ICS 93.160
P 59

SL

中华人民共和国行业标准

SL 378—2007
替代 SDJ 212-83

水工建筑物地下开挖工程施工规范

Construction specifications on underground excavating engineering of hydraulic structures

2007—10—08 发布　　2008-01-08 实施

中华人民共和国水利部　发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

2007 年第 10 号

中华人民共和国水利部批准《水资源水量监测技术导则》(SL 365—2007)等 5 项标准为水利行业标准，现予以公布。

二〇〇七年十月九日

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水资源水量监测技术导则	SL 365—2007		2007.10.08	2008.01.08
2	水利水电工程锚喷支护技术规范	SL 377—2007	SDJS 7—85	2007.10.08	2008.01.08
3	水工建筑物地下开挖工程施工规范	SL 378—2007	SDJ 212—83	2007.10.08	2008.01.08
4	开发建设项目水土保持设施验收技术规程	SL 387—2007		2007.10.08	2008.01.08
5	实时水情交换协议	SL/Z 388—2007		2007.10.08	2008.01.08

前　言

为适应水利水电地下开挖技术发展的需要，2002 年 9 月，水利部建设与管理司以建管综便字[2002]第 14 号文下达了对 SDJ 212—83 进行修订的计划，修订后的标准定名为《水工建筑物地下开挖工程施工规范》(SL 378—2007)(以下简称本标准)。

新修订的本标准主要技术内容包括地质、测量、地下工程开挖、钻孔爆破、掘进机开挖、出渣与运输、临时支护，施工期安全监测、通风与防尘、辅助工程、安全施工、质量检查与验收等。本标准修订后，增加了掘进机开挖，软岩洞段开挖、软岩洞段的临时支护和施工期安全监测等内容，并对测量做了较大调整，补充了 GPS 和全站仪的测量内容。本标准对原标准 78 条进行了修改，增加 169 条保留 54 条，取消 10 条。本标准共 14 章 37 节，296 条和 5 个附录。

本标准所替代标准的版本为 SDJ 212—83。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设与管理司

本标准解释单位：水利部建设与管理司

本标准主编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局
中水北方勘测设计研究有限责任公司
辽宁省水利水电勘测设计研究院
新疆水利水电勘测设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：赵长海　林淀翔　齐志坚　崔金铁
周小兵　章跃林　刘永林　赵永君
杨明刚　贺建国　杜国文　李文新
王晓全　陈永彰　伍志刚　任金明

陈立秋　李伯昌

本标准审查会议技术负责人：李其友

本标准体例格式审查人：陈登毅

目　　次

1　总　　则 1
2　引 用 标 准 2
3　地　　质 3
4　测　　量 5
5　锚杆施工 12
5.1　一般规定 12
5.2　洞口开挖 13
5.3　平洞开挖 14
5.4　竖井与斜井开挖 15
5.5　特大断面洞室开挖 17
5.6　特殊部位开挖 18
5.7　软岩洞段开挖 18
5.8　不良地质条件洞段开挖 19
5.9　施工支洞 22
6　钻 孔 爆 破 24
6.1　钻孔爆破设计 24
6.2　钻孔爆破作业 25
6.3　爆破试验与监测 26
7　掘 进 机 开 挖 28
7.1　一般规定 28
7.2　掘进机选择 28
7.3　掘进机开挖作业 29
7.4　衬砌施工 31
7.5　回填灌浆 31
8　出 渣 与 运 输 33
8.1　一般规定 33
8.2　有轨出渣运输 33
8.3　无轨出渣运输 34

8.4 斜井、竖井出渣运输 35
9 临时支护 37
9.1 安全技术 37
9.2 锚喷支护 37
9.3 拱架支撑与锚喷联合支护 38
9.4 软岩洞段的临时支护 39
9.5 不良地质条件洞段的临时支护 40
10 施工期安全监测 42
11 通风与防尘 44
11.1 卫生标准 44
11.2 通 风 45
11.3 防尘、防有害气体 47
12 辅助工程 49
12.1 供 风 49
12.2 供水与排水 49
12.3 供电与照明 50
12.4 其他辅助设施 52
13 安全施工 53
13.1 一般规定 53
13.2 爆破开挖的安全规定 53
13.3 出渣运输的安全规定 54
13.4 支护施工的安全规定 55
14 质量检查与验收资料 56
附录A 岩土分级 58
附录B 围岩工程地质分类 64
附录C 有关控制测量误差计算的规定 68
附录D 光面爆破与预裂爆破参数 74
附录E 有关爆破监测方法的规定 77
标准用词说明 79
条文说明 80

1 总 则

1.0.1 为保障水工建筑物地下开挖工程的施工安全，提高地下开挖工程的质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中置于地下的各种水工建筑物开挖施工。

1.0.3 地下开挖工程的开挖施工应遵守“安全第一、以人为本”的原则，正确处理安全、质量、进度和经济的关系。

1.0.4 地下开挖工程应根据地形、地质、洞室尺寸、洞室形状等条件，通过技术经济比较选择合理的施工方法。当采用钻孔爆破法施工时，应采用光面爆破或预裂爆破技术施工。

1.0.5 地下开挖工程施工前，监理单位应向施工单位提供设计文件和施工图纸，组织技术交底；地下开挖工程施工过程中，应由地质专业人员及时进行施工地质工作；如实际地质情况与设计条件不符时，应修正设计或施工方案；当有重大设计修改时，应报请原设计审查单位批准。

1.0.6 施工单位应在合同规定的区域内，制定环境保护和水土保持措施，并与工程建设同步实施。

1.0.7 地下开挖工程施工过程中，应制定安全监测方案，开展安全监测工作。安全监测的信息应及时反馈给相关单位，以指导安全施工和优化设计。

1.0.8 地下开挖工程开挖过程中，应积极采用新技术、新工艺、新材料和新设备，并经过试验与论证后使用，以保证地下工程的安全可靠、技术先进、经济合理。

1.0.9 地下开挖工程施工，除应遵守本标准规定外，尚应遵守国家和水利行业现行有关标准的规定。

2 引 用 标 准

本标准引用下列标准的相关条文作为本标准的相应内容：

《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—1999)

《爆破安全规程》(GB 6722)

《国家一、二等水准测量规范》(GB 12897)

《国家三、四等水准测量规范》(GB 12898—1991)

《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)

《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287—99)

《建筑用卵石、碎石》(GB / T 14685—2001)

《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB / T 18314—2001)

《水工预应力锚固施工规范》(SL 46—94)

《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(SI.47—94)

《水利水电工程施工测量规范》(SI.52—93)

《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SI。62—94)

《水利水电工程施工质量评定规程》(SI。176—1996)

《水工预应力锚固设计规范》(SI。212—98)

《水利水电建设工程验收规程》(SI。223—19～9)

《水工隧洞设计规范》(SI。279—2002)

《水利水电工程锚喷支护技术规范》(SI-377—2007)

《水利水电建筑安装安全技术工作规程》(SD 267—88)

《水工混凝土施工规范》(SDJ 207—82)

3 地　　质

3.0.1　地下开挖工程施工前，建设单位或监理单位应向施工单位提供下列工程地质与水文地质资料：

1　工程区域内的地形、地貌条件，过沟地段、浅埋与傍 I 山洞室、地下洞室进、出口边坡和高水头压力管道地段山体的稳定条刊；。

2　地层岩性及其产状，特别是松散、软弱、崩解、膨胀和易溶岩层的分布和其物理力学性质。

3　主要断层、破碎带和节理裂隙密集带的位置、产状、规模，性状及其组合关系。

4　地下水类型，含水层分布，水位、水质，水温、涌水量、补给来源、动态规律及其对地下建筑物和开挖施工的影响。

5　可溶岩区，岩溶洞穴的发育层位、规模、充填情况。

6　地温情况。

7　有害气体和放射性元素的性质、含量及其分布范围。

8　特大断面洞室还应提供岩体初始应力的大小、主应力方向及与地下洞室轴线的相互关系，并评价施工方法对围岩稳定性的影响。高地应力地区，还应提供可能发生岩爆的资料。

9　根据岩性及其物理力学性质按附录 A 确定岩石级别；根据附录 B 划分围岩类别。

3.0.2　地下刀：挖工程施工过程中，应做好下列施工地质工作：

1　地质编录和测绘工作，检验前期的勘察资料。

2　预测和预报可能出现的工程地质问题。

3　对不良工程地质问题开展专项研究，并提出处理措施。

4　开展安全监测工作，及时分析监测资料，进行围岩稳定性预报。

3.0.3 施工单位应根据地质条件和设计要求制定开挖和支护方案，经监理单位审批后实施。

3.0.4 地下开挖工程施工期间，若围岩条件与原勘察结果有较大变化，建没单位应委托勘察单位进行补充勘探，必要时还应进行专门的试验研究工作，复核原定的地质参数。施工单位应根据新的复核结果，调整施工方案，并报监理单位核准。

3.0.5 施工单位应根据实际施工情况，进行地质预报，并根据预报制定安全施工预案。必要时，监理单位可组织相关单位对安全施工预案进行审查。

3.0.6 当地下开挖工程施工过程中，出现异常地质变化时，施工单位应做好记录，施工地质人员应进行详尽的地质测绘与编录，监理单位应及时组织设计、施工等单位共同商定处理措施。

4 测　　量

4.0.1　地下洞室施工测量应包括下列基本内容：

1　进行地下洞室贯通测量的技术设计和贯通测量。

2　建立地面和地下平面与高程控制网。

3　对地下洞室的轴线、坡度、高程和开挖断面放样。

4　地下洞室开挖轴线纠偏与贯通面误差调整。

5　测绘地下洞室纵横断面，并计算工程量。

6　提出中间验收、竣工验收资料和技术报告。

4.0.2　地下洞室贯通测量技术设计应在开挖前进行，其测量极限误差应符合下列规定：

1　贯通测量极限误差应满足表 4.0.2-1 的要求。

表 4.0.2－1　贯通测量容许极限误差值

相向开挖长度（km）		≤5	5～10	10～15	15～20	20～25	25～30	30～35	35～40	40～45	45～50
极限贯通误差（mm）	横向	±100	±150	±220	±300	±400	±500	±620	±740	±880	±1000
	纵向	±100	±150	±220	±300	±400	±500	±620	±740	±880	±1000
	竖向	±40	±56	±76	±100	±124	±150	±176	±200	±224	±250
注：相向开挖长度包括支洞的长度。											

2　计算贯通中误差时，可取表 4.0.2-1 中极限误差的一半作为贯通中误差，并按表 4.0.2-2 的原则分配。

3　上、下两端相向开挖的竖井，其极限贯通误差不大于±200mm。

4　通过竖井贯通时，应把竖井定向作为一个独立因素参与贯通中误差的分配。

4.0.3　洞外和洞内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。

表 4.0.2-2　贯通中误差分配原则

相向开挖长度（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
≤5	±20	±50	±50	±20	±50	±50	±15	±15	±20
5～10	±30	±75	±75	±30	±75	±75	±20	±20	±28
10～15	±44	±110	±110	±44	±110	±110	±27	±27	±38
15～20	±60	±150	±150	±60	±150	±150	±35	±35	±50
20～25	±80	±200	±200	±80	±200	±200	±44	±44	±62
25～30	±100	±250	±250	±100	±250	±250	±53	±53	±75
30～35	±124	±310	±310	±124	±310	±310	±62	±62	±88
35～40	±148	±370	±370	±148	±370	±370	±71	±71	±100
40～45	±176	±440	±440	±176	±440	±440	±79	±79	±112
45～50	±200	±500	±500	±200	±500	±500	±88	±88	±125
注：相向开挖长度包括支洞的长度。									

4.0.4　地下洞室开挖之前，应根据地下洞室的设计轴线，拟定平面和高程控制略图，按表 4.0.2-1 和表 4.0.2-2 所规定的测量精度要求，用附录 c 中的公式进行预期误差的精度估算，以便确定洞外和洞内控制测量的等级和作业方法。

4.0.5　洞外控制测量可按下列规定进行：

1　洞外平面控制网可布设成 GPS 网、导线网、测角网、测边网或边角组合网，洞外基本导线网的技术要求见附录 C 表 C.0.3。洞外高程控制网可布设成环线或符合线路水准测量网。洞外控制网的等级可根据地下洞室相向开挖长度，按照表 4.0.5 的规定选择。

2　洞外各等级 GPS 测量应按 GB / T 18314—2001 的规定执行；各等级导线网、测角网、边角网测量应按 SL 52—93 的规定执行；一等、二等水准测量应按 GB 12897—1991 的规定执行；三等、四等水准测量应按 GB 12898—1991 的规定执行。

表 4.0.5　洞外控制网等级选择

相向开挖长度（km）	导线测量	GPS 测量	水准测量
≤5	三等、四等	C 级、D 级	三等、四等
5～10	二等、三等	C 级	二等、三等
10～20		B 级、C 级	二等、三等
20～30		B 级、C 级	二等、三等
30～50		B 级、C 级	一等、二等
注：相向开挖长度包括支洞的长度。			

3　边长不大于 300m 时，应提高测量精度，经论证无法解决时，边长相对精度可适当放宽。

4　为减少长隧洞施工控制网边长投影长度变形，施工坐标系应符合下列要求：

1) 隧洞中点或贯通面应位于高斯正形投影 3° 带或任意带的中央子午线附近。

2) 投影面为隧洞进、出口的平均高程面。

5　在每个洞口(包括支洞口)附近不受施工干扰的位置，应埋设 3 个平面控制点及 3 个高程控制点标石。平面控制点至少有一个与洞口通视良好，定向边和洞口应尽量位于同一高程面上，以消除垂线偏差对方向值的影响。

6　宜选择洞口附近的控制点作为进洞的洞口控制点或进洞控制点，或者用强度较好的图形加密洞口控制点。布设洞口控制点时，应考虑有利施工放样和便于向洞内传递等因素。

7　洞口的控制点标志，应浇筑混凝土观测墩，并安置强制对中基座。

8　隧洞施工平面控制网坐标系统宜与规划设计阶段的坐标系统一致，也可根据需要建立与规划设计阶段的坐标系统有换算关系的施工坐标系统。施工高程系统应与规划设计阶段的高程系

统一致，并应根据需要就近与国家水准点进行联测。

4.0.6 洞内控制测量可按下列规定执行：

1 洞内平面控制测量宜布设光电测距导线，导线可分为基本导线和施工导线。洞内基本导线宜布设交叉式双导线网，其技术要求见附录 C 表 C.0.4。洞内基本导线网和水准网的等级可根据隧洞相向开挖长度，按照表 4.0.6 确定。

表 4.0.6 洞内控制网等级选择

相向开挖长度（km）	基本导线网等级	水准网等级
≤5	三等、四等	四等
5～10	二等、三等	四等
10～20	二等、三等	三等
20～30	一等、二等	三等
30～50	一等、二等	三等
注：相向开挖长度包括支洞的长度。		

2 施工导线点的布设可根据隧洞开挖方法确定；钻孔爆破法开挖宜每隔 50m 左右设置一点；掘进机开挖宜根据激光导向仪的有效工作距离和后配套长度确定点位间距。

3 基本导线点和施工导线点宜沿洞壁两侧布设，基本导线点标志应设置在带有强制对中基座的仪器平台上。

4 光电测距边长应进行对向观测，并经气象、加常数、乘常数、周期误差、倾斜和投影各项改正。洞内基本导线应进行两组独立观测，导线点的两组坐标值误差不应大于中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍，并取两组观测数据的平均值作为最后成果。若只进行一组观测，应同时观测导线的左、右角或组成闭合路线。

5 在平面控制进洞联测中，应选择最有利的进洞定向点，并联测另一个定向检查点。由洞口向洞内传递方向的测角精度，不应低于洞内基本导线的测角精度。

6 基本导线每向前延伸数点，可将两条导线连接成闭合导线

进行平差。施工导线与基本导线附合时，应进行校核，及时算出施工导线点的里程、高程以及偏离轴线的数值，并进行轴线偏差改正，洞轴线水平偏差限值应小于表 4.0.2-1 的规定值。

7 洞内高程应以洞口基本水准点为起算点引测至洞内，洞内水准点应埋设固定标志。洞内水准测量应通过往返观测或通过左右水准路线联测进行校核，并认真做好中线桩点高程的测量与校核，洞底高程偏差极限值应小于表 4.0.2-1 的规定值。

8 当相向开挖的两工作面临近贯通面时，可使用钻机钻超前探孔或开挖导洞，并通过这个探孔或导洞与两洞口的地面基本控制点(包括平面和高程控制网)进行联测，经统一平差后进行贯通误差的确定、调整和分配。

9 地下洞室内的控制点点位应定期检查复核，以防点位变动。

4.0.7 地下开挖工程施工测量应遵守下列规定：

1 施工放样之前应编制施工放样总图。

2 细部放样轮廓点相对于洞轴线的点位中误差：开挖轮廓线不大于 50mm(不允许欠挖)；混凝土衬砌立模点不大于±10mm。

4.0.8 钻孔爆破法开挖施工测量应遵守下列规定：

1 开挖放样应以施工导线标定的轴线为依据。直线段采用串线法时，两吊线的间距不应小于 5m，延伸长度应小于 20m；曲线段应采用经纬仪放样。开挖过程中宜在洞内安置激光准直仪，或用激光经纬仪标定轴线。

2 开挖放样应在掌子面上标定中线、腰线和开挖轮廓线，必要时还应标出钻孔位置；对分层开挖的地下厂房等大断面洞室进行放样时，可只标定设计开挖轮廓线和中心线，在腰线和中线位置宜安装激光指向仪。

3 地下洞室混凝土衬砌放样，应以贯通后经调整配赋的洞室轴线为依据，在衬砌断面上标出拱顶，起拱线和边墙的设计位置，立模后应进行检查。

4 应及时测绘开挖断面和混凝上衬砌竣工断面，并计算工程量。直线段断面间距为 5m，曲线段断面间距为 3m，对结构变化或特殊部位应适当加测断面。断面测点相对于洞室轴线的测量限差为；开挖竣工断面±50mm，混凝土衬砌竣工断面±20mm。

4.0.9 掘进机开挖施工测量应遵守下列规定：

1 首先将洞内基本导线或施工导线的坐标和高程引测至掘进机的激光导向系统，再以设计轴线指导掘进机的掘进方向，以保证施工测量的可靠性。

2 为保证隧洞的准确贯通，对隧洞轴线应进行定期检测。

3 使用双护盾式掘进机施工时，开挖与衬砌平行作业，可只测绘混凝土衬砌竣工断面，断面测点相对于洞轴线的测量限差为±20mm。

4.0.10 斜井开挖放样可用坡面经纬仪直接测定轴线和平行腰高。若用经纬仪架设在轴线上按真伪倾角法测定平行腰高时，各点的垂直角。可按式(4.0.10)计算：

$$\alpha' = \arctan(\tan\alpha\cos\theta) \qquad (4.0.10)$$

式中 α' ——各点的垂直角(°)；

α——斜井的设计垂直角(°)；

θ——斜井轴线至照准点方向的水平夹角(°)。

4.0.11 竖井开挖与衬砌测量放样可用重锤、激光投点仪或光学投点仪进行，开挖轮廓放样点相对于竖井轴线的测量限差为±50mm；混凝土衬砌轮廓放样点相对于竖井轴线的测量限差为±20mm。

4.0.12 在地下洞室混凝土衬砌过程中，应根据需要及时在两侧墙上埋设一定数量的铜质(或不锈钢)永久标志，并测定高程、里程等数据，以便检修和监测时使用。

4.0.13 地下工程竣工时，应提交下列测量资料：

1 贯通测量技术设计书。

2 控制测量平差计算成果。

3 洞轴线控制点与控制网联测的平差资料及进洞关系平面图。

4 洞内导线及高程计算成果和平面图。

5 地下洞室开挖和混凝土竣工平面图、纵横断面图和竣工工程量计算表。

6 贯通误差的实测成果和贯通误差调整说明。

7 地下洞室施工测量技术总结。

5 锚杆施工

5.1 一般规定

5.1.1 地下开挖工程开工前，施工单位应编制地下开挖工程施工组织设计，报监理单位审查批准，监理单位发布开工令后方可开始开挖施工。

5.1.2 地下开挖工程施工组织设计应包括下列内容：

1 工程概况。

2 施工总布置。

3 施工方法。

4 施工进度计划。

5 施工资源配置。

6 安全和质量保证措施。

7 施工期安全监测方案及其布置。

8 环境保护和水土保持措施。

5.1.3 地下洞室规模可根据地下洞室开挖尺寸和断面大小，划分为：

1 特小断面：面积(指设计开挖面积，下同)小于 $10m^2$ 或跨度小于 3.0m。

2 小断面：面积为 10～$30m^2$ 或跨度为 3.0～5.5m。

3 中断面：面积为 30～$60m^2$ 或跨度为 5.5～7.5m。

4 大断面：面积为 60～$120m^2$ 或跨度为 7.5～12.0m。

5 特大断面：面积大于 $120m^2$ 或跨度大于 12.0m。

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

1 倾角小于 6° 为平洞。

2 倾角 6°～75°为斜井。

3 倾角大于 75°为竖井。

5.1.5 地下洞室开挖方法应根据地质条件、工程规模、支护方式、工期要求、施工机械化程度、施工条件和施工技术水平等因素选定。

5.1.6 一般情况下地下洞室不应欠挖，且应尽量减少超挖。其开挖半径的平均径向超挖值，平洞不应大于 200mm；斜井、竖井不应大于 250mm。

不良地质地段超挖值的控制标准，可由监理工程师组织相关人员商定后，报建设单位确定。

5.1.7 地下洞室开挖过程中，应根据需要适时采取有效的支护措施，保证施工过程中的安全。

5.1.8 施工单位应根据围岩的稳定状况和工期要求，研究开挖方式并选定采用开挖、支护与衬砌交叉或平行作业。

5.1.9 缺氧地区及负温条件下的地下洞室开挖，应慎重选择施工方法和施工机械。缺氧地区地下洞室开挖时，应以机械施工为主，加强通风并采取合适的补氧措施。负温条件下地下洞室开挖时，应采取防寒措施。

5.1.10 在下列情况开挖地下洞室时，宜采用预先贯通导洞法施工：

1 地质条例：复杂，需进一步查清时。

2 为解决通风、排水和运输时。

5.1.11 地下洞室开挖过程中，应根据地下洞室的工程规模、地质条件、施工方法开展安全监测工作，以指导开挖施工和确定加固方案及支护参数。

5.2 洞口开挖

5.2.1 地下开挖工程施工前，应对地下洞室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等。

5.2.2 地下洞室洞口削坡应自上而下分层进行，严禁上下垂直作业。进洞前，应做好开挖及其影响范围内的危石清理和坡顶排水，按设计要求进行边坡加固。

5.2.3 地下洞室洞口可设置防护棚。必要时，应在洞脸上部加设挡石栅栏。洞口开挖时对周围岩体应尽量减少扰动。当洞口处岩体软弱、破碎，成洞条件差时，应首先进行超前加固和支护，再进行洞口开挖。

5.2.4 地下洞室进口施工宜避开降水期和融雪期。进洞前，应完成洞口排水系统，并对洞脸岩体进行鉴定，确认稳定后，方可开挖洞口。

5.2.5 地下洞室洞口段开挖，可根据地下洞室的工程规模、地形、地质条件选择下列方法：

1 小断面以下(含中断面)规模洞室，当岩体较为完整，其围岩类别为Ⅰ～Ⅲ类时，可采用全断面开挖，开挖后除进行支护外，必要叫还应对其进口段采用混凝土衬砌；当围岩类别为Ⅳ类或Ⅴ类时，可采用短进尺和分部开挖方式施工，每部分开挖后立即进行临时支护，待全断面形成后，可视围岩与临时支护的稳定状态适时进行锁口。

2 大断面以上(含大断面)规模洞室洞口开挖，宜采用分部开挖，开挖后立即实施临时支护，并根据围岩情况和构造采取加固措施。

5.2.6 位于河水位以下的隧洞进、出口，应按施工期防洪标准设置围堰或预留岩坎，在围堰或岩坎保护下进行开挖。需要采用岩塞爆破方法形成洞口时，应进行专门论证。

5.2.7 若洞口布置的水工建筑物对建基面有承载力要求，当进口开挖至接近建基面时，应按 SL 47—94 的有关规定开挖及处理。

5.3 平洞开挖

5.3.1 在Ⅰ～Ⅲ围岩中，当开挖洞径小于 10m 时，宜采用全断面

开挖方法；当开挖洞径在 10m 及 10m 以上时，可采用台阶法开挖。

5.3.2 在Ⅳ类围岩中，当开挖断面为中断面以上时，宜采用分部开挖，开挖后应立即进行临时支护。

5.3.3 在Ⅴ类围岩中开挖平洞时，应按本标准第 5.7 节、5.8 节、9.4 节和 9.5 节的规定执行。

5.3.4 平洞开挖的循环进尺可根据围岩类别和施工机械等条件选用下列数值：

1 Ⅰ～Ⅲ类围岩，采用手风钻造孔时，循环进尺宜为 2.0～4.0m；采用液压单臂或多臂钻造孔时，循环进尺宜为 3.0～5.0m。

2 Ⅳ类围岩，循环进尺宜为 1.0～2.0m。

3 Ⅴ类围岩，循环进尺宜为 0.5～1.0m。

4 循环进尺应根据监测结果进行调整。

5.4 竖井与斜井开挖

5.4.1 倾角小于 30°的斜井，可采用自上而下全断面开挖；倾角为 30°～45°的斜井，可采用自上而下全断面开挖或自下而上开挖，若采用自下而上开挖时，应有扒渣和溜渣措施；倾角大于 45°的斜井和竖井，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。

5.4.2 竖井与斜井采用自上而下全断面开挖时，应遵守下列规定：

1 必须锁好井口，确保井口稳定，并采取措施防上杂物坠入井内；对于露天竖井与斜井，应设置不小于 3m 宽的井台；边坡与井台交接处应设置排水沟。

2 当竖井深度等于或大于 30m 时，应设置专门运送施工人员的提升设备，提升设备应专门设计；深度小于 30m 的竖井和倾角大于 45°的斜井，应设置带防护栏的人行楼梯或爬梯。

3 涌水和淋水地段，应有防水、排水措施。

4 当井壁存在不利的节理裂隙组合时，应加强支护。

5 Ⅳ、Ⅴ类围岩地段，应及时支护。开挖一段，支护或衬砌一段，必要时应在采用预灌浆的方法对围岩进行加固后再开挖。

5.4.3 当采用贯通导井后再自上而下进行扩大开挖时，除应遵守本标准 5.4.2 条规定外，还应满足下列条件：

1 直径不小于 10m 时，宜采用机械扒渣。若人工扒渣时，山井壁到导井口，应有适当的坡度。

2 应采取有效措施，防止导井堵塞和发生人员坠落事故。

3 在竖井、斜井与平洞连接处，应将连接段加固后再开挖。

5.4.4 在Ⅰ、Ⅴ类围岩中开挖小断面竖井，可采用吊罐法、爬罐法或反井钻机法自下而上全断面开挖。

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

5.4.6 在Ⅰ、Ⅱ类围岩中，开挖中断面以上的竖井时，可采用先挖导井再自上而下扩大开挖的施工方法，导井断面宜为 4～5m^2。导井开挖可选择下列方法施工：

1 普通法：

1) 正井法，即自上而下开挖，使用卷扬机提升出渣；适用于深度小于 50m 的导井开挖，亦可用于围岩稳定性差的竖井开挖。

2) 反井法，即自下而上搭设排架或在洞壁上安装锚杆形成登高平台，手风钻钻孔爆破成井；适用于围岩稳定性较好，深度小于 50m 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；适用于深度小于 50m 的导井开挖。

3 吊罐法：适用于深度为 30～100m 的竖井，其中心孔的偏斜率不应大于 1%。

4 爬罐法：适用于深度不小于 50m 的导井开挖。

5 反井钻机法：适用于中等强度岩石、深度小于 250m、倾角不小于 50°的斜导井和深度小于 300m 的竖导井开挖。

5.5 特大断面洞室开挖

5.5.1 对于开挖跨度大于 25m，开挖高度大于 50m 的特大断面洞室，设计单位应在洞室开挖前进行技术交底，施工单位应根据有关资料，编制详尽的施工组织计划，并制定切实可行的安全保障措施。

5.5.2 特大断面地下洞室应采用分层开挖方式施工，其分层数目及分层台阶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等综合确定。一般情况下，分层开挖高度可取 6～9m，最大不宜超过 10m。对于高应力区，应适当减小分层开挖高度。

5.5.3 地下厂房宜采用自上而下逐层开挖的程序施工，各层的开挖应遵守下列原则：

1 顶部宜采用先开挖导洞，然后向两侧扩挖，导洞的位置及尺寸可根据地质条件和施工方法确定。若围岩稳定性较差时，导洞开挖后可边扩挖、边支护、边衬砌。拱部应在按设计要求加固完成后，再进行下层开挖。

2 中、下部岩体可按分层高度逐层开挖，各层开挖宜采用深孔梯段爆破。轮廓线处采用预裂爆破，或两侧预留保护层。

3 各层开挖出渣的运输通道，可利用永久交通洞、通风洞、母线洞、引水洞或尾水洞等，需要时再布置施工支洞。

5.5.4 在Ⅰ～Ⅲ类围岩中开挖特大断面洞室，可采用先拱后墙法施工；对于Ⅳ～Ⅴ类围岩，宜采用先墙后拱法开挖和衬砌，边墙和顶部导洞的布置可根据工程条件和围岩稳定情况确定。

5.5.5 当特大断面洞室设有拱座，采用先拱后墙法开挖时，应注意保护和加固拱座岩体。拱脚下部的岩体开挖，应符合下列条件：

1 拱脚下部开挖面至拱脚线最低点的距离不应小于 1.5m。

2 顶拱混凝土衬砌强度不应低于设计强度的 75%。

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

5.5.7 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，以确保岩体稳定。相邻两洞室的开挖程序，宜采取间隔开挖，开挖后应立即支护并加强监测。

5.5.8 特大断面洞室围岩永久性观测设备应在开挖后及时安设。

5.6 特殊部位开挖

5.6.1 地下厂房岩壁吊车梁、岩台吊车梁、高压岔管、拱脚及相邻处的边墙、岩塞和在成型后的高墙上开挖洞口等，属特殊部位的开挖，应做专门设计。

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

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

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

5.6.5 特殊部位开挖，保护层厚度不宜小于 2m。

5.6.6 分层开挖时，岩壁吊车梁最低点距所在开挖层面的高度宜控制在 2m 以上。开挖均应采用光面爆破技术。

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

5.7 软岩洞段开挖

5.7.1 在岩石饱和单轴抗压强度低于 15MPa 的软岩和岩石饱和

单轴抗压强度低于 5MPa 的极软岩中进行地下开挖时，其开挖方法应根据围岩的稳定程度，采用不扰动围岩或少扰动围岩的开挖方法。

5.7.2 在软岩洞段采用爆破方法开挖时，应进行专门的爆破设计。开挖前应进行专门的爆破试验，确定爆破参数，尽可能的减少爆破对围岩的扰动，保证围岩稳定。

5.7.3 在极软岩洞段，宜采用机械松动围岩，人工修整轮廓面的非爆破方式开挖。

5.7.4 软岩和极软岩洞段开挖，应严格控制开挖进尺。软岩洞段开挖进尺不宜超过 l.5m；极软岩洞段开挖进尺不宜超过 1.0m，有地下水的洞段还应缩短开挖进尺。

5.7.5 软岩和极软岩洞段应采用分部开挖，分部开挖面沿洞轴线的距离宜为 3～5m。每部位开挖后应立即进行临时支护，支护完成后方许可进行下一循环或下一分部的开挖。

5.7.6 软岩和极软岩洞段开挖，应视围岩变形大小，在设计开挖线之外适当预留变形量，以保证永久衬砌结构的设计尺寸。

5.7.7 稳定性极差的极软岩洞段，开挖前应进行超前支护，在超前支护的保护下进行开挖。

5.7.8 在软岩和极软岩洞段开挖与一次支护施工过程中，应布置施工期安全监测仪器，根据监测结果调整施工方法、开挖循环进尺、预留变形量大小和临时支护参数。

5.7.9 应根据开挖与一次支护后围岩稳定情况，确定永久衬砌实施时间与永久衬砌的施工方法。

5.8 不良地质条件洞段开挖

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

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

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

1 当隧洞穿过岩溶洞穴，岩溶洞穴较大且没有充填物时，可采用填渣、架桥等方式通过，此时隧洞衬砌可按明管设计。

2 当溶洞中有松散、破碎充填物时，其底部可采用桩基、注浆加固等措施，洞身部位可按 5.8.2 条规定进行开挖施工。

3 当洞穴中有地下水时，应根据地下水位、洞穴之间地下水连通情况、补水来源，采用排、堵、截等方案。必要时可采用弱透水材料回填、水泥灌浆等截、堵措施。

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

5.8.5 高地应力区段的开挖，应采用逐渐卸荷的方法施工，其具体措施为：

1 根据地应力大小、主应力方向、设计洞室开挖形状，采用光面爆破技术，控制开挖面的轮廓尺寸，以改善洞室周边的应力分布状况。

2 采用分部开挖方式，减缓应力释放量值，避免应力突然释放。

3 及时清除浮石，经常喷雾洒水，增设防护网。

4 及时以短锚杆、钢筋网，钢纤维喷射混凝土或树脂纤维喷射混凝土封闭岩面。

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

1 当地下水丰富，涌水量较大时，可采用在掌子面或涌水处布置超前钻孔，将水集中引排，降低开挖面渗水量。

2 截断补给来源，降低地下水位。

3 利用侧导洞、集水井或平行支洞排水。

4 对围岩进行灌浆，降低围岩的渗透性或形成阻水帷幕。

5.8.7 采用预灌浆阻水方案时，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，应根据渗水及涌水情况做专门设计。

2 预灌浆效果可用单位透水率或岩体声波波速和胶结的岩体强度值检验。

3 灌浆后的施工，应按短进尺、弱爆破、快支护、早衬砌的原则进行，中断面以上洞室应采用分部开挖，爆破药量应通过试验确定。

4 采用分段法进行顶灌浆时，其阻浆段长度应根据灌浆压力与效果确定。

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

1 先加固好端部未破坏的支护或岩体。

2 加固处理措施与永久支护或衬砌相结合。

3 塌落物未将洞室堵塞时，应先支护或加固顶部。当确认顶部已稳定时，再清除塌落物。

4 塌落物已将洞室堵塞时，宜采用管棚或管棚加注浆等方法加固，然后再边开挖、边支护或边衬砌。

5 发生冒顶式塌方时，应首先加固好地表塌方区域周围岩体，并做好排水，防止塌方范围扩大。对塌落物应进行灌浆固结，再按上述要求有计划的清除塌落物。

6 有地下水活动的地段，应先治水后处理塌方。

5.9 施工支洞

5.9.1 施工支洞的设置，应根据地下建筑物的布置、工程量、总进度、地形、地质条件、施工方法、施工道路布置及施工机械等因素经技术经济比较确定，并应遵守下列规定：

1 采用钻孔爆破法开挖时，支洞的间距宜小于 3km。

2 竖井与斜井的施工支洞，高差宜小于 200m。

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，应利用永久隧洞作为施工支洞，或从永久隧洞内分岔设置施工支洞，必要时可另设施工支洞。

5 可利用地质探洞等其他已有洞室作为施工支洞。

5.9.2 施工支洞布置应遵守下列规定：

1 沿洞线的地质条件较好。

2 洞线短。

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 洞口高程满足相应的防洪标准。

7 尽量利用荒地，少占农田和林地，并减少对环境的破坏。

5.9.3 施工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 左右宜布置一个错车道。

5.9.4 支洞洞线宜与主洞正交，必须斜交时其交角不应小于 45°。交叉口应满足运输线路最小转弯半径的要求。有条件时，支洞应以 3‰的坡度向洞外倾斜。

5.9.5 必须采用竖井或斜井作为施工支洞时，除应遵守本标准 5.4 节的规定外，还应遵守下列规定：

1 斜井的倾角不宜大于 25°，井身纵断面不宜变坡与转弯，下水平段长度不宜小于 20m。

2 竖井可布置在隧洞轴线上或其一侧。当布置在隧洞的一侧时，与隧洞的净距宜为 15～20m。

3 斜井或竖井井底应布置回车场及集水井。

4 斜井的一侧应设置宽度不小于 0.7m 的人行道。

5 竖井内应设牢固、安全的爬梯。

5.9.6 施工支洞与主洞交汇处，应进行加固处理，以保证围岩稳定。

5.9.7 在下列情况下，可设置与主洞平行的施工支洞：

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。

5.9.8 与主洞平行的施工支洞可按下列原则布置：

1 与主洞的中心距不宜小于 3 倍主洞直径，支洞底应低于主洞底 0.2～0.6m。

2 横通道间距应按施工需要确定，一般情况下不宜小于 120m。

3 施工支洞宜设在地下水流向主洞的一侧。

6 钻 孔 爆 破

6.1 钻孔爆破设计

6.1.1 地下洞室采用钻孔爆破法开挖时，必须遵守 GB 6722—2003 的有关规定。

6.1.2 地下洞室设计轮廓线的开挖，应采用光面爆破或预裂爆破技术。

6.1.3 开挖施工前，应进行爆破参数的试验。爆破参数可采用工程类比法或参照附录 D 选取。

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

1 掏槽方式：应根据开挖断而大小、围岩类别、钻孔机具等因素确定。若采用中空直眼掏槽时，应尽量加大空眼直径和数目。

2 炮孔布置、深度及角度：炮孔应均匀布置；孔深应根据断面大小、钻孔机具性能和循环进尺要求等因素确定；钻孔角度应按炮孔类型进行设计，同类钻孔角度应一致，钻孔方向可按平行或收放等形式确定。

3 装药量：应根据围岩类别确定。任一炮孔装药量所引起的爆破裂隙仲入到岩体的影响带不应超过周边孔爆破产生的影响带。应选用合适的炸药，特别是周边孔应选用低爆速炸药或采用间隔装药、专用小直径药卷连续装药。

4 确定堵塞方式。

5 起爆方式及顺序：宜采用塑料导爆管、非电毫秒雷管，根据孔位布置分段爆破，其分段爆破时差，应使每段爆破独立作用；周边孔应同时起爆。

6 当施工现场附近存在相邻建筑物、浅埋隧洞或附近有重点

保护文物时，应按其抗震要求进行专项设计，并进行爆破震动控制计算。

7 绘制炮孔布置图。

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

6.1.6 普通钻孔爆破，钻孔直径不宜大于 50mm；深孔梯段爆破，钻孔直径不宜大于 100mm。

6.1.7 特殊工程部位的爆破开挖，应按设计要求进行专项钻孔爆破设计。

6.1.8 特大断面洞室中、下部开挖，宜采用深孔台阶钻孔爆破法施工。其钻孔爆破设计应满足下列要求：

1 周边轮廓应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显。

4 按分层高度造孔，其单孔药量不应超过允许值，开采用孔间微差顺序起爆技术。

5 爆破石渣的块径大小和爆堆，应适合装渣机械作业。

6.2 钻孔爆破作业

6.2.1 钻孔爆破作业，应按照批准的爆破设计图进行。

6.2.2 爆破孔深度应满足开挖循环的进尺要求。开挖循环进尺可按本标准 5.3.4 条确定。

6.2.3 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 周边孔沿轮廓线调整的范围和掏槽孔的孔位偏差不宜大于 150mm，其他炮孔的孔位偏差不宜大于±100mm。

3 炮孔的孔底应落在爆破图所规定的平面上。

4 炮孔方向应符合设计要求，钻孔过程中，应经常进行检查，

对周边孔和预裂爆破孔应控制好钻孔角度。

6.2.4 炮孔的装药、堵塞和引爆线路的连接，应由取得爆破员资质的作业人员持证上岗，按爆破设计图进行施工。

6.2.5 炮孔检查合格后进行装药，炮孔堵塞应密实。

6.2.6 引爆方法可按下列情况确定：

1 宜优先采用塑料导爆管、非电毫秒雷管引爆；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、非电毫秒雷管引爆。

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。

6.2.7 光面爆破和预裂爆破的效果，可按下列标准检验：

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：完整岩石等于或大于 80%，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 相邻两孔间的岩面应平整，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 200mm。

4 预裂爆破后应形成贯穿连续性的裂缝。

6.3 爆破试验与监测

6.3.1 施工前应进行爆破试验。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 火工材料性能试验。

2 爆破参数及爆破方法试验。

3 光面爆破、预裂爆破参数试验。

4 测定地震波的衰减规律。

5 测定爆破影响深度。

6 爆破震动试验。

对于小型工程，爆破试验可以结合开挖施工进行。

6.3.2 爆破试验应由具有爆破资质的单位进行。爆破试验所使用的仪器，应经计量部门检定。

6.3.3 特大断面洞室和地下洞室群，在施工过程中应开展爆破效果的监测。爆破监测可采用宏观调查与仪器监测相结合的方法进行，爆破监测的主要内容应根据工程规模和安全要求确定，其主要内容为：

1 检测岩体松动范围。

2 监测爆破对邻洞、高边墙、岩壁吊车梁的振动影响。

3 爆破区附近的岩体变化情况。

6.3.4 爆破监测可采用地震波法、声波法或压水试验法。爆破监测以监测质点振动速度为主，监测方法应按附录 E 的规定执行。

6.3.5 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。监测结果应作为工程竣工验收的备查资料。

7 掘 进 机 开 挖

7.1 一般规定

7.1.1 符合下列条件的地下洞室，宜采用全断面岩石掘进机开挖：

1 洞室断面为圆形、开挖直径为 3～12m、掘进长度不小于 10km。

2 岩体物理力学指标及构造较均匀、岩石单轴饱和抗压强度小于 200MPa、岩溶不发育、地下涌水量较小。

3 无开挖施工支洞及竖井条件。

7.1.2 采购掘进机时，应向掘进机制造厂商提供详细的地质资料，选用的掘进机应适应工程可能遇到的地质条件和地层岩性。

7.1.3 开始掘进之前，施工单位应根据建设单位提供的地质资料和设计文件编制施工组织计划，并应根据可能遇到的不良地质条件制定可靠的技术保障措施。

7.1.4 参与掘进机操作和相应管理的人员，其专业组成应配套齐全，并经专门培训合格后持证上岗。

7.2 掘进机选择

7.2.1 在较为完整的坚硬或中等坚硬岩体中开挖隧洞时，宜采用开敞式掘进机开挖；在完整性较差，中等坚硬或软弱的岩体中开挖隧洞时，宜采用双护盾式掘进机开挖；在砂层或饱和土层中开挖隧洞时，宜采用盾构式掘进机开挖。

7.2.2 全断面岩石掘进机的性能应满足下列要求：

1 应具备精确的导向功能和调整方向的能力，并能及时纠正运行的偏差，以保证隧洞轴向和坡度在设计允许的范围内。

2 应具有数据采集系统，能够存储信息，记录掘进机工作状态和参数等功能。

3 应具有超前钻探功能，超前钻探深度宜不小于 20m。

4 应具有超前加固围岩和超前灌浆功能，以保证掘进机能够顺利通过不良地质洞段。

5 应具有调节开挖直径的功能，遇到刀头磨损严重，隧洞开挖后变形较大等情况时，开挖洞径仍能控制在设计允许误差之内。

6 掘进机的最大推力、最大扭矩、刀盘转速、掘进速度等参数的选择应留有余地，刀盘应具有反转功能。

7 直径较大的刀盘应适当分块并设置进入口，便于运输和进入工作面检修。

8 应具有粉尘和环境保护的控制设施，并应配备清除洞壁岩粉、清洗洞壁的设备。

9 应配备满足地质编录和超前地质预报需要的仪器和设备。

10 开敞式掘进机应配备喷射混凝土泵、锚杆钻机、钢拱架及钢筋安装机等设备。

11 当选择预制钢筋混凝土管片衬砌方案时，应配备便于管片快速、准确、平整安装的设备，同时还应配备充填 5～10mm 专用骨料和灌浆的设备。

12 应配备相应的检测设备，以满足掘进、支护、衬砌和回填灌浆等施工质量检测的需要。

7.2.3 在施工现场，掘进机使用的刀具及易损件应有充足的储备，便于及时更换和维修。

7.2.4 在开始掘进之前，应将有关掘进机的安装使用说明、掘进机的性能、技术指标、机械、电气、液压系统的维护、保养等资料报送监理单位。

7.3 掘进机开挖作业

7.3.1 掘进机开始作业之前，应进行整体试运转，运转正常后方

可进洞掘进。操作人员应严格按操作规程作业。每天开始掘进前，应对所有设备和部件进行例行检查和维护；每周还应对主要部件和系统进行全面检查和维护。

7.3.2 掘进机起步洞室、检修洞室、拆卸洞室或超过一定长度的岩体软弱洞段，宜按常规钻孔爆破法开挖和进行支护，并应满足掘进机安装及安全通过要求。

7.3.3 采用掘进机开挖的隧洞，洞轴线的水平允许偏差为±100mm，洞底高程允许偏差为±60mm，隧洞开挖轮廓线的允许偏差应满足设计要求。

7.3.4 施工单位应对开挖后的实际断面尺寸进行跟踪测量，对掘进后的洞段应及时进行地质编录。

7.3.5 施工单位每天应填写反映掘进机工作情况的日报表，日报表中应有下列主要内容：

1 每天掘进机开挖的起止桩号。

2 所掘进的洞段开挖轮廓线、高程和洞轴线偏差的检查结果。

3 掘进机的实际运行参数。

4 机械故障及维修的详细情况。

5 替换刀具的位置及清单。

6 安装管片衬砌的长度及其安装质量。

7 洞内各类人员和设备投入数量。

8 开挖洞段的地质条件，所遇到的特殊地质问题，并出具相应的检测数据和处理措施。

7.3.6 掘进机开挖的石渣，应通过与掘进机配套的出渣系统送至洞外，出渣设备的输送能力应满足掘进机最大生产能力的要求。可选用连续胶带机或有轨矿车等出渣方案。

7.3.7 通风系统应进行专门设计，工作面附近的风速应不低于0.25m / s，其他要求应符合本标准 11.2 节的规定。

7.3.8 使用掘进机开挖，应保证有足够、稳定的电力供应。

7.4 衬砌施工

7.4.1 采用掘进机开挖的隧洞，应根据围岩地质条件，通过技术经济比较确定衬砌型式。可采用现浇混凝土衬砌、喷射混凝土衬砌或锚杆、钢筋网喷射混凝上衬砌，也可采用预制钢筋混凝土管片衬砌。

7.4.2 采用现浇混凝土衬砌的隧洞，衬砌应在隧洞贯通后或掘进机开挖一定距离后进行，衬砌设计应按 SL 279—2002 的规定执行，衬砌施工应按 SDJ 207—82 的规定执行。

7.4.3 采用喷射混凝土或锚杆、钢筋网喷射混凝土衬砌时，衬砌应紧跟开挖面进行，衬砌设计与施工应按 GB 50086—2001 和 SL 377—2007 的规定执行。

7.4.4 采用钢筋混凝土预制管片衬砌方案时，管片结构应进行专门设计，底部管片宜设置底座。

7.4.5 管片应由预制工厂生产，出厂前进行编号，验收合格后方可运至现场，使用管片拼装机进行拼装。

7.4.6 管片安装误差，可按下列要求控制：

1 管片径向安装误差为±20mm。

2 管片接缝处最大起伏差为±5mm。

7.4.7 管片周边的内侧应敷设膨胀性或复合性橡胶止水条，必要时内侧还应设明止水。管片接缝应用不低于管片强度等级的聚合物砂浆进行勾缝处理。

7.5 回填灌浆

7.5.1 管片安装后，应在预制混凝土管片与围岩的缝隙中充填经过筛选和清洗、符合 GB / T 14685—2001 质量要求、粒径为 5～10mm 的专用骨料，并进行灌浆。经论证也可灌注水泥砂浆。

7.5.2 灌浆材料宜选用强度级别不低于 32.5 普通硅酸盐水泥。硫酸根离子超标的地下水地段，应选用抗硫酸盐水泥或采取其他措

施。水泥质量应符合 GB 175—1999 的规定。

7.5.3 回填灌浆 28 天结石强度等级应大于 15MPa，渗透系数应小于，1.0×10^{-5}cm / s。

7.5.4 灌浆工作实施之前应进行现场灌浆试验，根据试验结果确定灌浆参数和施工工艺。

7.5.5 灌浆过程中应严格执行有关技术标准，以保证灌浆饱满。施工过程中应做好记录。

7.5.6 灌浆 7 天之后，应采用钻孔注浆的方式对灌浆效果进行检查。每 100m 可设一组检查孔，每组不宜少于 4 个钻孔，其中顶拱、仰拱和左右边墙各一个。检查方法为：向钻孔内注入水灰比为 2∶1 的浆液，在规定压力厂，初始 10mim 内注入量不超过 10L 为合格。

8 出 渣 与 运 输

8.1 一般规定

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

8.1.2 开挖的石渣用于其他建筑物作为建筑材料时，石渣的堆放应遵循下列原则：

1 场地容量应满足石渣堆放需要，尽量避免二次倒运。

2 不同用途的石渣应分别堆放。

3 石渣堆放应满足稳定要求，不应影响附近各种设施的安全。

8.1.3 弃渣场地的选择与弃渣的堆放应遵循下列原则：

1 符合环境保护、水土保持要求，不占或少占农田，有条件时应结合造地。

2 弃渣场的可用表土应单独堆存留用。

3 不应占用其他工程场地，不应影响附近各种设施的安全。

4 不应侵占主河道、抬高河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 弃渣场应保持自身稳定，并应做好排水，必要时应分层碾压。

6 弃渣场宜配备平渣设备，并有专人指挥卸渣。

8.1.4 在出渣线路交叉道口处，应有指示牌、明显的安全标志和防护设施。

8.2 有轨出渣运输

8.2.1 中、小断面洞室出渣，宜采用有轨运输方式。当使用机车牵引时，应优先采用电瓶机车。

8.2.2 采用装岩机装渣时，应使轨道紧跟开挖面，调车设施亦应及时向前移动。有条件时宜优先采用梭式矿车等配套设备，连续装渣。

8.2.3 洞内运输宜设双车道。如用单车道时，应设错车道，其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 线路应经常养护，路基应稳定。

8.2.5 机车在洞内行驶的时速不宜大于 10km / h；调车或在人员稠密地段行驶时，时速应小于 3km / h；通过弯道、道岔或视线不良地段，时速不应大于 5km / h。

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，应鸣号，鸣号间隔时间不应大于 15s。

8.3 无轨出渣运输

8.3.1 在开挖断面、通风条件、运输距离允许时，可采用装载机或挖掘机配自卸汽车出渣运输方式。

8.3.2 出渣道路、路面宽度应按所选用的设备型号和车型确定。

8.3.3 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，一般情况下不宜大于 9%，最大纵坡限长为 150m，会车视距不宜小于 40m；局部最大纵坡不宜大于 14%。路面应保持平整且有良好的排水设施，并设专人维护，定期保养。运输量大的隧洞，有条件时宜采用混凝土路面。

8.3.4 出渣道路两侧不宜堆放施工器材和建筑材料。供水、供风、通风，供电、照明线路应布设整齐，不影响运输车辆通行，并满足安全要求。

8.3.5 利用永久性建筑物的混凝土衬砌面作为运输通道时，应对混凝土表面进行保护。

8.3.6 汽车在洞内行驶时，时速不宜大于 10km / h。

8.4 斜井、竖井出渣运输

8.4.1 斜井、竖井出渣运输，提升设备的钢丝绳安全系数应符合下列规定：

1 用于载人的升降机、吊篮绳，其安全系数不应低于 14。

2 用于绑扎起重物的绑扎绳，其安全系数应为 6～10。

3 升降物料的升降机，其安全系数不应低于 6.5。

8.4.2 竖井吊罐及斜井运输车牵引绳，应有断绳保险装置。

8.4.3 斜井若采用卷扬机出渣运输，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 轨道斜坡段与平直段应以竖曲线连接，在竖曲线与平直段相接处应设倒坡，并在适当位置设置能够控制溜车的挡车装置。

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，一般情况下不宜大于 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应小于 300mm。

6 斜井中每间隔 100m 左右应设置避车洞。

8.4.4 斜井若采用泄槽溜渣时，应根据斜井倾角确定泄槽形式，并采取严格的安全保护设施。

8.4.5 竖井若采用吊罐出渣时，井架、起吊设备应专门设计，并应符合下列规定：

1 井深大于 40m 时，应设吊罐导向装置。

2 吊罐装渣重量不应超过设计值。

8.4.6 吊罐升降速度应遵守下列规定：

1 井深小于 40m，无导向设备时，不应超过 0.7m / s。

2 井深为 40～100m，沿导向设备升降时，不应超过 1.5m / s。

3 井深大于 100m，沿导向设备升降时，不应超过 3m / s。

8.4.7 斜井和竖井运输，应有可靠的通信和信号联系，信号应声、光、电兼备。

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

8.4.9 深度大于 30m 的竖井，应设专门的载人吊罐。载入吊罐载入时，不应装运其他物品。

8.4.10 竖井内应设置人行爬梯，每 10～15m 应设置休息平台，人行爬梯应设置护栏。

8.4.11 井口应设阻车器、安全防护栏或安全门。

8.4.12 斜井，竖井自上而下扩大开挖时，应有防止导井堵塞和人员坠落的措施。

8.4.13 各项提升设施应经安全部门鉴定并签发合格证后方可使用。

9 临 时 支 护

9.1 安全技术

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

9.1.2 临时支护结构可根据围岩类别、断面尺寸及开挖方法按GB 50086—2001的规定进行结构设计。

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

9.1.4 应按设计要求，开展施工期的安全监测工作。现场安全监测应与施工同步进行。对大断面洞室和特殊部位宜进行长期监测。施工期的安全监测应按本标准第10章的规定执行。

9.1.5 临时支护应能适应永久性衬砌的要求，并尽可能使临时支护结构作为永久性衬砌的一部分。

9.2 锚喷支护

9.2.1 锚喷支护类型应根据围岩条件、断面尺寸、施工方法，通过工程类比或现场监测结果确定。支护参数可按照SL 377—2007的规定选定。

9.2.2 锚喷支护施工应遵守下列原则：

1 根据开挖后的围岩稳定状况，确定锚喷支护顺序与时机。对变形超限的部位应加强支护，其支护型式与参数应根据变形大小确定。

2 施工前，应通过试验确定喷射混凝土施工使用的配合比；施工过程中，应保证其强度、厚度和均匀性满足规范要求。

3 锚杆注浆应密实。

4 锚杆的锚固强度及围岩与喷层之间的黏结强度应符合设计要求。

5 分次施作同一断面的支护结构应相互连接，其整体性应满足围岩稳定的要求。

6 对破碎、易风化、遇水易膨胀等岩体，应及时封闭岩面。

7 对地下水发育地段，应采取排水措施。

8 各种支护措施的施工应遵守 SL 377—2007 的规定。

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

9.2.4 施工前，应根据工程实际情况、施工队伍水平和经验制定具体可操作的施工规程，并根据 SL 377—2007 的规定制定质量标准和验收办法。

9.3 拱架支撑与锚喷联合支护

9.3.1 拱架支撑与锚喷联合支护应在Ⅳ、Ⅴ类围岩中使用，拱架支撑结构应根据开挖断面、开挖方式和围岩稳定条件等因素进行设计，并在加工厂制作。

9.3.2 拱架支撑间距应根据开挖后围岩条件与开挖循环进尺确定。

9.3.3 拱架支撑应沿实际开挖轮廓线紧贴开挖面安装，与围岩之间的空隙应立即用喷射混凝土充填。空隙较大部位应以Φ25 钢筋支撑于岩面，再分次喷射混凝土直至充填饱满。

9.3.4 拱架支撑的安装应符合下列规定：

1 每榀拱架支撑拼装后应具有整体性，接头应牢固可靠，各排之间应使用剪力撑、水平撑或连接筋连接。

2 每榀拱架支撑应保持在同一平面上，并与洞轴线正交。

3 拱架支撑的柱脚应置于完整的岩面上。在斜井中安装拱架支撑时，应开挖出柱脚平台，地层软弱时应加设垫墩。

4 拱架支撑应与锚杆、喷射混凝土的钢筋网连接。

5 拱架支撑应置于永久衬砌断面之外。若需侵占衬砌断面时，应与设计单位商定。由于侵占永久衬砌断面需要拆除时，应采取可靠的安全措施。

6 拱架支撑在加工厂制作完成后，应按金属构件加工要求及时组织验收，并出具合格证，再运至施工现场安装使用。

9.3.5 斜井拱架支撑安装时，除应满足本标准 9.3.3 条规定外，还应遵守下列规定：

1 应加设纵梁或斜撑，防止格栅支架下滑。

2 当斜井倾角不小于 30° 时，拱架支撑连接宜用夹板；倾角不小于 45° 时，拱架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 柱腿与基岩应结合稳固。

9.4 软岩洞段的临时支护

9.4.1 软岩洞段的地下洞室，应在开挖后立即进行临时支护，临时支护应确保围岩稳定。

9.4.2 临时支护的施工应遵守下列规定：

1 施工前，应根据围岩稳定条件编制安全施工预案。

2 支护设计与施工，应根据地质预报和监测结果进行。

3 根据围岩自稳能力确定是否需要超前支护。

4 采用分部开挖的地下洞室，应实行分部支护，上部分洞室的支护完成后，方可进行下部分洞室开挖。

9.4.3 施工过程中，除应按设计要求进行支护外，还应根据围岩特性，对可能出现的局部不稳定部位增设随机布置的拱架支撑或锚杆。应准备一定数量的抢险材料，以应付突然发生的围岩塌滑。

9.4.4 当有地下水时，底板应及时采用早强混凝土进行封闭。底板厚度由地下水发育程度和围岩条件确定，并不应侵占永久性衬砌断面。

9.4.5 临时支护后，应根据临时支护与围岩的变形大小和支护的稳定状况，确定永久性混凝土衬砌的时间和施工方法。

9.4.6 对于围岩与一次支护变形特大、已侵占了永久性衬砌断面的一次支护，应视其变形大小，确定采用凿除或拆除的处理方法。当采用拆除处理方法时，应制定拆除与加固方案，并应按先加固、后拆除和分部处理原则进行。

9.4.7 软岩洞段开挖与支护后，应加密布置施工期安全监测断面，增加观测频次，及时通报监测结果；遇有异常情况，应立即启动安全施工紧急预案，及时采取加固措施。

9.5 不良地质条件洞段的临时支护

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

9.5.2 应按照监理工程师批准的支护方案，准备充足的支护材料。

9.5.3 在特大断面的地下洞室中，对影响围岩稳定的内部结构面可采用顶应力锚杆(索)进行加固。预应力锚杆(索)的设计与施工，应遵守 SL 212—98 和 SL 46—94 的规定。

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

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

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

物。

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

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

10 施工期安全监测

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

10.0.2 观测断面应设置在有代表性的地质地段，对围岩变形大、高应力地区、膨胀性岩体，洞室交叉口、软弱破碎带及工程特殊部位应重点监测。

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

1 收敛监测及顶拱沉降监测，应使用收敛计或激光断面仪。

2 位移监测应使用多点位移计、单点位移计或钻孔测斜仪。

3 应力监测应使用锚杆应力计、预应力锚杆(索)压力传感器、钢筋应变汁。

10.0.4 观测仪器的安装和埋设应紧跟工作面，距掌子面的距离不宜大于 1.0m。有条件的工程可预先从地表或在探洞中造孔，在开挖前安装好相关的监测仪器，以获取围岩全过程的变形资料。

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

10.0.6 观测仪器安装后，应立即测定其初始数据，其后的观测频次可按下列原则确定：

1 初期应一个开挖循环或一个开挖部分完成后监测一次。

2 当变形速率明显减小时，可减少观测频次。

3 当变形数值与变形速率较大时，应加密观测频次，并及时通报。

10.0.7 应及时整理分析监测资料，绘制变形与时间、变形与开

挖进尺的关系曲线。遇有变形异常，除应对观测资料进行复核外，还应对地质条件和临时支护进行宏观调查。

10.0.8 监测部门应建立监测日报、监测周报、监测月报和异常变形紧急通报制度。各种监测报表应及时报送监理单位、建设单位、施工单位和设计单位。

10.0.9 洞室开挖或临时支护后，其变形量与围岩类别、洞室埋深和开挖的断面尺寸有关，施工过程中应控制的允许变形值可参照 GB 50086—2001 确定。

10.0.10 变形稳定标准可参照 GB 50086—2001 的规定作为判定准则，在实际使用过程中可根据本工程的具体情况进行调整。围岩稳定的基本判据为：

1 变形总量已完成允许变形量的 90%。

2 变形速率已明显下降，收敛变形速率小于 0.2mm / d，顶拱沉降变形速率小于 0.15mm / d。

10.0.11 当变形量与变形速率超过稳定标准时，应立即做出预报，采取补强措施，同时应加密监测频次，并及时提供观测成果。

10.0.12 需要进行爆破震动观测时，震动观测应遵守本标准 6.3.3～6.3.5 条的规定。

11 通风与防尘

11.1 卫生标准

11.1.1 地下洞室开挖施工过程中，洞内氧气体积不应少于20%，有害气体和粉尘含量应符合表11.1.1的规定标准。

表11.1.1 空气中有害物质的容许含量

名称	容许浓度		附注
	按体积(%)	按重量(mg/m³)	
二氧化碳(CO_2)	0.5	—	一氧化碳的容许含量与作业时间：容许含量为50mg/m³时，作业时间不宜超过1h； 容许含量为100mg/m³时，作业时间不宜超过0.5h； 容许含量为200mg/m³时，作业时间不宜超过20min； 反复作业的间隔时间应在2h以上
甲烷(CH_4)	1	—	
一氧化碳(CO)	0.00240	30	
氮氧化合物换算成二氧化氮(NO_2)	0.00025	5	
二氧化硫(SO_2)	0.00050	15	
硫化氢(H_2S)	0.00066	10	
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/m³
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	

11.1.2 开挖施工时，地下洞室内平均温度不应高于28℃，洞内风速可根据不同的洞内温度按表11.1.2进行调节。

11.1.3 当洞内作业区噪声值大于90dB(A)时，应采取消音或其他防护措施。采取措施后的噪声值仍在90dB(A)或90dB(A)以上时，

在相应噪声条件下的工作时间，不应超过表 11.1.3 的规定。

表 11.1.2　洞内温度与风速的关系

洞内温度（℃）	＜15	15～20	20～22	22～24	24～28
风速（m/s）	＜0.5	＜1.0	＞1.0	＞1.5	＞2.0

表 11.1.3　噪声及允许与其接触时间

噪声值 dB（A）	90	93	96	99
每个工作日允许与噪声接触的时间（h）	8	4	2	1

11.2　通　　风

11.2.1　地下洞室开挖施工过程中应以人为本，工作面和运输通道必须有足够的新鲜空气供应，以保证空气中氧气含量。有害气体和粉尘含量应符合表 11.1.1 的规定标准。

11.2.2　通风方式应根据地下洞室的布置、洞室规模及尺寸、施工程序、施工方法、工作面有害气体和粉尘含量及其危害程度等因素综合确定。对特大型断面洞室和特长隧洞应进行施工通风专题研究，有条件时宜选择竖井通风。

11.2.3　通风机的工作风量和工作风压应根据能有效地通风、散烟和充足的新鲜空气供应确定，宜选择可逆转的轴流式风机。

11.2.4　地下洞室开挖时需要的风量，可根据下列要求计算确定，并取其最大值：

1　按洞内同时工作的最多人数计算，每人每分钟应供应 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(每千克 2 号岩石硝铵炸药爆炸后可产生 40L 一氧化碳气体)。

3　洞内使用柴油机械时，可按每千瓦每分钟消耗 4m^3 风量

计算，并与工作人员所需风量相叠加。

4 计算通风量时，洞室通风系统漏风系数可按 1.20～1.45 选取；对于较长洞室可视洞室长度专门研究确定。

5 当洞室位于海拔 1000m 以上时，计算出的通风量应按以下规定进行修正：

1) 施工人员所需通风量乘以高程修正系数 1.3～1.5(高程低者取小值，高程高者取大值)。

2) 排尘通风量不作高程修正。

3) 爆破散烟所需风量可除以表 11.2.4 中相应的高程修正系数。

4) 洞内使用柴油机械时，所需风量可乘以高程修正系数 1.2～3.9(高程低者取小值，高程高者取大值)。

6 计算的通风量，应按最大，最小容许风速与洞内温度所需的相应风速进行校核。

表 11.2.4 高程修正系数

海拔（m）	0	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
高程修正系数	1.00	0.90	0.85	0.81	0.76	0.72	0.69	0.65	0.62	0.58
注：高程修正系数可根据海拔内插取值。										

11.2.5 工作面附近的最小风速不应小于 0.15m／s，最大风速应不大于下列规定值：

1 隧洞、竖井、斜井为 4m／s。

2 运输与通风洞为 6m／s。

3 运送人员与施工器材的井筒为 8m／s。

11.2.6 风管与风机布置应遵守下列规定：

1 风管直径应根据管内风速确定，风管材料应根据通风方式选择。

2 风管应按设计要求布设，保证通风效果最佳。

3 吊挂风管应做到平、直、紧，稳、顺。

4 尽可能减少风管接头数量。

5 一台风机不能满足风量要求时，可数台风机串联运行。

11.2.7 通风系统应设有专人负责运行、维护和管理。

11.2.8 对存在有害气体、高温等作业区，必须做专项通风设计，并设置监测装置。

11.3 防尘、防有害气体

11.3.1 地下洞室开挖时，宜采用下列综合防尘措施：

1 宜采用湿式凿岩机造孔；特大断面洞室采用潜孔钻造孔时，应配备符合国家工业卫生标准的除尘装置。

2 地质条件允许时，应利用压力水冲洗洞壁。

3 爆破后应利用喷雾器喷雾，降低悬浮在空气中的粉尘含量。

4 出渣前宜用水淋湿石渣。

5 应加强通风。

6 应配备防尘器材，做好个人防护。

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

1 应采用水泥裹砂法施工。

2 在保证顺利喷射施工条件下，应适当增加骨料含水率。

3 在距喷头 3～4m 处增加一个水环，采用双水环加水。

4 在喷射机或混合料拌和处，应设置集尘器或除尘器。

5 在粉尘浓度较高地段，应设置除尘水幕。

6 喷射混凝土的混合料中宜掺入增黏剂等掺合料。

7 应加强作业区的局部通风。

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

11.3.4 施工地段含有瓦斯气体时，应参照《煤矿安全规程》(2004

年)第二节瓦斯防治，结合实际情况制定预防瓦斯的安全措施，并应遵守下列规定：

1 定期测定空气中瓦斯的含量。当工作面瓦斯浓度超过 1.0％，或二氧化碳浓度超过 1.5％时，必须停止作业，撤出施工人员，采取措施，进行处理。

2 施工单位人员应通过防瓦斯学习，掌握预防瓦斯的方法。

3 机电设备及照明灯具均应采用防爆式。

4 应配备专职瓦斯检测人员，检测设备应定期校检，报警装置应定期检查。

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

12 辅 助 工 程

12.1 供　　风

12.1.1 供风系统应根据工程规模设置，空压机站的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，应按总体规划确定。

2 空压机站应设有备用容量，并按总容量的 30%配置，但不宜小于其中最大一台空压机的容量。

3 高寒缺氧地区应适当增加空压机站的容量。

4 使用单独的空压机站时，应按同时作业的最大用风量确定，并计入风量损失。

12.1.2 空压机站宜设置在洞口附近，并配备有防火、降温和保温设施。

12.1.3 工作面的风压应满足风动机具的工作要求，不应低于0.5MPa。隧洞较长时，应根据需要在洞内设置带有安全装置的储气罐。

12.1.4 供风管线铺设应平顺、密封良好，并经常检查维护。

12.2 供水与排水

12.2.1 施工用水的供水量应根据施工、消防和生活用水的要求确定。

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

12.2.3 工作面的水压应满足施工机械的需要，一般情况不宜小于 0.3MPa。若水压不够时，可增设加压装置。

12.2.4 供水水源应稳定，水质应符合施工用水和生活用水标准，

且应对水质定期进行检测。

12.2.5 当供水泵站设在河流岸边时，应考虑洪水影响，寒冷地区的供水系统，冬季应做好防冻设施。

12.2.6 洞口应根据地形和水文条件，做好排水设计，选择经济合理的排水设施，不应使地表水倒灌入洞内、冲刷洞口和施工道路。

12.2.7 洞内排水应符合下列要求：

1 工作面及运输道路的路面不应有积水。

2 逆坡施工时，应设置排水沟自流排水，并经常清理，必要时可设置盖板。

3 顺坡或平坡施工时，应在适当地点设置集水坑井用水泵排水。

4 排水泵的容量应比最大涌水量大 30%～50%。使用一台水泵排水时，应有与排水泵相同容量的备用水泵；使用两台水泵排水时，应有 50%的备用量。重要部位应设有备用电源。

5 寒冷地区的冬季，应防止洞口段排水沟或排水管受冻堵塞。

12.3 供电与照明

12.3.1 洞外高压供电线路应符合施工供电总体布置的要求。变压器的容量应根据施工总用电量确定。

12.3.2 为洞内供电的变压器站，宜布置在用电负荷中心，并参照下列要求确定：

1 设在洞口外不受爆破影响和施工干扰处。

2 当隧洞较短、洞口外场地允许时，可与空压机的变压器一处布置。

3 当隧洞较长、需要变压器进洞时，应选用矿山专用变压器或按电器规程设置变压器室，变压器的高压电源应用电缆引入洞内。电缆应定期进行外观检查和耐压试验。

12.3.3 洞内供电电压应符合下列规定：

1 宜采用 380 / 220V 三相四线制。

2 动力设备应采用三相 380V。

3 隧洞开挖、支护工作面可使用电压为 220V 的投光灯照明，但应经常检查灯具和电缆的绝缘性能。

12.3.4 掘进机和其他高压设备的供电电压，应按设备要求确定。

12.3.5 高寒缺氧地区施工变电站的电器设备，应选用提高一个电压等级的设备，并选用高原型产品。

12.3.6 线路末端的电压降不应超过 5%。

12.3.7 洞内供电线路的布设应符合下列规定：

1 位置固定的动力线与照明线路必须采用绝缘良好的导线整齐排列，并固定在 1.8m 以上高度的洞壁上。严禁使用裸导线，同时还应满足线路架设的有关规定。

2 工作面附近的临时动力线及照明线，应使用防水与绝缘性能良好的优质电缆。

3 电力起爆主线应与照明及动力线分两侧架设。

12.3.8 洞内与洞外的配电盘应采用专用产品，并封闭使用，必要时应配锁。

12.3.9 洞内照明灯应采用防水灯头，淋水地段应采用防水灯罩。

12.3.10 地下洞室的施工作业区，运输通道应有足够的照明度，可按照表 12.3.10 的规定布置照明设施。

表 12.3.10 各施工作业区照明度参照表

序号	名　　称	照明度（Lx）
1	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
3	地下作业区和地弄	50
4	混凝土浇筑区、加油站、现场保养站	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

表 12.3.10（续）

序号	名　　称	照明度（Lx）
7	存在交叉运输或其他危险条件的运输道路	50
8	施工工厂	110
9	室内、仓库、走廊、门厅、出口过道	50

12.4　其他辅助设施

12.4.1　施工单位应视工程规模和施工作业区附近的医疗设施条件设置急救站，并应备有担架、氧气、带氧防毒面具、交通车辆及其他急救用品。

12.4.1　工区内应有浴池，并应根据需要设有衣物烘干室和理疗卫生设施。

12.4.3　修理车间及临时工具、材料库应在洞外设置，当必须设在洞内时，应有安全防火设施和相应的规章制度。

12.4.4　洞内、洞口，井口不应存放易燃物品，不应明火燃烧。

12.4.5　洞内电、气焊作业区，应设有防火设施和消防设备。

12.4.6　工地应设值班室，并应备有通信设备。

12.4.7　施工竖井，斜井与地面应设置声、光、电通信设施。

13 安 全 施 工

13.1 一 般 规 定

13.1.1 施工单位进入施工现场后，应根据施工内容、施工条件，建立安全管理机构，制定切实可行的安全施工管理制度。

13.1.2 开挖施工前，应对施工区域的围岩稳定做深入的分析，特别是对软岩、不良地质条件地段的开挖施工，应制定切实可行的施工方案，对可能出现的安全问题做出预报。

13.1.3 应根据对围岩稳定状况的分析结果，针对不同的地质条件，制定保证安全施工的预案，建立保证安全施工的指挥系统。

13.1.4 应适时开展施工期的安全监测，定期发送安全监测简报。

13.1.5 施工场地布置应满足环境保护要求，施工完成后应恢复原有面貌。

13.1.6 施工场地和作业区域的施工机械、施工材料应有序安放，作业面应平整，做到文明施工。

13.2 爆破开挖的安全规定

13.2.1 使用的爆破材料应符合国家规定的技术标准，每批爆破材料使用前应进行有关的性能检验。

13.2.2 爆破材料的运输，储存、加工、现场装药、起爆及哑炮处理，应遵守 GB 6722—2003 的规定。

13.2.3 爆破时，施工人员应撤至飞石、有害气体和冲击波的影响范围之外。单向开挖时，安全地点至爆破作业面的距离应不小于 200m。

13.2.4 几个工作面同时爆破时，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。

13.2.5 工作面爆破散烟后，应先进行爆破面的安全检查，撬、挖、敲除松动石块；采用大型机械施工的，也可用挖掘机斗齿清挖，上一工序完成并确认松动岩块全部清除后，下一工序的施工人员才能进入工作面从事出渣或其他作业。

13.2.6 当相向开挖的两个工作面相距小于 30m 或 5 倍洞径距离爆破时，双方人员均应撤离工作面；相距 15m 时，应停止一方工作，单向开挖贯通。

13.2.7 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。

13.2.8 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、设备应妥善防护。

13.2.9 开挖面与衬砌面平行作业时的距离，应根据围岩特性、混凝土龄期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。由于地质原因，混凝土衬砌紧跟开挖面时，可按附录 D 的规定确定最大单段药量。

13.2.10 采用电力起爆方法，装炮时距工作面 30m 以内应断开电源，可在 30m 以外用投光灯或矿灯照明。

13.2.11 爆破完成后，待有害气体浓度降低至规定标准时，方可进入现场处理哑炮并对爆破面进行检查，清理危石。清理危石应由有施工经验的专职人员负责实施。

13.3 出渣运输的安全规定

13.3.1 应定期检查起吊设备的井架、钢丝绳、钢丝绳接头、滑轮、滑轮轴、吊斗、卷扬机的制动、限位等构件和部位，以保证起吊设备始终处于安全工作状态。

13.3.2 施工过程中应定期检查电源线路和设备的电器部件。

13.3.3 作业平台和作业台车应有足够的稳定性。作业台车应设置防护栏杆，高空作业应配备安全带。

13.3.4 向设备供电、供风、供水应及时通知有关作业人员。

13.3.5 竖井和斜井运送施工材料或出渣时应遵守下列规定：

1 严禁人、物混运，当施工人员从爬梯上下竖井时，严禁运输施工材料或出渣。

2 井口应有防止石渣和杂物坠落井中的措施。

3 采用溜筒运送喷射混凝土的混合料物或混凝土拌和物时，井口溜筒的喇叭口周围必须密封。

4 输料管应采用法兰连接，并应悬挂牢固。

13.4 支护施工的安全规定

13.4.1 支护应按施工组织设计或施工图要求适时施做，施工过程中应执行 GB 50086—2001 和 SL 377—2007 的规定。

13.4.2 喷射混凝土作业过程中，应经常查看出料喷头、出料管和管路接头有无破损和松脱现象，发现异常应及时处理。

13.4.3 喷射机、水箱、风包、注浆器、注浆泵等密封及压力容器应定期进行耐压检查，合格后方可使用。压力容器应安装安全阀，使用过程中发现失灵时应立即更换。

13.4.4 带式送料机及其他配有外露的转动和传动装置应设保护罩。

13.4.5 非操作人员不应进入作业区，喷头、注浆管前方不应站人。

13.4.6 检验锚杆锚固力或对锚杆施加预应力时，拉力计及孔口设备应安装牢固。锚杆张拉时，前方或下方不允许布置设备或停留操作人员。

14 质量检查与验收资料

14.0.1 地下洞室开挖与支护的质量检查，应包括施工单位自检、监理单位抽检和重要隐蔽工程的联合检查。

14.0.2 施工单位应有健全的质量检查机构，并应制定完善的质量保证措施。

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

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

14.0.5 地下洞室开挖的质量检查，应在每开挖循环完成后，临时支护施做前进行。质量检查内容与应提交的检查资料为：

1 质量检查内容包括：

1) 洞室轴向方向及其偏差。

2) 轴线位置、高程及其偏差。

3) 壁面开挖轮廓线尺寸及其偏差。

4) 每循环进尺及爆破效果。

5) 软弱结构面的处理及是否存在松动岩块等。

2 应提交的检查资料包括：

1) 实测开挖图。

2) 地质展示图与地质素描。

3) 检测结果记录表。

4) 壁面平均起伏差表。

5) 单元工程完成后，应提交单元工程质量评定表。

14.0.6 临时支护的质量检查，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。临时支护质量检查内容与应提交的检查资料为：

1 质量检查内容包括：

1) 喷射混凝土强度、厚度、均匀性、密实性和喷层的整体性以及渗水部位处理结果。

2) 锚杆长度、位置、方向、数量、注浆效果、拉拔力。

3) 钢筋网格尺寸、搭接长度。

4) 拱架支撑的间距、连接方式、支脚处理，连接筋直径、数量，间距。

5) 其他支护措施的质量等。

2 应提交的检查资料包括：

1) 临时支护竣工图。

2) 临时支护完成后洞室断面图。

3) 临时支护质量检查记录表。

4) 单元工程完成后，应提交单元工程质量评定表。

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

14.0.8 地下开挖工程的质量评定，应遵守 SL 176—1999 的规定。

14.0.9 地下开挖工程的验收，应遵守 SL 223—2007 的规定。

附录A 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（kg/m³）	外形特征	开挖方式
Ⅰ	1. 砂土 2. 种植土	1650～1750	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	1750～1850	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	1800～1950	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	1900～2100	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

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（kg/m³）	净钻时间（min/m）			极限抗压强度（MPa）	强度系数 f
			用直径 30mm 合金钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 30mm 淬火钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 25mm 钻杆，人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
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	1500 1950 1900～2200 2000	—	≤3.5	≤30	≤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	2200 2600 2700 2300	—	4 (3.5～4.5)	45 (30～60)	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	2200 2200 2300 2500	—	6 (4.5～7)	78 (61～95)	40.0～60.0	4～6

表 A.0.2（续）

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重（kg/m³）	净钻时间（min/m）			极限抗压强度（MPa）	强度系数 f
			用直径 30mm 合金钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 30mm 淬火钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 25mm 钻杆，人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
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	2300 2300 2200 2300 2900	6.8 (5.7～7.7)	8.5 (7.1～10)	115 (96～135)	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. 砂质石灰质的页岩	2500 2400 2500 2500 2500 2500	8.5 (7.8～9.2)	11.5 (10.1～13)	157 (136～175)	80.0～100.0	8～10

表 A.0.2（续）

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重（kg/m³）	净钻时间（min/m）			极限抗压强度（MPa）	强度系数 f
			用直径 30mm 合金钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 30mm 淬火钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 25mm 钻杆，人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
X	1. 白云岩 2. 坚实的石炭岩 3. 大理石 4. 石灰质胶结的致密的砂岩 5. 坚硬的砂质页岩	2700 2700 2700 2600 2600	10 （9.3～10.8）	15 （13.1～17）	195 （176～215）	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	2800 2900 2600 2800 2700 2700	11.2 （10.9～11.5）	18.5 （17.1～20）	240 （216～260）	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	2700 2600 2900 2600	12.2 （11.6～13.3）	22 （20.1～25）	290 （261～320）	140.0～160.0	14～16

表 A.0.2（续）

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重（kg/m³）	净钻时间（min/m）			极限抗压强度（MPa）	强度系数 f
			用直径 30mm 合金钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 30mm 淬火钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 25mm 钻杆，人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
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	3100 2800 2700 2500 2800 2800	14.1 (13.4～14.8)	27.5 (25.1～30)	360 (321～400)	160.0～180.0	16～18
XIV	1. 特别坚实的细粒花岗岩 2. 花岗片麻岩 3. 闪长岩 4. 最坚实的石灰岩 5. 坚实的玢岩	3300 2900 2900 3100 2700	15.5 (14.9～18.2)	32.5 (30.1～40)	—	180.0～200.0	18～20

表 A.0.2（续）

岩石级别	岩石名称	实体岩石自然湿度时的平均容重（kg/m³）	净钻时间（min/m）			极限抗压强度（MPa）	强度系数 f
			用直径 30mm 合金钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 30mm 淬火钻头，凿岩机打眼（工作气压为 4.5atm）	用直径 25mm 钻杆，人工单人打眼		
1	2	3	4	5	6	7	8
XV	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	3100 2900 2800	20 （18.3～24）	46 （40.1～60）	—	200.0～250.0	20～25
XVI	1. 钙钠长石质橄榄石质玄武岩 2. 特别坚实的辉长岩、辉绿岩、石英岩及矽岩	3300 3300	>24	>60	—	>250.0	>25

注：latm=1.013250×10⁵Pa。

附录 B　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	$85\geqslant T>65$	>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	$65\geqslant T>45$	>2	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网。跨度为 20～25m 时，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	$45\geqslant T>25$	>2	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，并浇筑混凝土衬砌。Ⅴ类围岩还应布置拱架支撑
Ⅴ	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	$T\leqslant 25$	—	
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。				

B.0.2　围岩强度应力比可根据下式求得：

$$S = K_v R_b / \sigma_m \qquad (B.0.2)$$

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5项因素的评分可按上列标准进行。

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)	$R_b>60$	$60\geqslant R_b>30$	$30\geqslant R_b>15$	$15\geqslant R_b>5$
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。

注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		$K_v>0.75$	$0.75\geqslant K_v>0.55$	$0.55\geqslant K_v>0.35$	$0.35\geqslant K_v>0.15$	$K_v<0.15$
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60MPa$\geqslant R_b>$30MPa，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。

注2：当30MPa$\geqslant R_b>$15MPa，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。

注3：当15MPa$\geqslant R_b>$5MPa，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。

注4：当$R_b\leqslant$5MPa，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 $0.5\leqslant W<5.0$									张开 $W\geqslant 5.0$	
	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。

注 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 洞长）或压力水头 H(m)			$q\leqslant 25$ 或 $H\leqslant 10$	$25<q\leqslant 125$ 或 $10<H\leqslant 100$	$q>125$ 或 $H>100$
基本因素评分 T'	$T'>85$	地下水评分 D	0	0～−2	−2～−6
	$85\geqslant T'>65$		0～−2	−2～−6	−6～−10
	$65\geqslant T'>45$		−2～−6	−6～−10	−10～−14
	$45\geqslant T'>25$		−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 和结构面状态评分 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			
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。													

B.0.4 本附录不适用于埋深小于 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围岩分类。

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　有关控制测量误差计算的规定

C.0.1　洞外和洞内平面控制测量误差在横向贯通面上的影响，可根据不同的布网形式按下列公式计算。

1　地面控制按三角网(含测角网、测边网、边角组合网)布设时，视贯通面的数量和技术条件可分别按下列方法进行计算：

1) 以一端洞口点的坐标及其起算方向为起算数据，计算另一端洞口点的点位误差椭圆，取其在贯通面上的投影长度，作为地面控制测量误差在贯通面上的横向误差。其点位误差椭圆汁算公式为：

$$\tan 2\varphi = \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \qquad \text{(C.0.1-1)}$$

$$R_a^2 = \frac{1}{2}m_0^2\left[Q_{xx} + Q_{yy} + \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2}\right] \qquad \text{(C.0.1-2)}$$

$$R_b^2 = \frac{1}{2}m_0^2\left[Q_{xx} + Q_{yy} - \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2}\right] \qquad \text{(C.0.1-3)}$$

投影在贯通面上的横向中误差计算公式为：

$$M_y = \pm m_0\sqrt{Q_{xx}\cos^2\theta + Q_{yy}\sin^2\theta + Q_{xy}\sin 2\theta} \qquad \text{(C.0.1-4)}$$

式中　ϕ——长半径方位角(°)；

m_0——点位权中误差(″)；

R_a——点位误差椭圆长半径(mm)；

R_b——点位误差椭圆短半径(mm)；

M_y——洞口点点位中误差投影在贯通面上的横向中误差(mm)；

θ——贯通面方位角(°)；

Q_{xx}、Q_{yy}、Q_{xy}——各端点相对起算点的坐标权数。

2) 当地下工程较为复杂且有多个贯通面时，可分别计算相邻洞口点的相对误差椭圆，取各自在贯通面方向的投影长度，作为地面控制测量误差在横向贯通面上的影响值。其相对点位误差椭圆计算公式为：

$$\tan 2\varphi = \frac{2Q_{\Delta x\Delta y}}{Q_{\Delta x\Delta x} - Q_{\Delta y\Delta y}} \qquad \text{(C.0.1-5)}$$

$$R_{\text{a}}^2 = \frac{1}{2}m_0^2\left[Q_{\Delta x\Delta x} + Q_{\Delta y\Delta y} + \sqrt{(Q_{\Delta x\Delta x} - Q_{\Delta y\Delta y})^2 + 4Q_{\Delta x\Delta y}^2}\right] \qquad \text{(C.0.1-6)}$$

$$R_{\text{b}}^2 = \frac{1}{2}m_0^2\left[Q_{\Delta x\Delta x} + Q_{\Delta y\Delta y} - \sqrt{(Q_{\Delta x\Delta x} - Q_{\Delta y\Delta y})^2 + 4Q_{\Delta x\Delta y}^2}\right] \qquad \text{(C.0.1-7)}$$

$$Q_{\Delta x\Delta x} = Q_{x_2x_2} - 2Q_{x_1x_2} + Q_{x_1x_1} \qquad \text{(C.0.1-8)}$$

$$Q_{\Delta y\Delta y} = Q_{y_2y_2} - 2Q_{y_1y_2} + Q_{y_1y_1} \qquad \text{(C.0.1-9)}$$

$$Q_{\Delta x\Delta y} = Q_{x_2y_2} - Q_{x_1y_2} - Q_{x_2y_1} + Q_{x_1y_1} \qquad \text{(C.0.1-10)}$$

式中 $Q_{\Delta x\Delta x}$、$Q_{\Delta y\Delta y}$、$Q_{\Delta x\Delta y}$——相邻点的坐标权系数；

Q_{x1x1}、Q_{x1x2}、Q_{x2x2}——相邻某一点相对起算点的坐标权系数；

Q_{y1y1}、Q_{y1y2}、Q_{y2y2}——相邻某一点相对起算点的坐标权系数；

Q_{x1y1}、Q_{x2y1}、Q_{x1y2}、Q_{x2y2}——相邻某一点相对起算点的坐标权系数。

2 地面控制按导线布设时，可用下列公式分别计算地面控制测量误差在贯通面上的横向误差影响：

$$M_y = \pm\sqrt{(m_{y\beta}^2 + m_{yL}^2)/n} \qquad \text{(C.0.1-11)}$$

$$m_{y\beta} = \pm\frac{m_\beta}{\rho}\sqrt{\sum R_x^2} \qquad \text{(C.0.1-12)}$$

$$m_{yL} = \pm\frac{m_L}{L}\sqrt{\sum d_y^2} \qquad \text{(C.0.1-13)}$$

式中 $m_{y\beta}$——由于测角小误差所产生在贯通面上的横向中误差(m)；

m_{yL}——由于测边中误差所产生在贯通面上的横向中误差(m)；

m_{β}——导线测角中误差(″)；

$\frac{m_L}{L}$——导线边长相对中误差；

R_x——导线点到贯通面的垂直距离(m)；

d_y——导线边在贯通而上的投影长度(m)；

n——测量组数；

ρ——常数，$\rho=206265''$。

3 地面三角网测量对贯通面的横向误差影响，也可用下列近似公式估算：

$$M=\pm\sqrt{M_S^2+(mS/\rho)^2} \qquad (C.0.1-14)$$

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

$$M=\pm\sqrt{2}M_S \qquad (C.0.1-15)$$

$$或\ M=\pm\sqrt{2}(mS/\rho) \qquad (C.0.1-16)$$

$$M_y=\cos\alpha M \qquad (C.0.1-17)$$

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(mm)；

My——洞口点点位中误差投影在贯通面上的横向中误差值 (mm)；

Ms——两相邻洞口点 A、B 间控制网的边长中误差(mm)；

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(mm)；

α——贯通面上方位角与点位中误差方位角之夹角(°)；

ρ——常数，$\rho=206265''$。

4 地面控制采用 GPS 测量时，同样是用两相邻洞口点的局

部点位误差椭圆在贯通而上的投影进行计算；也可采用地面边角网的公式，即贯通点横坐标差的权函数式进行计算。

5 洞内导线测量误差对贯通面横向中误差的影响 M'_y，其计算方法同本条 2 款。

6 竖井定向测量引起的贯通面横向中误差可按下式计算：

$$M_{y0} = m_0 \frac{D_x}{\rho} \qquad (C.0.1-18)$$

式中 M_{y0}——贯通面横向中误差的影响值(mm)；

m_0——井下基边的定向中误差(″)；

D_x——井下基边至横向贯通面的垂直距离(mm)。

7 洞外和洞内控制测量误差对贯通面横向中误差总的影响可按下式计算：

式中 m_h——贯通面横向中误差影响值(mm)；

M_y——洞口点点位中误差投影在贯通面上的横向中误差值(mm)；

M'_y——洞内导线测量误差对贯通面横向中误差的影响值(mm)。

C.0.2 洞外和洞内高程控制测量误差对贯通面竖向中误差的影响，按下式计算：

$$M_h = \pm \sqrt{m_h^2 + m_h'^2} \qquad (C.0.2-1)$$

$$m_h = \pm M_\Delta \sqrt{L} \qquad (C.0.2-2)$$

$$m'_h = \pm M'_\Delta \sqrt{L'} \qquad (C.0.2-3)$$

式中 M_h——贯通面竖向中误差影响值(mm)；

m_h、m'_h——洞外、洞内高程测量中误差(mm)；

M_Δ、M'_Δ——洞外、洞内 1km 路线长度的高程测量高差中数中误差(mm)；

L、L'——洞外、洞内两相邻洞口间水准路线的长度(km)。

C.0.3 洞外光电测距基本导线技术要求见表 C.0.3。

表 C.0.3　洞外光电测距基本导线技术要求

相向开挖长度（km）	贯通横向中误差（mm）	导线全长（km）	最短平均边长（m）	测角中误差（″）	测距中误差（mm）	全长相对闭合差	方位角闭合差（″）
≤5	±30	3.0	35	±1.8	±5	1：35000	$\pm3.6\sqrt{n}$
			50	±2.5		1：31500	$\pm5.0\sqrt{n}$
		5.4	200	±2.5	±5	1：51500	
			120	±1.8		1：53500	$\pm3.6\sqrt{n}$
		10.0	770	±1.8	±5	1：95000	
			680		±2	1：91000	
5～10	±45	11.2	375	±1.8	±5	1：67500	$\pm3.6\sqrt{n}$
			340		±2	1：65500	
		14.0	825	±1.8	±5	1：86000	
			780		±2	1：85000	
			230	±1.0	±5	1：86000	$\pm2.0\sqrt{n}$
			190		±2	1：80500	
		16.4	365	±1.0	±5	1：100000	
			320		±2	1：95500	
		21.0	780	±1.0	±5	1：130000	
			725		±2	1：125000	

注 1：导线按直伸附和导线的形式，并以其中点（最弱点）的点位中误差作为“要求的横向中误差”。

注 2：本表数据在综合取舍时，考虑的是目前生产单位中的普遍情况，实际情况与本表不符时可自行计算。

注 3：隧洞相向开挖长度小于或等于 10km 时，洞外基本控制网宜布置 GPS 网，也可布设导线网或边角网；隧洞相向开挖长度大于 10km 时，宜布设 GPS 网。

C.0.4　洞内光电测距基本导线技术要求见表 C.0.4。

表 C.0.4　洞内光电测距基本导线技术要求

相向开挖长度（km）	支导线端点横向中误差（mm）	导线全长（km）	最短平均边长（m）	导线测量精度	
				测边中误差（mm）	测角中误差（″）
≤5	±40	1.6 2.5	180 300	±5 ±3	±2.5 ±1.8
5～10	±60	3.0 5.0	250 300	±5 ±3	±1.8 ±1.0
10～15	±90	6.0 7.5	250 350	±3 ±3	±1.0 ±1.0
15～20	±120	8.0 10.0	300 350	±3 ±3	±1.0 ±0.7
20～25	±165	11.0 12.5	350 400	±3 ±2	±0.7 ±0.7
25～30	±205	13.0 15.0	350 400	±2 ±2	±0.7 ±0.7
30～35	±255	16.0 17.5	350 400	±2 ±2	±0.7 ±0.7
35～40	±300	18.0 20.0	350 400	±2 ±2	±0.7 ±0.7
40～45	±400	21.0 22.5	350 400	±2 ±2	±0.7 ±0.7
45～50	±410	23.0 25.0	350 400	±2 ±2	±0.7 ±0.7

注 1：相向开挖长度包括支洞的长度。

注 2：本表数据是按支导线端点的点位中误差计算的。实际情况与本表不符的，可自行计算。

附录 D　光面爆破与预裂爆破参数

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

表 D.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：40～50mm；药卷直径：20～25mm。			

表 D.0.1-2　浅孔预裂爆破参数

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	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：40～50mm；药卷直径：20～25mm。			

D.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。

4　线装药密度可采用工程类比法试选或按式(D.0.2-1)或式(D.0.2-2)估算：

1) 岩体较为坚硬，其极限抗压强度 R 为 20～200MPa 时

$$\Delta_g = 0.042R^{0.5}a^{0.6} \qquad (D.0.2-1)$$

式中 Δg——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 10～150MPa 时

$$\Delta_g = 9.32R^{0.53}r^{0.38} \qquad (D.0.2-2)$$

式中 Δg——线装药密度(g / m)；

r——预裂孔半径(mm)。

D.0.3 质点振动速度的允许值可按表 D.0.3-1 选取。质点振动速度传播规律可按 D.0.3 经验公式计算：

表 D.0.3-1 爆破质点振动安全允许标准

序号	保护对象类别	质点振动安全允许速度值（cm/s）		
		<10Hz	10～50Hz	50～100Hz
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	新浇大体积混凝土 龄期：初凝～3d 龄期：3～7d 龄期：7～28d	 2.0～3.0 3.0～7.0 7.0～12.0		

注 1：表中所列频率为主振频率，系指最大振幅所对应的频率。

注 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 10～60Hz；浅孔爆破 40～100Hz。

注 3：选取建筑物安全允许振动速度值时，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、巷道安全允许振动速度值时，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、新浇筑的大体积混凝土的安全允许振动速度值，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安全允许振动速度值，应经专家论证选取，并报相应文物管理部门批准。

$$v = K\left(\frac{W^{1/3}}{D}\right)^{\alpha} \qquad (D.0.3)$$

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 D.0.3-2 中的数值选取。

表 D.0.3-2 爆破区不同岩性的 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

附录 E　有关爆破监测方法的规定

E.0.1　岩石内部破坏范围的试验观测，可采用地震波法、声波法及压水或注水试验法进行爆破前、后对比测试，其成果作为确定爆破影响范围程度的判据。

E.0.2　地震波法测试应按下列规定执行：

1　爆破区内设2～3条测试线，每条测试线布设3～5个测孔。

2　测孔孔深应不小于爆破孔孔径的40倍。孔距应按地震波衰减规律确定，一般为情况下，可取4～5m。

3　应在原孔处进行爆破前、后对比测试，爆破孔底部作为测点起始高程，孔底以上2m范围内每隔0.2m量测一次波速，2m以下每隔0.5m量测一次波速。

4　绘出各孔各点爆破前和爆破后纵波波速变化图，作为破坏分析的依据。

E.0.3　声波法测试应按下列规定执行：

1　可采用对穿法或同孔法，用振幅衰减或纵波波速的方法测试。

2　爆破区内应布设不少于2对测孔。

3　测孔在爆破孔底以下的深度应不小于爆破孔孔径的40倍。每对孔距应根据声波仪换能器发射能量确定，一般情况下不少于1～2m。

4　沿测孔孔深方向测点点距为0.2m，爆破前，爆破后每点重复测读3次，绘制波幅、纵波波速变化对比图，作为破坏区分析的依据。

E.0.4　压水或注水试验法应按下列规定执行：

1　爆破区中心设压水孔测其深度破坏范围，爆心周围布设压水孔，孔数为4～5个，测其水平方向破坏范围。

2　压水孔孔径应小于110mm，压水试验段长度为爆破孔孔

底以上 40 倍孔径。

3 爆破前和爆破后在相同高程用双层阻塞法分段作压水试验，试验长度为 0.5～1.0m。

4 测试水压力可取 49kPa，但以不抬动基岩为原则。

5 每 5min 读数一次，稳压时间为 1h。根据爆破前和爆破后渗漏量变化确定破坏范围。

6 当岩石较为破碎无法起压时，可改用注水试验法以确定漏水部位。

E.0.5 观测完毕后，爆破测试观测孔应采用粗砂回填，回填高度应高于爆破区底部高程 0.5m。

标 准 用 词 说 明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物地下开挖工程施工规范

SL 378—2007

条 文 说 明

目　　次

1　总　　则 82
3　地　　质 84
4　测　　量 86
5　开　　挖 92
6　钻 孔 爆 破 109
7　掘进机开挖 112
8　出渣与运输 118
9　临 时 支 护 120
10　施工期安全监测 126
11　通风与防尘 128
12　辅 助 工 程 131
13　安 全 施 工 133
14　质量检查与验收资料 136

1 总　　则

1.0.1 地下开挖工程施工过程中，保证施工安全和提高开挖工程质量是最为重要的问题，因此制定本标准约束施工行为是十分必要的。

《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》 (SDJ 212—83)颁布后，已在水利水电工程建设中成功使用了 20 多年，极大地推动了水利水电地下开挖工程的技术发展与进步。20 多年来，特别是近 10 年来，随着一大批如二滩水电站、小浪底水利枢纽、龙滩水电站、拉西瓦水电站等大型、特大型地下工程的兴建，进一步提高了地下工程的施工技术水平，修订 SDJ 212—1983 更是迫在眉睫。

新修订的本标准，是在总结了 20 多年来水工建筑物地下开挖技术经验的基础上，保留了地下开挖工程中行之有效的技术内容，补充了长隧洞的洞室测量、软岩隧洞开挖、掘进机开挖、特大型地下工程开挖等先进技术，并将水工建筑物地下开挖工程的安全施工列入了本标准，体现了地下开挖工程施工的技术进步和应遵守的“安全第一、以人为本”的原则。

1.0.2 本标准是在《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(SDJ 212—83)基础上，增加了掘进机开挖和软岩隧洞等非钻孔爆破法开挖的施工内容，因此使本标准的适用范围扩大为水利水电工程中，应用各种开挖方式施工的，置于地下的各种地下建筑物。这些水工建筑物包括地下厂房、地下开关站、有压与无压引水隧洞、调压井、泄洪洞、导流洞，以及为上述各种水工建筑物开挖服务的交通洞、通风洞、母线洞等。

1.0.3 在地下开挖工程施工中，由于围岩条件十分复杂，存在着随叫可能遇到塌方、危石坠落、涌水、有害气体等危及人身生命及设备安全等安全隐患，为此保证地下开挖工程的施工安全始终是第一位的任务。在水工建筑物地下开挖工程施工过程中，能否

处理好施工安全、开挖工程质量与进度的关系，将关系到工程建设的成败。安全、质量与进度的关系是对立统一的关系，各个施工环节的质量保证了，安全也就有了基础。保证了施工过程中的安全，施工也会顺利，进度也会加快。

1.0.4 当通过技术经济比较后，选择钻孔爆破法开挖施工时，采用光面爆破和预裂爆破的目的是最大限度的减少对围岩的扰动，保护围岩固有的承载能力，保证围岩稳定，同时也是为了减少由于超挖而造成的工程量增加。

1.0.5 对地下开挖工程，首先应查清施工部位的地质条件。施工过程中的地质工作非常重要，它是确定施工方案与修改施工方案的主要依据，应由专业地质人员进行该项工作。

1.0.6 在地下修建水工建筑物的主要优点之一就是对环境破坏最小，但施工过程中不可避免地要开挖进、出口，还要修建相应的辅助工程，这些工程的建设难免对环境产生一定的影响，为此，减少对环境的破坏和完建后对临时占用土地和环境的恢复，是下开挖工程施工的一个重要环节,应按照国家和地方的相关法律、法规，制定专项措施，与工程建设同步开展环境保护工作。

1.0.7 地下开挖工程施工过程中的原位监测能综合反映地质变化的影响和施工措施的可靠程度，因此监测信息是指导设计与施工的最好选择，是保证地下开挖工程施工安全和经济合理的主要方法。

1.0.8 随着水工建筑物地下开挖工程建设规模的不断扩大，新技术、新工艺、新材料和新设备不断涌现。为提高水工建筑物地下开挖工程的施工技术水平，保证工程建设质量，应不断借鉴、引进这些新技术、新工艺及新材料和新设备，但由于水工建筑物地下开挖工程受到地质条件的影响，应用时应经过试验与必要的论证，以保证工程的建设质量。

1.0.9 地厂开挖工程涉及的技术领域较多，是一项综合性较强的施工技术，因此在施工过程中除应遵守本标准的规定外，还应遵守国家和水利行业现行有关标准的规定。

3 地　　质

3.0.1　水工建筑物地下开挖工程与地质条件关系十分密切，有了详尽的地质资料,才能因地制宜的制定符合地质条件的施工方案，以保证施工过程中的安全。1999 年由原国家质量技术监督局和中华人民共和国建设部联合发布的《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50287—99)第 5 章第 4 节中，对初设阶段地下洞室的地质工作提出了较为明确的规定。在施工阶段，建设单位应将勘测设计单位获取的与地下开挖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，以利于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十六级分级方法。为适应软岩和极软岩的洞室开挖，还补充了土类分级表。经本次修订作为本标准的附录 A。

地下开挖工程的施工方法、支护措施与围岩类别关系很大，故设计文件中应提供工程区域内的围岩类别资料。围岩类别划分的方法很多，在水利水电工程中一般都按 GB 50287—99 的规定进行围岩类别的划分，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因素之和的总评分和围岩强度应力比，将围岩划分为五类。实践证明这种围岩工程地质分类方法已能基本满足地下开挖工程施工需要，因此本标准采用了这种围岩分类方法。为了执行方便，本标准将 GB 50287—99 的围岩分类方法列为附录 B。

3.0.2　在地下开挖工程施工过程中，工程建设的参建单位都应把地质工作放在重要位置，重视和支持地下开挖工程的地质工作，此外还要时刻关注地质条件的变化，共同研究适应变化的地质条件的具体措施，根据变化的地质条件修改施工方案。

3.0.3～3.0.6　地下开挖工程施工过程中，如发生塌方、围岩变形

大、涌水、岩爆等情况，施工单位应及时通知监理单位，并对发生原因、发生时间、处理经过等做详细的记录，必要时需进行专门的地质工作，以便制定切实可行的技术处理措施。

在开挖施工中由于围岩失稳造成塌方的主要原因之一是对不良地质条件重视不够。为此要求施工单位及时开展施工期安全监测工作，认真分析研究地质资料，对揭露的地质条件进行描述与测绘，根据地质条件和监测资料，做出正确的施工对策，制定切实可行的、有效的工程措施，并报监理工程师审定，以避免围岩失稳。

4 测　　量

4.0.1　本条明确了地下洞室施工测量的基本任务是进行贯通设计、贯通测量和施工放样。

4.0.2　原标准所规定的极限贯通误差允许值和中误差分配原则，是根据 20 世纪 80 年代以前，按传统方法测量的国内数十座隧洞贯通情况制定的。20 世纪 90 年代以来，我国相继建成了一大批跨流域、长距离引水工程。长隧洞和深埋长隧洞已成为水工建筑物地下开挖工程的重要组成部分。目前，我国已有多条引水隧洞相向开挖长度超过了 10km，其中山西万家寨引黄工程南干线 7 号隧洞长度达 43km。

近 l0 年来，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。GPS 测量精度高、速度快，已成为地面控制测量的常规方法；全自动全站仪能够在光线较暗的洞室内自动寻标、精确照准，是洞内测量的主要仪器。由于地下洞室开挖的规模和施工方法都有很大的改变，所以对原标准测量部分进行了较大的补充和修改。

原标准表 3.0.2-1、表 3.0.2-2 只规定了隧洞相向开挖长度按不大于 4km 和 4～8km 两级控制，已不能满足长隧洞施工的需要。本标准修订时把隧洞相向开挖长度不大于 4km 和 4～8km 两级调整为相向开挖长度不大于 5km 和按每隔 5km 一级把隧洞相向开挖长度延长到了 50km。本标准表 4.0.2-1、表 4.0.2-2 中的数据，是通过测量误差理论分析计算，并根据山西万家寨引黄工程 19 条隧洞实际测量和贯通数据，参照国内外已有几条长隧洞的贯通情况提出的。表中隧洞相向开挖长度不大于 5km 和 5～1Okm 贯通误差限值比原标准规定值略有提高，因为现有测量技术水平、仪器设备条件完全能够做到；在制定 10km 以上隧洞贯通误差限值时，遵循了既要满足开挖精度要求，又不增加工程造价，且有

利于隧洞贯通的原则。表 1 和表 2 列举了我国和国外几条长隧洞贯通误差的实测结果，证明贯通时横向误差很小。我国引黄南干线 7 号隧洞长 43km，贯通时横向误差仅为 85mm。日本青函隧道长 53.85km，贯通时横向误差为 525mm。本次修订根据已有工程的经验，本可以将贯通误差规定的小一些，但考虑到长隧洞测量技术较为复杂，隧洞中条件恶劣，经多次讨论，并便于和其他行业测量相一致，因此规定了表 4.0.2-1 和 4.0.2-2 的误差标准。各工程也可根据各自的技术条件和工程实际情况，研究制定适用于本工程的贯通标准。

表 1　国内几条长隧洞实测横向贯通误差

工程名称	长度（km）	直径（m）	横向贯通误差（mm）		高程贯通误差（mm）		掘进方式
			规定值	实测值	规定值	实测值	
引黄总干 6 号隧洞	6.598	5.46	75	18	—	符合要求	TBM
引黄总干 8 号隧洞	12.177	5.46	110	30	—	符合要求	TBM
引黄总干 11 号隧洞	10.032	5.0×5.36	100	43	—	符合要求	钻孔爆破
引黄南干 5 号隧洞	26.453	4.3	280	92	—	符合要求	TBM
引黄南干 6 号隧洞	14.581	4.2	150	85	—	符合要求	TBM
引黄南干 7 号隧洞	42.926	4.2	300	85	—	符合要求	TBM
官村坝隧洞	6.107	—	150	7.2	50	—	钻孔爆破
沙木拉达隧洞	6.379	—	150	7.2	50	—	钻孔爆破
大瑶山隧洞	14.300	—	400	17.3	50	4.6	钻孔爆破
军都山隧洞	8.460	—	200	36.9	50	21.6	钻孔爆破
云台山Ⅰ线隧洞	8.100	—	200	5.1	50	20.7	钻孔爆破
云台山Ⅱ线隧洞	8.170	--	200	11.2	50	16.5	钻孔爆破
米花岭隧洞	9.360	—	200	126	50	25.7	钻孔爆破
五指山隧洞	4.550	—	150	110	50	17	钻孔爆破
杭州西区水厂隧洞	8.950	—	200	68	50	11	钻孔爆破

表 2　国外几条隧洞贯通误差标准及实测值

国　名	工程名称		长度(km)	横向贯通误差(mm)		高程贯通误差(mm)	
				实测值	规定值	实测值	规定值
日本	青函海底隧道		53.850	525	—	146	—
瑞士意大利间	辛普伦隧洞		19.800	200	500	90	50
瑞士	圣哥达隧洞		14.900	330	400	50	50
瑞士	列奇堡隧洞		14.600	254	400	101.6	50
日本	清清隧洞		9.704	457	200	9	50
日本	丹那隧洞		7.804	279	150	279	50
日本	北陆	坚曲—叶厚隧洞	2.100	184	100	10	50
		叶厚—板取隧洞	5.100	77	150	30	50
美国	胡萨克隧洞		6.930	22	150	41	50

隧洞工程的贯通误差包括横向、纵向和竖向 3 个方面的贯通误差，纵向贯通误差对工程的影响较小，洞外 GPS 测量和洞内导线测量都可以将纵向贯通误差控制在规定的范围之内。因此，可将纵向和横向贯通误差定位同一数值。

隧洞内两相向开挖施工轴线在贯通面上贯通限值的制定，系按两相向开挖洞口(包括支洞口)间的长度来确定的，因此，对有多个贯通面的长隧洞(洞群)采用统一布网，统一精度施测，精度标准为贯通最长的一段的精度，这样既保证了单个隧洞自身贯通的精度，又保证了洞群测量精度的整体性，各段贯通误差则按两相向开挖洞口间各段长度分别进行计算。

表 4.0.2-2 中，贯通中误差对贯通面的影响值只考虑了两个独立因素：一个洞外测量误差和一个洞内为两相向开挖进行的测量误差。由于洞外 GPS 测量控制网的精度很高，所以洞外控制网测量误差对贯通面的影响可以忽略不计，即洞外控制网误差对横向贯通误差的影响 $m_{外}=0.4M$ 比较合适，式中 M 为隧洞贯通面横向

中误差。若通过竖井定向贯通时，则应把竖井定向作为一个新增加的独立因素参加洞内中误差的分配，这时洞内按$\sqrt{2/3}$、竖井定向按$\sqrt{1/3}$万进行误差分配。

高程控制网分为地面高程控制网和地下高程控制网两种，洞内水准路线短，高差变化小，条件比地面要好，但考虑到洞内有烟尘、水汽、光照度差以及施工干扰等不利因素，故将地面与地下水准测量的误差对于高程贯通误差的影响，按相等的原则分配。

从测量误差分布规律来看，出现限值的几率较小，隧洞实际贯通误差即使出现等于限值的情况，也可用调线法进行处理。

4.0.3 地下开挖工程控制测量所采用的贯通误差计算公式，列入附录C。取消了原标准第3.0.3条、第3.0.5条的所有内容，补充了地面控制GPS测量计算方法。GPS网测量误差在贯通面上的影响同样是用两相邻洞口点的相对点位误差椭圆在贯通面上的投影来计算。

4.0.5 GPS测量已经成为地面平面控制网测量的常规方法，导线测量适用于短距离的地面控制测量，测角网、边角网、测边网用于隧洞洞口点加密较多。

如果隧洞设计是在1954年北京坐标系或1980年西安坐标系地形图上进行的，而隧洞施工是在其他高程面上进行的，会出现不同高程面长度不一致的现象。此时应将隧洞设计高程面和控制网的投影高程而的坐标变换为施工高程面的坐标，即进行不同高程面的坐标变换。

4.0.6 本条是根据原标准第3.0.4条，第3.0.6条的内容和测量新技术的发展而制定的。

1 原标准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。钻孔爆破法开挖规定50m左右设一个测点，是为了减少开挖面放线的困难；掘进机开挖是根据激光导向仪有效工作距离和后配套台

车长度而定的，因洞内空气质量较差，激光工作距离不宜太长，否则会在空气中产生折射，影响测量精度。

洞内基本导线点标志应设置在带有强制对中基座的仪器平台上，仪器平台宜用混凝土(或钢架)制作，固定在洞壁的下部高度约 1.2m 处；设置水准点的位置，既要便于保护，又要能满足 3m 长的水准尺在洞内的使用。钻孔爆破法开挖段，通常是将隧洞轴线点作为洞内水准点使用，掘进机开挖水准点通常设置在隧洞两侧的边墙上。

3 使用全站仪测量，自由导线布设很方便，不再需要把导线布设到设计轴线上；而使用常规仪器测量的中，小型洞室，导线宜布设在设计轴线上。

4 本标准修订时未将钢尺量距导线技术要求和横基尺视差导线分段测量中误差计算公式列入表内，是因为用全站仪所作光电测距导线远比钢尺量距导线和横基尺视差导线精度高，速度快。

5 洞内基本导线采用交叉式双导线网，在直线段布置对称交叉双导线网，弯道段为单侧交叉双导线网，每隔 4～5 点为一个检测环。交叉双导线网的特点为：

1) 导线网的视线基本都在隧洞中间通过，旁折光对水平角和测距的影响最小。

2) 导线网基本都是直伸形式，观测的角度除每测环最内端有一个小角外，其他均是大角，减少了小角和短边的影响。

3) 每一站只需观测两个方向，观测速度快，精度高。

4.0.7 本条对原标准进行了以下修改和补充：

1 施工放样总图是施工放样的依据，根据隧洞相向开挖的进洞点、转向点以及其他工程控制点的施工元素(弯道的转向角和半径)，计算出隧洞轴线的施工方位角、转向点问的长度和弯道的切线长度与曲线长度，进而计算出切点的施工坐标和各桩点的施工桩号，最后将各桩点的施工坐标、施工桩号、支线隧洞的施工方

位角和弯道隧洞的施工元素等标注在总图上。

2 原标准规定，开挖轮廓放样误差不大于±100mm，为与SL 52—93 的规定统一，本标准改为不大于±50mm。

4.0.9 掘进机开挖的隧洞施工测量，应在每天例行检修期间进行，施工测量的方法和项目应根据掘进机激光导向系统的性能进行专门设计，测量人员在每次进行施工测量的同时，要将前一班次开挖隧洞的洞轴线测设在隧洞的底板上，每隔 20m 用明显的标志加以标注，并将桩号明显地标记在洞壁上，然后根据基本导线点和基本高程点，测读这些轴线桩点的坐标与高程，并将其与设计坐标和高程相比较，如差值超过限值时应予以纠正。

对于掘进机开挖的隧洞轴线应进行阶段性竣工检测，检测应在洞内基本导线点上，用全站仪以极坐标法测定检测点坐标，测站距险测点距离不宜超过 500m。当相邻两站测量同一检测点的坐标差不大于±5mm，检测点间距不宜超过 50m。将检测点坐标和高程与设计坐标和高程相比较，以了解隧洞轴线误差情况。

5 开　　挖

5.1 一般规定

5.1.2 本条明确了地下开挖工程施工组织设计的内容，建设单位和监理单位可据此对施工单位进行监督检查，对未满足要求的方面提出改进措施。本标准修订时在本条中补充了环境保护和水土保持方面的要求，还补充了施工期安全监测方面的要求。地下洞室开挖对环境有一定的影响，可能造成地下水位下降，农作物减产和水井缺水等现象，应对这些问题采取补偿措施。对地面和地下文物、建筑物、矿藏等影响应进行评价。应结合工程实际情况编写施工组织设计，解决技术难点的方案应详尽完整，如：高原地区通风、寒冷季节保温、不良地质地段的处理、长大隧洞的出渣和特殊部位的施工方案、高应力区施工及洞室群的施工程序等。施工期安全监测也是施工组织设计中不可缺少的内容，只有采用安全监测才能满足施工期动态设计与动态施工的要求，才能有效的保证安全施工。

5.1.3 本标准修订时基本保留了原标准第 4.1.2 条对地下洞室规模的划分方法，适当调整了划分界限。2002 年修订的《水利建筑工程概算定额》山是这样划分的。

5.1.4 平洞、斜洞及竖井的角度划分在原标准中列为竖井与斜井开挖中的 4.4.7 条，本标准移至本章的一般规定之中，但仍按原标准的规定划分平洞、斜井和竖井。2002 年修订的《水利建筑工程概算定额》电是这样划分的。

5.1.5 地下洞室开挖方法应按工程特点选取。在科学试验的基础上，尽可能积极推广和采用先进的施工方法。“工程规模”应包括隧洞长短、断面尺寸、工程量等；“施工条件”应包括有无支洞、出渣方式等。

主要开挖方法有爆破方法和非爆破方法两类。爆破方法分为普通爆破和控制爆破(如微震动爆破、静力爆破)，钻孔方法有手

风钻、液压钻、电动设备和钻架台车等；非爆破方法有人力开挖、水力开挖、热力开挖和机械开挖，机械开挖可分为隧洞掘进机开挖、盾构法开挖、顶管法开挖、反铲开挖和液压冲击器开挖等。

5.1.6 地下洞室开挖工程是重要隐蔽工程，其开挖质量评定标准除洞轴线应控制在允许范围外，开挖轮廓的控制也是一项重要的指标，这一指标有两项：一是一般情况下不应欠挖；二为尽量减少超挖，平洞平均径向超挖值不应大于 200mm，斜井、竖井不应大于 250mm。这一规定基本保留了原标准第 4.1.3 条的规定标准，实际上对岩石洞室而言，只要采用光面爆破或预裂爆破技术开挖，平均径向超挖值控制在 150mm 以内是不难做到的。例如，太平哨水电站的发电引水隧洞采用了光面爆破技术开挖，实测平均径向超挖值仅为 110mm；对以人工配合机械非爆破方法开挖的软岩隧洞，其开挖轮廓完全可以控制在 100mm 以内。例如顶山隧洞，围岩为第三系半胶结状态砂岩，采用人工配合机械开挖，实测平均径向超挖值最大为 100mm。

5.1.7 由于受地质构造的影响，地下洞室区域内的岩体是各向异性的，地质条件处于不断的变化之中，因此支护措施和支护时机会随时发生变化，为了保证施工安全，也会发生额外的加固工程量。本条规定有利于保证地下工程的安全施工，防止意外事故的发生，必须严格执行。

5.1.8 地下洞室的施工工期与施工安全非常重要，应研究采用合理的施工方案，在保证施工安全与工程质量的前提下加快施工进度，保证施工工期的要求。

5.1.9 在负温条件下，应加强防冻保温措施，必要时洞口宜设防寒门，加强排水，保证机械的正常运转，路面应有防滑措施，以避免人员伤亡和机械损坏。高海拔地区固海拔高、气压低，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；还可减少施工人员数量，增加施工设备容量和数量。

5.1.10 开挖断面较大或围岩稳定性较差的隧洞，开挖与支护的

工程量均比较大，采用全断面开挖较困难，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，一般情况下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，也可保证施工安全。

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，但仍不能排除先开挖导洞、后扩挖的施工方法的适用性，特别是需要进一步查清地质条件或为了解决通风、排水时，常采用先开挖导洞后扩挖的施工方法。

5.1.11 地下开挖工程的安全监测，已成为地下开挖工程施工过程中不可缺少的内容，也是地下开挖工程采用动态方法进行设计的信息来源，因此应根据地下洞室的特征开展安全监测工作。

5.2 洞口开挖

5.2.1 洞口部位受地形、地貌影响和岩体风化，卸荷等作用，地质条件复杂，岩体软弱，稳定性差，开挖前进行稳定性分析，确定合理的开挖方法，是保证施工安全的重要措施。

5.2.2～5.2.4 这三条从各个角度对洞口开挖时可能遇到的情况做了必要的规定。对岩体软弱、破碎、成洞条件差的洞口开挖，可布置超前支护，目的是保证施工安全和开挖后洞口稳定。特别是 5.2.2 条，严禁上下垂直作业，必须严格执行。

5.2.5 洞口段开挖方法可根据洞室规模大小，地质条件好坏确定采用全断面开挖还是采用分部开挖，但无论采用那种方式开挖，都应对洞口岩体进行加固或采用锁口措施。加固或锁口亦应分部进行，其长度可根据围岩条件确定。

5.2.6 隧洞进、出口位于河水位以下时，应采取防止河水进洞的措施。以围堰挡水是常用的方法，采用预留岩塞，待隧洞贯通时再以水下爆破方式打通进口也是一种施工方法。在出渣方式能妥善解决的情况下，后一种施工方法也可能是一种很经济与确保任何频率洪水情况下都可以安全掘进的好方法。

5.2.7 本条即原标准的第 4.2.3 条，该条所指出的情况是工程中经常会遇到的，尤其是地下洞室集中的工程，多种用途的进口布置在一个部位，在进、出口需布置启闭设备和相关的水工建筑物，这些建筑物对建基面均有承载能力的要求，因此进、出口部位水工建筑物的建基面开挖。应满足《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(SL 47—94)的要求。

5.3 平洞开挖

5.3.1 由于开挖施工机械发展十分迅速，多臂钻、钻架台车、喷射混凝土机具的广泛应用，在较好的Ⅰ～Ⅲ类围岩中开挖 10m 以内洞径的洞室十分方便，所以宜采用全断面开挖。当洞径超过 10m 时，尽管施工机械性能很好，但全断面开挖仍十分困难，必须采用分部开挖的方式进行施工。

5.3.2、5.3.3 在Ⅳ类和Ⅴ类围岩中，当洞径超过 5.5m 时，从安全的角度出发，应实行分部开挖，每一循环开挖后应立即支护，防止围岩变形过大而造成塌方事故。

5.3.4 循环进尺的选择和围岩类别关系极大，本次规范修订时，将Ⅰ～Ⅲ类围岩中，手风钻造孔时的进尺范围扩大为 2～4m，比原标准加大了 1m，是因为手风钻性能有所提高。

根据软岩隧洞和不良地质条件洞段的开挖经验，本标准修订时，对Ⅳ类和Ⅴ类围岩中的开挖进尺也做了明确的规定。如果超过本条所规定的进尺就可能出现塌方事故，同时机械效率会降低。本条还强调应根据监测结果对开挖进尺进行调整。

5.4 竖井与斜井开挖

5.4.2 自上而下全断面开挖时，无论是露天井口或埋藏式井口都应进行井口锁口并修建防护设施后才能进行开挖，以确保井口围岩稳定和人身安全。井口周围的水应向指定位置排放。对自上而

下开挖的竖井深度大于 30m 时，施工人员上下应采用专用的提升设备，同时在井壁应设置带防护栏的人行楼梯或爬梯。对地质条件较差的地段应加强支护，防止岩石塌落，以确保施工人员安全；对透水地段应做好防水、排水措施。

5.4.3 竖井断面较大，采用自上而下扩大导井时，应使用机械扒渣，以提高开挖速度，减轻劳动强度。导井堵塞处理极其困难，危险性大，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。

5.4.5 采用深孔爆破法开挖，主要取决于钻孔精度。一般情况下钻孔偏斜率可控制在 1%以内，且不超过竖井的开挖范围，此法具有成井速度快的特点。

5.4.6 Ⅰ、Ⅱ类围岩中，中断面以上的竖井宜采用先导井后扩挖的方法施工。本标准修订时列出了各种施工方法的适用范围和要求。反井钻机扩孔直径可达 6.0m，可直接用于小断面竖井开挖。反井钻机对斜井的适用性取决于反井自身的性能。现在无论国产和国外引进设备均具有开挖倾角大于 45° 斜井的能力，详见表 3、表 4 和表 5。

表 3 国产 LM—200 型、ZFY2.0/400 型反井钻机主要技术参数

技术参数	单位	ZFY2.0/400	LM—200 型
导孔直径	mm	270	216
设计最大扩孔直径	mm	2000	1400
设计最大钻井深度	m	400	200
转速	r/min	0～16	0～20
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	3810×1750×1950	3200×1400×1650
工作尺寸（长×宽×高）	mm	4850×1750×5250	3200×1700×3600
主机重量	kg	12500	8300
泥浆机	kW	90	90

表 4　部分外国公司生产的天井钻机技术性能

制造厂及型号 / 项目	（美国）德莱塞					（日本）矿研试锥株式会社			（美国）英格索兰	（美国）萨勃特·兰念（Sabot Lannian）	（美国）肯纳		（德国）德马克
	300	480	500	800	900	BM—50N	BM—100N	BM—200N	RBM—7		004	009	P1200
导向孔直径（mm）	250 280 310	280 310	280 310	280 310	350	200	250	350	280 320	280	230	310	195
扩孔直径（mm）	1200	1200 1800	1800	2400	3000	800 900	1200 1500 1800	1800 2100 2400	1200 1800 2100	1200 1500	1220	2440	1200
钻井深度（m）	150	300	300	300	—	100	180	240	300	300	300	610	250
钻进角度（°）	20～90	20～90	20～90	45～90	45～90	0～90	0～90	0～90	30～90	0～90	45～90	45～90	—
转速（r/min）	0～60 无级 调速	多级 调速	6～54 多级 调速	0～70 无级 调速	0～45 无级 调速	0～57 无级 调速	0～57 无级 调速	0～45 无级 调速	0～90 无级 调速	0～100 无级 调速	0～150	0～68	0～60

表 4（续）

制造厂及型号 / 项目	（美国）德莱塞					（日本）矿研试锥株式会社			（美国）英格索兰	（美国）萨勃特·兰念（Sabot Lannian）	（美国）肯纳		（德国）德马克
	300	480	500	800	900	BM—50N	BM—100N	BM—200N	RBM—7		004	009	P1200
扭矩（kN·m）	29.8～36	58.8	69.1～124	98	176.5	29.4	68.6	196	147.6～348.1	49	28.4	165	9.8
推力（kN）	400		1000	1671		314	1078.7	1961.3	—	807	—	—	245
拉力（kN）	578.6	1334	1779	2669	3336	441	1569	2746	3334	—	890.4	3116.6	—
机头驱动型式	液压马达	电机	液压马达	直流电机	液压马达	液压马达	液压马达	液压马达	直流电机	液压马达	液压马达	液压马达 AC、DC 电机	液压马达
钻机功率（kW）	55.1	132.4	147.1	165.4	250	36.8	91.9	152.9	147.1	73.5	55.1	109.6	35.5

表 4（续）

制造厂及型号 / 项目	（美国）德莱塞					（日本）矿研试锥株式会社			（美国）英格索兰	（美国）萨勃特·兰念（Sabot Lannian）	（美国）肯纳		（德国）德马克
	300	480	500	800	900	BM—50N	BM—100N	BM—200N	RBM—7		004	009	P1200
外型尺寸（长×宽×高，mm）	2500×970×1354	宽×高 1170×3510	宽×高 1170×3510	宽×高 1170×3510	宽×高 1520×3810	3820×1230×3690	4540×1640×4363	5810×2540×5605	—	1295×1397×3000	1295×1397×3000	1955×6070	3800×1000×900
工作高度（mm）	2860	—	5410	5410	5440	—	—	—	—	—	—	—	—
质量（t）	4.1	8.5	10.7	13.2	16.3	4.65	9.3	18.9	—	3.5	4.1	15.44	3.2

表 5　维尔特天井钻机技术性能

设备型号	HG100	HG160	HG210	HG250	HG330SP
功率（kW）	112	132	160	250	400
转速（r/min）	0～61	0～55	0～38	0～39	0～48
实际扭矩（kN·m）	31.2	42.5	90	167	540
输出扭矩（kN·m）	34.3	53.1	100	200	648
导孔钻进推力（kN）	1079	1180	1900	2700	8350
反向扩孔拉力（kN）	700	590	1050	1650	2500
扩孔直径（m）	1.4	1.8	2.4	3.0	6.0
天井长度（m）	150	200	200	300	1000

5.5　特大断面洞室开挖

5.5.1　按照本标准 5.1.3 条的规定，特大断面是指开挖面积大于 120m2 或开挖跨度大于 12m 的地下洞室。这一规定是根据 20 世纪 80 年代以前修建的地下洞室规模情况拟定的，当时大型洞室并不多，开挖方法也比较落后，尽管如此，由于地下厂房，大型导流洞、泄洪洞开挖的断面尺寸毕竟很大，技术较为复杂，再加上地质条件的影响，开挖过程中的安全问题仍然十分重要，所以应通过技术经济比较选定施工方案。

进入 20 世纪 90 年代，我国水利水电地下工程建设中，特大断面的地下洞室迅速增加，其规模已远远超过了开挖面积 120m^2，开挖跨度 12m 的规定。例如龙滩水电站地下厂房跨度为 28.9m，大朝山地下厂房开挖跨度为 26.4m，小浪底地下厂房开挖跨度为 26.2m，二滩地下厂房开挖跨度为 25.5m，目前正在建设的拉西瓦水电站地下厂房开挖跨度已超过 30m。由于大于 25m 开挖跨度的地下洞室围岩稳定问题突出，开挖技术复杂，因此应开展专门的研究工作，制定更为详尽的施工方案和切实可行的安全保障措施。

5.5.2、5.5.3　分层台阶高度主要由围岩稳定条件和开挖质量控

制。在围岩稳定条件下，分层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，主要是从钻孔爆破后岩面的平整度考虑的。若围岩稳定性差或高应力区，台阶高度应受到限制。国内几座大型地下厂房开挖分层见表 6。

表 6　国内几座大型地下厂房开挖分层情况表

项目	单位	龙滩	二滩	鲁布革
厂房尺寸（长×宽×高）	m	388.5×28.9×72.7	214.9×25.5×65.6	105.5×17.5×38.9
开挖方量	万 m^3	58.4	46.58	7.10
开挖历时	月	44	35	26
月平均开挖强度	万 m^3/月	1.33	1.33	0.27
开挖分层数	—	10	7	6
分层高度	m	8.7、7、7、6.2、7.3、6.5、4.9、6.8、9、10	11.4、8.3、10.2、6.5、11.5、11.5、8.4	8、7、7.3、6.5、4.2、5.7

特大断面洞室采用分层开挖时，还应考虑出渣条件。施工通道应能满足进度要求，边墙顶拱应及时支护。

5.5.4　对于Ⅳ～Ⅴ类围岩中的特大断面洞室，由于围岩稳定性较差，宜采用先边墙后顶拱的开挖方法。边墙和顶部开挖可根据围岩稳定情况，先开挖导洞，然后顺边墙扩挖并浇筑混凝土或进行锚喷支护，边墙全部衬护或进行锚喷支护后，再开挖顶拱，采取边扩挖、边衬护的方法施工。

5.5.5　拱座部位的开挖质量和围岩稳定性至关重要。应保护拱座不受或少受爆破的破坏。下部开挖时，顶拱混凝土强度应达到设计强度的 75%，防止对顶拱混凝土的破坏。

5.5.6　地下厂房中的母线洞、引水洞及尾水洞等，均与厂房高边墙相交，宜先开挖并做好支护，以保证主厂房高边墙岩体的稳定。

5.5.7　地下枢纽厂房中的母线洞与尾水洞往往相邻布置，间隔距

离较近，岩墙岩柱较薄，为确保岩柱稳定，应采取合理的开挖程序和开挖方法，及时支护，并加强监测，以策安全。

5.5.8 为监测大型地下洞室安全状态，目前国内建设的大型地下洞室都埋设了一定数量的永久性监测仪器，如围岩位移计，测斜仪、锚杆应力计等，这些监测仪器在洞室开挖前或施工初期埋设最为有利，可利用这些监测仪器监督安全施工，进行施工过程中的安全预报。

5.6 特殊部位开挖

5.6.1 地下厂房特殊部位，开挖精度要求高，需要围岩成型好，超挖小，由于技术难度较大，故应作专门设计。

5.6.2 特殊部位开挖应采用控制爆破，合理分块，有利于提高爆破成型质量。

5.6.3 岩壁吊车梁成型规格很重要，故应对其不合格开挖面进行及时修整。应及时采用锚栓锚固和补浇混凝土，以改善结合面的受力条件。

5.6.4 与地下厂房交叉洞口的稳定，直接影响厂房围岩的安全，应及时支护，其支护长度不应小于 5m。

5.6.5 特殊部位开挖应顶留保护层，并遵循“短进尺、多循环、弱爆破、强支护”的原则进行施工。

5.7 软岩洞段开挖

5.7.1 按照 GB 50287—99 附录 D“围岩工程地质分类”表 D.0.3-1 岩石强度评分的规定，岩石饱和单轴抗压强度 15MPa＜R_b≤30MPa 时属较软岩；岩石饱和单轴抗压强度 5MPa＜R_b≤15MPa 时属软岩；岩石饱和单轴抗压强度 R_b≤5MPa 时属极软岩。软岩一般为节理密集带、断层影响带和胶结较好的第三系岩层。而极软岩为第三系半胶结状态的砂岩，砂砾岩、泥质砂岩、砂质泥岩、

泥岩或第四系坡积物、洪积物，N_2 红土，Q_2，Q_3 黄土等。例如引大入秦盘道岭隧洞有 12.7km 通过第三系砂岩，岩石饱和单轴抗压强度小于 6.0MPa；新疆某引水工程共有引水隧洞 8 座，总长 29.06km，全部通过第三系砂岩、泥岩及其互层，岩石饱和单轴抗压强度仅为 0.5MPa；山西引黄入晋输水工程通过 N_2 红土，Q_2、Q_3 黄土洞段长度近 8km，其饱和单轴抗压强度极低。我国近几年来建设的软岩和极软岩隧洞情况见表 7。

表 7　近几年来我国在软岩中建造的水工隧洞

工程名称	地质条件	隧洞总长度（km）	软岩长度（km）	极软岩长度（km）	引水流量（m^3/s）	洞室尺寸（m）	说明
广东雁田	石炭系、侏罗系泥质粉砂岩	6.40	1.54	—	73.3	5.6×7.0	—
甘肃引大入秦总干渠 甘肃引大入秦东、西干渠	第三系砂岩	110.70	72.90	12.83	36.0	6.0×6.0	—
山西引黄总干渠	奥陶系灰岩	42.20	—	3.70	48.0	ϕ6.1	土洞
山西引黄南干渠	灰岩	97.76	—	3.90	25.8	ϕ1.9	土洞
甘肃冷龙岭隧洞	灰岩、泥板岩	8.86	—	2.60	—	—	—
新疆某引水工程总干渠	第三系砂岩、泥岩	4.14	—	4.14	120.0	ϕ8.0	—
新疆某引水工程西干渠	第三系砂岩、泥岩	10.05	—	10.05	—	—	—
新疆某引水工程南干渠	第三系砂岩、泥岩	14.87	—	14.89	55.0	7.0×7.0	—

随着我国长距离，大型调水工程的实施，长大隧洞总长度已超过 300km，在这 300km 的隧洞中，其中软岩隧洞长度已超过 120km，我国软岩隧洞建设已取得了相当丰富的经验，所以本次

对标准修订时增加了软岩洞段开挖一节。

5.7.2、5.7.3 软岩隧洞的特点是岩体强度低，极不稳定，随时会发生塌方，有时甚至发展至冒顶塌方。2000 年以前施工的甘肃引大入秦的盘道岭隧洞和新疆某引水工程总干渠及西干渠的 7 条隧洞均发生过较大塌方，其中冒顶式塌方 3 处，其他地方的软岩隧洞也有类似情况。由于处理塌方难度相当大，致使工程工期延误，还造成了人员伤亡和财产损失。2001 年开始兴建的长 14.89km 的顶山隧洞由于设计方法正确，施工措施得当，安全监测贯穿于全部施工过程中，有效的指导了设计和施工，因此从 2001 年开工至 2004 年全部贯通，未发生过一次较大的塌方，创造了在极软岩地层中／顷利建成并提前通水的先例。其主要经验是少扰动或基本不扰动围岩，保持围岩的固有承载能力，最大限度的延长围岩的自稳时间，保证在自稳时间内迅速完成临时支护，并适时进行永久衬砌。

为了不扰动围岩，爆破方法十分重要，一定要专门研究，专门设计，并通过试验确定施工方法和爆破参数。如果岩体强度非常低，尽可能不采用爆破方式开挖，而采用机械松动岩体，人工开挖方式，因而避免了爆破对围岩的扰动，从而最有效的保护围岩的固有承载能力。

5.7.4 在软岩和极软岩隧洞中控制每循环的开挖进尺是非常重要的安全措施，本标准 5.3.4 条，规定了在Ⅳ类围岩中循环进尺宜为 1.0～2.0m；在Ⅴ类围岩中，宜为 0.5～1.0m，本条中又讲一步明确严格控制循环进尺。在一般条件下，软岩洞段不宜超过 1.5m，极软岩洞段不宜超过 1.Om，有地下水的洞段还要根据围岩条件缩短开挖进尺，顶山隧洞是在天然条件下，岩体单轴抗压强度仅有 0.5MPa 的半胶结状态砂砾岩和膨胀性极大的泥岩中开挖，循环进尺只有 0.5m。采取短进尺的目的是限制围岩变形的速率，避免围岩变形突然释放。对软岩和极软岩而言，控制循环进尺是非常重要的。

5.7.5 目前我国在软岩和极软岩中开挖的引水隧洞多为无压隧洞，开挖洞径 5.0～8.0m，按其规模应届中断面或接近为中断面，其开挖方式均为分部开挖。首先开挖上部，再开挖下部，上部工作面与下部工作面的距离一般为 3～5m，由于围岩自稳时间很短，上部开挖完成后立即进行临时支护(或一次支护)，再开挖距上部开挖面 3～5m 的下部工作面，开挖完成后亦立即支护下部开挖面，工程实践证明这是安全的施工方法。实行分部开挖的目的是限制开挖后围岩与一次支护的变形速率，防止全断面开挖围岩和一次支护变形过大而失稳，是保证围岩稳定的重要措施，实践证明上部开挖面与下部开挖面在轴线上的距离为 3～5m 施工较为方便。对软岩和极软岩而言，采用分部开挖，并控制开挖面的距离也非常重要。

5.7.6 因为软岩和极软岩岩体强度极低，开挖与一次支护后变形很大，并发展十分迅速，当隧洞深埋 50～100m，洞径 5.0～7.0m 时，其洞周变形可达 30～70mm，遇有膨胀岩体，其变形值可达 100～200mm，甚至更大，如不预留变形量就会造成永久衬砌时洞体尺寸减小，从而使衬砌尺寸达不到设计要求，因此必须在隧洞开挖时将该部分变形量预留出来，以保证永久衬砌尺寸满足设计要求，这一规定在引大入秦的盘道岭隧洞，和新疆某引水工程顶山隧洞都已实行。

5.7.7 在极软岩中，隧洞开挖后拱部稳定至关重要，拱部围岩一经暴露，受围岩应力调整的作用，片帮、局部塌落进而发生较大塌方是常见的现象，所以对拱部保护是必要的。实践证明，开挖前在拱部布置一定数量的超前锚杆，对拱部实行超前预加固，使拱部开挖在超前锚杆或超前管棚保护下开挖。

5.7.8 软岩和极软岩隧洞中施工期安全监测非常重要，以全过程的监测数据指导软岩和极软岩隧洞的开挖，确定一次支护和永久衬砌的时机，并监控永久衬砌结构的受力状况，这一措施已广泛应用于软岩、极软岩和不良地质条件下的隧洞开挖。

5.7.9 软岩和极软岩隧洞中开挖与一次支护后，为保证施工和运

行期的安全，适时进行永久衬砌是必要的。对于开挖直径为 5～8m 隧洞而言，开挖与一次支护 30m 左右再进行永久衬砌是较为适宜的，此时围岩与一次支护的变形已完成 80%以上，还有不到 20%的变形将以压应力作用在衬砌结构上。新疆某引水工程顶山隧洞的实测数据表明，开挖及一次支护完成 30 天后进行衬砌，衬砌中的压应力为 1～5MPa，衬砌结构对这一级别的压应力值是可以承受的，同时也保证了施工过程中的安全。

5.8 不良地质条件洞段开挖

5.8.1 在地下洞室开挖施工过程中，经常会遇到断层及破碎带、缓倾角节理密集带、岩溶发育、地下水丰富及膨胀岩地段，有时候还会遇到高地应力区，这些情况均属不良地质条件。由于不良地质条件性质不同，其力学属性也不同，防治的方法也不同，所以应分析其性质和对工程的危害情况，采取不同的措施。

对不良地质条件洞段的开挖方法，应根据地质报告、地质预报，在开挖前就制定施工预案，早做准备，避免不良地质条件洞段施工时出现围岩失稳问题。

5.8.2 断层及破碎带、缓倾角节理密集带应届Ⅳ类和Ⅳ类围岩，强度较低，膨胀岩体和高地应力区围岩变形较大。在开挖过程中都应限制围岩变形的发展，其最有效的办法是短进尺和实行分部开挖，避免围岩变形的突然释放，降低围岩变形的空间效应，使围岩变形缓慢增长，并使岩体和支护本身的强度适应变形的需要。及时支护也可以减缓变形的发展速率，提供一定的支护抗力，保证围岩稳定。

5.8.3 当地下洞室开挖遇到岩溶时，最首要的问题是查清岩溶的类型、范围、溶蚀形态、堆积物性质及地下水活动情况，只有查清上述问题才能制定有效的工程措施。

5.8.4 地下洞室节理裂隙随处可见，有些节理裂隙往往组合成不稳定的滑动体，特别是大型地下洞室，对不利于围岩稳定的节理

裂隙的组合关系一定要十分注意，施工过程中出现的塌方、滑动大多由此引起。因此应首先查明各种结构面的组合关系，分析失稳的条件。对于不利组合的结构面采用锚杆、预应力锚杆加固后再开挖，或边锚、边挖是最有效的方法。

5.8.5 在高地应力洞段开挖的过程中，由于应力重新调整，地壳中的初始应力突然释放，当释放的应力超过岩块的抗压强度后，则产生“岩爆”。岩爆的破坏形式为片状剥离岩体，并以一定速度飞出，属应力超限失稳，此种破坏的后果往往造成伤人和损伤施工机械，影响正常施工。

对付应力超限的有效办法是减缓应力释放量值，改善洞室形状，以减少应力集中，并以短、密锚杆和高强度喷射混凝土覆盖岩体表面，防止岩爆发生。

5.8.6、5.8.7 地下水的存在不仅恶化了地质条件，而且也恶化施工环境，有时甚至不能正常施工，因此在地下水丰富地区，应首先解决好地下水问题。

对地下厂水出露的地段，首先要查清地下水来源、渗水量大小、补给情况，然后再根据调查结果采用排、引、堵、截的措施进行治理。

当排、引、堵、截的效果不明显，进行预灌浆或形成阻水帷幕也是行之有效的措施之一。进行预灌浆后再开挖时要防止帷幕破坏失效。

5.8.8 塌方也是地下洞室开挖过程中经常出现的地质灾害。处理塌方一定要及时，要快速处理，防止事态扩大。避免塌方要有正确的施工方法，施工中要有预防塌方的措施。治理塌方要有预案，这样才能做到临危不乱。塌方处理原则是：首先加固尚未破坏的岩体，防止塌方发展；其次是先处理顶部，再处理其他部位；第三是处理一个部位立即加固一个部位，加固完成后再处理其他部位。有地下水出露地段，一定要先切断地下水来源，然后再处理塌方。

5.9 施工支洞

5.9.1 施工支洞的设置与施工方法密切相关，其数量直接影响施工工期和造价，因此支洞设置须通过技术经济比较后确定。

采用钻孔爆破法开挖平洞，施工支洞的设置受通风和出渣运输两方面控制，国内已建隧洞独头进洞的通风能力可达 3～7km，出渣方面也存在经济运距问题。现在一般施工支洞的间距为 3km 左右，随施工技术水平的提高，施工支洞的间距会逐步加长。

地下厂房高度大，层次多，需布置较多的施工支洞。应充分利用已有隧洞或永久隧洞作为施工通道。

5.9.2 施工支洞布置主要根据工程布置和场地条件确定。

5.9.3 施工支洞断面尺寸受运输设备、各种管线布置和施工人员安全通道等要求控制。采用单车道时，为了加快施工进度，可考虑设置错车道。

5.9.4 控制支洞与主洞的交角，有利于保证交叉口处围岩的稳定。

5.9.5、5.9.6 这两条规定的主要目的是保证围岩稳定和施工运输过程中的安全，以及改善施工环境。

5.9.7、5.9.8 这两条规定为确定是否需要布置与主洞平行的施工支洞，以及布置与主洞平行的施工支洞的主要原则。

6 钻 孔 爆 破

6.1 钻孔爆破设计

6.1.1 在地下洞室开挖过程中，钻孔爆破开挖方法仍然是最普遍和最常用的施工方法，其施工过程中的安全问题贯穿于全部开挖过程，包括火工材料选择、运输保管，使用以及火工材料的销毁等，因此采用钻孔爆破法开挖时必须遵守《爆破安全规程》 (GB 6722)的有关规定，以确保施工安全。

6.1.2 光面爆破和预裂爆破是广泛应用的控制性爆破技术，其最主要的目的是控制开挖轮廓线，满足规范和设计要求。这两种爆破技术可最大限度的减少爆破对围岩的扰动，保护围岩的固有强度，减少超挖，同时也是具有经济效益的施工技术。

6.1.3 因为地质条件不同。岩性、岩体构造、软硬程度均对爆破结果产生影响，要使光面爆破或预裂爆破取得最好效果，就应该进行爆破参数的试验，通过试验选择适合于所施工部位地质条件的爆破参救。

6.1.4 施工：单位应根据爆破试验结果或工程经验结合工程具体情况进行钻孔爆破设计、编绘爆破设计图，指导施工。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。对相邻地下洞室、地表已有建筑物应按其抵抗爆破震动的要求进行钻孔爆破设计.以保证相邻地下洞室和地表建筑物的安全。爆破震动安全允许标准可参照本标准附录 D 中表 D.0.3-1 的规定选用。

6.1.5 地下洞室的地质条件是不断变化的，应经常按变化的地质条件，调整爆破参数，才能保证取得最佳的爆破效果。

6.1.6 钻头直径大，爆破后会造成岩面平整度差，超挖大，因此

限制钻孔有利于控制超挖，也有利于提高爆破效果。

6.1.7 特殊工程部位对开挖轮廓线要求严格，同时还要求尽可能减少对围岩的扰动，以充分利用岩体的承载力，因此应按设计要求进行专项设计。

6.1.8 特大断面洞室中、下部开挖，采用顶留保护层或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优点，提高出渣效率。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。

6.2 钻孔爆破作业

6.2.1、6.2.2 在施工组织设计中应对爆破进行设计，绘制爆破图，在施工过程中，应按爆破图进行布孔，装药和爆破。

在爆破作业中，爆破孔孔深与循环开挖进尺关系极大，应根据确定的开挖进尺进行造孔。

6.2.3 钻孔质量是取得最佳爆破效果的关键。除孔位准确、钻进深度一致外，主要是控制钻孔外倾角。施工时要设立明显的参照标志，使施工人员能较好地控制钻孔角度和方向。

6.2.4 爆破作业是危险性和专业性较强的工作，应对其操作人员进行专业培训，并经国家指定的专门机构的考核，只有取得专业资质的人员方可操作。

6.2.6 杂散电流是指存在于电源网路之外的电流，其主要来源为：①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；②动力和照明交流电路的漏电；③大地自然电流；④雷电和电磁辐射的感应电流等。

使用塑料导爆管、非电毫秒雷管进行爆破作业是比较成熟的一项技术，它具有使用方便，连线简单，耐火、抗振动、抗电安全等特点，应积极采用。用吊罐法，爬罐法开挖时可能造成杂散电流，应采用塑料导爆管，非电毫秒雷管引爆。为了取得预裂爆破效果，宜采用导爆索引爆。

6.2.7 炮孔痕迹保存率是炮孔残留有孔痕的炮孔个数与周边孔总数之比的百分数

对于光面爆破和预裂爆破效果中的炮孔痕迹保存率标准，本标准修订时山硬岩、中硬岩，软岩 3 个等级，改按岩石完整程度分为 3 级，即完整岩石、较完整(和完整性差)、较破碎(和破碎)3 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影响更大，因此以完整程度划定炮孔保存率的标准也就更为准确、合理。

6.3 爆破试验与监测

6.3.1 爆破对施工质量和围岩稳定性影响较大，故应进行爆破试验，为施工提供可靠的技术数据。

6.3.2 本条规定了对爆破试验的单位和设备要求，确保试验的权威性和准确性。

6.3.3、6.3.4 这两条提出了特大断面洞室和地下洞室群的爆破监测内容和监测方法。

6.3.5 爆破试验和爆破监测资料是工程建设的宝贵资料，应及时进行整理和分析，经过整理分析的资料和报告是竣工验收的备查资料，也利于其他工程参考。

7　掘进机开挖

7.1　一般规定

7.1.1　随着国民经济的发展，兴建各种用途的长隧洞越来越多，采用常规钻孔爆破法开挖隧洞难以满足快速、安全、文明施工的需要。掘进机开挖技术经过近半个世纪的发展，应用已相当成熟。采用掘进机开挖除了有比钻孔爆破法开挖具有开挖速度快的优势外，还具有超挖小、对围岩的扰动小和施工安全等优点。钻孔爆破法开:挖因受施工长度限制而设计成折线的隧洞改成直线隧洞，缩短了洞线长度，又减少了施工支洞数量和相应的临建设施。

我国在 20 世纪 80 年代中期开始研究并发展掘进机技术，但因种种原因，国产掘进机的技术性能和可靠性与国外掘进机相比仍有较大的差距，掘进机的应用未能在国内得到推广。在 20 世纪 80 年代，引滦入唐工程古人庄隧洞、新王庄隧洞使用直径 5.8m 的国产掘进机开挖约 2.7km，广西天生桥二级水电站发电引水隧洞采用进口直径 10.8m 的开敞式掘进机开挖了部分洞段；进入 20 世纪 90 年代以后，使用掘进机开挖长隧洞在我国得到较为普遍推广和应用，甘肃引大入秦工程、山西万家寨引黄工程使用双护盾式掘进机开挖隧洞总长度已达 150km；正在施工的辽宁大伙房引水隧洞和山西万家寨引黄工程北干线隧洞以及新疆八十一大坂隧洞等工程均使用双护盾式或开敞式掘进机开挖。国内部分隧洞工程使用掘进机施工情况统计见表 8。

对于长隧洞的开挖，应就钻孔爆破法和掘进机法或掘进机结合钻孔爆破法开挖进行技术经济比较，选择经济合理的施工方法。

1　由于掘进机购置费用高，寿命长，若掘进长度太短，设备费用高，不如钻孔爆破法经济。条文中规定，隧洞长度等于或

表 8　国内部分隧洞工程使用掘进机施工情况统计表

工程名称	刀头直径（m）	长度（km）	最高日进尺（m/日）	最高月进尺（m/月）	平均月进尺（m/月）	备注
引黄南干渠 4 号隧洞	4.920	6.64	99.4	1821.5	998	双护盾式
引黄南干渠 5 号洞北段		19.30				
引黄南干渠 5 号洞南段	4.820	6.21	81.0	1417.0	748	双护盾式
引黄南干渠 6 号隧洞		13.98				
引黄南干渠 7 号隧洞北段	4.880	21.28	79.3	1635.0	788	双护盾式
引黄南干渠 7 号隧洞南段	4.895	19.36	75.9	1324.0	774	双护盾式
引黄总干渠 6 号隧洞	6.125	6.70	51.2	876.8	601	双护盾式
引黄总干渠 7 号隧洞		2.70	51.2	948.0	529	
引黄总干渠 8 号隧洞		12.20	65.6	1083.9	711	
引黄连接段 7 号隧洞	4.819	13.46	113.2	1637.5	1245	双护盾式
引大入秦 30A 隧洞	5.530	11.65	65.6	1301.0	862	双护盾式
引大入秦 38 号隧洞		5.32	75.2	1408.0	1110	

大于 10km，可采用掘进机开挖，这是根据目前掘进机制造技术水平和质量的逐步提高、寿命延长，并结合国内实际应用情况提出的。根据国内一些使用掘进机开挖的隧洞造价成本分析，一般情况下，一台新的掘进机在中等以下强度的岩石中掘进，掘进长度在 20～25km 时，综合经济效益最佳。如果使用旧的掘进机，掘进长度相应可以缩短。掘进机适用洞径为 3～12m，其中以直径 5～10m 为最佳，这主要是因为直径 5～10m 的掘进机制造技术成熟，应用比较普遍。

2　掘进机在岩石饱和单轴抗压强度为 200MPa 的硬岩中掘进，掘进效率明显降低，滚刀及其他材料消耗增加；在岩石饱和

单轴抗压强度 50～150MPa 的中等坚硬岩体中掘进，经济效益最佳。岩溶和地下涌水都会给掘进机施工带来不利影响，地下涌水较大时，应采用逆坡开挖，以便于排水。

3 深埋长隧洞布置施工支洞及竖井比较困难，更适合采用掘进机开挖。

7.1.2 地质条件和地层岩性是确定掘进机参数的主要依据，其中岩石的单轴饱和抗压强度、节理裂隙发育程度和石英含量等因素，影响掘进机推力的大小及刀具的消耗量。

7.1.3、7.1.4 由于掘进机技术含量高，若任何环节出现故障都会导致全线停工。故这两条强调要根据地质条件制定可靠的技术保障措施，同时要求配备的机械、液压、电气工程师及技术管理人员均应培训合格后持证上岗，在操作过程中应严格执行操作规程。

7.2 掘进机选择

7.2.1 全断面掘进机主要有以下几种类型：

1 按护盾形式划分：开敞式掘进机，双护盾式掘进机，盾构式掘进机。

2 按掘进机直径划分：微型掘进机(直径小于或等于 1.0m)、小型掘进机(直径为 1.0～3.0m)、中型掘进机(直径为 3.0～8.0m)、大型掘进机(直径为 8.0～10.0m)、特大型掘进机(直径大于 10.0m)。

3 按隧洞的倾角划分：平洞掘进机、斜井掘进机、竖井掘进机。

应根据围岩地质条件选用掘进机型式。岩石饱和单轴抗压强度在 100～200MPa 范围内的硬岩中宜使用开敞式掘进机；岩石饱和单轴抗压强度在 5～100MPa 范围内的中等坚硬岩体、软岩混合地层中宜使用双护盾式掘进机；砂层或饱和土层中宜使用盾构式掘进机。

7.2.2 掘进机的选择关系到施工速度和工程建设质量，所以应根据工程特点和质量要求进行掘进机选择。

1 采购掘进机时大多要求具有超前钻探、超前加固围岩和超前灌浆功能，以保证掘进机能够顺利通过不良地质洞段，但超前钻探的实际应用效果并不理想，因为进行超前钻探时掘进机不能掘进，影响掘进速度。

2 掘进机遇到不良地质条件的洞段，会产生缩径、卡机等现象，因此要求掘进机具有扩挖功能。

3 要求掘进机的最大推力、最大扭矩留有余地，刀盘具有反转功能，便于卡机时脱困。

4 双护盾式掘进机施工时，产生的岩粉堆积在隧洞底部，受护盾影响，岩粉不宜清除干净，影响水泥回填灌浆质量。

5 双护盾式掘进机施工时，围岩判别和地质编录困难，只能通过伸缩护盾上预留的窗口和石渣确定围岩分类。

7.2.3 掘进机施工速度快，刀具、配件的及时供应非常重要，供应不上将严重影响施工进度。由于掘进机的刀具及大部分配件依靠进口，采购周期长，因此在采购掘进机时，应随机购买一定数量的刀具及配件。

7.2.4 采用掘进机开挖技术较为复杂，要求提供较为详尽的资料，便于监理工程师监督和有效的保证施工质量。

7.3 掘进机开挖作业

7.3.2 山西引黄工程南干线 5 号隧洞(长 26km)、6 号隧洞 (长 14km)使用两台双护盾式掘进机施工，进、出口和起步洞室及 5 号隧洞中长度 565m 的土洞段，均采用常规钻孔爆破法先期进行开挖和一次支护，掘进机通过时安装管片，再继续向前掘进。

7.3.6 掘进机大部分是采用有轨矿车系统出渣，但也有不少工程采用了随掘进机延伸的连续胶带机系统出渣。

7.3.7 从山西引黄工程掘进机施工情况看，隧洞独头掘进大于 10km 且小于 15km 时，无需设通风支洞，施工通风能够满足洞内需要。若洞内含有瓦斯等有害气体，对人体危害严重，甚至会致

人死亡，应根据有关的规程、规范编制专门的防治措施。

7.3.8 掘进机初级电压一般为 10～20kV，订购掘进机时应根据供电距离选定初级电压。

7.4 衬砌施工

7.4.1 开敞式掘进机开挖的隧洞，一般采用锚杆喷射混凝土现浇钢筋混凝土衬砌；围岩条件好的也可以不衬砌；双护盾式掘进机开挖的隧洞宜采用预制钢筋混凝土管片衬砌。

7.4.4 顶制钢筋混凝土管片衬砌方案一般适用于无压隧洞。管片设计参数如下：

1 管片形状：一般有四边形和六边形两种，四边形管片安装精度高，由于相邻管片之间用螺栓连接，安装速度慢，费用高；六边形管片安装精度略低，但施工方便，安装速度快，属镶嵌式结构，结构受力条件较好；管片环向缝宜采用连接销自锁装置；管片纵向缝是否设螺栓或导向杆，应进行技术论证。

2 管片宽度：管片宽度主要受洞径大小、运输和安装设备能力的限制，且应与掘进机推进缸的冲程长度相适应：一般取 1.2～2.0m。

3 管片厚度：同一台掘进机使用的管片尺寸相同，官片厚度和含筋量应根据地质条件、洞径大小、埋深、荷载(包括施工荷载)等因素通过结构计算确定。

4 双护盾式掘进机的尾护盾底部一般是开敞的，底管片可直接坐落到围岩上。为了保证底拱管片与围岩之间存有一定的间隙，一般底管片设有高约 20～75mm、边长 300～600mm 的四个正方形或长方形底座。

7.4.5 管片生产宜采用工厂化生产，蒸汽养护，以满足快速掘进的需要。钢筋混凝土管片制作应与隧洞开挖和衬砌的进度一致。管片堆放场最少应能存放满足 10 天隧洞开挖进尺所需的管片数量，并准备一定数量的重型管片，用于不良地质条件洞段。

7.4.6 管片安装误差是根据山西引黄工程隧洞的施工经验提出的，管片接缝处的接缝宽度及错台过大会影响管片受力条件及止水效果。引黄工程使用六边形管片，除弯道和不良地质洞段外，管片衬砌环的安装允许误差均达到了设计要求。弯道段由于未使用异形管片，所以外侧管片缝隙较大；不良地质条件洞段由于掘进机下沉、卡机等原因，引起管片安装误差也较大。

7.4.7 为防止管片接缝处外水内渗或内水外渗，管片周边内侧预留槽中宜安装遇水膨胀或复合橡胶止水条。管片内侧接缝用不低于管片标号的聚合物砂浆勾缝，能够防止回填灌浆时水泥浆液漏山和保护明止水。

7.5 回填灌浆

本节规定丁双护盾式掘进机开挖与管片衬砌后对管片与围岩之间进行回填灌浆的要求。为了防止内水外渗，管片与围岩之间要预留一定的空隙，以充填一定厚度的防渗材料。管片安装后，首先应通过管片预留灌浆孔向管片与围岩之间的空隙吹填粒径为5～10mm 的专用骨料，稳定已安装的管片衬砌环，随后立即进行水泥回填灌浆，以胶结回填的骨料，将管片与围岩连成整体。如采刚回填水泥砂浆或细石混凝土方案，应进行技术论证。

水泥回填灌浆的参数及效果可参照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—94 的规定执行。灌浆工艺应满足掘进机掘进速度的需要。

8 出渣与运输

8.1 一般规定

8.1.1 出渣运输有无轨出渣运输、有轨出渣运输和无轨装渣有轨运输等几种方式，具体出渣运输方式的选择应经综合比较后确定。

8.1.2、8.1.3 对弃渣场和可利用渣场的布置及石渣的堆放，不仅要满足工程需要，保证工程安全，还需满足环境保护、水土保持等要求，以减少对自然环境的破坏。

8.2 有轨出渣运输

8.2.1 有轨出渣运输，目前仍是一种可靠和经济的运渣方式，适用于中、小型断面洞室出渣运输。其主要特点是对地下作业面空气污染少，噪音小、运输能力高，运输设备使用寿命长。电瓶车目前已有很大的牵引能力，是比较好的运输方式。

8.2.2 装渣机运用灵活，装渣速度快，配合梭式矿车可连续装渣，提高生产效率。

8.2.3 采取双车道或单车道设置错车道是提高出渣效率的主要措施，错车道的设置可根据洞室尺寸和出渣强度确定。

8.2.4、8.2.5 由于洞内工作面狭窄，照明度差，再加上空气浑浊，其运输安全是出渣运输设备必须认真考虑的问题，因此对行车速度应有所限制。

8.3 无轨出渣运输

8.3.1 随着装载机和自卸汽车运输能力的提高，无轨运输是普遍采用的出渣运输方式，对中断面以上的洞室出渣运输极为方便、灵活；选择无轨运输方式应在考虑断面尺寸的同时，充分考虑通风及

洞内运输距离等因素。

8.3.2、8.3.3 出渣运输车辆型号应与出渣道路路面宽度相适应。路面的纵坡、平整度和排水能力不仅直接影响出渣运输能力，还直接影响施工环境。而施工环境差又影响施工人员的工作效率，因此应做好路面设计，以保证出渣运输安全、高效。

8.3.4 在出渣道路两侧，施工材料、施工机械很多，同时还有供水、排水、供风、供电、照明线路通过，因此做好布置设计，按保证施工安全，使上述施工物资，各种线路安放有序，这也是文明施工的要求，很多工程往往不太注意这一问题，本标准为此提出明确的要求。

8.3.5 有些工程永久性混凝土衬砌采取随开挖随衬砌的施工方法，即部分永久性混凝土衬砌形成后，将作为尚未完成部分开挖的出渣道路，此叫一定要注意对永久性混凝土衬砌结构面进行保护，防止出渣运输时损坏永久性混凝土衬砌结构。

8.3.6 限制无轨出渣运输车辆的车速是从安全角度做出的规定。

8.4 斜井、竖井出渣运输

8.4.1 卷扬机和钢丝绳及其连接装置的安全性是保证斜井、竖井出渣运输安全的关键。本标准修订时参照《水利水电建筑安装安全技术工作规定》(SD 267—88)中相关规定对用于载人的升降机、吊篮绳的安全系数进行了修订，并对用于绑扎起重物的绑扎绳安全系数作出补充规定。SD 267—88 修订后应按修订后的标准执行。

8.4.2～8.4.13 这 12 条均从安全施工的角度出发，对斜井、竖井出渣运输做出的规定。特别是 8.4.7 条、8.4.8 条和 8.4.12 条，直接关系到施工人员和工程施工的安全问题，必须严格执行。

9 临 时 支 护

9.1 一般规定

9.1.1 天然岩体在重力及构造作用下具有初始地应力。开挖洞室以后，应力重新分布，在洞室周围产生应力集中。如是应力大于围岩强度，则围岩将产生破坏，施工时需要支护。根据工程实践经验，Ⅰ类围岩不需要支护，Ⅱ类围岩视情况可喷薄层混凝土，开挖跨度大时可采用喷锚支护，Ⅲ类以下围岩需要支护。应力的重分布主要取决于洞室形状、断面尺寸。不同的施工方法对围岩的扰动程度不同，尤其是完整性差的围岩，施工方法影响十分显著。

喷混凝土具有速效性、密贴性、柔性及可补性，锚杆则从内部加固围岩。因此支护可与围岩共同抵御有害变形的发展，保证围岩长期稳定。经大量工程实践证明，这是一种简单、经济并行之有效的支护型式，应优先采用。

9.1.2 临时支护的结构设计可采用工程类比的方法，因为到目前为止已有很多各种不同地质条件、断面形状及施工方法的地下洞室施工经验可以借鉴。当需要计算时，可参考《水工隧洞设计规范》(SL 279—2002)和《锚杆喷射混凝土支护技术规范》 (GB 50086—2001)的有关规定进行设计。

9.1.3 地下洞室开挖后，临时支护实施时间是个很重要的问题，开挖后如果围岩自稳能力强，可不支护或开挖一定长度后支护，如果围岩自稳能力差，应立即支护。因此应掌握围岩的稳定特性，科学合理的确定支护时机。

9.1.4 现场安全监测是新奥法施工的重要组成部分，在目前尚不能全面准确的计算开挖过程中围岩应力变化规律的情况下，通过埋设仪器量测这些数据，以此来了解围岩变位及收敛情况和已完成支护的工作状况，及时调整支护参数、确定是否需进行二次支护等是

十分有效的。因此施工期的安全监测应是地下洞室开挖过程中不可缺少的环节。

9.1.5 常用的临时支护型式有：拱架支撑、锚杆支护，喷混凝土支护、预应力锚杆及预应力锚索等。一般情况下可采用锚杆和喷射混凝土支护；特殊条件下，上述四种支护型式可联合使用。由于锚喷支护是不可拆除的，所以事实上已成为永久衬砌的一部分。在有关设计荷载章节中，规定“采取了支护和加固措施的围岩，根据其稳定状况，可不计或少计围岩压力”。因此，在条件允许的情况下。有永久性衬砌地段，临时支护的设计与施工应能适应永久性衬砌的结构要求，并尽可能使临时支护结构作为永久性衬砌的一部分。

9.2 锚喷支护

9.2.1 锚喷支护类型有：喷混凝土、钢纤维喷射混凝土、局部锚杆、系统锚杆、挂钢筋网、拱架支撑等。通常是喷混凝土、锚杆、钢筋网联合使用。锚喷支护参数可参照 GB 50086—2001 确定，也可参照《水利水电工程锚喷支护技术规范》 (SL 377—2007)确定。

9.2.2 锚喷支护的项目和内容很多，根据围岩条件不同，可由各补单项的支护方式组合成联合的支护措施，这在 GB 50086—2001 的规范中都已作了详细的规定，本标准只是对地下开挖工程开挖后进行临时支护时应遵守的基本原则做了必要的规定。临时支护时如果不遵守这几条基本原则，将可能出现安全和质量方面的问题。

9.2.3 钢纤维喷射混凝土、树脂纤维喷射混凝土、自钻式锚杆和树脂锚杆都是锚喷支护的新技术、新工艺，这些新技术、新工艺对特殊地质条件有着特殊的作用，但应通过试验确定其应用条件和范围。

9.2.4 锚喷支护的施工质量与操作人员有直接关系，因此制定具体操作规程，加强技术培训，对保证临时支护施工质量具有重要作用。

9.3 拱架支撑与锚喷联合支护

本节对拱架支撑与锚喷联合支护作了规定。拱架支撑是根据洞室尺寸用型钢制成的支撑结构。近年来，为了施工方便及经济性，许多工程在施工现场采用螺纹钢筋制作成拱架支撑以代替型钢支撑。当洞室开挖采用分部开挖时，拱架支撑可按分部开挖的轮廓线分成若干段加工，再用连接部件组装成整体，这种拱架支撑具有轻便、加工和安装简便，易与围岩密贴等特点。拱架支撑结构为桁架式，承载能力大，广泛用于软弱，破碎的断层带加固。这种支护方式还便于通过锚杆扩大支护范围，也便于与喷射混凝土结合为统一的支护结构，是一种极为有效的支护措施。

拱架支撑与锚喷联合支护时，特别要注意的问题是：按分部制作的拱架支撑组装时连接应牢固，各榀支撑之间应用连接筋或剪力支撑连接成整体；安装位置应正确，并与围岩密贴：与围岩之间的空隙要用喷射混凝土填塞饱满；系统锚杆应与拱架支撑焊接；拱架支撑的底座应置于完整岩体中，岩体软弱时应插入混凝土底座之中。这些措施都是为了保证拱架支撑和锚喷支护与围岩共同抵御来自围岩的有害变形，抑制变形速率，保证地下开挖工程施工正常进行。

9.4 软岩洞段的临时支护

9.4.1 饱和单轴抗压强度低于 15MPa 的岩石为软岩，其主要特征是：岩体软弱，抗压强度低，抵御不了洞室开挖后由岩体应力重新分布而产生的较大变形，从而使地下洞室发生整体性破坏，因此对软岩洞段应进行支护，才能遏制有害变形的发展，以确保围岩稳定。

9.4.2 在软岩特别是极软岩洞段，临时支护有着重要作用，因为其围岩的稳定状况和稳定的时间主要靠支护。支护不仅应及时施做，而且支护形式、支护强弱都会影响围岩的稳定，因此施工前应根据围岩稳定条件编制施工预案，预测可能发生的情况，安排切实

可行的地质预报和监测工作。对施工过程应跟踪监测，根据地质预报和监测结果，随时采取必要的加固措施。

9.4.3 由于岩体软弱，随时都可能发生塌方或围岩失稳，准备必要的抢险料物也是需要的。

9.4.4 有地下水出露时，如不处理好地下水，施工活动会扰动底部围岩，使本来承载能力很低的围岩变得更为恶劣；只有将地下水隔断，才能保护好围岩，并创造好的施工环境，易于保证工程质量。封闭底板的措施是采用早强混凝土。

9.4.5 在软岩和极软岩洞段施工，合理的确定永久性衬砌施做的时间和施工方法是一个较为重要的问题。

及早施作永久性衬砌，虽然可以保证施工安全，但不仅影响施工进度，更为重要的是永久性衬砌将承担绝大部分围岩压力，对永久运行不利。从减小永久性衬砌的围岩压力和保证结构安全的角度考虑，永久性衬砌应在围岩变形全部完成后施做较为有利，此时衬砌结构的整体性处理也比较容易，但会加大临时支护的造价。根据顶山隧洞的施工经验，开挖与临时支护完成后 30 天，开挖工作面距衬砌工作面 40～50m 时进行永久性衬砌较为合适。此时围岩与临时支护的变形已完成 80％～90％，衬砌所承受的围岩压力为 20％～10％，这与设计考虑的衬砌结构承受 20％的围岩荷载是一致的。

9.4.6 在软岩和极软岩洞段开挖施工中，经常会遇到变形超限的问题，特别是在膨胀性岩体中，由于围岩和临时支护变形特大，侵占了永久性衬砌断面，一般情况下是将支护凿除，当面积较大，侵占较多时，应采用拆除的处理措施。拆除时，一定要在确保围岩与一次支护安全的条件下进行，即采用“步步为营”的方式拆除，而且应先加固、后拆除，一个部位一个部位的进行，防止拆除过程中围岩失稳。

9.4.7 在软岩洞段原位监测极为重要，是控制安全施工的关键。一般情况下，在软岩隧洞施工中，应加密监测断面布置，加大观测

频次，及时通报监测结果。黄河小浪底工程软弱破碎带洞段的施工和 15km 长顶山隧洞的施工，都取得了相当好的经验。

9.5 不良地质条件洞段的临时支护

9.5.1 不良地质条件洞段与软岩洞段一样，都是围岩软弱、易于失稳的洞段，但不良地质条件洞段地质条件更具有复杂性和多变性，稍一疏忽就可能发生安全事故。而且这种安全事故具有突发性强，危害大的特点，因此根据地质预报，编制专项临时措施，特别是编制应急预案就更为重要。要防患于未然，才能保证施工安全。

9.5.2 不良地质条件洞段施工中，按照临时支护方案，准备充足的支护材料，才能及时处理安全隐患。

9.5.3 在构造发育和节理密集的洞段中，由于构造的影响也会存在局部不稳定的部位，此时就应对局部不稳定岩体进行加固。局部不稳定，一般情况下是由岩体构造引起，所以可采用长短相间的锚杆加固。如果不稳定岩体范围较大，部位较深时，还可能需要布置预应力锚杆(索)。

9.5.4 在松散、破碎的岩层中开挖洞室，采用预灌浆、超前锚杆或超前管棚以及先护后挖、边挖边护等都是经常采用的方法。

9.5.5 在膨胀性岩体中开挖时，围岩膨胀变形量会很大，故要求支护能够适应这种变形。如陶思隧道最大变位曾达 150mm，利用可伸缩的钢拱架结合喷射混凝土支护，保证了围岩稳定。我国顶山隧洞部分洞段分布着具有很大的膨胀性的泥岩，开挖后虽然及时进行了一次支护，但仍发生了近 300mm 的膨胀变形，实施第二次支护后才保证了围岩的稳定。

9.5.6 岩溶地段的最大特点是构造复杂。天生桥二级电站引水洞施工时曾遇到大溶洞，发生了塌方，同时还遇到洞穴中的充填土层和地下水丰富等问题。对塌方曾采用钢拱架支撑、钢管桩固脚的方法，对软弱土层的开挖采用上半部领先、预留上核、环向开挖、拱架支撑及时跟进、喷混凝土支护的方法，在特别差的部位

布置了超前锚杆，对顶部溶洞则回填混凝土或砂浆，在地下水造成的塌方地段，采用先打入大直径的管棚后，再安装拱架支撑等，效果很好。

9.5.7 在高地应力区，围岩的破坏形式为突发性并呈片状剥落。防止这种破坏的有效方法除减缓围岩应力释放外，就是以短、密型锚杆加高强度喷射混凝土支护。

9.5.8 加强监测，及时预报是在不良地质条件洞段安全施工的主要措施，一定要切实组织好这项工作。

10　施工期安全监测

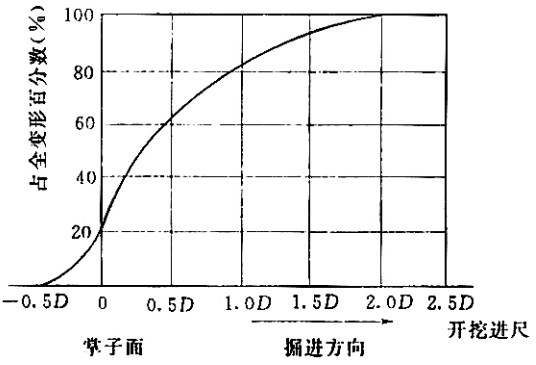
10.1.1　地下洞室开挖过程中的安全监测是保证施工安全的重要措施。施工期安全监测的项目、仪器类型的确定及布置与工程等级、洞室规模、地形地貌、围岩条件以及施工方法等有关。在施工前进行开挖工程施工组织设计中应做专门设计。

10.0.2　监测仪器要布置在有代表性的地质洞段，其监测结果能反映该部位变形的一般规律。围岩软弱、高地应力区、膨胀性岩体变形很大，特殊部位应力条件复杂，都是容易出现安全问题的部位，应重点监测。

10.0.3　开展施工期安全监测工作的目的，是为了捕捉各种围岩变形信息指导安全施工。开挖后，如果围岩暴露时间过长，不仅影响围岩稳定，还监测不到真实的变形规律。监测工作占用时间太长，影响工作效率。施工期的安全监测项目，应选择对施工干扰少，仪器使用方便，适用于恶劣环境，还能保证施工安全。由于收敛监测结果可靠，所以是最普遍的监测方法，从仪器埋设到监测在一小时之内即可完成，同时又不影响施工。收敛监测配合多点位移和应力监测可以取得全面、完整的资料，使得收集的信息更为可靠。

10.0.4　在洞室开挖过程中，围岩的变形过程符合图 1 所示的基本规律。

按照图 1 所示的基本规律，围岩的收敛变形是在距洞室开挖掌子面-0.5D 的位置就开始发生了，当洞室开挖至掌子面时，围岩收敛变形已完成全部变形的 20％左右。收敛计埋设距开挖面越远，丢失的变形就越多，为此要求收敛计测点位置尽可能靠近掌子面，这样可以保证测到较为真实的收敛变形值，且丢失的变形少。本标准规定测点位置距离掌子面不宜大于 1m。如果不具备以上条件，可适当调整测点位置。但无论测点埋设在什么位置，



[注:D 为开挖洞径(m)]

图 1　开挖过程典型收敛曲线

都要以图 1 所示的典型收敛过程曲线,修正收敛变形的全变形值,修正后再按本标准 10.0.10 条的规定判断围岩的稳定性。

10.0.5　在已完建的地下洞室开挖过程中，都已把安全监测作为地下开挖工程施工的一个重要环节，在一些工程的投标书中都把安全监测作为地下工程安全施工的保障措施，在开工时所提交的施工组织设计中也有充分反映,这样安全监测工作才能得到保证。由于安全监测工作汁划编制、仪器选择、仪器安装、信息处理都是技术含量较高的工作,而且还要掌握较为复杂的围岩变形规律,因此需要专业队伍进行这项工作，施工单位自己完成这项工作时也应组织专业的队伍实施。

10.0.6～10.0.10　这五条足进行安全监测的基本方法和程序，包括监测，数据分析与处理、信息反馈和围岩稳定性的判断等。在实际开始安全监测工作叫,可根据这五条规定,按有关资料和 GB 50086—2001 的规定，结合所建工程的实际情况，编制可操作的监测手册，有序的开展安全监测工作。只要能按规定的程序与方法，及时开展安全监测工作，就能有效地指导工程的安全施工。

11　通风与防尘

11.1　卫生标准

本节内容涉及通风与防尘的卫生标准。本标准修订时仍保留了原标准规定的三条卫生标准。原标准规定的洞室内氧气体积不应少于20%，有害气体和粉尘含量应符合表11.1.1的规定标准，洞内平均温度不应高于28℃和作业区的噪声值不应大于90dBA，都是合适的，也是我国各有关行业都在执行的标准，但目前有很多上程并没有按此规定的标准执行。随着人民生活水平的提高，社会的进步，对劳动者人身健康的保护应给以高度重视，为此本标准修订时将11.1.1条规定为必须严格执行。要求地下洞室开挖施工时制定切实可行的通风方案，改善施工环境，以保护施工作业人员的身体健康。

11.2　通　　风

11.2.1～11.2.3　保证地下洞室施工中有良好工作环境，最主要的是应有足够的新鲜空气。地下洞室通风方式、通风设备的确定与洞室布置、洞室规模、施工程序、施工方法等有关，进行通风设计时应综合考虑这些因素。

通风方式主要有自然通风和机械通风两种，当自然通风不能满足施工要求时，应考虑采用机械通风方式，机械通风型式主要有管式、巷道式和分道式，管式又有压入式、抽出式和混合式。对长隧洞，当洞体埋深小于100m时，可研究专用通风井的通风方式。

11.2.4　地下洞室开挖与一次支护所需的总风量,应考虑工作人员用风量，各种施工机械耗风量及冲淡有害气体浓度所需风量，以

控制洞室内空气中有害物质不超过本标准表 11.1.1 规定的容许含量，并以计算所需的总风量的最大值作为设计的供风量。但应注意确定设计供风量时还应考虑风量损失，并按工作地点的海拔高程进行修正。

11.2.5、11.2.6 工作面的风速直接影响工作环境和工作效率。风管布置应满足顺畅通风和施工环境的要求，一定要布置有序，美观、顺直。

11.1.7 通风系统设置专人负责，加强检查和维护，其目的是保证正常通风。

11.2.8 含瓦斯地层和高温作业区对供风有特殊要求，必须进行专项通风设计，还要有监测装置，发现问题立即整改。

11.3 防尘、防有害气体

11.3.1 地下洞室开挖时，造孔是粉尘的主要来源，约占 85％以上。过量的粉尘对人体健康损害极大，为此减少造孔过程产生的粉尘是主要的防尘措施，这种措施主要有采用湿式凿岩机造孔、配备陈尘装置、加强通风等。爆破、装渣也会产生粉尘，加强通风、淋湿石渣，增加空气湿度都是极为有效的防尘方法。

11.3.2 喷射混凝土的粉尘主要是水泥粉尘，水泥粉尘中含有大量的 siO_2，对人体健康也有很大的损害，减少喷射混凝土中 siO_2 粉尘含量应采取综合措施，例如推广湿喷技术或水泥裹砂喷射混凝土施工工艺，喷枪处设置双水环，作业面喷雾，粉尘集中处设置集尘抓或除尘器等。工程实践证明采用湿喷和水泥裹砂技术，可使工作而的粉尘含量降至 10ms / m^3 以下。

11.3.3 在洞内作业的汽油机械所排出的有害气体，比柴油机械所排出的有害气体多达 10 倍以上。采用低污染柴油机械是减少有害气体含量的最有效措施。

11.3.4 瓦斯是一种无色、无味、无臭的气体，比重轻，极易扩散，当浓度达到 5％～10％时，遇到较高温度或火源还会产生爆炸，

直接威胁着施工作业人员的生命安全，因此在含有瓦斯气体的岩体中开挖洞室时，一定要制定预防瓦斯的安全措施。在《煤矿安全规程》(2004 年)第二节“瓦斯防治”中，对瓦斯防治共有 17 条规定，一定要组织有关人员认真学习，按照这 17 条规定，结合本工程的具体情况和瓦斯含量等，制定具体预防措施，建立预报系统，定期检测，防止瓦斯含量超标。

11.3.5 地下洞室施工过程中，防尘、防有害气体及防噪声非常重要，不仅要有预防措施，还应有检测制度。此外还要建立检测结果公示制度，这样才能引起施工单位的高度重视，充分体现以人为本。

12 辅 助 工 程

12.1 供　　风

本节对供风工程作了规定，地下洞室开挖和支护机械所使用的动力为压缩空气，压缩空气供应量不足或压力偏小都直接影响工作效率，所以配置空压机站的容量时要考虑总需风量，并有 30%的备用。还要考虑地域条件，例如高寒缺氧地区，气压低，空气密度小，空压机生产能力低，应适当增加空压机的容量。

对于长隧洞，为了保证风量和风压，还应考虑在洞内设置带有安全装置的储气罐。

12.2 供水与排水

本节对供水与排水工程作了规定。供水与排水也是必不可少的辅助工程。对于生活用水来说，一定要符合国家规定的卫生标准，并应对水质定期进行检测；对施工用水的水量和压力要满足施工需要，水量不足或压力不稳定将影响工程质量，施工用水也应定期检测。

很多工程地下水丰富，做好排水设计和施工，其目的不仅是为了改善工作环境，而且还为了保证施工进度和施工安全。

12.3 供电与照明

本节对供电与照明工程作了规定。地下洞室施工期间用电量是很大的，一般工程都将高压供电线路引至洞口或负荷中心，经过变压后向各工作而和交通沿线送电。变压器容量、位置及送电线路要根据工程需要和满足安全送电两个要求确定。

随着地下洞室工程规模的扩大，用电量的增加和供电技术水

平的提高，目前很少采用 36V 和 24V 供电，故在本标准送审稿审查时取消了 36V 和 24V 的规定。采用 220V 为照明线路时，一定要采用绝缘好、有防漏电功能的电器材料供电。

考虑到原标准的照明标准偏低，本标准修订时，相应提高了照明的要求。目前在一些工程中，各种施工机械所用电量还较容易满足要求，但对照明来说就不容易做到了，很多工程作业面照明度差，主要原因是受利益驱动，实际上，照明度差，安全施工不能保证，是一种得不偿失的做法。

12.4 其他辅助设施

本节对其他辅助设施作了规定。其他辅助设施主要包括卫生医疗设施，防火设施，施工机械检修及通信设施等，这些都是地下洞宣开挖施工中所需要的,对有些工程甚至是不可缺少的设施。这些设施应如何设置和布置，应根据工程需要确定。

13 安 全 施 工

13.1 一般规定

本节为安全施工方面的一般规定。地下洞室开挖，因受地质条件、围岩应力的影响，再加上施工环境恶劣，安全施工是非常突出的问题，稍有疏忽就可能造成重大人身伤亡和设备损坏，经济损失巨大。中共中央和国务院非常重视安全生产问题，2002 年 6 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议通过，由 2002 年 11 月 1 日起实行的《中华人民共和国安全生产法》和 2003 年 11 月 12 口国务院第 28 次常务会议通过。由 2004 年 2 月 1 口起实行的《建设工程安全生产管理条例》(国务院令 393 号)都对工程建设中的安全问题做出了明确的规定。地下洞室开挖施工由于其特殊性，保证施工安全是尤其重要的。

对地下洞室开挖施工而言，准确掌握施工部位的地质条件，对围岩稳定状况有正确的分析和判断，对软弱、破碎及构造发育地质条件做出预报，是保证安全施工的首要条件，只有全面、准确的掌握了地质条件，才能做出保证安全的施工措施。

在地下开挖工程中，安全监测和文明施工、保护环境也是安全施工不可缺少的内容。

13.2 爆破开挖的安全规定

13.2.1、13.2.2 目前我国地下洞室的开挖方法仍然足以钻孔爆破法为主，而爆破是在瞬间完成，使岩体中的应力突然释放，围者在一瞬间之内变形速率增大，使一定范围内的岩体松弛，失去或部分失去稳定能力。如果每循环开挖距离长度过长，开挖后围岩变形的空间效应也会加大，更加速了围岩变形的发展速度，对围

岩稳定状况更为不利。此外，开挖进尺过大也将造成开挖轮廓线起伏不平，沿洞轴线呈台阶状，其起伏差过大，这也是不经济的。

地下洞室开挖后及时进行地质测绘十分重要，特别是摸清主要构造面的走向、发育情况，以便制定有效的预防措施，保证开挖施工在有安全保障的情况下进行。

爆破开挖使用的炸药，是一种危险性极大的化学品，其性能直接影响爆破效果及爆破过程中的安全。遇有振动、明火和杂散电流时极易爆炸，所以爆炸药品的选择，使用前的有关性能检验、运输、储存、加工、现场装药、起爆及哑炮处理等都应严格按照GB 6722 的规定执行。

13.2.3～13.2.11 这九条都是在爆破作业时应遵守的安全规定，其中 13.2.4 条、13.2.8 条、13.2.10 条和 13.2.11 条，直接涉及到人身和设备的安全，必须严格执行。

一些工程由于软弱、破碎等地质条件或者其他要求需要，往往采用混凝土衬砌与岩石开挖平行作业的方法施工，此时对衬砌结构的保护就尤为重要，为此应按允许质点振动速度控制最大单响药是进行爆破作业。

13.3 出渣运输的安全规定

本节对山渣运输安全作了规定。出渣运输安全方面主要有两种特殊情况：其一为斜井或竖井施工时提升设备及其辅件，因运行频繁极易磨损，使用期间检查又比较困难，容易发生损坏而出现安全事故；其二因洞内潮湿、工作环境恶劣、施工场地狭窄、洞内运输用电及电器产品极易漏电、损坏，因此必须定期检查，保证用电安全。

13.4 支护施工的安全规定

本节对支护施工安全作了规定。支护的目的是为了保证施工

阶段围岩的稳定，防止塌方或岩块坠落，保证施工人员和设备在安全状态下作业，因此支护应及时施作并确保围岩稳定。此外，在锚喷支护、拱架支撑安装、预应力锚杆安装等作业时也存在安全问题，稍一疏忽就可能发生人身伤亡和设备损坏事故。关于支护的安全规定，GB 50086—2001 和 SL 377—2007 也都有较详细规定，可遵照执行。

14　质量检查与验收资料

本章对地下开挖工程的质量检查与验收作了规定。地下开挖工程的质量直接关系到人民生命的安全和工程的安全运用，随着地下开挖工程规模扩大，施工难度加大，加强地下洞室开挖工程的质量管理和质量检查工作就越来越重要。2001 年 1 月 10 日国务院第 25 次常年会议通过了《建设工程质量管理条例》(国务院第 279 号令)和 1997 年 12 月 21 日水利部颁布实施的《水利工程质量管理规定》(水利部令第 7 号)都特别强调了工程建设过程中，参加工程建设各方的质量责任，要建立健全质量保证体系，认真落实“三检制”以及加强质量检查工作等。

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，还对地下开挖工程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。在验收时除应符合《水利工程建设项目验收管理规定》(水利部令第 30 号)外，还应执行《水利水电建设工程验收规程》(SL 223—1999)的规定。

SL 378—2007

中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物地下开挖工程施工规范

SL 378—2007

*

中国水利水电出版社出版发行

地址：北京市三里河路 6 号　100044

网址：www. waterpub. com. cn

E - mail：sales@waterpub. com. cn

电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）

北京科水图书销售中心（零售）

电话：（010）88383994、63202643

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京市兴怀印刷厂印刷

*

850mm×1168mm　32 开本　4.5 印张　121 千字

2008 年 1 月第 1 版　2008 年 1 月第 1 次印刷

印数 0001—4000 册

*

书号 155084・564

定价 **40.00** 元

凡购买我社规程，如有缺页、倒页、脱页的，

本社营销中心负责调换

其他问题，请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系

电话：（010）68317913，68345101　　传真：（010）68317913

E-mail：jwh@waterpub. com. cn

版权所有・侵权必究