

P59

备案号: 4021—1999

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5099—1999

-
-

水工建筑物地下开挖工程施工 技术规范

Construction technical specifications
on underground excavating engineering
of hydraulic structures

1999-08-02 发布

1999-10-01 实

施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

主编单位: 中国水利水电第十四工程局
批准部门: 中华人民共和国国家经济贸易委员会
批准文号: 国经贸电力[1999] 740 号

前 言

《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》的修订工作由原电力工业部科技司以技综[1996]40 号文下达给中国水利水电工程总公司,是对原水利电力部 1983 年颁发的 SDJ212—83《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》的修订。原规范颁布至今,我国水电地下开挖工程施工技术已有了很大提高,施工机械被广泛采用,在社会主义市场经济下水电工程实行项目法人负责下的工程师监理制和招标投标制。本次主要针对这些内容进行修订。

本规范的主要技术内容包括:水电工程地下开挖中钻孔爆破、装渣运输、临时支护、地质、测量、不良地质地段施工、监测、通风除尘、质检与验收等。

本规范的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 都是标准的附录。附录 F、附录 G 为提示的附录。

本规范由中国水利水电工程总公司归口。

本规范起草单位:中国水利水电第十四工程局。

本规范主要起草人:朱镜方、陆万象、王金汉、沈如东、

汪 毅、刘 伟、陈玉恒。

本规范由中国水利水电工程总公司负责解释。

目 次

前 言	
1 范围	
2 引用标准	
3 总则	
4 地质	
5 测量	
6 开挖	
7 钻孔爆破	
8 出渣、运输	
9 临时支护	
10 不良工程地质地段施工	
11 监测	
12 通风与防尘	
13 辅助工程	
14 质量检查与验收	
附录 A(标准的附录)	岩石分级
附录 B(标准的附录)	围岩工程地质分类
附录 C(标准的附录)	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
附录 D(标准的附录)	窄轨运输技术条件
附录 E(标准的附录)	非电毫秒雷管段别及延期 时间表
附录 F(提示的附录)	光面爆破、预裂爆破参数
附录 G(提示的附录)	质点震动速度传播规律的经验公式
条文说明	

1 范 围

本规范给出了水电工程地下开挖过程中各环节的技术要求、施工方法和质量检查、验收规定。

本规范适用于水电水利工程中水工建筑物地下开挖工程钻孔爆破法施工。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 6722—86 爆破安全规程

GB 8958—88 缺氧危险作业安全规程

GBJ 86—85 锚杆喷射混凝土支护技术规范

DL 5006—92 水利水电岩石试验规程(补充部分)
SD 267—88 水利水电建筑安装安全技术工作规程
SDJ 57—85 水利水电地下工程喷锚施工技术规范
SL 47—94 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范
SL 52—93 水利水电工程施工测量规范
煤安〔1986〕91号煤炭安全规程中华人民共和国原煤炭工业部 1986—02—15

3 总 则

- 3.0.1 地下水工建筑物的开挖施工，应正确处理安全、质量、进度和经济的关系。
- 3.0.2 开挖施工前，监理单位向施工单位提供设计文件和施工图纸，组织技术交底；施工中组织有关单位及时地进行工程地质和水文地质的预测、预报工作。如实际情况与设计条件不符时，应进行修正设计，必要时应进行补充勘测工作。方案性重大变化，须报请原设计批准管理单位批准。
- 3.0.3 施工单位应按照合同文件、施工图纸和本规范施工。开工前，编制施工组织设计报请监理单位批准后方可施工。施工中，严格执行技术、经济、安全质量责任制，加强技术管理，做好原始资料记录、整理和工程总结工作。
- 3.0.4 施工单位应制定安全技术措施，并对施工人员进行安全教育。施工中，应认真执行安全操作规程，严格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。
- 3.0.5 施工单位按合同文件，并与监理单位、设计单位密切协作，对围岩稳定进行监测，及时反馈信息指导设计和施工。
- 3.0.6 积极采用新技术、新材料、新工艺、新设备；广泛开展技术革新，不断提高施工技术水平。
- 3.0.7 施工单位应按照 GB / T 19000(ISO 9000)系列标准建立质量保证体系，并通过认证，对施工全过程的各个环节实施有效控制，不断提高企业管理水平，确保工程质量。
- 3.0.8 施工单位应遵守国家有关环境保护法令。施工期间，在合同规定的施工区域内，制定专项环保措施，并认真贯彻执行。
- 3.0.9 本规范未做规定者，可参照国家和其它行业的现行有关规定执行。

4 地 质

- 4.0.1 地下水工建筑物开工前，监理单位应向施工单位提供工程地质与水文地质资料，主要内容包括：
- (1)地下建筑物区的地层岩性，特别是松散、软弱、崩解、膨胀和易溶岩层的分布；
 - (2)地质构造条件，特别是断层、节理裂隙密集带、破碎带等的位置、产状和规模等；
 - (3)水文地质条件，含水层的分布、水位、水温、水质、涌水量，特别是涌水量丰富的含水层，强透水带的位置和补给水源；
 - (4)可溶岩区，岩溶洞穴的发育层位、规模、充填情况；
 - (5)岩体应力状况，地温情况；
 - (6)有害气体或放射性元素的性质、含量及其分布范围；
 - (7)洞口段边坡的稳定条件；浅埋、傍山洞室及高水头压力管道地段山体的稳定性；
 - (8)岩石分级和围岩工程地质分类(分别按附录 A 和附录 B 确定)。
- 4.0.2 开挖过程中，在监理单位的组织下，应配合勘测单位做好施工地质勘察工作，并及

时掌握地质条件变化情况。

4.0.3 施工过程中，出现与提供的地质资料有异常情况时，应做好记录，并及时通报监理单位共同商定处理措施。

4.0.4 施工单位根据地质条件和设计要求制定开挖和支护方案；并根据开挖的实际地质情况，及时进行调整。

5 测 量

5.0.1 地下洞室施工测量的基本任务是：

- (1)负责地下洞室贯通测量的技术设计和贯通测量；
- (2)根据贯通测量技术设计的要求，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、点位、高程和开挖断面进行放样；
- (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，并绘制竣工图；提出中间验收和竣工验收资料。

5.0.2 贯通测量技术设计应在开工前进行，其容许的误差应参照下述规定：

- (1)贯通测量极限误差应满足表 5.0.2—1 要求；

表 5.0.2—1 贯通测量容许极限误差值]

相向开挖长度 km		≤4	4~8
极限贯通误差 mm	横 向	±100	±150
	纵 向	±200	±300
	竖 向	±50	±75
注			
1.相向开挖长度包括支洞长度在内。			
2.如果通过曲线隧洞或斜井贯通时，纵向误差应提高到横向误差要求执行。			

(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，并参照表 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 贯通中误差分配值

相向开挖长度 km	1~4	4~8	1~4	4~8	1~4	4~8
误差名称	横 向 mm		纵 向 mm		竖 向 mm	
洞外测量	±30	±45	±60	±90	±15	±20
洞内测量	±40	±60	±80	±120	±20	±30
全部贯通测量	±50	±75	±100	±150	±25	±40
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，可按附录 C 中的公式计算。

5.0.4 工程开工之前，应根据隧洞的设计轴线，拟定平面和高程控制略图，按表 5.0.2-1 和表 5.0.2-2 所规定的精度指标，用附录 C 中的公式进行预期误差的估算，以便确定洞外和洞内的控制等级和作业方法。

5.0.5 洞外控制测量的各项技术要求，按 SL52—93 执行。

5.0.6 洞内导线宜直接与主网联接进洞，没有条件时洞口点可采用图形强度较好的插点图形与主网联接进洞。

5.0.7 洞内平面控制测量，一般应布光电测距导线，不具备条件的中小型地下工程，也可布设钢尺量距导线或横尺视差导线。

(1)洞内导线分为基本导线(贯通测量用)和施工导线(施工放样用)。

(2)施工导线点的布设，主要是为满足开挖放样的需要，宜 50m 左右埋设一点，并每隔数点与基本导线点附合，以资校核。

(3)由于洞内大型施工机械的干扰，光电基本导线宜沿洞壁两侧布成自由导线，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，以资校核。

(4)洞内各等级光电测距基本导线的技术要求应符合表 5.0.7-1 的规定。

(5)洞内各等级基本导线采用钢尺丈量时，技术要求应符合表 5.0.7-2 的规定，并应加入尺长倾斜和温度改正。

(6)洞内基本导线采用横基尺分段测量时，每段的测量中误差按下式计算：

$$m_s = \pm m_1 / \sqrt{n} \quad (5.0.7)$$

式中： m_s ——横基尺每段边长测量中误差；

m_1 ——基本导线要求的边长中误差；

n ——分段数。

(7)洞内基本导线应加投影改正，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 $\sqrt{2}$ 倍，合格后取两组的平均值为最后成果。

(8)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。

(9)有关光电测距作业和钢尺丈量的技术要求，见附录 C 中表 C3、表 C4。

表 5.0.7-1 洞内光电测距基本导线技术要求

隧洞相向 开挖长度 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		
2.5~4	40	5	1.8″	300	2.4
		5	1.8″	200	2.0
		5	2.5″	200	1.6
		5	5.0″	250	1.0
1~2.5	40	10	5.0″	250	1.0
		5	2.5″	150	1.5
		10	2.5″	200	1.4
		10	5.0″	150	0.75
<1.0	40	5	5.0″	200	1.0
		10	5.0″	150	0.75

		10	10''	150	0.5
		5	5.0''	100	0.8
<p>注</p> <p>1.本表按支导线端点误差计算。</p> <p>2.相向开挖长度大于 4km 时，基本导线的技术要求应作专门设计。</p>					

表 5.0.70-2 洞内钢尺量距基本导线技术要求

洞内基本导线	一	二	三	专门设计
相向开挖长度 km	2.5~4	1~2.5	<1.0	>4
导线边长 m	250	200	150	
测角中误差	±1.8''	±2.5''	±5.0''	
使用仪器型号	J2	J2	J2	
测 回 数	6	3	2	
边长相对中误差	1：20000	1：12000	1：10000	

5.0.8 洞内的高程控制，一般用四等水准测量，也可用同等精度的光电三角高程代替。不管用何种方法都应独立进行两组观测，以资校核。洞内的高程控制标尺应尽量与基本导线标尺合一。

各级水准测量和光电三角高程测量的技术要求见附录 C 中表 C3、表 C4 和表 C5。

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 地下洞室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，宜采用激光准直和 TAPS—非接触自动极坐标测量系统，或无需反射棱镜的光电测距仪进行。推广测量成果和断面绘图的微机化。

(3)在隧洞的直线段可采用简易的串线法放样，两吊线的间距不应小于 5m，其延伸长度应小于 20m。曲线段应用仪器放样。

(4)洞内断面测量的间距一般为 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±50mm 之内。

(5)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，其余各点的垂直角 α' ，应按下式计算：

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

式中： α ——斜井的设计垂直角；

θ ——斜井中线至照准点的水平角。

(6)随着洞室工程的施工进展，应及时测绘开挖竣工断面，计算开挖工程量，逐月向有关部门上报。

5.0.11 工程竣工后，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。

6 开 挖

6.1 一 般 规 定

- 6.1.1 编制地下建筑物开挖工程施工组织设计，应包括下列内容：
- (1)工程概况；
 - (2)施工布置及辅助设施；
 - (3)施工方法；
 - (4)进度计划；
 - (5)劳动力、材料和设备的需要量；
 - (6)安全和质量技术措施。
- 6.1.2 根据隧洞及洞室断面面积或跨度的大小划分为：
- (1)小断面：面积(指设计开挖面积，下同)小于 20m^2 或跨度小于 4.5m ；
 - (2)中断面：面积为 $20\text{m}^2\sim 50\text{m}^2$ (含 50m^2)或跨度为 $4.5\text{m}\sim 7.5\text{m}$ (含 7.5m)；
 - (3)大断面：面积为 $50\text{m}^2\sim 120\text{m}^2$ (含 120m^2)或跨度为 $7.5\text{m}\sim 12\text{m}$ (含 12m)；
 - (4)特大断面：面积大于 120m^2 或跨度大于 12m 。
- 6.1.3 地下建筑物开挖一般不应欠挖，尽量减少超挖。平均径向超挖值，平洞不大于 20cm ，斜井、竖井不大于 25cm 。
- 因地质原因产生的额外超挖值，由监理工程师根据地质条件与施工单位商定。
- 6.1.4 在Ⅳ、Ⅴ类围岩中开挖隧洞或洞室时，应考虑采用开挖与衬砌交叉或平行作业。
- 6.1.5 洞室爆破后，应及时撬除危石。
- 6.1.6 寒冷及高寒缺氧地区洞室开挖应认真选择施工方法和施工机械，做好防冻设施，必须加强通风，必要时应有补氧措施。

6.2 洞 口 开 挖

- 6.2.1 洞口削坡必须自上而下分层进行，开挖前，应做好开挖范围以外一定范围内的危石清理和坡顶排水工作。随着坡面开挖，按设计要求，做好坡面加固。
- 6.2.2 洞口周围岩体应尽量减少扰动，一般采用喷锚支护，并设置防护棚，必要时，应在洞脸上部加设挡石栏栅。
- 6.2.3 当开挖接近洞口和建筑基面时，应按 SL47—94 的有关规定执行。
- 6.2.4 进洞前，须对洞脸岩体进行鉴定，确认稳定后，方可开挖洞口。
- 6.2.5 洞口段开挖可采用以下方法：
- (1)洞口段一般宜采用先导洞后扩挖的方法施工，中、小断面也可采用全断面开挖及时支护的方法，但应采取浅孔弱爆破。
- 在Ⅳ、Ⅴ类围岩中，开挖前可先将附近一定范围的山体加固或浇筑成拱，然后开挖洞口，洞口宜在雨季前完成。
- (2)大断面或特大断面，可参照特大断面洞室开挖的有关方法施工。
 - (3)当洞口明挖量大或岩体稳定性差时，可利用施工支洞或导洞自内向外开挖，并及时作好支护。
- 6.2.6 隧洞进出口位于河水位以下，应按相应防洪标准设置挡水建筑物，挡水建筑物的型式根据地形条件、工程规模等因素选择。

6.3 平 洞 开 挖

6.3.1 平洞开挖方法根据围岩类别、工程规模(隧洞长短、断面尺寸、工程量)、支护方式、工期要求、施工机械化程度、施工条件(有无支洞、出渣方式等)和施工技术水平等因素选定。洞径在 10m 以下,宜优先采用全断面开挖方法;洞径或洞高在 10m 以上,应采用台阶法开挖。

6.3.2 在Ⅳ类围岩中开挖大断面平洞时,应采用分部开挖方法,及时做好支护工作。
在Ⅴ类围岩中开挖平洞时,应按照本规范第 10 章不良工程地质地段施工的有关规定执行。

6.3.3 在下列情况下开挖隧洞时,可采用预先贯通导洞法施工。

- (1)地质条件复杂,需要进一步查清时;
- (2)为解决通风、排水和运输时;
- (3)断面大、长度短、机械化程度较低时。

6.3.4 根据围岩情况,断面大小和钻孔机械等条件,选择最优循环进尺,一般情况下循环进尺可采用以下数值。

(1)在Ⅰ~Ⅲ类围岩中,用手持凿岩机钻孔时为 2m~4m;用架钻台车或多臂钻车钻孔时为 3m~5m。

(2)在Ⅳ、Ⅴ类围岩中,应适当减少循环进尺。

6.4 竖井与斜井开挖

6.4.1 竖井与斜井的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方法时,应遵守下列规定:

(1)必须锁好井口,确保井口稳定,采取措施,防止井台上杂物坠入井内;对于露天竖井、斜井,应预留 3m~5m 宽的井台,边坡与井台交接处挖排水沟;对于埋藏式竖井、斜井根据围岩条件,做好支护,必要时,应先衬好顶拱;

(2)提升设备应有专门设计;

(3)竖井深超过 15m 时,人员上下宜采用“之”字形楼梯,并设护栏;井深超过 30m 时,宜采用提升设备;

(4)涌水和淋水地段,应有防水、排水措施;

(5)井壁有不利的节理裂隙组合时,应加强支护;

(6)Ⅳ、Ⅴ类围岩地段,应制定专项施工措施,一般情况应开挖一段支护或衬砌一段或采用预灌浆的方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的方法时,除遵守本规定 6.4.2 规定外,还应满足下列条件:

(1)直径大于 10m 宜采用机械扒渣。若人工扒渣时,由井周边到导井口,应有适当的坡度,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类围岩中开挖断面积小于 18m²的竖井时,宜采用爬罐法自下而上全断面开挖。

6.4.5 在钻孔精度能满足要求的情况下,可采用一次钻孔、分段爆破成井的方法。

6.4.6 在Ⅰ、Ⅱ类围岩中开挖断面大于 18m²的竖井时,应采用先挖导井再从上至下扩大的开挖法。导井断面一般为 4m²~5m²,可选择以下方法开挖。

(1)普通法:

1)正井法,即自上而下开挖,卷扬机提升的方法,适用于深度在 50m 以内的导井开挖,亦可用于稳定性差的围岩开挖。

2)反井法,即由下向上搭设排架或在洞壁上打锚杆形成登高平台,人工手风钻钻孔爆破成井。此法适用于围岩稳定性较好,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,一般适用于深度为小于 50m 的导井开挖。

(3)吊罐法:适用于深度为 30m~100m 的竖井,中心孔的偏斜率不得大于 1%。

(4)爬罐法:适用于深度大于 50m 的导井。

(5)反井钻机法:适用于中等强度岩石、深度在 250m 以内的斜导井和深度在 300m 以内的竖导井。

6.4.7 斜井开挖按照倾角划分为平洞、斜井、竖井的方法施工:

(1)倾角小于 6° ,按照平洞开挖规定执行。

(2)倾角大于 75° ,可按照竖井开挖规定执行。

(3)倾角 $6^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 时的斜井开挖方法,应根据实际情况选择。一般情况倾角小于 30° ,可采用自上而下全断面开挖;倾角为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 时,宜采用自上而下全断面开挖,若采用自下而上开挖,须有扒渣和溜渣措施。倾角大于 45° 可采用自下而上先挖导井、再自上而下扩挖或自下而上全断面开挖。

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、围岩类别、施工技术条件、工期要求等因素,通过经济比较后选定。

6.5.2 采用自上而下分层开挖的方法,其分层数目及分层高度可结合设计断面、围岩稳定条件、施工机械性能及运输通道条件综合考虑确定。对于高应力区,应适当减小台阶开挖高度。

顶部开挖宜采用先导洞然后扩挖的方法进行,导洞的位置及尺寸可根据地质条件和施工方法确定。若围岩稳定性较差,宜采取导洞开挖后,边扩挖边支护边衬砌的方法。

中、下部岩体采用分层开挖,或全断面开挖的方法。宜采用深孔预裂梯段爆破或两侧预留保护层,中间梯段爆破开挖。

6.5.3 地下厂房岩壁吊车梁、岩台吊车梁、岔管等特殊工程部位开挖,应制订专项开挖措施。

6.5.4 在Ⅲ、Ⅳ类围岩中开挖特大断面洞室,宜采用先墙后拱法开挖和衬砌。边墙和顶部导洞的布置根据工程条件和围岩稳定情况确定。

6.5.5 隧洞断面设有拱座,采用先拱后墙法开挖时,应注意保护和加固拱座岩体。拱脚下部岩体开挖时,应符合下列条件:

(1)拱脚下部开挖面至拱脚线的最低点的距离,不宜小于 1.5m。

(2)拱脚及相邻处的边墙开挖,应有专门措施。

(3)顶拱混凝土强度应达设计强度的 75%。

6.5.6 与特大断面交叉的洞口,宜在特大洞室开挖前挖完并做好支护。如必须在开挖后的高墙上开挖洞口,应采取专门措施。

6.5.7 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,确保岩体稳定。相邻两洞室的开挖程序,宜采取间隔开挖,及时支护并加强监测。

6.6 施工支洞的开挖

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、施工方法及施工机械等因素确定，一般应遵守下列规定：

- (1)支洞的间距宜在 3km 以内；
- (2)竖井与斜井的施工支洞，高差宜在 200m 以内；
- (3)需自内向外开挖或衬砌洞口时，可在洞口附近设置施工支洞；
- (4)地下厂房分层开挖，利用永久隧洞作为施工通道或从永久隧洞内分岔设施工支洞；必要时另增设施工支洞。

6.6.2 支洞布置应遵守下列规定：

- (1)沿洞线的地质条件较好；
- (2)应选取短线；
- (3)通向支洞口的交通运输线路工程量小；
- (4)各支洞承担的工程量大体平衡；
- (5)洞外有适宜的弃渣场地；
- (6)洞口高程应满足相应的防洪标准。

6.6.3 支洞断面尺寸应满足运输、支护、各种管线布置及人行安全的要求。采用单车道时，每 200m 左右宜设一个错车道。

6.6.4 支洞洞线一般应与主洞正交，交叉口应满足运输线路最小转弯半径的要求。有条件时，支洞应有向洞外 3‰左右的下坡。

6.6.5 因受地形限制，必须采用竖井或斜井作施工支洞时应遵守下列规定：

- (1)斜井的倾角不宜大于 25° ，井身纵断面上不宜变坡与转弯，下水平段长度不宜小于 20m；
- (2)竖井一般设在隧洞的一侧，与隧洞的净距宜为 15m~20m；
- (3)斜井或竖井井底，应布置回车场及集水井；
- (4)斜井的一侧，必须设置宽度不小于 0.7m 的人行道。竖井内应设牢固、安全的爬梯。

6.6.6 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隧洞；
- (2)当隧洞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)经论证确有经济效益时。

6.6.7 与主洞平行的支洞可按下列原则布置：

- (1)与主洞的中心距，一般不小于三倍主洞直径，支洞底应低于主洞底 0.2m~0.6m；
- (2)横通道间距应按施工需要确定，一般不小于 120m；
- (3)支洞一般应设在地下水流向主洞的一侧。

7 钻 孔 爆 破

7.1 钻 爆 设 计

7.1.1 地下建筑物开挖，宜采用直径小于 100mm 的钻头造孔。

7.1.2 设计轮廓面的开挖，应采用光面爆破或预裂爆破技术。

7.1.3 施工单位应根据设计图纸、地质情况、爆破材料性能及钻孔机械等条件，进行钻爆设计。其主要内容和遵守的主要原则如下：

(1)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，应尽量加大空眼直径和数目。

(2)炮眼布置，深度及角度：炮眼应均匀布置。孔深根据断面大小、钻孔机具性能和循环进尺要求等因素确定。钻孔角度应一致，保持平行。

(3)装药量应根据围岩类别确定。任一炮眼装药量所引起的爆破裂隙伸入到岩体的破坏带不应超过周边孔爆破产生的破坏带。应选择合适的炸药，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。

(4)炮孔堵塞应密实。

(5)起爆方式及顺序：采用塑料导爆管非电毫秒雷管用火雷管或电引激发起爆。根据孔位布置内外分段爆破，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。

(6)应考虑地下相邻建筑物、浅埋隧洞或隧洞附近有重点保护文物时的安全，按其抗震要求进行钻爆设计。

(7)绘制爆破图。

施工中，不断总结经验，随时修正钻爆设计。

7.1.4 光面爆破和预裂爆破的主要参数，应通过试验确定。试验参数可用工程类比法或参照附录 F 选取。施工中，根据爆破效果进行调整，以确定最优钻爆参数。

7.1.5 特殊工程部位，按设计要求进行专项钻爆设计。

7.1.6 特大断面中下部开挖，采用深孔台阶爆破法时，应满足下列要求：

(1)周边轮廓先行预裂或预留保护层；

(2)采用非电毫秒雷管分段起爆；

(3)按围岩和建筑物的抗震要求，控制最大一段的起爆药量；

(4)台阶高度由围岩稳定性情况而定，一般取 6m~8m 为宜，最大不宜超过 10m，其单孔装药不超过允许值，应采用孔间微差顺序起爆新技术；

(5)爆破石渣的块度和爆堆，要适合装渣机械作业。

7.2 钻 爆 作 业

7.2.1 钻孔爆破作业，应按照爆破图进行。

7.2.2 钻孔质量应符合下列要求。

(1)钻孔孔位应根据测量定出的中线、腰线及孔位轮廓线确定；

(2)周边孔在断面轮廓线上开孔，沿轮廓线调整的范围和掏槽孔的孔位偏差不宜大于 5cm，其它炮孔的炮位偏差不得大于 10cm；

(3)炮孔的孔底应落在爆破图所规定的平面上；

(4)炮孔方向应一致，钻孔过程中，应经常进行检查，对周边孔和预裂爆破孔应特别控制好钻孔角度；

(5)炮孔经检查合格后，方可装药爆破。

7.2.3 炮孔的装药、堵塞和引爆线路的联接，应由取得“爆破员”作业证的炮工按爆破图进行。

7.2.4 引爆方法可按下列情况确定：

(1)洞井爆破宜优先采用塑料导爆管非电毫秒雷管，在杂散电流¹⁾较大或用吊罐法、爬罐法施工时，则必须采用；

1)杂散电流指存在于预设的电源网路之外的电流，其主要来源一般为：

a.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；

- b.动力和照明交流电路的漏电；
- c.大地自然电流；
- d.雷电和电磁辐射的感应电流等。

- (2)预裂爆破宜采用导爆索引爆；
- (3)零星爆破，可采用火雷管引爆。

7.2.5 光面爆破和预裂爆破的效果，用下列标准检验：

- 1)残留炮孔痕迹应在开挖轮廓面上均匀分布，炮孔痕迹保存率¹⁾：完整岩石在 80%以上，较完整和完整性差的岩石不小于 50%，较破碎和破碎岩石不小于 20%；
- (2)相邻两孔间的岩面平整，孔壁不应有明显的爆震裂隙；
- (3)相邻两茬炮之间的台阶或预裂爆破的最大外斜值，应小于 20cm；
- (4)预裂爆破后必须形成贯穿连续性的裂缝。

1)炮孔痕迹保存率是炮孔残留的炮眼个数与周边孔数之比的百分数。

7.3 爆破安全规定

7.3.1 爆破材料的运输、储存、加工、现场装药、起爆及瞎炮处理，应遵守 GB6722—86 的有关规定。

爆破材料应符合施工使用条件和国家规定的技术标准。每批爆破材料使用前，必须进行有关的性能检验。

7.3.2 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。单向开挖隧洞，安全地点至爆破工作面的距离，应不少于 200m。

7.3.3 洞室群几个工作面同时放炮时，应有专人统一指挥，确保起爆人员的安全和相邻炮区的安全准爆。

7.3.4 相向开挖的两个工作面相距 30m 或 5 倍洞径距离放炮时，双方人员均需撤离工作面；相距 15m 时，应停止一方工作，单向开挖贯通。

竖井或斜井单向自下而上开挖，距贯通面 5m 时，应自上而下贯通。

7.3.5 爆破前应将施工机具撤离至距爆破工作面不少于 100m 的安全地点。

钻爆作业对难以撤离的施工机具、设备，应加以妥善防护。

7.3.6 开挖面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震动速度及开挖作业需要的工作空间确定。若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震动速度确定最大单段装药量。

7.3.7 采用电力引爆方法，装炮时距工作面 30m 以内，应断开电流，可在 30m 以外用投光灯照明。

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监测，其内容为：

- (1)爆破参数试验；
- (2)保留岩体质量检测；
- (3)爆破震动规律测量；
- (4)爆破对衬砌混凝土、喷锚区的影响；

- (5)爆破对邻洞、高边墙厂房、岩壁梁等的影响。
- 7.4.2 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测量报告。

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 石渣的堆放和利用，应综合考虑。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。除经过论证合理时，应避免二次倒渣。
 - (2)符合环保要求，不占或少占农田，有条件时应结合造地。
 - (3)不得占用其它工程场地，不得影响附近各种设施的安全。
 - (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它防护性工程，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，按设计要求分别堆放。
- 8.1.3 在交叉道口处，须有明显的安全标志和防护设施。

8.2 有轨运输

- 8.2.1 中小型隧洞出渣，宜采用有轨运输方式。当使用机车牵引时，宜优先采用电瓶机车。
- 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 洞内运输一般宜设双道。如用单车道时，应设错车道，其有效长度应满足列车车组的要求，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 线路路基必须稳定，并应经常养护。线路铺设可参照附录 D 所规定的各项标准执行。
- 8.2.5 机车在洞内行驶的时速不应超过 10km；在调车或人员稠密地段行驶，时速应减速至 3km；通过弯道、道岔或视线不良地段，时速不得超过 5km。
- 两列车同方向行驶时，列车间距不应小于 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 在开挖断面容许时，可采用装载机或挖掘机配自卸汽车出渣方式。
- 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。当采用单车道时，需设调车盘或间隔适当距离设置错车道。
- 道路最大纵坡应根据运输车辆性能和出渣设备工作条件确定，一般为 9%，最大纵坡限长 140m，会车视距宜为 40m。局部最大纵坡不宜大于 14%。路面应保持平整和有良好的排水设施，并设专人维护，定期保养不得在路面上堆放施工器材和杂物。运输量大的交通洞，宜采用混凝土路面。

8.3.3 卸渣场宜配备平渣设备，并有专人指挥卸渣。

8.3.4 汽车在洞内的行驶时速不宜超过 10km。

8.4 斜井、竖井运输

8.4.1 斜井用卷扬机出渣运输时，应符合下列条件：

(1)铺设大于 15° 的斜坡轨道时，应有防止轨道下滑措施；

(2)轨道斜坡段与平段应以竖曲线连接，在竖曲线与平直段相接处应设倒坡，并在适当位置上设置能够控制的挡车装置；

(3)牵引绳应与斜坡段轨道中心线一致，并设地滑轮承托；

(4)车辆运行速度，一般不宜超过 2m/s ；

(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得小于 30cm；

(6)斜井内每隔 100m 左右宜设一个避车洞。

8.4.2 斜井采用泄槽溜渣时，应根据斜井倾角确定泄槽形式，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 40m~100m 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)吊罐载重不得超过设计载重量。

8.4.4 斜井和竖井运输，应有可靠的通讯和信号联系，信号应声光兼备。

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

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 SD267—88 关于起重机具的有关规定。

8.4.8 井口设阻车器、安全防护栏和安全门。

8.4.9 采用起重提升吊罐出渣时，应遵守起重机安全操作规程。

8.4.10 各项提升设施，应经施工单位安全部门鉴定验收后方可使用。

8.4.11 从井底出渣、运输，可采用平洞出渣运输方式。

8.4.12 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门设计。

9 临时支护

9.1 一般规定

9.1.1 需要支护的地段，应根据地质条件、洞室结构、断面尺寸、开挖方法、围岩暴露时间等因素，做出支护设计。

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 支护结构应根据确定的荷载¹⁾、开挖方法进行设计。

1) 支护荷载是根据洞室断面尺寸和围岩分类而定。

9.1.3 支护与开挖的间隔时间、施工顺序及相隔距离，应根据地质条件、爆破参数、支护类型等因素确定，一般应在围岩出现有害松弛变形之前支护完毕。稳定性差的围岩，应先支护后开挖或支护紧跟工作面。

9.1.4 进行现场监测，掌握围岩动态，指导设计和施工。

9.1.5 临时支护应尽可能与永久支护相结合，成为永久支护的一部分。

9.2 锚 喷 支 护

9.2.1 锚喷支护类型及参数选择，应根据围岩特性、断面尺寸、施工方法、使用条件等通过工程类比或试验确定。施工时，通过现场监测，调整支护参数。

9.2.2 锚喷支护施工应遵守以下原则：

(1)隧洞开挖后，根据围岩类别，适时给予锚喷支护，限制围岩变形，以发挥围岩的自承能力，对于Ⅴ类围岩或有水的破碎岩体，必要时进行二次支护；

(2)要保证围岩、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、易崩解和具膨胀性等岩体，开挖后要及时封闭岩体，并采取防水、排水措施。

9.2.3 钢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 SDJ57—85 执行。

9.3 构 架 支

9.3.1 构架支撑¹⁾应符合设计规定。架设时，应满足下列要求：

1) 构架支撑系指木支撑、钢支撑、格栅支架等。

(1)支撑应有足够的整体性，接头牢固可靠，各排之间应用剪力撑、水平撑和拉条连接。

(2)每排支撑应保持在同一平面上，在平洞中该平面应与洞轴线相垂直。

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)支撑和围岩之间应用板、楔块等背材塞紧。

(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)预计难以拆除的支撑，宜采用钢支撑或格栅支撑，其位置应在衬砌断面以外，需侵占衬砌断面时，应与设计商定。

(7)支撑拆除时，应采取可靠的安全措施。

9.3.2 斜井支撑除满足 9.3.1 有关的要求外，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。

10 不良工程地质地段施工

10.0.1 在不良工程地质¹⁾地段中开挖洞室时，应制定切实可行的施工方案，一般应遵守下列原则：

1) 不良工程地质是指岩体松散、软弱破碎、断层、膨胀、岩溶、多水、偏压、高应力地区等。

(1)调查地质条件，必要时，可采用超前钻探、打导洞等方法进一步了解地质情况，做好地质预报；

(2)减少对围岩的扰动，采用浅钻孔、弱爆破、多循环；

(3)做好排水，锁好洞口，清除危石，及时锚喷支护并尽早衬砌；

(4)分部开挖、分部支护；

(5)掌握不良工程地质问题的性质，及时采取有效的支护；

(6)加强监测，勤检查和巡视并及时分析监测成果和检查情况。

10.0.2 开挖过程中，除遵照设计进行支护外，应根据围岩特性对局部不稳定部位增设随机锚杆；对控制稳定的软弱结构面，采取预应力锚束加固并伸到完整岩体中维护围岩稳定。

10.0.3 在松散、软弱破碎的岩体中开挖洞室，应尽量减少对围岩的扰动，宜采用先护后挖、边挖边护或先对岩体进行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，再打锚杆、挂网、喷混凝土，必要时安设钢支架(格栅支架)增加支护能力。

10.0.4 在膨胀岩体中开挖洞室，可采用喷锚支护及时封闭，加强观测，适时做好永久衬砌。

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、与洞室位置的关系等确定开挖方法和处理措施。

(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，并按照第 10.0.3 条的方法处理。

(3)当地下建筑物地段有隐伏洞穴时，宜采用浅钻孔、弱爆破、及时支护的开挖方法。

(4)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。当洞穴在地下水位以下时，宜以排为主，堵、截结合，当洞穴在地下水位以上时，宜以堵为主，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，增设附加支护。

10.0.7 在高应力地区开挖洞室，可采用下列措施：

(1)采用光面爆破，使开挖成型好，改善周边应力集中状况；

(2)超前钻孔，超前导坑，分部开挖，逐步卸荷；

(3)钻孔高压注水；

(4)开挖面清除浮石，喷雾洒水；

(5)及时进行喷锚挂网支护，设防护网；

(6)设备加防护设施。

10.0.8 地下水活动较严重地段，宜采用排、堵、截、引的综合治理措施。

(1)采用超前孔探明地下水的活动规律，测定漏水量、压力，防止突然暴渗。

(2)截断补给水源，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、打深孔或平行支洞排除地下水。

10.0.9 采用预灌浆方法施工时，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等，应做出专门设计；
- (2)预灌浆的效果，可用单位透水率(即 q 值)声波速度或被胶结的岩体强度值来检验；
- (3)灌浆后的开挖间隔时间，应根据灌浆目的和开挖跨度，通过试验确定；
- (4)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而定；
- (5)灌浆后的开挖，采取短进尺、弱爆破、快支护、早衬砌的原则进行。

10.0.10 发生塌方时，施工单位应会同监理单位、设计单位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)先加固好端部未破坏的支护或岩体。
- (2)加固处理措施可与永久支护结合。
- (3)塌落物未将洞室堵塞时，应先支护顶部再清除石渣。
- (4)塌落物将洞室堵塞时，宜采用管棚，管棚加注浆或预注浆等方法加固，然后按边开挖边支护边衬砌的方法施工。
- (5)冒顶塌方时，应先将地表陷落洞穴撑固或用不透水土壤夯填紧密，陷穴四周应做好排水设施，防止继续坍塌，塌落物宜采用花管灌浆固结，其开挖方法应进行专项设计。
- (6)有地下水活动时，宜先治水后治塌。

11 监 测

11.0.1 观测断面的设置应选择有代表性的地质地段，围岩变形显著、偏压、高应力区，地质构造带，大型地下厂房、地下构筑物重要部位、洞室交叉口、局部不稳定楔形体以及施工需要对岩体监测的部位等。

11.0.2 监测断面的数量和监测项目，根据围岩特性、工程规模、支护方式、设计要求等确定。

11.0.3 常用的观测仪器有收敛计、多点位移计、锚杆应力计、钻孔测斜仪等，根据监测项目选择性能稳定、耐久性及抗震性强、不怕潮湿且安装埋设时对施工干扰小、易于采集数据的仪器。

11.0.4 量测断面上仪器(测点)的布置，依据断面形状、大小、围岩条件、开挖方式、支护类型等因素确定。

11.0.5 监测仪器的安装要及时，应紧跟开挖面，距掌子面不宜超过 1.0m，安设后应测取初读数。

有条件的工程可预先从地表打孔或在地质探洞内打孔埋设仪器，以获取围岩变形全过程资料。

仪器埋设操作，按 DL 5006—92 执行。

11.0.6 仪器安设后第一次爆破后一定要观测。以后随开挖推进而进行，观测频率视围岩特性、洞室尺寸、变形速率与距开挖面距离确定。可参照 DL5006—92 执行。

11.0.7 监测资料应及时整理分析，绘制变形与时间、进尺关系曲线，及时反馈监测成果。

11.0.8 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。围岩最大允许变形量由 GBJ86—85 确定。

11.0.9 围岩稳定标准以变形量和变形速率进行判断。按 GBJ86—85 的规定，其稳定标准为：

- (1)周边收缩速度明显下降；
- (2)收缩量已达总收缩量的 80%~90%；
- (3)收缩速率小于 $0.1\text{mm} / \text{d} \sim 0.2\text{mm} / \text{d}$ 或拱顶下沉速率小于 $0.07\text{mm} / \text{d} \sim 0.15\text{mm} / \text{d}$

/ d。

若超过稳定标准，应立即作出预报，采取补强措施或调整施工程序及支护参数。当有变形速率加快时，应采取紧急加固措施，同时，应加密监测并及时提供观测成果。

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 空气中有毒物质的最高容许含量

名 称	最高容许浓度		附 注	
	按体积 %	按重量 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氮(NO ₂)	0.00025	5	0.5 h 以内	100
二氧化硫(SO ₂)	0.00050	15	15~20min	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 的其它粉尘		10		

12.1.2 洞内平均温度不应超过 28℃，根据不同温度，可按表 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	<0.1	<1.0	>1.0	>1.5	>2.0

12.1.3 洞内作业地点噪声超过 90dB(A)时，应采取消音或其它防护措施。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	8	4	2	1	最高不得超过
容 许 噪 声 [dB(A)]	90	93	96	99	115

12.2 通 风

12.2.1 地下建筑物开挖时需要的通风量，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 3.0m^3 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¹⁾爆破后，可产生折合成 40L一氧化碳气体。

1)炸药指 2 号岩石硝铵炸药。

(3)洞内使用柴油机械时，可按每马力每分钟 3m^3 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，漏风系数一般可取 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	修正系数	海拔高程 m	修正系数	海拔高程 m	修正系数	海拔高程 m	修正系数
0	1.00	2000	0.81	3500	0.69	4500	0.62
1000	0.90	2500	0.76	4000	0.65	5000	0.58
1500	0.85	3000	0.72	—	—	—	—

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)隧洞、竖井、斜井 4m/s

(2)运输与通风洞 6m/s

(3)升降人员与器材的井筒 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。有条件时可选择竖井进行通风。

12.2.4 通风机依据工作风量和在工作风压进行选择，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)一台风机不能满足隧洞通风时，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。

12.3 防尘、防有害气体

12.3.1 地下建筑物开挖，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时，应装有符合国家工业卫生标准的除尘装置；

(2)爆破后利用喷雾器喷雾，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，宜采用湿喷工艺；采用干喷法时，应有防尘措施。

12.3.2 施工中遇到含瓦斯地段时，应按原煤炭部《煤矿安全规程》制订的防瓦斯安全措施施工，并应遵守下列规定：

(1)施工人员应通过防瓦斯学习；

(2)机电设备及照明灯具等，均应采用防爆型式；

(3)应配备专职瓦斯检测人员；

(4)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，宜加设废气净化装置。柴油机械燃料中宜掺添加剂，以减少有毒气体的排放量。

12.3.4 施工单位应有防尘、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。

检测数据达不到规定标准时，应采取措施限期解决。

13 辅助工程

13.1 供 风

13.1.1 空压站容量，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，并适当计入风量损失；

(3)空压站备用容量，一般为总容量的 30%，但不宜小于其中最大一台空压机的容量；

(4)高寒缺氧地区应适当增加空压站的容量。

13.1.2 空压站宜设在洞口附近，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，一般不得低于 0.5MPa。隧洞过长时，可在洞内加设带有安全装置的贮气罐。

洞内需设压风机时，宜选用电动压风机，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 供水量应根据施工、消防、生活用水的要求确定。
高寒缺氧地区，选用抽水机械的扬程，应比设计值适当提高。
- 13.2.2 合理地选择水池位置、高程和结构型式。水池容积应满足日调节的要求。
- 13.2.3 工作面水压必须满足施工机械的要求，一般不小于 0.3MPa。若水压不够时，可设加压装置。
- 13.2.4 供水水源应可靠，水质须符合用水要求。
供水泵站设在岸边时，须考虑洪水影响。
寒冷地区的供水系统，冬季应做好防冻设施。
- 13.2.5 洞口应根据地形和水文条件，采用经济合理的排水设施，不得使地表水流倒灌入洞和冲塌洞口及附近路基。
- 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)向上坡开挖隧洞时，应利用排水沟自流排水，排水沟须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，使用两台水泵排水时，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集水，宜用潜水泵排至集水井；
(6)寒冷地区的冬季，须防止洞口段的排水沟、排水管因冰冻堵塞。

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，应尽量布置在用电负荷中心，一般可参照下列条件选定：
(1)在不受爆破影响及施工干扰时，宜设在洞口外附近；
(2)隧洞较短，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)隧洞较长或施工机械用电需要变压器进洞时，应选用矿用型并按电气规程规定设置变压器室，变压器的高压电源由电缆引入洞内，电缆应定期进行外观检查和耐压试验。
- 13.3.3 洞内供电电压应符合下列规定：
(1)一般应采用 380 / 220V 三相四线制；
(2)动力设备应采用三相 380V；
(3)隧洞开挖、支护工作面的工作灯，应采用 36V 或 24V。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，按设备要求而定。
高寒缺氧地区施工变电站电气设备，应选用提高一个高压等级的设备，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 5%
(2)24V、36V 照明线路 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，必须采用绝缘良好的导线整齐排列，分别架设固定在隧洞 1.8m 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)电力起爆主线须与照明及动力线路分两侧架设。

13.3.7 地下开挖工程各施工区照明度，可参照表 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

序名	号 称	照明度 Lx
1	一般施工区，开挖和弃渣区，场内交通道、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
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	存在交叉运输或其它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 施工单位应设置急救站，并备有担架、氧气、带氧防毒面具、交通车辆和其它急救用品。

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，一般应设在洞外，当设在洞内时，应有安全防火规定和措施。

13.4.4 在洞内的适当地点及洞口等处，须布置消防设备。

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，须有防火措施。

13.4.5 工地应设施工值班室，并备有电话等通信工具，以便于内外联系。

14 质量检查与验收

14.0.1 施工单位质量检查工作，按本单位建立的检查制度逐级进行。施工单位自检合格后，报请监理工程师检查验收。

14.0.2 开挖过程中应定期检测洞室方向、中心线和高程。每次放炮后，均应进行规格检查，发现不符合质量要求，应及时修正。

14.0.3 施工期间应做好下列各项原始记录。

(1)循环时间、进尺、钻孔爆破效率；

(2)施工方法、使用机具、劳动组合；

- (3)主要机械的生产效率，材料消耗量；
- (4)支护部位、型式和数量；
- (5)原型观测资料；
- (6)施工中发生的问题和处理措施；
- (7)质量检查情况和质量检查人员的意见等。

14.0.4 地下建筑物开挖完成后(或在下道工序施工前)，必须进行验收，由监理单位组织设计、地质和施工单位参加验收工作；验收时，施工单位应提供下列资料：

- (1)施工详图及设计变更文件；
- (2)开挖竣工图，包括平面图和纵横断面图；
- (3)施工记录资料。

附录 A(标准的附录)

岩 石 分 级

表 A 岩石分级表

岩石 级别	岩 石 名 称	天然湿度下 平均容重 kN / m ³	凿岩机钻孔 (用直径 30mm 合金钻头) min / m	坚固系数 <i>f</i>
V	1.砂藻土及软的白垩岩 2.硬的石炭纪的粘土 3.胶结不紧的砾岩 4.各种不坚实的页岩	15.5 19.5 19.0~22.0 20.0		1.5~2.0
VI	1.软的有孔隙的节理多的石炭岩及介质石灰岩 2.密实的白垩岩 3.中等坚实的页岩 4.中等坚实的泥灰岩	12.0 26.0 27.0 23.0		2.0~4.0
VII	1.水成岩卵石经石灰质胶结而成的砾岩 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		4.0~6.0
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)	6.0~8.0
IX	1.软的风化较甚的花岗岩、片麻岩及正常岩 2.滑石质的蛇纹岩 3.密实的石灰岩	25.0 24.0 25.0	8.5 (7.8~9.2)	8.0~10.0

	4.水成岩卵石经硅质胶结的砾岩	25.0		
	5.砂岩	25.0		
	6.砂质石灰质的页岩	25.0		

续表 A

岩石 级别	岩 石 名 称	天然湿度下 平均容重 kN / m ³	凿岩机钻孔 (用直径 30mm 合金钻头) min / m	坚固系数 <i>f</i>
X	1.白云岩 2.坚实的石灰岩 3.大理石 4.石灰质胶结的质密的砂岩 5.坚硬的砂质页岩	27.0 27.0 27.0 26.0 26.0	10 (9.3~10.8)	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砾岩 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)	12~14
X II	1.有风化痕迹的安山岩及玄武岩 2.片麻岩、粗面岩 3.特别坚硬的石灰岩 4.火成岩卵石经硅质胶结之砾岩	27.0 26.0 29.0 29.0	12.2 (11.6~11.5)	14~16
X III	1.中粗花岗岩 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)	16~18
X IV	1.特别坚实的粗粒花岗岩 2.花岗片麻岩 3.闪长岩 4.最坚实的石灰岩 5.坚实的玢岩	33.0 29.0 29.0 31.0 27.0	15.6 (14.9~18.2)	18~20

续表 A

岩石 级别	岩 石 名 称	天然湿度下 平均容重 kN / m ³	凿岩机钻孔 (用直径 30mm 合金钻头)	坚固系数 <i>f</i>
----------	---------	--------------------------------------	-----------------------------	------------------

			min / m	
X V	1.安山岩、玄武岩、坚实的角闪岩 2.最坚实的辉绿岩及闪长岩 3.坚实的辉长岩及石英岩	31.0 29.0 28.0	20 (18.3~24)	20~25
X VI	1.拉长玄武岩和橄榄玄武岩 2.特别坚实的辉长岩、辉绿岩，石英及玢岩	33.0 30.0	24 以上	25 以上
注：坚固系数(f)值= $R / 10$ 。 R —岩石极限抗压强度(MPa)。				

附录 B(标准的附录)

围岩工程地质分类

B1 围岩工程地质分类应以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态地下水 and 主要结构面产状五项因素和差总评分为基本依据，围岩强度应力比为限定判据，并应符合表 B1 的规定。

表 B1 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
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	
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。跨度为 20~25m 时，并浇筑混凝土衬砌
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，并浇筑混凝土衬砌
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	$T\leq 25$	不限	
注：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。				

B2 围岩强度应力比，可根据下式求得：

$$S = R_b \cdot K_v / \sigma_m \quad (\text{B1})$$

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)。

B3 围岩工程地质分类中五项因素的评分应符合下列标准进行。

B3.1 岩石强度的评分应符合表 B2 的规定。

表 B2 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	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$
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，岩石强度的评价为 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。				

B3.2 岩体完整程度的评分应符合表 B3 的规定。

表 B3 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		$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.25$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v < 0.15$
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：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。 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。 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。 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。						

B3.3 结构面状态的评分应符合表 B4 的规定。

表 B4 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 $0.5 \leq W < 5$									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。

B3.4 地下水状态的评分应符合表 B5 的规定。

表 B5 地下水评分表

活动状态			干燥到渗水、滴水	线状流水	涌 水
水量 qL / (min · 10m 洞长) 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	$0 \sim -2$	$-2 \sim -6$
	$85 \geq T' > 65$		$0 \sim 2$	$-2 \sim -6$	$-6 \sim -10$
	$65 \geq T' > 45$		$-2 \sim -6$	$-6 \sim -10$	$-10 \sim -14$
	$45 \geq T' > 25$		$-6 \sim -10$	$-10 \sim -14$	$-14 \sim -18$
	$T' < 25$		$-10 \sim -14$	$-14 \sim -18$	$-18 \sim -20$
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 和结构面状态评分 C 的和。					

B3.5 主要结构面产状的评分应符合表 B6 的规定。

表 B6 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°			
结构面倾角		>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。													

B4 本围岩工程地质分类不适用于埋深小于二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。

B5 大跨度和重要地下洞室围岩的分类除采用本分类外，尚应采用其它有关国家标准综合

评定。对国际合作的工程还可采用国际通用的围岩分类对比使用。

附录 C(标准的附录)

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

C1 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。

C1.1 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:

$$\tan 2\varphi_0 = \frac{2Q'_{xy}}{Q'_{xx} - Q'_{yy}} \quad (C1)$$

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

投影在横向贯通面上的中误差计算公式为:

$$M_y = \pm m_0 \sqrt{Q'_{xx} \cos^2 \theta + Q'_{yy} \sin^2 \theta + Q'_{xy} \sin 2\theta} \quad (C2)$$

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 ——横向贯通面方位角;

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,另一点对该起算原点的坐标权系数。

C1.2 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:

$$M_y = \pm \sqrt{(m_\beta^2 + m_{yl}^2)/n} \quad (C3)$$

$$m_{y\beta} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2} \quad (C4)$$

$$m_{yl} = \pm \frac{m_l}{L} \sqrt{\sum d_x^2} \quad (C5)$$

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在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；

ρ'' —— $\rho'' = 206265$ 。

C1.3 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：

$$M = \pm \sqrt{M_s^2 + (m'' \times S / \rho'')^2} \quad (C6)$$

按边长误差(纵向)和角度误差(横向)等影响考虑，即 $M_s = m'' \times S / \rho''$

则上式可改写成：

$$M = \pm \sqrt{2} M_s \quad (C7)$$

或

$$M = \pm \sqrt{2} (m'' \times S / \rho'') \quad (C8)$$

$$M_y = \cos \alpha \times M$$

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。

C2 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：

$$M_h = \pm \sqrt{m_h^2 + m_h'^2} \quad (C9)$$

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

式中： m_h 、 m_h' ——洞外、洞内高程测量中误差；

$M \Delta$ 、 $M \Delta'$ ——洞外、洞内 1km 路线长度的高程测量高差中数中误差；

L 、 L' ——洞外、洞内两相邻洞口间水准路线的长度(km)。

C3 测距作业的技术要求见表 C1。

表 C1 测距作业的技术要求

项 目		气象数据测定			一测回 读数较 差限值	测回间 较 差 限 值	往返或光段 较差限值 mm
三角网等级	温度最 小读数 ℃	气压最 小读数 Pa	测定时间 间 隔	数 据 取 用	mm	mm	
测距仪等级							
二	0.5	50	每边观 测始末	每边两端 平均值	2	3	2 (a+bD)
1~2							
三	0.5	50	每边观 测始末	每边两端 平均值	3	5	
2							
四	1.0	100	每边测 定一次	测站端 观测值	5	7	
2~3							
五	1.0	100	每边测 定一次	测站端 观测值	5	7	
3							
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。							

C4 钢尺丈量的技术要求见表 C2。

表 C2 钢尺丈量技术要求

边长丈量相对中误差	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
1：10000～ 1：15000	2	4	30	3	0.5	0.5	3.0	40√ <i>D</i>	悬空丈量
1：3000～ 1：10000	1	2	50	3	1.0	1.0	3.0		
<p>注：</p> <p>1.<i>D</i>—导线边长，km。</p> <p>2.用弹簧秤时，应张拉至钢尺鉴定时的拉力。</p>									

C5 等级水准测量的主要技术要求见表 C3 和 C4。

表 C3 等级水准测量的技术要求

等 级	二	三	四	五
MΔ mm	≤±1	±3	±5	±10
M _w mm	≤±2	±6	±10	±20
仪器型号	DS ₀₅ ，DS ₁	DS ₁ ，DS ₃	DS ₃	DS ₃
水准尺	因瓦	因瓦、双面	双面	双面、单面
观测方法	光学测微法	光学测微法 中丝读数法	中丝读数法	中丝读数法
观测顺序	奇数站：后前前后	后前前后	后后前前	—

		偶数站：前后后前			
观测次数	与已知点联测	往返	往返	往返	往返
	环线或附和	往返	往返	往	往
往返较差、环线或附和线路闭合差 mm		平丘地	$\pm 4\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{L}$
		山地	—	$\pm 3\sqrt{n}$	$\pm 5\sqrt{n}$
注：n—水准路线单程测站数，每公里多于 16 站时，按山地计算闭合差限差。					

表 C4 等级水准测量测站的技术要求

等 级	二		三		四	五
仪器型号	DS ₀₅	DS ₁	DS1	DS ₃	DS ₃	DS ₃
视线长度 m	≤60	≤50	≤100	≤75	≤80	≤100

续表

等 级	二	三	四	五
前后视距差 m	≤1.0	≤2.0	≤3.0	大致相等
前后视距累积差 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	0.5	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。				

C6 光电三角高程测量的技术要求见表 C5。

表 C5 光电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				仪镜高丈 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 DJ ₂	—	500	300	4	2	9"	9"	±1	±50D	±12 $\sqrt{[D]}$
四	DJ ₂	300	800	500	3	2	9"	9"	±2	±70D	±20 $\sqrt{[D]}$
五	DJ ₂	1000	—	500	2	1	10"	10"	±2	—	±30 $\sqrt{[D]}$
注：D 为平距，以 km 计。											

附录 D(标准的附录)

窄轨运输技术条件

D1 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 D1～表 D6。

表 D1 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—机车、车辆的轴距（m）。				

表 D2 纵坡坡度

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

表 D3 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 D4 曲线双道线间距加宽

项 目	曲线半径 m	10	12	14	20	30	40
双道线间距	6t 以上机车	340	290	220	190	150	120
加宽值 mm	6t 以下机车	200	170	130	120	100	80

表 D5 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				762			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	0	5

表 D6 轨道构造

最大轴 重 t	钢 轨 kg/m	道木间距 cm	道木厚×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

D2 铺道岔及维修质量要求如下：

D2.1 铺道岔轨型宜与主轨一致，或高出主轨轨型一级。

D2.2 基本轨起点位置误差不超过±300mm。

D2.3 辙尖轨不高出基本轨，亦不低于基本轨 2mm。

D2.4 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。

D2.5 零件无松动、无折损、护轮轨缘槽内保持清洁无杂物。

D2.6 其它项目同铺轨维修质量要求。

D3 铺轨维修质量要求如下：

D3.1 中线位置误差不大于 50mm。

D3.2 纵坡误差不超过±1%。

D3.3 轨距超宽小于 6mm，偏窄小于 4mm，曲线加宽误差不大于 2%。

D3.4 铺轨平面误差不超过±2mm，直线远视直顺。

D3.5 道渣粒径不宜过大，至少埋过枕木 1/2，但不超过枕面。

D3.6 轨枕间距误差小于±100mm，里出外进不超过 50mm。

D3.7 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。

D3.8 鱼尾板螺栓上齐，涂油拧紧，轨帽在外侧。

- D3.9 道钉直线每枕 4 钉，曲线每枕 6 钉。
- D3.10 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(标准的附录)

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+20 200-25	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(提示的附录)

光面爆破、预裂爆破参数

- F1 光面爆破、浅孔预裂爆破的参数分别见表 F1、表 F2。

表 F1 光面爆破参数

岩石类别	周边孔间距 <i>E</i> cm	周边孔抵抗线 <i>w</i> cm	线装药密度 <i>g</i> g/m
硬 岩	55～65	60～80	300～350
中硬岩	45～60	60～75	200～300
软 岩	35～45	45～55	70～120
注：炮孔直径：40mm～50mm；药卷直径：20mm～25mm。			

表 F2 浅孔预裂爆破参数（孔深 5 米以内）

岩石类别	周边孔间距 cm	崩落孔至预裂面距离 cm	线装药密度 g/m
硬 岩	45～50	40	350～400
中硬岩	40～45	40	200～250
软 岩	35～40	35	70～120
注：炮孔直径：40mm～50mm；药卷直径：20mm～25mm。			

- F2 深孔预裂爆破参数如下：

炮孔直径不宜大于 80mm。
孔距为孔径的 8~12 倍，岩体完整段或孔径较小时取大值，反之取较小值。
不偶合系数一般取 2~4 倍。

线装药密度，可用工程类比法试选或用式(F1)或式(F2)估算：

$$\Delta_g = 0.042R^{0.5}a^{0.5}$$

(F1)

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)。

适用范围：较坚硬岩石， $R=20\sim200$ MPa；

$$\Delta_g = 9.32R^{0.53}r^{0.38} \text{ (g / m)}$$

(F2)

式中： r ——预裂孔半径(mm)；
 R ——岩石极限抗压强度(MPa)。

适用范围： $R=10.0\sim150.0$ MPa。

附录 G(提示的附录)

质点震动速度传播规律的经验公式

质点振动速度传播规律的经验公式如下：

$$v = K \left(\frac{W^{1/3}}{D} \right)^a$$

(G1)

式中： v ——质点震动速度(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 、 a ——与场地地质条件、岩体特性、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，表 G1 中的数值可参考。

表 G1 爆区不同岩性的 K 、 a 参考值

岩 性	K	a
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	1.8~20

允许质点震动速度可参考表 G2 的数值。

表 G2 允许质点震动速度值参考表

项 目		质点震动 速度 cm/s	项 目	质点震动 速度 cm/s
混凝土	龄期 1~3d	<1.2	重点保护的地下建筑物	≤10
	龄期 3~7d	1.2~2.5	土窑洞、土坯房、毛石房屋	1.0
喷混凝土		<5	一般砖房、非抗震的大型 砌块及预制构件房屋, 构架 建筑物	2~3
水工隧洞		10		
交通隧洞		15		
矿山巷道: 围岩不稳定有 良好支护		10	钢筋混凝土框架房屋, 修 建良好的木房	5
围岩中等稳定 有良好支护		20		
围岩稳定, 无支 护		30	被保护的古代建筑物	<0.5

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5099—1999

水工建筑物地下开挖工程施工 技术规范

条 文 说 明

主编单位: 中国水利水电第十四工程局
批准部门: 中华人民共和国国家经济贸易委员会

目 次

- 1 范围
- 3 总则
- 4 地质
- 5 测量
- 6 开挖
- 7 钻孔爆破
- 8 出渣、运输

- 9 临时支护
- 10 不良工程地质地段施工
- 11 监测
- 12 通风与防尘
- 13 辅助工程
- 14 质量检查与验收

1 范 围

1.0.1 本规范只适用于水利水电工程中水工建筑物地下开挖工程钻孔爆破法施工。若采用掘进机及其它方法开挖时，应另制定相应的规范。

3 总 则

3.0.4 地下工程施工工作面狭小，施工条件差，各种作业危险性大，环境污染严重，对人的安全 and 健康危害大。因此，开工前要制定安全技术措施，严格遵守安全操作规程，严格遵守国家劳动保护法令和卫生标准，不断改善劳动条件，以防止伤亡事故和职业病的发生，保障施工人员人身安全和身体健康。

3.0.5 施工中，对围岩变形进行监测是新奥法施工的原则之一。通过监测，控制围岩变形，发挥围岩的自承能力，调整施工程序，修正支护参数，达到安全施工的目的。

对围岩进行监控是地下工程开挖安全施工的重要手段，施工时，在监理单位组织下，设计、地质和施工单位要密切协作做好围岩稳定的监测工作。有条件的施工单位可设专门机构和专业人员进行这一工作。

4 地 质

4.0.1 工程地质与水文地质资料是制定开挖方法的依据，是保证安全施工的重要资料。实践证明，洞室工程在开挖中出现的最多问题都与地质因素有关。施工单位只有更多更详细地了解 and 掌握地质资料，才能做出符合地质条件的开挖方案，保证顺利施工。因此，监理单位应向施工单位提供详细的地质资料。本条特别强调在提供的工程与水文地质资料中应着重阐明的几个方面的问题。

岩石等级的划分，仍采用原规范中的十六级分类。

围岩分类按《水利水电工程地质勘察规范》规定的分类，即按岩石强度、完整性系数、结构面性状、地下水结构面产状与洞轴关系五项因素的和差总评分为基本依据，围岩强度应力比为限定判据，将围岩分为五类。

4.0.3 开挖过程中，如发生塌方、围岩变形量大、涌水、岩爆等情况，应及时通报监理单位，对发生原因、发生时间、处理经过等做详细的记录，这是重要的施工资料，也是处理合同总价的依据。

4.0.4 开挖中围岩失稳或造成塌方的主观原因之一是对地质条件掌握不够。施工单位应认真分析研究地质资料，根据地质条件，作出正确的施工对策，制定切实可行的、有效的工程措施，避免事故发生。

5 测 量

5.0.1 明确了地下洞室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。

5.0.2 原规范所规定的极限贯通误差容许值和中误差分配原则，是根据 80 年代以前，我国数十座隧洞按传统方法测量的贯通情况制定的。90 年代后测量新技术有了飞速发展，贯通测量的精度也有了很大提高，本可以在规范修订时把容许的极限贯通误差规定得再小一些，但考虑到一些中小型电站仪器设备条件，更主要的是地下工程的开挖精度，原规定已能满足要求，没有必要再提高精度，只是把原规范表 3.0.2-2 的备注说明取消，本规范的表 5.0.2-1 和表 5.0.2-2 的备注说明中重新增加了三条。说明中解释了相向开挖长度和通过曲线隧洞、斜井贯通时对纵向误差的特殊要求，以及通过竖井定向的中误差分配原则。表中纵向误差要求比较低，主要是针对坡度较小的直线隧洞而言的。因为坡度较小的直线隧洞，纵向误差即使很大，对纵向上的坡度影响也是很小的。但通过曲线隧洞，如 90° 转角的弯道，纵向误差就等于横向误差，通过 45° 斜井时纵向误差就等于竖向误差，故对纵向误差的特殊情况作了规定。通过竖井定向对横向贯通误差影响较大，故把它作为一个独立因素参加贯通中误差的分配，这样对地面和地下控制的要求就相应提高了。

5.0.3 所采用贯通误差计算公式，列入附录 C，原规范第 3.0.3 条、第 3.0.5 条所有内容均取消，因为本规范的施工测量任务主要是满足地下开挖工程，因而地面控制测量的任务和技术要求均被删除。这部分内容遵照 SL52—93《水利水电工程施工测量规范》执行。

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，若要了解地面部分时，请见 SL52—93。

5.0.6 说明地面与地下控制联接进洞时层次越少，精度越高。因为洞口点的联接角，距贯通面最远，它的误差大小，对贯通精度的影响比重最大，故要提高一级精度。

5.0.7 系根据原规范第 3.0.4 条、第 3.0.6 条的内容和 80 年代以后国内测量新技术的发展而制定的。

(1)原规范未划分施工导线和基本导线，这里作了划分和说明。

(2)施工导线是为了施工放线用，必须跟着开挖面布设。规定 50m 左右设一个点，是为了减少开挖面放线的困难。

(3)是对原规范第 3.0.4 条第一款的修订。根据生产实践，强调把导线作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，但使用常规仪器的中小型电站还是布在设计中线上方便使用。

(4)是根据国内地下工程已广泛使用光电测距仪而制定的光电测距导线等级标准。表 5.0.7-1 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又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，以及对应的相向贯通间距。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。见 SL52—93 第 8.3.3 条。

(5)根据国内的实践情况，考虑到一些设备条件较差的中小型电站，所以钢尺量距导线仍然保留。但原规范表 3.0.4 的测角、量边精度过低，边长太短，贯通间距也太小，故参照 SL52—93 作了修订，但 SL52—93 中规定的 1.8"、2.5" 和 5" 的测角中误差分别为 9 测回、6 测回和 3 测回的，显得太多。根据实践和调研，分别修改为 6、3、2 测回，且洞内只有两个方向，完全能达到上述精度。

例：J2 型经纬仪的内符合精度为每测回 $\pm 2''$ ，考虑到外界条件的不利影响因素，将中误差增加 1 倍，即每测回按 $\pm 4''$ 计算。则：

$$6 \text{ 测回的中误差为: } \pm 4'' / \sqrt{6} = \pm 1.63'' < \pm 1.8''$$

$$3 \text{ 测回的中误差为: } \pm 4'' / \sqrt{3} = \pm 2.31'' < \pm 2.5''$$

$$2 \text{ 测回的中误差为: } \pm 4'' / \sqrt{2} = \pm 2.83'' < \pm 5''$$

(6)系常规方法。见 SL52—93 第 8.3.5 条。

(7)防止洞内导线成果出错误的重要措施。

(8)系原规范第 3.0.4 条二、三款的修订，说明与表 5.0.2-1 和表 5.0.2-2 相同。

(9)为减少篇幅，未把光电仪作业和钢尺丈量的技术要求写入正文，故正文中作了说明。

5.0.8 系原规范第 3.0.7 条的修订，增加了洞内三角高程代替四等水准，取消了地面水准测量和表 5.0.7，重点阐述地下高程控制。

5.0.10 对施工测量的技术要求：

(1)原规范规定，开挖轮廓放样误差不大于 100mm，为与 SL52—93 规定统一，本规范改为不大于 50mm。

(2)激光准直和 TAPS—非接触自动极坐标测量系统，无需反射棱镜光电测距仪为近代的新技术，应大力推广。特别是 TAPS—非接触自动极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)是保证放样精度的一般措施。

(4)关于测量断面的间距和放线精度所要求的标准，是根据工程需要制定的。该条所列标准，已能满足工程要求。

(5)是实践和理论都证明了的简便实用的方法。

(6)工程结算所必须提供的测量资料。

6 开 挖

6.1 一 般 规 定

6.1.1 应结合工程实际情况，有所侧重。如遇地质条件较差的工程，应突出制定不良地质的施工方法和支护措施；如遇埋深较深的长隧洞或地下洞室群，应重点进行通风设计、高应力区施工及洞室群的施工程序等。

6.1.2 本条是对隧洞断面大、中、小的分级，与原规范一致。

6.1.3 地下开挖工程的超挖问题是一个十分令人关注的问题，原规范规定平均径向超挖值不得大于 20cm，数十年来的工程实践证明，是不易达到的。

超挖主要与排炮进尺、钻孔外插角、地质条件等因素有关。开挖中，应加强现场管理，确定合理的排炮进尺，认真按照爆破图进行钻爆作业，对周边孔应设控制方向的明显标志，认真控制钻孔外插角，并根据地质条件调整钻爆参数，以尽量控制和减少超挖量。为了使规范具有连续性、先进性和可操作性，结合已建地下工程的实际情况，并考虑到平洞、斜井、竖井施工条件的差异，提出了不同的允许超挖值。对于因地质原因，如局部不稳定楔形体、节理裂隙发育地段、岩爆地段、断层、破碎带等造成的超挖，应由施工单位提出资料，由监理单位根据实际地质条件提出处理措施。

6.1.4 本条主要是从安全角度考虑所采取的施工方法。

6.1.5 撬除危石方法根据洞室大小可采用人工或机械方法。

6.1.6 寒冷及高寒缺氧地区地下工程开挖，洞外辅助工程应有防冻保温措施。高寒山区因海拔高，大气压力低，施工是在缺氧的环境下进行的，人体的劳动能力和机械效率都会降低。目前有效的措施是减少劳动时间，加强通风，必要时进行补氧。对施工设备应增大容量等。

6.2 洞 口 开 挖

6.2.1 开洞口是隧洞开挖中重要的一步，一般应有专门的技术措施，有些工程由于措施不周密，施工中又不注意，往往造成难以成洞的被动局面，耽误工期，又不安全。

洞口削坡必须自上而下分层进行，并按设计要求进行边坡加固，待明挖及支护完成后再开洞口进行洞挖。

6.2.2~6.2.4 这三条内容基本一致，目的都是为了减少对洞口周围岩体的扰动，除实行控制爆破外，待洞脸形成后，要求在洞口规格线外打两圈锁口锚杆(边、顶)然后再开洞口。

有不少工程在洞口上方布置有永久进厂公路，洞顶以上岩体覆盖较薄，可先在公路上向下打垂直悬吊锚杆或其它加固措施，然后再开挖洞口。

6.2.5 开挖洞口强调先导洞后扩挖，或浅孔弱爆破并及时支护等，目的是为了减少对洞口周围岩体的扰动，增加洞口岩体的稳定性。

对稳定性差的Ⅳ、Ⅴ类围岩在开洞口前，应先采取深锚杆、注浆等措施加固后再开挖。

洞口开挖宜在旱季完成，若不能避开雨季，应采取措施。

6.2.6 水利水电工程的导流隧洞或电站的尾水隧洞等往往都低于河水位，洞口都有防洪要求，应按工程等级相应的防洪标准进行挡水建筑物设计。

6.3 平 洞 开 挖

6.3.1 平洞开挖方法随着施工机械的发展而变化，一般 10m 跨距以下的洞径，都能采用全断面开挖法，以发挥施工机械效率和减少对围岩的扰动。但由于施工机械性能、装药、锚喷登高作业设备性能所限，洞高超过 10m 时顶部作业已十分不便，应考虑台阶法分层开挖。

6.3.2 在Ⅳ类围岩中开挖断面较大的隧洞，围岩的稳定性较差，设计的支护工程量也比较大，采用全断面开挖法较困难，应推荐分部开挖并及时支护。若顶部有永久支护或衬砌要求的隧道，一般应将顶部支护衬砌做完后再开挖下部，这样可降低顶部支护衬砌的作业高度和难度，也可保证安全施工。

6.3.3 尽管随着机械化程度的提高，隧洞全断面掘进法已较普遍地采用，但仍不能排除隧洞先导洞后扩挖施工方法的适用性，特别是需要进一步查清地质条件或为了解决通风、排水时，常采用先开挖导洞的方法。

6.3.4 本条所提的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)，扩挖时，手风钻钻孔深度可不受此限制。钻孔深度根据断面大小、围岩类别、钻孔机械性能等确定。

6.4 竖井与斜井开挖

6.4.2 自上而下全断面开挖时，无论是露天井口或埋藏式井口，都必须采取措施，确保井口稳定。

对自上而下开挖的竖井深度超过 30m 时，人员上下宜采用提升设备，并在井壁设置带护栏的人行楼梯或爬梯。

本条强调井壁有不利的节理裂隙组合时，应加强支护，防止岩石坍塌，确保施工人员安全。对有水地段要做好防水排水。

6.4.3 采用先开挖导井后自上而下扩大开挖时，当竖井断面较大时，应优先考虑机械扒渣，以提高开挖速度，减轻劳动强度。导井堵塞处理极其困难，安全威胁大，因此，强调要采取措施，防止这类事故发生。导井口应有防护设施，防止人员坠落，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 原规范第 4.4.4 条为留渣蹬渣扩挖法，但因问题较多，不宜提倡，将此法删除。把原规范的第 4.4.5 条，加上爬罐法合写成在 I、II 类围岩中小断面竖井自上而下的全断面开挖法。

6.4.5 一次钻孔、分段爆破成井的方法，开挖深度主要受钻孔精度的限制，只要钻孔偏斜率在 1% 以内所产生的偏差不超过井的开挖范围，均可采用此法开挖。此法具有成井速度快的特点。

6.4.6 导井开挖方法中补充了爬罐法及反井钻机法，并明确了适用范围。

6.4.7 斜井开挖方法按其倾角大小确定。斜井倾角按《水利水电建筑工程概算定额》进行划分。

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 1000m^2 以上，开挖必须分层进行。

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。

6.5.3 地下厂房中岩壁、岩台吊车梁是近年来采用的一种先进结构，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，应制订专门的技术措施，以保证开挖符合设计要求。

6.5.4 IV 类围岩，稳定性差，特大断面洞室开挖应采取先边墙后顶拱的施工方法。边墙和顶部根据围岩稳定情况，先开挖导洞，然后顺边墙扩挖并浇筑混凝土，边墙全衬后，再开挖顶拱，采取边扩边衬砌的方法施工。

6.5.5 设计断面有拱座，采取先拱后墙法开挖，应特别注意拱座的开挖质量。对拱脚以下开挖提出要求的目的是保护拱座不受或少受爆破的破坏。同时要求下部开挖时，顶拱混凝土强度应达到设计强度的 75%，以防止对顶拱混凝土的破坏。

6.5.6 地下厂房中的母线洞，引水支管及尾水洞等，均与厂房高边墙相交，宜先开挖与其相交的小洞并做好支护，以保证主厂房高边墙开挖时的稳定，若无此条件应有专门施工措施，保证高边墙的稳定。

6.5.7 地下枢纽各大洞室，母线洞与尾水洞平行布置，相隔距离近，开挖后留下的岩墙岩柱薄，施工时，确保岩体稳定是首要问题，应采取合理的开挖程序和开挖方法，及时支护，加强监测以策安全。

6.6 施 工 支 洞

6.6.1 施工支洞数量关系到施工工期和造价，因此支洞设置须通过技术经济比较确定。

对地下厂房，由于高差大，层次多，为了满足各层开挖的施工通道需要，往往要布置较多的施工支洞。根据具体工程布置条件，可利用永久隧洞作为施工通道或在永久隧洞内分岔开施工支洞。必要时另开施工支洞。

6.6.2 施工支洞布置主要根据工程布置和场地条件确定。

7 钻 孔 爆 破

7.1 钻 爆 设 计

7.1.1 钻孔孔距、最小抵抗线等参数与孔径有关，钻孔孔径太大，爆破后会造成岩面不平整，超挖大。因此，对孔径作了限制。

7.1.2 地下工程开挖已普遍应用光面爆破和预裂爆破技术，已有成熟的经验并取得较好的效果，应全面推广应用。

7.1.3 地下工程开工前，必须进行钻爆设计。钻孔爆破设计主要是保证爆破后的断面轮廓符合设计要求，提高爆破效率，减少对围岩的震动破坏，以保持围岩的强度，发挥围岩的承载能力。本条强调循环中任一炮眼爆破引起的破坏范围不应超过周边孔爆破产生的破坏范围。

相邻地下建筑物，浅埋隧洞地表有建筑物或附近有国家保护的重点文物时，应按其抗震要求进行钻爆设计，以保证建筑物的安全。抗震标准可按附录 G 表 G2 中的允许质点震动速度选用。

7.1.5 特殊工程部位主要指岩壁、岩台吊车梁处的岩壁、岩台，高压岔管，岩塞等部位的开挖，因设计要求高，建筑物也重要，为保证开挖质量达到设计要求，应制定专门钻爆设计。

7.1.6 特大断面洞室中下部开挖，采用预留保护层或边线预裂深孔梯段爆破技术已有成功的经验，宜推广应用，它既可保护围岩，又可发挥机械化作业的效率。

孔间微差顺序起爆新技术已在许多工程中应用，宜积极采用。

台阶高度主要取决于围岩稳定条件。在围岩稳定的条件下，台阶高度又受钻孔偏斜率的控制。台阶高度最大不宜超过 10m，主要是从钻爆后岩面的平整方面考虑的。若围岩稳定性差或高应力区，台阶高度应受到限制。

7.2 钻 爆 作 业

7.2.2 钻孔质量是取得爆破效果的关键，除孔位、开口准确，钻进深度一致外，主要是控制钻孔外插角。施工时要设立明显的参照标志，使施工人员能控制钻孔角度和方向。

7.2.4 使用塑料导爆管非电毫秒雷管进行爆破作业是近几年发展的一项新技术，它具有使用方便，连线简单，耐火抗震抗电安全等特点，应积极采用。吊罐法、爬罐法开挖可能造成杂散电流，故必须采用。

为了取得预裂爆破效果，宜采用导爆索引爆。

7.2.5 光面爆破和预裂爆破效果中的炮孔痕迹保存率标准，由硬岩、中硬岩、软岩三个等级改为按岩石完整程度分为三级，即完整岩石、较完整和完整性差、较破碎和破碎三个等级，因岩石的完整程度对炮孔痕迹保存率影响比岩石硬度更大。

7.3 爆破安全规定

7.3.6 采用混凝土衬砌与开挖平行作业施工方法时，开挖面与衬砌面的距离，应按开挖正常进行循环作业，并根据围岩特性、混凝土龄期的允许质点震动速度，开挖工作面所需的作业空间要求及爆破飞石不破坏模板等因素确定。地质条件比较差的地段开挖，除支护外，还要求混凝土衬砌紧跟开挖面，甚至开挖一块即浇筑一块，以防塌方。工程实践表明，根据混凝土强度、围岩特性等因素，按允许质点震动速度控制最大单响装药量进行爆破作业是可行的。允许质点震动速度参考值见附录 G 中的表 G2。

7.4 爆 破 试 验

7.4.1 大型地下厂房跨度大，边墙高，洞室多，开挖规模大，工程地质也复杂，因此有必要进行爆破试验，取得数据，指导施工。

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、有轨运输和无轨装渣有轨运输等几种方式，宜根据隧洞断面大小、开挖工作面长度、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 从环保角度、弃渣对河道的影响等出发对弃渣场的堆放提出了要求。对利用溪、沟弃渣应有经过技术论证的拦渣泄洪措施，避免事故发生，造成灾害。

8.2 有轨运输

8.2.1 中小型隧洞开挖出渣，选择有轨运输有其一定的优越性。它具有设备造价低，维修容易，对空气污染小，经济等优点。而且，目前有轨运输已有性能好，生产能力高的配套设备，故有轨运输仍是一种可靠经济的运输方式，特别适用于中小型隧洞工程。

8.2.2 立爪式装渣机是近几年来发展的一种生产能力高、连续装渣设备与大容量梭式矿车匹配，使装渣连续进行，可缩短出渣运输循环作业时间。

8.2.3 设双车道或错车道是进行调车、加快出渣和有秩序组织运输的主要措施，应根据工期要求和断面大小，在施工组织设计中，对设置双车道或错车道的数量和位置作出规定。

8.2.4~8.2.5 隧洞内工作面狭窄，照明度差，从安全角度出发，对运输线路提出了要求，并对行车速度作了限制。

8.3 无轨运输

8.3.1 随着施工技术进步和施工机械发展，中型断面以上的隧洞均可采用无轨运输方式。

8.3.2 出渣道路的标准，影响到安全行车、出渣效率和工程进度。坡度大，道路线路短，工程费用少。单从汽车性能而言，道路纵坡是可加大的，但运行速度受到限制，运输效率低，耗油大，排出废气中有害成分增加，需加大通风量，装载设备在斜坡上工作，也不安全，且效率低。因此，纵坡不宜太大，以不大于 9% 为宜。局部地段因受施工条件限制，可增大纵坡，但也不宜超过 14%。而且，出渣设备一般容量大，吨位大，运输频繁，对路面应有较高的要求。隧洞内主运输道路运输量大，宜采用混凝土路面，以提高行车速度，减少维护量，减少轮胎损耗。

8.4 斜井 竖井运输

8.4.1~8.4.10 竖井、斜井提升运输的安全是首要的问题，应予高度重视，对条文中提出的要求应严格执行。

关于提升设备的联系装置和钢丝绳的安全系数的规定，统一按 SD267—88《水利水电建筑安装安全技术工作规程》执行。

8.4.11 斜、竖井采用自下而上开挖导井和自上而下扩大开挖均需从井底出渣，其运输方式根据工程布置情况选择。

8.4.12 斜、竖井自上而下扩挖时，无论用人或机械扒渣都存在着安全问题。一旦发生人员坠落或导井堵塞事故，后果都是很严重的。因此，必须制订专门措施，保证不出任何事故。

9 临时支护

9.2 锚喷支护

9.2.1 锚喷支护类型很多，包括喷混凝土或锚杆单一的支护以及喷混凝土、锚杆(索)、钢丝网、钢拱架等多种联合支护。锚喷支护类型及参数的选择，主要应根据围岩特性、断面尺寸等通过工程类比初步确定，或经试验确定。施工时，在现场设置观测断面进行监测，根据变形量和变形速率判断围岩稳定性，并根据观测数据调整支护参数，以达到围岩稳定而又经济的支护效果。

9.2.2 现代支护理论是支护与围岩共同作用。围岩是承载的主体，要利用和发挥围岩自承自稳能力。支护是加固和稳定围岩的手段。锚喷支护在机理和工艺上具有独特的工作特性，它可及时稳定和加固围岩，从而发挥围岩的承载能力。

锚喷支护的施工原则应从各方面体现现代支护原理，达到安全可靠，经济合理。

锚喷支护应调节控制围岩变形，使围岩变形有适度发展，但又不出现有害松动，以最大限度地发挥围岩自承能力。

施工方法的正确性和合理性对锚喷支护的效果有重大影响，特别是开挖程序、支护顺序和支护时机。开挖程序应减少对围岩的扰动次数，减少对围岩的破坏，尽可能采用全断面开挖、光面爆破。掘进进尺应根据围岩类别确定，对松散自稳性差的围岩，采取短进尺、及时支护。支护顺序与支护时机与围岩自稳定时间有关，自稳时间较长时，支护可在开挖面后进行，采取一循环一锚喷或几个循环一锚喷；自稳时间短，出渣后即应进行支护；自稳时间很短时，爆破后先喷混凝土，控制围岩变形，出渣后再按设计要求完成支护；对松散、破碎、无自稳能力的围岩，应采取超前锚杆、管棚或超前灌浆等方法加固岩体，再开挖，必要时设钢支架与锚喷联合支护，以增加支护刚度。对易风化、潮解、膨胀等岩体，要及早封闭，以防止潮解和形式膨胀压力。

9.2.3 钢纤维喷混凝土，可提高抗压强度、抗拉强度、抗弯强度，由于钢纤维喷混凝土的韧性，可提高抗冲击和抗磨损性能。而且，目前国内已有生产，故宜大力推广应用。

9.3 构架支撑

9.3.1 棚架漏斗出渣法，目前已很少采用，故将原规范第8款取消。

构件支撑承载的关键是每架支撑应保持在同一平面上和各节点处应与围岩之间楔紧。

10 不良工程地质地段施工

10.0.1 不良工程地质地段开挖洞室，应做好地质预报。查清地层的岩性，地质构造，岩体的风化程度，岩体物理力学性能，岩溶发育程度及分布状况，地应力状况等地质条件，以判明围岩稳定性，遵循本条款提出的几条原则，稳步掘进，切忌盲目冒进，造成坍塌事故。

10.0.2 局部不稳定部位，随着开挖应及时进行加固处理，特别是竖井、斜井工程，若不及时处理，对安全威胁很大，而且开挖过后一旦出现问题，再处理非常困难。

10.0.3 先护后挖、边挖边护或先对岩体进行加固后开挖是对松散、软弱破碎的岩体开挖洞室的有效方法。先护或先加固的方法有超前锚杆、管棚、预注浆等方法，根据地质条件选用。

10.0.4 在膨胀岩体中开挖洞室，首先应注意排水，支护应是先柔后刚，遵循快开挖，强支护，速封闭，早衬砌，合理控制膨胀的流塑变形。

10.0.5 岩溶问题会给施工带来极大的困难，条文中强调根据岩溶规模、充填情况等制定施工措施，天生桥二级电站引水隧洞遇到岩溶曾采用加大衬砌厚度、高压固结灌浆、设拱桥、打桩基等办法处理，效果较好。

10.0.6 由不同产状结构面组成结构体及软弱破碎带、夹层在一定产状条件下，造成不稳定体是开挖中常见的地质现象，特别是当顶部有软弱破碎带、夹层而产状平缓，以及边墙上有陡倾的破碎带、夹层时，对洞室稳定特别不利。施工中，应根据出露情况，采用增加锚杆数量或使用深层锚杆、预应力锚索等措施进行加固处理。

10.0.7 岩爆问题是近几年来高应力地区洞室开挖中出现的新问题，映秀湾、渔子溪、天生桥二级、太平驿等电站的隧洞开挖时均出现了规模不同的岩爆。高应力和岩石坚硬完整、无水是发生岩爆的主要因素。岩爆地区进行洞室开挖，对岩爆的发生、发展、规模还不能做到及时准确地判断，需要通过观察摸清其发生的部位、时间、规模以及发生的规律，采取防治结合的办法处理。本条中提出的几条原则，是我国几个电站在岩爆地区开挖洞室实践经验的总结，效果较好。

10.0.8 水是地下工程开挖百害之源，在不良地质地段开挖洞室，要特别注意处理水的问题，应根据工程地质与水文地质条件，采用排、堵、截、引的综合措施处理。

10.0.9 采用预灌浆方法处理不良地质地段是近年来应用较多的方法，而且能取得好的效果，它通过一定的压力将浆液压入岩体，起到阻水、充填裂隙形成网状浆脉、对松散岩体进行挤密压实以提高岩体强度等作用，使不良地质地段达到稳定，防止坍塌事故发生。

预注浆的效果可通过压水、声波检测和取样等方法检验。

10.0.10 塌方处理，经验不少，但教训也不少。有的工程在处理塌方时不但未能及时处理好，反而使塌方规模更加扩大，造成人力物力浪费，延误工期。因此，处理塌方时，必须查明塌方原因、规模，地下水活动规律等，制定施工方案，进行处理。

治理塌方必须先治水。

使用管棚、管棚加注浆或灌浆法加固坍塌体，然后采取边开挖边支护，及时进行混凝土衬砌的方法，效果较好，应推广应用。

11 监 测

11.0.1 监测是在施工过程中，通过量测围岩变形，掌握围岩变形动态，对围岩稳定作出判断；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。

观测断面的设置主要是根据工程规模、围岩特性及工程部位而定。

11.0.2 监测项目有周边收敛、拱顶下沉、围岩位移、围岩松弛区、锚杆和锚束内力、喷层应力等，根据工程需要选择。

11.0.4 量测断面上仪器的布置，随隧洞断面形状，围岩条件，开挖方法，测线位置、数量的不同而有所不同。净空位移测线以布置 3~6 条测线为宜。拱顶下沉量测的测点，可与净空位移测点共用。围岩位移测孔的布置，除考虑地质、洞型、开挖等因素外，应与净空位移测线相应布设，以便量测结果互相印证。对于大型地下厂房，以布设围岩位移测孔为主，一般一个断面布设 3~7 个测孔。锚杆轴力量测锚杆的布置和喷层应力量测布置由具体工程需要而定。

其它项目量测断面布置，依工程需要布设。

11.0.5 开挖爆破后，仪器安设愈快、距开挖面愈近愈好，最好在 12h 内与下一循环爆破前完成。这样，才能取得较全面的资料。

11.0.6 仪器(测点)安设后量测频率由变化速度(时间效应)与距工作面距离(空间效应)确定。一般情况变形速率大,距工作面愈近,量测次数应多。

11.0.7 现场量测数据是随时间和空间变化的,称为时间效应和空间效应。量测资料要及时的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,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。

11.0.9 位移速率逐渐变小,说明围岩趋于稳定,若位移速率出现明显的加快过程,则预示围岩将出现破坏,应采取紧急加固措施。加固措施包括调整施工方法、施工程序、支护时机,调整锚杆支护参数和喷层厚度等,应根据实际情况选用。

12 通风与防尘

12.1 卫生标准

12.1.1 原规范中规定的卫生标准是合适的,过去施工中,由于对环境卫生认识不够,虽然规范中作了规定,但因通风设备能力不够,措施不力,管理不善,效果较差。这次修编中仍采用原规范的标准,要求重视通风工作,制订切实可行的通风方案及有力的措施,改善作业环境,保障施工人员的身体健康。

12.1.2 地下洞室开挖,由于人体散热、地热作用、坑木矿物氧化、爆破、机器运转、照明等原因使洞内温度不断提高,洞内气候条件坏,直接影响到生产效率。洞内温度取决于隧洞空间内空气的温度、湿度和风速三者的综合状态。

人体内的热量通过辐射、对流和汗水蒸发而散发,对人体最合适的温度为 $15^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$,当气温超过 25°C 时,对流和辐射大为减少,因此,洞内气温不应超过 28°C 。洞内温度可按表 12.1.2 温度与风速的关系来调节。

12.2 通 风

12.2.1 本条列入计算通风量的三种方法,实践证明这三种计算方法是可行的,计算后应以最大值为设计通风量。

高海拔和高寒缺氧地区的地下工程将会增多,高海拔高寒地区空气稀薄,缺氧严重。由于海拔高程增加后,温度和气压都发生了变化,炸药产生的有害物质体积也随之增加,施工机械效率降低也还会造成燃烧不充分而使有害物质产生量增加,故计算出的通风量应加以修正。爆破散烟及使用柴油机械的高程修正系数是根据工程总结和引用《水利水电工程施工组织设计手册》第 2 卷第五篇中的资料而得出的。某隧道现场实测资料:海拔每升高 1000m,柴油机功率下降 9%~13.7%,可供参考。

12.2.3 地下洞室开挖,通风是改善施工环境、保障施工人员身体健康的主要措施,应不断向洞内供给新鲜空气,排出污染空气,补充足够氧气,冲淡与稀释有害气体和降低洞内空气中的粉尘含量,并调节洞内温度和湿度,把洞内的有害物质降低到对人体无害的允许范围内。

通风方式有自然通风和机械通风两种,应首先考虑自然通风方式,在自然通风难于满足快速掘进的要求时,应采用机械通风方式。

机械通风分风管式通风、巷道式通风、风道式通风等方式。

风管式通风又有压入式、抽出式和混合式等。通风方式可根据洞井布置特点、施工程序和方法、洞井长度、断面大小和工作面有害气体危害程度综合考虑确定。

12.2.4 通风机的作风量应为施工所需风量与风管式风道的漏风量之和;作风压为风流经过风管或风道时所需的总风压。通风机依据作风量和工作风压进行选择。

隧洞空间狭小，宜选择效率高、体积小、结构紧凑的轴流式风机。

12.2.5 风管的通风效果与风管末端到工作面的距离、风管安装质量有关。应按通风设计要求进行布设，否则漏风量和沿程损失增加，达不到通风效果。

12.3 防尘、防有害气体

12.3.1 地下洞室开挖中，会有大量岩尘产生。资料介绍，由凿岩钻孔产生的粉尘约占 85%，爆破占 10%，装渣占 5%，喷射混凝土作业也会产生大量的粉尘。这些岩尘特别有害的是游离的 SiO_2 尘埃，它严重污染施工场地的空气，其中，以 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 的粉尘能直接进入肺部，对人体健康危害极大，是引起矽肺病、矽酸盐肺部疾病的根本原因；还会影响施工人员的视线，甚至造成视力减退，不利于及时发现事故隐患，进一步增加了机械性人身事故的机会。粉尘还会加快机械磨损。

湿式凿岩、喷雾、洒水、冲洗洞壁、用水淋透石渣等措施，是为了将粉尘湿润而使之迅速沉降、不飞扬。对悬浮于空气中的粒径小于 $5\ \mu\text{m}$ 的粉尘要靠加强通风，不断换置洞内空气，才能把粉尘降至允许值以下。喷射混凝土作业采用湿喷工艺，可保证喷层的力学指标，降低粉尘，降低回弹，改善作业环境，节约成本，故应优先选用。若采用干喷法时，应加入黏稠型速凝剂(加 ZC-2 型黏稠型速凝剂等)或其它外加剂，以降低粉尘浓度，采取这些措施的同时，还应做好个人的防护。

12.3.2 瓦斯是地层的煤体和围岩中涌出以沼气 CH_4 为主要成分的多种气体的总称。这是一种无色、无味、无臭的气体，比重轻。瓦斯扩散性很强，围岩经爆破扰动，瓦斯就会很快从煤(岩)裂隙中透过，扩散到隧道内，会使人缺氧而窒息，当浓度在 5%~16% 时若遇到一定温度或火源，会发生瓦斯燃烧爆炸，危害性极大。所以遇到含瓦斯地段时，应严格按煤炭部《煤矿安全规程》制定的防瓦斯安全措施和本条提出的几条规定进行施工。

12.3.3 汽油机械排出的有害气体比柴油机械多 10 倍以上，所以，本条规定洞内施工不得使用汽油机械，否则，隧洞施工通风难以解决。

13 辅助工程

13.1 供 风

13.1.1 压风站的容量根据工程需要配置。对高寒缺氧地区，气压低，空气密度小，空压机生产能力下降，风管漏风损失严重，应增加压风站容量。羊卓雍湖电站资料显示，其容量的影响系数为 1.7 左右，可供参考。

13.1.3 现代大型施工机械已向液压内燃机驱动方面发展，洞内用风量减少，可采用固定式压气站，也可采用移动式电动空压机，安设在用风地点附近供使用。小断面长隧洞工程，若风压损失大，可在洞内加设带有安全装置的贮气罐。

供风管路布置在隧洞一侧边墙的下部，既可避免经常移动，浪费人力，又整齐美观。

13.3 供 电 与 照 明

13.3.2 为洞内供电的变压器的位置，一般情况下放在洞口附近；大断面隧洞，使用凿岩台车钻孔须将高压电引入洞内供使用。

13.3.3 为了安全，洞内工作照明应使用 36V 或 24V，大断面隧洞开挖目前均使用探照灯、碘钨灯等投光灯照明，电压使用 220V。竖井、斜井内由于使用钢结构工作平台作业，导洞

工作面狭小，为安全计，应采用 36V 或 24V 照明。

13.3.4 高海拔地区，气压低，温差大，致使电气设备密封性差，机械结构易变形，瓷瓶易炸裂，空气间隙及瓶绝缘放电性能下降，塑料、橡皮绝缘易老化等，因此，设备选择应考虑修正系数，选择高原型产品，施工变电站的电气设备选用提高一个高压等级的设备。

13.3.6 洞内动力线与照明线宜分别架设，整齐排线，固定在隧洞的一侧。采用电力起爆的隧洞工程，其起爆主线必须与照明及动力线分两侧架设。

13.3.7 施工区的照明，原规范的标准太低。现在隧洞开挖机械化程度愈来愈高，施工速度加快，为了改善作业环境，确保安全生产和提高工作效率，防止劳动灾害事故发生，必须有足够的照明度。目前，无论是国际性招标或国内招标，关于照明度的规定均比原规范的要求高，因此本规范参照目前招标文件的规定和实际需要，对洞内照明度作了较大的修改。

14 质量检查与验收

14.0.1 施工单位应采用 GB / T19000idtISO9000 系列标准建立质量保证体系，分级设专职质检人员，并结合工程情况制定监督检查制度，逐级贯彻执行，进行质量跟踪管理。当今实行班组自检、互检和专职检查相结合的三检制，仍然是有效的检查办法，应该坚持执行。在自检合格后，报请监理工程师进行最后检查验收。

14.0.3 要求施工期间所作的原始记录比原规范有两处修改，一是“机械化程度”改为使用机具；二是“重大”问题，无明确界限，施工现场不易掌握，故将重大两字去掉。

14.0.4 地下建筑物开挖完成或分阶段进行工程验收。由施工单位提供资料，监理单位组织设计、地质、施工单位进行验收。