

# T/GRM

## 中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXX—2026

### 深地空间超大跨洞室（群）分部协同施工技术规范

Technical specification for coordinated construction of super large span caverns  
( group ) in deep space

征求意见稿

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 总则 .....	4
5 地质 .....	4
6 分部协同开挖 .....	5
7 钻爆法施工 .....	8
8 初期支护 .....	9
9 安全监测 .....	10
10 辅助工程 .....	10
11 安全施工 .....	12
12 质量检查 .....	13

## 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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中铁十八局集团有限公司，中铁十八局集团第三工程有限公司，华东交通大学，中国科学院武汉岩土力学研究所，中铁四局集团第一工程公司，中铁七局集团第三工程有限公司。

本文件主要起草人：潘建立、刘强、苏睿、于洋、文凯、蒋亚龙、翁振华、侯绍宾、熊友亮、范晓辉，张志恩、刘建国、徐琳琳、王学超、刘逢、闫利亚、刘松涛、王飞、张延冰、但晓华、魏洪亮、高力强、王文良。

本文件为首次发布。

# 深地空间超大跨洞室（群）分部协同施工技术规范

## 1 范围

本文件规定了深地空间超大跨洞室（群）分部协同开挖快速施工技术方法。  
本文件适用于水利、矿山、交通、城市等深地空间超大跨洞室（群）工程开挖及支护施工。

## 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 6722 爆破安全规程
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- GB 50218 工程岩体分级标准
- GB 50287 水利水电工程地质勘察规范
- GB/T 50266 工程岩体试验方法的标准
- DL/T 5083 水电水利工程预应力锚固施工规范
- DL/T 5099 水工建筑物地下工程开挖施工技术规范
- DL/T 5181 水电水利工程锚喷支护施工规范
- DL/T 5370 水电水利工程施工通用安全技术规程
- DL/T 5854 水电水利工程深埋地下洞室开挖施工规范
- SL 378 水工建筑物地下开挖工程施工规范
- NB/T 11092 水电工程深埋隧洞技术规范
- T/CSPSTC 106 水工建筑物表面位移机器视觉在线监测技术规程
- T/CSRME 026 地下洞室围岩稳定性评估方法
- T/CSRME 032 地下工程支护结构缓冲层设计与施工技术规范
- T/CSRME 037 地下洞室岩石工程设计指南

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 深地空间 deep underground space

地表以下50m，可用于资源开发、工程建设、科学研究等用途的地下空间，是区别于浅表层地下空间的深层战略领域。

### 3.2

#### 大跨度地下洞室 large span underground cavern

跨度大于20m的地下洞室。

### 3.3

#### 中导洞 middle Pilot tunnel

中导洞是双洞（多洞）隧道中，设于两主洞之间、先行开挖的小型导洞，施工期用于地质预报、通风、排水、增工作面，运营期可兼作救援、检修、通风等辅助通道，是特长 / 复杂地质隧道的重要施工与运营辅助设施。

### 3.4

#### 分部协同开挖 parts of collaborative excavation

将隧道断面划分为若干个相对独立的部分，分两次及以上开挖直至达到设计断面的施工方法。

### 3.5

#### 动态支护调控 dynamic support regulation

在隧道或地下工程开挖过程中，基于实时监测反馈的围岩变形与受力数据，动态地调整支护结构的参数、时机和方式，以实现安全、经济、高效施工的一种闭环控制方法。

## 4 总则

### 4.1 目的任务

保障超大跨地下洞室施工开挖精度，加快施工进度，减少施工干扰，建立相应的快速施工技术方法，为提高施工安全、缩减施工工期，节约施工成本等提供技术依据，填补超大跨地下洞室分部协同开挖快速施工技术方法的标准空白。

### 4.2 基本要求

4.2.1 深地空间超大跨洞室开挖施工前，应编制施工组织设计，制定专项安全技术方案。对于岩爆、大断层、岩溶、突涌水等不良围岩地质洞段施工还应制定专项应急预案。

4.2.2 开挖施工前，应进行超前地质预报，开挖过程中应进行监测，监测结果应及时反馈，修正施工方案。

4.2.3 开挖施工过程中，地质条件变化可能引发地质灾害时，应进行围岩应力、岩爆微震、锚索应力、爆破震动等监测测试。

4.2.4 开挖施工涉及的测量、出渣运输、初期支护、通风除尘、辅助工程等应符合 DL/T 5099 的有关规定。

4.2.5 开挖施工安全应符合 DL/T 5370 的有关规定。

4.2.6 爆破作业安全应符合 GB 6722 的有关规定。

## 5 地质

### 5.1 施工准备

5.1.1 开挖施工前，应收集区域内与工程相关的工程地质和水文地质资料，包括以下主要内容：地形地貌；地层岩性及产状；地质构造；水文地质；有害气体；放射性地层；地温；地应力。

5.1.2 开挖施工过程中及开挖后，应开展下列施工地质工作：掌子面和围岩的地质素描和编录；利用开挖工作面进行测绘和收集地质资料；采用地质调查分析法，开展中长距离超前地质预报，预测掌子面前方的地质条件；对不良地质洞段的地质体应进行专项研究，并提出应对措施。

5.1.3 开挖施工应按 GB 50287、GB 50218 等国家或相关行业规范确定围岩类别，并划分岩爆烈度等级。施工地质工作应符合国家或相关行业规范的有关规定。施工地质工作结束后，应将工程地质资料进行分类整理、归档，并编写竣工地质报告。

5.1.4 地下洞室施工测量应包括下列基本内容：进行地下洞室贯通测量的技术设计和贯通测量；建立地面和地下平面与高程控制网；对地下洞室的轴线、坡度、高程和开挖断面放样；地下洞室开挖轴线纠偏与贯通面误差调整；测绘地下洞室纵横断面，并计算工程量；提出中间验收、竣工验收资料和技术报告。

### 5.2 地应力测量

5.2.1 施工期可利用平洞等辅助洞室进行地应力测试和复核，地下厂房宜布置不少于 2 组地应力测孔，长隧洞宜每 1000m 布置 1 组地应力测孔，长竖井或斜井宜布置 1 组~2 组地应力测孔。

5.2.2 地应力测试应符合 GB/T 50266 的有关规定。

5.2.3 地应力测试应避开围岩开挖应力扰动区，测点深度应超过该测试洞室直径或跨度的两倍。

5.2.4 采用水压致裂法或应力解除法中的孔径变形法进行三向应力测试时，宜采用三孔交汇法，钻孔宜以 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 相交，其中一个钻孔应为铅直钻孔。

5.2.5 开挖施工过程中，应根据地应力测试结果与勘察阶段的地应力资料，结合施工期揭示的围岩地质情况，进行地应力场反演分析，评价地应力级别。

### 5.3 超前地质预报

5.3.1 深埋地下洞室开挖施工应进行超前地质预报，超前地质预报应包括下列内容：断层破碎带和裂隙密集带预报，推断其位置、范围、产状及含水性；突涌水预报，推断其范围、规模和性质；岩溶预报，推断其发育范围和规模、含水与充填情况；预判围岩类别及其稳定性，提出围岩支护的建议措施。

5.3.2 超前地质预报宜进行短距离预报和长距离预报，宜以短距离预报为主。预报方法选择按以下规定执行：

- a) 长度小于30m的短距离预报，宜采用地质分析法、地质雷达法、红外探测法、超前钻探法、超前导洞法、孔内电视法等；
- b) 长度30m~200m的长距离预报，宜采用瞬变电磁法、弹性波反射法、超前钻探法、孔内电视法等；
- c) 复杂地质条件下的超前地质预报应采用两种或两种以上地球物理探测法进行综合预报。

5.3.3 地质分析法可采用地面地质调查和掌子面地质素描，并结合地质勘察资料，分析开挖工作面的岩体结构特征，推测前方可能存在的不良地质体。

5.3.4 超前钻探法宜采用冲击钻或岩芯钻钻孔，揭示并预测开挖工作面前方的地层岩性、构造、岩溶及地下水等情况。孔内电视法宜利用超前钻探孔进行探测，揭示并预测开挖工作面前方的地层岩性、构造、岩溶等情况。

5.3.5 断层破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体的长距离预报宜采用弹性波反射法或孔内电视法。含水不良地质体的短距离预报可采用瞬变电磁法、地质雷达法或红外探测法。

5.3.6 超前地质预报工作完成后应及时编写成果报告，其内容应包括工程地质与水文地质条件、预报原理与方法、对比分析、预报成果、施工建议等。

### 5.4 地下水探查

5.4.1 岩溶及富水地区应开展地下水探查工作，探明地下水活动规律、地下水位及补给来源。

5.4.2 开挖施工过程中应采用钻孔测量水压，并估算涌水量。

5.4.3 开挖施工过程中，必要时应采用瞬变电磁法等方法对已开挖洞室进行检测，查明其周边地下水赋存情况。

5.4.4 开挖施工过程中宜利用揭示的岩溶管道进行地下水连通试验。

## 6 分部协同开挖

### 6.1 施工开挖方案

6.1.1 深地空间超大跨洞室应采用“纵向梯次、上下协同、先洞后墙、分段预裂、分区爆破、支护跟进”的快速立体开挖方案，遵循“短进尺、多分序、缓卸荷”开挖原则，通过分层拉槽、错距扩挖、微差爆破等施工工艺，减少围岩扰动，实现深地空间超大跨洞室快速安全施工。

6.1.2 开挖施工前，应根据地形、地质、洞室布置、洞室断面尺寸、结构特点、工期等条件，进行不同分部协同开挖施工方案比较，确定施工方案。

6.1.3 开挖施工前应进行钻孔爆破设计，确定详细爆破方式和相关爆破参数，开挖施工前应通过生产性试验，确定钻孔爆破参数。

6.1.4 开挖施工过程中应密切关注地质条件的变化，测量围岩变形、锚杆（索）应力、爆破参数等，并记录地下水出露点位置和渗漏情况，对测量结果进行反馈分析，动态优化爆破参数、支护型式等并适

时调整开挖方案，保障地下空间施工安全。

6.1.5 在施工过程中应考虑大型地下洞室群通风情况，宜通过专门的通风计算确定通风设备数量和位置；应针对不同围岩类型和施工工况开展机械搭配选型分析，考虑洞内洞外交通和材料等物流组织设计，形成组织设计方案并进行专题论证。

6.1.6 出渣运输方式有无轨出渣运输、有轨出渣运输和无轨装渣有轨运输等形式，应按照已确定的施工方法和施工技术措施选择其中的一种运输方式及设备。

6.1.7 深地空间大跨度地下洞室开挖施工应采用上下协同分部卸荷法开挖，具体应采取下列措施：

- a) 根据地应力大小、主应力方向、围岩力学参数、洞室开挖形状等确定分层分部上下协同详细开挖方案；
- b) 岩锚梁、交岔口等特殊部位宜采用悬挂超前支护、超前锁口、分区开挖与分步贯通的施工方法；
- c) 针对大跨度顶拱和特殊部位宜采用光面爆破技术、预裂爆破技术、聚能水压爆破技术等围岩精细化爆破工法；爆破结束后应及时清除浮石，喷雾洒水降尘，并局部设置防护网；
- d) 初期支护采用喷射纤维混凝土、钢筋网封闭岩面，锚杆和锚索加固围岩，适时完成由浅表到深层的系统支护；
- e) 针对需要二次衬砌的洞室，宜采用浇筑一体化台车进行模块化浇筑，浇筑过程中要严格控制浇筑温度，保证充分振捣。

## 6.2 大跨度顶拱层分部错距开挖

6.2.1 超大跨顶拱层应采用分部错距开挖法施工，通过纵向错距与横向分块的协同设计，实现“空间占满、时间连续”的高效开挖组织。顶部宜采用先导洞开挖、后向两侧扩挖的施工顺序；导洞的位置及断面尺寸应根据地质条件与施工方法综合确定。围岩稳定性较差时，导洞开挖后应采取边扩挖、边支护、边衬砌的同步作业方式。拱部须按设计要求完成加固支护后，方可进行下层开挖。

6.2.2 超大跨顶拱层中导洞开挖施工，宜以通风兼安全洞作为出渣及运输通道。自通风兼安全洞进入首层洞室后，应结合通风兼安全洞断面条件斜向上开挖；待拱顶开挖至设计标高后，转入中导洞水平向前掘进。中导洞开挖方法应根据围岩类型确定，围岩条件较好时采用全断面法，围岩条件较差时采用台阶法。中导洞扩挖完成后，应按设计支护要求及时对该段拱顶实施支护，支护形式采用砂浆锚杆 + 挂网喷射混凝土。

6.2.3 中导洞开挖完成后，应进行顶拱层左侧区域扩挖施工；待左侧区域开挖一定距离后，再开展顶拱层右侧区域扩挖施工。两侧扩挖区均采用光面爆破，爆破后及时清渣并施作初期支护。支护作业应及时跟进，并与开挖工序错峰施工，避免施工交叉干扰。

## 6.3 上下协同开挖

6.3.1 中下部岩体可按分层高度实施上下层分部协同同步开挖。各层开挖出渣运输通道，可利用永久交通洞、通风洞、母线洞、引水洞、尾水洞等既有洞室，必要时增设施工支洞。

6.3.2 上下层开挖拟建立立体化物流组织设计，实现渣土运输与材料供给的无干扰并行作业。

6.3.3 针对硬岩地下洞室可采用上部与底层掏槽同时施工，从而提高施工进度，上部与底层间距应通过计算进行确定，施工过程中应制定详细的施工方案和爆破振动监测方案。

6.3.4 与特大断面洞室交叉的洞口，宜在特大洞室开挖前完成施工，并做好加固。

6.3.5 相邻两洞室之间的岩墙或岩柱，应根据地质情况确定支护措施，以确保岩体稳定。相邻两洞室的开挖程序，宜采取间隔开挖，开挖后应立即支护并加强监测。洞室围岩永久性观测设备应在开挖后及时安设。

6.3.6 高地应力区大型地下洞室开挖施工时，高边墙的不稳定楔形体产生、交岔口的开挖对洞室稳定和变形控制影响较大，采取大分层周边预裂爆破，小分层开挖揭示掌子面，适时完成由浅表到深层支护，有效控制对围岩的损伤和塑性区的发展。

## 6.4 特殊部位分部开挖施工

6.4.1 深部空间洞室群交叉部位、水工地下厂房岩壁吊车梁、岩台吊车梁、高压岔管、拱脚及相邻处的边墙、岩塞和在成型后的高墙上开挖洞口等，属特殊部位的开挖，应做专门施工组织设计。

6.4.2 特殊部位开挖应合理分块，应采用控制爆破技术开挖。开挖前，应通过爆破试验确定满足设计要求的爆破参数。

6.4.3 岩壁吊车梁开挖应严格控制开挖岩面的起伏差，如开挖岩面的起伏差不符合设计要求，应采取必要的措施，以改善结合面的受力条件。

6.4.4 与大断面洞室交叉洞口处，开挖后应立即支护。支护长度应根据围岩条件及控制性软弱面的延伸范围等因素确定，但不应小于5m。

6.4.5 特殊部位开挖，保护层厚度不宜小于1m。

6.4.6 分层开挖时，岩壁吊车梁最低点距所在开挖层面的高度宜控制在1m以上。Ⅲ级以上围岩开挖均采用光面爆破技术，Ⅲ级以下围岩宜采用聚能水压爆破或非爆破开挖方式进行。

6.4.7 在特殊部位开挖施工过程中，应在有代表性的部位布置适当的监测设备，对其围岩的稳定状况进行监测。

## 6.5 不良地质施工

6.5.1 断层及破碎带、缓倾角节理密集带、岩溶发育、地下水丰富及膨胀岩体地段和高地应力区等不良地质条件洞段开挖，应根据地质预报，针对其性质和特殊的地质问题，制定专项保证安全施工的工程措施。

6.5.2 不良地质条件洞段应采用短进尺和分部协同开挖方式施工。开挖后应立即进行临时支护，支护完成后方可进行下一循环或下一分部的开挖。开挖循环进尺应根据监测结果调整，分部协同方法可根据地质构造及围岩稳定程度确定。

6.5.3 在岩溶发育地段进行洞室开挖时，应首先查明岩溶类型溶蚀形态、充填及堆积物性质、分布范围及地下水活动规律，然后可根据岩溶规模、稳定程度采取相关工程措施。

6.5.4 当洞室围岩被不利组合的结构面切割成不稳定块体时，应采用边挖、边锚的施工方法。

6.5.5 高地应力区段的开挖，应根据地应力大小、主应力方向、设计洞室开挖形状，采用分部开挖方式，减缓应力释放量值，避免应力突然释放。

6.5.6 地下水丰富地段、应探明地下水活动规律、涌水量大小、地下水位及补给来源，可视实际情况采用排、堵、截、引等技术措施：

- a) 当地下水丰富，涌水量较大时，可采用在掌子面或涌水处布置超前钻孔，将水集中引排，降低开挖面渗水量。
- b) 截断补给来源，降低地下水位。
- c) 利用侧导洞、集水井或平行支洞排水。
- d) 对围岩进行堵水灌浆，堵水灌浆孔布置、灌浆压力、灌浆材料宜根据涌水量、涌水压力、工程类比及现场试验等综合确定。
- e) 深埋隧洞涌水、突泥高风险洞段，应采取超前预注浆、超前堵水灌浆等预处理措施。

6.5.7 在对软岩和极软岩地层进行地下开挖时，其开挖方法应根据围岩的稳定程度，采用不扰动围岩或少扰动围岩的开挖方法，其具体措施为：

- a) 在软岩洞段采用爆破方法开挖时，应进行专门的爆破设计。开挖前应进行专门的爆破试验，确定爆破参数，尽可能的减少爆破对围岩的扰动，保证围岩稳定。
- b) 在极软岩洞段，宜采用机械松动围岩，人工修整轮面的非爆破方式开挖。
- c) 软岩和极软岩洞段开挖，应严格控制开挖进尺，应采用分部协同开挖。每部位开挖后应立即进行临时支护，支护完成后方可进行下一循环或下一分部的开挖。

- d) 稳定性极差的极软岩洞段，开挖前应进行超前支护，在超前支护的保护下进行开挖。
- e) 在对深埋隧洞涌水、突泥高风险洞段进行施工开挖时，应采取超前预注浆、超前堵水灌浆等预处理措施。
- f) 在对高地温洞段进行施工开挖时，应根据热源采取相应降温措施，并制定相应的安全防护措施。高地温隧洞应通过施工风温计算，确定散热所需的通风量；通风软管出风口距掌子面距离不应大于10m。高地温隧洞施工应加强对施工机具的保养维护，采取喷雾洒水、水箱内注入冷水等降温措施。高地温环境下应加强混凝土养护，宜在混凝土终凝前进行覆膜养护。

6.5.8 发生塌方时，施工单位应立即按施工预案采取加固抢险措施，迅速制止塌方，防止范围扩大。监理工程师应立即组织施工、地质、设计、监测人员分析原因，采取加固处理措施。处理塌方时，应遵守下列原则：

- a) 先加固好端部未破坏的支护或岩体。
- b) 加固处理措施与永久支护或衬砌相结合。
- c) 塌落物未将洞室堵塞时，应先支护或加固顶部。当确认顶部已稳定时，再清除塌落物。
- d) 塌落物已将洞室堵塞时，宜采用管棚或管棚加注浆等方法加固，然后再边开挖、边支护或边衬砌。
- e) 发生冒顶式塌方时，应首先加固好地表塌方区域周围岩体，并做好排水，防止塌方范围扩大。对塌落物应进行灌浆固结，再按上述要求有计划的清除塌落物。
- f) 有地下水活动的地段，应先治水后处理塌方。

## 7 钻爆法施工

### 7.1 一般洞段钻孔爆破

7.1.1 深地空间地下洞室开挖及支护施工风险高于一般工程，应提高机械化施工。施工过程中，需及时完成必须的支护工作后再进行下一道工序施工。常用的主要机械化配套设备包括凿岩台车、钢筋网安装台车、湿喷混凝土台车或湿喷机械手、钢拱架支护台车等，以及必要的配套机具，形成机械化流水作业线。在配置时，需充分论证配套设备的生产效率。

7.1.2 深地空间地下洞室采用钻孔爆破法开挖时，应进行爆破参数的试验，应采用光面爆破或预裂爆破技术，必须遵守 GB 6722 的有关规定。

7.1.3 施工单位应根据设计图纸、地质情况、爆破器材性能及钻孔机械等条件和爆破试验结果进行钻孔爆破设计。钻孔爆破设计应包括下列内容：

- a) 掏槽方式：应根据开挖断面大小、围岩类别、钻孔机具等因素确定。若采用中空直眼掏槽时，应尽量加大空眼直径和数目。
- b) 炮孔布置、深度及角度：炮孔应均匀布置；孔深应根据断面大小、钻孔机具性能和循环进尺要求等因素确定；钻孔角度应按炮孔类型进行设计，同类钻孔角度应一致，钻孔方向可按平行或收放等形式确定。
- c) 装药量：应根据围岩类别确定。任一炮孔装药量所引起的爆破裂隙伸入到岩体的影响带不应超过周边孔爆破产生的影响带。应选用合适的炸药，特别是周边孔应选用低爆速炸药或采用间隔装药、专用小直径药卷连续装药。
- d) 确定堵塞方式。
- e) 起爆方式及顺序：宜采用塑料导爆管、非电毫秒雷管，根据孔位布置分段爆破，其分段爆破时差，应使每段爆破独立作用，周边孔应同时起爆。
- f) 爆破监测及控制：当施工现场附近存在相邻建筑物、浅埋隧洞或附近有重点保护文物时，应按其抗震要求进行专项设计，并进行爆破震动控制计算。
- g) 绘制炮孔布置图。

7.1.4 深地空间地下洞室开挖施工过程中，应根据地质条件和实际爆破效果对爆破参数进行调整。

7.1.5 深地空间地下超大跨洞室分部协同开挖，宜采用深孔台阶钻孔爆破法施工。其钻孔爆破设计应满足下列要求：

- a) 周边轮廓应先行预裂或预留保护层。
- b) 采用非电毫秒雷管分段起爆。
- c) 按围岩和建筑物的抗震要求，控制最大一段的起爆药量。
- d) 按分层高度造孔，其单孔药量不应超过允许值，并采用孔间微差顺序起爆技术。
- e) 爆破石渣的块径大小和爆堆，应适合装渣机械作业。

## 7.2 不良地质钻孔爆破

7.2.1 高地应力区开挖施工宜采用应力解除爆破技术。

7.2.2 高地应力区深地空间地下洞室特殊洞段开挖施工符合以下要求：

- a) 深地空间地下洞室特殊洞段以上分层开挖时，周边孔应采用光面爆破；
- b) 深地空间地下洞室特殊洞段层开挖采用中间超前拉槽、两边预留保护层开挖时，中槽与周边保护层间宜采用施工光面爆破；
- c) 深地空间地下洞室特殊洞段以下分层开挖时，采用小孔径台阶爆破时，周边孔宜采用光面爆破，采用大孔径台阶爆破时，周边孔宜采用预裂爆破。

7.2.3 掌子面可能发生强岩爆时，应在开挖范围内进行应力解除爆破，可利用地质钻探孔或通过加深部分爆破孔实施。开挖轮廓面可能发生强岩爆时，应在保留围岩内进行应力解除爆破，可利用光面爆破孔或通过向保留围岩钻斜孔实施。

7.2.4 软岩大变形部位钻孔爆破作业应不大于 2 m；轮廓面应选用光面爆破，宜采用小孔距、低药量方案；通过试验确定合理的单段起爆药量，控制爆破影响。

7.2.5 突涌水洞段钻孔爆破作业应采用不小于 3 倍洞径的孔深，实施超前钻孔进行地下水探查；采用有效措施降低炮孔内水量；控制单段起爆药量。

7.2.6 在对高地温洞段进行爆破施工开挖时，孔内岩体温度应低于爆破器材安全使用温度。当通风、洒水等措施难以降低孔内温度时，可采取炮孔内注冷水等措施。

## 8 初期支护

### 8.1 一般洞段初期支护

8.1.1 开挖后需要支护的地段，应根据围岩条件、洞室断面型式、断面尺寸、开挖方法、围岩自稳时间等因素，确定以锚杆、喷射混凝土为主的初期支护方案。

8.1.2 初期支护结构可根据围岩类别、断面尺寸及开挖方法按 GB 50086 的规定进行结构设计。

8.1.3 同一地段初期支护与开挖作业间隔时间、施工顺序及支护跟进方式，应根据围岩条件、爆破参数、支护类型等因素确定。初期支护应根据批准的施工方法进行施工。稳定性差的围岩，初期支护应紧跟开挖作业面实施，必要时还应采用超前支护的措施。

8.1.4 应按设计要求，开展施工期的安全监测工作。现场安全监测应与施工同步进行。对大断面洞室和特殊部位宜进行长期监测。

8.1.5 初期支护应能适应永久性衬砌的要求，并尽可能使初期支护结构作为永久性衬砌的一部分。

8.1.6 采用钢纤维喷射混凝土、树脂纤维喷射混凝土、自钻式锚杆和树脂锚杆时，应通过试验确定其应采用条件和范围。

8.1.7 拱架支撑与锚喷联合支护应在Ⅳ、Ⅴ类围岩中使用，拱架支撑结构应根据开挖断面、开挖方式和围岩稳定条件等因素进行设计，并在加工厂制作。拱架支撑间距应根据开挖后围岩条件与开挖循环进尺确定。拱架支撑应沿实际开挖轮线紧贴开挖面安装，与围岩之间的空隙应立即用喷射混凝土充填。空隙较大部位应以 25 号钢筋支撑于岩面，再分次喷射混凝土直至充填饱满。

8.1.8 在特大断面的深地空间地下洞室中，对影响围岩稳定的内部结构面可采用预应力锚杆(索)进行

加固。预应力锚杆(索)的设计与施工,应遵守 DL/T 5083 的规定。

## 8.2 不良地质初期支护

8.2.1 施工前,应按照地质报告和地质预报,根据不良地质条件的性质编制专项临时支护措施。临时支护应及时施做,以确保围岩稳定。

8.2.2 在松散、破碎的岩体中,对岩体可采用预灌浆加固、先护后挖、边挖边护等方法施工。

8.2.3 在膨胀性岩体中,可采用喷锚支护及时封闭围岩,并根据监测结果,适时做好永久性衬砌。如岩体变形过大,可采用不封闭或可伸缩性支护结构。开挖时应预留足够的变形量。

8.2.4 对岩溶地段,宜采用封堵、隔离、清除、支护、加固、利用结构物跨越等方法处理溶洞中的空洞、危石、坍塌及风化充填物。

8.2.5 在高地应力区,可采用加密布置的短锚杆、喷射钢纤维或树脂纤维喷射混凝土支护。

8.2.6 软岩洞段的深地空间地下洞室,应在开挖后立即进行临时支护,临时支护应确保围岩稳定。施工过程中,除应按设计要求进行支护外,还应根据围岩特性,对可能出现的局部不稳定部位增设随机布置的拱架支撑或锚杆,应准备一定数量的抢险材料,以应付突然发生的围岩塌滑。

8.2.7 深地空间地下洞室高地温洞段应根据热害级别,对支护设计、工程措施和降温措施等进行专项研究,并符合下列规定:

- a) 应评估地温对围岩稳定、支护结构受力的影响。
- b) 热害级别为II级及以上时,混凝土应选择低热水泥。
- c) 热害级别为III级以上时,应考虑设计隔热层,初期支护和二次衬砌应采用特殊材料及特殊养护。
- d) 宜采用加强通风、人工制冷、个体防护、设置低温休息室等降温措施。

8.2.8 在不良地质条件洞段的洞室开挖与支护后,应加密布置监测断面,增加观测频次,及时通报监测结果;遇有异常情况,应立即采取加固措施。

## 9 安全监测

9.1.1 地下开挖工程施工期的安全监测,应根据工程等级、地形、地貌、围岩条件、施工方法等确定监测项目、数量,选择监测仪器。施工前,应对监测仪器的布置做出专门设计。

9.1.2 深埋地下洞室安全监测除应符合国家和相关行业标准的有关规定外,还应对岩爆、大变形洞段支护结构的受力状况进行专项监测。

9.1.3 深埋地下洞室开挖施工专项监测宜采用孔内电视、超声波等物探方法对围岩的损伤情况进行检测,确定围岩岩体的完整性指标;应对围岩变形与支护结构应力进行监测,获取围岩开挖后全过程时效变形情况;应采用反馈分析等方法,对围岩的安全性进行评价。

9.1.4 深部洞室开挖施工中宜进行微震监测,宜将传感器布置在距开挖面 150m 以内。微震传感器布置范围宜覆盖岩爆微震监测区域。宜对主体监测区域跟进监测。

9.1.5 施工期安全监测工作应按对施工干扰小、观测方便、仪器耐久性好及适应恶劣施工环境等要求,选择下列监测项目和观测仪器:

- a) 收敛监测及顶拱沉降监测,应使用收敛计或激光断面仪。位移监测应使用多点位移计、单点位移计或钻孔测斜仪;
- b) 应力监测应使用锚杆应力计、预应力锚杆(索)压力传感器、钢筋应变计。

9.1.6 工程量较大的施工项目,施工期安全监测工作应由专业队伍实施。相关部门应建立独立的、专门从事安全监测的机构,制定详尽的工作计划,编制监测手册。

## 10 辅助工程

## 10.1 通风

10.1.1 地下洞室开挖施工过程中应以人为本，工作面和运输通道必须有足够的新鲜空气供应，以保证空气中氧气含量。有害气体和粉尘含量应符合相关规范的标准。

10.1.2 通风方式应根据地下洞室的布置、洞室规模及尺寸、施工程序、施工方法、工作面有害气体和粉尘含量及其危害程度等因素综合确定。对特大型断面洞室和特长隧洞应进行施工通风专题研究，应充分利用施工斜井、竖井、横洞和平行导坑等辅助坑道，且应考虑自然风压力作用的影响。

10.1.3 设置机械通风系统的深地空间超大跨洞室，在施工期应设置施工通风监测与控制设施，并根据通风效果合理确定通风设施运行方案及其控制方案，保证通风系统平稳、安全、节能运行。

10.1.4 对存在瓦斯等有害气体、高温等作业区，应做专项通风设计，并设置监测装置。

10.1.5 深地空间超大跨洞室施工通风作业，应遵守国家有关政策和法规，重视环境保护和节约能源，合理设计施工通风方案，并确定通风设备选型及布置。

## 10.2 防尘、防有害气体

10.2.1 深地空间超大跨洞室开挖时，宜采用下列综合防尘措施：

- a) 宜采用湿式凿岩机造孔；特大断面洞室采用潜孔钻造孔时，应配备符合国家工业卫生标准的除尘装置。
- b) 地质条件允许时，应利用压力水冲洗洞壁。
- c) 爆破后应利用喷雾器喷雾，降低悬浮在空气中的粉尘含量。
- d) 出渣前宜用水淋湿石渣。
- e) 应加强通风。
- f) 应配备防尘器材，做好个人防护。

10.2.2 喷射混凝土作业时，宜采用湿喷机作业；采用干喷法施工时，应采用下列防尘措施：

- a) 应采用水泥裹砂法施工。
- b) 在保证顺利喷射施工条件下，应适当增加骨料含水率。
- c) 在距喷头3~4m处增加一个水环，采用双水环加水。
- d) 在喷射机或混合料拌和处，应设置集尘器或除尘器。
- e) 在粉尘浓度较高地段，应设置除尘水幕。
- f) 喷射混凝土的混合料中宜掺入增黏剂等掺合料。
- g) 应加强作业区的局部通风。

10.2.3 洞内施工应采用低污染柴油机械，并配备废气净化设备，不应采用汽油机械。柴油机燃料中宜掺入添加剂，以减少有害气体排放量。

10.2.4 施工地段含有瓦斯气体时，应参照《煤矿安全规程》（2004年）第二节瓦斯防治，结合实际情况制定预防瓦斯的安全措施，并应遵守下列规定：

- a) 定期测定空气中瓦斯的含量。当工作面瓦斯浓度超过1.0%，或二氧化碳浓度超过1.5%时，必须停止作业，撤出施工人员，采取措施，进行处理。
- b) 施工单位人员应通过防瓦斯学习，掌握预防瓦斯的方法。
- c) 机电设备及照明灯具均应采用防爆式。
- d) 应配备专职瓦斯检测人员，检测设备应定期校检，报警装置应定期检查。

10.2.5 施工单位的安全检查机构中，应有专门负责防尘、防有害气体、防噪声的检查监测人员，并应配备相应的检测仪器，定期检测，公示检测结果。检测结果达不到卫生标准时，应限期解决，必要时应停工整改。

## 10.3 供水与排水

10.3.1 施工用水的供水量应根据施工、消防和生活用水的要求确定。

- 10.3.2 根据施工总体布置，合理选择水池位置、高程和结构型式。水池容积应满足日调节的要求。
- 10.3.3 工作面的水压应满足施工机械的需要，一般情况不宜小于 0.3MPa。若水压不够时，可增设加压装置。
- 10.3.4 供水水源应稳定，水质应符合施工用水和生活用水标准，且应对水质定期进行检测。
- 10.3.5 当供水泵站设在河流岸边时，应考虑洪水影响。寒冷地区的供水系统，冬季应做好防冻设施。
- 10.3.6 洞口应根据地形和水文条件，做好排水设计，选择经济合理的排水设施，不应使地表水倒灌入洞内、冲刷洞口和施工道路。
- 10.3.7 洞内排水应符合下列要求：
- 工作面及运输道路的路面不应有积水。
  - 逆坡施工时，应设置排水沟自流排水，并经常清理，必要时可设置盖板。
  - 顺坡或平坡施工时，应在适当地点设置集水坑并用水泵排水。
  - 排水泵的容量应比最大涌水量大30%~50%。使用一台水泵排水时，应有与排水泵相同容量的备用水泵；使用两台水泵排水时，应有50%的备用量。重要部位应设有备用电源。

#### 10.4 供电与照明

- 10.4.1 洞外高压供电线路应符合施工供电总体布置的要求。变压器的容量应根据施工总用电量确定。
- 10.4.2 为洞内供电的变压器站，宜布置在用电负荷中心，并参照下列要求确定：
- 设在洞口外不受爆破影响和施工干扰处。
  - 当隧洞较短、洞口外场地允许时，可与空压机的变压器一处布置。
  - 当隧洞较长、需要变压器进洞时，应选用矿山专用变压器或按电器规程设置变压器室。变压器的高压电源应用电缆引入洞内。电缆应定期进行外观检查和耐压试验。
- 10.4.3 洞内供电电压应符合下列规定：
- 宜采用380/220V三相四线制。
  - 动力设备应采用三相380V。
  - 隧洞开挖、支护工作面可使用电压为220V的投光灯照明，但应经常检查灯具和电缆的绝缘性能。
- 10.4.4 掘进机和其他高压设备的供电电压，应按设备要求确定。
- 10.4.5 高寒缺氧地区施工变电站的电器设备，应选用提高一个电压等级的设备，并选用高原型产品。
- 10.4.6 线路末端的电压降不应超过 5%。
- 10.4.7 洞内供电线路的布设应符合下列规定：
- 位置固定的动力线与照明线路必须采用绝缘良好的导线整齐排列，并固定在1.8 m以上高度的洞壁上。严禁使用裸导线，同时还应满足线路架设的有关规定。
  - 工作面附近的临时动力线及照明线，应使用防水与绝缘性能良好的优质电缆。
  - 电力起爆主线应与照明及动力线分两侧架设。
- 10.4.8 洞内与洞外的配电盘应采用专用产品，并封闭使用，必要时应配锁。
- 10.4.9 洞内照明灯应采用防水灯头，淋水地段应采用防水灯罩。

### 11 安全施工

- 11.1.1 施工单位进入施工现场后，应根据施工内容、施工条件，建立安全管理机构，制定切实可行的安全施工管理制度：
- 开挖施工前，应对施工区域的围岩稳定做深入的分析，特别是对软岩、不良地质条件地段的开挖施工，应制定切实可行的施工方案，对可能出现的安全问题做出预报；

- b) 应根据对围岩稳定状况的分析结果，针对不同的地质条件，制定保证安全施工的预案，建立保证安全施工的指挥系统；
- c) 应适时开展施工期的安全监测，定期发送安全监测简报；
- d) 施工场地布置应满足环境保护要求，施工完成后应恢复原有面貌；
- e) 施工场地和作业区域的施工机械、施工材料应有序安放，作业面应平整，做到文明施工。

11.1.2 使用的爆破材料应符合国家规定的技术标准，每批爆破材料使用前应进行有关的性能检验。爆破材料的运输、储存、加工、现场装药、起爆及哑炮处理，应遵守 GB 6722 的规定。

11.1.3 应确保出渣运输的安全，定期检查电源线路和设备的电器部件：

- a) 应定期检查起吊设备的井架、钢丝绳、钢丝绳接头、滑轮、滑轮轴、吊斗、卷扬机的制动、限位等构件和部位，以保证起吊设备始终处于安全工作状态；
- b) 施工过程中应定期检查电源线路和设备的电器部件；
- c) 作业平台和作业台车应有足够的稳定性。作业台车应设置防护栏杆，高空作业应配备安全带。

11.1.4 支护应按施工组织设计或施工图要求适时施做，施工过程中应执行 GB 50086 的规定：

- a) 喷射混凝土作业过程中，应经常查看出料喷头、出料管和管路接头有无破损和松脱现象，发现异常应及时处理；
- b) 喷射机、水箱、风包、注浆器、注浆泵等密封及压力容器应定期进行耐压检查，合格后方可使用。压力容器应安装安全阀，使用过程中发现失灵时应立即更换。带式送料机及其他配有外露的转动和传动装置应设保护罩；
- c) 检验锚杆锚固力或对锚杆施加预应力时，拉力计及孔口设备应安装牢固。锚杆张拉时，前方或下方不允许布置设备或停留操作人员。

## 12 质量检查

12.1.1 深地空间超大跨洞室开挖与支护的质量检查，应包括施工单位自检、监理单位抽检和重要隐蔽工程的联合检查。

12.1.2 施工单位应有健全的质量检查机构，并应制定完善的质量保证措施。

12.1.3 施工单位的质量检查结果应经监理单位审核。监理单位应根据有关规定进行抽检。经监理单位核定的施工单位的检查结果，是评定工程质量的主要依据。

12.1.4 重要隐蔽工程的质量检查应由监理单位组织，由建设单位、施工单位、设计单位（含地质）和监理单位组成的联合检查组共同完成，其检查结果应作为工程验收的必备资料。

A

12.1.5 深地空间超大跨洞室开挖的质量检查，应在每开挖循环完成后，初期支护施做前进行。质量检查内容与应提交的检查资料为：

- a) 质量检查内容包括：洞室轴向方向及其偏差；轴线位置、高程及其偏差；壁面开挖轮廓线尺寸及其偏差；每循环进尺及爆破效果；软弱结构面的处理及是否存在松动岩块等。
- b) 应提交的检查资料包括：实测开挖图；地质展示图与地质素描；检测结果记录表；壁面平均起伏差表；单元工程完成后，应提交单元工程质量评定表。

12.1.6 深地空间超大跨洞室初期支护的质量检查，应在每个循环的施工工序完成后及时进行；若实行分部位开挖时，应在每部位的施工工序完成后进行。初期支护质量检查内容与应提交的检查资料为：

- a) 质量检查内容包括：喷射混凝土强度、厚度、均匀性、密实性和喷层的整体性以及渗水部位处理结果；锚杆长度、位置、方向、数量、注浆效果、拉拔力；钢筋网格尺寸、搭接长度；拱架支撑的间距、连接方式、支脚处理，连接筋直径、数量、间距；其他支护措施的质量等。
- b) 应提交的检查资料包括：临时支护竣工图；临时支护完成后洞室断面图；临时支护质量检查记录表；单元工程完成后，应提交单元工程质量评定表。

12.1.7 每个开挖与支护单元工程完成后，应立即进行单元工程的质量评定工作，单元工程质量评定结果需经监理单位认定，重要隐蔽工程的质量评定结果还应经质量监督部门核准

12.1.8 深地空间超大跨洞室开挖工程的质量评定，应遵守国家和相关行业标准的规定。

---