

ICS 27.140

P 59

备案号: J1278—2011

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5099 — 2011

代替 DL/T 5099 — 1999

**水工建筑物地下工程开挖
施工技术规范**

**Technical specification for excavation of
underground works on hydraulic structure**



2011-07-28 发布

2011-11-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 总则	3
4 地质	4
5 测量	5
6 开挖方法	10
7 钻孔爆破	17
8 出渣运输	20
9 初期支护	24
10 不良工程地质地段施工	26
11 安全监测	29
12 通风与除尘	31
13 辅助工程	36
14 质量检查与验收	40
附录 A (规范性附录) 岩土分级	42
附录 B (规范性附录) 围岩工程地质分类	46
附录 C (规范性附录) 地面和地下控制测量误差在横向和竖向 贯通面上的计算及有关技术规定	51
附录 D (资料性附录) 窄轨运输技术条件	56
附录 E (资料性附录) 非电毫秒雷管段别及延期时间表	59
附录 F (资料性附录) 光面爆破与预裂爆破参数	60
附录 G (资料性附录) 质点振动速度传播规律的经验公式	62
附录 H (资料性附录) 安全监测附表	64
条文说明	67

前 言

本标准是对《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(DL/T 5099—1999)(以下简称原标准)进行修订而成的。

原标准实施以来,随着工程实践不断深入,地下工程开挖施工技术进步明显,为适应我国水电水利地下工程开挖技术发展的需要,有必要对原标准进行修订。本次修订总结先进技术和经验,满足节能减排、环境保护等要求,与现行电力标准体系协调一致。

本标准的主要技术内容包括:地质、测量、开挖方法、钻孔爆破、出渣与运输、初期支护、不良工程地质地段施工、安全监测、通风与防尘、辅助工程、质量检查与验收。

本次修订中修改和增加的主要内容有:

- 该标准引用了新的水电水利工程系列标准,增加了工程土类分级、长隧洞测量控制标准;
- 对地下洞室规模界定进行了调整,对地下洞室类型进行定义;
- 对特大断面地下洞室开挖提出了“施工分层、一次预裂、薄层开挖、随层支护”的原则,给出了开挖分层高度控制值;
- 取消了火雷管起爆,引入新的起爆方式;
- 提高了光面爆破和预裂爆破效果的检验标准;
- 初期支护增加了预应力锚杆、自进式锚杆、合成纤维喷射混凝土等技术内容;
- 明确采用湿喷法喷射混凝土并掺加无碱速凝剂等,有利于施工环境保护及职业健康;
- 提出了支护应设置预留变形量并及时闭合成环的要求;
- 安全监测中对围岩稳定和工程安全应采用数值分析与工

程类比进行综合评判,增加了爆破有害效应的监测内容。

本标准对原标准 112 条进行了修改,增加了 32 条,保留 41 条,取消 24 条。本标准共 14 章 184 条和 8 个附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:中国水利水电第十四工程局有限公司。

本标准主要起草人:和孙文、朱镜芳、葛浩然、陈晋南、沈如东、杨元红、字继权、李继兴、夏仲存、徐萍、李兴明、刘兴昌。

本标准审查人:马洪琪、梅锦煜、许松林、宗敦峰、张正宇、魏志远、汪毅、楚跃先、康明华、孙来成、张建华、黄启平、黄辉、黄志斌、杨溪滨、周垂一、陈及新、张琼芝、敦光文、陈宏、席浩、吴高见、杨成文、向建、尹岳降、衡富安。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心(北京市白广路二条一号,100761)。

1 范 围

本标准规定了水工建筑物地下工程开挖的施工技术和质量检查与验收等方面的要求。

本标准适用于大、中型水电水利工程水工建筑物地下工程钻爆法开挖施工，其他地下工程施工可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
- DL/T 5006 水电水利工程岩体观测规程
- DL/T 5123 水电站基本建设工程验收规程
- DL/T 5173 水电水利工程施工测量规范
- DL/T 5181 水电水利工程喷锚支护施工规范
- DL/T 5195 水工隧洞设计规范
- DL/T 5198 水电水利工程岩壁梁施工规程
- DL/T 5370 水电水利工程施工通用安全技术规程
- DL/T 5371 水电水利工程土建施工安全技术规程
- DL/T 5333 水电水利工程爆破安全监测规程
- SD 267 水利水电建筑安装安全技术工作规程

3 总 则

- 3.0.1 为规范水工建筑物地下工程开挖施工，保证工程安全和质量，制定本标准。
- 3.0.2 地下工程开挖施工应遵守“安全第一，以人为本”的原则，统筹协调安全、质量、进度、环保和经济的关系。
- 3.0.3 工程实施前，应进行技术交底。施工中应进行工程地质和水文地质的预报、预测工作，必要时进行补充勘测工作。应根据对围岩稳定监测反馈信息，进行动态设计与修正施工方案。
- 3.0.4 地下工程开挖应根据地形、地质、洞室布置、洞室断面尺寸等条件，通过安全及技术经济比较，合理选择施工方案。轮廓面开挖应采用光面爆破或预裂爆破技术施工。
- 3.0.5 开工前应编制施工组织设计，报批后方可施工。应形成完整的原始资料记录、竣工资料和工程总结。
- 3.0.6 开工前应制定有针对性的环境保护和水土保持措施，并与工程建设同步实施。
- 3.0.7 开工前应制定安全技术措施及进行安全技术交底。施工过程中，应执行 DL/T 5370 及 DL/T 5371 的有关规定。
- 3.0.8 应制定围岩监测方案。安全监测的信息应及时进行分析反馈。
- 3.0.9 地下水丰富的地下工程开挖施工，排水系统的设置、水害应急救援等参照《煤矿防治水规定》（国家安全生产监督管理总局令第 28 号，2009 年 11 月 30 日）执行。
- 3.0.10 积极采用新技术、新工艺、新材料和新设备，并经过试验与论证后应用于施工。
- 3.0.11 地下工程开挖施工除应遵守本标准规定外，还应符合国家现行有关标准、规范的规定。

4 地 质

4.0.1 地下工程开工前，应收集与工程有关的工程地质、水文地质等资料，包括以下内容：

1 工程区域内的地形、地貌资料，特别是过沟地段，浅埋地段，偏压地段，地下洞室进、出口段边坡和高水头压力管道地段山体的稳定情况等。

2 地下建筑物区域的地层岩性及产状，特别是松散、软弱、崩解、膨胀和易溶岩层的分布及其物理力学性质。

3 地质构造条件，特别是断层、节理裂隙密集带及这些破碎带的位置、产状、规模、性状及组合关系等。

4 水文地质条件，含水层分布、水位、水质、水温、涌水量，特别是储水量丰富的含水层，强透水带的位置和补给源及动态规律。

5 岩溶区的岩溶洞穴发育层位、规模、充填情况。

6 岩体初始地应力及地温资料，高地应力区还应收集可能发生的岩爆资料。

7 有害气体和放射性元素的性质、含量及其分布范围。

4.0.2 开挖过程中及开挖后，应开展下列施工地质工作：

1 地质编录、地质素描和测绘。

2 预测和地质预报。地质条件复杂地段，应加强预报，确定预报内容和所需仪器。

3 对不良工程地质与复杂水文地质问题进行专项研究，提出对策。

4 及时分析监测资料，进行信息反馈。

5 根据地层岩性、构造及水文地质状况，按附录 A 确定岩石级别，按附录 B 划分出围岩类别。

5 测 量

5.0.1 地下工程施工测量应包括以下内容：

- 1 地下工程贯通测量的技术设计和贯通测量。
- 2 根据贯通测量的技术设计要求，在地面和地下建立平面与高程控制网。
- 3 对地下洞室的轴线、高程、开挖断面和点位进行放样。
- 4 测绘洞室纵横断面，并计算工程量。
- 5 对施工部位进行检查验收，提出中间验收和竣工验收资料，并绘制竣工图。

5.0.2 贯通测量技术设计应在开工前进行，其容许的误差应符合下述规定：

- 1 贯通测量容许极限误差应满足表 5.0.2-1 的要求。

表 5.0.2-1 贯通测量容许极限误差值

相向开挖长度 L km		$L < 5$	$5 \leq L < 10$	$10 \leq L < 15$	$15 \leq L < 20$	$20 \leq L < 25$	$25 \leq L < 30$
极限贯通 误差 mm	横向	±100	±150	±220	±300	±400	±500
	纵向	±100	±150	±220	±300	±400	±500
	竖向	±40	±56	±76	±100	±124	±150

注：1 相向开挖长度 L 包括支洞长度在内。

2 如果通过曲线隧道或斜井贯通时，导线精度应提高一级或作专门设计。

2 计算贯通误差时，可取表 5.0.2-1 中极限误差的一半作为贯通面上的容许中误差，应参照表 5.0.2-2 的原则分配。

3 对于上下两端相向开挖的竖井，其极限贯通误差不应大于 ±200mm。

表 5.0.2-2 贯通中误差分配表

相向开挖长度 L km	中 误 差 mm								
	横 向			纵 向			竖 向		
	洞外	洞内	贯通面	洞外	洞内	贯通面	洞外	洞内	贯通面
$L < 5$	±20	±50	±50	±20	±50	±50	±15	±15	±20
$5 \leq L < 10$	±30	±75	±75	±30	±75	±75	±20	±20	±28
$10 \leq L < 15$	±44	±110	±110	±44	±110	±110	±27	±27	±38
$15 \leq L < 20$	±60	±150	±150	±60	±150	±150	±35	±35	±50
$20 \leq L < 25$	±80	±200	±200	±80	±200	±200	±44	±44	±62
$25 \leq L < 30$	±100	±250	±250	±100	±250	±250	±53	±53	±75

注：当通过竖井贯通时，应把竖井定向作为一个新增加的独立因素参加贯通中误差的分配。

5.0.3 地面和地下控制测量误差在横向和竖向贯通面上的影响，应按附录 C 中的公式计算。

5.0.4 开工前，应根据洞室的设计轴线，拟定平面和高程控制网图，按表 5.0.2-1 和表 5.0.2-2 所规定的精度指标，用附录 C 中的公式进行预期贯通误差的估算，确定洞室外和洞室内的控制等级和作业方法。

5.0.5 控制测量的各项技术要求，按 DL/T 5173 的规定执行。

5.0.6 洞内导线宜直接与主网连接进洞，没有条件时洞口点可采用点位稳固、通视条件好、背景清晰和边长适中的插点与主网连接进洞。

5.0.7 洞内平面控制测量，应符合如下规定：

- 1 洞内导线应分为基本导线和施工导线。
- 2 基本导线宜沿洞壁两侧布设，并及时算出各导线点平行轴

线的指向角和左右偏离值以指导施工。自由导线应组成闭合环或观测左右角，以资校核。

3 施工导线点宜 50m 左右埋设一点，并每隔数点选择一点作为基本导线点，以资校核。

4 洞内各等级光电测距基本导线的等级和技术要求应符合表 5.0.7-1、表 5.0.7-2 的规定。

5 洞内若采用钢尺丈量时，技术要求应符合附录 C 中表 C.0.4 的规定，并应加入尺长倾斜和温度改正。

表 5.0.7-1 洞内光电测距导线网等级

隧洞相向开挖长度 L km	基本导线等级	水准等级
$L < 5$	三等、四等	四等
$5 \leq L < 10$	二等、三等	四等
$10 \leq L < 15$	二等、三等	三等
$15 \leq L < 20$	二等	三等
$20 \leq L < 30$	一等、二等	三等

注：相向开挖长度 L 包括支洞长度在内。

表 5.0.7-2 洞内光电测距基本导线技术要求

隧洞相向 开挖长度 L km	要求的横 向贯通中 误差 mm	导线测量精度		平均边长 m	导线全长 km
		测边中误差 mm	测角中误差 ($''$)		
$L < 5$	± 40	± 5	± 2.5	50	1.0
		± 5	± 2.5	180	1.6
		± 5	± 2.5	335	2.0
		± 5	± 1.8	185	
		± 5	± 1.8	360	2.52
		± 3	± 1.8	315	

续表 5.0.7-2

隧洞相向 开挖长度 L km	要求的横 向贯通中 误差 mm	导线测量精度		平均边长 m	导线全长 km
		测边中误差 mm	测角中误差 ($''$)		
$5 \leq L < 10$	± 60	± 3	± 1.8	220	3.0
		± 5	± 1.8	250	
		± 3	± 1.0	70	
		± 5	± 1.0	335	5.0
		± 3	± 1.0	315	
$10 \leq L < 15$	± 90	± 3	± 1.0	250	6.0
		± 3	± 1.0	350	7.5
$15 \leq L < 20$	± 120	± 3	± 1.0	300	8.0
		± 3	± 0.7	350	10.0
$20 \leq L < 25$	± 165	± 3	± 0.7	350	11.0
		± 2	± 0.7	400	12.5
$25 \leq L < 30$	± 205	± 2	± 0.7	350	13.0
		± 2	± 0.7	400	15.0

注：1 本表按支导线端点的点位中误差计算。

2 实际情况与本表不相符时，基本导线的技术要求应作专门设计。

6 洞内基本导线应进行对向观测，并对仪器、气象、倾斜和投影各项相应因素进行改正，并独立进行两组观测，导线点两组坐标值较差，不得超过中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍，合格后取两组的平均值为最后成果。

7 对于曲线隧洞或通过竖井、斜井贯通时，其导线精度应提高一级或作专门设计。

8 光电测距作业和钢尺丈量的技术要求，应符合附录 C 中表 C.0.3 和表 C.0.4 的要求。

5.0.8 洞内的高程控制，可采用三、四等水准，也可用同等精度的光电三角高程代替。应独立进行两组观测，以资校核。洞内的

高程控制标志应与基本导线合一。

各级水准测量和光电三角高程测量的技术要求应符合附录 C 中表 C.0.3、表 C.0.4 和表 C.0.5-1、表 C.0.5-2 的要求。

5.0.9 隧洞贯通后，应及时进行贯通测量，并对贯通误差进行调整和分配。

5.0.10 地下工程施工测量按下列要求进行：

1 开挖轮廓点的放样误差，相对于洞轴线应不大于 50mm。

2 洞内开挖放样和断面测量，宜采用激光准直仪、免棱镜可测距的仪器和非接触式自动极坐标测量系统进行。测量成果和断面绘图宜采用数字化技术。

3 洞内断面测量的间距宜为 5m，对断面变化较大的部位，可适当加测断面。断面测量各测点的误差相对于洞轴线应控制在 ±50mm 之内。

4 斜井的开挖放样，可用坡面经纬仪直接测定中线和平行腰高。若用经纬仪按真伪倾角法测定平行腰高时，除中线一点外，其余点的垂直角 α' ，可按下列式计算：

$$\alpha' = \tan^{-1} (\tan \alpha \cos \theta) \quad (5.0.10)$$

式中：

α ——斜井的设计垂直角；

θ ——斜井中线至照准点方向的水平夹角。

5 随着工程的施工进度，应及时测绘开挖竣工断面，计算开挖工程量，并根据需要复测洞内基本导线控制点。

5.0.11 工程竣工时，应提交下列测量资料：

1 洞口点与地面控制网联测成果及进洞关系平面图。

2 洞内导线和高程计算成果及平面图。

3 开挖竣工纵横断面及总开挖工程量。

4 贯通误差的实测结果和说明。

5 技术总结。

6 开 挖 方 法

6.1 一 般 规 定

6.1.1 编制地下工程开挖施工组织设计，主要内容包括：

- 1 工程概况。
- 2 施工布置及辅助设施。
- 3 施工方法、开挖程序。
- 4 施工进度计划。
- 5 资源配置。
- 6 安全技术措施、质量技术措施、环境保护措施。

6.1.2 地下工程规模可根据洞室断面积 A 或跨度 B 的大小划分为：

- 1 特小断面： $A \leq 10\text{m}^2$ 或 $B \leq 3\text{m}$ 。
- 2 小断面： $10\text{m}^2 < A \leq 25\text{m}^2$ 或 $3\text{m} < B \leq 5\text{m}$ 。
- 3 中断面： $25\text{m}^2 < A \leq 100\text{m}^2$ 或 $5\text{m} < B \leq 10\text{m}$ 。
- 4 大断面： $100\text{m}^2 < A \leq 225\text{m}^2$ 或 $10\text{m} < B \leq 15\text{m}$ 。
- 5 特大断面： $A > 225\text{m}^2$ 或 $B > 15\text{m}$ 。

6.1.3 地下洞室按照洞轴线与水平面的夹角 α 可划分为平洞、斜井、竖井等三种类型，其划分原则为：

- 1 $\alpha \leq 6^\circ$ ，为平洞。
- 2 $6^\circ < \alpha < 75^\circ$ ，为斜井。斜井可进一步细分为缓斜井（ $6^\circ < \alpha \leq 48^\circ$ ）和斜井（ $48^\circ < \alpha < 75^\circ$ ）。
- 3 $\alpha \geq 75^\circ$ ，为竖井。

6.1.4 地下建筑物开挖不宜欠挖，平均径向超挖值，平洞应不大于 20cm，缓斜井、斜井、竖井应不大于 25cm。因地质原因产生的超挖根据实际情况确定。

6.1.5 洞室开挖爆破后，应及时处理危石，根据围岩类别适时支护，确保围岩稳定。

6.1.6 地下洞室群与交叉洞室开挖前，应预先编绘开挖程序图，采用分区、分部开挖，应跟进支护。

6.1.7 寒冷及高寒缺氧地区洞室开挖应合理选择施工方法和施工机械，做好防冻措施，加强通风，必要时应有补氧措施。

6.2 洞 口 开 挖

6.2.1 洞口开挖前，应对洞口岩体稳定性进行分析，确定开挖方法、支护措施和洞口边坡加固方案。

6.2.2 洞口削坡应自上而下分层进行。洞脸开挖前应对开挖范围外影响安全的危石进行处理，设置排水设施，必要时可在洞脸上方设置柔性防护网或加设挡石栏栅。随坡面的下挖，做好坡面和洞脸加固。

6.2.3 应减少对洞口周围岩体的扰动，洞脸宜采用喷、锚等工程措施加固。

6.2.4 应根据设计断面先锁好洞口，锁口方法根据洞口围岩类别，可采用锚、喷，预灌浆，格栅拱架或工字钢拱架加锚、喷。

6.2.5 在IV、V类围岩中，开挖前宜进行管棚预支护。洞口上方为高陡边坡区时，宜在洞口外一定范围内浇筑明洞。洞口开挖宜在雨季前完成。在交通要道开洞口时，应做好安全防护专项设计。

6.2.6 洞口段开挖可采用以下方法：

1 洞口段宜采用先导洞后扩挖的方法施工，应采取浅孔弱爆破。断面较小时也可采用全断面开挖、及时支护的方法。

2 当洞口明挖量大或岩体稳定性差、工期紧张时，可利用施工支洞或导洞自内向外开挖，并及时做好支护。明挖与洞挖实行平行作业时，应对安全进行评估，并采取相应措施。

6.2.7 隧洞进、出口应满足防洪度汛要求，并按相应防洪标准采取工程措施。

6.3 平洞开挖

6.3.1 平洞开挖方法应根据围岩类别、工程规模、工期要求、支护参数、施工条件、出渣方式等确定。中、小断面洞室，宜采用全断面开挖；大断面、特大断面洞室宜采用分层、分区开挖。

6.3.2 分层分区开挖的洞室，应根据地质情况进行适时支护。

6.3.3 下列情况可采用预先贯通导洞法施工：

- 1 地质条件复杂，需进一步查清；
- 2 为解决排水或降低地下水位；
- 3 改善通风和优化交通。

6.3.4 循环进尺应根据围岩情况、断面大小和支护能力、监测结果等条件进行控制，在IV类围岩中宜控制在2m以内，在V类围岩中宜控制在1m以内。

6.4 竖井与斜井开挖

6.4.1 竖井与斜井开挖方法可根据其断面尺寸、深度、倾角、围岩特性、工期要求、施工设备、地形条件、交通条件和施工技术水平等因素选择。

6.4.2 竖井、斜井采用自上而下全断面开挖时，应遵守下列规定：

1 应做好锁口，确保井口稳定，井口要有防护措施。锁口井圈应采用混凝土结构，并高出井口地面0.30m以上。露天竖井、斜井锁口圈高度应考虑防洪要求，且应预留3m~5m宽的井台，边坡与井台交接处设排水沟。埋藏式竖井、斜井应根据围岩条件，做好支护，必要时应先衬好顶拱。

2 提升设备应有专项设计。

3 人员上下：竖井深超过15m时，宜采用“之”字形楼梯。井深超过30m时，宜加设提升设备。

4 涌水和淋水地段，应有防水、排水措施。

5 应随开挖深度下降而跟进支护。支护参数根据不同围岩确

定。井壁有不利的节理裂隙组合时，应增加随机支护。

6 IV、V类围岩地段，应制定专项施工措施，应开挖一段支护或衬砌一段，也可采用预灌浆法加固围岩后再开挖。

6.4.3 采用贯通导井后自上而下进行扩大开挖方法时，还应满足下列条件：

1 直径大于 10m 时宜采用机械扒渣。若人工扒渣时，由井周边到导井口，宜有适当坡度，便于扒渣。

2 采取有效措施，防止石渣堵塞导井和发生人员坠落事故。

3 竖井、斜井与平洞连接处，应将连接段加固后再开挖。

6.4.4 在 I、II、III类围岩中采用导井法开挖斜井、竖井时，导井断面宜为 $4\text{m}^2 \sim 5\text{m}^2$ ，若形成的导井不足 2m^2 ，可先二次扩挖导井。

6.4.5 导井可选用以下方法开挖：

1 人工开挖法：

1) 正井法：即自上而下开挖，适用于深度在 50m 以内的导井开挖。

2) 反井法：即由下向上开挖，只适用于 I、II类围岩且深度在 50m 之内的竖井。

3) 正、反井相结合开挖。

2 深孔爆破法：即一次钻孔、分段爆破法，适宜于深度小于 50m 的导井开挖。

3 吊罐法：要求中心孔的偏斜率不大于 1%，适用于围岩稳定性好且深度为 30m~100m 的竖井。

4 爬罐法：适用于 I、II、III类围岩且深度在 50m~250m 的斜导井。

5 反井钻机法：应用于斜井时不宜超过 250m，应用于竖井时不宜超过 400m。

大断面斜井、竖井使用该方法时，可在反井钻机挖掘成反导井后，再扩挖一次导井，以利于大断面竖井、斜井的扩挖。

6.4.6 在IV类围岩中进行反导井开挖前，宜进行预灌浆加固导井周边围岩。

6.4.7 在IV、V类围岩中，宜采用正井法全断面一次开挖到位，并必须紧跟支护成型。

6.4.8 倾角小于 45° 的斜井不具备自然溜渣条件时，宜采用自上而下全断面开挖。采用自下而上开挖时，宜配置扒渣、溜渣设施。

6.5 特大断面洞室开挖

6.5.1 特大断面洞室的开挖方法，根据断面尺寸、工程地质条件、施工技术条件、工程安全、进度要求等因素，通过技术经济比较后选定。

6.5.2 根据地下洞室的不同结构型式，开挖施工遵循“平面多工序、立体多层次、分层开挖、逐层支护”的原则，宜采用自上而下分层分区开挖方法，分层高度、分区方法可结合设计断面、围岩条件、支护参数、施工机械性能及运输通道条件综合考虑。

1 分层高度宜为 $4\text{m}\sim 8\text{m}$ 。对高地应力区，应减小分层高度。

2 顶层开挖宜采用先导洞、后扩挖的方法进行，前后开挖面可错开 $30\text{m}\sim 50\text{m}$ 。开挖后应及时支护。

3 中、下部开挖宜优先采用直立边墙预裂、分层开挖、随层支护的方法。也可采用预留保护层，中间采用台阶爆破、两侧采用光面爆破的方法。

4 地下厂房岩壁吊车梁应按DL/T 5198制定专项开挖措施。

6.5.3 IV、V类围岩可采用先墙后拱法开挖和衬砌，边导洞的布置根据工程条件和围岩稳定情况确定。

6.5.4 洞室断面设有拱座，采用先拱后墙法施工时，应注意保护和加固拱座岩体。拱座下部岩体开挖时，应遵守下列规定：

1 拱脚下部开挖面至拱脚线的最低点距离，不宜小于 1.5m 。

2 拱脚及相邻处的边墙开挖，应有专项措施。

3 顶拱混凝土强度应达到设计强度的75%以上后，方可开

挖拱座以下岩体。

6.5.5 与特大断面洞室交叉的洞口，宜采用先洞后墙法，并进行加强支护。如采用先墙后洞法施工，应先做好洞脸支护和锁口，并按洞口开挖原则进行。

6.5.6 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。相邻洞室的开挖程序，宜采取间隔开挖，及时支护。相邻洞室开挖时，前后开挖作业面应错开 30m 以上，并在先开挖的洞室完成初期支护后再开挖相邻洞室。

6.6 施工支洞布置

6.6.1 支洞的设置，应根据地下建筑物的布置、工程量、总进度、地形、地质、施工方法等因素确定，应遵守下列规定：

1 长洞室施工支洞的间距宜在 3km 以内，且各支洞承担的工程量大体平衡。

2 竖井与斜井的施工支洞，高差宜在 200m 以内。

3 应遵循永久和临时相结合的原则，并考虑地质条件选取短线。

4 考虑对水道的水力梯度及与帷幕线的影响。

5 有利于施工排水和通风。洞口高程应满足相应的防洪标准，并采取措施防止外水内灌。

6 采用无轨运输时坡度不宜大于 9%，采用有轨运输时坡度不宜大于 2.5%。

7 减少对耕地、林地的占用，利于环境保护。

6.6.2 支洞断面尺寸应满足大件运输、各种管线布置及人行安全的要求。采用单车道时，每 150m~200m 宜设一个错车道。

6.6.3 支洞洞线宜与主洞正交，交叉口应满足大件运输要求。

6.6.4 因受地形限制，需采用竖井或斜井作施工支洞时，应遵守下列规定：

1 斜井洞轴线不宜变坡与转弯，下水平段长度不宜小于

20m。

2 竖井宜设在洞室的一侧，与洞室的净距离宜为 15m～20m。

3 斜井或竖井井底，应设回车场及集水井。

4 斜井的一侧应设置宽度不小于 0.7m 的人行道。竖井内应设牢固、安全的爬梯。

6.6.5 在下列情况下，可设置与主洞平行的支洞：

1 因地形、地质等条件限制，无法采用其他施工支洞的长洞室。

2 当洞室穿过不良地质地段或因处理塌方需设置绕过该段的平行支洞时。

3 经技术、经济论证确有必要时。

6.6.6 与主洞平行的支洞按下列原则布置：

1 与主洞的中心距，不宜小于 2 倍主洞直径，特大断面地下洞室岩墙厚度不宜小于 20m。

2 横通道间距应按施工需要确定，不宜小于 120m。

3 支洞宜设在地下水流向主洞一侧。

7 钻 孔 爆 破

7.1 一 般 规 定

7.1.1 应根据设计图纸、地质情况、爆破器材性能及钻孔机具等条件进行钻爆设计，其主要内容和遵守的主要原则如下：

1 地下工程开挖，钻孔直径宜小于 110mm。

2 掏槽方式：应选择有利于提高爆破效率，便于施工和减少振动的掏槽方式。

3 炮孔布置：同类炮孔应均匀布置。孔深和孔距应根据岩石性质、炮孔类型、断面大小和循环进尺要求等因素确定。钻孔应平、直、齐。

4 装药量应根据围岩特性确定。周边孔宜选用低爆速、低密度的炸药，可采用间隔装药或专用小直径药卷连续装药。

5 起爆方式：采用非电雷管、电雷管、电子雷管、磁电雷管等爆破器材组成网络顺序起爆。

6 单段爆破药量应满足爆破震动控制要求。

7 爆破施工前应进行爆破试验。施工中根据爆破监测优化爆破设计。

7.1.2 光面爆破与预裂爆破主要参数，应通过试验确定。初拟参数可用工程类比法或参照附录 F 选取。

7.1.3 特殊工程部位，按技术要求进行专项钻爆设计。

7.1.4 特大断面洞室的中、下部开挖，采用台阶开挖爆破时，满足下列要求：

1 宜采用非电毫秒雷管分段起爆。

2 台阶高度应由围岩稳定性及最佳爆破效率确定。

3 爆破石渣的块度和爆堆，应适合装渣机械作业。

7.2 钻 爆 作 业

7.2.1 钻孔爆破作业，应按照爆破设计图进行。

7.2.2 钻孔质量应符合下列要求：

1 钻孔孔位应由测量精确定位。

2 周边孔在断面轮廓线上开孔，周边孔和掏槽孔的孔位偏差不大于 5cm，其他炮孔孔位偏差不大于 10cm。

3 炮孔孔径、孔深、孔斜应满足爆破设计要求。

4 炮孔经检验合格后，方可装药爆破。

7.2.3 爆破作业应由取得相关特种作业许可证的专业人员按爆破设计进行操作。

7.2.4 引爆方法可按下列情况确定：

1 在杂散电流较大或用吊罐法、爬罐法施工时，应采用塑料导爆管非电雷管。

2 预裂或光面爆破宜采用导爆索引爆。

7.2.5 光面爆破和预裂爆破的效果，用下列标准检验：

1 炮孔痕迹应在开挖轮廓面上均匀分布，半孔率为：完整岩石 85% 以上，较完整和完整性差的岩石不小于 60%，较破碎和破碎岩石不小于 20%。

2 相邻两孔间岩面平整；孔壁不应有明显的爆震裂隙。

3 相邻两茬炮之间的台阶或钻孔的最大偏斜值，应小于 20cm。

4 预裂爆破后应形成贯穿性连续裂缝。

7.3 爆 破 安 全 规 定

7.3.1 爆破设计应由取得相关特种作业许可证的专业人员进行。

7.3.2 爆破器材的运输、储存、加工、现场装药、起爆及瞎炮处理，应遵守 GB 6722 的有关规定。

爆破器材应符合施工使用条件和国家规定的技术标准。每批爆破器材使用前，应进行有关的性能检验。

7.3.3 进行爆破时，人员应撤至飞石、有害气体和冲击波的影响范围之外，且无落石威胁的安全地点。单向开挖洞室，安全地点至爆破工作面的距离，应不小于 200m。

7.3.4 洞室群多个工作面同时进行爆破作业时，应建立协调机制，统一指挥，落实责任，确保作业人员的安全和相邻炮区的安全准爆。

7.3.5 相向开挖的两个工作面相距 30m，或小断面洞室为 5 倍洞径距离放炮时，双方人员均应撤离工作面，相距 15m 时应停止一方工作，单向贯通。

竖井或斜井单向自下而上开挖，与贯通面距离为 1.5 倍洞径时，应自上而下钻爆贯通，可采用一次钻孔、分段起爆法。

7.3.6 爆破前应将施工机具撤离至距爆破工作面不小于 100m 的安全地点。对难以撤离的施工机具、设备，应加以妥善保护。

7.3.7 开挖与衬砌面平行作业时的距离，应根据围岩特性、混凝土强度的允许质点振动速度及开挖作业需要的工作空间确定。因地质原因需要混凝土衬砌紧跟开挖面时，按混凝土龄期强度的允许质点振动速度确定最大单段装药量。

7.3.8 采用电力引爆方法，装药时距工作面 30m 以内应断开电流，可在 30m 外用投光灯照明。

7.4 爆 破 试 验

7.4.1 对于大型地下厂房及洞室群或地质条件比较复杂的地下工程，应进行爆破试验和爆破检测。爆破试验可根据工程规模、地质条件，选择下列项目和内容：

- 1 爆破参数及爆破网络试验。
- 2 爆破震动规律测试。
- 3 测定爆破影响范围。
- 4 爆破对邻近特殊建筑物或设施等的影响。

7.4.2 应做好爆破试验和爆破监测资料的记录、整理和分析，及时提出试验研究报告和监测报告，确定爆破方案。

8 出 渣 运 输

8.1 一 般 规 定

8.1.1 按照确定的施工方法，选择出渣运输方式及设备。

8.1.2 应综合考虑石渣的堆放和利用。弃渣场的布置应符合下列要求：

- 1 场地容量足够，施工中不宜变动。
- 2 符合环境保护和水土保持要求。
- 3 不得占用其他工程场地，不得影响附近各种设施安全。
- 4 不得侵占主河道、抬高尾水位和恶化水流条件；若利用溪沟弃渣，应有拦渣、泄洪和引排措施。

5 弃渣场必须保持自身稳定，必要时需分层碾压。弃渣完成后，应及时进行修整，并修筑永久排水设施和其他防护性工程，保证地表径流不会冲蚀弃渣表面或危及弃渣的稳定性。

- 6 利用的石渣，按要求分别堆放。

8.1.3 在交叉道口处，应有明显的安全标志和防护设施。

8.2 有 轨 运 输

8.2.1 有轨运输适用于中小断面隧洞出渣。当使用机车牵引时，宜优先采用电瓶机车或电机车，运输隧洞纵坡宜控制在 2.5% 以内。

8.2.2 采用装岩机或立爪式装渣机装渣时，应使轨道紧跟开挖面，调车设施亦应及时向前移动。宜优先采用梭式矿车等设备，连续装渣。

8.2.3 洞内运输宜设双道，如用单车道，应设错车道，其有效长度应满足列车车组错车要求。错车道间距应按行车密度确定。

洞外应根据需要，设调车、卸车和车辆检修等线路。

8.2.4 线路路基应保持稳定，并应经常养护。线路铺设应参照附录 D 所规定的各项标准执行。

8.2.5 机车行驶的沿线，应有可靠的通信和信号联系，信号应声光兼备。机车上应设明显的警示信号。机车在洞内时速不应超过 10km/h；在调车或人员稠密地段行驶，时速应减至 3km/h 以内；通过弯道、道岔或视线不良地段时，时速不应超过 5km/h。

两列车在同一轨道同方向行驶时，列车间距不应少于 60m，并须减速慢行。列车倒退行驶时，应加强鸣号，鸣号间隔时间不应大于 15s。

8.3 无轨运输

8.3.1 无轨运输可用于各种断面尺寸洞室，视断面大小可采用装载机、挖掘机、扒渣机等各种机械装渣，配自卸汽车或其他运输机械运渣。

8.3.2 出渣道路行车路面宽度，应按所用设备型号和车型确定。中、小断面洞室采用单车道时，每间隔 150m~200m 设错车道，或在开挖面附近设调车盘。

道路纵坡应根据运输车辆性能确定，宜小于 9%，最大纵坡限长 140m，会车视距宜为 40m。局部道路最大纵坡不宜大于 14%，路面应保持平整和有良好的排水设施，并设专人维护。主要运输通道，宜对路面进行硬化。

8.3.3 汽车在洞内的行驶时速不宜超过 10km/h。

8.3.4 长隧洞、通风条件差，或施工支洞布置困难时，宜采用皮带机运输。

8.4 斜井、竖井运输

8.4.1 斜井、竖井出渣可采用卷扬机上提或通过导井溜渣至底部出渣等方式。

斜井用卷扬机牵引出渣运输时，应符合下列条件：

- 1 铺设大于 15° 的斜坡轨道时，应有防止轨道车下滑措施。
- 2 轨道斜坡段与平段应以圆滑曲线连接，曲线与平直段相接处设倒坡，并在适当位置上设置能控制的挡车装置。
- 3 牵引绳应与斜坡段轨道中心线一致，并设地滑轮承托。
- 4 牵引车辆行走速度应小于 2m/s ，升降加速度不宜超过 0.5m/s^2 ，必须装限速器。
- 5 斜坡段应设置人行道与安全扶手，人行道边缘与车辆外缘的距离不宜小于 30cm 。
- 6 斜井内每隔 100m 左右宜设置一个避车洞。

8.4.2 当斜井采用溜槽溜渣时，应根据斜井倾角确定溜槽型式，采取严格的安全保护设施。

8.4.3 竖井采用吊罐出渣运输时，应符合下列要求：

- 1 井深大于 40m 时，宜设吊罐导向装置和断绳保险装置。
- 2 吊罐升降的限制速度为：
 - 1) 井深在 40m 以内无导向设备时，不得超过 0.7m/s 。
 - 2) 井深在 $40\text{m}\sim 100\text{m}$ 沿导向设备升降时，不得超过 1.5m/s 。
 - 3) 井深在 100m 以上沿导向设备升降时，不得超过 3m/s 。

3 井口应设置挡车器。

8.4.4 斜井和竖井运输，应有可靠的通信和信号联系，信号应声光兼备。

8.4.5 提升设备应有防止过卷、超速、过电流和失电压等保险装置及可靠的制动系统，并加强维护检查。

8.4.6 运输车应有断绳保险装置，以防溜车。

8.4.7 提升设备的联系装置和钢丝绳的安全系数应符合 SD 267 关于起重机具的有关规定。

8.4.8 井口应设阻车器、安全防护栏和安全门。

8.4.9 采用起重机提升吊罐出渣时，应遵守起重机安全操作规程。

8.4.10 各项提升设施，应经安全部门鉴定验收后方可使用。

8.4.11 斜井、竖井自上而下扩大开挖，应制定防止导井堵塞和人员坠落的措施。井内人员上下、器材吊运的运输工具应进行专项设计。

9 初期支护

9.1 一般规定

9.1.1 洞室支护应根据地质条件、洞室结构、开挖方法、断面尺寸、支护荷载等进行支护设计，也可采用工程类比法进行支护设计。支护型式要适应围岩的变形要求，除特殊地段外应优先采用锚喷支护。

9.1.2 为了确保施工期岩体稳定和安全施工，开挖过程中需进行初期支护。初期支护是永久支护的有机组成部分，初期支护包含锚、喷和钢结构支撑，支护后不再拆除。初期支护包括预支护。

9.1.3 支护与开挖的间隔时间、相隔距离及施工程序，应根据围岩类别、支护类型、爆破参数等因素确定。应在围岩出现有害松弛变形前支护完成。

稳定性差的围岩（软岩）应做预支护，开挖后初期支护应紧跟工作面。

9.1.4 应进行现场监测，掌握围岩变形动态，指导设计和施工。

9.2 锚喷支护

9.2.1 锚喷支护应遵守以下原则：

1 洞室开挖后，应根据围岩类别，适时进行锚喷支护，限制围岩变形，以发挥围岩的自承能力。对于IV、V类围岩，应进行加强支护。

2 应保证围岩、喷层和锚杆之间有良好的黏结和锚固，使锚喷支护与围岩形成共同受力体。

3 根据围岩类别确定施工程序、掘进进尺、支护顺序与支护时机。

4 对易风化、易崩解和具膨胀性的软岩，开挖后应及时封闭岩体，并采取防水、排水措施。

9.2.2 需要特别加固部位的锚杆，宜采用预应力锚杆。成孔困难时，宜采用自进式锚杆或中空注浆锚杆。

9.2.3 喷混凝土应优先采用湿喷法和无碱速凝剂。钢纤维和合成纤维喷混凝土有其独特的工作特性，宜推广应用。

9.2.4 锚喷支护施工及质量检验标准应遵守 DL/T 5181 的规定。

9.3 钢构架支撑

9.3.1 钢构架支撑有格栅构架和型钢构架两类，架设时应符合下列条件：

1 支撑架应有足够刚度，接头牢固可靠，相邻钢构架之间应连接牢靠。

2 每排支撑应保持在同一平面上，支撑构件各节点与围岩之间应楔紧。

3 支撑柱基应放在平整的岩面上，柱基较软时应设垫梁或封闭底梁，在斜井中架设支撑时，应挖出柱脚平台或加设垫梁。

4 应采取措​​施保证支撑构件与围岩结合紧密。

5 支撑应定期检查，发现杆件破裂、倾斜、扭曲、变形等情况应立即加固。

6 钢构架背面应采用不易降解的材料充填。

9.3.2 斜井支撑尚须遵守下列规定：

1 应加设纵梁或斜撑防止其下滑。

2 在倾角大于 30° 的斜井中，支撑杆件连接应使用夹板，倾角大于 45° 时，支撑应采用框架结构。

3 当斜井倾角大于底板岩层的稳定坡角时，底板应加设底梁。

4 柱腿与基岩应结合牢固。

5 钢构架背面不允许垫衬木料、塑胶等可腐蚀与易老化的材料。

9.3.3 采用构架支撑时，要预留变形量。

10 不良工程地质地段施工

10.0.1 在不良工程地质地段中开挖洞室时，应制定切实可行的施工方案，应遵守下列原则：

1 调查地质条件，可采用物探、超前钻探、打导洞等方法进一步了解地质情况，做好地质预报。

2 尽量减少对围岩的扰动，采用分层分区、短进尺、弱爆破、强支护的方法。

3 锁好洞口，清除危石、治理地下水，及时进行锚喷及其他支护措施。

4 加强监测，勤检查和巡视，根据监测反馈的信息，进行支护设计修改。

10.0.2 开挖过程中，除按设计要求进行系统支护外，还应根据围岩特性对局部不稳定块体和部位加强随机支护。对控制稳定的软弱结构面，可采用预应力锚固。

10.0.3 在松散、软弱破碎的岩体中开挖洞室，应采用先护后挖、边挖边护或先对岩体进行预加固后再开挖等方法。或者采取一掘一支护，稳步前进，即开挖一循环先喷混凝土，然后打锚杆、挂网、再喷混凝土至设计厚度，如此循环掘进。围岩稳定特别差时，爆破后立即喷混凝土封闭岩面，出渣后，安设钢构架（格栅支架），再打锚杆、挂网、喷混凝土，增加支护能力。

10.0.4 在膨胀性岩体中开挖洞室，支护应设置预留变形量并及时闭合成环。

10.0.5 在岩溶地段开挖洞室时，应根据岩溶的规模、形态、充填情况、稳定情况、地下水状态、与洞室位置关系等确定开挖方法和处理措施。可采取如下方法处理：

1 当岩溶洞穴规模大于洞室且没有充填时，洞室穿越洞穴，

不应破坏其稳定性，可采用填渣加固或设拱桥、横梁等措施。

2 当岩溶洞穴有充填物，如黏土、碎石等且松散、破碎，洞室穿越洞穴时，可采用桩基、注浆加固等措施，并按照 10.0.3 的方法处理。

3 当岩溶洞穴规模不大时，可采用回填混凝土和挖除充填物后再回填混凝土的方法处理。

4 当地下建筑物地段有隐伏洞穴时，需按专门方案进行处理，宜采用浅钻孔、弱爆破，及时支护加固的开挖方法。

5 岩溶洞穴中有地下水时，应根据地下水位的埋深，采用弱透水材料回填、水泥灌浆、截水洞截水、堵塞、排水等措施，宜以排为主，堵、排结合。

10.0.6 当洞室围岩被不利结构面切割形成不稳定楔形体时，应根据楔形体所处的部位和规模，加强支护。

10.0.7 在高地应力区开挖洞室，可采用下列措施：

- 1 采用圆弧形断面开挖；
- 2 采用控制爆破，确保开挖成型；
- 3 使用超前导洞法，以利应力提前释放；
- 4 使用超前钻孔，分部开挖，逐步卸荷；
- 5 开挖面洒水；

6 及早进行喷锚挂网支护，强岩爆洞段应加强支护，初喷混凝土宜采用钢纤维混凝土；

- 7 加强施工安全防护。

10.0.8 地下水活动较严重地段，可采用堵、排、截、引等综合治理措施。可采用以下措施：

1 采用超前孔探明地下水活动规律，测定地下水压力，预计涌水量，防止突然涌水。

- 2 截断补水源，降低地下水位。
- 3 对围岩进行灌浆，降低其渗透性或形成帷幕阻水。
- 4 利用侧导洞、集水井、排水孔或平行支洞截水与排除地下水。

10.0.9 采用预灌浆法施工时，应遵守下列规定：

1 预灌浆的范围、孔位布置、灌浆材料、灌浆压力及工艺要求，应作出专项设计。

2 预灌浆的效果，可用单位透水率、声波速度、被胶结岩体强度值等来检验。

3 采用分段灌浆时，其阻浆段的预留长度应根据灌浆压力和效果确定。

4 灌浆后开挖应控制爆破规模。

10.0.10 发生塌方时，应及时查明塌方原因及其规模、规律，提出措施迅速处理，防止塌方范围的延伸和扩大。塌方段施工应遵守以下原则：

1 治塌先治水。

2 处理方案未确定时，不允许出渣。

3 加固处理措施与永久支护结合。

4 先加固好端部未破坏的支护体与岩体段。

5 塌落物未将洞室堵塞时，应先支护顶部再清除石渣。

6 塌落物将洞室堵塞时，宜采用管棚、管棚加注浆或预固结灌浆等方法加固。管棚等方法处理塌方时，应预留变形。

11 安全监测

11.0.1 根据地质条件、围岩特性、结构状态、工程规模、支护方式等选择有代表性的部位，确定安全监测项目。主要包括：布置安全监测断面，确定安全监测内容，设定安全监测仪器（测点）的位置。

11.0.2 监测仪器应选择耐久性良好、抗震性强、防潮性优、性能稳定、安装埋设和更换方便、易于采集数据、对施工干扰小、经济合理的仪器。

常用的监测仪器有收敛计、多点位移计、钻孔测斜仪、钻孔滑动测微计、测缝计、应变计、锚杆（钢筋）测力计、锚索测力计、渗压计等。

11.0.3 监测仪器安装、埋设，按 DL/T 5006 的规定执行。

11.0.4 围岩内部位移监测仪器的安装埋设要及时，应紧跟开挖面，距掌子面不宜超过 1.5m。有条件的工程可预先从地表打孔或在地质探洞内打孔安装埋设监测仪器，以获取监测物理量的全过程。

11.0.5 监测仪器安装埋设后，应确定基准值并随即开始监测。以后随开挖推进而进行，监测频率视围岩特性、洞室尺寸、监测断面与开挖面距离和变化速率确定，参见附录 H。

11.0.6 安全监测资料应及时整理，绘制变形与时间、进尺关系等曲线。

洞室开挖后，围岩变形量与围岩类别、埋深、洞室尺寸等因素有关。综合判断，确定围岩最大允许变形量。

11.0.7 围岩是否稳定，需要通过对监测资料进行计算、分析，并结合工程类比、施工方法、施工程序、支护时机、锚杆支护参数等进行综合判断。

DL/T 5099 — 2011

- 1 根据变形、应力变化的速率状态判断围岩的稳定。
 - 2 根据变形、应力测值的大小判断围岩的稳定。
 - 3 分析渗流渗压的状态对围岩稳定的影响。
 - 4 洞室周边允许位移相对值（%）可作参考，参见附录 H。
- 11.0.8 对于大型地下厂房按 DL/T 5333 对爆破有害效应进行监测。
- 11.0.9 监测结果应计算准确、分析可靠、及时反馈。

12 通风与除尘

12.1 卫生标准

12.1.1 施工过程中，洞内氧气按体积计算不应少于 20%。有害气体和粉尘含量应符合表 12.1.1 的标准。

表 12.1.1 空气中有害物质的最高容许含量

名 称	最高容许浓度		附 注	
	按体积 %	按质量 mg/m ³		
二氧化碳 (CO ₂)	0.5		一氧化碳的最高容许含量与 作业时间	
甲烷 (CH ₄)	1		作业时间	最高容许含 量 mg/m ³
一氧化碳 (CO)	0.00240	30	1h 以内	50
氮氧化物换算成二氧化 化氮 (NO ₂)	0.00025	5	0.5h 以内	100
二氧化硫 (SO ₂)	0.00050	15	15min~20min	200
硫化氢 (H ₂ S)	0.00066	10	反复作业的间隔时间应在 2h 以上	
醛类 (丙烯醛)		0.3		
含有 10% 以上游离 SiO ₂ 的粉尘		2	含有 80% 以上游离 SiO ₂ 的 生产粉尘不宜超过 1mg/m ³	
含有 10% 以下游离 SiO ₂ 水泥粉尘		6		
含有 10% 以下游离 SiO ₂ 的其他粉尘		10		

12.1.2 洞内平均温度不应超过 28℃，根据不同温度，按表 12.1.2

调节洞内风速。

表 12.1.2 温度与风速关系

温度 ℃	15 以下	15~20	20~22	22~24	24~28
风速 m/s	<0.25	<1.0	>1.0	>1.5	>2.0

12.1.3 洞内作业地点噪声超过 90dB (A) 时, 应采取消音或其他防护措施。仍达不到标准时, 应按表 12.1.3 规定减少接触噪声的时间。

表 12.1.3 噪声与容许接触时间表

每个工作日接触噪声时间 h	6	4	2	1
容许噪声 dB (A)	90	93	96	99

12.2 通 风

12.2.1 地下工程开挖时工作面和运输通道的通风量应根据下列要求分别计算, 取其中最大数值。

1 按洞内同时工作的最多人数计算, 每人每分钟供给 3.0m³ 的新鲜空气。

2 按爆破 20min 内将工作面的有害气体排出或冲淡至容许浓度计算。每千克炸药爆破后, 可产生折合成 40L 一氧化碳气体。

3 洞内使用柴油机械时, 可按每千瓦每分钟 4m³ 风量计算, 并与同时工作的人员所需的通风量相加。

4 计算通风量时, 漏风系数可取 1.20~1.45。

5 当洞、井位于海拔 1000m 以上时, 计算出的通风量应乘以高程修正系数。

- 1) 施工人员所需风量的修正系数为 1.3~1.5。
- 2) 排尘通风量不作高程修正。爆破散烟所需通风量应除以高程修正系数，见表 12.2.1。
- 3) 使用柴油机械通风量高程修正系数为 1.20~3.90。

6 计算的通风量，应按最大最小容许风速和相应洞内温度所需的风速进行校核。

表 12.2.1 高程修正系数

海拔 高程 m	0	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
修正 系数	1.00	0.90	0.85	0.81	0.76	0.72	0.69	0.65	0.62	0.58

12.2.2 工作面附近的最小风速不得低于 0.15m/s，最大风速不得超过以下规定：

- 1 洞室、竖井、斜井 不得超过 4m/s。
- 2 运输与通风洞 不得超过 6m/s。
- 3 升降人员与器材的井筒 不得超过 8m/s。

12.2.3 选择通风方式应根据洞、井布置特点，施工程序，施工方法，洞、井长度，断面大小和工作面有害气体危害程度等因素综合考虑确定。特大洞室、地下洞室群应首选竖井进行通风。

12.2.4 通风机依据工作风量和工作风压进行选择，为了既能有效地进行通风散烟，又能有效地向工作面供给新鲜空气，宜选用可逆转的轴流式风机。

12.2.5 风管与风机布置，应遵守以下原则：

- 1 风管直径根据管内风速来确定。风管材料根据通风方式选取。
- 2 风管的通风效果与管末端到工作面的距离有关，应严格按通风设计要求布设。

- 3 吊挂风管应做到平、直、紧、稳、顺。
- 4 宜增大每节风管长度，减少风管接头，减少风量损失。
- 5 一台风机不能满足洞室通风时，可数台风机串联运行。

12.2.6 通风系统应设专人负责运行、维护和管理。

12.2.7 对有瓦斯、高温等作业区，应做专项通风设计，并进行监测。

12.3 防尘、防有害气体

12.3.1 地下工程开挖，应采用下列综合防尘措施：

- 1 应采用湿式凿岩。大型洞室台阶开挖采用潜孔钻机时，应装有符合国家工业卫生标准的除尘装置。
- 2 爆破后可采用喷雾器喷雾，降低悬浮在空气中的粉尘含量。
- 3 地质条件容许时，应利用压力水冲洗洞壁。
- 4 出渣前用水淋透石渣。
- 5 加强通风。
- 6 配备必要的防尘器材，做好个人防护。
- 7 喷混凝土支护，应采用湿喷工艺。

12.3.2 施工中遇到含瓦斯地段时，应按防瓦斯安全措施施工，并应遵守下列规定：

- 1 定期测定空气中瓦斯含量，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，撤出工作人员，采取措施进行处理。
- 2 施工人员应通过防瓦斯学习。
- 3 机电设备及照明灯具等，均应采用防爆型式。
- 4 应配备专职瓦斯检测人员。
- 5 对监测仪器要定时检查率定。

12.3.3 洞内施工不应使用汽油机械，使用柴油机械时，宜增设废气净化装置。柴油机械燃料中宜掺添加剂，以减少有害气体的

排放量。

12.3.4 应有防尘、防噪声和防有害气体的专职或兼职的机构，须配备各种检测仪器，每 3 个月在各作业点进行检测，其结果应及时公布。

检测结果超标时，应采取措施限期解决。

13 辅助工程

13.1 供 风

13.1.1 供风系统应根据工程规模设置，空压机站容量应按以下要求确定：

1 与明挖工程使用统一的供风系统时，按总体规划确定。

2 使用单独的空压机站时，应按同时作业的各种风动机具组合的最大用量确定，并计入风量损失。

3 空压机站备用容量，宜为总容量的 30%，但不宜小于其中最大一台空压机的容量。

4 高原缺氧地区应根据高程修正系数适当增加空压机站的容量。

13.1.2 空压机站宜设在洞口附件，并应有防火及降温、保温设施。

13.1.3 工作面的风压，应满足风动机具的要求。洞室过长时，可在洞内加设带有安全装置的储气罐。

洞内需设空压机时，宜选用低噪声电动空压机，供风管路铺设应平顺，密封良好，并须经常检查、维护。

13.2 供水与排水

13.2.1 施工供水量及供水压力应根据施工、消防、生活用水的要求确定。高原缺氧地区，选用抽水机械的扬程，应适当提高。

13.2.2 根据施工总体布置选择水池位置、高程和结构型式。水池容积应满足日调节的要求。

13.2.3 工作面水压应满足施工机械的要求。若水压不够时，可增设加压装置。

13.2.4 供水水源应可靠，水质应符合相应用水标准，对水质应

定期进行检测。供水泵站设置应满足防洪度汛安全要求。寒冷地区的供、排水系统，应做好防冻设施。

13.2.5 供排水设备选型应根据使用条件选择性能可靠、易于运行维护、能耗相对较低的机型。

13.2.6 洞内排水应符合下列要求：

- 1 洞内工作面及运输道路路面不应积水。
- 2 供水管线应在洞侧边墙下部用支架托起，不应占压排水沟，影响排水沟的清理。
- 3 向上坡开挖洞室时，应利用排水沟自流排水，排水沟应随工作面的掘进开凿，并经常清理，必要时可设置盖板。
- 4 平坡及向下坡开挖隧道时，可在适当地点设置集水井或积水箱并用水泵排水。

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 100% 的备用量；使用两台泵排水时，应有不小于 50% 的备用量。重要部位应设有备用电源。

- 5 开挖工作面和局部地段的积水，宜用潜水泵排至集水井。
- 6 寒冷地区应防止洞口段的排水沟、排水管因冰冻堵塞。
- 7 应对施工废水进行处理，确保达标排放。

13.3 供电与照明

13.3.1 洞外高压供电线路应符合施工供电总体布置的要求，变电站的容量应根据施工总用电量确定。

13.3.2 为洞内供电的变压器站位置，宜布置在用电负荷中心，可参照下列条件选定：

- 1 设在洞口外附近，不受爆破影响及施工干扰。
- 2 洞室较短，洞口外附近场地容许时，可与空压机站的变压器设在一起，以利管理。
- 3 洞室较长或施工机械用电需高压进洞时，宜在洞内设置变压器。应选用矿山专用型变压器并按电气规程设置变压器室，变

压器的高压电源由电缆引入洞内，电缆应进行耐压试验并定期进行外观检查。

13.3.3 洞内供电电压应符合下列规定：

- 1 应采用 TN-S 线路。
- 2 动力设备应采用三相 380V。
- 3 洞室开挖、支护工作面的工作灯，应采用 36V 或 24V。

照明灯具的选择，在满足照明度要求下，宜选用节能灯。使用投光灯照明，可用 220V，但应经常检查灯具和电缆的绝缘性能；竖井、斜井及导洞工作面应采用 36V 或 24V 照明。

13.3.4 高压设备的供电电压，应按设备要求而定。高寒缺氧地区施工变电站电气设备，应选用提高一个电压等级的设备，并选用高原型产品。

13.3.5 线路末端的电压降不得超过下列数值：

- 1 动力线路及 220V 照明线路不得超过 5%。
- 2 24V、36V 照明线路不得超过 10%。

13.3.6 洞内供电线路应符合下列规定：

1 位置固定的动力与照明线路，应采用绝缘良好的导线整齐排列，分别架设固定在洞室 2.5m 以上的侧壁上，严禁使用裸导线。

2 工作面附近的临时动力及照明线，应使用防水与绝缘性能良好的优质电缆。

3 电力起爆主线应与照明及动力线路分两侧架设。

13.3.7 地下工程开挖各施工区的照明度，应按表 13.3.7 的数值选用。洞内照明应采用防水灯头，淋水地段应用防水灯罩。

表 13.3.7 各施工区照明度参照表

序号	名称	照明度 L _x
1	一般施工区，开挖和弃渣区，场内交通道路、堆料场、运输装载平台、临时生活区道路	30
2	地下工程作业面	110

续表 13.3.7

序号	名 称	照明度 Lx
3	一般地下作业区和地弄	50
4	混凝土浇筑区、加油站、现场保养场	50
5	特殊的地下作业面及维修车间	200
6	竖井及斜井工作面	50
7	存在交叉运输或其他危险条件的运输道路	50
8	一般施工辅助工厂	110
9	室内、仓库、走廊、门厅、出口过道	50

13.4 其他辅助设施

13.4.1 应设置急救站，并备有担架、氧气、带氧防毒面具、交通车辆和其他急救用品。

13.4.2 工区内应有浴室、衣物烘干室和理疗卫生设施。

13.4.3 凿岩机修理间及临时工具库等，宜设在洞外。当设在洞内时，应符合安全防火规定，制定防火措施。

13.4.4 在洞内的适当地点及洞口等处，应布置消防设备。

洞内、洞口和井口，不得存放易燃物品并严禁明火燃烧。洞内进行电、气焊作业时，应有防火措施。

13.4.5 工地应设施工值班室，并备通信工具，以便于洞内外联系。

13.4.6 地下厂房等大型洞室群应设置移动厕所，并设专人管理。

13.4.7 施工竖井、斜井与地面应设有声、光、电通信设施。

14 质量检查与验收

14.0.1 地下洞室开挖与支护的质量检查，应包括自检、抽检和联合检查。

14.0.2 应建立质量管理体系，制订质量保证措施，明确质量检查和验收程序。

14.0.3 地下洞室开挖的质量检查应包括如下内容：

- 1 洞室轴线方向、高程、轮廓线及其偏差。
- 2 循环进尺及爆破效果。
- 3 软弱结构面的处理结果。
- 4 初期支护的稳定状况。

14.0.4 地下洞室开挖的质量检查提交的检查资料应包括：

- 1 实测开挖断面图。
- 2 地质展示图与地质素描。
- 3 平整度检查。
- 4 平均起伏差检查。
- 5 单元工程质量评定。

14.0.5 应定期对开挖爆破效果以及变形观测资料进行统计、分析，及时调整、优化开挖工艺和爆破设计。

14.0.6 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。

14.0.7 初期支护质量检查内容应包括：

- 1 喷射混凝土强度、厚度、均匀性、密实度和喷层的整体性以及渗水部位处理结果。
- 2 锚杆长度、位置、方向、数量、注浆密实度检查、拉拔力。
- 3 钢筋网格尺寸、搭接长度。

- 4 拱架支撑的间距、节间连接、支脚处理、纵向连接。
- 5 其他支护措施的质量等。

14.0.8 初期支护质量检查应提交的检查资料包括：

- 1 竣工图。
- 2 洞室断面图。
- 3 质量检查记录表。
- 4 单元工程质量评定表。

14.0.9 每个开挖与支护单元工程完成后，应及时进行单元工程的质量评定工作。

附 录 A
(规范性附录)
岩 土 分 级

A.0.1 一般工程土类可按表 A.0.1 进行分级。

表 A.0.1 一般工程土类分级表

土质级别	土质名称	自然湿容重 kN/m ²	外形特征	开挖方式
I	1. 砂土 2. 种植土	16.5~17.5	疏松, 黏着力差或易透水, 略有黏性	用锹或略加脚踩开挖
II	1. 壤土 2. 淤泥 3. 含壤种植土	17.5~18.5	开挖时能成块, 并易打碎	用锹需用脚踩开挖
III	1. 黏土 2. 干燥黄土 3. 干淤泥 4. 含少量砾石黏土	18.0~19.5	黏手, 看不见砂粒或干硬	用镐、三齿耙开挖或用锹需用力加脚踩开挖
IV	1. 坚硬黏土 2. 砾质黏土 3. 含卵石黏土	19.0~21.0	壤土结构坚硬, 将土分裂后成块状或含黏粒砾石较多	用镐、三齿耙工具开挖

土方: 指人工填土、表土、黄土、砂土、淤泥、黏土、砾质土、砂砾石、松散坍塌体及软弱的全风化岩石, 以及小于 0.7m³ 的孤石或岩块等, 无须采用爆破或土方机械开挖的地质体。

A.0.2 岩石类别可按表 A.0.2 进行分级。

表 A.0.2 岩石类别分级表

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重 kN/m ³	净钻时间(用直径38mm合金钻头,凿岩机打眼,工作气压为4.5atm) min/m	极限抗压强度 MPa	强度系数 f
I	2	3	4	5	6
V	1. 硅藻土及软的白垩岩 2. 硬的石炭纪的黏土 3. 胶结不紧的砾岩 4. 各种不坚实的页岩	15.0 19.5 19.0~22.0 20.0	—	≤20.0	1.5~2
VI	1. 软的有孔隙的节理多的石灰岩及贝壳石灰岩 2. 密实的白垩岩 3. 中等坚实的页岩 4. 中等坚实的泥灰岩	22.0 26.0 27.0 23.0	—	20.0~ 40.0	2~4
VII	1. 水成岩卵石经石灰质胶结而成的砾石 2. 风化的节理多的黏土质砂岩 3. 坚硬的泥质页岩 4. 坚实的泥灰岩	22.0 22.0 23.0 25.0	—	40.0~ 60.0	4~6
VIII	1. 角砾状花岗岩 2. 泥灰质石灰岩 3. 黏土质砂岩 4. 云母页岩及砂质页岩 5. 硬石膏	23.0 23.0 22.0 23.0 29.0	6.8 (5.7~7.7)	60.0~ 80.0	6~8
IX	1. 软的风化较甚的花岗岩、片麻岩及正长岩 2. 滑石质的蛇纹岩 3. 密实的石灰岩 4. 水成岩卵石经硅质胶结的砾岩 5. 砂岩 6. 砂质石灰质的面岩	25.0 24.0 25.0 25.0 25.0 25.0	8.5 (7.8~9.2)	80.0~ 100.0	8~10

续表 A.0.2

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重 kN/m ³	净钻时间(用直径 38mm 合金钻头, 凿岩机打眼, 工件气压为 4.5atm) min/m	极限抗压强度 MPa	强度系数 f
X	1. 白云岩 2. 坚实的石灰岩 3. 大理石 4. 石灰质胶结的致密的砂岩 5. 坚硬的砂质页岩	27.0 27.0 27.0 26.0 26.0	10 (9.3~10.8)	100.0 ~ 120.0	10~12
XI	1. 粗粒花岗岩 2. 特别坚实的白云岩 3. 蛇纹岩 4. 火成岩卵石经石灰质胶结的砂岩 5. 石灰质胶结的坚实的砂岩 6. 粗粒正长岩	28.0 29.0 26.0 28.0 27.0 27.0	11.2 (10.9~11.5)	120.0 ~ 140.0	12~14
XII	1. 有风化痕迹的安山岩及玄武岩 2. 片麻岩、粗面岩 3. 特别坚实的石灰岩 4. 火成岩卵石经硅质胶结的砾岩	27.0 26.0 27.0 26.0	12.2 (11.6~13.3)	140.0 ~ 160.0	14~16
XIII	1. 中粒花岗岩 2. 坚实的片麻岩 3. 辉绿岩 4. 玢岩 5. 坚实的粗面岩 6. 中粒正长岩	31.0 28.0 27.0 25.0 28.0 28.0	14.1 (13.4~14.8)	160.0 ~ 180.0	16~18

续表 A.0.2

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重 kN/m ³	净钻时间(用直径38mm合金钻头,凿岩机打眼,工件气压为4.5atm) min/m	极限抗压强度 MPa	强度系数 <i>f</i>
XIV	1. 特别坚实的细粒花岗岩	33.0	15.5 (14.9~18.2)	180.0 ~ 200.0	18~20
	2. 花岗片麻岩	29.0			
	3. 闪长岩	29.0			
	4. 最坚实的石灰岩	31.0			
	5. 坚实的玢岩	27.0			
XV	1. 安山岩、玄武岩、坚实的角闪岩	31.0	20 (18.3~24)	200.0 ~ 250.0	20~25
	2. 最坚实的辉绿岩及闪长岩	29.0			
	3. 坚实的辉长岩及石英岩	28.0			
XVI	1. 钙钠长石质橄榄石质玄武岩	33.0	>24	>250.0	>25
	2. 特别坚实的辉长岩、辉绿岩、石英岩及玢岩	33.0			

注: 1atm=1.013 250×10⁵Pa.

附录 B
(规范性附录)
围岩工程地质分类

B.0.1 地下洞室的围岩可以岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状等五项因素之和的总评分为基本依据，以围岩强度应力比为参考依据，按表 B.0.1 的规定进行工程地质分类。

表 B.0.1 围岩工程地质分类表

围岩类别	围岩稳定性	围岩总评分 T	围岩强度 应力比 S	支护类型
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	$T > 85$	> 4	不支护
II	基本稳定。围岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	$85 \geq T > 65$	> 4	不支护或局部锚杆或喷薄层混凝土。大跨度时，喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
III	稳定性差。围岩强度不足，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩，可能暂时稳定	$65 \geq T > 45$	> 2	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
IV	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	$45 \geq T > 25$	> 2	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，或加钢构架
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	$T \leq 25$	—	管棚、喷混凝土、系统锚杆、钢构架，必要时进行二次支护

注：1 II、III、IV类围岩，当其强度应力比小于本表规定时，围岩类别宜相应降低一级。

2 支护类型与支护参数参照 DL/T 5195—2004 附录 F。

B.0.2 围岩强度应力比可根据下式求得：

$$S = K_v R_b / \sigma_m \quad (\text{B.0.2})$$

式中:

R_b ——岩石饱和单轴抗压强度, MPa;

K_v ——岩体完整性系数;

σ_m ——围岩的最大主应力, MPa。

B.0.3 围岩工程地质分类中五项因素的评分可按下列标准进行。

1 岩石强度的评分应符合表 B.0.3-1 的规定。

表 B.0.3-1 岩石强度评分表

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
饱和单轴抗压强度 R_b MPa	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$
岩石强度评分 A	30~20	20~10	10~5	5~0

注: 1 当岩石饱和单轴抗压强度大于 100MPa 时, 岩石强度的评分为 30。

2 当岩体完整程度与结构面状态评分之和小于 5 时, 岩石强度评分大于 20 的按 20 评分。

2 岩体完整程度的评分应符合表 B.0.3-2 的规定。

表 B.0.3-2 岩体完整程度评分表

岩体完整程度		完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性系数 K_v		$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.35$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v < 0.15$
岩体完整性评分 B	硬质岩	40~30	30~22	22~14	14~6	<6
	软质岩	25~19	19~14	14~9	9~4	<4

注: 1 当 $60\text{MPa} \geq R_b > 30\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和大于 65 时, 按 65 评分。

2 当 $30\text{MPa} \geq R_b > 15\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和大于 55 时, 按 55 评分。

3 当 $15\text{MPa} \geq R_b > 5\text{MPa}$, 岩体完整性程度与结构面状态评分之和大于 40 时, 按 40 评分。

4 当 $R_b \leq 5\text{MPa}$, 属特软岩, 岩体完整性程度与结构面状态不参加评分。

3 结构面状态的评分应符合表 B.0.3-3 的规定。

表 B.0.3-3 结构面状态评分表

结构面状态	张开度 W mm	闭合 ($W < 0.5$)		微张 ($0.5 \leq W < 5.0$)									张开 ($W \geq 5.0$)	
	充填物	—		无充填			岩屑			泥质			岩屑	泥质
	起伏粗糙状况	起伏粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	—	—
结构面状态评分 C	硬质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	较软岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	软岩	18	14	17	14	8	14	11	8	10	8	6	8	4

注：1 结构面的延伸长度小于 3m 时，硬质岩、较软岩的结构面状态评分另加 3 分，软岩加 2 分；结构面延伸长度大于 10m 时，硬质岩、较软岩减 3 分，软岩减 2 分。

2 当结构面张开度大于 10mm，无充填时，结构面状态的评分为零。

4 地下水状态的评分应符合表 B.0.3-4 的规定。

表 B.0.3-4 地下水状态评分表

活动状态		干燥到渗水、滴水	线状流水	涌水	
水量 q [L/(min·10m)] 或压力水头 H (m)		$q \leq 25$ 或 $H \leq 10$	$25 < q \leq 125$ 或 $10 < H \leq 100$	$q > 125$ 或 $H > 100$	
基本因素 评分 T'	$T' > 85$	地下水 评分 D	0	0~-2	-2~-6
	$85 \geq T' > 65$		0~-2	-2~-6	-6~-10
	$65 \geq T' > 45$		-2~-6	-6~-10	-10~-14
	$45 \geq T' > 25$		-6~-10	-10~-14	-14~-18
	$T' < 25$		-10~-14	-14~-18	-18~-20

注：基本因素评分 T' 系前述岩石强度评分 A 、岩石完整性评分 B 和结构状态评分 C 的和。

5 主要结构面产状的评分应符合表 B.0.3-5 的规定。

表 B.0.3-5 主要结构面产状评分表

结构面走向与洞 轴线夹角 (°)	90~60				60~30				<30					
	>70	70~45	45~20	<20	>70	70~45	45~20	<20	>70	70~45	45~20	<20		
结构面产 状评分 E	洞顶		0	-2	-5	-10	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-12	-12
	边墙		-2	-5	-2	0	-5	-10	-2	0	-10	-12	-5	0

注：按岩体完整程度分级为完整性差、较破碎和破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。

B.0.4 埋深小于 2 倍洞径或洞口开挖段洞室交叉段应按正常围岩分类级别再降低一级支护参数支护。本围岩工程地质分类不适用于埋深小于 2 倍洞径或跨度的地下洞室和特殊土、喀斯特洞穴发育地段的地下洞室。

B.0.5 大跨度和重要地下洞室围岩除应采用本附录进行分类外，尚应采用其他有关国家标准综合评定。

附 录 C

(规范性附录)

地面和地下控制测量误差在横向和竖向
贯通面上的计算及有关技术规定

C.0.1 地面和地下控制测量误差在横向贯通面上的影响,可按下列公式计算。

1 地面控制按三角网布设时,以两相邻洞口点 A 、 B 的局部相对点位误差椭圆在横向贯通面上的投影来计算。

局部相对误差椭圆的计算公式为:

$$\tan 2\varphi_0 = \frac{2Q'_{xy}}{Q'_{xx} - Q'_{yy}} \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$E^2 = 1/2m_0 \left[Q'_{xx} + Q'_{yy} + \sqrt{(Q'_{xx} - Q'_{yy})^2 + 4Q'^2_{xy}} \right]$$

$$F^2 = 1/2m_0 \left[Q'_{xx} + Q'_{yy} - \sqrt{(Q'_{xx} - Q'_{yy})^2 + 4Q'^2_{xy}} \right]$$

投影在横向贯通误差面上的误差计算公式为:

$$M_y = \pm m_0 \sqrt{Q'_{xx} \cos^2 \theta + Q'_{yy} \sin^2 \theta + Q'_{xy} + \sin 2\theta} \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中:

φ_0 ——极值方向角;

m_0 ——单位权中误差;

E ——相对误差椭圆长半径;

F ——相对误差椭圆短半径;

θ ——横向贯通误差方位角;

Q'_{xx} 、 Q'_{yy} 、 Q'_{xy} ——两相邻洞口点 A 、 B 中以任意一点为起算原点,另一点对该起原点的坐标权系数。

2 地面控制和地下控制按导线布设时,均可用下式分别计

算地面和地下控制测量对横向贯通面的误差影响:

$$M_y = \pm \sqrt{(m_\beta^2 + m_{yl}^2)/n} \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$m_{y\beta} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2} \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$m_{yl} = \pm \frac{m_l}{L} \sqrt{\sum d_y^2} \quad (\text{C.0.1-5})$$

式中:

$m_{y\beta}$ ——由于测角误差所产生的横向贯通面上的中误差, mm;

m_{yl} ——由于量边误差所产生的横向贯通面上的中误差, mm;

m_β ——导线测角中误差, (");

m_l/L ——导线边长相对中误差;

R_x 、 d_y ——导线点到横向贯通面的垂直距离和投影长度;

n ——测量组数。

3 地面三角网测量对横向贯通面的误差影响也可用下述近似公式估算:

$$M = \pm \sqrt{M_s^2 + (m''S/\rho'')^2} \quad (\text{C.0.1-6})$$

按边长误差(纵向)和角度误差(横向)等影响考虑, 即 $M_s = m''S/\rho''$, 则上式可改写成:

$$M = \pm \sqrt{2} M_s \quad (\text{C.0.1-7})$$

或
$$M = \pm \sqrt{2} (m''S/\rho'') \quad (\text{C.0.1-8})$$

$$M_y = M \cos \alpha$$

式中:

M ——以两相邻洞口点 A 、 B 中任意一点为起算原点, 至另一洞口点的点位中误差;

M_s ——两相邻洞口点 A 、 B 间控制网的边长中误差;

m'' ——地面控制网的方向中误差;

- S ——两相邻洞口点 A 、 B 间直线距离；
 M_y ——洞口点点位中误差投影在横向贯通面上的中误差；
 α ——横向贯通面上方位角与点位中误差方位角之夹角；
 ρ'' —— $\rho'' = 206\,265$ 。

C.0.2 洞外和洞内高程控制测量误差对竖向贯通面的影响，按下式计算：

$$M_h = \pm \sqrt{m_h^2 + m_h'^2} \quad (\text{C.0.2})$$

$$m_h = \pm M_\Delta \sqrt{L}, \quad m_h' = \pm M_{\Delta'} \sqrt{L'}$$

式中：

- m_h 、 m_h' ——洞外、洞内高程测量中误差；
 M_Δ 、 $M_{\Delta'}$ ——洞外、洞内 1km 路线长度的高程测量偶然中误差；
 L 、 L' ——洞外、洞内两相邻洞口间水准路线的长度，km。

C.0.3 测距作业的技术要求见表 C.0.3。

表 C.0.3 测距作业技术要求

三角网等级/ 测距仪等级	气象数据测定				一测回 读数较 差限值 mm	测回间较 差限值 mm	往返或光段 较差限值 mm
	温度 最小 读数 ℃	气压 最小 读数 Pa	测定 时间 间隔	数据取用			
二/1~2	0.2	50	每边 观测 始末	每边两端 平均值	±2	±3	±2√2(a+bD)
三/2	0.2	50	每边 观测 始末	每边两端 平均值	±3	±5	
四/2~3	1.0	100	每边 测定 一次	测站端 观测值	±5	±7	

注：往返较差必须将斜距化算到同一高程面上后方可进行比较。

C.0.4 钢尺丈量的技术要求见表 C.0.4。

表 C.0.4 钢尺丈量的技术要求

边长丈量相对误差	作业尺数	丈量总次数	定线误差 mm	读定次数	估读 mm	温度读至 ℃	同尺各次或同段各尺较差 mm	经各项改正后各次或各尺全长较差 mm	丈量方法
1:0000~ 1:15 000	2	4	30	3	0.5	0.5	3.0	40√D	悬空丈量
1:3000~ 1:10 000	1	2	50	3	1.0	1.0	3.0		

注：1 D 为导线边长，单位为 km。

2 用弹簧秤时，应张拉至钢尺鉴定时的拉力。

C.0.5 等级水准测量的主要技术要求见表 C.0.5-1 和表 C.0.5-2。

表 C.0.5-1 等级水准测量的技术要求

等级		二	三	四
M_{Δ} mm		±1	±3	±5
M_w mm		±2	±6	±10
仪器型号		DS ₀₅ , DS ₁	DS ₁ , DS ₃	DS ₃
水准尺		因瓦	因瓦、双面	双面
观测方法		光学测微法	光学测微法 中丝读数法	中丝读数法
观测顺序		奇数站：后前前后 偶数站：前后后前	后后前前	—
观测次数	与已知点联测	往返	往返	往返
	环线或附合	往返	往返	往
往返较差、环线或附合线路闭合差 mm	平丘地	±4√L	±12√L	±20√L
	山地	±0.6√n	±3√n	±5√n

注：n 为水准路线单程测量测站数，每公里多于 16 站时，按山地计算闭合差限值；

M_w 为 1km 水准测量全中误差。

表 C.0.5-2 等级水准测量测站的技术要求

等级	二		三		四
	DS ₀	DS ₁	DS ₁	DS ₃	DS ₃
仪器型号	DS ₀	DS ₁	DS ₁	DS ₃	DS ₃
视线长度 m	≤50	≤50	≤100	≤75	≤100
前后视距差 m	≤1.0		≤2.0		≤3.0
前后视距累计差 m	≤3.0		≤5.0		≤10.0
视线离地面最低高度 m	下丝≥0.3		三丝能读数		三丝能读数
基辅分划(黑红面) 读数较差 mm	≤0.4		光学测微法 1.0 中丝读数法 2.0		≤3.0
基辅分划(黑红面) 所测高差较差 mm	≤0.6		光学测微法 1.5 中丝读数法 3.0		≤5.0

注：当采用单面标尺四等水准测量时，变动仪器高度两次所测高差之差与黑红面所测高差之差的要求相同。

C.0.6 光电三角高程测量的技术要求见表 C.0.6。

表 C.0.6 光电测距三角高程测量的技术要求

等级	使用仪器	最大边长 m			天顶距观测				仪器 高丈 量精 度 mm	对向观 测高差 较差 mm	附和或环 线闭合差 mm
		单向	对向	隔点 设站	测回数		指标 差较 差	测回 差			
					中丝 法	三丝 法					
三	DJ ₁	—	700	300	3	2	±8"	±5"	±1	±35√S	±12√[D]
	DJ ₂				4	3					
四	DJ ₂	300	1000	500	3	2	±9"	±9"	±2	±35√S	±20√[D]

注：S为斜距，D为平距，以 km 计。

附录 D
(资料性附录)
窄轨运输技术条件

D.0.1 窄轨运输最小曲线半径、纵坡坡度、安全净距及人行道宽度、曲线双道线间距加宽、曲线轨距加宽及外轨超高、轨道构造等技术条件分别见表 D.0.1-1~表 D.0.1-6。

表 D.0.1-1 最小曲线半径

轴型及行驶地段	双轴机车、车辆		有转向架的梭车	槽式列车
	洞内	洞外		
最小曲线半径 m	$7d$	$10d$	12	25

注： d 为机车、车辆的轴距，单位 m。

表 D.0.1-2 纵坡坡度

行驶地段	洞外运渣轨道	会车、编组站	卸渣线终端上坡道
坡度	3%~2%	≤5%	≥10%

表 D.0.1-3 安全净距及人行道宽度

项目	最小尺寸 cm				备注
	单道	双道	摘挂处	乘人车 停车处	
两列车间净距		30	20		机车、车辆最突出部分 间距机车、车辆最突出部 分与洞壁或支撑间净距
边侧净距	20	20		20	
人行道宽度	70		70	100	

表 D.0.1-4 曲线双道线间距加宽

曲线半径 m		10	12	14	20	30	40
双道线间距 加宽值 mm	6t 以上机车	340	260	220	190	150	120
	6t 以下机车	200	170	130	120	100	80

表 D.0.1-5 曲线轨距加宽及外轨超高

曲线 半径 m	轨距加宽 ΔS mm				外轨超高 h mm					
	固定轴距 mm				固定轴距 762			固定轴距 610		
	600	800	1100	1400	列车运行速度 km/h					
					5	10	15	5	10	15
10	10	25			10			10		
12	10	20			10			10	20	
16	5	15			5	25		5	20	
20	5	10	25		5	20		5	15	
30	0	5	15	25	5	15	30	0	10	25
40	0	0	10	20	0	10	25	0	10	20
50	0	0	5	15	0	10	20	0	5	15
60	0	0	5	10	0	5	15	0	5	10
80	0	0	0	5	0	5	10	0	5	10
100	0	0	0	5	0	5	10	0	5	5
120	0	0	0	0	0	5	10	0	5	5

表 D.0.1-6 轨道构造

最大 轴重 t	钢轨 质量 kg/m	道木间距 cm	道木尺寸 (厚×宽×长) cm×cm×cm		道岔 号数	渣厚 cm
			762	610		
≥5	≥24	60	12×15×136	12×15×120	≥6	15
5	24	60~70	12×15×136	12×15×120	≥4	15
4	18~24	60	12×15×136	12×15×120	≥4	10
3	15~18	65~70	10×15×136	10×15×120	≥4	10

D.0.2 辅道岔及维修质量要求如下：

- 1 辅道岔型宜与主轨一致，或高出主轨轨型一级。
- 2 基本轨起点位置误差不超过 $\pm 300\text{mm}$ 。
- 3 辙尖轨不高出基本轨，亦不低于基本轨 2mm 。
- 4 滑床板、垫板、垫块不密贴的，每侧不超过 2 块，滑床板面保护平滑。
- 5 零件无松动、无折损，护轮轨缘槽内保持清洁无杂物。
- 6 其他项目同辅轨维修质量要求。

D.0.3 铺轨维修质量要求如下：

- 1 中线位置误差不大于 50mm 。
- 2 纵坡误差不超过 $\pm 1\%$ 。
- 3 轨距超宽小于 6mm ，偏窄小于 4mm ，曲线加宽误差不大于 2% 。
- 4 铺轨平面误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ ，直线远视直顺。
- 5 道渣粒径不宜过大，至少埋过枕木 $1/2$ ，但不超过枕面。
- 6 轨枕间距误差小于 $\pm 100\text{mm}$ ，里出外进不超过 50mm 。
- 7 钢轨接头无硬弯，相邻轨头高差及轨头内侧错开均小于 2mm ，轨缝按 5mm 铺设。
- 8 鱼尾板螺栓上齐，涂油拧紧，轨帽在外侧。
- 9 道钉直线每枕 4 钉，曲线每枕 6 钉。
- 10 道口铺面平整牢固，护轮轨面不高于主轨轨面，亦不低于主轨面 10mm 。

附录 E
(资料性附录)

非电毫秒雷管段别及延期时间表

段别	标志	延时毫秒 ms	段别	标志	延时毫秒 ms
1	ms1	<13	11	ms11	460±40
2	ms2	25±10	12	ms12	555±45
3	ms3	50±10	13	ms13	650±50
4	ms4	75+15 75-10	14	ms14	760±55
5	ms5	110±15	15	ms15	880±60
6	ms6	150±20	16	ms16	1020±70
7	ms7	200+20 200-20	17	ms17	1200±90
8	ms8	250±25	18	ms18	1400±100
9	ms9	310±30	19	ms19	1700±130
10	ms10	380±35	20	ms20	2000±150

附录 F

(资料性附录)

光面爆破与预裂爆破参数

F.0.1 光面爆破和孔深 5m 的浅孔预裂爆破参数可参照表 F.0.1-1 和表 F.0.1-2 选择，并按爆破试验结果进行修正。

表 F.0.1-1 光面爆破参数

岩石类别	周边孔间距 mm	周边孔抵抗线 mm	线装药密度 g/m
硬岩	550~650	600~800	300~350
中硬岩	450~600	600~750	200~300
软岩	350~450	450~550	70~120

注：炮孔直径 40mm~50mm；药卷直径 20mm~25mm。

表 F.0.1-2 浅孔预裂爆破参数

岩石类别	周边孔间距 mm	崩落孔至预裂面距离 mm	线装药密度 g/m
硬岩	450~500	400	350~400
中硬岩	400~450	400	200~250
软岩	350~400	350	70~120

注：炮孔直径 40mm~50mm；药卷直径 20mm~25mm。

F.0.2 孔深不小于 5m 的深孔预裂爆破参数，可按下列要求确定：

- 1 炮孔直径不宜大于 80mm。
- 2 孔距宜为炮孔直径的 8~12 倍，岩体完整段或孔径小时取大值，反之取小值。
- 3 不耦合系数可取 2~4 倍。
- 4 线装药密度可采用工程类比法试选或按式 (F.0.2-1) 或式

(F.0.2-2) 估算。

- 1) 岩体较为坚硬，其抗压强度 R 为 20.0MPa~200.0MPa 时：

$$\Delta_g = 0.042R^{0.5}a^{0.6} \quad (\text{F.0.2-1})$$

式中：

Δ_g ——线装药密度，kg/m；

R ——岩石极限抗压强度，MPa；

a ——预裂孔孔距，m。

- 2) 岩石极限抗压强度 R 为 10.0MPa~150MPa 时：

$$\Delta_g = 9.32R^{0.53}r^{0.38} \quad (\text{F.0.2-2})$$

式中：

Δ_g ——线装药密度，g/m；

r ——预裂孔半径，mm。

(上述参数按标准炸药计)

附录 G

(资料性附录)

质点振动速度传播规律的经验公式

G.0.1 质点振动速度传播规律的经验公式如下：

$$v = K \left(\frac{W^{1/3}}{D} \right)^\alpha \quad (\text{G.0.1})$$

式中：

 v ——质点振动速度，cm/s； W ——爆破装药量，齐发爆破时取总装药量，分段延时爆破时视具体条件取有关段的或最大一段的装药量，kg； D ——爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护目标的距离，m； K 、 α ——与场地地质条件、岩性特性、爆破条件以及爆破区与观测点或建筑物、防护目标相对位置等有关的常数，由爆破试验确定。初选时，可按表 G.0.1 中的数值。表 G.0.1 爆区不同岩性的 K 、 α 参考值

岩性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

G.0.2 爆破质点振动速度安全允许值可参考表 G.0.2 中的数值。

表 G.0.2 爆破质点振动速度安全允许标准

序号	保护对象类别		质点振动速度安全允许值 cm/s		
			<10Hz	10Hz~50Hz	50Hz~100Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋		0.5~1.0	0.7~1.2	1.1~1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物		2.0~2.5	2.3~2.8	2.7~3.0
3	钢筋混凝土结构房屋		3.0~4.0	3.5~4.5	4.2~5.0
4	一般古建筑与古迹		0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5
5	水工隧洞		7.0~15.0		
6	交通隧洞		10.0~20.0		
7	矿山巷道		15.0~30.0		
8	水电站及发电厂中心控制设备		0.5		
9	已浇筑的岩锚梁混凝土		7.0~10.0		
10	新浇大体积混凝土	龄期：初凝~3d	2.0~3.0		
		龄期：3d~7d	3.0~7.0		
		龄期：7d~28d	7.0~12.0		

- 注：1 表中所列频率为主振频率，即最大振幅所对应的频率。
- 2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时应参考下列数据：洞室爆破小于 20Hz；深孔爆破 10Hz~60Hz；浅孔爆破 40Hz~100Hz。
- 3 选取建筑物振动速度安全允许值时，应综合考虑建筑物的重要性、建筑质量、新旧程度、自振频率、地基条件等因素。选取隧道、巷道振动速度安全允许值时，应综合考虑建筑物的重要性、围岩状况、断面大小、埋深、爆破方向、地震振动频率等因素。非挡水的、新浇的大体积混凝土的振动速度安全允许值，可按本表给出的上限值选取。省级以上（含省级）重点保护古建筑与古迹的振动速度安全允许值，应经专家论证选取，并报相应文物管理部门批准。

附录 H
(资料性附录)
安全监测附表

H.0.1 监测断面间距见表 H.0.1。

表 H.0.1 监测断面间距表

序号	围岩类别	断面间距 m			
		小断面	中断面	大断面	特大断面
1	I		300~500	200~300	100~200
2	II		200~300	100~200	80~150
3	III	200~300	100~200	80~150	60~120
4	IV	100~200	80~150	60~120	40~80
5	V	80~150	60~120	40~80	20~40

注：A 为洞室面积。

H.0.2 监测项目和内容见表 H.0.2。

表 H.0.2 监测项目和内容选择表

序号	监测项目	监测内容	小断面	中断面	大断面	特大断面
1	巡视检查	洞室、支撑渗流等	●	●	●	●
2	变形	表面变形	●	●	●	●
		内部变形	○	○	●	●
		支撑变形	×	○	○	●
		地表沉降	○	○	○	○

续表 H.0.2

序号	监测项目	监测内容	小断面	中断面	大断面	特大断面
3	渗流	渗流量	×	○	●	●
		渗透压力	×	×	○	●
		水质分析	×	×	○	○
4	应力 应变	锚杆应力	○	●	●	●
		锚固力	×	○	●	●
		支撑应力	×	○	○	●
5	其他	围岩波速	○	○	●	●
		爆破震动	×	○	○	●

注：●为必测项目，○为选测项目，×为不测项目。

H.0.3 监测仪器埋设期测次见表 H.0.3。

表 H.0.3 监测仪器埋设期测次表

序号	内 容	测次	备 注
1	仪器埋设前	3 次	
2	仪器埋设后 24h 或临近部位进行开挖爆破、其他作业时	3 次~6 次/d	首次爆破后必须监测
3	1D~2D 或临近部位进行开挖爆破、其他作业时	2 次~4 次/d	
4	3D~5D 相近洞室开挖爆破、其他作业时	1 次~2 次/3d	

注：D 为地下洞室开挖宽度。

H.0.4 各监测项目正常测次见表 H.0.4。

表 H.0.4 各监测项目正常测次表

序号	监 测 项 目	施工期测次
1	表面、内部位移监测	1 次/周~1 次/旬

续表 H.0.4

序号	监测项目	施工期测次
2	倾斜监测	1次/周~1次/月
3	裂缝监测	1次/周~1次/旬
4	渗流量、渗透压力	1次/旬~1次/月
5	应力、应变和温度	2次/周~1次/旬
6	锚索和锚衬应力	1次/周~1次/旬

H.0.5 地下洞室周边允许位移相对值见表 H.0.5。

表 H.0.5 地下洞室周边允许位移相对值

围岩级别	埋深	<50m	50m~300m	>300m
	III		0.10%~0.30%	0.20%~0.50%
IV		0.15%~0.50%	0.40%~1.20%	0.80%~2.00%
V		0.20%~0.80%	0.60%~1.60%	1.00%~3.00%

注：1 周边位移相对值系指两测点间实测位移累计值与两测点间距离之比，两测点间相对位移也称收敛值。

2 脆性岩体取表中较小值，塑性岩体则取表中较大值。

3 本表适用高跨比为 0.8~1.2 的下列地下工程：

III级围岩跨度不大于 20m；

IV级围岩跨度不大于 15m；

V级围岩跨度不大于 10m。

4 I、II级围岩中进行量测的地下工程，以及III、IV、V级围岩中在表注 3 范围之外的地下工程应根据实测数据的综合分析或工程类别方法确定允许值。

水工建筑物地下工程开挖 施工技术规范

条文说明

目 次

1	范围	69
3	总则	70
4	地质	72
5	测量	73
6	开挖方法	75
7	钻孔爆破	82
8	出渣运输	85
9	初期支护	87
10	不良工程地质地段施工	89
11	安全监测	92
12	通风与除尘	95
13	辅助工程	98
14	质量检查与验收	99

1 范 围

小型水利水电工程、地下交通工程、地下管道工程、地下库室工程、地下厂房工程等的地下钻爆法施工可参照本标准。

3 总 则

3.0.1 本标准是在 DL/T 5099—1999 基础上进行修订的。近二三十年来，随着水工建筑物地下工程的规模不断扩大和数量不断增加，其技术水平、施工速度都有极大提高。随着一大批特大型电站如二滩水电站、小浪底水利枢纽及龙滩、三峡、小湾、拉西瓦、锦屏一级、锦屏二级、溪洛渡等水电站地下厂房的相继建成，我国的施工开挖水平已领先于世界，因此有必要修订本标准。

3.0.2 “安全第一、以人为本”为基本宗旨，工程施工必须同时兼顾施工进度、环保和经济效益之间的关系。

3.0.3 设计文件和施工图纸是施工方案的依据，地质工作及地质预报工作的好坏，关系到预先拟定的施工方案的正确性。但任何设计文件和地质预测工作不可能毫无偏差，因此动态设计并及时修正施工方案对工程建设方、施工方都是有利的。

3.0.4 采用合理的施工措施和施工方法，才能获得安全、经济、优质的工程结果。目前不论地面或地下工程的开挖，使用光面爆破和预裂爆破均是必须的选择。

3.0.5 合同文件、施工图纸、施工规范是施工管理人员必须熟读并要求切实执行的条文，是约束手段也是结算依据。因此，做好原始记录、及时整理竣工资料是必要的。

3.0.6 施工过程必定会破坏原始地形地貌，对环境造成影响。因此，施工的整个过程中重视环保和水土保持，是“以人为本”的重要方面。

3.0.7 施工人员的人身安全和健康始终是第一位的，施工过程中处理好安全、工程质量与施工进度的关系，关系到工程的成败，是工程质量得到保证和快速施工的前提。遵守劳动保护法令和卫生标准，不断改善劳动条件，防止伤亡事故和预防职业病的发生。

3.0.8 地下工程开挖过程中的安全监测能综合反映地质变化的影响和施工措施的可靠程度，是“新奥法”施工的基本支柱之一。因此监测信息对指导设计和施工是必不可少的。监测内容有围岩稳定性监测、松弛范围及变化监测、地下水变化监测等。

3.0.10 随着新技术、新材料、新工艺、新设备的不断涌现，造就了地下工程规模的不断扩大、施工速度不断提高。但由于地下工程开挖受到地质条件影响，应用时应经过必要的试验和必要的论证。

4 地 质

4.0.1 工程地质与水文地质资料是制定开挖与支护参数的依据，是保证安全快速施工的重要资料。地下洞室在开挖阶段出现的问题，大多与地质因素有关。在 GB 50487—2008 中，对初步设计阶段地下洞室的地质工作提出了较为明确的规定。施工前，建设单位及监理应将勘测设计阶段获取的与地下工程有密切关系的工程地质与水文地质资料全部提供给施工单位，以利施工单位制定切实可行的施工方案。

岩石等级的划分，仍采用原标准中的 16 级分级方法，其中 I～IV 级为土类（见附录 A）。

围岩分类方法很多，我国水利水电系统都采用 GB 50487—2008 规定的围岩类别分类法划分，即根据岩石强度、岩体完整程度、结构面性状、地下水及主要结构面产状等五项要素之和的总评分和围岩强度应力比，将围岩划分为五类。

4.0.2 开挖过程中的施工地质十分重要，因为任何勘测阶段的地质资料都不可能尽善尽美和绝对准确，因此需要施工地质来完善和修正，同时也是竣工所必需的资料。

开挖过程中围岩失稳或造成塌方是对地质条件掌握不准确和施工措施不当或施工质量存在问题造成的，因此要做好地质预报工作。

5 测 量

5.0.1 本条明确了地下工程施工测量的基本任务是进行贯通设计、贯通测量和施工放线等。

5.0.2 标准中所规定的极限贯通误差容许值和中误差分配原则，是根据目前的仪器设备条件和水电水利工程长隧洞施工的需要确定的。将隧洞相向开挖长度及贯通误差按长度小于 5km、5km~10km、10km~15km、15km~20km、20km~25km、25km~30km 四级控制，经过估算完全能达到要求。将纵向误差和横向误差定为同一精度要求也是可行的。表 5.0.2-1 中，测量误差对贯通面的影响只考虑了 3 个独立因素：1 个洞外测量误差和 2 个洞内为两相向开挖进行的测量误差，即洞外按贯通中误差的 $\sqrt{1/3}$ 、洞内按 $\sqrt{2/3}$ 进行误差分配。表 5.0.2-2 的注中说明了相向开挖要通过竖井定向贯通时应把竖井定向作为一个新增加的独立因素参加中误差的分配，这时洞外按贯通中误差的 $\sqrt{1/4}$ 、洞内按 $\sqrt{1/2}$ 、竖井定向按 $\sqrt{1/4}$ 进行误差分配。

5.0.5 地面控制测量已由建设单位完成，在本章未列这部分内容，若要了解地面部分的技术要求请见 DL/T 5173。

5.0.6 说明地面与地下控制连接进洞时层次越少，精度越高。因为洞口点的连接角距贯通面最远，它的误差大小对贯通精度的影响比重最大。

5.0.7 本条是根据目前国内测量新设备和技术的发展而制定的。施工导线是为了施工放线用，必须跟着开挖方向布置。规定 50m 左右设一个点，是为了方便施工放线工作。根据生产实践，强调把导线做到设计中线上已不现实，由于全站仪的出现，布自由导线很方便，基本导线宜沿洞壁两侧布置使用。

表 5.0.7-1、表 5.0.7-2 是以 5mm 级和 10mm 级光电仪和洞内

允许测量中误差 $\pm 40\text{mm}$ 为前提,按支导线端点误差而求出的各种导线边长、测角精度和允许的单向导线最大长度,以及对应相向贯通间距。使用时可根据仪器的精度和选用的导线边长,查找对应的测角精度和适合的贯通间距。没有硬性规定什么贯通间距一定要用什么等级的导线,比较灵活。

根据国内的实践情况,原标准的钢尺量距导线取消。考虑到一些工程部位和项目需要采用钢尺丈量,附录 C 中给出钢尺丈量技术要求的規定。

5.0.8 洞内光电测距三角高程代替四等水准,取消了地面水准测量,重点阐述地下高程控制。

5.0.10 对施工测量的技术要求:

1 原标准规定,开挖轮廓线放样误差不大于 100mm ,为与 DL/T 5173—2003 规定统一,本标准改为不大于 50mm 。

2 激光准直仪和非接触自动级坐标测量系统为近代新技术,无需反射棱镜光电测距仪,应大力推广。特别是非接触自动级坐标测量系统的应用,能快速、自动、精确地定出开挖周边的炮眼位置,大量减少超挖,提高工效,节约成本。

3 关于测量断面的间距和放线精度的要求,是根据工程需要制定的。本条所列标准,已能满足工程要求。

6 开 挖 方 法

6.1 一 般 规 定

6.1.1 施工布置应包括道路布置,施工支洞布置,渣场布置,风、水、电布置,生活、生产设施布置等,并结合工程实际情况,施工方法与程序上应有所侧重。如遇地质条件较差的工程,应突出制定不良地质段的施工方法和支护措施;如遇埋深较大的长隧洞或地下洞室群,应重点进行通风设计、高地应力区施工及洞室群的施工程序及施工方法。

6.1.2 随着施工设备的不断大型化、现代化和施工技术的进步,将断面大小划分的界限重新定义。围岩稳定除与围岩类别有关外,还与洞室跨度有关。因此,大断面、特大断面主要划分指标为跨度,即使跨度达到10m~15m,高度不足15m也应属大断面。同理,特大断面也以跨度是否超过15m为主要指标。

6.1.3 根据洞轴线倾角来划分洞室的目的是选择施工机械与运输方式:平洞可以行驶普通车辆,而缓斜井车辆行驶困难,必须使用特殊车辆如履带式或依靠外力辅助方能运行。

6.1.4 经过几十年的施工实践发现,原标准规定的平均超挖不得大于20cm,施工中是不易达到的。

超挖主要与围岩完整程度、管理精细化程度、施工速度快慢等因素有关。一般讲,在I、II、III类围岩中,扣除地质原因如倒楔体、裂隙切割成的危石等外,超挖在20cm以内是可以达到的。而在IV、V类围岩中,要控制超挖在20cm以内是难以达到的。因此,这一条只能适用于I、II、III类围岩。而底板开挖由于钻机操作上比边顶开挖更难,因此需再放宽5cm。斜井、竖井允许超挖为25cm,是同样道理。

6.1.5 开挖中围岩失稳和造成塌方的原因是对地质条件掌握不够准确、支护不及时或支护强度偏低造成的。因此，对IV、V类围岩必须要有足够的支护强度和合理的措施，避免事故发生。

6.1.6 开挖施工程序是保证围岩稳定的重要手段，因为程序关系到围岩自稳时间与支护时间的相互关系，特别是地下洞室群与岔洞室开挖，二次应力分布复杂，必须紧跟开挖而完成，否则，易产生掉块甚至塌方事故。

6.2 洞 口 开 挖

6.2.2~6.2.5 洞口开挖前必须治理边坡，而洞口削坡必须自上而下进行，不仅要撬除危石而且要做好排水。随着坡面下挖而逐步加固边坡。洞脸形成后，应对洞脸进行支护和锁口。锁口可根据围岩类别不同而采用不同方法，如一般的锚、喷和加格栅拱架或工字钢，洞口高陡边坡宜用混凝土衬砌，明洞延伸出洞外等。

在IV、V类围岩中开洞口，应用管棚法进行预支护。为减弱对洞口周边围岩的震动破坏，进洞的洞口段可采用先导洞后扩挖到规格线成型的施工程序。

6.2.7 洞口的位置与高程处于防洪标准水位以下时，应在洞口设置相应高程的挡水建筑物。挡水建筑物形式根据洞口地形、地质条件和经济技术分析确定，可用混凝土围堰或土石围堰等。

6.3 平 洞 开 挖

6.3.1 随着施工机械的发展和施工技术的进步，一般中、小断面（跨度10m以下）洞室都能采用全断面一次开挖成型的方法。这对施工速度、爆破效率、对围岩的爆破震动都是有利的。大型、特大型洞室，由于施工机械设备登高作业性能所限，洞高超过10m时顶部作业已十分不便，应考虑分层、分部开挖。

对于IV、V类围岩，因为围岩自稳时间短，不宜一次性全断面开挖爆破成型。

6.3.2 分部分层开挖的洞室，必须在后开挖部分（层）开挖前将先开挖部分做好初期支护，以降低支护作业高度，也可约束围岩变形，不致产生塌方等灾害，以保证安全施工。这一点在V、IV类围岩中特别重要。一般情况下只做初期支护，如确实洞室高度太大，需在顶拱部位先做二次混凝土衬砌的，应对岩体能否支撑住顶拱混凝土体进行论证。

6.3.3 小断面洞室，一般不采用先开挖导洞的方法，而中等断面以上地下洞室不排除导洞先行的开挖方法，一般在以下情况使用先导洞后扩挖的施工方法：需进一步查清前方地质条件，因为小断面洞室比大跨度洞室垮塌的概率要小；地下水极为丰富给施工带来困难时，地下水多是紧跟掌子面走，因此用小导洞超前降低地下水是较好的措施；洞室通风散烟困难，为尽早解决通风问题，先用导洞贯穿以利空气对流；高地应力岩爆地段，用小导洞超前以预释放部分初始地应力。

6.3.4 本条中排炮循环进尺是指一个自由面掘进时的钻孔深度（含导洞或全断面掘进）。排炮循环进尺的选定要考虑以下因素：两排炮间的起伏差取决于循环进尺，循环进尺大，起伏差必定大；最佳爆破效率因素，小断面洞室如爆破孔太深，则爆破效率不高；围岩自稳时间因素，IV、V类围岩中循环进尺绝不能大；作业机械性能因素，手持凿岩机循环进尺宜小，多臂凿岩台车循环进尺可大。

6.4 竖井与斜井开挖

6.4.2 自上而下开挖时，对井口必须采取保护措施，以防井口坍塌、掉物等。一般都采用混凝土锁口并加设防护栏杆。

在开挖过程中，竖井、斜井的安全风险最多，因此其防范措施也多。井深超过30m时，人员上下宜采用提升设备，对提升设备必须有专门设计，要有足够的安全系数。

随着开挖深度下降，支护必须紧跟开挖面，而支护参数和类

型可根据不同围岩而定，如素喷混凝土，锚、网喷结合，锚、格栅拱架（工字钢）、喷混凝土复合支护及浇注混凝土等方式。

目前竖井、斜井开挖多采用反井钻开挖导井溜渣，而在IV、V类围岩中反井钻施工时，导孔与导井的形成十分困难，因此，可先灌浆固结后再施作反井钻导井。

6.4.3 导井贯通后自上而下扩大开挖时，如处理不当，极易发生导井堵塞现象。扩大开挖时的钻爆参数极为重要，一般爆破后最大块径应小于导井直径的 $1/3 \sim 1/5$ 。开挖前可用该数值来确定扩大开挖时的爆破最小抵抗线距离及爆破孔距。

竖井或斜井与平洞的连接段应进行加固，以保证施工安全。

6.4.4、6.4.5 导井具有扩挖时溜渣到井底出渣的作用，它对施工进度起着关键作用。导井的开挖方法有多种，普通法一般是人工开挖，其深度有限且安全隐患多，除短井外很少使用。目前常用的是阿利马克爬罐法和反井钻机法。前者因轨道须附着在洞壁上，因此只能用于I、II、III类围岩中，其开挖深度可达250m，由于开挖的导井断面大，在好围岩中是一种较好的选择。反井钻机适用性广泛，几乎在所有类型围岩中都能使用，它安全、快速，国产钻机开挖深度可达200m，进口钻机开挖深度可达400m。但其缺点是井径小，只能达到1.4m，对于深井、大直径竖井扩挖时还需再次扩挖导井；另外，其作业要求有较陡的倾角，一般为 55° 以上。目前常用的两种反井钻机主要参数见表1。

表1 国产LM-200型、ZFY2.0/400型反井钻机主要技术参数表

技术参数	单位	LM-200型	ZFY2.0/400型
导孔直径	mm	270	216
设计最大扩孔直径	mm	2000	1400
设计最大钻孔深度	m	400	200
转速	r/min	0~16	0~20

续表 1

技术参数	单位	LM-200 型	ZFY2.0/400 型
扭矩	kN·m	80	40
导孔推力	kN	1730	350
扩孔推力	kN	3020	850
总功率	kW	118.6	82.5
设计钻进倾角	(°)	45~90	60~90
运输尺寸 (长×宽×高)	mm×mm×mm	3810×1750×1950	3200×1400×1650
工作尺寸 (长×宽×高)	mm×mm×mm	4850×1750×5250	3200×1700×3600
主机重量	kg	12 500	8300
泥浆机	kW	90	90

6.4.6、6.4.7 在IV、V类围岩中，由于导向孔成孔困难，加上反导井成形后围岩难以自稳，可采用预灌浆先加固围岩进行解决。但一般情况下，这类岩体中不用反导井法，而用正井一次开挖到位，边挖边支护成型。

6.5 特大断面洞室开挖

6.5.1 特大断面洞室包括地下厂房、主变压器室、尾水调压室、大型导流隧洞、泄洪隧洞等，其中以地下厂房枢纽为代表的洞室群开挖是一项比较复杂的系统工程，往往洞室数多达几十条，隧洞总长度达数公里。主厂房跨度大，边墙高，断面积达 1000m² 以上，开挖必须分层分部进行。

6.5.2 特大断面洞室的开挖一般均采用自上而下分层开挖的方法进行。近年来，各行业对大断面地下洞室的开挖方法都制订了一些“工法”。对这些工法的应用要根据断面大小、地质条件而定，不可生搬硬套。分层的高度不仅取决于施工机械作业高度，而且

与保证围岩稳定有关。大断面高边墙地下洞室不同于小断面隧洞，因此，开挖后及时支护是必须的，开挖一层支护一层，这样抑制围岩变形好处很大，分层高度太大，易引起较大突变，因此定为4m~8m。

地下厂房中岩壁、岩台吊车梁是一种先进结构，它充分利用岩石的承载能力，其受力情况取决于岩石质量、岩壁台座的角度、锚杆的深度和角度。岩壁的开挖要求成型好、超挖少、爆破对围岩破坏小，因此，应制定专门的技术措施，以保证开挖符合设计要求。

6.5.3 V类围岩开挖特大断面洞室采用先墙后拱法仅仅是可采用的方法之一，施工中常用的方法是先管棚、短进尺、钢格构架加喷、锚支护法，这是施工速度较快捷且安全的办法。

6.5.4 设计断面设有拱座，采取先衬顶拱后开挖中、下层的方法，应该是在围岩条件较好、未衬砌边墙能承载顶拱混凝土的条件下进行。使用这种方法不仅要注意拱座开挖质量，同时还要注意拱脚下部开挖时要保护拱座不受或少受爆破的破坏，并防止爆破对顶拱混凝土的破坏。

6.5.5 地下厂房洞室群的洞室纵横交叉，应力分布状态极其复杂，经过多次应力重分布后，围岩松弛圈与塑性区不断扩大。因此，不仅要做好洞脸支护，而且支护参数的选择要在原围岩级别上降低一级。

6.5.6 地下厂房引水、发电系统，各大洞室如引水洞间、尾水洞间及三大洞室间相隔距离近，开挖后的岩墙、岩柱的稳定是首要问题，应采取合理的开挖程序、爆破方法并及时支护，加强监测。

6.6 施工支洞布置

6.6.1 施工支洞的数量、断面及布置关系到施工工期和工程造价。支洞的间距也受到通风因素的制约。国内隧洞独头通风能力一般在3km~7km以内。地下厂房系统洞室高度大、层次多，需

设多条施工支洞。在布置施工支洞时，应充分利用永久隧洞作施工通道。

6.6.2、6.6.3 施工支洞的布置主要根据工程布置与场地条件确定。

6.6.4 使用斜井或竖井做施工支洞时，其安全措施同 6.4、8.4 节条文。由于目前施工中均提出了人、货分离的安全交通要求，因此取消了原标准中规定的“斜井的倾角不宜大于 25° ”，可考虑按最短路线来设置。

7 钻 孔 爆 破

7.1 钻 爆 设 计

7.1.1 地下工程开挖过程中，钻孔爆破开挖仍然是最普遍，最常用的施工方法。由于地下工程开挖场面不大，而且对围岩的保护要求高，因此不能使用大药量相对集中装药方式，从而对钻孔孔径进行了限制。这样对爆破震动破坏相对较小，对爆破的大小也容易控制。

地下工程开挖前必须进行钻爆设计，其目的主要是最大限度地提高爆破效率和开挖轮廓线的平整度，减少爆破震动破坏和缩小爆破松弛圈范围。因此，爆钻设计的重点是根据不同岩性和隧洞断面大小，设计掏槽形式、孔深、孔距布置、装药量和装药结构及起爆顺序等。

7.1.2 光面爆破和预裂爆破是控制性爆破的常规技术，其主要目的是控制开挖轮廓线，减少爆破产生的围岩松动范围，最大限度地减少爆破对围岩的扰动。

7.1.3 特殊工程部位主要是指岩壁吊车梁岩台、高压岔管、洞室交岔部位、薄隔墙、岩塞等部位。

7.1.4 特大断面洞室的中、下部开挖采用明挖方式已有十分成熟的经验，它可以充分发挥机械化作业效率。

台阶高度决定于围岩稳定条件和施工通道状况及锚喷作业高度。地下洞室中台阶高度开挖设计最大不宜超过 8m，是以围岩开挖后不至于产生突然大幅度变形来考虑的，特别是围岩稳定性差或地应力高的地区，台阶高度更应受到限制，宜薄层开挖。

7.2 钻 爆 作 业

7.2.2 钻孔质量是取得良好爆破效果的关键。孔位、开口准确性、

钻孔角度、深度及钻孔外插角均影响爆破效果和爆破质量，施工时要设立明显的参照标志以控制钻孔角度和方向。

7.2.3 炮孔堵塞长度一般要大于最小抵抗线。良好的堵塞能提高爆炸能的利用率。堵塞材料禁用黏土，因为黏土易污染开挖岩面，影响喷混凝土与开挖岩面的牢固结合。

7.2.4 塑料导爆管非电毫秒雷管具有连线简单、耐火、抗震、抗电流等特点。而引爆多采用电雷管，因为较非电雷管经济。但当有杂散电流或在吊罐法、爬罐法开挖时，因金属绳索为良性导电体，因此严禁使用电雷管引爆。

预裂爆破或光面爆破孔内因药卷偏细，且间隔装药，由于殉爆距离不够会产生不良爆破效果，因此宜采用导爆索引爆。

杂散电流量指存在于预设的电源网路之外的电流，其主要来源为：电气牵引网路流经金属物（指铺轨以外的金属物）或大地返回直流变电所的电流；动力和照明交流电路的漏电；大地自然电流；雷电和电磁辐射的感应电流等。因此要注意这些方面的影响。

7.2.5 半孔率是炮孔残留半孔数与周边孔数之比的百分数。光面爆破和预裂爆破的半孔率除取决于合理的装药结构与装药参数外，还决定于岩石的完整程度。按岩石的完整、较完整和完整性差及较破碎和破碎分三个等级，对炮孔的半孔率作了不同百分比的要求。

相邻两排炮孔的岩面错台取决于钻手的操作水平和钻孔深度，排炮钻进越深，两排炮间岩面错台越大，因此，要合理选取排炮进尺。

合理的装药量与装药结构既能形成贯穿性连续裂缝（或形成光面效果）又不至于产生明显爆震裂隙。

7.3 爆破安全规定

7.3.7 采用混凝土衬砌与开挖平行（即前后作业）作业时，开挖

面与衬砌面的距离除考虑爆破飞石不破坏混凝土模板外，还要考虑混凝土龄期的允许质点振动速度。而爆破产生的质点振动速度取决于最大单响药量，允许质点振动速度参考值参见附录 G 中的表 G.0.2。

7.4 爆 破 试 验

7.4.1 不同的岩石、不同的地下洞室对爆破参数都有不同要求，因此开挖施工前要通过爆破试验才能确定爆破参数。

7.4.2 爆破试验和监测资料是工程建设的宝贵资料，应及时进行整理和分析，也是竣工验收的备查资料，对其他工程也具参考价值。

8 出渣运输

8.1 一般规定

8.1.1 出渣运输方式有无轨运输和有轨运输，运输方式的选择应根据隧洞断面大小、长度、施工设备技术条件、工期要求等因素经技术经济比较后确定。

8.1.2 弃渣场地的选择必须考虑环保因素，因此渣场的布置不应侵占河道。渣场应保持稳定，不至于产生泥石流等次生灾害。

8.2 有轨运输

8.2.1 有轨运输有一定的优越性，它具有对空气污染小、能耗低、设备造价低、相对较经济等优点。但它只能适用于坡度小于 2.5% 的中、小断面长隧洞工程。由于电瓶机车电瓶容量的限制，长度超过七八公里的长隧洞就不宜使用电瓶机车，而应采用高压进洞的电机车。

8.2.2 立爪式装渣机是一种生产能力高、可连续装渣的设备，它与大容量梭式矿车匹配，可使装渣连续进行，缩短装渣运输循环作业时间。

8.2.3 采用双车道或单车道设置错车道是提高出渣效率的主要措施，而错车道的距离与车流量有关，宜 200m 设错车道。

8.2.5 由于洞内工作面狭窄，照明度差，再加上空气混浊，从安全角度出发，对行车速度有所限制。

8.3 无轨运输

8.3.1 无轨运输适用于任何断面隧洞，但应配套相应的装渣设备（包括人工装渣），由于有轨运输的工作范围较小，因此，中、大

型断面隧洞以无轨运输为主。无轨运输所产生的废气多，因此应充分考虑洞内通风。

8.3.2 洞内坡度一般由工程需要、经济等因素确定，如施工支洞的洞内坡比关系到支洞长度。单从车辆性能而言，道路纵坡可加大到 18% 以上，但运行速度受到限制，运输效率低，排出废气多。装渣设备在斜坡上工作，降低了安全度且效率低，因此平均纵坡以不大于 9% 为宜，局部可增至 14%。出渣设备一般容量大、吨位大、运输频繁，因此对路面有较高要求，宜采用混凝土硬化路面。

8.4 斜井、竖井

8.4.1~8.4.10 斜井、竖井提升运输的安全是首要的问题，因此本节的内容都围绕安全问题。本标准对轨道、牵引绳、行车速度等都进行了详细规定，必须严格执行。

8.4.11 斜、竖井自上而下扩挖时，在井底出渣，无论是上面扒渣还是下部出渣，都存在安全问题，一旦发生人员坠落或导井堵塞事故，后果都很严重。因此，必须制订专项措施，保证不出任何事故。

9 初期支护

9.1 一般规定

9.1.1、9.1.2 根据新奥法的理念，初期支护是永久支护的一部分，因此不存在临时支护这一概念。初期支护的型式多样，它包括喷混凝土支护、喷混凝土及锚杆支护、网喷锚杆支护、钢格栅拱架喷混凝土支护、钢拱架支护、注浆小导管支护、管棚悬吊锚筋桩支护等，支护后都不再拆除。有些工程做完初期支护后不再进行混凝土衬砌，而以初期支护作为永久支护。对混凝土衬砌与开挖支护时间间隔不太长的洞段，如间隔1~2个月左右，初期支护量相对要轻一些。

9.1.3 初期支护的关键是支护参数的确定。新奥法的支护理念是通过支护体提高围岩的物理力学参数，由于支护体与围岩联合作用，组成的支承拱体提高了围岩的自承能力。支护时间的确定与围岩类别有关，完整的Ⅰ类围岩可以不支护，Ⅱ类围岩只需随机局部支护，Ⅲ类围岩虽做系统支护，但可适时进行。由于难以对“适时”给出一个相对准确的时间，因此一般是宜早不宜迟，因为在支护的过程中围岩仍在进行着变形，锚杆支护采取先浅后深比较安全。稳定性差的Ⅳ、Ⅴ类围岩必须及早支护。

9.1.4 现场安全监测是新奥法的重要组成部分。开挖时要利用监测的信息来了解围岩变形情况，并及时调整支护参数。

9.2 锚喷支护

9.2.1 锚喷支护是新奥法的核心，它是初期支护的最主要手段。锚喷支护类型有喷混凝土、纤维喷混凝土、锚杆、挂网喷混凝土、钢拱架（格栅）喷混凝土等。支护类型及参数主要根据围岩类别、

断面尺寸、计算荷载等通过工程类比法确定，或经试验确定。由于岩石体是一个非均质非连续介质体，计算支护荷载是指导性作用的数据，不是一个精确量化数据。因此，支护参数的确定主要是靠工程类比法，同时根据现场监测来及时调整支护参数。

9.2.2~9.2.4 钢纤维喷混凝土和聚丙烯纤维喷混凝土、预应力锚杆、树脂锚杆、自进式锚杆在不同的地质条件下有着特殊的作用，应通过试验论证后使用。其中，自进式锚杆有着抗剪强度低、注浆无法达到全孔固结等缺点，因此要慎重使用。根据多个工程实践经验，在易塌孔的围岩中，采用中空花管取代自进式锚杆效果更好。

锚喷支护参数及质量检验标准可参照 DL/T 5181 执行。

9.3 钢 构 架 支 撑

9.3.1 单纯的构架支撑属被动支撑，对抑制围岩变形不利，所以现在很少单独使用构架支撑，而是构架、锚杆喷混凝土联合支护。

构架与锚喷联合支护时要注意：按分部制作的构架支撑组装时要连接牢固，各榀之间应用连接筋连成整体，尽量与围岩密贴，与围岩间的空隙要用喷射混凝土填满，系统锚杆杆尾要与构架焊接。岩体软弱时，拱脚及其向下延伸段要有锁脚锚杆固定构架，喷混凝土要全部包裹构架。由于锚杆、喷混凝土已将构架牢牢固定，因此，构架之间的连接可相对减少。另外，因为支撑构件是不考虑拆除的，因此构件背垫材料不允许有木料等易腐蚀和易老化材料。

9.3.3 设置钢构架支撑的部位，主要是软岩地段，一则软岩段围岩变形量大，二则钢构架支撑占据空间比喷锚支护要大，因此必须预留变形空间。往往这样做也难免有个别部位的支撑会侵占设计断面，发生这种情况时要与设计方商量，采取拆除支撑构架或减少混凝土衬砌断面等方案。

10 不良工程地质地段施工

10.0.1 不良地质地段包括松散岩体、饱和单轴抗压强度低于15MPa的软岩、地下水丰富的地质洞段、膨胀性岩体、高地应力地段等，不良地质洞段开挖前，要查清地层岩性、地质构造、地下水发育情况，并切实做好地质预报。地质预报方法较多，目前国内常用的有地质雷达、电磁波法、超前钻孔法、导洞超前法等。做出相应的开挖、钻爆和支护方案，遵循本条提出的几条原则，稳步掘进，及时支护，切忌盲目冒进造成事故。对不良地质地段，应采用多种支护综合措施，如超前锚、系统锚、钢构架喷混凝土等。

10.0.2 局部不稳定块体，若不及时处理，对安全危害极大，增加预应力锚等随机支护可以及时抑制围岩变形，效果显著。

10.0.3 松散软弱围岩，洞室开挖后围岩没有自稳时间，因此要采取预支护措施。但在采取了预支护措施开挖后仍然要采取钢构架、系统锚等措施及时支护，做到一掘一支护，稳步前进。国内铁路、公路、水电等系统都制订了很多地下洞室开挖工法，适用于各类地层岩性。而在应用工法时千万不能教条化，应根据地层岩性、断面大小、工期要求、经济比较而作出选择。

10.0.4 在膨胀性岩体和软弱岩体中即使使用刚性支护，如没有封闭成环，由于围岩的蠕变会使洞室断面变小，因此开挖后要及时封闭成环，即底拱及时设置仰拱。如支护强度不够，其支护体会因围岩二次应力重分布而受力过大遭受破坏，因此要注意支护强度，一般是要加密锚杆间距和加长锚杆长度。支护刚度是在支护初始起作用的力学参数，当变形仍在产生时，需要有一定的支护刚度，如作用钢架等。而混凝土衬砌既有足够的刚度，也有足够的强度，当支护强度不够时，钢拱架也会遭受破坏。徐村导流

泄洪洞隧道及紫坪铺导流洞因膨胀性围岩变形量均超过 200mm，后通过加密加长锚杆结合钢拱架喷混凝土联合支护，抑制了围岩变形。顶山隧道部分洞段的膨胀性泥岩，虽然进行了初支护（一次支护）仍发生近 300mm 的膨胀变形，在实施二次支护后保证了围岩的稳定。

10.0.5 岩溶地区构造较复杂，围岩中常常有黏土及碎屑物充填，给施工带来很大困难，应根据岩溶的规模、充填物制定相应的施工措施。天生桥二级电站引水隧洞遇到溶洞多且规模大，曾采取加大衬砌厚度、高压固结灌浆、设拱桥、打桩基等多种措施处理。构皮滩电站导流洞地下厂房系统所遇到的溶洞规模与数量也是罕见的，同样采取混凝土换填、拱桥、高压固结灌浆等措施处理。

10.0.7 高地应力地区最大的危害是岩爆问题，如渔子溪、天生桥二级、太平驿、锦屏一级地下厂房，锦屏二级辅助洞在开挖时都出现过高地应力问题，而且出现伤人和设备损坏事故。在中等强度（中等坚硬）围岩中出现高地应力就会产生变形不收敛现象，如锦屏一级地下厂房，为了减少岩爆产生的危害，制定本条。根据以往的经验，导洞超前、使应力提前释放是行之有效的办法，在广州抽水蓄能电站二级地下厂房中应用是十分成功的。高地应力使围岩变形不收敛，采取加密深层锚杆、注意加密浅层锚杆和增加更深层的锚索是一项重要的措施。

10.0.8 地下水活动严重地段，摸清地下水活动规律和地下水储量及补给来源是十分重要的。地下水的处理要采取排、堵、截、引流的综合治理措施。当洞室在地下水位以下时，宜以排为主，堵截结合；当洞室在地下水位以上时，宜以堵为主，辅之以排。乌江上的索风营电站、构皮滩水电站采用堵、引排措施十分成功。而堵的措施只能使用在地下水压力不高、流量不大的地方，若用灌浆法堵水，只能用在流速缓慢（一般小于 10cm/s）地段，且在地下水未揭开前完成，否则只能采取以排为主的办法。如锦屏二级辅助洞、引水洞由于地下水流量大，一年后稳定量仍达 $2\text{m}^3/\text{s}$ ，

原设计是以堵即高压预灌浆为主，由于施工时没有做到预灌，在地下水揭露后再使用多种手段、多种材料进行灌浆都没有成功，最后仍改为以排为主。

10.0.10 塌方处理近年来已有十分成熟的经验和手段。一般讲，塌方类型只有两种：一种是松散岩体中产生的塌方，另一种是块状岩体中产生的塌方。前一种塌方的处理方法与穿过V类围岩的施工方法相同，用管棚预支护处理起来十分简单。而块状岩体中的塌方是用锚喷法处理，因此，塌方后弄清是什么型式的塌方十分重要。塌方后切忌盲目出渣，以免扩大塌方规模，增加处理难度。在块状围岩中产生的滞后塌方（即开挖过后一段时间产生的塌方），因塌空空腔往往很大，处理起来较为困难。这类塌方，可根据具体施工条件，采取相应措施，如回填法、锚喷法、钢拱架支撑法等。

塌方处理只能在松渣上进行，大断面隧洞在处理塌方时，要分上、下层处理，钢拱架坐落在松散体上，受山岩压力（塌方堆积体）的作用，难免会产生沉降。因此，在塌方处理架设工字钢时，必须要超出开挖规格线，称为预留变形量。松散体塌方处理经验，变形量一般可控制在5cm~8cm。徐村水电站导流（泄洪）洞，开挖断面10m，预留变形量宜大不宜小，所以规定预留变形量以5cm~20cm较为合适。

11 安 全 监 测

11.0.1 安全监测是在施工过程中，对围岩变形、支护应力进行监测，掌握围岩变形和支护应力的时空变化，对围岩的稳定作出判断，验证施工程序、支护体系的正确性和实际效果，以指导设计和施工。

1 安全监测项目主要有变形、应力应变、渗流渗压、岩体声波检测等，各项目的内容根据工程需要选择：变形监测包括表面变形、内部变形、裂缝、拱顶下沉等；应力应变监测包括锚杆、钢筋、锚索内力、喷层应力等；渗流渗压监测包括地下水渗流量、地下水压力等；爆破震动监测、围岩松弛区检测（包括表面波、弹性纵波）等。

2 安全监测断面布置除考虑环境条件因素外，应考虑洞室的施工程序，宜重点控制监测断面的数量，达到既能监测到比较完整的资料，又尽量不影响工程施工。

特大型、大型地下洞室，地下厂房等工程，因洞室分布上下重叠、交叉复杂，开挖分层进行，安全监测断面布置应重点控制。

监测仪器（测点）的位置设定，宜考虑监测结果相互印证的关系：洞室内空变位监测，测线以三角形布置为宜，测线 3~6 条；拱顶下沉监测的测点，可与内空变位拱顶上的测点共用；围岩内部位移监测，测孔的位置应与内空变位测线相应布设，以便监测结果互相印证；围岩内部位移监测，一个断面上布设 3~5 个测孔，特大型、大型地下洞室、地下厂房等工程，一个断面上布设 5~9 个测孔；锚杆应力监测，其位置和数量与围岩内部位移监测的测孔尽量一致，水平距离 0.5m~1.0m；裂缝监测、锚索锚固力监测、喷层应力监测、钢筋应力监测、渗流渗压监测等监测仪器的布置，由工程的具体情况确定；特大型、大型地下洞室、

地下厂房等工程，监测仪器（测点）应布置在分层开挖面的上部1m左右。

11.0.4 为取得较全面的监测资料，当开挖爆破后达到监测断面时，监测仪器安装埋设愈快、距开挖面愈近愈好，应在下一循环爆破前完成。

洞室开挖分层时，仪器安装埋设完成后，再进行下层开挖。

有条件的工程或创造条件预先从地表打孔或在地质探洞内打孔安装埋设监测仪器，必须准确计算测孔的深度并严格实施，测孔的深度距洞室壁面不小于0.5m为宜。

11.0.5 监测仪器安装埋设后，视监测仪器的种类确定基准值，基准值的确定需全面考虑仪器安装埋设的位置、所测介质的特性、环境因素、仪器的性能等。基准值确定不当会引起系统性的误差及影响以后资料分析的正确性。

监测仪器安装埋设后的监测频率由变化速度（时间效应）与距工作的距离（空间效应）确定。一般情况变形速率大，距工作面愈近，监测次数应多。可参照附录H表H.0.3实施。

11.0.6 各物理量的监测结果，随时间和空间变化的，称为时间效应和空间效应。监测资料要及时地用变化曲线关系图表示出来，即绘制变形随时间的变化规律——时态曲线和变形与距离之间的关系曲线，从而对围岩稳定及支护效果作出判断。

11.0.7 地下洞室开挖或大型地下洞室（地下厂房等）开挖分层进行，爆破扰动及洞室交叉施工使围岩应力不断重分布，稳定标准用于指导后续施工是复杂的理论问题。应综合考虑变形、应力变化的速率状态，变形、应力测值的大小，渗流渗压等物理量变化速率的发展、收敛、平稳、分布范围等状态对围岩稳定的影响程度，同时，考虑工程规模、地质条件、围岩特性、结构状态、支护方式等因素，判断围岩的稳定和工程的安全。

隧洞稳定标准须满足以下条件：

1 变形速率明显下降。

2 变形量已达计算变形量的 80%~90%。

3 变形速率小于 0.1mm/d~0.2mm/d 或拱顶下沉速率小于 0.07mm/d~0.15mm/d。

4 日变形量相对较小的不收敛地段，其持续时间不应超过 60d，否则视为不稳定地段。

5 若监测结果超过稳定标准，应立即作出预报，同时，应加密监测并及时提供监测成果。

11.0.9 监测结果的反馈，一般以监测月报、年报，分部工程完工验收时的监测报告，阶段（如水库蓄水前、引水系统试运行前、发电系统试运行前等）安全监测报告，工程完成的竣工验收报告的形式出现。

监测结果异常时，立即复测、加密监测、查明原因、及时通报，加密监测的测次应以次/h~次/d 确定。

对相关的各种因素作详尽的调查了解、研究分析，做出结论，提交书面报告，必要时提供监测周报、日报资料。

12 通风与除尘

12.1 卫生标准

本节所涉及的氧气含量不少于 20% 和空气中有害物质含量最高允许值, 洞内温度不高于 28℃, 噪声值不应大于 90dB(A) 的三条卫生标准与原标准没有变化, 是合适的。随着社会进步和人民生活水平不断提高, 本着“以人为本”精神, 对劳动者人身健康的保护应给以高度重视。洞内温度一定程度上取决于隧洞内空气流动速度, 因此地下工程施工过程中, 必须有切实可行的通风方案。

另外, 在洞内作业时, 应减少高噪声的工作时间, 在采取一定的措施后, 可在噪声超过 90dB(A) 的环境中工作。

12.2 通风

12.2.1 本条列入三种情况下计算通风量的标准, 实践证明这三种标准是可行的。计算后应以所需最大值为设计通风量。

高海拔和高寒地区空气稀薄, 随高程增加而缺氧程度增高, 由于温度和气压都发生变化, 炸药产生的有害物质体积也随之增加, 施工机械效率降低, 造成燃烧不充分, 增加有害物质。因此, 计算出的通风量应加以修正。《水利水电工程施工组织设计手册》第 2 卷第五篇中的资料: 某隧道现场实测, 海拔每升高 1000m, 柴油机功率下降 9%~13.7%, 可供参考。

12.2.3 通风方式有机械通风和自然通风两种。地下洞室开挖初期, 进尺(开挖深度)不深, 必定是使用机械通风, 因输送风管距离不远, 往往效果较好。随着洞深增加, 机械通风效果明显下降, 特别是地下厂房系统复杂的地下洞室群, 通风成了一大难题,

因此要尽量想办法创造自然通风或自然通风与机械通风相结合的条件。

通风有管道式通风、巷道式通风、风道式通风。有时是几种方式混合使用。管道式通风多半用于机械式通风，有压入式、抽出式和混合式。通风方式应根据洞井布置、埋藏深度、断面大小等因素综合考虑。

12.3 防尘、防有害气体

12.3.1 据有关资料介绍，地下洞室开挖过程中，由凿岩钻孔产生的粉尘占 85%，爆破占 10%，装渣占 5%。喷射混凝土作业也会产生大量粉尘，这些粉尘中特别有害的是游离 SiO_2 尘埃。其中 $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 的尘埃能直接进入肺部，引起矽肺病，还会影响施工人员的视线，造成视力减退。粉尘还会加快机械磨损。

为降低粉尘，要求使用湿式凿岩，喷雾、洒水、冲洗洞壁、用水淋透石渣等措施。对于悬浮空气中的粒径小于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘，要靠加强通风，不断置换洞内空气。喷射混凝土作业采用湿喷法，不仅降低回弹、减少粉尘，而且能保证喷混凝土的力学指标。少量混凝土喷射若无法使用湿喷法时，至少应采用半湿喷法（潮喷），并加入黏稠型速凝剂或增塑剂，还应做好个人防护。

当采用半湿喷法或水泥裹砂时，应采用下列防尘措施：在距喷头 $3\text{m}\sim 4\text{m}$ 处增加一个水环，采用双水环加水。喷射混凝土的混合料中宜掺入增塑剂。增加局部通风。

12.3.2 瓦斯是煤层和围岩中涌出的以沼气 CH_4 和 CO_2 为主要成分的多种气体的总称，是一种无色、无味、无臭的气体。瓦斯扩散性很强，会使人缺氧窒息，当浓度在 $5\%\sim 16\%$ 时遇一定温度和火源，会产生燃烧爆炸。煤矿安全规程制定的瓦斯防治措施见表 2。

12.3.3 汽油机械排出的有害气体是柴油机械的 10 倍以上，所以地下洞室中不得使用汽油机械。

表2 瓦斯防治措施

状态	浓度	处理措施
低瓦斯区	$\geq 0.5\%$	20m 范围内停工、加强通风
局部瓦斯积聚	$\geq 2.0\%$	停工、断电、撤人
开挖工作面风流中	$\geq 1.0\%$	停工、撤人、严禁放炮
	$\geq 1.5\%$	停工、断电

13 辅助工程

13.1 供 风

地下洞室开挖和支护机械所使用的动力多数为压缩空气，压缩空气量不足直接影响工作效率。配制空压机站容量时要考虑总需风容量，并有 30% 的储备。高寒缺氧地区，气压低，空气密度小，空压机生产能力下降，应增加压气机容量。羊卓雍湖电站资料显示，空压机容量的影响系数为 1.7 左右，可供参考。

对于长隧洞，由于沿途管路会损失风量，还应考虑洞内设置带有安全装置的储气罐。

13.2 供水与排水

对生活用水和混凝土拌和用水，必须满足国家标准和技术条款要求。施工用水要保证足够的水压力和水量。

13.3 供电与照明

一般情况下，洞内供电的变压器放在洞口附近，随着地下洞室工程规模的不断扩大、用电量增加和供电技术水平的提高，目前很少采用 36V 和 24V 供电，照明电压使用 220V，一些大型机械如多臂钻车等，使用更高电压。因此采用高压进洞，但进洞输电材料一定要绝缘好，有防漏电功能。

高海拔地区，气压低、温差大，致使电气设备密封性差，塑料、橡胶绝缘易老化，因此设备选择应考虑修正系数，选用提高一个电压等级的设备。

施工区照明，由于隧洞开挖机械化程度越来越高，施工速度加快，为确保安全和提高工作效率，本标准制定的照明度标准比原标准有所提高。

14 质量检查与验收

本章中的质量管理体系是指按照 ISO9001（GB/T 19001）标准建立的管理体系，包括专职人员的配置、监督检查制度、管理程序以及跟踪管理等。

本标准在质量检查与评定中，除明确规定了应建立质量检查机构，完善质量检查制度，认真执行“三检制”和监督单位抽检以及重要隐蔽工程实行联检等检查方法外，还对地下工程开挖和开挖后的临时支护等具体施工项目的检查内容与提交的资料作了明确的规定，在验收时应执行 DL/T 5123 的规定。
