符合现行《软式透水管》(JC/T 937)及《埋地用聚乙烯(PE)PE结构壁管道系统 第1部分:聚乙烯双壁波纹管材》(GB/T 19472.1)的有关规定。

5.2.5 防排水系统所用材料应具有良好的耐水性、耐久性、耐穿刺性、耐腐蚀性和耐菌性；严寒及寒冷地区材料应满足抗冻要求。

5.2.6 防水涂料、密封胶等其他防水材料的性能与质量均应符合国家或行业有关标准的要求。

5.3 总体设计

5.3.1 公路悬索桥隧洞式锚碇主要由围岩、锚塞体、锚固系统、前锚室、洞门、附属设施等部分组成，根据主缆散索需要和锚固系统的需要可以有散索鞍基础和后锚室，总体设计参数有锚塞体前后横断面尺寸、锚塞体长度、锚塞体倾斜角、锚塞体扩展角、散索长度、主缆入射角、主缆折射角、主缆索（丝）股竖向和横向扩散角等，如图 5.3.1 所示。

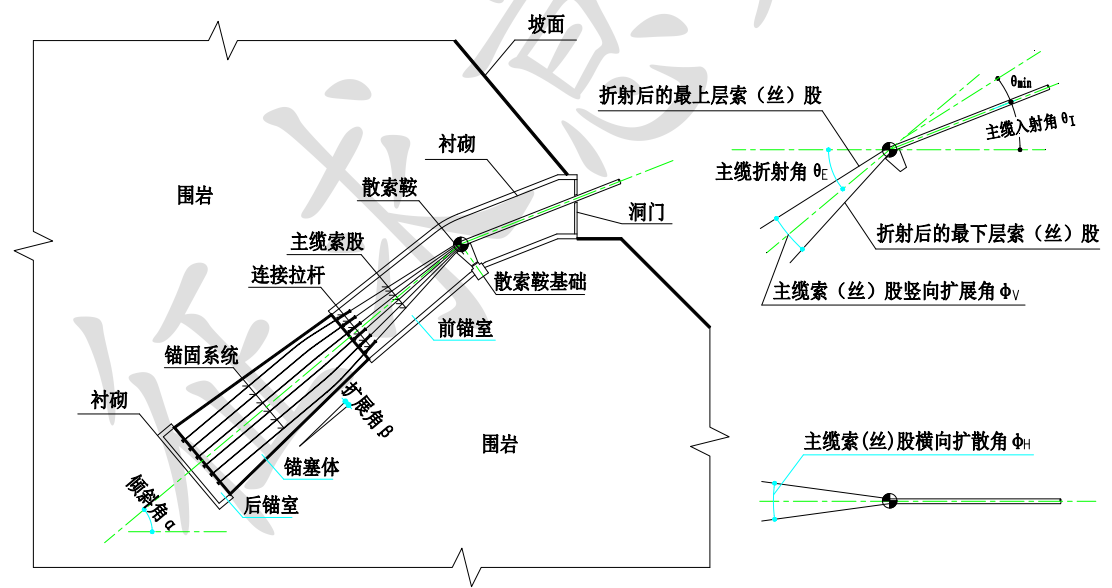


图 5.3.1 公路悬索桥隧洞式锚碇总体构造

5.3.2 锚塞体前、后横断面应与锚塞体中心线垂直，横断面尺寸应根据锚固系统和索股锚固构造布置确定，横断面边界与锚固系统的距离不宜小于 1m。

5.3.3 锚塞体长度应根据主缆拉力、围岩受力性能、横断面尺寸、锚塞体倾角等综合确定。

5.3.4 主缆折射角 θ_E 应根据主缆入射角 θ_I 、主缆经散索点后的竖向扩散角 ϕ_V 和主缆上层索股在散索鞍槽中的最小转折角度 θ_{min} ，并综合考虑锚塞体围岩地质条件、埋深、洞室开挖、主缆上层索股在散索鞍槽内的稳定性等因素确定，应按下式计算：

$$\theta_E = \theta_I + \frac{1}{2}\phi_V + \theta_{min} \tag{5.2.4}$$

式中： θ_E 为主缆折射角（°）；
 θ_I 为主缆入射角（°）；
 ϕ_V 为主缆经散索点后的竖向扩散角（°）；
 θ_{min} 为主缆上层索股在散索鞍槽中的最小转折角度（°），一般取 6 ~ 10°。

条文说明

表 5.3.4 汇总了国内典型工程的主缆折射参数，反映了在不同工程条件下各参数的取值规律。实际工程设计中，应在参考类似工程经验的基础上，结合本项目的具体地质条件、结构布置和荷载特点，通过必要的计算分析和专项论证，综合确定合理的主缆折射角取值。

表 5.3.4 我国已建悬索桥隧洞式锚碇主缆折射参数

桥梁名称		θ_E （°）	θ_I （°）	ϕ_V （°）	ϕ_H （°）	θ_{min} （°）
湖北四渡河大桥		35	17.523	23.060	17.062	5.947
巧家金沙江大桥		36	18.856	18.260	12.231	8.014
宜昌南津关长江大桥	北锚	38	21.4	15.064	11.169	9.068
	南锚	38	24.0	12.349	9.148	7.826
宜昌伍家岗长江大桥		40	19.883	9.527	8.171	15.353

5.3.5 锚塞体中心线宜与主缆折射后的中心线重合，锚塞体倾斜角 α 宜等于主缆折

射角 θ_E 。

5.3.6 考虑隧洞锚洞室开挖、运营维护等需要，锚塞体倾斜角 α 宜不大于 45° ，主缆索（丝）股横向扩散角 ϕ_H 不宜大于主缆索（丝）股竖向扩散角 ϕ_V 。

条文说明

本条规定旨在保证施工可行性、控制工程规模及便于长期运维。锚塞体倾角过大会增加洞室开挖、支护及运输的难度与安全风险，并导致后期检查维护困难。控制横向扩散角不大于竖向扩散角，可避免锚塞体横向尺寸和洞室开挖跨度过度增大，有助于控制工程造价、降低山体稳定风险，同时引导主缆拉力以更优化的路径向深部稳定岩体传递。

5.3.7 悬索桥隧洞式锚碇锚塞体扩展角 β 应根据围岩工程特性、后锚面尺寸、抗拔承载性能综合确定，扩展角应大于零，并符合下列要求：

- 1 当围岩为内摩擦角较大的硬质岩、半硬质岩，锚塞体长度较短时，扩展角宜取 $5 \sim 10^\circ$ ；
- 2 当围岩为内摩擦角较小的软质岩，锚塞体长度较长时，扩展角宜取 $0 \sim 5^\circ$ 。

条文说明

本条规定的扩展角取值范围，是基于对国内典型工程实践的系统总结。扩展角的取值与锚塞体长度及围岩强度密切相关：围岩强度越高、锚塞体长度越短，扩展角宜取较大值；反之则取较小值。

5.4 防排水设计

5.4.1 隧道式锚碇防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜、综合治理”的原则，以结构自防水为根本、排水系统为核心、接缝防水为重点，疏排围岩地下水、降低外水压力，保障锚塞体、锚固系统及围岩长期稳定。

条文说明

隧道式锚碇防为地下隐蔽承重结构，地下水渗积易导致围岩软化、锚岩界面

摩阻力降低、锚固构件锈蚀。本条明确防排水设计核心思路，统筹防水密闭与排水泄压，适配隧道锚长期受力及服役安全要求。

5.4.2 防排水设计应综合考虑锚址区水文地质条件、地下水水头高度、围岩渗透性、环境腐蚀性等因素，联合采用地表截排水、围岩裂隙封堵、初期支护自防水、设置缓冲和防水层、洞周导排泄压、二次衬砌结构自防水、施工缝变形缝防水、锚室疏排设施等技术措施。

5.4.3 隧道式锚碇各部位防水设防标准应符合表 5.3.3 的规定：。

表 5.3.3 隧道式锚碇各部位防水设防标准

部位	最低防水等级	最低抗渗等级	防护体系
锚塞体	二级	P10	结构自防水+接触面防水
前锚室	二级	P8	衬砌结构自防水+全包防水层+排水系统
后锚室	二级	P8	衬砌结构自防水+全包防水层+排水系统
散索鞍基础	二级	P8	结构自防水+局部防水层

注：1. 埋置深度达 20m 且不超过 30m 时，最低抗渗等级提升一级；埋置深度达 30m 及以上时，最低抗渗等级提升两级；抗渗等级最高等级为 P12。

2. 地下水丰富且具有侵蚀性时，最低抗渗等级宜再提升一级。
3. 前后锚室衬砌结构宜采用复合式衬砌。

条文说明

隧道式锚碇各部位防水等级最低要求为二级，对于一级及以上公路悬索桥，防水等级宜提升为一级。复合式衬砌防水做法及衬砌接缝防水措施，可参考《建筑与市政工程防水通用规范》（GB55030-2022）关于暗挖地下工程的规定。

鉴于锚塞体及前、后锚室衬砌结构长期处于地下水或地表渗流环境中，对其最低抗渗等级进行规定，是为了确保混凝土结构具有足够的密实性与抗渗能力，防止因渗水导致的混凝土耐久性下降、内部钢筋锈蚀及锚固系统失效，从而保障隧道式锚碇的长期安全与服役性能。

地下结构抗渗等级要求与还与工程埋置深度相关，这里参考了《地下工程防水技术规范》（GB 50108-2008）的相关条文；混凝土抗渗试验方法应符合现行标准《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082-2009）的相关规定。

5.4.4 地表截排水

- 1 洞口高程设计洪水频率为 1/300，地表排水设施设计洪水频率为 1/100。
- 2 锚址区应根据需要布设地表截排水、防渗设施，封堵洼地、冲沟、废弃钻孔及岩溶渗漏通道，阻断地表水集中入渗路径，减少地下水补给。
- 3 洞口及边仰坡应根据需要设置截水沟、急流槽，将地表水引离锚体影响范围。

5.4.5 锚室衬砌结构防水

- 1 锚室二次衬砌背后应全断面铺设防水板及土工布滤层，配套布设环向、纵向排水盲管，形成完整通畅的衬砌排水通道。富水、破碎围岩区段应加密排水盲管布设。
- 2 锚室两侧墙脚应设置通长纵向排水管，将衬砌背后渗水有序汇集引流，通过横向导水管接入锚室集排水系统，严禁衬砌背后积水滞留。
- 3 锚室衬砌施工缝、变形缝应设置成套止水防水构造，防止接缝渗水；衬砌表面不得出现渗漏、滴水现象，保障锚室干燥运营环境。
- 4 严寒及寒冷地区锚室衬砌排水设施应设置防冻构造，排水沟槽、盲管埋置深度应满足防冻胀要求，避免冬季冻堵失效。

5.34.6 锚室排水

- 1 锚室地面排水坡度不应小于 1%，配套设置排水沟、集水井，配备液位监测及自动抽排装置，保证锚室无积水、无滞留渗水。
- 2 锚室应设置除湿设施，常态化调控室内温湿度，规避潮湿环境引发的构件锈蚀、混凝土劣化等病害。

5.4.7 锚塞体防水

- 1 锚塞体防水混凝土应采用低水化热、低碱配比，优选优质掺合料与高效减水剂，严控水胶比，减少混凝土收缩、温度裂缝，保障结构整体密实防水性能。
- 2 锚塞体应连续整体浇筑，严控施工缝、冷缝产生；不可避免的施工缝应设置止水构造，结合界面凿毛、水泥基渗透结晶材料涂刷等措施，强化接缝防水密闭性。
- 3 锚塞体浇筑完成后应采取严格温控、保湿养护措施，抑制裂缝开展，确保结构整体自防水体系完整有效。

5.5 耐久性设计

5.5.1 一般规定

- 1 隧道锚耐久性设计应遵循材料适配、构造防护、环境管控、全寿命运维的原则，结构及锚固系统设计使用年限应满足桥梁主体 100 年服役要求。
- 2 应根据结构所处环境类别、地下水侵蚀等级等，对锚体混凝土、锚固系统、钢构件及锚岩界面开展专项耐久性设计；侵蚀性环境应提升防护等级。

条文说明

隧道锚为悬索桥不可更换、难以大修的核心隐蔽承重构件，长期受地下水、温湿度变化等环境作用易产生劣化病害。本条明确耐久性设计总体原则，通过全流程管控保障结构长期安全可靠。

5.5.2 混凝土结构耐久性

- 1 混凝土原材料应选用低碱水泥、无碱活性骨料；喷射混凝土禁止使用掺碱性速凝剂。
- 2 混凝土保护层厚度应符合《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG / T 3310）规定，锚塞体主筋保护层厚度不应小于 50mm，侵蚀环境下宜适当加厚，可采用防腐钢筋提升耐久性能。
- 3 严控结构裂缝开展，锚塞体最大裂缝宽度限值为 0.2mm，衬砌裂缝宽度限值为 0.15mm。
- 4 宜采用低水化热、高抗裂混凝土，配套温控及构造抗裂措施，抑制温度裂缝与收缩裂缝。

5.5.3 锚固系统耐久性执行《公路悬索桥设计规范》（JTG D65/T-05）相关规定。

5.5.4 管养维护

- 1 应建立隧道锚全周期耐久性监测体系，定期检测混凝土碳化、裂缝、钢筋锈蚀、锚固系统防腐状态及地下水侵蚀指标。
- 2 常规环境每 5 年开展一次全面耐久性检测评估，腐蚀环境每 2~3 年开展一次专项检测，对超标病害、破损缺陷及时修复加固。

6 计算

6.1 一般规定

6.1.1 公路悬索桥隧洞式锚碇设计应进行围岩抗拔承载力验算、围岩稳定性验算、支护结构承载能力验算，必要时应进行位移验算，以确保结构的强度及稳定性满足要求。

6.1.2 隧洞式锚碇围岩抗拔承载力与围岩稳定性的验算应采用锚碇处主缆拉力的作用频遇组合与偶然组合，并应符合下列规定：

1 作用频遇组合的主缆拉力设计值应按式 (6.1.2-1) 计算：

$$T_{fd} = T \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \psi_{f1} Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (6.1.2-1)$$

式中： T_{fd} ——作用频遇组合的主缆拉力设计值；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

ψ_{f1} ——汽车荷载（计入冲击系数）的频遇值系数，取 1.0；

ψ_{qj} ——除汽车荷载外的第 j 个可变作用的准永久值系数，取 1.0；

$\psi_{f1} Q_{1k}$ ——汽车荷载的频遇值；

$\psi_{qj} Q_{jk}$ ——第 j 个可变作用的准永久值。

2 作用偶然组合的主缆拉力设计值按下式计算：

$$T_{ad} = T \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, A_d, (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (6.1.2-2)$$

式中： T_{ad} ——作用偶然组合的主缆拉力设计值；

A_d ——偶然作用的设计值；

ψ_{q1} ——汽车荷载（计入冲击系数）的准永久值系数，取 1.0；

$\psi_{q1}Q_{1k}$ ——第 1 个可变作用的准永久值。

6.1.3 为保证隧洞式锚碇周围岩体的稳定性及施工阶段的正常进行，开挖前应进行开挖稳定性计算。

6.1.4 洞室开挖应视围岩类别对洞壁进行支护设计，支护应根据洞室围岩稳定性要求进行计算后确定。

条文说明

支护开挖设计中，为保证围岩稳定，减少围岩变形、爆破扰动等不利因素的影响，需结合有限元数值分析明确开挖步骤，提出爆破开挖控制参数和爆破效果要求。

6.1.5 进行结构计算及开挖稳定计算时，所用到的物理力学参数宜通过室内或现场试验获取；当无试验数据时，可根据本标准第 4.2 节的相关规定获取。

6.2 抗拔承载力验算

6.2.1 公路悬索桥隧洞式锚碇在锚塞体自身强度足够且边坡整体稳定条件下，抗拔承载力的计算应符合下列规定：

1 按围岩抗剪断特征值计算抗拔承载力：

$$R_1 = \frac{c + \sigma_0 \tan \varphi}{\cos \beta - \sin \beta \tan \varphi} A \quad (6.2.1-1)$$

2 按锚塞体混凝土-围岩接触面抗剪断特征值计算抗拔承载力：

$$R_2 = \frac{c'}{\cos \beta - \sin \beta \tan \varphi'} A \quad (6.2.1-2)$$

3 隧洞式锚碇抗拔承载力特征值 R_T 取本条 1 款和 2 款所得结果的较小值:

$$R_T = \min(R_1, R_2) \quad (6.2.1-3)$$

式中: c ——围岩抗剪断黏聚力 (kPa);

φ ——围岩抗剪断内摩擦角 ($^{\circ}$);

c' ——锚塞体-围岩接触面抗剪断黏聚力 (kPa);

φ' ——锚塞体-围岩接触面抗剪断内摩擦角 ($^{\circ}$);

A ——锚塞体-围岩接触面有效面积 (m^2), 可按式 (6.2.1-4) 计算:

$$A = \pi L(r_1 + r_2) / \cos \beta \quad (6.2.1-4)$$

β ——锚塞体扩展角 ($^{\circ}$), 可等效为圆台型锚塞体按式 (6.2.1-5) 计算, 当大于 15 度时按 15 度计算:

$$\beta = \arctan \frac{r_2 - r_1}{L} \quad (6.2.1-5)$$

L ——锚塞体长度 (m);

r_1 、 r_2 ——锚塞体前、后锚面等效半径 (m), 按圆形面积等效计算;

σ_0 ——围岩初始地应力 (kPa), 可按式 (6.2.1-6) 计算:

$$\sigma_0 = \gamma h_0 \quad (6.2.1-6)$$

γ ——围岩重度 (kN/m^3);

h_0 ——锚塞体中点的有效覆盖深度 (m);

6.2.2 公路悬索桥隧洞式锚碇的围岩承受拉拔的设计值, 应根据桥梁结构设计中采用的不同效应组合按下列公式计算确定:

1 按作用频遇组合计算的围岩承受拉拔的设计值:

$$P_{fd} = T_{fd} - W \sin \alpha \quad (6.2.2-1)$$

2 按作用偶然组合计算的围岩承受拉拔的设计值:

$$P_{ad} = T_{ad} - W \sin \alpha \quad (6.2.2-2)$$

式中: W ——锚塞体自重 (kN), 围岩裂隙水较发育时按浮容重计算 (kN);

α ——锚塞体倾斜角 ($^{\circ}$);

T_{fd} 、 T_{ad} ——按 6.1.2 条计算的沿锚塞体轴向方向的主缆拉力设计值 (kN)。

6.2.3 公路悬索桥隧洞式锚碇抗拔承载力验算应符合下列规定:

$$\frac{\gamma_{fd} R_T}{P_{fd}} \geq K_T \quad (6.2.3-1)$$

$$\frac{\gamma_{ad} R_T}{P_{ad}} \geq K_T \quad (6.2.3-2)$$

式中: γ_{fd} ——作用频遇组合验算围岩抗拔承载力抗力系数, 取 1.0;

γ_{ad} ——作用偶然组合验算围岩抗拔承载力抗力系数, 取 1.25;

K_T ——围岩抗拔承载力安全系数, 取 5.0~6.0, 围岩岩体整体性好、构造不发育、地质条件相对明确, 可取较小值; 岩体完整性较差、构造发育或地质条件复杂, 宜取较大值。

条文说明

本标准的围岩抗拔承载力安全系数与本标准提出的围岩抗拔承载力计算方法匹配, 与《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015) 中的锚塞体抗拔安全系数的概念不同。由于岩石质量参数不易确定、岩体塑性区破坏的影响存在一定的不确定性, 本标准围岩抗拔承载力安全系数偏保守取值, 基于国内已建大跨度悬索桥隧洞锚工程实践经验和多项现场拉拔试验等专题研究成果, 综合考虑地质条件不确定性、长期荷载作用及混凝土与围岩协同工作性能等因素, 围岩抗拔承载力安全系数取 5.0~6.0, 若岩体完整性较差、构造发育或地质条件复杂, 宜通过现场原型试验、数值模拟及工程类比等综合验证确定。

6.3 围岩稳定性验算

6.3.1 隧洞式锚碇的围岩稳定性宜通过仿真模拟进行分析验算，应分别对隧洞式锚碇的建造过程、设计荷载作用下的工作性能及整体承载能力进行模拟计算与稳定性评估。

条文说明

围岩稳定性是隧道锚安全的核心。仿真分析中，应针对以下阶段开展评估：

- 1 建造过程稳定性：模拟边坡开挖、前锚室开挖、锚塞体洞身段开挖、后锚室开挖、锚塞体回填等施工阶段。各阶段应重点分析围岩的应力状态、位移发展及塑性区分布与扩展情况，判断其稳定性。
- 2 设计荷载作用下工作性能：分析在设计荷载作用下，锚塞体与围岩系统的应力分布、位移响应及塑性区发展，评估其是否处于安全可控的弹性工作状态。
- 3 整体承载能力评估：采用超载法进行极限状态分析。除根据荷载-位移曲线特征确定弹性极限荷载外，应重点分析围岩塑性区的贯通情况，将其作为判断围岩整体失稳、确定锚碇极限承载能力的关键依据。

6.3.2 隧洞式锚碇的围岩稳定性应符合下列要求：

- 1 失稳滑动模式包含部分或全部锚塞体围岩的稳定安全系数应不小于表 6.3.2 的规定：

表 6.3.2 隧道式锚碇围岩稳定安全系数限值

工况	地基土状态	安全系数
正常工况	天然状态	2.0
非正常工况 I	暴雨或连续降雨状态	1.50
非正常工况 II	暴雨或连续降雨状态及地震	1.35

- 2 失稳滑动模式不含锚塞体围岩受力影响范围的坡体稳定安全系数限值，按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363—2019）第 9.3.2 条执行。

条文说明

隧洞式锚碇围岩稳定性是悬索桥结构安全的核心。参考现行《公路桥涵地基

与基础设计规范》(JTG 3363—2019)和现行《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-2015),结合悬索桥锚碇的重要性,给出不同工况下失稳滑动模式包含部分或全部锚塞体围岩的稳定安全系数的最低要求,锚塞体围岩范围按径向及前锚面以外不小于锚塞体直径的2倍考虑。

6.4 位移计算

6.4.1 公路悬索桥隧洞式锚碇锚塞体位移可根据三维数值分析方法进行验算。

6.4.2 公路悬索桥隧洞式锚碇运营阶段锚塞体位移在满足围岩稳定性要求的前提下,水平变位应不大于0.0001倍的主跨跨径,竖向变位应不大于0.0002倍的主跨跨径。

条文说明

锚碇在承受主缆拉力时不可避免地要发生水平位移和沉降变位,而在成桥状态锚碇的变位将对全桥受力产生影响,需要引起设计足够的重视。除了在结构措施上使其具有较强的抵抗变位的能力外,还要研究锚碇变位对全桥受力的影响,从而提出合适的变位限值。

日本本四联络桥公团以主跨跨径1000~1500 m的悬索桥为对象,规定长大跨径悬索桥锚的水平位移的容许值为0.00017倍的主跨跨径。另外,本四标准要求水平位移或竖向变位引起的塔底应力不超过其容许应力的5%。

按照日本本四联络桥的经验,以索塔受力作为评判锚碇变位的控制原则。日本标准多针对钢塔,其刚度较小、容许变位的能力较强。因此,推荐锚碇允许水平变位按照不大于0.0001倍的主跨跨径控制,竖向变位按照不大于0.0002倍的主跨跨径控制。

6.5 支护结构计算

6.5.1 隧洞式锚碇洞室开挖的支护结构计算包括支护结构内力计算和支护结构承

载能力验算。

6.5.2 隧洞支护结构宜采用地层结构法进行内力计算, 并对其极限状态进行校核。

6.5.3 对支护结构强度进行校核时, 可采用破损阶段法验算结构截面的轴向合力、剪切合力及弯矩合力, 此时各类荷载的安全系数均应取1.0。

6.5.4 隧洞支护结构在无明显膨胀力和偏压的围岩条件下, 会受到垂直均布压力和水平均布压力的作用, 可按以下公式进行计算。

1 隧洞拱部竖向围岩压力可按公式 (6.5.4-1) 计算。

$$q = \gamma h \quad (6.5.4-1)$$

式中: q ——竖向均布围岩压力 (kN/m^2);

γ ——围岩重度 (kN/m^3);

h ——荷载等效高度 (m), 可按式 (6.5.4-2) 计算。

$$h = 0.45 \times 2^{S-1} \omega \quad (6.5.4-2)$$

式中: ω ——宽度影响系数, 可按式 (6.5.4-3) 计算。

$$\omega = 1 + i(B_t - 5) \quad (6.5.4-3)$$

式中: B_t ——隧道最大开挖跨度, 应考虑超挖影响 (m);

i —— B_t 每增减 1 m 时的围岩压力增减率, 以 $B_t = 5$ m 的隧道围岩垂直均布压力为准, 按表 6.5.4-1 取值。

表 6.5.4-1 围岩压力增加率*i*取值表

隧道开挖断面宽度 B_t (m)	$B_t < 5$	$5 \leq B_t < 14$	$14 \leq B_t < 25$	
围岩压力增减率 i	0.2	0.1	考虑施工过程分导洞开挖	0.07
			上下台阶法或一次性开挖	0.12

2 围岩级别为I ~ III时, 隧洞水平均布围岩压力可按式 (6.5.4-4) 计算。

$$e = \lambda q \quad (6.5.4-4)$$

式中: e ——水平均布围岩压力 (kN/m^2);

q ——竖向均布围岩压力 (kN/m^2);

λ ——侧压力系数, 可按式 (6.5.4-5) 计算, 或按表 6.5.4 的规定确定。

$$\lambda = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2} \right) \quad (6.5.4-5)$$

式中: φ_c ——围岩计算摩擦角 ($^\circ$)。

表 6.5.4-2 围岩侧压力系数

围岩级别	I、II	III	IV	V	VI
侧压力系数 λ	0	< 0.15	0.15~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0

3 围岩级别为IV ~ VI时, 水平压力宜按梯形分布荷载计算。

拱顶水平压力:

$$e_g = \lambda q \quad (6.5.4-6)$$

边墙底部水平压力:

$$e_d = \lambda (q + \gamma H_t) \quad (6.5.4-7)$$

式中: e_g ——拱顶水平压力 (kN/m^2);

e_d ——边墙底部水平压力 (kN/m^2);

H_t ——隧道开挖高度 (m);

其它符号意义同前。

条文说明

本条直接借鉴了现行《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1-2018)中关于围岩压力计算的相关规定。在无明显膨胀力和偏压的条件下, 隧洞式锚碇隧洞的受力环境与一般公路隧道具有相似性, 其竖向及水平向围岩压力的计算方法、参数取

值（如荷载等效高度、宽度影响系数及侧压力系数）均采用该规范成熟的理论与经验，以确保结构荷载计算的可靠性、合理性，并与行业通用设计方法保持一致。

6.5.5 结构自重荷载 Q 可根据结构厚度、计算宽度以及结构材料重度等参数按照式（6.5.5）计算。

$$Q = HB\gamma \tag{6.5.5}$$

式中： Q ——结构自重荷载（kN/m）；

H ——构件计算截面的设计厚度（m）；

B ——构件计算截面的设计宽度（m）；

γ ——结构材料重度的标准值（kN/m³）。

6.5.6 除计算围岩压力、结构自重荷载外，当其它荷载对支护结构强度起控制作用时，应对其进行计算，并应符合现行《公路隧道设计细则》的相关规定。

6.5.7 对支护结构承载能力进行验算时，可按破损阶段法分别验算初期支护和二次衬砌的结构强度，初期支护和二次衬砌的支护承载比例可按照表6.5.7的规定确定。

表 6.5.7 初期支护和二次衬砌的支护承载比例

围岩级别	初期支护承载比例	二次衬砌承载比例
I、II	100	安全储备
III	100	安全储备
IV	≥ 70	≥ 30
V	≥ 50	≥ 50
VI	≥ 30	≥ 80

注：当初期支护的设计承载比例小于设计荷载50 %时理论上不能保证施工过程中的长期安全，应采取合理的分布施工方案，给出二次衬砌的合理施作时间。

条文说明

本条明确了采用破损阶段法对隧洞式锚碇支护结构进行承载能力校核时，初期支护与二次衬砌应承担的荷载分担比例。表中数据直接借鉴了现行《公路隧道设计细则》（JTG/T D70—2010）的规定，依据不同围岩级别下结构的受力特点与破坏模式进行划分。围岩条件越好，初期支护需承担全部或主要荷载；围岩越差，则需通过提高二次衬砌的承载比例来确保结构整体安全与长期稳定。该规定旨在合理分配支护责任，指导设计与施工。

6.5.8 支护结构按破损阶段验算构件截面的强度时，应根据不同的荷载组合，分别采用不同的综合安全系数，并不应小于表6.5.8-1和表6.5.8-2所示的数值。验算施工阶段的强度时，综合安全系数可采用“永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载”栏内的数值乘以折减系数0.9。

表 6.5.8-1 混凝土支护结构计算综合安全系数

材料类型	强度状态	永久荷载+ 基本可变荷载	永久荷载+ 基本可变荷载 +其他可变荷载	永久荷载 或永久荷载 +偶然荷载
混凝土	混凝土达到抗压极限强度	2.4	2.0	1.8
	混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0	2.7

表 6.5.8-2 钢筋混凝土支护结构计算综合安全系数

材料类型	强度状态	永久荷载或永 久荷载+基本可 变荷载	永久荷载+ 基本可变荷载 +其他可变荷载	永久荷载 +偶然荷载
钢筋混凝土	钢筋达到极限强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7	1.5
	混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0	1.8

条文说明

本条关于支护结构按破损阶段法验算截面强度时，所采用的分项综合安全系数及施工阶段折减系数，均直接引用并遵循了现行《公路隧道设计规范》（JTG

3370.1-2018) 中的相关规定。该规定依据不同荷载组合下结构的受力特性及安全要求, 针对混凝土、钢结构及钢筋混凝土等不同材料分别确定了最低安全储备标准, 旨在确保支护结构在设计荷载 (包括永久、可变及偶然荷载) 作用下具备足够的承载能力与可靠性。施工阶段的强度验算可乘以 0.9 的折减系数, 是考虑到施工期荷载作用的临时性与可控。

6.5.9 在洞室开挖初期支护中, 轴力由钢拱架和喷射混凝土共同承担, 弯矩全部由钢拱架承担, 可按下列公式进行计算。

喷射混凝土所承担轴力:

$$N_h = N \frac{A_h E_h}{A_h E_h + A_g E_g} \quad (6.5.9-1)$$

钢拱架所承担轴力:

$$N_g = N \frac{A_g E_g}{A_h E_h + A_g E_g} \quad (6.5.9-2)$$

喷射混凝土所承担弯矩:

$$M_h = 0 \quad (6.5.9-3)$$

钢拱架所承担弯矩:

$$M_g = M \quad (6.5.9-4)$$

式中: N_h 、 N_g ——喷射混凝土及钢拱架承担的轴力 (kN);

M_h 、 M_g ——喷射混凝土及钢拱架承担的弯矩 (kN·m)。

N 、 M ——单位长度内验算截面的轴力及弯矩 (kN, kN·m);

A_h 、 A_g ——喷射混凝土及钢拱架计算截面的面积 (m²);

E_h 、 E_g ——喷射混凝土及钢拱架的弹性模量 (kPa);

6.5.10 初期支护进行结构强度验算时, 喷射混凝土及钢拱架抗压强度应符合式

(6.5.10-1) 和式 (6.5.10-2) 的规定。

喷射混凝土截面抗压强度：

$$K_{hy} N_h \leq \alpha R_{hy} A_h \quad (6.5.10-1)$$

钢拱架抗压强度：

$$K_{gy} \left(\frac{N_g}{A_g} + \frac{M_g}{W_g} \right) \leq R_{gy} \quad (6.5.10-2)$$

式中： K_{hy} 、 K_{gy} ——喷射混凝土、钢拱架的抗压强度综合安全系数，可按表 6.5.8 的规定确定；

R_{hy} 、 R_{gy} ——喷射混凝土、拱架钢材抗压极限强度（kPa），可分别按表 C.0.3-1 和表 C.0.8 的规定确定；

α ——偏心影响系数，可按表 6.5.10 的规定确定；

W_g ——钢拱架验算截面抗弯刚度（ m^3 ）；

其他符号意义同式（6.5.9-1）~式（6.5.9-4）。

表 6.5.10 偏心影响系数

e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α
0	1.000	0.10	0.954	0.20	0.750	0.30	0.480	0.40	0.236
0.02	1.000	0.12	0.923	0.22	0.698	0.32	0.426	0.42	0.199
0.04	1.000	0.14	0.886	0.24	0.645	0.34	0.374	0.44	0.170
0.06	0.996	0.16	0.845	0.26	0.590	0.36	0.324	0.46	0.142
0.08	0.979	0.18	0.799	0.28	0.535	0.38	0.278	0.48	0.123

注：1 e_0 ——计算截面的偏心距（m），可按式（6.5.10-3）计算。

$$e_0 = \frac{M_z}{N_z} = \frac{M_F}{N_F} \quad (6.5.10-3)$$

式中： M_z 、 M_F ——构件验算截面的弯矩合力、弯矩组合设计值（ $kN \cdot m$ ）；

N_z 、 N_F ——构件验算截面的轴向合力、轴向力组合设计值（ kN ）；

$2h$ ——计算截面厚度（m）。

6.5.11 锚室二次衬砌的结构计算，按现行《公路隧道设计规范》第一册 土建工程（JTG3370.1-2018）中第9.2.1条~第9.2.18条执行。

6.6 洞门计算

6.6.1 隧洞式锚碇的洞门计算，按现行《公路隧道设计规范》第一册 土建工程（JTG3370.1-2018）中第9.4.1条执行。

7 结构构造

7.1 洞口与洞门

7.1.1 隧洞式锚碇洞口位置根据地形地质、环境保护、施工运营条件，结合悬索桥总体布置综合确定，应符合下列规定：

- 1 应选择山体稳定、地质条件良好的区域，避开滑坡、崩塌、泥石流等不良地质地段。
- 2 洞口位置应尽量避免让沟谷地形和傍山地形，锚固主缆轴线宜与地形等高线呈大角度相交。
- 3 方便锚碇及悬索桥主缆施工，后期维护通达条件良好。

7.1.2 隧洞式锚碇洞门设计应符合下列规定：

- 1 与自然环境协调，减少人工痕迹，保护和最大限度地恢复原有地形地貌。
- 2 能防止洞口边仰坡的碎落、滚石、坍塌物等冲撞主缆。
- 3 满足检查维修便利性及结构耐久性需求。

7.1.3 端墙式洞门设计应符合下列规定：

- 1 洞门端墙和翼墙应具有抵抗来自仰坡、边坡土压力的能力，应按挡土墙结构进行设计。洞门墙墙身最小厚度不应小于 0.5m，翼墙墙身厚度不应小于 0.3m。
- 2 洞顶仰坡与洞顶回填顶面的交线至洞门端墙墙背的水平距离不宜小于 1.5m；洞顶排水沟沟底至拱顶衬砌外缘的最小厚度不应小于 1.0m；洞门端墙墙顶应高出墙背回填面 0.5m。
- 3 洞门端墙应根据需要设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔。伸缩缝的宽度宜为

2cm，缝内沿墙的内、外、顶三边均需填塞沥青麻絮，填塞深度不小于 20cm。

4 洞门端墙基础应置于稳固地基上，并埋入地面下一定深度。嵌入岩石地基的深度不应小于 0.5m，埋入土质地基的深度不应小于 1.0m，并应低于洞门墙脚各种沟槽的基底。地基为冻胀土层时，基底高程应在最大冻结深度以下不小于 0.25m。地基承载能力不足时，应进行加固处理。

5 洞门墙背应作防排水设计，在洞门墙背与回填土体之间宜设置砂砾透水层或纵横透水管，并在墙身底部（路面以上约 30cm 高度处）设置一排泄水孔，在多雨水地区可设多排泄水孔。泄水孔间距宜为 2m×2m，泄水孔径宜为中 10cm。墙背泄水孔底部应设隔水层，不容许积水渗入墙基底部。

6 墙身嵌入侧边坡的深度，硬质岩层不宜小于 0.3m，软岩或土层不宜小于 0.5m。

7.1.4 明洞式洞门设计应符合下列规定：

- 1 洞口段衬砌应采用钢筋混凝土结构。
- 2 洞口段衬砌应伸出原山坡坡面或设计回填坡面不小于 500mm。
- 3 洞口段衬砌端面可呈直削、削竹、倒削竹或喇叭形。
- 4 采用削竹式洞门时，削竹面仰斜坡率应陡于或等于原山坡坡率或设计回填坡面坡率。
- 5 设计回填坡面宜按自然山坡坡度回填。采用土石回填时，坡率不宜陡于 1:1，表面宜植草覆盖。

7.2 锚室

7.2.1 前锚室为永久结构，应能满足主缆散索锚固的需要，同时应满足锚固系统、

散索鞍、主缆索股、除湿系统等的施工及后期维护的需要。

7.2.2 后锚室根据锚塞体中锚固系统的施工的需要设置，运营期若无通过后锚室进行锚碇、锚固系统维护的需要，后锚室作为临时结构在锚碇施工完成后可以采用混凝土填充；否则后锚室为永久结构。

7.2.3 锚室截面可采用等截面和变截面，应根据地质条件、截面尺寸、工程要求及经济性等因素进行选择。

7.2.4 作为永久结构的锚室应采取复合式衬砌支护形式维持洞室在施工及运营期间的稳定，衬砌结构设计及构造应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018) 第 8 章的要求。

7.2.5 作为永久结构的锚室衬砌的施工缝处、锚塞体与锚室衬砌的施工缝处宜设置止水构造。

7.2.6 后锚室若为施工期间的临时结构，其支护结构可根据地质条件和开挖施工工艺，按满足施工期的安全进行设计，应符合现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1—2018) 的要求。

7.3 锚塞体

7.3.1 锚塞体与围岩接触的侧面应布置不少于 2 层的由纵向钢筋和横向钢筋形成的钢筋网，全部纵向钢筋的最小面积按下列公式计算：

$$A_{\min} = \max \left(\frac{1.35 \rho_{\min} T_{fd}}{f_{cd}}, 0.0015 L_u \right) \quad (7.3.2)$$

式中： $A_{\min}$ ——全部纵向钢筋的最小面积 (m^2)；

T_{fd} ——作用频遇组合的主缆拉力设计值 (kN)；

f_{cd} ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)；

$\rho_{\min}$ ——钢筋混凝土构件最小含筋率，取 0.55%；

L_u ——锚塞体横截面周长 (m)

条文说明

锚塞体为大体积混凝土，横截面尺寸一般不小于 5m，通过侧面与围岩的相互作用锚固主缆拉力，参考《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191-2025)，结合锚塞体的受力特点给出纵向钢筋配置的计算公式和设计要求。

7.3.2 锚塞体的前、后锚面应布置钢筋网，锚固系统钢锚梁、锚具等作用处，应按局部承压构件配置钢筋，局部承压间接钢筋体积配筋率应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018)的要求。

7.3.3 锚塞体中宜设置劲性骨架，以保证锚固系统的安装精度。

7.4 系统锚杆

7.4.1 隧洞式锚碇系统锚杆为永久支护或围岩加固结构，应根据工程地质条件、工程特点合理选择锚杆类型、参数及工艺。

7.4.2 系统锚杆设计符合下列规定：

- 1 锚杆应为全长黏结型锚杆，端头锚固型锚杆必须在孔内注满砂浆或树脂，砂浆或树脂的强度等级不应小于 M20。
- 2 自稳时间短的围岩，宜采用全黏结树脂锚杆或早强水泥砂浆锚杆。
- 3 软岩、变形较大的围岩地段，可采用预应力锚杆。预应力锚杆的预加力不应小于 100kPa。预应力锚杆的锚固端必须锚固在稳定岩层内。

-
- 4 岩体破碎、成孔困难的围岩，宜采用自进式锚杆。
 - 5 锚杆应采用 HRB400 级及以上热轧带肋钢筋，锚杆直径应随锚杆长度增加而增大，宜为 20mm~32mm；
 - 6 锚杆应与初期支护钢拱架焊接连接，焊接长度不应小于 10 倍的钢筋直径；
 - 7 锚杆孔直径宜为杆体直径的 1.5 ~ 2.0 倍，且不应小于 50 mm。锚杆露头应设垫板，垫板尺寸不应小于 150mm（长）×150mm（宽）×8mm（厚）。
 - 8 处于锚塞体范围的锚杆，锚杆的轴向方向与主缆折射后的拉力方向的夹角宜不大于 30°，锚杆露头伸入锚塞体混凝土的长度满足锚杆杆体受拉作用力的锚固长度要求，且不小于 50cm。

条文说明

锚杆种类按作用原理分为：①全长黏结型锚杆，系统锚杆和局部锚杆、锁脚锚杆等永久支护锚杆可采用这类锚杆。②端头锚固型锚杆，端头黏结式锚杆除用于硬岩和中硬岩外，也用于软岩。③摩擦型锚杆，主要用于局部锚杆，起临时支护作用。

锚杆种类按施工工艺分为普通砂浆锚杆、中空注浆锚杆、组合中空锚杆和自进式锚杆。

1 作永久支护的锚杆，要保证锚杆长期作用效果。锚杆体和钢筋混凝土中的钢筋一样需要一定的保护层，孔内注满水泥砂浆或树脂，不仅仅是保证砂浆与锚杆、砂浆与孔壁的摩擦力，保证锚杆与围岩共同工作，同时也是锚杆的保护层。端头锚杆，由于地下水或潮湿空气作用而使锚杆锈蚀，因围岩蠕变而使锚杆松弛降低锚固力，所以不能作为永久支护，注满砂浆后才能用作永久支护。锚杆孔内水泥砂浆或树脂强度不应小于 M20 是为了保证锚杆强度和耐久性。

2 对自稳时间短的围岩，采用全黏结树脂锚杆或早强水泥砂浆锚杆是为了发挥锚杆早期作用。

3 预应力锚杆在隧道内应用不多，采用时按现行《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》（GB50086）执行。

4 在围岩破碎，锚杆孔成孔困难的地段，钻杆拔出以后，孔内易出现坍孔，锚杆插入困难，这时，可采用自进式锚杆。自进式锚杆是利用钻杆作锚杆，锚杆前端加钻头，钻孔过程即为锚杆打入过程，钻杆不拔出，钻孔到位后利用钻杆中孔向锚杆孔内注浆。

5 对围岩加固型锚杆的杆体材料、连接构造及成孔尺寸作出具体规定。采用不低于 HRB400 级的热轧带肋钢筋，可保证锚杆具有必要的抗拉强度与延性；锚杆直径：普通砂浆锚杆直径一般采用 20~25mm；中空锚杆、组合中空锚杆直径一般采用 25~32mm；自进式锚杆直径一般采用 25~52mm。

6 要求锚杆与初期支护钢拱架可靠焊接，是为形成整体支护体系，协同限制围岩变形，增强初期支护的刚度和稳定性。对锚杆孔径的规定，旨在为注浆体提供合理空间，确保浆体充分包裹杆体并有效传递荷载，实现锚杆对围岩的加固作用。锚杆外露端头设垫板，是用螺栓将垫板紧贴孔口岩面，对围岩产生径向约束力，能增大锚杆的作用范围，使锚杆的作用效果大大提高。

7 处于锚塞体范围的锚杆杆轴向与主缆折射后拉力方向按不大于 30° 夹角，可优化锚杆受力状态，增强其抵抗剪切滑移的能力，提高界面抗剪安全储备。

7.4.3 系统锚杆布设要求应符合下列规定：

- 1 锚杆应穿透围岩松动圈并嵌入稳定岩体，长度宜不小于 2.5m。
- 2 在岩面上，锚杆宜呈菱形或矩形布置。锚杆的安设角度宜与洞室开挖壁面垂直，当岩体主结构面产状对洞室稳定不利时，应将锚杆与结构面呈较大角度设置；
- 3 锚杆间距不宜大于锚杆长度的 $1/2$ 。当围岩条件较差、地应力较高或洞室开挖尺寸较大时，锚杆布置间距应适当加密。对于 IV、V 级围岩中的锚杆间距宜为 0.50m~1.00m，并不得大于 1.25m，锚杆间距较小时，可采用长短锚杆交错布置。
- 4 黏结型锚杆锚固体长度内的胶结材料与杆体间黏结摩阻力设计值和胶结

材料与孔壁岩石间黏结摩阻力设计值，均应大于锚杆杆体受拉承载力设计值。

条文说明

锚杆主要对围岩起整体加固作用。在岩面上，锚杆呈矩形或菱形布置，提供侧向较均匀支护抗力，有利于岩体中承载拱圈的形成。锚杆与岩体主结构面成较大角度布置，则能穿过更多的结构面，有利于提高结构面上的抗剪强度，使锚杆间的岩块相互咬合，以发挥锚杆对围岩的联锁加固作用。锚杆的间距，除受围岩稳定条件及锚杆长度制约外，在稳定性较差的岩体中，为使支护紧跟掘进工作面，锚杆的纵向间距还受掘进进尺影响。所以，锚杆纵向间距的选定，还要与所采用的施工方法相适应。根据工程经验，为使一定深度的围岩形成承载拱，锚杆长度必须大于锚杆间距的两倍。因此，规定锚杆的间距不宜大于锚杆长度的 $1/2$ 。但是，在Ⅳ、Ⅴ类围岩中，一般被节理分割的岩石块度较小，为防止锚杆间的岩块可能因咬合和联锁不良，而导致掉块或坠落。因此，还规定在Ⅳ、Ⅴ类围岩中，锚杆间距不得大于 1.25m。

7.4.4 加固锚杆与孔壁间注浆材料宜采用强度等级不低于 C42.5 的普通硅酸盐水泥浆。

7.4.5 加固锚杆宜采用热浸镀锌或环氧涂层防腐，满足耐久性要求。

7.5 锚固系统

7.5.1 根据锚固系统所采用材料和结构构造的不同，可分为无预应力的钢拉杆锚固系统和有预加力的预应力锚固系统，应根据实际情况选择合适的锚固系统。

7.5.2 钢拉杆锚固系统主要包括钢拉杆及钢锚梁，设计应符合下列规定：

1 钢拉杆宜采用 Q355、Q345q 等轧制型钢、钢板或具有良好韧性的 40CrNiMoA、35CrMo 等高强度锻钢棒。钢锚梁可采用 Q235、Q355 等钢材。

2 钢拉杆、钢锚梁可根据制造、运输条件进行分段，在工地采用螺栓或焊接连接装配。

3 钢锚梁与钢拉杆之间宜采用螺栓连接。

4 锚体混凝土中的钢拉杆的全部或部分宜进行无粘结处理，以避免钢拉杆的拉伸变形在混凝土中产生过大的应力，钢拉杆无粘结段应有可靠的防腐措施。

7.5.3 钢拉杆锚固系统中的钢拉杆的受力应计入索股方向与钢拉杆轴线的偏差及索股锚固连接器拉力差的影响，钢锚梁翼缘面直接作用的混凝土应进行局部承压验算，并应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG3362-2018) 的相关规定。

7.5.4 预应力锚固系统主要包括预应力筋、锚具、预应力管道、索股锚固连接器和连接拉杆等，设计应符合下列规定：

1 预应力筋宜采用镀锌或环氧喷涂防护的高强度钢绞线或高强度钢丝。

2 锚具应具备低锚固应力下的高可靠度性能，可采用与预应力筋构造匹配的夹片群锚、冷铸墩头锚或整体式钢挤压锚，锚固性能应符合相应的行业标准。

3 具有后期更换需要的预应力筋存在轴线弯曲时，弯曲段预应力管道宜采用与预应力筋组成索股对应的蜂窝式管道，避免索股相互挤压，确保后期更换操作的可实施性。

4 索股锚固连接器应满足锚固预应力筋和连接拉杆的构造需要，具有后期更换预应力筋需要的还应具备合理的操作空间。

5 连接拉杆的长度应满足主缆索股长度调整和千斤顶张拉空间的需要。

7.5.5 预应力锚固系统的预应力筋在前锚面的出口段应与锚固的主缆索股拉力方

向一致，锚具与混凝土作用面应与该处预应力筋轴线垂直。

7.5.6 预应力锚固系统的设计预拉力应不小于锚固的主缆索股设计拉力的 1.2 倍，预应力钢束应力应满足现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62）的要求。

条文说明

1 要求施加的预拉力值不应低于主缆索股设计拉力的 1.2 倍，其目的是使预应力锚固体系始终保持对锚体的预压状态。

7.5.7 预应力锚固系统的索股锚固连接器和连接拉杆设计应符合下列规定：

- 1 索股锚固连接器应进行承压和抗剪验算。
- 2 连接拉杆设计计算时，应计入 10 % 的偏载系数，且应计入连接拉杆与索股拉力方向安装偏角产生的附加弯矩。

7.5.8 预应力锚固系统锚具作用的混凝土应进行局部承压验算，并应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG3362-2018）的相关规定，锚垫板应具有良好的传力构造。

7.5.9 考虑到后期维护和长期使用的需要，预应力锚固系统宜采用可换式无粘结预应力钢束。

条文说明

无粘结预应力钢束具有可换性的优点，可以减少维护和修复的频率，降低维护成本。同时无粘结预应力钢束不受外部环境的影响，具有较长的使用寿命，能够保持较长时间的预应力效果。

7.5.10 锚固系统应进行防腐设计，处于锚室的外露部分可采用氧化聚合型包覆防腐技术，其材料应符合现行《钢结构氧化聚合型包覆腐蚀控制技术》

(GB/T32120-2022) 的规定。

7.5.11 锚固系统应设置足够刚度和安装精度的定位支架，保证钢拉杆、钢锚梁、预应力钢束管道或前、后锚面锚垫板的空间精确定位。

7.6 附属设施

7.6.1 应根据施工及维养需要设置检修通道、检修门、检修楼梯、平台及栏杆等，为检修维护人员进出锚碇的各个空间部位开展工作提供便利。

7.6.2 锚碇前、后锚室以及各通道应设置照明系统。

7.6.3 锚碇前锚室为主缆索股散开锚固构造所处的空间，应根据空间大小、环境温度湿度条件、主缆索股及锚固系统钢构件的防腐要求设置除湿系统；后锚室可根据其空间内的锚固系统的防腐要求确定是否设置除湿系统。

7.6.4 隧洞式锚碇的前、后锚室均应设置可靠的排水系统。具备适宜的地形与水文地质条件时宜设置可通达边坡外部的自然排水通道，自然排水通道出口应进行可靠防护，确保排水畅通，并避免坡面水及裂隙水倒流、倒灌及小型动物的进入。

8 施工和运营监测要求

8.0.1 施工前应根据设计文件，结合地形、地质、气候、气象、工程场地、工期计划等建设条件，制定详细的包含有锚洞开挖、洞室支护、围岩加固、界面处理等的施工组织设计和监控量测方案。

8.0.2 锚洞开挖前应做好洞口外排水系统，合理布置施工场地和设施，避免雨水和山洪对隧道锚及施工临时设施造成危害，确保施工安全。

8.0.3 锚洞开挖施工以保持围岩完整性为第一要求。采用钻爆法施工时，洞周松动范围的围岩应进行人工开凿、修整，清除松动岩块，保证洞壁合理粗糙度和尺寸精度。

8.0.4 锚洞钻爆施工应采用小间距、低爆速设计，炮眼按浅密原则布设，尽量减小对围岩影响，避免产生爆振裂隙。施工过程中应对爆破影响程度进行评估，动态调整爆破设计，确保围岩因钻爆施工出现松动的范围不大于 40cm。

8.0.5 锚洞开挖后应及时支护封闭，避免围岩裸露风化、软化、溶蚀；破碎带、岩溶等不良地质地段，应采用预注浆加固堵水措施，稳定围岩力学性能。

8.0.6 浇筑锚塞体混凝土前，围岩接触面应清理干净，施工过程中应采取可靠的温控与养生措施，保证混凝土质量。锚塞体与围岩应贴合密实，不得出现界面脱空渗水。

8.0.7 锚塞体施工时，应注意锚固系统、散索鞍、除湿系统、施工监控与健康检测系统、维养设施、主缆施工猫道等相关设施的预留、预埋，应采取可靠措施保证锚固系统的安装精度。

8.0.8 应结合锚碇施工监控，建立长效的健康监测系统，对运营期锚塞体位移、围岩受力状态、界面剪切滑移、边坡位移与稳定状态等进行监测，确保锚碇运营

安全。

8.0.9 应将锚碇施工监控资料纳入交（竣）工档案，并做好与运营期健康监测系统的衔接，为运营期的养护、维护提供初始数据。

征求意见稿

附录 A 围岩完整性系数 K_v 和基本质量指标 BQ 获取的规定

A.0.1 隧洞围岩完整性系数 K_v 的确定应符合下列规定：

1 完整性指数 K_v 应针对不同的工程地质岩组或岩性段，选择有代表性的测段，测试岩体弹性纵波速度，并应在同一岩体中取样，测试岩石弹性纵波速度。岩体的完整性系数 K_v 可按式 (A.0.1-1) 进行计算。

$$K_v = \left(\frac{V_{pm}}{V_{pr}} \right)^2 \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中： V_{pm} 为岩体的弹性纵波速度 (km/s)；

V_{pr} 为岩石的弹性纵波速度 (km/s)。

2 当无实测值时，岩体的完整性系数 K_v 可采用岩体体积节理 J_v 按表 A.0.1 的规定确定。

表 A.0.1 岩体体积节理 J_v 与完整性系数 K_v 的对应关系

岩体体积节理 J_v	< 3	3 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 35	≥ 35
完整性系数 K_v	> 0.75	0.75 ~ 0.55	0.55 ~ 0.35	0.35 ~ 0.15	≤ 0.15

3 岩体体积节理 J_v 应针对不同的工程地质岩组或岩性段，选择有代表性的露出面或开挖壁面进行节理（结构面）统计，有条件时宜选择两个正交岩体壁面进行统计。水平测线长度不宜小于 5 m，垂直侧线长度不宜小于 5 m。对迹线长度大于 1 m 的分散节理予以统计，已为硅质、铁质、钙质胶结的节理不应参与统计。 J_v 值应根据节理统计结果按式 (A.0.1-2) 计算。

$$J_v = \sum_{i=1}^n S_i + S_0 \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： n 为统计区域内结构面组数；

S_i ($i = 1, \dots, n$) 为第 i 组结构面沿法向每米长结构面的条数;

S_0 为每立方米岩体非成组节理条数。

A.0.2 隧洞围岩岩体基本质量指标 BQ 的确定应符合下列规定:

1 隧洞围岩岩体基本质量指标 BQ, 可根据岩体的完整性系数 K_v 和岩石单轴饱和抗压强度 R_c 确定, 按式 (A.0.2-1) 进行计算。

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \quad (A.0.2-1)$$

按式 (A.0.2-1) 计算时, 应符合下列规定:

- 1) 当 $R_c > 90K_v + 30$ 时, 应以 K_v 和 $R_c = 90K_v + 30$ 带入计算 BQ 值。
- 2) 当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时, 应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 代入计算 BQ 值。

2 当遇有下列情况之一时, 应对岩体基本质量指标 (BQ) 进行修正, 并以修正后获得的工程岩体基本质量指标按表 4.1.5 重新进行围岩分级。

- 1) 有地下水;
 - 2) 岩体稳定性受结构面影响, 且有一组起控制作用;
 - 3) 工程岩体存在由强度应力比所表征的初始应力状态。
- 3 基本质量指标修正值[BQ], 按式 (A.0.2-2) 进行计算。

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (A.0.2-2)$$

式中: K_1 为反映地下水影响的修正系数, 可按表 A.0.2-1 的规定确定;

K_2 为反映主要结构面产状影响的修正系数, 可按表 A.0.2-2 的规定确定;

K_3 为反映初始应力状态影响的修正系数, 可按表 A.0.2-3 的规定确定。

表 A.0.2-1 反映地下水影响的修正系数 K_1

地下水发育程度	BQ				
	> 550	550 ~ 451	450 ~ 351	350 ~ 251	≤ 250

潮湿或点滴状出水, $p \leq 0.1$ 或 $Q \leq 25$	0	0	0 ~ 0.1	0.2 ~ 0.3	0.4 ~ 0.6
淋雨状或线流状出水, $0.1 < p \leq 0.5$ 或 $25 < Q \leq 125$	0 ~ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.4 ~ 0.6	0.7 ~ 0.9
涌流状出水, $p_w > 0.5H$	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.4 ~ 0.6	0.7 ~ 0.9	1.0

注: 1 p 为围岩裂隙水压 (MPa) ;

2 Q 为每 10 m 洞长出水量 (L/min·10 m) 。

表 A.0.2-2 反映主要结构面产状影响的修正系数 K_2

结构面产状及其与 洞轴线的组合关系	结构面走向与洞 轴线夹角 $< 30^\circ$ 结构面倾角 $30^\circ \sim 75^\circ$	结构面走向与洞 轴线夹角 $> 60^\circ$ 结构面倾角 $> 75^\circ$	其他组合
K_2	0.4 ~ 0.6	0 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4

表 A.0.2-3 反映初始应力状态影响的修正系数 K_3

围岩强度应力比 ($R_c/\sigma_{\max}$)	BQ				
	> 550	550 ~ 451	450 ~ 351	350 ~ 251	≤ 250
< 4	1.0	1.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.5	1.0
4 ~ 7	0.5	0.5	0.5	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.0

附录 B 岩体地质力学分类方法 (RMR) 的有关规定

B.0.1 岩体质量可通过岩体地质力学分类方法 (RMR) 进行评分, 评分标准可通过表 B.0.1 确定。

表 B.0.1 岩体地质力学分类方法 (RMR) 分类参数及评分标准

参 数			评分标准						
1	岩石抗压强度 (MPa)		> 250	100 ~ 250	50 ~ 100	25 ~ 50	5 ~ 25	1 ~ 5	< 1
	评 分		15	12	7	4	2	1	0
2	岩石质量指标 RQD (%)		90 ~ 100	75 ~ 90	50 ~ 75	25 ~ 50	< 25		
	评 分		20	15	10	8	5		
3	不连续面间距 (cm)		>200	60 ~ 200	20 ~ 60	6 ~ 20	< 6		
	评 分		20	15	10	8	5		
4	不连续面特征	表面粗糙度	很粗糙	较粗糙	较粗糙	光滑	—		
		充填物	—	—	—	或< 5 cm	> 5 mm		
		张开度	未张开	< 1 mm	< 1 mm	1 ~ 5 cm	或> 5 mm		
		连续性	不连续	—	—	连续	连续		
		岩石风化程度	未风化	微风化	强风化	—	—		
	评 分		30	25	20	10	0		
5	地下水	每 10 m 洞长流量 (l/min)	无	< 10	10 ~ 25	25 ~ 125	> 125		
		状态	干燥	湿润	潮湿	滴水	流水		
	评 分		15	10	7	4	0		
6	不连续面产状	走向垂直洞线			走向平行洞线		倾角 0 ~ 20 ° 与走向无关		
		顺倾向开挖		逆倾向开挖					

与洞向 关系	倾角 45°~90°	倾角 20°~45°	倾角 45°~90°	倾角 20°~45°	倾角 45°~ 90°	倾角 20°~ 45°	
折减分	0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

B.0.2 岩石质量指标 ROD 可按式 (B.0.2) 进行计算。

$$ROD = (\sum L_i / L_T) \times 100\% \quad (B.0.2)$$

式中： $\sum L_i$ 表示连续长度大于 10 cm 的完整岩芯的总和；

L_T 表示岩芯钻进的总长度。

附录 C 混凝土与钢筋参数的有关规定

C.0.1 混凝土强度标准值、混凝土强度设计值、混凝土极限强度值应分别按表 C.0.1-1、C.0.1-2 和 C.0.1-3 的规定确定。

表 C.0.1-1 混凝土强度标准值 (MPa)

强度类别	混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度 f_{ck}	10	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4
弯曲抗压强度 f_{cmk}	11	15	18.5	22	26	29.5	32.5	36
轴心抗拉强度 f_{ctk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.2	2.39	2.51	2.64

注：1.混凝土垂直浇注，且一次浇注层高度大于1.5m时，表中强度值应乘以系数0.9。

2. 计算现浇钢筋混凝土轴心受压构件时，截面中的边长或直径小于30cm，表中强度值应乘以系数0.8。

表C.0.1-2 混凝土强度设计值 (MPa)

强度类别	混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度 f_{cd}	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1
弯曲抗压强度 f_{cmd}	8.5	11	13.5	16.5	19	21.5	24	27.5
轴心抗拉强度 f_{ctd}	0.91	1.1	1.27	1.43	1.57	1.71	1.8	1.89

表C.0.1-3 混凝土极限强度值 (MPa)

强度类别	混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度 R_a	12	15.5	19	22.5	26.3	29.5	33.6	36.5
弯曲抗压强度 R_w	15	19.4	23.6	28.1	32.9	36.9	42	45.6
轴心抗拉强度 R_t	1.4	1.7	2	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1

C.0.2 混凝土弹性模量应按表 C.0.2 的规定确定，混凝土剪切模量可按表中数值乘以 0.43 采用，泊松比可采用 0.2。

表 C.0.2 混凝土弹性模量 (GPa)

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
弹性模量 E_c	22	25.5	28	30	31.5	32.5	33.5	34.5

C.0.3 喷射混凝土强度设计值和弹性模量应分别按表 C.0.3-1 和表 C.0.3-2 的规定确定。

C.0.3-1 喷射混凝土强度设计值(MPa)

强度类别	混凝土强度等级				
	C20	C25	C30	C35	C40
轴心抗压强度 f_c	15.5	19.0	22.5	26.3	29.5
弯曲抗压强度 f_{cm}	19.4	23.6	28.1	32.9	36.9
轴心抗拉强度 f_t	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7

注：1 喷射混凝土的强度指采用喷射大板切割法，制作成边长为10 cm的立方体试块，在标准条件下养护28d，用标准试验方法所得的极限抗压强度乘以系数0.95。

2 黏结力可采用劈裂法或在喷层上直接拉拔测定。

表 C.0.3-2 喷射混凝土弹性模量 (GPa)

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40
弹性模量 E_h	23	26	28	30	31.5

C.0.4 C20 喷射混凝土极限强度可采用：轴心抗压强度 15 MPa；弯曲抗压强度 18 MPa；抗拉强度 1.3 MPa。喷射混凝土与围岩的黏结强度可采用：I、II级围岩，不应低于 0.8 MPa；III级围岩，不应低于 0.5 MPa。

C.0.5 喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度不应低于 5 MPa。钢纤维喷射混凝土的设计强度等级不应低于 C25，抗拉强度不应低于 2 MPa，抗弯强度不应低于 6 MPa。

C.0.6 钢筋抗拉和抗压强度设计值应按表 C.0.6 的规定确定。

表 C.0.6 钢筋抗拉和抗压强度设计值 (MPa)

钢筋牌号	HPB300	HRB400	HRB500
抗拉强度设计值 f_y	270	360	435
抗压强度设计值 f'_y	270	360	410

C.0.7 钢筋屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉或抗压强度标准值可按表 C.0.7 的规定采用。

表 C.0.7 钢筋屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉或抗压强度标准值 (MPa)

钢筋牌号	HPB300 ($d = 6 \sim 22 \text{ mm}$)	HRB400 ($d = 6 \sim 50 \text{ mm}$)	HRB500 ($d = 6 \sim 50 \text{ mm}$)
屈服强度标准值 f_{yk}	300	400	500
极限强度标准值 f_{stk}	420	540	630
抗拉或抗压强度标准值 R_g	300	400	500

注：表中 d 为钢筋直径。

C.0.8 钢筋弹性模量、最大力下的总伸长率应按表 C.0.8 的规定确定。

表 C.0.8 钢筋弹性模量、最大力下的总伸长率

钢筋牌号	HPB300	HRB400	HRB500
弹性模量 E_s (MPa)	210	200	200
最大力下的总伸长率 A_s (%)	10	7.5	7.5

C.0.9 钢材的强度设计值应根据钢材的不同厚度按表 C.0.9 的规定确定。

表 C.0.9 钢材的强度设计值

钢材		抗拉、抗压和抗 弯 f_d (MPa)	抗剪 f_{vd} (MPa)	端面承压 (刨平 顶紧) f_{cd} (MPa)
牌号	厚度 (mm)			
Q235 钢	≤ 16	190	110	280
	16 ~ 40	180	105	
	40 ~ 100	170	100	
Q355 钢	≤ 16	275	160	355
	16 ~ 40	270	155	
	40 ~ 63	260	150	
	63 ~ 80	250	145	
	80 ~ 100	245	140	
Q390 钢	≤ 16	310	180	370
	16 ~ 40	295	170	
	40 ~ 63	280	160	
	63 ~ 100	265	150	
Q420 钢	≤ 16	335	195	390
	16 ~ 40	320	185	
	40 ~ 63	305	175	
	63 ~ 100	290	165	

注：表中厚度指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件指截面中较厚板件的厚度。

本标准用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，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用词，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用词，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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”；

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”；

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本标准第×章的有关规定”、“应符合本标准第×.×节的有关规定”、“应符合本标准第×.×.×条的有关规定”或“应按本标准第×.×.×条的有关规定执行”。