

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CCTAS XX—XXXX

超大跨度岩石隧洞设计规范

Code for design of super span rock tunnel

征求意见稿

2024.11.23

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 基本规定 5

5 工程勘察 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 资料收集与分析 5

 5.3 测绘 6

 5.4 工程地质勘察 6

 5.5 围岩分级 7

6 方案设计 7

 6.1 一般规定 7

 6.2 隧洞位置选择 7

 6.3 隧洞轴线布置 8

 6.4 横断面设计 8

7 围岩稳定性分析 8

 7.1 一般规定 8

 7.2 稳定性分析方法 8

 7.3 稳定性数值分析 9

 7.4 稳定性评判标准 10

8 支护设计 11

 8.1 一般规定 11

 8.2 喷射混凝土 11

 8.3 锚杆 11

 8.4 锚索 12

 8.5 混凝土衬砌 12

 8.6 一般条件下的喷锚支护设计 13

 8.7 特殊条件下的支护加固设计 14

9 防水与排水 14

 9.1 一般规定 14

 9.2 防水 15

 9.3 排水 15

10 开挖设计 16

 10.1 一般规定 16

 10.2 洞身开挖设计 16

 10.3 洞口开挖设计 17

11 监控量测 18

11.1 一般规定 18

11.2 监测设计 18

11.3 监测实施 19

11.4 反馈分析与动态设计 20

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

超大跨度岩石隧洞设计规范

1 范围

本文件规定了超大跨度岩石隧洞设计的基本规定、工程勘察、方案设计、围岩稳定性分析、支护设计、防水与排水、开挖设计、监控量测等内容。

本文件适用于单跨30m~70m地下新建岩石隧洞工程。

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 50009 建筑结构荷载规范
GB 50021 岩土工程勘察规范
GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
GB 50108 地下工程防水技术规范
GB/T 50218 工程岩体分级标准
GB 50287 水力发电工程地质勘察规范
GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
JGJ/T 372 喷射混凝土应用技术规程
JTG 3370.1 公路隧道设计规范
NB T35090 水电站地下厂房设计规范
SL 279 水工隧洞设计规范
TB 10003 铁路隧道设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1 **超大跨度** **super span**
单拱开挖跨度30m以上。
- 3.2 **软弱结构面** **structural surface of weakness**
力学强度明显低于围岩，一般充填有一定厚度软弱物质的结构面。
- 3.3 **施工勘察** **construction survey**
为进行施工阶段动态设计而进行的工程地质补充勘察。
- 3.4 **超前导洞** **advanced guide tunnel**
隧道设计断面内按施工工序先行开挖的洞室。
- 3.5 **勘探洞** **exploration cave**
为获取工程地质信息在拟建隧洞附近开挖的小型洞室。
- 3.6 **矢跨比** **ratio of rise-span**
隧洞开挖拱高与开挖跨度的比值。
- 3.7 **隧洞轴线** **tunnel axis**
隧洞横断面中心的纵向连线。
- 3.8 **岩石强度应力比** **ratio of rock strength to in-situ stress**
岩石饱和单轴抗压强度与围岩初始最大主应力量值之比。

3.9 整体稳定 overall stability

相对独立的地下洞室单元或洞段围岩不出现整体承载能力失效或使用功能丧失仍然保持稳定的现象。

3.10 块体失稳 block stability

地下洞室岩体受结构面相互切割在临空面形成的块状体冒落或滑落现象。

3.11 柔性支护 flexible support

能密贴围岩或深入到岩体内部，有效地发挥围岩自承能力，允许围岩有一定变形的支护措施。

3.12 锚喷支护 Anchor and shotcrete support

采用锚杆与喷射混凝土形成复合体以加固岩体的措施。

3.13 离壁式衬砌 off-wall lining

与岩壁隔离且其间隙内不做回填的隧道衬砌。

4 基本规定

4.1 超大跨度岩石隧洞设计应符合安全可靠、功能合理、经济适用、节能环保的要求。

4.2 超大跨度岩石隧洞方案应结合功能需求、工程地质条件、水文地质条件和结构跨度等因素综合确定。

4.3 超大跨度岩石隧洞设计应包括方案设计、初步设计、施工图设计三个阶段。

4.4 超大跨度岩石隧洞施工阶段应开展动态反馈分析。

4.5 超大跨度岩石隧洞设计应充分利用围岩的自稳能力，并结合隧洞跨度、施工开挖步序等进行支护设计。

4.6 超大跨度岩石隧洞设计时应贯彻国家有关技术经济政策，执行国家节能、节材和环保等有关法律法规，科学合理采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

5 工程勘察

5.1 一般规定

5.1.1 超大跨度岩石隧洞工程勘察应包括资料收集与分析、测绘、工程地质勘察等。

5.1.2 超大跨度岩石隧洞工程勘察范围应根据隧洞的使用功能、规模大小、场地条件和建设方案等综合确定。

5.2 资料收集与分析

5.2.1 超大跨度岩石隧洞设计资料收集除满足相关行业要求外尚应包括以下内容：

- a) 气象资料：气温、湿度、降水、雾况等；
- b) 地质资料：地形、地貌、区域地质、围岩特性和地质构造、洞口边坡稳定情况、不良地质现象（如滑坡、岩溶、岩爆、有害气体及放射性物质等）、地应力、地震历史、抗震设防烈度、设计地震分组、设计基本地震加速度等；
- c) 水文资料：地表水和地下水情况，地表水包括常水位、防洪水位、防涝水位等，地下水包括地下水位、水温和水化学成分等，特别要查明涌水量丰富的含水层、汇水构造、强透水带以及与地表溪沟连通的断层、破碎带、节理裂隙密集带和喀斯特通道。
- d) 现状及规划资料：区域交通运输、场地周边规划等；
- e) 现场施工条件资料：供水供电、建筑材料来源、装备和机械等。
- f) 与拟建工程有关的社会人文、社会环境、法律法规、方针政策要求及各级政府出台的相关文件等。

5.2.2 超大跨度岩石隧洞应根据收集资料对建设场地稳定性和适宜性进行初步评价,预测开挖时突水(泥)的可能性,估算最大涌水量,提出处理建议。

5.3 测绘

5.3.1 测绘应分阶段进行,各阶段测量成果精度应满足设计需求。

5.3.2 测绘应提交地形图、纵断面图和横断面图等。

5.3.3 测绘工作应符合下列规定:

- a) 工程可行性研究阶段,测绘比例应满足相关审批部门的要求;
- b) 方案设计阶段,测绘比例宜采用 1:1000~1:2000,测绘范围宜取工程轴线两侧各 2km~3km;
- c) 初步设计阶段,测绘比例宜采用 1:500~1:1000,测绘范围宜取工程轴线两侧各 2km~3km;
- d) 施工图设计阶段,测绘比例宜采用 1:500~1:1000,测绘范围宜取工程轴线两侧各 0.5km~1km;
- e) 各阶段测绘范围尚应涵盖大型临时工程所需地形资料。

5.4 工程地质勘察

5.4.1 工程地质调绘宽度应满足工程方案比选及工程地质分析评价的要求,内容应包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质、特殊性岩土等。

5.4.2 工程地质调绘应沿隧洞及其两侧边线进行,调绘点在图上的密度每 100mm×100mm 不应少于 4 个。

5.4.3 工程地质勘察应以工程地质调绘成果为基础,采用钻探、物探、原位测试、室内试验等手段进行综合勘察,条件复杂隧洞应补充勘探洞或水平钻探勘察。

5.4.4 工程地质勘察应分阶段开展工作,方案设计阶段完成初步勘察工作,初步设计阶段完成详细勘察工作,施工图设计阶段必要时开展补充勘察工作。

5.4.5 初步勘察应符合以下规定:

- a) 超大跨岩石隧洞沿轴向布置不宜少于 3 条勘探线,勘探线间距宜为 30~40m,钻孔平面间距不宜大于 50m,深度应进入洞底以下 10~30m。
- b) 物探测线应沿隧洞主轴线纵向布置,跨度 40m 以下的隧洞纵向测线不应少于 1 条,跨度 40~70m 的隧洞纵向测线不应少于 2 条。对地质复杂地段,还应布置横向物探测线,单座隧洞不应小于 2 条。
- c) 地应力测点数量不宜少于 6 个,高地应力地区地应力测点的空间布置应具有代表性,且在高程和平面位置上应相互错开。
- d) 应统计和测试主要软弱结构面的分布形态和结构面力学参数。

5.4.6 详细勘察应符合以下规定:

- a) 勘探线及钻孔应结合初步勘察成果布置,钻孔平面间距不宜大于 30m,深度应进入洞底以下 10~20m。
- b) 物探工作宜在初步勘察物探成果基础上进行,对物探成果异常段落应加密布置测线。
- c) 应对初步勘察地应力结果进行复核。
- d) 应结合地质素描成果,统计结构面的分布形态,复核结构面力学参数。

5.4.7 勘察阶段成果应包括:

- a) 文字说明:隧洞工程概况、勘察方法及工作量布置情况、勘察过程、既有资料利用情况、岩土参数确定方法和依据、自然地理概况、工程地质、水文地质条件等;围岩分级、结构面分布及物理力学参数、岩土物理力学参数等;评价隧洞建设场地的稳定性和适宜性;可能存在的地质风险、施工与周边环境的影响及下阶段勘察工作建议等。

- b) 图表资料：场区工程地质平面图、水文地质平面图、工程地质纵断面图、工程地质横断面图、钻孔柱状图、原位测试成果图表、室内试验成果图表、水文地质试验图表，岩土试验成果分层统计表等。

5.4.8 施工阶段应开展超前地质预报工作，地质变化较大时应进行补充勘察。

5.5 围岩分级

5.5.1 大跨度岩石隧洞工程可行性研究、方案设计及初步设计阶段应进行围岩分级。

5.5.2 围岩分级应符合现行国家标准《工程岩体分级标准》（GB/T 50218）的要求。

5.5.3 超大跨度岩石隧洞围岩分级应对各导洞沿隧道轴线方向分段和隧洞断面横向分块进行。

6 方案设计

6.1 一般规定

6.1.1 超大跨度岩石隧洞方案设计应结合初勘成果对隧洞位置选择、轴线布置及横断面设计等内容进行论证。

6.1.2 超大跨度岩石隧洞方案设计尚应综合考虑支护形式、施工方案、监测设计的要求。

6.2 隧洞位置选择

6.2.1 超大跨度岩石隧洞位置选择应遵循下列原则：

- 超大跨度岩石隧洞位置应综合考虑地形地质、平面布局、围岩稳定性、施工组织及工程造价等因素；
- 隧洞位置宜选择地质构造简单、岩体坚硬完整、上覆岩层厚度适宜以及构造应力利于成洞区段，应避开较大断层、高地应力区、节理裂隙发育区；
- 隧洞布置应考虑结构面分布与产状，避免在隧洞上方形成不稳定块体；
- 隧洞位置不宜布置在冲沟及地下水发育区域。不可避免时，应进行专门论证；
- 隧洞位置不宜布置在 8 度及以上地震设计烈度区。

6.2.2 超大跨度岩石隧洞洞口宜选在地质构造简单，岩体完整，基岩裸露地段，避开不良地质构造和易发生崩塌、冲沟、落石、滑坡等地段。

6.2.3 超大跨度岩石隧洞宜布置在 IV 级以上岩体内，不同跨度隧洞所要求围岩级别可参考表 1，不满足情况下应进行专门论证。

表 1 超大跨度岩石隧洞选址岩体条件要求

序号	跨度	岩体条件要求
1	$30\text{m} \leq B < 40\text{ m}$	整体围岩级别宜 IV 级以上
2	$40\text{ m} \leq B < 50\text{ m}$	围岩级别宜 III 级为主，其比例宜大于 70%
3	$50\text{ m} \leq B < 70\text{ m}$	整体围岩级别宜 III 级以上
注：B 为隧洞跨度		

6.2.4 超大跨度岩石隧洞岩体覆盖层厚度应能使隧洞上部形成稳定的承载圈，隧洞整体上覆完整岩体厚度宜大于洞室跨度的 2.0 倍，不满足时应专项论证。

6.2.5 超大跨度岩石隧洞洞口覆岩厚度应用三维整体分析确定，并考虑边仰坡稳定性。

6.3 隧洞轴线布置

- 6.3.1 超大跨度岩石隧洞轴线布置应综合考虑结构面发育特征、岩石强度应力比、地应力方位及地下水运动路径因素，避开暗穴、溶洞、偏压、富水等不利地段。
- 6.3.2 超大跨度岩石隧洞的轴线与围岩的主要结构面（断层、褶皱、节理、裂隙）走向夹角不宜小于 50° 。
- 6.3.3 主洞室与附属洞室交叉口应避免布置在结构面发育地段，且宜采用大的夹角；相交位置宜选用洞墙相交，避免选用拱部相交的型式。
- 6.3.4 矢跨比小于0.3的扁平状矮边墙隧洞，其洞身布置宜考虑水平地应力对洞室稳定的有利影响。
- 6.3.5 两相邻主洞室的最小净距不宜小于开挖隧洞跨度的2.0倍，不满足时应专项论证。

6.4 横断面设计

- 6.4.1 隧洞横断面设计应综合考虑功能需求、工程地质、地应力、岩体稳定性、施工方法、工程造价等因素。
- 6.4.2 圆拱直墙断面的矢跨比应根据地应力条件、结构受力、经济性进行比选，在水平应力为主应力地段矢跨比不宜大于0.35。
- 6.4.3 扩大拱脚断面隧洞拱脚应位于坚实岩石基础上，并应有防止拱脚处应力集中、岩体失稳的措施。
- 6.4.4 洞室轮廓宜避免突变和锐角，若采用圆拱直墙形断面，宜对顶拱拱座部位进行修圆处理。
- 6.4.5 预计开挖后将出现持续大变形的塑性流变岩体中的洞室，断面设计应预留围岩变形量，宜采用圆形、椭圆形等曲线形断面。
- 6.4.6 马蹄形或曲墙仰拱断面宜通过计算分析确定结构轮廓线。

7 围岩稳定性分析

7.1 一般规定

- 7.1.1 超大跨度岩石隧洞工程围岩应进行整体稳定和块体稳定分析。
- 7.1.2 超大跨度岩石隧洞围岩稳定性分析应考虑下列因素：
 - a) 地形、地质条件、结构面、初始地应力场、地下水、隧洞布置；
 - b) 隧洞开挖施工方案；
 - c) 隧洞支护型式、参数、支护时机；
 - d) 地震动参数；
 - e) 室内与现场试验、测试、监测与检测成果。
- 7.1.3 超大跨度岩石隧洞围岩稳定分析，应根据围岩地质条件和地应力场，对主体洞室的支护设计参数、施工方案进行分析论证，评价围岩稳定性。
- 7.1.4 隧洞围岩稳定性分析的岩体与结构面物理力学参数取值应考虑施工爆破和开挖卸荷影响。
- 7.1.5 超大跨度岩石隧洞的稳定性分析宜主要考虑结构面因素；岩石强度应力比小于4.0时，稳定性分析宜主要考虑地应力因素并兼顾结构面因素。
- 7.1.6 超大跨度岩石隧洞应根据工程建设进度动态开展稳定分析。

7.2 稳定性分析方法

- 7.2.1 超大跨度岩石隧洞围岩稳定性分析方法可根据不同设计阶段分别采用地质分析法、数值分析法、动态监测反馈分析法等。
- 7.2.2 超大跨度岩石隧洞围岩稳定可先采用地质分析法进行初步分析，并采用数值分析法进行稳定性校核及设计优化，施工阶段根据监测数据采用反馈分析法。
- 7.2.3 采用地质分析法对围岩进行稳定性分析时，通过综合分析围岩地质条件及地应力量级等，初步确定围岩稳定性、岩体破坏方式、支护型式和支护参数。
- 7.2.4 采用数值分析法对围岩进行稳定性分析时，整体稳定性计算可采用有限元法、有限差分法，节理发育的岩体可采用离散元法和非连续变形法，局部块体稳定分析可采用刚体极限平衡法。
- 7.2.5 采用数值分析法进行超大跨度地下岩石隧洞稳定性分析的步骤如下：
- 建立分析对象的物理力学模型（如单个或交岔隧洞、地应力、边界条件、荷载等）。
 - 确定结构面（如显著不连续节理裂隙、断层等）产状、优势结构面连通率等信息，并根据现场测试确定主要结构面物理力学参数。
 - 根据结构面组合切割确定潜在不稳定块体。
 - 模拟锚杆、锚索等支护结构、施工方案。
 - 根据稳定评判标准评估岩体稳定性，重点关注潜在不稳定块体的安全系数。
 - 岩体稳定性不满足要求时，调整支护结构或施工方案，经技术经济比选确定支护设计参数和施工方法。
 - 施工期根据地质揭露、监测反馈修正数值计算模型，对工程稳定性进行重新评估。
- 7.2.6 采用动态监测反馈分析法进行超大跨度地下岩石隧洞稳定性分析的步骤如下：
- 监测传感器布置。在关键部位布置布设各种如应力、位移、温度、压力传感器等，以全面覆盖和监测地下工程的不同方面。
 - 实时数据采集。通过传感器实时采集围岩和支护结构的状态数据，如应力变化、变形情况、温度变化等。
 - 数据分析与处理。对大量监测数据进行甄别、处理和分析，识别出潜在的稳定性问题和风险。
 - 安全预警与反馈。建立自动化安全预警系统，当监测数据超出安全阈值时预警预报，提示工程建设相关人员采取相应措施。
 - 工程方案调整与优化。根据监测数据和反馈分析结果，实时调整工程施工和设计方案，优化支护结构，确保工程安全和稳定。
- 7.2.7 超大跨度岩石隧洞洞口、交叉口等三维特征和效应明显地段的整体稳定分析宜采用三维数值模型。
- ### 7.3 稳定性数值分析
- 7.3.1 稳定性数值分析应贯穿超大跨度地下岩石隧洞工程勘察、设计、施工全过程。
- 7.3.2 超大跨度岩石隧洞围岩整体稳定数值分析宜根据围岩性质及地应力条件按下列原则选用力学模型：
- 硬岩宜采用弹脆性或弹脆塑性力学模型；
 - 中硬岩宜采用弹塑性或弹脆塑性力学模型；
- 7.3.3 围岩整体稳定数值分析应模拟地应力场、支护方案、开挖与支护顺序等工程因素，宜考虑地下水影响。
- 7.3.4 稳定性数值分析应根据勘察资料、开挖揭露的地质条件及超前地质预报成果，及时动态更新地质信息模型及参数，并应考虑施工期开挖爆破及卸荷松弛导致的围岩损伤影响。

- 7.3.5 围岩稳定数值分析计算模型应反映计算区域已揭示的 IV 级以上结构面；对于层状结构岩体宜模拟节理岩体和破碎带岩体。
- 7.3.6 围岩整体稳定数值分析时，断层可采用实体单元、界面单元或其他能反映断层影响的方法模拟；若断层及其影响带的宽度较大时，宜采用实体单元模拟。
- 7.3.7 稳定性计算分析大型非定位块体的不完全切割边界应考虑其连通率。
- 7.3.8 块体稳定分析可参考《水电站地下厂房设计规范》NB T35090 规定执行。

7.4 稳定性评判标准

- 7.4.1 围岩稳定性应根据其失稳特性采用不同的评判方式：
- a) 围岩整体稳定性应采用多种方法从定性和定量两方面进行综合性评判。
 - b) 局部块体稳定性宜采用定量方式进行评判。
- 7.4.2 超大跨度岩石隧洞围岩整体稳定性评判宜根据围岩应力、变形、收敛性、松弛区或塑性区等判别指标，结合工程类比，从强度准则和临界变形警戒值等评判。
- 7.4.3 围岩稳定数值分析稳定性辨别应综合考虑围岩塑性区、松弛区、应力和应变、变形、能量耗散等各种判别指标，对围岩的稳定状况进行综合评价。当数值分析出现下列情形时可判定围岩的稳定性差或可能失稳：
- a) 给定条件下数值计算过程不收敛但提高岩体强度参数后收敛；
 - b) 岩墙、岩柱部位的塑性区出现贯通；
 - c) 支护结构受力的计算值大于设计值。
- 7.4.4 超大跨度岩石隧洞局部块体稳定可采用刚体极限平衡法评判，安全系数标准需满足表 2。

表 2 超大跨度岩石隧洞块体稳定分析安全系数标准

失稳模式	组合形式	安全系数标准
滑移型块体	确定性块体	1.80
	半确定性块体	
	随机块体	
悬吊型块体	确定性块体	2.00
	半确定性块体	
	随机块体	
临时块体	/	1.50

注：滑移型块体分为单滑面式块体和双滑面式块体进行计算，悬吊型块体按悬吊式理论计算。

- 7.4.5 超大跨度岩石隧洞施工阶段围岩稳定性应结合现场监控测量成果综合评判，评判标准如下：
- a) 隧洞开挖支护完成后，初期支护变形速率小于 0.1 mm/d~0.2 mm/d，支护结构内力的增长速率趋近于零，经现场地质观察未见明显异常情况，则可判定隧洞围岩稳定；
 - b) 隧洞开挖支护完成后，位移增长速率趋于平缓，支护结构内力的增长速率趋于平缓，但监测数值的总量和增量还在预测的范围之内，经现场地质观察未见明显异常情况，则可判定隧洞围岩稳定预警；
 - c) 隧洞开挖支护完成后，位移增长速率无明显下降，支护结构内力的增长速率无明显下降，监测数值的总量和增量达到或超出预测的范围，现场隧洞（喷）混凝土可见明显裂缝；则可判定隧洞围岩稳定危险。

7.4.6 超大跨度岩石隧洞稳定性状态评估和建议措施可按表 3 执行。

表 3 稳定性状态评估和建议措施

稳定性判定项目及状态				状态评估	建议措施
变形	塑性区或松动区	应力	支护系统及其他		
正常	正常	正常	正常	安全	/
局部大变形	局部贯通	局部应力异常	异常	关注	评估局部补强措施的效果
大变形	贯通	应力异常	异常	预警	研究补强加固或其它措施

8 支护设计

8.1 一般规定

8.1.1 超大跨度岩石隧洞支护设计应综合考虑地质条件、工程性质和使用功能等因素，利用围岩自身承载力，支护形式选择原则如下：

- 宜优先选用柔性支护；
- 当单独使用柔性支护难以满足围岩稳定要求时，应采用柔性支护与钢筋混凝土衬砌相结合的组合支护方式；
- 支护设计应理论分析和工程类比相结合，并根据监测结果对原设计参数进行调整。

8.1.2 超大跨度岩石隧洞的支护设计应符合下列要求：

- 支护强度应使围岩不因开挖导致大变形或失稳；
- 锚索有效长度应穿过加固部位围岩深层变形区边界；
- 锚杆长度应大于加固部位围岩损伤破裂区深度。

8.2 喷射混凝土

8.2.1 喷射混凝土支护宜优先钢纤维混凝土、合成纤维混凝土等。

8.2.2 喷射混凝土设计强度等级不应低于 C30，1d 龄期的抗压强度不应低于 8MPa。

8.2.3 喷射钢纤维混凝土的强度等级不应低于 CF30，其抗拉强度标准值应高于相同强度等级素混凝土抗拉强度标准值的 30%。

8.2.4 钢筋网喷射混凝土应符合下列规定：

- 钢筋宜采用 HPB300 钢筋，钢筋直径宜为 6mm~12mm；
- 钢筋间距宜为 100mm~200mm；
- 钢筋保护层厚度不应小于 20mm；
- 钢筋网片搭接长度不应小于 200mm；
- 当喷射混凝土设计厚度大于 150mm，宜设置双层钢筋网。

8.3 锚杆

8.3.1 超大跨度岩石隧洞锚杆支护型式包括系统锚杆和随机锚杆。

8.3.2 超大跨度岩石隧洞系统锚杆宜采用中空锚杆，随机锚杆可采用水泥砂浆锚杆。

8.3.3 超大跨度岩石隧洞系统锚杆布置设计需符合下列规定：

- a) 系统锚杆宜与隧洞周边轮廓垂直布置；围岩主结构面产状对隧洞稳定不利时，应将锚杆与结构面呈较大角度设置；
- b) 系统锚杆最大长度宜大于围岩损伤破裂区深度，宜采用长短相间布置方式。
- c) 系统锚杆间距不宜大于锚杆长度的 1/2。当围岩条件较差、地应力较高或隧洞开挖尺寸较大时，锚杆布置间距应适当加密。

8.3.4 超大跨度岩石隧洞系统锚杆设计应符合下列规定：

- a) 杆体钢筋直径宜为 22mm~32mm，且与其长度相匹配；杆体直径大于 32mm 的锚杆时，应采取孔内居中措施；
- b) 杆体材料宜采用 HRB400 级钢筋，杆体设计强度为标准强度的 60%~70%；
- c) 水泥砂浆锚杆的砂浆保护层厚度不小于 8mm；强度等级不应低于 M20。

8.3.5 超大跨度岩石隧洞预应力锚杆设计需遵守下列规定：

- a) 锚杆直径应随锚杆长度增加而增大，杆体直径宜为 25mm~32mm，长度宜为 8m~12m；
- b) 杆体宜采用 HRB400 及以上等级钢筋；锚杆设计张拉力宜为钢筋抗拉强度设计值的 40%~60%；在地应力较高或后期变形较大洞段锚杆设计张拉力宜取低值。
- c) 锚杆宜全长注浆，锚固段灌浆体宜选用水泥浆或水泥砂浆等胶结材料，其抗压强度不宜低于 30MPa；张拉段水泥砂浆强度等级不应低于 M20；
- d) 采用其他速凝型、缓凝型胶结材料作为灌浆体时，除满足上述强度要求外，还应满足稳定性和耐久性要求。

8.4 锚索

8.4.1 超大跨度岩石隧洞预应力锚索设计需符合下列规定：

- a) 非对穿锚索锚头锚入稳定岩体的深度应不小于 1.0m；
- b) 锚索应采用高强度、低松弛钢绞线，单根锚索钢绞线股数宜为 6 股~19 股；锚索荷载达到承载力设计值时，钢丝或钢绞线的应力不应大于其抗拉强度标准值的 60%。
- c) 锚索设计张拉力应根据设置部位、围岩应力和变形状况确定，宜为锚索承载力设计值的 60%~90%，对高应力区、高边墙等后期变形较大部位，设计张拉力应取小值；对局部不稳定块体，设计张拉力应取大值；
- d) 锚索宜采用无粘结压力分散型；锚固段灌浆材料宜选用水泥砂浆或水泥浆，强度等级不宜低于 M30；其它速凝型、缓凝型灌浆材料除满足上述强度要求外，还应满足材料的稳定性和耐久性要求；
- e) 锚索的锚墩应满足刚度、锁定和结构尺寸要求，一般情况下宜采用钢筋混凝土锚墩；因布置或施工需要，在保证其刚度、防腐和防锈的情况下，也可采用钢锚墩。

8.4.2 超大跨度岩石隧洞预应力锚索的间距应考虑群锚效应并与系统锚杆布置协调，其间距应大于锚固段最大直径的 4 倍和 1.5m 中的最大值。

8.5 混凝土衬砌

8.5.1 超大跨度岩石隧洞根据功能、防水及受力等需求宜设置离壁式混凝土衬砌或贴壁式混凝土衬砌。

8.5.2 超大跨度岩石隧洞混凝土衬砌结构按照极限状态法验算构件强度。

8.5.3 超大跨度岩石隧洞混凝土衬砌构件承载力计算时应验算其抗弯、抗剪强度。正常使用状态要求应根据构件所处的环境类别、安全等级确定。

8.5.4 贴壁式混凝土衬砌施作时机应满足下面要求：

- a) 拱顶连续两周下沉速度小于 0.1mm/天；
- b) 且累计下沉速率小于 0.5mm/周。

8.5.5 贴壁式混凝土衬砌宜采用荷载结构法计算，结构承担的荷载可采取以下几种方式计算：

- a) 将塑性区内岩体重力作为支护结构承受的围岩压力，混凝土衬砌考虑承担一定比例的围岩压力和不稳定块体荷载；
- b) 当岩体性质相松散时，可采用普氏公式计算围岩压力，混凝土衬砌考虑承担一定比例的围岩压力；
- c) 对于块状、中厚层至厚层状结构的围岩，可根据围岩中不稳定块体的重力作用确定围岩压力。

8.5.6 贴壁式混凝土衬砌和初期支护围岩压力分担比例可结合数值计算、变形协调分析、初期支护强度、耐久性和类似工程经验确定。

8.5.7 离壁式混凝土衬砌宜考虑一定的不稳定块体掉落引起的局部压力，选取安全系数小于 2.0 的不稳定块体进行荷载计算。

8.6 一般条件下的喷锚支护设计

8.6.1 超大跨度岩石隧洞锚喷支护设计应贯彻动态设计的原则，并应符合下列规定：

- a) 初步设计阶段，应根据围岩级别和隧洞尺寸，按表 4 的规定，初步选定锚喷支护类型和参数；
- b) 施工设计阶段，应根据开挖过程揭示的隧洞围岩地质条件，详细划分围岩级别，并应通过监控量测结果的综合分析修正初步设计；
- c) 当地质条件复杂多变时，宜分段进行工程类比设计。

8.6.2 当隧洞高跨比大于 1.2，边墙支护参数应根据工程的具体情况，予以加强；当隧洞高跨比大于 2.0 时，边墙支护应采用长度不小于边墙高度 0.3 倍的预应力锚索支护，并视具体情况在系统锚杆间布设随机砂浆锚杆予以加强。

表 4 高跨比 ≤ 1.2 超大跨度岩石隧洞锚喷支护类型和设计参数

围岩等级	开挖跨度 B(m)	
	30<B $\leq$ 50	50<B $\leq$ 70
I 级围岩	厚 150mm~200mm 钢筋网喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 5.0m 砂浆锚杆和长 6.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆	厚 150mm~200mm 钢筋网喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 6.0m 砂浆锚杆和长 9.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆
II 级围岩	厚 180mm~200mm 钢筋网或钢纤维喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 6.0m 砂浆锚杆和长 8.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆；必要时布置长度 ≥ 10.0 m、张拉应力 1500kN~2000kN 的预应力锚索	厚 180mm~200mm 钢筋网或钢纤维喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 6.0m 砂浆锚杆和长 9.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆；长度 ≥ 15.0 m、张拉应力 2000kN~2500kN 的预应力锚索
III 级围岩	厚 200mm~250mm 钢筋网或钢纤维喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 6.0m 砂浆锚杆和长 9.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆；必要时布置长度 ≥ 15.0 m、张拉应力 2000kN~2500kN 的预应力锚索	厚 200mm~250mm 钢筋网或钢纤维喷混凝土；1.5m~2.0m 相间布置长 9.0m 砂浆锚杆和长 12.0m、张拉应力 100kN~200kN 的预应力锚杆；长度 ≥ 20.0 m、张拉应力 2500kN~3000kN 的预应力锚索

- 注：1 表中的支护类型和参数,是指隧洞的永久支护,包括初期支护和后期支护的类型和参数;
2 复合衬砌的隧洞,初期支护采用表中的参数时,应根据工程的具体情况,予以减小;
3 表中凡标明有 1 和 2 两款支护参数时,可根据围岩特性选择其中一款作为设计支护参数;
4 表中表示范围的支护参数,隧洞开挖跨度小时取小值,洞室开挖跨度大时取大值;
5 表中级别围岩是指洞段内的主体围岩。

8.7 特殊条件下的支护加固设计

8.7.1 超大跨度岩石隧洞在下列特殊条件下,应开展针对性支护加固设计:

- a) 穿越断层、破碎带的洞段;
- b) 易岩爆和大变形的洞段;
- c) 易块体失稳的洞段;
- d) 交叉口、断面尺寸突变处、断面形状突变处等特殊部位;
- e) 岩柱、边墙、中隔墙等易卸荷松弛部位。

8.7.2 超大跨度岩石隧洞地质条件较差洞段的支护加固设计范围应沿隧洞轴线向邻近高级别围岩洞段延伸 0.5 倍洞跨。

8.7.3 超大跨度岩石隧洞局部围岩完整性较差、裂隙发育洞段,应对围岩进行低压固结灌浆处理,固结灌浆压力不应超过支护承载能力。

8.7.4 超大跨度岩石隧洞边墙遭遇大范围展布的缓倾剪切带、破碎带时,可在围岩内部设置混凝土梯式阻滑群洞。

8.7.5 超大跨度岩石隧洞的极度破碎岩体洞段,可采用管棚注浆法予以超前加固后进行开挖。

8.7.6 超大跨度岩石隧洞易岩爆洞段,宜及时喷射混凝土封闭,并采用预应力锚杆、预应力锚索等能提供主动抗力的支护措施。

8.7.7 超大跨度岩石隧洞易大变形洞段,宜采用喷射混凝土、自进式中空锚杆、锚索和 H 型钢拱架的组合支护体系,钢拱架间距不大于 1.0m,钢拱架间应设纵向连杆。

8.7.8 超大跨度岩石隧洞(群)交叉口、断面尺寸突变处、断面形状突变处等特殊部位,锚杆宜采用适当加长的预应力锚杆进行加固。

8.7.9 超大跨度岩石隧洞群开挖后形成的岩柱或中隔墙,应采用对穿锚索予以加强支护,锚索张拉应力不宜小于 2000kN。

8.7.10 超大跨度岩石隧洞易块体失稳洞段,应采用预应力锚杆束或锚索加固,其锚固端(段)在稳定岩体中的长度应满足锚固要求,且不应小于 1.5m。

9 防水与排水

9.1 一般规定

9.1.1 防排水设计应遵循“以排为主、防排结合”的设计原则。

9.1.2 超大跨隧洞防水体系应综合考虑根据工程防水等级、工程地质、水文地质,以及由于隧洞修建可能引起的周边环境改变等因素。

9.1.3 隧洞的排水应符合保护环境要求、防止次生灾害发生。

9.1.4 对穿过隧洞的集中渗水通道或渗水会造成岩体稳定恶化的软弱结构面、岩溶和溶隙发育地带,其防排水设计应做专项研究。

9.1.5 防水混凝土、接缝防水、止水带、止水条等应符合现行《地下工程防水技术规范》GB50108 相关要求。

9.2 防水

9.2.1 超大跨度岩石隧洞防水系统应包括地表处理、围岩防渗处理、防水层、衬砌结构防水、接缝部位防水等根据需要组合构成。

9.2.2 超大跨度岩石隧洞施工前对地表水处理需符合下列要求：

- a) 洞口附近和浅埋段应整平洞顶地表，不得积水；
- b) 地表坑洼、钻孔、深坑等处应结合截排水条件，回填不透水土，并分层夯实；
- c) 洞顶有流水的沟槽，宜根据沟槽的状况予以整治引排水流，必要时可铺砌沟床；
- d) 洞顶有水塘、水池、河流、水库等应予整治，必要时应对河床、池底进行防渗铺砌，溢水水池应设置疏导沟渠；
- e) 浅埋段、岩层松散破碎，地下水位较高或有涌水时，经技术经济比较，可采用地表注浆方式进行加固处理。

9.2.3 围岩渗水、涌水较大的地段，可采取向围岩内注浆堵水措施。

9.2.4 初期支护与混凝土衬砌之间应设置防水层。

9.2.5 离壁式衬砌及锚杆穿透防水层地段宜采用喷膜防水，贴壁式衬砌开挖跨度大于 40m 则宜选用喷膜防水。

9.2.6 喷膜防水宜采用橡胶沥青喷膜防水、丙烯酸盐喷膜防水。

9.2.7 喷膜作业前应达到以下要求：

- a) 应检查喷射混凝土基层平整度，基层表面宜平整、洁净，外漏的锚杆头等突出物应予以割除；凹凸不平处应补喷、抹平，局部漏水处应先采进行处理；
- b) 喷射混凝土采用钢纤维喷射混凝土时，应对喷射混凝土面进行砂浆抹面找平；
- c) 砂浆找平层外应铺设土工布等柔性防水材料。土工布固定宜采用热熔垫片与射钉固定，使其与岩面密贴，尽量平整，土工布接缝位置搭接不宜小于 15cm。

9.2.8 初支预留钢筋等刺穿防水层时，应符合以下要求：

- a) 对预留钢筋根部应进行砂浆找平；
- b) 柔性防水材料预留钢筋外露段靠根部的一截应包裹严实，包裹长度不小于 10cm，应采用扎丝或棉布条绑扎牢固，并在包裹的末端采用膨胀橡胶密封环密封；
- c) 喷膜防水层施工时，应对该部位进行加强处理，喷膜厚度不小于扎丝或棉布条绑扎缠绕厚度的两倍。

9.3 排水

9.3.1 隧洞的排水系统应包括地表截排水、洞内侧沟或中心水沟、衬砌背后环纵盲管、排水板带、横向排水管、检查井等。

9.3.2 隧洞的排水量预估应考虑大开挖引起的渗流面增加及开挖引起的导流效应。

9.3.3 岩体设计渗水量宜根据水文地质条件和采取防渗排水措施结合三维渗流分析确定。

9.3.4 洞外排水应符合下列要求：

- a) 洞外排水系统应避开不良、不稳定地质体，当无法避开时，应先采取处理措施；
- b) 洞外排水系统应避免对相邻工程及其基础产生冲击、冲刷、淘蚀及浸泡等不利影响；当难以避免时，相邻工程应采取保护措施；
- c) 洞外施工期间排水应结合永久排水系统、辅助坑道设置统筹考虑，引排到自然沟谷中；
- d) 洞外排水沟渠宜采用可防止泥砂淤积的排水坡度，但应避免流速过大导致沟渠毁损，其采用的建筑材料应具有防冲刷的能力，必要时设置消能设施。

9.3.5 隧道内排水应符合下列规定：

- a) 路面两侧应设排水边沟；
- b) 路侧边沟排水坡度宜与隧道纵坡一致；
- c) 路侧边沟水面顶部标高低于路面结构层底不宜小于 50mm。

9.3.6 贴壁式衬砌隧洞排水设施应符合下列规定：

- a) 衬砌两侧边墙背后底部应设置纵向排水管，孔径不宜小于 100mm；
- b) 沿衬砌背后应设置导水设施，可采用排水板带和盲管，纵向间距结合施工缝设置，且不宜大于 9m，环向盲管孔径不宜小于 80mm；
- c) 排水沟若采用暗沟，则应设置检查井，间距不宜大于 30m。

9.3.7 离壁式衬砌沿初支应设置纵横交叉的导水设施，可采用排水板带和盲管。

9.3.8 排水盲管、排水板等应符合现行《地下工程防水技术规范》GB50108 相关要求。

10 开挖设计

10.1 一般规定

10.1.1 开挖设计应综合考虑地质条件、隧洞跨度、支护型式、施工组织、工程进度和工程经济等因素。

10.1.2 开挖设计方案应避免过度扰动和破坏围岩，考虑岩体应力重分布规律，诱导岩体自承载体系的形成，避免使围岩出现不利的应力状态和承载条件，同时减少隧洞之间的施工干扰。

10.1.3 开挖方案设计应与支护设计相协调，有利于及时进行支护，发挥支护效应。

10.1.4 开挖方案设计应采用数值计算手段论证不同开挖方式对围岩稳定性的影响。

10.1.5 开挖过程应根据监测资料和反馈分析成果，及时修正后续开挖方案和爆破参数，动态调整支护设计。

10.2 洞身开挖设计

10.2.1 超大跨隧洞施工可采用横向分块、预留岩柱的方式施工，跨度 30m~50m 可采用中间预留单岩柱方式，如图 1；跨度 45m~70m 可采用预留双岩柱方式，如图 2。

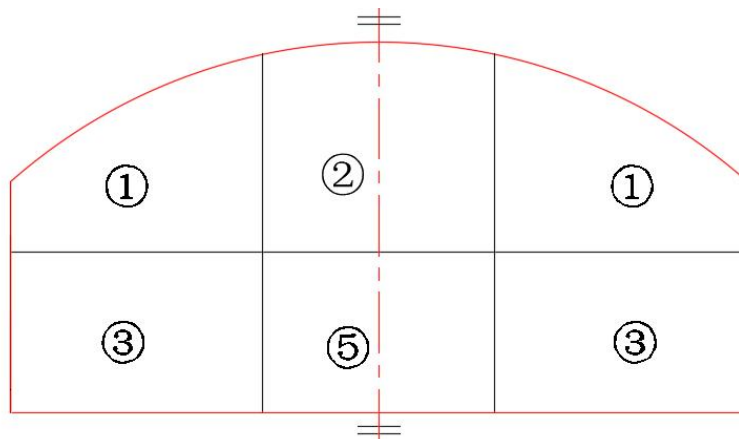


图 1 30m~50m 跨度隧洞开挖区块划分横断面示意图

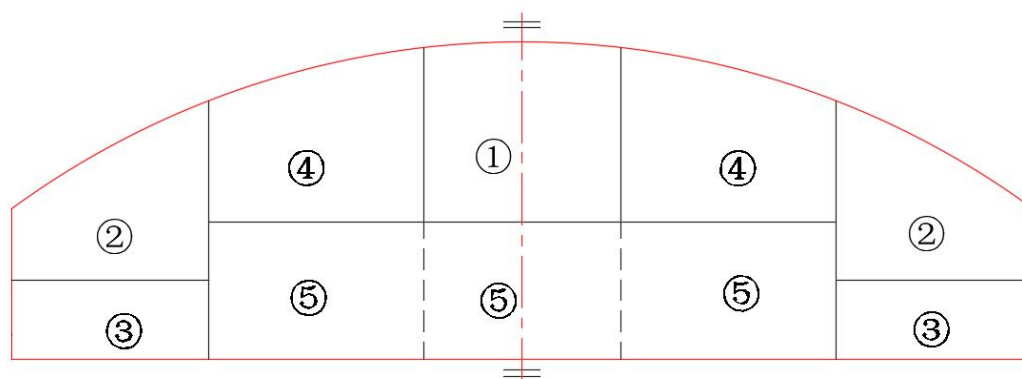


图 2 50m~70m 跨度隧洞开挖区块划分横断面示意图

10.2.2 当采用横向分块预留岩柱施工方式时，应符合以下规定：

- 分块开挖断面大小应根据岩体稳定性、施工机械性能及运输通道条件综合考虑确定，一般先行导洞宽度不宜超过 15m，高度不宜超过 12m；
- 先后行导洞开挖纵向应错开不小于 0.8 倍的导洞开挖跨度；
- 留岩柱宽度不宜小于 0.5 倍导洞跨度，导洞开挖后应及时支护，做好预留岩柱两侧隧洞的支护措施。

10.2.3 中岩柱拆除工序应符合以下规定：

- 中岩柱拆除步序应进行应力场演变分析，比较论证拆除步距、拆除次序等因素对岩体稳定性的影响；
- 中岩柱拆除应遵循及时支护的原则，隧洞变形稳定后方可进行下一循环岩柱拆除，当拱顶沉降变形速率大于 3mm/d，累计变形大于 20mm 时，应立即停止拆除工作；
- 中岩柱单次拆除长度不宜大于 5 米，且不大于锚索纵向间距；
- 当采取多岩柱施工方案时，同一断面中岩柱不应同时拆除，后拆岩柱应等隧洞变形趋于稳定后再行拆除，中岩柱前后错距不宜小于 1 倍的中岩柱宽度。

10.2.4 超大跨隧洞在具备条件下可在洞内进行大跨拆柱成拱试验，根据试验成果调对成洞效果进行预判，并结合数值计算论证开挖方案的合理性。大跨成拱试验位置处覆岩厚度不宜小于 1 倍开挖跨度，成拱试验长度不宜大于 0.3 倍隧洞开挖跨度。

10.2.5 施工过程应根据各导洞地质揭露情况特别是结构面分布情况，并结合监控量测数据对围岩进行评估，及时修正计算模型，动态调整爆破参数、开挖方式以及支护参数。

10.3 洞口开挖设计

10.3.1 洞口段为覆岩厚度小于 0.5B 地段，洞口开挖应结合仰坡开挖进行整体设计。

10.3.2 洞口开挖前应对仰坡以上可能滑塌的表土、危石全部清除或进行防护、加固。

10.3.3 当洞口设置高仰坡时，洞口段宜采用先刷仰坡后拆岩柱的次序施工。

10.3.4 仰坡刷至洞口位置处应在洞口打设超前预支护，可采用超长锚杆。

10.3.5 洞口段岩体宜在仰坡与洞内设置对拉锚索进行加固处理。

10.3.6 对拉锚索通过仰坡平台打设，在洞口岩柱拆除前施作，岩柱拆除后应及时张拉。

10.3.7 仰坡平台宜设置地梁方式提高对拉锚索受力整体性，为防止地梁滑动，对拉锚索应双侧对称张拉。

10.3.8 洞口段仰坡开挖和岩柱拆除应采用减振控制爆破技术。

11 监控量测

11.1 一般规定

11.1.1 超大跨度岩石隧洞应进行施工期和运营期安全监测。安全监测设计应统筹各时期监测项目，做到永久和临时相结合，保持监测资料的连续性和完整性。

11.1.2 超大跨度岩石隧洞监测设计应符合下列要求：

- a) 监测断面布置满足围岩稳定性分析和优化设计需要；
- b) 满足量程、精度和监测自动化的要求；
- c) 满足监测成果的互相验证要求；
- d) 具备人工监测条件；
- e) 设置监测设施保护措施。

11.1.3 超大跨度岩石隧洞的主要安全监测项目宜明确各监测项目监测频次以及各监测内容预警阈值。

11.1.4 超大跨度岩石隧洞监测宜结合隧洞施工期和运营期使用功能的要求，建立远程自动化监控和报警监测系统。

11.2 监测设计

11.2.1 监控量测项目可分为必测项目和选测项目，划分如下：

- a) 必测项目：洞内外观察、地表沉降、边坡位移、拱顶沉降、净空收敛、锚杆轴力、锚索轴力、爆破振动、微震、围岩松动圈、围岩内部位移。
- b) 选测项目：喷射混凝土接触应力、拱架应力、地下水位、孔隙水压力。

11.2.2 微震监测、围岩内部位移监测在施工期结束后宜纳入运营期监测项目，借助自动化监测系统持续开展监测活动。

11.2.3 监控量测选用的仪器设备，应根据量测项目及量测精度要求确定，可按表 5 选用，量测仪器应按规定进行标定和检定。

表 5 不同量测项目的仪器选用

序号	量测项目	常用量测仪器
1	拱顶下沉、净空收敛、地表沉降	非接触式量测方法：全站仪、自动全站仪、经纬仪、激光扫描仪、红外激光测距仪等
		接触式量测方法：收敛仪、精密水准仪、铟钢尺等
2	底板隆起	全站仪、收敛仪、精密水准仪、铟钢尺
3	锚杆轴力、锚索轴力	轴力计
4	围岩内部位移	多点位移计
5	喷射混凝土内力	埋入式应变计

6	围岩与初期支护之间、初期支护与被覆之间接力，爆破振动	振弦式传感器
7	微震	微震传感器
8	孔隙水压力	孔隙水压计
9	水量	三角堰、流量计

11.2.4 监测仪器应具有良好的防振、防水、防腐性能，测试仪器的精度和灵敏度应符合表 6 要求。

表 6 监控量测项目测试精度

序号	监测项目	测试精度
1	表面变形	0.5mm~1mm
2	内部变形	0.1mm
3	锚杆和锚索受力	$\pm 0.1\% F_s$
4	围岩与初期支护接触压力	$\leq 0.5\% F_s$
5	喷混凝土应变	$\pm 0.1\% F_s$
6	爆破振动速度	1mm/s
7	温度	0.1℃
8	裂隙宽度	0.1mm
注：F _s —仪器满量程。		

11.2.5 施工期应根据揭露地质条件和围岩响应，复核前期监测设计是否合理可行，必要时可优化调整。

11.2.6 施工期应根据现场围岩响应、开挖支护优化等需要，优化调整监测断面、监测项目以及监测仪器。

11.2.7 施工期监测仪器的安装和埋设宜紧跟工作面，距掌子面的距离不宜大于 1.0m，监测仪器安装后，应及时测定其初始数据，监测频次宜按下列原则进行：

- 初期一个开挖循环或一个开挖部分完成后监测一次。
- 当变形速率明显变小时，可减少监测频次。
- 当变形数值与变形速率明显增大时，宜加密监测频次，并及时告知相关参建各方。

11.3 监测实施

11.3.1 监测测点布设应牢固可靠、易于识别，并注意保护，严防损坏。

11.3.2 监控量测数据取得后，应立即进行实时分析，包括数据校核、数据整理及数据分析。

11.3.3 监控量测数据的计算分析具体包括以下内容：

- 拱顶下沉、净空收敛的位移量，绘制时态曲线；
- 围岩压力与支护间接触压力值，绘制时态曲线和断面压力分布图；
- 初期支护、混凝土衬砌应力（应变）值，绘制时态曲线，反算结构内力并绘制断面内力分布图；
- 地表沉降值，绘制横向和纵向时态曲线；
- 孔隙水压力值，绘制孔隙水压力的时态曲线及孔隙水压力与深度的关系曲线；
- 爆破振动速度，绘制振动速度与测点至震源距离关系曲线。

11.3.4 监控量测数据分析应符合下列要求:

- a) 根据量测值绘制时态曲线。
- b) 选择回归曲线, 预测最终值, 并与控制基准进行比较。
- c) 对支护及围岩状态、工法、工序进行评价。

11.3.5 采用监测数据对围岩稳定性进行分析评判, 应结合地质条件、围岩位移、松弛区范围、洞室规模及支护结构受力等, 按下列原则进行:

- a) 当位移增长速率无明显下降, 同时支护混凝土表面已出现明显裂缝、部分锚杆或锚索受力超过承载力设计值, 或者实测位移速率急剧增长, 或围岩松弛区深度超过系统锚杆的有效深度, 可判定围岩稳定性差, 应及时采取补强措施。
- b) 当单根或局部锚索的受力实测值超过承载力设计值时, 应结合周边地质条件和整体支护受力、变形及破坏情况评价围岩稳定性, 研究是否采取处理措施。

11.3.6 数据采集频率应根据监测部位和监测数据的变化情况确定, 在重要开挖时段或部位以及监测数据变化梯度大时应提高数据采集频率。

11.4 反馈分析与动态设计

11.4.1 应根据施工期围岩稳定监测成果反馈分析评价洞室围岩稳定性。

11.4.2 数值反馈分析模型应反映开挖揭示的地质条件、开挖支护设计和施工实际情况。

11.4.3 应根据实际监测数据对数值反馈分析成果进行对比分析。基于实测位移的反馈分析, 主要控制点的计算值和实测值之差宜控制在实测值的 $\pm 15\%$ 以内。

11.4.4 超大跨度岩石隧洞开挖支护施工过程中, 应根据监测和检测成果, 结合开挖揭露的地质条件进行反馈分析, 对围岩稳定性进行评价和预测, 及时修正开挖设计、爆破参数和支护参数。

超大跨度岩石隧洞设计规范
(征求意见稿)
编制说明

标准起草组

2024年11月

一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据中国交通运输协会发布的“2021 年度第一批团体标准项目立项的公告”（中交协秘字〔2022〕2 号）要求，由中铁第六勘察设计院集团有限公司联合多家单位作为起草单位，负责本规程的编制工作。

二、制订标准的必要性和意义

上世纪七、八十年代，挪威、德国、意大利、日本等一些山地面积较多的发达国家已经修建了大量大跨度隧道、地下洞库。1974 年德国建成的瓦尔德克 II 号水电站地下厂房，最大跨度为 34 m。20 世纪 80 年代日本第二东明公路初期建设的 3 车道隧道断面面积为 113 ~ 117 m²，后来为了适应 140 km/h 的速度要求而规划了 3 车道公路隧道，局部开挖面积 230 m²，开挖宽度 23 m。1988 年在斯堪的纳维亚半岛伯诺夫约登建成的地下原油库容积为 260×10⁴ m³，洞库断面 600 m²，宽 20 m，高 30 m，总长度为 4330 m。1993 年建成的挪威格乔维克城滑冰场跨度为 61 m、高 25 m、长 91 m，曾经较长的一段时间里是世界最大单跨人工洞库工程。1994 年开通的英法海峡隧道分叉处断面的开挖宽度 21.2 m、开挖高度 15.4 m。2006 年建成的捷克布拉格 Koby-Lisy 地铁车站开挖面积 220 m²，开挖宽度 20.35 m。2009 年建成的意大利 Cassia 隧道和韩国首尔地铁九号线 923 车站隧道开挖跨度分别达到 22.5 m 和 29.6 m。2013 年通车的伊朗 Niayesh 隧道跨度为 18 m。2020 年通车的意大利 Santa Lucia 隧道跨度为 15.87 m。国外典型大跨洞室（隧道）如表 1 所示。

表 1 国外典型超大跨洞室统计表

国家	工程名称	最大开挖面积	单跨最大跨度
德国	瓦尔德克 II 号水电站地下厂房		34 m
	慕尼黑地铁过渡线	174 m ²	13.4 m
	恩格贝格隧道	267 m ²	24 m
日本	第二东明公路	230 m ²	23 m
	舞子隧道	186.5 m ²	19.05 m
	帷子河隧道	225 m ²	20 m
	新武冈隧道	378 m ²	27 m
	东明静冈 2 号隧道	230 m ²	14.1 m
瑞典	伯诺夫约登地下原油库	600 m ²	20 m
英国	英法海峡隧道分叉处	252 m ²	21.2 m

挪威	格乔维克城滑冰场		61 m
捷克	布拉格 Koby-Lisy 地铁车站	220 m ²	20.35 m
意大利	Cassia 隧道		22.5 m
	Venzia 隧道	440 m ²	30 m
	Santa Lucia 隧道		15.87 m
韩国	清溪隧道	186.4 m ²	17.94 m
	Sapaesan 隧道	170.04 m ²	18.77 m
	首尔地铁九号线 923 车站		29.6 m
伊朗	Niayesh 隧道		18 m
	Mansour 地铁车站		23.2 m
瑞士	Ceneri 山底隧道	350 m ²	24 m
美国	贝克山隧道	467 m ²	24.4m

20 世纪 80 年代以来，随着国民经济的迅速发展，发达地区城市内外主干线交通量增长迅速，我国地下交通车站、隧道建设数量及规模迅猛增长，车站隧道建设规模不断增大。随着世界能源需求的增长和全球气候变化影响的加剧，世界各国都把水电开发作为能源发展的优先领域，我国西部地区水能资源丰富，且水电开发比例较低，是国家水电资源利用的重要地区，然而西南、西北多数水电资源都在高山峡谷地区，水电站的设计施工涉及到越来越多的大型和巨型隧洞工程，国内典型超大跨洞室（隧道）如表 2 所示，

表 2 国内典型超大跨洞室统计表

类型	工程名称	单跨最大跨度
公路隧道	沈大高速公路韩家岭隧道	22.4 m
	长沙营盘路隧道	26m
	青岛胶州湾隧道	27.8m
	厦门海沧疏港路隧道	30.51m
铁路隧道	内昆铁路曾家坪 1 号隧道	20.68 m
	兰渝铁路新作坊隧道(三线段)	22.66 m
	珠江口隧道盾构-矿山衔接段	24.5m
	京张高铁八达岭地下车站	32.73m
轨道交通	重庆轨道交通 3 号线龙头寺车站	26. 5 m
	重庆轨道交通红旗河沟站	24. 35 m
	重庆轨道交通虾子蝙站	23.1m
	重庆 4 号线玉带山站	28.3m
水封洞库	湛江洞库	20m
水电站	向家坝水电站地下厂房	33.4 m
	白鹤滩水电站地下厂房	34m
	双江口水电站地下厂房洞群	28.3 m
	乌东德水电站左、右岸地下厂房洞群	53.0 m
国防工程、特	某国防洞库工程	44.4 m

殊工程	江门中微子实验室实验大厅	48m
	某国防洞库改扩建工程	45m
	某国防洞库新建工程	70m

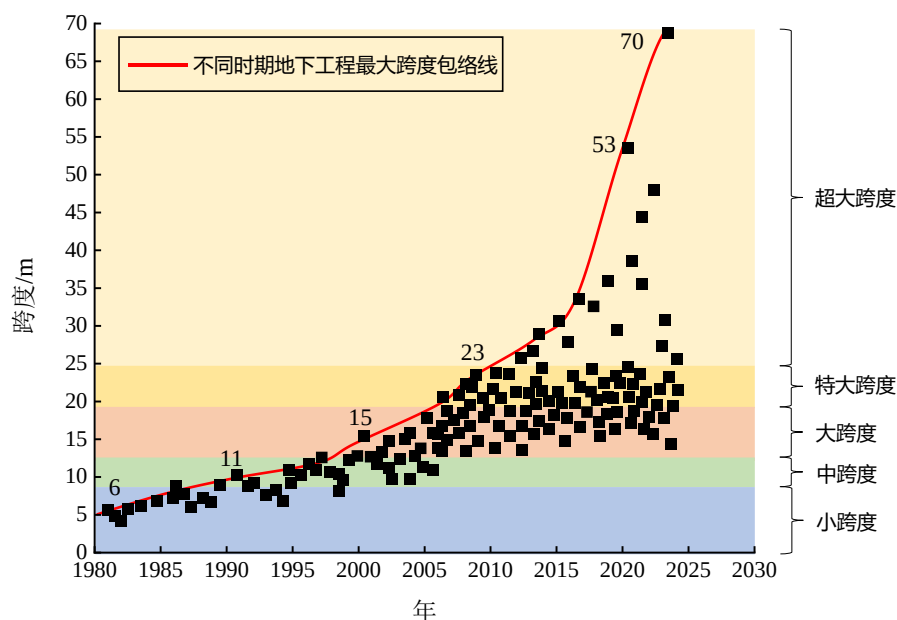


图 1 我国大跨地下工程建设发展趋势图

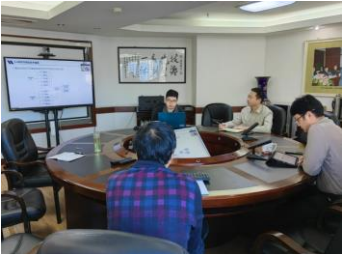
2021 年我国建成了最大跨度 70m 的某国防工程，创造了新的世界纪录，这也是我国首个超 50m 的地下大跨洞库。近年来，我国在诸多领域都制订了建设更大跨度地下洞库（隧道）的需求，比如：国防洞库 40-100m，水电厂房 35-90m，地下实验室 40-80m。随着开挖跨度的增大，地下隧洞的受力状态和破坏机理将会发生质的变化，现有铁路、公路隧道设计规范不能满足建设需求，本规范结合已建 30m-70m 地下隧洞成功经验，制定相关设计规程。

三、主要工作过程

鉴于国内超大跨隧洞建设需求，2022 年 1 月，中交协公布了标准制定计划，《超大跨度地下岩石隧洞设计规范》（以下简称规范）由中铁六院牵头，联合电建华东院、中科院武汉岩土所、北京交通大学、东北大学、中铁隧道局、中铁隧道院等国内大跨业绩丰富的单位共同起草。

2022 年 2 月~2024 年 12 月，编委会成员开展《规范》编写工作。编委会根据《规范》各章节的编写进度，自 2022 年 6 月起，对各章节分别开展了 14 次针对性的讨论。主要工作过程见表 3。

表 3 主要工作过程表

时间		讨论的主要内容	参会单位	相片
第 1 次	2022 年 6 月 1 日	《规范》大纲和任务 分工	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、北京交通 大学、东北大学、 中铁隧道局、中铁 隧道院	
第 2 次	2022 年 8 月 15 日	第 1 章 范围 第 3 章 术语和定 义 第 4 章 基本规定 第 6 章 方案设计 第 7 章 围岩稳定 性分析	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、中铁隧道 院	
第 3 次	2022 年 12 月 6 日	第 2 章 规范性引 用文件 第 5 章 工程勘察 第 6 章 方案设计 第 8 章 支护设计	中铁六院、北京交 通大学、东北大学	
第 4 次	2023 年 2 月 21 日	第 1 章 范围 第 9 章 防水与排 水 第 10 章 开挖设计 第 11 章 监控量测	中铁六院、东北大 学、中铁隧道局、 中铁隧道院	
第 5 次	2023 年 4 月 16 日	第 2 章 规范性引 用文件 第 4 章 基本规定 第 6 章 方案设计 第 11 章 监控量测	中铁六院、电建华 东院、北京交通大 学、东北大学	

第 6 次	2023 年 5 月 27 日	第 1 章 范围 第 2 章 规范性引 用文件 第 5 章 工程勘察 第 6 章 方案设计 第 11 章 监控量测	中铁六院、电建华 东院、东北大学、 中铁隧道局、中铁 隧道院	
第 7 次	2023 年 7 月 31 日	第 1 章 范围 第 2 章 规范性引 用文件 第 8 章 支护设计 第 9 章 防水与排 水 第 10 章 开挖设计	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、中铁隧道 院	
第 8 次	2023 年 10 月 15 日	第 1 章 范围 第 2 章 规范性引 用文件 第 3 章 术语和定 义 第 4 章 基本规定 第 5 章 工程勘察 第 11 章 监控量测	中铁六院、中科院 武汉岩土所中铁 隧道局、中铁隧道 院	
第 9 次	2023 年 12 月 15 日	第 4 章 基本规定 第 5 章 工程勘察 第 6 章 方案设计 第 7 章 围岩稳定 性分析 第 9 章 防水与排 水	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、中铁隧道 院	
第 10 次	2024 年 3 月 14 日	第 1 章 范围 第 5 章 工程勘察 第 6 章 方案设计 第 7 章 围岩稳定 性分析 第 11 章 监控量测	中铁六院、电建华 东院、中铁隧道 局、中铁隧道院	
第 11 次	2024 年 6 月 21 日	第 1 章 范围 第 2 章 规范性引 用文件 第 9 章 防水与排 水 第 10 章 开挖设计	中铁六院、电建华 东院、中铁隧道 局、中铁隧道院	

第 12 次	2024 年 8 月 23 日	《规范》征求意见稿 草案审查会	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、北京交通 大学、东北大学、 中铁隧道局、中铁 隧道院	
第 13 次	2024 年 9 月 10 日	第 1 章 范围 第 2 章 规范性引 用文件 第 5 章 工程勘察 第 6 章 方案设计 第 10 章 开挖设计	中铁六院、电建华 东院、中科院武汉 岩土所、中铁隧道 局、中铁隧道院	
第 14 次	2024 年 10 月 20 日	第 3 章 术语和定 义 第 6 章 方案设计 第 7 章 围岩稳定 性分析 第 11 章 监控量测	中铁六院、北京交 通大学、东北大 学、中铁隧道局、 中铁隧道院	

四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

国内关于地下岩石隧洞的规范有《铁路隧道设计规范》、《公路隧道设计规范》、《水工隧洞设计规范》、《地铁设计规范》、《水电站厂房设计规范》。这些规范重点是对本行业跨度范围内的地下隧洞进行设计，跨度相对较小，无法有效指导跨度大于 40m 的超大跨度地下岩石隧洞工程设计。

本标准制订的基本原则是以现有研究工作为基础，在规程编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

- 1 GB 50009 建筑结构荷载规范
- 2 GB 50021 岩土工程勘察规范
- 3 GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- 4 GB 50108 地下工程防水技术规范
- 5 GB/T 50218 工程岩体分级标准
- 6 GB 50287 水力发电工程地质勘察规范

- 7 GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
- 8 GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
- 9 JGJ/T 372 喷射混凝土应用技术规程
- 10 JTG 3370.1 公路隧道设计规范
- 11 NB T35090 水电站地下厂房设计规范
- 12 SL 279 水工隧洞设计规范
- 13 TB 10003 铁路隧道设计规范

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1 范围

本文件规定了超大跨度岩石隧洞设计的基本规定、工程勘察、方案设计、围岩稳定性分析、支护设计、防水与排水、开挖设计、监控量测等内容。

本文件适用于单跨30m~70m地下新建岩石隧洞工程。

注：随着经济社会发展，公路隧道、铁路隧道、水利发电地下厂房和国防洞库单跨跨度超过30m的工程越来越多，如厦门海沧疏港路隧道最开挖跨径30.5米，京张铁路新八达岭隧道最大开挖跨度32.7m，白鹤滩地下厂房最大跨度34米、南方某洞库最大跨度70m。随着开挖跨度的增大，地下隧洞的受力状态和破坏机理将会发生质的变化，现有铁路、公路隧道设计规范不能满足建设需求，本规范结合已建30m-70m地下隧洞成功经验，制定相关设计规程。

5 工程勘察

5.1.2 超大跨度岩石隧洞工程勘察范围应根据隧洞的使用功能、规模大小、场地条件和建设方案等综合确定。

注：设计工作分为工程可行性研究、初步设计、施工图设计三阶段，工程调查应针对不同设计阶段开展工作，必要时施工阶段应进行补充调查。

5.4.5 初步勘察应符合以下规定：

a) 超大跨岩石隧洞沿轴向布置不宜少于3条勘探线，勘探线间距宜为30~40m，钻孔平面间距不宜大于50m，深度应进入洞底以下10~30m。

b) 物探测线应沿隧洞主轴线纵向布设，跨度40m以下的隧洞纵向测线不应少于1条，跨度40~70m的隧洞纵向测线不应少于2条。对地质复杂地段，还应布置横向物探测线，单座隧洞不应小于2条。

c) 地应力测点数量不宜少于6个，高地应力地区地应力测点的空间布置应具有代表性，且在高程和平面位置上应相互错开。

d) 应统计和测试主要软弱结构面的分布形态和结构面力学参数。

注：钻孔的布设以现行各类标准规范为参考，根据超大跨岩石隧洞工程勘察侧重点，结合类似工程经验确定。此外，取样与试验应参考现行各类规范，并结合设计施工相关要求要求进行施做。

5.5.3 超大跨度岩石隧洞围岩分级应对各导洞沿隧道轴线方向分段和隧洞断面横向分块进行。

注：隧洞围岩分级大多采用沿隧洞轴线方向划分方式，超大跨岩石地下隧洞跨度大，横断面范围内可能存在不同级别岩体，因此在垂直于隧洞轴线方向进行围岩分级可以反映在隧洞横断面方向上不同区块围岩基本质量指标分布差异对围岩级别的影响。超大跨度岩石隧洞在工程选址、初勘、详勘阶段进行围岩分级可指导分布开挖导洞施工的方案，对整个洞室的安全建造有重要意义。注：隧洞围岩分级大多采用沿隧洞轴线方向划分方式，超大跨岩石地下隧洞跨度大，横断面范围内可能存在不同级别岩体，因此在垂直于隧洞轴线方向进行围岩分级可以反映在隧洞横断面方向上不同区块围岩基本质量指标分布差异对围岩级别的影响。超大跨度岩石隧洞在工程选址、初勘、详勘阶段进行围岩分级可指导分布开挖导洞施工的方案，对整个洞室的安全建造有重要意义。

6 方案设计

6.1.1 超大跨度岩石隧洞方案设计应结合初勘成果对隧洞位置选择、轴线布置及横断面设计等内容进行论证。

注：超大跨度岩石隧洞规模大，投资高，隧洞位置、轴线布置以及横断面是影响工程安全性、经济性和可行性的直接因素，应在方案设计中进一步进行论证。

6.2.3 超大跨度岩石隧洞宜布置在 IV 级以上岩体内，不同跨度隧洞所要求围岩级别可参考表 1，不满足情况下应进行专门论证。

表 1 超大跨度岩石隧洞选址岩体条件要求

序号	跨度	岩体条件要求
1	$30\text{m} \leq B < 40\text{ m}$	整体围岩级别宜 IV 级以上
2	$40\text{ m} \leq B < 50\text{ m}$	围岩级别宜 III 级为主，其比例宜大于 70%
3	$50\text{ m} \leq B < 70\text{ m}$	整体围岩级别宜 III 级以上
注：B 为隧洞跨度		

注：计算分析表明，IV 级围岩条件下，洞室跨度在 30m~40m 时，无支护开挖工况下岩体不会产生连贯的塑性区，洞室可保持整体稳定。III 级围岩条件下，洞室跨度在 50m~70m 时，无支护开挖工况下岩体塑性区较小，洞室可保持整体稳定。同时借鉴水电地下厂房工程案例和设计经验，其大跨度主体洞室一般以 60% III 级及以上围岩为主。

6.2.4 超大跨度岩石隧洞岩体覆盖层厚度应能使隧洞上部形成稳定的承载圈，隧洞整体上覆完整岩体厚度宜大于洞室跨度的 2.0 倍，不满足时应专项论证。

注：洞室覆岩厚度较薄时，无法形成稳定的承载拱圈，岩体荷载直接作用于洞室顶部，容易增加坍塌风险。计算分析表明，超大跨度地下洞室在表 2 岩体级别条件下，洞室上覆岩体厚度大于 1.5 倍跨度时，上方岩体可形成稳定的压力拱圈。统计表明，国内大部分已建或在建大跨度水电地下厂房主体洞室上覆完整岩体的厚度都大于 2 倍洞室宽度。但岩体覆盖层厚度不一定要大于 1.5 倍跨度，一个典型实例是 1991 年在挪威建造的奥林匹克地下体育馆，此馆在完整性很好的岩石内，跨度 61m，高 24m，覆盖层仅为 25~50m。

6.3.2 超大跨度岩石隧洞的轴线与围岩的主要结构面（断层、褶皱、节理、裂隙）走向夹角不宜小于 50° 。

注：结构面与主洞室轴线呈较大夹角时，结构面一般只影响局部围岩稳定，可局部加固解决，对整体稳定影响较小。

6.3.4 矢跨比小于 0.3 的扁平状矮边墙隧洞，其洞身布置宜考虑水平地应力对洞室稳定的有利影响。

注：隧洞形状对围岩稳定和应力分布有较大的影响，对于扁平状矮边墙隧洞，隧洞的高度远小于宽度，较大的垂直应力会加大洞室上部岩体沉降，水平应力有助于在拱部形成压力带，减少拱顶沉降，有利于洞室稳定性。计算分析表明，对于矢跨比小于 0.3 的扁平状洞室，洞室顶部的沉降因水平应力的增加而减少，从而提高洞室的稳定性。

6.3.5 两相邻主洞室的最小净距不宜小于开挖隧洞跨度的 2.0 倍，不满足时应专项论证。

注：据统计，国内外已建大跨度地下洞室相邻主洞室之间的岩柱厚度多在 35m~60m，大部分约为洞室开挖跨度 1.0 倍~2.0 倍。在水平应力为主应力地段，大跨度洞室横向应力扰动范围更大，因此以跨度 30m 和 70m 洞室为例，计算在水平应力为主应力工况下，相邻两洞室开挖净距在 50m 和 84m 时，洞室的应力场相互干扰较小，洞室各自的塑性区可保持独立状态，可不考虑小净距对隧道开挖的影响。

7 围岩稳定性分析

7.1.1 超大跨度岩石隧洞工程围岩应进行整体稳定和块体稳定分析。

注：整体稳定关注的是整个洞室结构的稳定性，包括洞室和周围岩体作为一个整体系统的稳定性。整体稳定分析时，考虑的是大范围内岩体的力学行为和相互作用，如大范围的滑移面、整体岩体的变形、洞室周围的应力重分布等。整体稳定分析目的在于防止大变形和大规模的岩体移动或塌陷，确保洞室在整个岩体中的位置安全。

块体稳定专注于洞室表面或邻近区域的小尺度岩石稳定性，包括洞室顶部、侧壁、底部及洞室附近小范围内的岩石或结构单元的稳定性。块体稳定性分析主要关注洞室表面的岩体破坏、松散岩块的脱落、局部裂隙的发展等现象，这些都是对洞室使用安全有直接影响的因素。

7.2.1 超大跨度岩石隧洞围岩稳定性分析方法可根据不同设计阶段分别采

用地质分析法、数值分析法、动态监测反馈分析法等。

注：地质分析法通过工程地质勘察，在大量实际资料的基础上，与工程地质条件、工程特点、施工方法类似的已建工程进行对比，对其稳定性进行评价。数值分析法可模拟岩体的复杂力学与结构特性，也可分析各种边值问题和施工过程，并对工程进行预测和预报。

7.2.2 超大跨度岩石隧洞围岩稳定可先采用地质分析法进行初步分析，并采用数值分析法进行稳定性校核及设计优化，施工阶段根据监测数据采用反馈分析法。

注：通过综合分析地质条件和地应力量级等，初步判断围岩稳定性及岩体破坏方式；结合工程因素，通过工程类比，初步确定支护型式和支护参数；接着选用合适的数值分析方法，构建真实地质数值模型，计算评价围岩稳定性及设计方案合理性。施工阶段根据变形、结构面揭示、支护构件受力等监测数据及时修正数值计算模型并对岩体进一步稳定性分析。

7.4.5 超大跨度岩石隧洞施工阶段围岩稳定性应结合现场监控测量成果综合评判，评判标准如下：

- a) 隧洞开挖支护完成后，初期支护变形速率小于 $0.1 \text{ mm/d} \sim 0.2 \text{ mm/d}$ ，支护结构内力的增长速率趋近于零，经现场地质观察未见明显异常情况，则可判定隧洞围岩稳定；
- b) 隧洞开挖支护完成后，位移增长速率趋于平缓，支护结构内力的增长速率趋于平缓，但监测数值的总量和增量还在预测的范围之内，经现场地质观察未见明显异常情况，则可判定隧洞围岩稳定预警；
- c) 隧洞开挖支护完成后，位移增长速率无明显下降，支护结构内力的增长速率无明显下降，监测数值的总量和增量达到或超出预测的范围，现场隧洞（喷）混凝土可见明显裂缝；则可判定隧洞围岩稳定危险。

注：围岩变形基本稳定的判别标准参见：《客货共线铁路隧道工程施工技术规程》0/CR 9653 中规定，混凝土衬砌一般需在围岩变形趋于基本稳定后施作，变形趋于稳定需符合下列规定之一：隧道周边变形速率明显下降并趋于缓和，即水平收敛变形速率小于 0.2 mm/d ，拱部下沉速度小于 0.15 mm/d ；施作混凝土衬砌前的累计位移值已达极限位移值的 80% 以上。《锚杆喷射混凝土支护技术规范》

GB50086 和《岩土工程监测手册》(中国水利水电出版社)认为,由统计规律看,一般在变形小于 0.2 mm/d 时可认为基本稳定;在有长期观测(大于 3 个月)成果时,观测后期全月平均小于 0.1 mm/d 时认为是稳定的。《高速铁路隧道工程施工技术规程》0/CR 9604 中规定,“围岩变形基本稳定应符合:变形速率明显下降并趋于缓和;当无同类工程经验时,可按变形速率(7d 平均值)中小跨小于 1 mm/d、大跨及以上小于 2 mm/d 执行,并对混凝土衬砌进行加强。”

7.4.6 超大跨度岩石隧洞稳定性状态评估和建议措施可按表 3 执行。

表 3 稳定性状态评估和建议措施

稳定性判定项目及状态				状态 评估	建议措施
变形	塑性区或松动 区	应力	支护系 统及其 他		
正常	正常	正常	正常	安全	/
局部大变 形	局部贯通	局部应力异 常	异常	关注	评估局部补 强措施的效 果
大变形	贯通	应力异常	异常	预警	研究补强加 固或其它措 施

注：超大跨度岩石隧洞围岩稳定分析可采用以下两种类型的判据：

1) 收敛性判据：由于极值点失稳是一种弹塑性失稳，失稳时系统的部分或全部已处于塑性状态，变形迅速增加，而承载力下降或保持不变。因此，荷载变形曲线在极值点处具有平行于代表变形坐标轴线的切线，这在计算上的反映就是迭代过程不收敛。在弹塑性分析过程中，因塑性区发展太大引起的迭代计算不收敛，这种“不收敛”可以作为隧洞群系统失稳的判据。

2) 突变性判据：系统处于极限平衡状态时，表示它将由一种平衡状态向另一种平衡状态转变，即系统状态发生了突变。突变性判据认为任何能够反映系统状态突变的现象都可以作为失稳判据。从变形及变形速率、应力及屈服区、能量三个角度提出的稳定性分析判据有：

- (1) 关键部位的相对位移（应变）或位移突然增大；
- (2) 关键部位的位移速率不趋于零或突然发散；
- (3) 结构的塑性屈服区太大，形成连续滑移面；
- (4) 外力所作的功与系统形变势能不能平衡。

8 支护设计

8.5.1 超大跨度岩石隧洞根据功能、防水及受力等需求宜设置离壁式混凝土衬砌或贴壁式混凝土衬砌。

注：离壁式混凝土衬砌主要适用于岩体条件较好，防水、隔潮、隔热要求较高的隧洞。离壁式混凝土衬砌不承受围岩压力，仅考虑承担不稳定块体掉落风险。贴壁式衬砌需承担一定的围岩压力，混凝土衬砌和初期支护协同承载。

11 监控量测

11.2.1 监控量测项目可分为必测项目和选测项目，划分如下：

a) 必测项目：洞内外观察、地表沉降、边坡位移、拱顶沉降、净空收敛、锚杆轴力、锚索轴力、爆破振动、微震、围岩松动圈、围岩内部位移。

b) 选测项目：喷射混凝土接触应力、拱架应力、地下水位、孔隙水压力。

注：围岩和支护结构变形是围岩稳定性和支护结构承载能力和安全性的最直观反映，围岩的坍塌和支护系统的破坏都是变形发展的一定程度的必然结果。位移量测结果直观、测试原理简单、测试精度较高、抗外界干扰性强、测试费用较低，为首选量测项目。

必测项目为日常施工管理中所必须进行的量测项目，必测项目是为了在设计、施工中确保围岩的稳定，并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测。这类量测通常测试方法简单，可靠性高，费用少，而且对监视围岩稳定、指导设计施工却有巨大的作用。选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段进行补充测试，以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果，指导未开挖区的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦，量测项目较多，花费较大，一般只根据需要进行选择其部分项目。

六、重大意见分歧的处理依据及结果

根据 2024 年 8 月 23 日中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开的《超大跨度岩石隧洞设计规程》团体标准征求意见稿草案审查会议相关建议，本标准主要调整内容如下：

专家意见 1：标准名称修改为《超大跨度岩石隧洞设计规范》

执行情况：按专家意见执行。

专家意见 2：优化术语和定义，补充完善“4 基本规定” 设计流程等内容，结合超大跨度岩石隧洞特点补充完善“5 工程调查”内容，协调统筹“6 总体设计” “7 围

岩稳定性分析” “8 支护设计” 等内容。

执行情况：按专家意见执行。

七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

八、作为推荐性标准建议及其理由

目前各行业地下空间的开发正朝着大跨度方向发展，在铁路领域，大断面铁路隧道及车站项目越来越多，京张高铁八达岭长城站是亚洲规模最大的山岭地下火车站，车站两端渡线段单洞开挖跨度 32.7 米，是目前国内单拱跨度最大的暗挖铁路隧道；在市政领域，厦门海沧疏港通道工程蔡尖尾山 2 号隧道跨度达 30.51m，国外已经建成的最大跨度地下洞室一挪威奥林匹克山地下运动场，其开挖跨度达 61 米；在水电领域，白鹤滩水电站开挖跨度 34 米，是目前已建及在建水电水利工程中跨度最大的地下厂房；在国防领域，各类飞机、军舰等军事设施洞库跨度大多在 40m 以上，南方某洞库最大跨度 70m。。随着社会的发展，各行业对大跨度、大空间地下工程需求也愈加旺盛，势必会有越来越多的 40m 及以上超大跨度地下隧洞的出现。

超大跨度隧洞因其尺寸大，岩体缺陷效应更加明显，易形成不稳定块体，拱顶稳定性较差，施工风险较大。其稳定机理和破坏特性具有明显的结构面控制特性，与常见的岩体塌落拱模型存在较大区别，采用现有的围岩压力计算方法得出的结果与现场差别巨大，常规的支护手段也无法对其稳定性起到有效的作用，这些不同于常规隧洞的特点决定了其设计的复杂性和特殊性。

现各行业地下隧洞的设计规范及标准中所涉及的洞室跨度多是较常规的，如铁路行业跨度一般为 9~16m，公路行业跨度一般为 10~25m，轨道交通车站跨度一般为 20~25m，水电厂房的跨度相对较大，但也多在 30m 以下，对于跨度大于 40m 的地下隧洞，目前尚没有相关的规范和标准。采用现有各行业中规范和标准中给出的设计理念、计算方法和支护手段，其结果与现场存在较大差异，难以有效指导工程建设，给此类跨度地下隧

洞设计工作带来困扰。针对目前超大跨度地下岩石隧洞的发展需求与其设计规范缺失的矛盾，制定部超大跨度地下岩石隧洞设计规程，对于指导此类隧洞的设计工作，减低工程安全风险，提高工程建设质量是极其必要和紧迫的。

九、贯彻标准的措施建议

（1）精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的设计、施工、运营等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确超大跨度岩石隧洞设计技术指标、设计方法、施工工艺、检测方法、质量验收、运营管理等方面的具体要求，指导超大跨度岩石隧洞工程的实施，有效推动贯标工作的开展及落实。

（2）组织相关人员到施工现场参观学习，直观展示超大跨度岩石隧洞工程效果及具体施工工艺；

（3）定期组织科研、生产、应用、检验各环节人员进行技术交流，不断完善超大跨度岩石隧洞设计方法，保持技术领先优势。

十、其他应说明的事项

暂无。